



Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Σχολή Επιστήμης της Πληροφορίας & Πληροφορικής

Τμήμα Πληροφορικής

Διδακτορική διατριβή

**Συγκριτική μελέτη κβαντικών και κλασικών
παιγνίων και συσχετισμός τους με μη συμβατικά
μοντέλα υπολογισμού**

Καλλιόπη Κασταμπολίδου
ΠΔ082

Επιβλέπων:

Θεόδωρος Ανδρόνικος
Αναπληρωτής Καθηγητής

Κέρκυρα, Μάρτιος, 2023

Εγκρίθηκε από την εξεταστική επιτροπή την Παρασκευή 3 Μαρτίου 2023

- 1.Θεόδωρος Ανδρόνικος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο
- 2.Μιχαήλ Στεφανιδάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο
- 3.Δημήτριος Τσουμάκος, Αναπληρωτής Καθηγητής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- 4.Μάρκος Αυλωνίτης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο
- 5.Παναγιώτης Βλάμος, Καθηγητής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο
- 6.Νεκτάριος Κοζύρης, Καθηγητής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- 7.Παναγιώτης Τσανάκας, Καθηγητής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

.....

Καλλιόπη Κασταμπολίδου
Τμήμα Πληροφορικής
Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Copyright © Καλλιόπη Κασταμπολίδου, 2022
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου.

«Η υλοποίηση της διδακτορικής διατριβής συγχρηματοδοτήθηκε από την Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού, Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση», 2014-2020, στο πλαίσιο της Πράξης «Ενίσχυση του ανθρώπινου δυναμικού μέσω της υλοποίησης διδακτορικής έρευνας Υποδράση 2: Πρόγραμμα χορήγησης υποτροφιών ΙΚΥ σε υποψηφίους διδάκτορες των ΑΕΙ της Ελλάδας».



**Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Ανάπτυξη Ανθρώπινου Δυναμικού,
Εκπαίδευση και Διά Βίου Μάθηση**

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Αρκετά γραφήματα και οι εικόνες που περιλαμβάνονται σε αυτή την εργασία, δημιουργήθηκαν με το [BioRender.com](https://www.biorender.com).

“Not knowing is a good place to start.”

Ευχαριστίες

Οφείλω να ξεκινήσω το κομμάτι αυτό δείχνοντας την ευγνωμοσύνη μου στον κ. Ανδρόνικο, ο οποίος έχει σταθεί ως μέντορας στην μέχρι τώρα ακαδημαϊκή μου πορεία. Θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Στεφανιδάκη και τον κ. Τσουμάκο, οι οποίοι επίσης βρίσκονταν στο πλευρό μου από το προπτυχιακό ακόμη και με βοήθησαν να εξελιχθώ με τις χρήσιμες συμβουλές και παρατηρήσεις τους, αλλά και τα μέλη της επταμελούς μου επιτροπής, κ. Αυλωνίτη, κ. Βλάμο, κ. Κοζύρη και κ. Τσανάκα, οι οποίοι ήταν ιδιαίτερα υποστηρικτικοί και πρόθυμοι να με βοηθήσουν στη διάρκεια των διδακτορικών μου σπουδών. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους αυτούς τους ανθρώπους που βρέθηκαν στον δρόμο μου τα έντεκα αυτά χρόνια της ακαδημαϊκής μου πορείας και μου στάθηκαν με τον τρόπο τους σε ευάλωτες στιγμές, όπου μόνο με βοήθησαν να φτάσω εδώ που είμαι σήμερα και βοήθησαν να διαμορφωθεί η αυριανή μου προσωπικότητα. Τύχη ή επιλογές, νιώθω ευγνωμοσύνη για όλους τους ανθρώπους που με συντρόφευσαν μέχρι τώρα σε αυτό το ταξίδι.

14/10/2023

Καλλιόπη Κασταμπολίδου

Περίληψη

Στα πλαίσια της διδακτορικής έρευνας, γίνεται μια μελέτη κλασικών και κβαντικών παιγνίων και ο συσχετισμός αυτών με μη συμβατικά μοντέλα υπολογισμού. Η Θεωρία Παιγνίων μελετά καταστάσεις με τη μορφή παιχνιδιών και αποτελεί έναν ερευνητικό κλάδο με εφαρμογές σε διάφορα πεδία. Εμπνευσμένη από την κλασική θεωρία, προέκυψε η Κβαντική Θεωρία Παιγνίων, η οποία έχει αυξήσει σημαντικά τις δυνατότητες εφαρμογής και τα αποτελέσματα της κλασικής θεωρίας Παιγνίων. Η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων, επίσης παρακλάδι της κλασικής, αποτελεί κομβικό σημείο για την έρευνα, καθώς προσφέρει εναλλακτικές μεθόδους μοντελοποίησης προβλημάτων του μικρόκοσμου. Τα αυτόματα είναι απλές αλλά εκφραστικές μηχανές με σκοπό την μοντελοποίηση καταστάσεων που αφορούν όλους τους τομείς της θεωρίας παιγνίων, προσφέροντας έναν εναλλακτικό τρόπο οπτικοποίησης και πιο ξεκάθαρες στρατηγικές για την επίλυση προβλημάτων. Η δομή της εργασίας έχει ως εξής: ορισμένοι σημαντικοί όροι περιγράφονται στην εισαγωγή και κατά την ανασκόπηση. Στις επόμενες δύο ενότητες μελετάται το εύρος της κλασικής και κβαντικής εξελικτικής Θεωρίας Παιγνίων και τη σχέση αυτών των πεδίων με μη συμβατικές μεθόδους υπολογισμού. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η υπάρχουσα έρευνα σχετικά με τα εξελικτικά παιχνίδια και τη θεωρία των αυτομάτων, καθώς και τα είδη και την ποικιλία των αυτομάτων που προτείνουν οι ερευνητές για κάθε παιχνίδι, προκειμένου να αναλυθεί και να κατανοηθεί καλύτερα η δομή και τα αποτελέσματα των παιχνιδιών. Τέλος, με βάση την ανάλυση, αναφέρονται οι καινοτομίες και οι ελλείψεις στη βιβλιογραφία.

Λέξεις Κλειδιά: Θεωρία Παιγνίων, Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων, Κβαντική Θεωρία Παιγνίων, Κβαντική Πληροφορική, Θεωρία Αυτομάτων, IBM Qiskit

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες	iii
Περίληψη	v
Πίνακας περιεχομένων	viii
Πίνακας σχημάτων	x
Πίνακας πινάκων	xi
1 Κατάλογος Δημοσιεύσεων που περιλαμβάνονται στη Διατριβή	1
1.1 Δημοσιεύσεις σε Διεθνή Περιοδικά	1
1.2 Δημοσιεύσεις σε Διεθνή Συνέδρια (με κρίση)	3
1.3 Δημοσιεύσεις Κεφαλαίων σε Ακαδημαϊκά βιβλία	4
2 Εισαγωγή	5
2.1 Βασικές επιστημονικές κατευθύνσεις	6
3 Θεωρία Παιγνίων	7
3.1 Το Δίλημμα των Φυλακισμένων	9
3.2 Το πρόβλημα Kolkata Paise Restaurant	10
3.3 Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή	11
3.4 Το καταμελημένο πρόβλημα του εστιατορίου Kolkata Paise [431]	11
4 Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων	17
4.1 Θεωρητικό πλαίσιο	17
4.2 Ιστορική αναδρομή	19
4.3 Μικρόβια και βακτήρια	20
4.4 Παίγνια και βακτήρια	22
4.5 Μια έρευνα για τα εξελικτικά παιχνίδια στη βιολογία	25
4.6 Μικρόβια και τα παιχνίδια που παίζουν[426]	27
4.7 Παίγνια και πρωτεΐνες	27
4.8 Θεωρία Παιγνίων και καρκίνος	29
4.9 Θεωρία Παιγνίων και άλλες αντισυμβατικές προσεγγίσεις στα βιολογικά συστήματα[424]	31
4.10 Η λανθασμένη αναδίπλωση πρωτεΐνης και οι νευροεκφυλιστικές ασθένειες από τη σκοπιά της θεωρίας παιγνίων	32
4.11 Το παράδειγμα των βακτηρίων	35
4.12 Μια σύντομη παρέκκλιση σχετικά με τους ιούς	37
4.13 Πρωτεΐνες και Αμινοξέα	37
4.13.1 Alzheimer	39

4.13.2	Αμυλοείδωση	39
4.13.3	Αθηροσκλήρωση	40
4.14	Συσχέτιση με στοιχεία της Θεωρίας Παιγνίων	40
4.15	Συσχέτιση βιολογικών και ιών υπολογιστών με Ε.Θ.Π.[457]	41
4.15.1	Βιολογικοί ιοί	43
4.15.2	Βακτηριακοί ιοί & Βακτηριοφάγοι	44
4.15.3	Σύγκριση των δύο ιών	47
5	Κβαντική Θεωρία Παιγνίων	51
5.1	Το κλασικό παραδοσιακό παιχνίδι Ταψίλου	52
5.2	Η κβαντική εκδοχή	53
5.3	Κβαντική Θεωρία Παιγνίων και Βιολογία	69
5.4	Διαδικασίες εμπνευσμένες από τη φύση και τα κβαντικά φαινόμενα[619]	70
5.4.1	Βιβλιογραφική επισκόπηση κβαντικά εμπνευσμένων διαδικασιών	72
5.5	Το Δίλημμα των Φυλακισμένων και Βιολογία[429]	73
5.5.1	Κλασική και Κβαντική εκδοχή	76
6	Θεωρία Αυτομάτων	79
6.1	Αυτόματα και Εξελικτική Βιολογία	82
6.2	Αυτόματα και Κβαντική Θεωρία Παιγνίων	82
7	Συζήτηση – Συμπεράσματα – Μελλοντικές επεκτάσεις	85
7.1	Ερευνητικά ερωτήματα και μελλοντικές προεκτάσεις	87
	Βιβλιογραφικές Αναφορές	91
	Πρόσθετη Βιβλιογραφία	105

Πίνακας σχημάτων

Εικόνα 1.	Η τοπολογία στο πρότυπο KPRP.	12
Εικόνα 2.	Η χωροταξική διάταξη που απεικονίζεται σε αυτό το σχήμα απαγορεύεται αυστηρά.	12
Εικόνα 3.	DNA	32
Εικόνα 4.	Animal cell representation.	33
Εικόνα 5.	Plant cell representation	34
Εικόνα 6.	Reverse transcription	36
Εικόνα 7.	Μια τυπική αλληλουχία αμινοξέων	38
Εικόνα 8.	Δομές πρωτεϊνών	39
Εικόνα 9.	Το κέρμα [738]	52
Εικόνα 10.	Η ρίψη του νομίσματος [745]	53
Εικόνα 11.	Περίπτωση 1	54
Εικόνα 12.	Περίπτωση 1	55
Εικόνα 13.	Σύγκριση	55
Εικόνα 14.	Περίπτωση 2	55
Εικόνα 15.	Περίπτωση 2	55
Εικόνα 16.	Σύγκριση	56
Εικόνα 17.	Περίπτωση 3	56
Εικόνα 18.	Περίπτωση 3	56
Εικόνα 19.	Σύγκριση	57
Εικόνα 20.	Περίπτωση 4	57
Εικόνα 21.	Περίπτωση 4	57
Εικόνα 22.	Σύγκριση	58
Εικόνα 23.	Περίπτωση 1	59
Εικόνα 24.	Περίπτωση 1	59
Εικόνα 25.	Σύγκριση	59
Εικόνα 26.	Περίπτωση 2	60
Εικόνα 27.	Περίπτωση 2	60
Εικόνα 28.	Σύγκριση	60
Εικόνα 29.	Περίπτωση 3	60
Εικόνα 30.	Περίπτωση 3	61
Εικόνα 31.	Σύγκριση	61
Εικόνα 32.	Περίπτωση 4	61
Εικόνα 33.	Περίπτωση 4	61
Εικόνα 34.	Σύγκριση	62
Εικόνα 35.	Περίπτωση 1	62
Εικόνα 36.	Περίπτωση 1	63
Εικόνα 37.	Σύγκριση	63

Εικόνα 38.	Περίπτωση 2	63
Εικόνα 39.	Περίπτωση 2	63
Εικόνα 40.	Σύγκριση	64
Εικόνα 41.	Περίπτωση 3	64
Εικόνα 42.	Περίπτωση 3	64
Εικόνα 43.	Σύγκριση	65
Εικόνα 44.	Περίπτωση 4	65
Εικόνα 45.	Περίπτωση 4	65
Εικόνα 46.	Σύγκριση	66
Εικόνα 47.	Οι νικητήριες στρατηγικές του παίκτη	68
Εικόνα 48.	Οι νικητήριες στρατηγικές της μάνας	68
Εικόνα 49.	Ένα απλό DFA αυτόματο για τη ρίψη νομίσματος όπως παρουσιάστηκε στην έρευνα [312]	70
Εικόνα 50.	Ένα απλό DFA αυτόματο για τη ρίψη νομίσματος όπως παρουσιάστηκε στην έρευνα [312]	88

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1.	Το Δίλημμα των Φυλακισμένων	9
Πίνακας 2.	Βακτήρια, Παίγνια και Αναφορές	24
Πίνακας 3.	Πίνακας κέρδους για το παιχνίδι RSP, όπου a, b, c είναι τα κέρδη	24
Πίνακας 4.	Παιχνίδι μεταξύ δύο πρωτεϊνών	28
Πίνακας 5.	Αναπαράσταση του Hawk - Dove	28
Πίνακας 6.	Κυτταρικό παιχνίδι μεταξύ δύο παικτών	29
Πίνακας 7.	Αποτέλεσμα μετά την εφαρμογή $gy(0)$	54
Πίνακας 8.	Αποτέλεσμα μετά την εφαρμογή $gy(1)$	54
Πίνακας 9.	Δεύτερη παραλλαγή του παιχνιδιού	58
Πίνακας 10.	Πίνακας κέρδους του παιχνιδιού “Η μάχη των δύο φύλων”	83

Κεφάλαιο 1

Κατάλογος Δημοσιεύσεων που περιλαμβάνονται στη Διατριβή

Η υποψήφια διδάκτορας κατά τη χρονική διάρκεια εκπόνησης της διατριβής έλαβε μέρος σε διεθνή συνέδρια και προχώρησε στη δημοσίευση άρθρων σε διεθνή περιοδικά με κριτές αλλά και κεφαλαίων σε ακαδημαϊκά βιβλία τα οποία είναι τα ακόλουθα:

1.1 Δημοσιεύσεις σε Διεθνή Περιοδικά

1. Kastampolidou, K., & Andronikos, T. (2023). Quantum Tapsilou - A Quantum Game Inspired by the Traditional Greek Coin Tossing Game Tapsilou. Games (Under Review).

Σε αυτή την εργασία παρουσιάζεται το κβαντικό Ταψίλου, ένα νέο κβαντικό παιχνίδι εμπνευσμένο από το κλασικό παραδοσιακό κερκυραϊκό παιχνίδι ρίψης νομισμάτων Ταψίλου. Παρά την ενισχυμένη πολυπλοκότητα και το εύρος του, το νέο κβαντικό παιχνίδι διατηρεί ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό του κλασικού παιχνιδιού, δηλαδή τη δικαιοσύνη. Στο κλασικό παιχνίδι, και οι δύο παίκτες έχουν 14 τοις εκατό πιθανότητες να κερδίσουν. Στην κβαντική παραλλαγή του, και οι δύο παίκτες έχουν ίσες πιθανότητες να κερδίσουν, αλλά η πιθανότητα να κερδίσουν ποικίλλει σημαντικά με βάση τις προηγούμενες επιλογές. Η εφαρμογή της εμπλοκής μέσω περιστροφικών πυλών αντί των πυλών Hadamard, που αποδίδει καταστάσεις τύπου Bell με διαφορετικά πλάτη πιθανότητας και η ολοκληρωμένη χρήση ομάδων είναι οι δύο πιο σημαντικές καινοτομίες του κβαντικού Ταψίλου. Στο κβαντικό Ταψίλου, και οι δύο παίκτες συμφωνούν σε μια συγκεκριμένη ομάδα κυκλικής περιστροφής της τάξης n , για κάποια αρκετά μεγάλα n , ως ομάδα στην οποία θα βασίζεται το παιχνίδι, με την έννοια ότι και οι δύο παίκτες θα επιλέξουν περιστροφές από αυτήν την ομάδα για να πραγματοποιήσουν τις ενέργειές τους χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες πύλες περιστροφής R_y . Αυτή η παρατήρηση είναι σύμφωνη με ένα πρόσφατο αποτέλεσμα στη βιβλιογραφία που καταδεικνύει τη δικαιοσύνη των συμμετρικών κβαντικών παιχνιδιών στα οποία και οι δύο παίκτες αντλούν τις κινήσεις τους από την ίδια ομάδα.

2. Kostadimas, D., Kastampolidou, K., & Andronikos, T. (2023). A Comparative Analysis of VirLock and Bacteriophage $\phi 6$ Through the Lens of Game Theory. Analytics (Under Review).

Η πρωτοτυπία αυτής της έρευνας πηγάζει από τη σκοπιά της, η οποία προωθεί την ευεργετική σχέση μεταξύ βιολογικών και υπολογιστικών ιών. Η μελέτη των θεωρητικών εννοιών συχνά αλληλεπιδρά με πρακτικές εφαρμογές στον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών.

Υπάρχουν πολλές ομοιότητες μεταξύ των ιών υπολογιστών και των βιολογικών τους ομολόγων. Ως αποτέλεσμα, μια πιο προσεκτική ανάλυση αυτής της συσχέτισης μπορεί να οδηγήσει σε μερικές νέες ιδέες και, πιθανώς, σε νέες διεγερμένες δυνατότητες που θα βοηθήσουν στη συνολική προσπάθεια καταπολέμησης και, ίσως, εξάλειψής τους. Η θεωρία παιγνίων, η οποία θεωρείται από καιρό ως ένα καλό εργαλείο για τη μοντελοποίηση και την ανάλυση της συμπεριφοράς του ιού, παρέχει τη σύνδεση που συνδέει βιολογικούς ιούς και ιούς υπολογιστών. Σε αυτό το άρθρο, εντοπίζουμε ορισμένες, ελπίζουμε σημαντικές, συσχετίσεις μεταξύ ενός πολύ γνωστού ιού υπολογιστών, του VirLock, και του βακτηριοφάγου $\phi 6$. Ο VirLock είναι ένα επικίνδυνο κακόβουλο λογισμικό που κρυπτογραφεί τα αρχεία των χρηστών και απαιτεί χρέωση για την επαναφορά τους. Ανακαλύπτουμε εννοιολογικές ομοιότητες, όπως κοινά χαρακτηριστικά και συμπεριφορές, καθώς και σημαντικές γνώσεις, κάνοντας έναν παραλληλισμό με τον βακτηριοφάγο $\phi 6$, έναν βιολογικό ιό. Ακολουθώντας αυτή τη γραμμή σκέψης, προτείνουμε αποτελεσματικές λύσεις βασισμένες στη θεωρία παιγνίων που ενδέχεται να μειώσουν σημαντικά τα προβλήματα μόλυνσης που δημιουργούνται από τον VirLock και άλλους ιούς με συγκρίσιμα χαρακτηριστικά. Επιπλέον, αναπτύσσουμε μαθηματικές διατυπώσεις που ενσωματώνουν δεδομένα από τον πραγματικό κόσμο, επιτρέποντάς μας να αξιολογήσουμε τη σοβαρότητα της μόλυνσης και να κατασκευάσουμε αποτελεσματικές αμυντικές τακτικές και αναλύσεις. Αυτή η διεπιστημονική μελέτη, η οποία συνδυάζει τη θεωρία παιγνίων, τη βιολογία και την επιστήμη των υπολογιστών, αυξάνει την κατανόησή μας για τη συμπεριφορά του ιού και επιτρέπει την ανάπτυξη αποτελεσματικών αντίμετρων παρουσιάζοντας παράλληλα μια διαφορετική άποψη. Μέσω αυτής της θεωρητικής έρευνας, συμβάλλουμε στη συνεχιζόμενη συζήτηση σχετικά με τη συμπεριφορά των ιών υπολογιστών και εμπνέουμε νέες προσεγγίσεις για την αντιμετώπιση των ψηφιακών κινδύνων.

3. Kastampolidou, K., Papalitsas, C., & Andronikos, T. (2022). The Distributed Kolkata Paise Restaurant Game. *Games*, 13(3), 33.

Το πρόβλημα του εστιατορίου Kolkata Paise είναι ένα δύσκολο παιχνίδι στο οποίο n παίκτες πρέπει να επιλέξουν πού θα φάνε μεσημεριανό γεύμα κατά τη διάρκεια του μεσημεριανού τους διαλείμματος. Το παιχνίδι δεν είναι εύκολο γιατί υπάρχουν ακριβώς n εστιατόρια, καθένα από τα οποία μπορεί να δεχτεί μόνο έναν παίκτη. Ερευνούμε αυτό το ζήτημα από μια νέα προοπτική και παρουσιάζουμε μια δημιουργική τεχνική που οδηγεί σε αυξημένη χρήση. Η υιοθέτηση μιας χωρικά κατανεμημένης προσέγγισης στην οποία τα εστιατόρια είναι ομοιόμορφα διάσπαρτα σε όλη την πόλη επιτρέπει σε κάθε παίκτη να επισκεφτεί πολλά εστιατόρια. Για κάθε παίκτη, το σενάριο είναι παρόμοιο με αυτό του διάσημου ταξιδιώτη πωλητή, ο οποίος πρέπει να υπολογίσει την καλύτερη διαδρομή σε n πόλεις. Δείχνουμε διεξοδικά μοντέλα πιθανοτήτων που επιβεβαιώνουν τα οφέλη αυτής της πολιτικής και την αυξημένη χρήση της. Οι εξισώσεις που δημιουργούνται γενικεύουν προηγουμένως γνωστούς τύπους στη βιβλιογραφία, οι οποίοι μπορούν να θεωρηθούν ως συγκεκριμένα παραδείγματα των ευρημάτων.

4. Andronikos, T., Sirokofskich, A., Kastampolidou, K., Varvouzou, M., Giannakis, K., & Singh, A. (2018). Finite automata capturing winning sequences for all possible variants of the PQ penny flip game. *Mathematics*, 6(2), 20.

Η σχολαστική μελέτη των πεπερασμένων αυτόματων έχει δώσει πολλά σημαντικά και χρήσιμα αποτελέσματα. Τα αυτόματα είναι απλές αλλά αποτελεσματικές μηχανές πεπερασμένης κατάστασης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια πληθώρα καταστάσεων. Ως εκ τούτου, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι έχουν χρησιμοποιηθεί στην κλασική θεωρία παιγνίων για να μοντελοποιήσουν τους παίκτες και τις πράξεις τους. Η θεωρία παιγνίων έχει

πρόσφατα επηρεαστεί από ιδέες από τον τομέα του κβαντικού υπολογισμού. Ως αποτέλεσμα, έχουν ήδη εισαχθεί και μελετηθεί κβαντικές εκδόσεις κλασικών παιχνιδιών. Το παιχνίδι αναστροφής PQ renny είναι ένα διάσημο κβαντικό παιχνίδι που εισήχθη από τον Meyer το 1999. Σε αυτό το άρθρο, διερευνούμε όλα τα πιθανά πεπερασμένα παιχνίδια που μπορούν να παιχτούν μεταξύ των δύο παικτών Q και $Picard$ του αρχικού παιχνιδιού PQ . Για το σκοπό αυτό, καθιερώνουμε μια αυστηρή σύνδεση μεταξύ των πεπερασμένων αυτόματα και του παιχνιδιού PQ μαζί με όλες τις πιθανές παραλλαγές του. Ξεκινώντας από το αυτόματο που αντιστοιχεί στο αρχικό παιχνίδι, κατασκευάζουμε πιο περίτεχνα αυτόματα για ορισμένες επεκτάσεις του παιχνιδιού, πριν τελικά παρουσιάσουμε ένα ημιαυτόματο που αποτυπώνει την εγγενή συμπεριφορά όλων των πιθανών παραλλαγών του παιχνιδιού PQ . Αυτό σημαίνει ότι, από το εν λόγω ημιαυτόματο, ορίζοντας τις κατάλληλες αρχικές καταστάσεις και καταστάσεις αποδοχής, μπορεί κανείς να κατασκευάσει ντετερμινιστικά αυτόματα ικανά να συλλάβει κάθε πιθανό πεπερασμένο παιχνίδι που μπορεί να παιχτεί μεταξύ των δύο παικτών Q και $Picard$.

1.2 Δημοσιεύσεις σε Διεθνή Συνέδρια (με κρίση)

1. Kastampolidou, K., & Andronikos, T. (2021). Microbes and the games they play. In GeNeDis 2020 (pp. 265-271). Springer, Cham.

Η θεωρία παιγνίων είναι μια θεμελιώδης επιστήμη με ποικίλες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της βιολογίας. Η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων είναι ένας σχετικά νέος κλάδος της παραδοσιακής Θεωρίας Παιγνίων που έχει ήδη ένα μεγάλο και αυξανόμενο αποτέλεσμα και αξιοσημείωτα αποτελέσματα. Η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων διερευνά τις αλληλεπιδράσεις πληθυσμών και μικροβίων όπως τα βακτήρια σαν να ήταν παιχνίδια. Αυτό το έργο προσπαθεί να προσφέρει μια πλήρη περιγραφή των παιχνιδιών που παίζουν οι μικροοργανισμοί, ιδιαίτερα τα βακτήρια, σε όλη τους τη ζωή. Θεωρείται ότι αυτή η άποψη θα βελτιώσει την κατανόηση της βιολογίας του μικρόκοσμου και θα ανοίξει νέες επιλογές για σχετική έρευνα.

2. Kostadimas, D., Kastampolidou, K., & Andronikos, T. (2021, November). Correlation of biological and computer viruses through evolutionary game theory. In 2021 16th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation & Personalization (SMAP) (pp. 1-6). IEEE.

Οι ιοί υπολογιστών και οι βιολογικοί ιοί μοιράζονται πολλές ομοιότητες και η συσχέτισή τους μπορεί να προσφέρει νέες ιδέες και ευκαιρίες στον αγώνα για την καταπολέμησή τους, ακόμη και την εξάλειψή τους. Η εξελικτική θεωρία παιγνίων έχει αποδειχθεί μια αποτελεσματική τεχνική για την προσομοίωση ιογενών συμπεριφορών. Αυτή η μελέτη στοχεύει να συνδέσει έναν πολύ γνωστό ιό, τον Virlock, με τον βακτηριοφάγο $\phi 6$. Επιπλέον, η έρευνα παρέχει μερικές αποτελεσματικές τακτικές και πρακτικές μεθόδους για τη μείωση της μόλυνσης από το Virlock και τους συγγενείς ιούς.

3. Papalitsas, C., Kastampolidou, K., & Andronikos, T. (2021). Nature and quantum-inspired procedures—a short literature review. GeNeDis 2020, 129-133.

Ακόμη και πριν οι κβαντικοί υπολογιστές γίνουν γνωστοί στο κοινό, είχαν ήδη εισαχθεί αλγόριθμοι εμπνευσμένοι από κβαντικά και απέκτησαν μια αξία φήμης. Η δύναμή τους έγκειται στην ικανότητά τους να συνδυάζουν καινοτόμα χαρακτηριστικά και ανώτερα αποτελέσματα. Στα σχεδόν 20 χρόνια που υπάρχει το πεδίο, έχει επιτευχθεί ένας τεράστιος αριθμός αποτελεσμάτων. Αυτό το κεφάλαιο είναι μια προσπάθεια να δοθεί μια συνοπτική αλλά

περιεκτική ανασκόπηση της τρέχουσας κατάστασης στον τομέα της μεταευρετικής που βασίζεται σε κβαντική έμπνευση, ιδιαίτερα προσανατολισμένη προς εκείνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υπάρχοντες κβαντικούς υπολογιστές.

4. Kastampolidou, K., Nikiforos, M. N., & Andronikos, T. (2020). A brief survey of the prisoners' dilemma game and its potential use in biology. *GeNeDis 2018*, 315-322.

Το Prisoners' Dilemma είναι ένα πολύ γνωστό παιχνίδι στη θεωρία παιγνίων με πολλές παραλλαγές και εφαρμογές σε διάφορους τομείς. Η προσθήκη κβαντικών στρατηγικών σε αυτό το παιχνίδι ανοίγει νέες δυνατότητες και αλλάζει σημαντικά τις ισορροπίες του παιχνιδιού.

5. Kastampolidou, K., & Andronikos, T. (2020). A survey of evolutionary games in biology. *GeNeDis 2018*, 253-261.

Οι εφαρμογές της θεωρίας παιγνίων στη βιολογία είναι πολυάριθμες και περιλαμβάνουν τη σύγκριση και τη μοντελοποίηση καταστάσεων μεταξύ βακτηρίων, ιών κ.λπ. στη μελέτη τέτοιων φαινομένων. Ειδικότερα, η εισαγωγή των αυτομάτων φέρνει νέες δυνατότητες στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

1.3 Δημοσιεύσεις Κεφαλαίων σε Ακαδημαϊκά βιβλία

1. Adam, S., Karastathis, P., Kostadimas, D., Kastampolidou, K., & Andronikos, T. (2023). Protein misfolding and neurodegenerative diseases: A game theory perspective. In *Handbook of Computational Neurodegeneration* (pp. 1-12). Cham: Springer International Publishing.

Ο σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να παρέχει μια εισαγωγικού επιπέδου αλλά περιεκτική έρευνα σχετικά με τη δυνατότητα προβολής και ερμηνείας βιολογικών καταστάσεων, μερικές από τις οποίες αναφέρονται σε ιδιαίτερα σημαντικές έννοιες, όπως η κακή αναδίπλωση πρωτεΐνης και οι νευροεκφυλιστικές ασθένειες, από τη σκοπιά της Θεωρίας Παιγνίων. και, ειδικά, την Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων. Η ικανότητα της Εξελικτικής Θεωρίας Παιγνίων να αιτιολογεί τη δυναμική της εξέλιξης του πληθυσμού σε αφηρημένα γενικά πλαίσια μπορεί να αποτελέσει ένα κατάλληλο πλαίσιο για τη μελέτη των μοτίβων συμπεριφοράς μικροοργανισμών, όπως βακτήρια, ιοί, πρωτεΐνες και αμινοξέα. Ελπίζεται ότι, λόγω της κρίσιμης και απειλητικής φύσης των ασθενειών που προκαλούνται από την κακή αναδίπλωση των πρωτεϊνών, αυτή η διαφορετική προοπτική που μπορεί να αποκτηθεί με τη χρήση θεωρητικών εργαλείων παιγνίων μπορεί να οδηγήσει σε χρήσιμες νέες ιδέες που θα προωθήσουν την έρευνα σε αυτόν τον τομέα.

2. Kastampolidou, K., & Andronikos, T. (2021). Game theory and other unconventional approaches to biological systems. In *Handbook of Computational Neurodegeneration* (pp. 1-18). Cham: Springer International Publishing.

Οι αρχές της Θεωρίας Παιγνίων μπορεί να ισχύουν για πολλά προβλήματα στη βιολογία, προσφέροντας μια εναλλακτική προσέγγιση και πρόσθετη γνώση. Η μοντελοποίηση βιολογικών συστημάτων και καταστάσεων σύμφωνα με τους κανόνες της Θεωρίας Παιγνίων έχει ως αποτέλεσμα την κατανόηση της συμπεριφοράς των οργανισμών σε αυτές τις καταστάσεις. Οι οργανισμοί που μελετώνται σε αυτό το κεφάλαιο είναι τα μικρόβια, τα βακτήρια και τα κύτταρα. Το πεδίο της Εξελικτικής Θεωρίας Παιγνίων προσπαθεί να κατανοήσει τους τρόπους που χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση της βιωσιμότητας των πληθυσμών, της διαφορετικότητας και πολλών άλλων σημαντικών συμπεριφορών. Αυτή η έρευνα στοχεύει να παρέχει μια ολοκληρωμένη έκθεση βασικών σκευασμάτων στο πλαίσιο των παιχνιδιών και να παρουσιάσει επιλεγμένα μικροβιακά συστήματα.

Κεφάλαιο 2

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό αποσαφηνίζονται όλες οι απαραίτητες έννοιες, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στην πορεία, παρουσιάζονται προηγούμενες έρευνες αναφορικά με τις έννοιες αυτές και γίνεται μια βιβλιογραφική αναφορά στα πεδία με τα οποία ασχολούνται τα επόμενα κεφάλαια. Παρουσιάζονται οι κύριες βιβλιογραφικές αναφορές που καθόρισαν τα πεδία προς ανάπτυξη και γίνεται η συσχέτισή τους με αυτές τις έννοιες.

Στα πλαίσια της διδακτορικής έρευνας, έγινε μια μελέτη κλασικών και κβαντικών παιγνίων και μια προσπάθεια συσχετισμού αυτών με μη συβατικά μοντέλα υπολογισμού. Η Θεωρία Παιγνίων μελετά καταστάσεις με τη μορφή παιχνιδιών και αποτελεί έναν ερευνητικό κλάδο με εφαρμογές σε διάφορα πεδία. Εμπνευόμενη από την κλασική Θεωρία, προέκυψε η Κβαντική Θεωρία Παιγνίων, η οποία έχει αυξήσει σημαντικά τις δυνατότητες εφαρμογής και τα αποτελέσματα της κλασικής Θεωρίας Παιγνίων. Η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων, επίσης παρακλάδι της κλασικής, αποτελεί κομβικό σημείο για την έρευνα, καθώς προσφέρει εναλλακτικές μεθόδους μοντελοποίησης προβλημάτων του μικρόκοσμου. Τα αυτόματα είναι απλές αλλά εκφραστικές μηχανές με σκοπό την μοντελοποίηση καταστάσεων που αφορούν όλους τους τομείς της θεωρίας παιγνίων, προσφέροντας έναν εναλλακτικό τρόπο οπτικοποίησης και επιτρέπει να ξεχωρίζουν οι πιο ξεκάθαρες στρατηγικές για την επίλυση προβλημάτων.

Το κύριο αντικείμενο της κλασικής Θεωρίας Παιγνίων είναι η μελέτη κλασικών παιγνίων, με σκοπό την προσομοίωση καταστάσεων και προβλημάτων που αφορούν και συναντώνται σε διάφορες επιστήμες. Ενδεικτικά και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η Θεωρία Παιγνίων χρησιμοποιείται κατά κόρον στις οικονομικές επιστήμες και έχει εφαρμογές σε πολιτικά προβλήματα, κοινωνικά, βιολογικά, ακόμα και ψυχολογικά.

Η κβαντοποίηση των γνωστών ως τώρα κλασικών παιχνιδιών, ωστόσο, ήταν η αφορμή για να επεκταθεί ακόμα περισσότερο το πεδίο αυτό. Η εισαγωγή εννοιών και όρων της κβαντομηχανικής στη Θεωρία Παιγνίων έπαιξε καθοριστικό ρόλο στις επιλογές και τις στρατηγικές που μπορούν να ακολουθήσουν οι παίκτες στην πορεία του παιχνιδιού και πρόσφερε στον κλάδο μια μαθηματική και εννοιολογική ενίσχυση. Ως συνέπεια το αποτέλεσμα του κβαντικού παιγνίου διαφοροποιείται από το αποτέλεσμα του αντίστοιχου κλασικού παιχνιδιού, όπου οι παίκτες μπορούν να χρησιμοποιήσουν μόνο κλασικές στρατηγικές.

Από τη μελέτη της βιβλιογραφίας προέκυψαν και πτυχές της Θεωρίας Παιγνίων, όπως η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων (Evolutionary Game Theory) με εφαρμογές στη βιολογία, όπου οι διάφορες καταστάσεις της φύσης και των οργανισμών αντιμετωπίζονται ως παιχνίδι. Οι παίκτες σε αυτές τις περιπτώσεις είναι οργανισμοί ή μικροοργανισμοί και συνεπώς δεν δρουν βάσει λογικής, αλλά σύμφωνα με το ένστικτο.

Τα μη συβατικά μοντέλα υπολογισμού, όπως είναι τα αυτόματα, προσφέρουν μια διαφορετική οπτική στην μοντελοποίηση και οπτικοποίηση προβλημάτων, καθώς μπορεί να εμφανιστούν στρατηγικές και λύσεις προβλημάτων, οι οποίες δεν θα μπορούσαν να παρουσιαστούν εμφανώς με διαφορετικό τρόπο. Κυρίως, υπερτερούν ως προς τον κατανοητό τρόπο αναπαράστασης του

προβλήματος, το οποίο αυτομάτως το καθιστά και επιλύσιμο.

2.1 Βασικές επιστημονικές κατευθύνσεις

Τις τελευταίες δεκαετίες, η Θ.Π. έχει εφαρμοστεί σε άλλους τομείς και αυτό είχε ως αποτέλεσμα η Θ.Π. να επεκταθεί με νέες ιδέες. Τα κβαντικά και τα εξελικτικά παιχνίδια έχουν αναπτυχθεί και αυτό έχει προσελκύσει ερευνητές από διάφορους τομείς, όπως η επιστήμη των υπολογιστών, η κβαντική φυσική και η βιολογία. η Θ.Π. είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στη βιολογία και χρησιμοποιείται ευρέως στις μέρες μας για την κατανόηση της δυναμικής του πληθυσμού.

Ο κβαντικός υπολογισμός αποτελεί μεταγενέστερο πεδίο της Θεωρίας Παιγνίων και έχει προσελκύσει ιδιαίτερα τα βλέμματα και το ενδιαφέρον του κοινού, λόγω των κβαντικών υπολογιστικών μηχανών στις οποίες έχουν πλέον πρόσβαση οι ερευνητές σε όλο τον κόσμο μέσω των cloud υπηρεσιών. Αυτές τις δυνατότητες οι ερευνητές δεν τις είχαν τα προηγούμενα χρόνια και αφορούν τον προγραμματισμό των θεωριών τους και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτές τις μηχανές, ακόμη και αν φαίνεται να είναι ακόμη σε πρώιμο στάδιο. Η πολυπλοκότητά τους έχει οδηγήσει σε αύξηση της αποδοτικότητας και σε γρηγορότερους υπολογισμούς.

Το νεοσύστατο σχετικά πεδίο της κβαντικής Θεωρίας Παιγνίων αφορά την εφαρμογή κβαντικών τεχνικών και μεθόδων σε κλασικά παιχνίδια. Συγκεκριμένα, έχουν γίνει δημοσιεύσεις κβαντοποίησης για παιχνίδια όπως το στρίψιμο του νομίσματος, το δίλημμα των κρατούμενων, η μάχη των φύλων και άλλα. Πρωτοπόρος του κλάδου θεωρείται ο Meyer το 1999[537], όπου κβαντοποίησε το γνωστό παιχνίδι με το στρίψιμο του νομίσματος.

Η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων (Evolutionary Game Theory) προέκυψε από τη μελέτη της βιολογικής εξέλιξης. Για ένα εξελικτικό παιχνίδι είναι αναγκαίος ένας πληθυσμός και ένας τρόπος για τον πληθυσμό να εξελιχθεί μέσα στο χρόνο, μια εξελικτική δυναμική. Η εξελικτική θεωρία των παιχνιδιών, όπως την γνωρίζουμε σήμερα, ξεκίνησε τη δεκαετία του 1960[352]. Ο John Maynard Smith ήταν ο πρώτος γενετιστής που προσπάθησε να μοντελοποιήσει τη δυναμική των βιολογικών συστημάτων από την άποψη της θεωρίας των παιχνιδιών[713][349].

Σε αυτή τη νέα έκδοση της Θ.Π. ορισμένες έννοιες παραμένουν οι ίδιες, ενώ άλλες έχουν παρουσιαστεί για πρώτη φορά. Οι *φυσική επιλογή* και *κέρδος σε Δαρβινική φυσική κατάσταση* είναι τα υποκατάστατα του ορθολογισμού και της ανταμοιβής, αντίστοιχα.

Αυτή η προσθήκη στην κλασική Θ.Π. έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα παραγωγική επειδή στην πραγματική ζωή οι παίκτες δεν επιδεικνύουν σταθερά ορθολογική συμπεριφορά, αλλά συχνά ενεργούν με βάση το ένστικτο. Ωστόσο, πολλοί ερευνητές παρουσιάζουν τις βιολογικές οντότητες ως «έξυπνες». Στο [511] πιστεύεται ότι τα βακτήρια είναι έξυπνα και μπορούν να προσαρμοστούν σε στρατηγικές επιβίωσης που βασίζονται σε ηλεκτρικές ή χημικές επικοινωνίες. Τα βακτήρια μπορούν να μοντελοποιηθούν ως μεμονωμένοι παράγοντες, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις μπορούν επίσης να θεωρηθούν ως πολυκύτταρος οργανισμός και να δρουν ως τέτοιοι. Συνεργάζονται για να επιβιώσουν και άρα να κερδίσουν.

Τα αυτόματα είναι σχετικά απλές μηχανές πεπερασμένων καταστάσεων αλλά αποτελεσματικές και ικανές να προσομοιώσουν διάφορες καταστάσεις. Στην κλασική θεωρία παιγνίων έχουν χρησιμοποιηθεί με σκοπό να διαμορφώσουν τους παίκτες και τις στρατηγικές τους. Με τη βοήθεια των αυτομάτων μπορεί να παρουσιαστούν και να αναλυθούν διάφορα πεπερασμένα παιχνίδια, καθορίζοντας ανάλογα τις καταστάσεις του αυτομάτου. Ο Neyman[579] ήταν από τους πρώτους που συσχέτισε τη θεωρία αυτομάτων με τη Θεωρία Παιγνίων, με σκοπό να αναδείξει τις διαθέσιμες στρατηγικές των παικτών.

Φαίνεται ότι τα αυτόματα είναι αποτελεσματικά διότι μεγιστοποιούν το κέρδος του κάθε παίκτη, ιδιαίτερα στα κλασικά επαναλαμβανόμενα παιχνίδια[100],[518]. Εκτός από τα πεπερασμένα αυτόματα, έχουν προταθεί και άλλα είδη αυτομάτων που εξυπηρετούν τους σκοπούς της Θεωρίας Παιγνίων. Τα πιθανοτικά αυτόματα, τα κυτταρικά και τα αυτόματα πλέγματος είναι κάποια από αυτά.

Κεφάλαιο 3

Θεωρία Παιγνίων

Η Θεωρία Παιγνίων (Θ.Π. για συντομία) είναι το κατεξοχήν πεδίο που ασχολείται με τη μελέτη και την κατανόηση συμπεριφορών και αλληλεπιδράσεων μεταξύ δύο ή περισσότερων οντοτήτων, οι οποίες ονομάζονται *παίκτες*. Είναι ένα μαθηματικό πλαίσιο το οποίο στοχεύει στην κατανόηση των ανταγωνιστικών παικτών και των αποφάσεών τους σε καταστάσεις σύγκρουσης. Σκοπός αυτού του πεδίου είναι η εις βάθος μελέτη των αποδόσεων για κάθε παίκτη ανάλογα με τις επιλογές του κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού, σύμφωνα δηλαδή με τη στρατηγική που θα ακολουθήσει. Κατά κύριο λόγο, η Θ.Π. ασχολείται με περιπτώσεις σύγκρουσης μεταξύ παικτών σε ένα παιχνίδι και τα οφέλη που μπορεί να έχει κάθε παίκτης από τις κινήσεις που θα ακολουθήσει. Αυτός ο κλάδος ακολουθεί την πορεία σκέψης των παικτών ξεχωριστά και μοντελοποιεί τις επιλογές τους με μαθηματικά εργαλεία.

Επειδή η μελέτη της συμπεριφοράς είναι μια δύσκολη υπόθεση, η μοντελοποίηση ενός υπό μελέτη προβλήματος με τη μορφή ενός παιχνιδιού δίνει αυτόματα μια σαφέστερη και πιο κατανοητή μορφή στο πρόβλημα. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι τα παιχνίδια είναι μια από τις παλαιότερες έννοιες με τις οποίες είναι εξοικειωμένοι οι άνθρωποι. Η Θ.Π. ασχολείται με καταστάσεις συνεργασίας και ανταγωνισμού μεταξύ των εμπλεκόμενων.

Ο κύριος σκοπός της Θ.Π. είναι να χρησιμοποιήσει έναν μαθηματικό συλλογισμό και αντίστοιχα εργαλεία προκειμένου να αναλύσει τη διαδικασία σκέψης και τους μηχανισμούς που χρησιμοποιεί η κάθε οντότητα που προσδιορίζεται ως παίκτης, σε σενάρια σκληρών ανταγωνισμών. Συγκεκριμένα, η μοντελοποίηση κινείται γύρω από τα κίνητρα που καθοδηγούν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων κάθε παίκτη και τη συλλογιστική πορεία που θα ακολουθήσει, προκειμένου να καταλήξει στη στρατηγική που θα βοηθήσει να κερδίσει στην κατάσταση που βρίσκεται, χρησιμοποιώντας μαθηματικά εργαλεία. Ο σκοπός αυτού του πεδίου είναι η κατανόηση του κινήτρου και του σκεπτικού πίσω από τις ενέργειες πολλών οντοτήτων [781].

Τα παιχνίδια είναι μια αρχετυπική έννοια ριζωμένη στην ανθρώπινη φύση και η Θ.Π. εκμεταλλεύεται αυτήν την έννοια για να μοντελοποιήσει καταστάσεις σύγκρουσης προκειμένου να καθορίσει την ανάπτυξη ανταγωνισμού ή συνεργασίας μεταξύ των εμπλεκόμενων πρακτόρων. Μία από τις κύριες προϋποθέσεις της Θ.Π. είναι ο ορθολογισμός των παικτών, ο οποίος με τη σειρά του υπονοεί ότι επιλέγουν τη στρατηγική τους - την πορεία των ενεργειών τους - με βάση το προσωπικό τους συμφέρον. Στόχος τους είναι να μεγιστοποιήσουν την απόδοσή τους - το κέρδος τους - επιλέγοντας την καλύτερη στρατηγική. Με τη βοήθεια της Θ.Π., κάθε παίκτης γνωρίζει και υπολογίζει τα πιθανά αποτελέσματα και τις καλύτερες επιλογές σε κάθε περίπτωση. Είναι για αυτούς τους λόγους που η Θ.Π. είναι ιδιαίτερα δημοφιλής σε επιστήμες όπως η πολιτική, η οικονομία, τα δίκτυα, η ψυχολογία και τα κοινωνικά διλήμματα, καθώς και στη βιολογία.

Η Θεωρία Παιγνίων είναι η μελέτη της λήψης αποφάσεων ανταγωνιστικών παικτών σε μια κατάσταση σύγκρουσης. Ο σκοπός αυτού του πεδίου είναι να ερμηνεύσει τη δημιουργία και την ανάπτυξη συγκρουσιακών ή συνεργατικών συμπεριφορών μεταξύ μιας ομάδας ατόμων που συμπεριφέρονται ορθολογικά και στρατηγικά σύμφωνα με τα προσωπικά τους ενδιαφέροντα. Κάθε

μέλος της ομάδας προσπαθεί να μεγιστοποιήσει την ευημερία, το κέρδος, το κοινό όφελος ή τις απολαβές του επιλέγοντας την καλύτερη πορεία στρατηγικών από συνεταιριστική ή ατομική σκοπιά. Η ανάλυση και η κατανόηση της λήψης αποφάσεων κάθε παίκτη, καθώς και ο υπολογισμός των οφελών και των κερδών τους, περιλαμβάνεται στην έννοια της Θ.Π.. Καθορίζονται όλες οι πιθανές καταστάσεις καθώς και οι καλύτερες επιλογές για κάθε παίκτη. Αυτός είναι ο λόγος που χρησιμοποιείται ευρέως σε τόσες διαφορετικές μεταξύ τους επιστήμες. Η Θ.Π. παρουσιάζει αυτές τις καταστάσεις με εύκολα κατανοητές μορφές και ορισμούς (όπως είναι ένα παιχνίδι). Τα παιχνίδια είναι ένας απλός, αλλά περιεκτικός τρόπος μοντελοποίησης προβληματικών καταστάσεων. Ως εκ τούτου, είναι χρήσιμα εργαλεία για την αναπαράσταση καταστάσεων όπου πρέπει να ληφθούν σημαντικές αποφάσεις, οι οποίες, σε αντάλλαγμα, θα οδηγήσουν σε ένα αποτέλεσμα. Ένα παιχνίδι είναι μια αναπαράσταση καταστάσεων μεταξύ ανθρώπων και οντοτήτων. Αυτές οι καταστάσεις χαρακτηρίζονται από συνεργασία ή απεμπλοκή μεταξύ των εμπλεκόμενων που συμμετέχουν. Κάθε παίκτης έχει μια σειρά από στρατηγικές από τις οποίες μπορεί να επιλέξει, προκειμένου να επιτύχει την καλύτερη απόδοση και να μεγιστοποιήσει τα κέρδη του.

Μια βοηθητική συνάρτηση καθορίζει την απόδοση για κάθε παίκτη, σύμφωνα με τη στρατηγική που ακολουθεί κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού. Ο στόχος είναι να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση σε σύγκριση με τους αντιπάλους. Ο πίνακας πληρωμών είναι η κοινή αναπαράσταση των κερδών για τους παίκτες σε ένα παιχνίδι. Η κατάσταση όπου οι κινήσεις των παικτών οδηγούν σε ίση ανταμοιβή για όλους, χωρίς απαραίτητα να είναι η μέγιστη, θεωρείται ότι είναι Ισορροπία Nash (NE) [569], [555]. Το NE είναι μια κομψή προσέγγιση για την εύρεση της καλύτερης στρατηγικής και είναι μια θεμελιώδης ιδέα στη Θ.Π..

Τα βασικά στοιχεία στη Θ.Π., όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι οι παίκτες, η στρατηγική που αποφασίζει να ακολουθήσει ο καθένας και η ανταμοιβή κάθε παίκτη, η οποία καθορίζεται από μια συνάρτηση χρησιμότητας. Ωστόσο, για να μελετήσουμε ένα εξελικτικό παιχνίδι είναι απαραίτητο να συμπεριλάβουμε σε αυτά τα συστατικά ένα άλλο βασικό μέρος, έναν πληθυσμό με τη δυνατότητα και τη δυναμική να εξελιχθεί στο χρόνο. Η φυσική κατάσταση και η ευεξία είναι απαραίτητα για την EGT και οι απολαβές μεταφράζονται σε επιτυχημένη αναπαραγωγή [353]. Επίσης, η φυσική κατάσταση του ατόμου μπορεί να οριστεί από τον αριθμό των απογόνων. Σε πληθυσμούς, παρατηρείται ότι οι υψηλότερες αποδόσεις υπερισχύουν των άλλων και οι στρατηγικές εξαρτώνται από τη συμπεριφορά των παικτών. Οι στρατηγικές είναι επίσης αρκετά διαφορετικές από το κλασικό GT. Είναι κληρονομικά προγράμματα με εφαρμογές σε κάθε πιθανή κατάσταση βάσει της οποίας συμπεριφέρεται το άτομο. Σε ένα παιχνίδι EGT, οι στρατηγικές μπορούν να αντικατασταθούν λόγω μετάλλαξης ή επιλογής με μεγαλύτερη αναπαραγωγική επιτυχία. Οι στρατηγικές του ατόμου δεν έχουν σημασία σε έναν πληθυσμό, αλλά η πιθανότητα να παίξει οποιαδήποτε στρατηγική και η σχετική συχνότητα των ενεργειών είναι ένα βασικό μέρος [590].

Άλλες βασικές έννοιες τόσο στη Θ.Π. όσο και στη βιολογία, είναι οι λέξεις γονότυπος και φαινότυπος. Γονότυπος είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη γενετική δομή ενός ατόμου. Ο φαινότυπος περιγράφει τη μορφολογία και τα χαρακτηριστικά συμπεριφοράς του ατόμου. Η σύνδεσή τους έγκειται στο γεγονός ότι πολλοί γονότυποι θα μπορούσαν να σχηματίσουν τον ίδιο φαινότυπο. Στην EGT υπάρχουν φαινοτυπικά μοντέλα που βασίζονται σε φαινότυπους [353].

Η Ε.Θ.Π. έχει επίσης την έννοια της ισορροπίας, με τη μορφή της «Εξελικτικής Σταθερής Στρατηγικής» (ESS) που εισήχθη από τους J. Smith και G. Price στο [712]. Παρόμοια με την ιδέα της NE, η ESS είναι μια στρατηγική που εάν υιοθετηθούν από όλα τα άτομα του πληθυσμού, όλες οι στρατηγικές μεταλλάξεων αποκλείονται από τον πληθυσμό. Τα ESS είναι σταθερά αποτελέσματα των διαδικασιών φυσικής επιλογής. η Ε.Θ.Π. μελετά πληθυσμούς και είναι λογικό να υποθέσει ότι τα άτομα αυτών των πληθυσμών μπορεί να εμπλέκονται σε πολλούς διαφορετικούς αγώνες με διαφορετικούς πληθυσμούς. Υπάρχουν δύο είδη παιχνιδιών στο EGT, τα στατικά και τα δυναμικά παιχνίδια [143]. Στα στατικά παιχνίδια οι πληθυσμοί παίζουν παιχνίδια δύο παικτών ενάντια σε τυχαία επιλεγμένους αντιπάλους και το παιχνίδι μπορεί να περιγραφεί από μια μήτρα με ESS. Αλλά οι πληθυσμοί τείνουν να εξελίσσονται δυναμικά και αυτό μπορεί να συμπεριληφθεί

στο EGT με τη βοήθεια της εξίσωσης συνεχούς αναπαραγωγής που εισήγαγαν οι Taylor και Jonker στο [749] and [373] [143].

Μια εξίσωση αντιγραφείας είναι χρήσιμη όταν ένα μοντέλο GT συνδυάζεται με τη συμπεριφορά σε συγκρούσεις ζώων και την εξελικτική του δυναμική. Ως αποτέλεσμα, πολλές βιολογικές διεργασίες μπορούν να μοντελοποιηθούν στην κοινωνικοβιολογία, τη γενετική πληθυσμού, τη μαθηματική οικολογία και την εξέλιξη των πρεβιοτικών [133]. Η δυναμική του αντιγραφείας, η οποία είναι η πιο κοινή στην εξελικτική δυναμική, καθιερώθηκε από τον Bomze στο [133] και είναι εφαρμόσιμη για να εξηγήσει τις συμπεριφορές της εξέλιξης των ζώων. Η δυναμική του αντιγραφείας έχει συχνά το NE ως σταθερά σταθερά σημεία [367].

3.1 Το Δίλημμα των Φυλακισμένων

Οι ερευνητές χρησιμοποιούν την Θ.Π. για να κατανοήσουν καλύτερα και ευκολότερα τη λογική και τα κίνητρα των παικτών, ποια κίνητρα τους ωθούν να αντιδράσουν με τέτοιους τρόπους. Επομένως, μεταξύ άλλων, η Θ.Π. ασχολείται με τη μελέτη της συμπεριφοράς των παικτών σε ένα παιχνίδι. Η Θ.Π. πρωτοεμφανίστηκε στον τομέα των οικονομικών και το κλασικό βιβλίο που θεωρείται το θεμέλιο, είναι αυτό των John von Neumann και Oskar Morgenstern [781]. Αυτό το βιβλίο αναφέρει για πρώτη φορά τον όρο *συνεργατικά παιχνίδια* και το 1950 για πρώτη φορά το πιο κλασικό παιχνίδι της Θ.Π., το Δίλημμα των Φυλακισμένων - Prisoners' Dilemma (PD) - περιγράφηκε στο [283]. Έκτοτε έχουν προταθεί διάφορες εκδοχές του παιχνιδιού αυτού, πολλές από τις οποίες επικεντρώνονται σε πεπερασμένες ή άπειρες επαναλήψεις γύρων ή και σε επέκταση του αριθμού των παικτών, καθώς και σε άλλες παραλλαγές, αλλά η κύρια πρόκληση παραμένει η ίδια: η κατανόηση της έννοιας της συνεργασίας σε τέτοια παιχνίδια [74].

Η μαθηματική αναπαράσταση για το κέρδος (payoff) ανά παίκτη γίνεται με τη μορφή μιας συνάρτησης χρησιμότητας και οι αποδόσεις που περιλαμβάνονται σε αυτήν υπολογίζονται με μαθηματικές εξισώσεις σύμφωνα με τις συμπεριφορές όλων των παικτών. Στόχος του κάθε παίκτη, φυσικά, είναι να έχει το υψηλότερο κέρδος σε σχέση με τους άλλους. Αυτά τα αποτελέσματα τυπικά αναπαρίστανται από έναν πίνακα κερδών. Η περίπτωση στην οποία όλοι οι παίκτες καταλήγουν να έχουν την ίδια ανταμοιβή χωρίς να είναι απαραίτητα η υψηλότερη δυνατή, είναι η Ισορροπία Nash (Nash Equilibrium, NE) του παιχνιδιού [569]. Η ισορροπία Nash αποτελεί μία από τις θεμελιώδεις έννοιες της Θ.Π..

Φυλακισμένος 2	Φυλακισμένος 1	
	Προδοσία	Μεγαλύτερη ποινή/Αποφυλάκιση
	Αποφυλάκιση/Μεγαλύτερη ποινή	Συνεργασία

Πίνακας 1. Το Δίλημμα των Φυλακισμένων

Το Δίλημμα των Φυλακισμένων (PD) παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1950 ως πείραμα από δύο μαθηματικούς της RAND Corporation. Σε αυτό το παιχνίδι υπάρχουν δύο παίκτες, οι οποίοι έχουν συλληφθεί για κακούργημα, αλλά τα στοιχεία σε βάρος τους δεν είναι αρκετά και θα πρέπει να ομολογήσουν. Οι δύο κρατούμενοι κρατούνται σε χωριστά κελιά και ο εισαγγελέας απευθύνει και στους δύο την ίδια προσφορά. Αν ο ένας σιωπήσει ενώ ο άλλος ομολογήσει, ο πρώτος αποφυλακίζεται και ο δεύτερος τιμωρείται με τη μεγαλύτερη δυνατή ποινή φυλάκισης. Αν ομολογήσουν και οι δύο, πηγαίνουν και οι δύο φυλακή, αλλά με πιθανότητα μικρότερης ποινής. Εάν κανένας από τους δύο δεν ομολογήσει, και οι δύο τιμωρούνται με τις χαμηλότερες ποινές. Κάθε κρατούμενος αναρωτιέται πώς θα αντιδράσει ο άλλος, καθώς δεν έχουν τρόπο επικοινωνίας και επομένως δεν γνωρίζουν την απόφασή του άλλου. Το δίλημμα βρίσκεται στο ότι ανεξάρτητα από την απόφαση του άλλου, το καλύτερο αποτέλεσμα προκύπτει αν ομολογήσει. Ωστόσο, αν ομολογήσουν και οι δύο, η τιμωρία είναι μεγαλύτερη σε σχέση με το αν έμειναν και οι δύο σιωπηλοί. Κάθε παίκτης έχει

την επιλογή είτε της Συνεργασίας (Cooperation) είτε της Προδοσίας (Defect). Η αμοιβαία σιωπή είναι το μόνο NE σε αυτό το παιχνίδι.

3.2 Το πρόβλημα Kolkata Paise Restaurant

Το Πρόβλημα *Kolkata Paise Restaurant*, καθώς και το *Minority Game*, είναι παραλλαγές του προβλήματος του El Farol Bar. Το *Minority Game* εισήχθη για πρώτη φορά το 1997 από τους Damien Challet και Yi-Cheng Zhang [163]. Ανέπτυξαν τη μαθηματική διατύπωση του El Farol Bar και το ονόμασαν *Minority Game*. Αυτό το παιχνίδι έχει έναν αριθμό N παικτών και σε κάθε στάδιο του παιχνιδιού αποφασίζουν αν θα πάνε στο μπαρ ή θα μείνουν σπίτι. Η μειοψηφία κερδίζει και η πλειοψηφία χάνει. Οι παίκτες πρέπει να αποφασίσουν αν θέλουν να πάνε στο μπαρ ή όχι, ανεξάρτητα από τις προβλέψεις για το μέγεθος της παρουσίας. Φυσικά, τίθεται ο περιορισμός ότι δεν μπορούν να διαλέξουν όλοι οι παίκτες την μία ή την άλλη επιλογή, αλλά σε ένα ποσοστό πρέπει να μοιραστούν στις επιλογές, χωρίς προηγουμένως να έχουν συνεννοηθεί μεταξύ τους. Το παιχνίδι μειοψηφίας είναι μια δυαδική συμμετρική έκδοση του προβλήματος El Farol Bar, με τη συμμετρία να βασίζεται στο γεγονός ότι το μπαρ μπορεί να περιέχει τους μισούς παίκτες.

Το πρόβλημα του εστιατορίου Kolkata Paise (KPRP για συντομία) είναι ένα επαναλαμβανόμενο παιχνίδι που πήρε το όνομά του από την πόλη Καλκούτα στην Ινδία. Στο KPRP υπάρχουν n φθηνά εστιατόρια (Paise Restaurants) και N εργάτες που επιλέγουν ανάμεσα σε αυτά τα μέρη για το γρήγορο μεσημεριανό τους διάλειμμα. Αν το εστιατόριο στο οποίο πηγαίνουν έχει κόσμο, πρέπει να επιστρέψουν στη δουλειά τους πεινασμένοι, αφού δεν προλαβαίνουν να επισκεφτούν άλλο εστιατόριο.

Αυτή η γενίκευση του El Farol Bar περιγράφεται ως εξής: καθένας από έναν μεγάλο αριθμό N εργατών πρέπει να επιλέξει ανάμεσα σε έναν μεγάλο αριθμό n εστιατορίων, όπου συνήθως $N = n$. Για να κερδίσει ένας παίκτης, δηλαδή να φάει μεσημεριανό, μόνο ένας παίκτης πρέπει να πάει σε κάθε εστιατόριο. Εάν δύο ή περισσότεροι παίκτες παρευρίσκονται στο ίδιο εστιατόριο την ίδια στιγμή, επιλέγεται τυχαία ένας παίκτης και εξυπηρετείται μόνο αυτός. Ο παίκτης που μπορεί να φάει έχει κέρδος ίσο με 1, ενώ όλοι οι άλλοι που επέλεξαν επίσης αυτό το εστιατόριο έχουν κέρδος ίσο με 0. Κάθε παίκτης προτιμά να πάει σε ένα εστιατόριο που δεν λειτουργεί, παρά να επισκεφτεί ένα εστιατόριο όπου υπάρχουν και άλλοι παίκτες. Αυτή η συνειδητοποίηση με τη σειρά της συνεπάγεται ότι οι καθαρές στρατηγικές ισορροπίες Nash του παιχνιδιού είναι αποτελεσματικές ισορροπίες Pareto. Κατά συνέπεια, υπάρχουν ακριβώς $n!$ καθαρής στρατηγικής ισορροπίες Nash για το σκηνικό παιχνίδι. Αυτό, σε συνδυασμό με τον ορθολογισμό των παικτών, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι είναι δυνατό να διατηρηθεί μια καθαρή στρατηγική ισορροπία Nash του σκηνικού παιχνιδιού ως μια τέλεια ισορροπία υποπαιχνιδιού του KPRP.

Το Kolkata Paise Restaurant Problem είναι ένα προκλητικό παιχνίδι στο οποίο n παίκτες αποφασίζουν πού θα γευματίσουν στο διάλειμμά τους. Η ιδιαιτερότητα του παιχνιδιού έγκειται στο γεγονός ότι υπάρχουν ακριβώς n εστιατόρια και κάθε εστιατόριο μπορεί να φιλοξενήσει μόνο έναν παίκτη. Μελετάμε αυτό το πρόβλημα από μια νέα οπτική γωνία και προτείνουμε μια νέα στρατηγική που οδηγεί σε μεγαλύτερη αξιοποίηση. Η υιοθέτηση μιας χωρικά κατανεμημένης προσέγγισης, όπου τα εστιατόρια είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα σε ολόκληρη την περιοχή της πόλης, καθιστά δυνατή για κάθε παίκτη να επισκεφθεί πολλά εστιατόρια. Αποδεικνύουμε αυστηρά πιθανολογικούς τύπους που επιβεβαιώνουν τα πλεονεκτήματα αυτής της πολιτικής και την αύξηση της χρήσης. Οι εξισώσεις που προκύπτουν γενικεύουν τύπους που ήταν προηγουμένως γνωστοί στη βιβλιογραφία, οι οποίοι μπορούν να θεωρηθούν ως ειδικές περιπτώσεις των αποτελεσμάτων μας. Για κάθε παίκτη, η κατάσταση μοιάζει με αυτή του εμβληματικού προβλήματος του πλανόδιου πωλητή (TSP), ο οποίος πρέπει να υπολογίσει μια βέλτιστη διαδρομή μέσω πόλεων n .

3.3 Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή

Το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή (TSP) είναι ένα διάσημο πρόβλημα βελτιστοποίησης που περιγράφεται ως εξής: ένας πωλητής πρέπει να επισκεφτεί όλες τις κοντινές πόλεις ξεκινώντας από μια συγκεκριμένη πόλη στην οποία πρέπει να επιστρέψει. Ο μόνος περιορισμός είναι ότι ο πωλητής πρέπει να ξεκινήσει και να τελειώσει στην ίδια συγκεκριμένη πόλη και να επισκεφτεί κάθε πόλη μόνο μία φορά. Η διαδρομή επίσκεψης καθορίζεται από τον πωλητή κάθε φορά που προκύπτει το πρόβλημα. Οι πόλεις συνδέονται μέσω σιδηροδρομικού ή οδικού δικτύου και το κόστος κάθε μετακίνησης διαμορφώνεται από τη δυσκολία διέλευσης των άκρων του γραφήματος. Ο πωλητής έχει μόνο έναν σκοπό και αυτός είναι να επισκεφτεί όλες τις πόλεις με το ελάχιστο δυνατό κόστος μετακίνησης. Σε αυτό το πρόβλημα, η βέλτιστη λύση είναι η ταχύτερη, συντομότερη και φθηνότερη λύση. Το TSP εκφράζεται εύκολα ως ένα μαθηματικό πρόβλημα που τυπικά λαμβάνει τη μορφή γραφήματος, όπου κάθε κόμβος του είναι οι πόλεις που πρέπει να επισκεφτεί ο πωλητής. Το TSP διατυπώθηκε κατά τη διάρκεια του 1800 από τους Sir William Rowan Hamilton και Thomas Kirkman και μελετήθηκε για πρώτη φορά από τον Karl Menger κατά τη δεκαετία του 1930 στο Χάρβαρντ και τη Βιέννη.

Το TSP είναι ένα NP-hard πρόβλημα και τα αποτελέσματα των πρακτικών, ευρετικών λύσεων δεν είναι πάντα βέλτιστα, αλλά κατά προσέγγιση [255]. Η απλούστερη «αφελής» λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι να δοκιμαστούν όλες οι δυνατότητες και να εξερευνηθούν όλα τα μονοπάτια, αλλά το κόστος σε χρόνο και πολυπλοκότητα είναι τεράστιο που είναι πρακτικά αδύνατο.

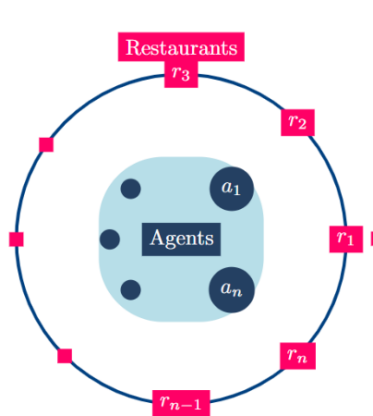
3.4 Το κατανεμημένο πρόβλημα του εστιατορίου Kolkata Paise [431]

Το πρόβλημα του εστιατορίου Kolkata Paise (KPRP) μπορεί να προβληθεί ως επέκταση του παιχνιδιού μειοψηφίας, επειδή περιλαμβάνει πολλούς παίκτες (n) ο καθένας έχει πολλαπλές επιλογές (N). Στην πιο γενική του μορφή είναι πιθανό $n \neq N$. Σε αυτό το άρθρο ακολουθούμε την τυπική προσέγγιση ότι ο αριθμός των πρακτόρων είναι ίσος με τον αριθμό των εστιατορίων, δηλαδή $n = N$. Υποστηρίζουμε μια χωρικά κατανεμημένη και, κατά την άποψή μας, πιο ρεαλιστική εκδοχή του KPRP, λαμβάνοντας υπόψη την τοπολογία των εστιατορίων και επιτρέποντας στους παίκτες να ξεκινούν τις διαδρομές τους από διαφορετικά σημεία εκκίνησης. Αποκαλούμε την έκδοσή μας *Distributed Kolkata Paise Restaurant Game* ή DKPRG από εδώ και στο εξής. Στην αρχική διατύπωση του KPRP μπορεί κανείς να επισημάνει τις ακόλουθες υποκειμένες παραδοχές.

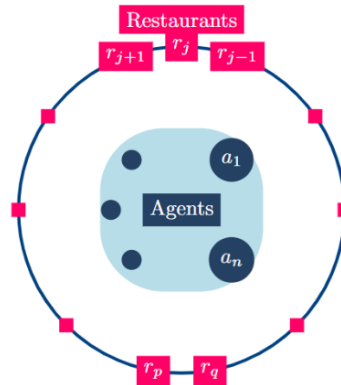
- (A1) Όλοι οι παίκτες ξεκινούν από την ίδια τοποθεσία.
- (A2) Όλα τα εστιατόρια είναι αρκετά κοντά στο σημείο προέλευσης κάθε πελάτη, έτσι ώστε κάθε πελάτης να μπορεί, καταρχήν, να πάει σε οποιοδήποτε εστιατόριο, να φάει εκεί και να επιστρέψει στην εργασία του εγκαίρως.
- (A3) Κάθε εστιατόριο βρίσκεται αρκετά μακριά από κάθε άλλο εστιατόριο, έτσι ώστε να είναι απαγορευτική η δυνατότητα οποιουδήποτε πελάτη να επισκεφτεί ένα δεύτερο εστιατόριο, σε περίπτωση που η πρώτη του επιλογή αποδειχτεί άκαρπη.

Στη δισδιάστατη ρύθμιση της Καλκούτα, οι παραπάνω παραδοχές μαζί υπονοούν την τοπολογία που απεικονίζεται στο Σχήμα 1. Εκεί, οι παίκτες συγκεντρώνονται σε μια πολύ στενή περιοχή, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως το κέντρο ενός εννοιολογικού «κύκλου». Τα εστιατόρια βρίσκονται σε αυτόν τον «κύκλο» και επειδή δεν επιτρέπονται δύο από αυτά για να είναι κοντά σχηματίζουν ένα «κανονικό πολύγωνο». Αυτό αποκλείει μια κατάσταση όπως αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 2. Η χωροταξική διάταξη που απεικονίζεται εκεί απαγορεύεται αυστηρά. Η εγγύτητα δύο, τριών ή περισσότερων εστιατορίων έρχεται σε αντίθεση με την αδυναμία μιας δεύτερης ευκαιρίας. Στο

τυπικό KPRP κανένας παίκτης δεν επιτρέπεται δεύτερη ευκαιρία. Γράφουμε «κύκλος» και «κανονικό πολύγωνο» μέσα σε εισαγωγικά γιατί στην πραγματικότητα δεν έχουμε να κάνουμε με τέλειο γεωμετρικό κύκλο ή τέλειο κανονικό πολύγωνο, αλλά με δισδιάστατες προσεγγίσεις που μοιάζουν με τα προαναφερθέντα συμμετρικά σχήματα. Σαφώς, πρόκειται για μια πολύ ειδική τοπολογική διάταξη, που είναι πολύ απίθανο να παρατηρηθεί στην πράξη. Δεν υπάρχει κανένας επιτακτικός λόγος για τα εστιατόρια να επιδεικνύουν αυτήν την κανονικότητα ή οι παίκτες να περιορίζονται στην ίδια περίπου τοποθεσία. Αντιθέτως, θα φαινόταν πολύ πιο λογικό να υποθέσουμε ότι τα εστιατόρια και ίσως οι παίκτες είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα. Επιπλέον, η συνήθης υπόθεση ότι η κατάταξη προτιμήσεων των εστιατορίων είναι κοινή για όλους τους πελάτες φαίνεται λίγο πολύ ιδιαίτερη και πιθανώς πολύ περιοριστική.



Εικόνα 1. Η τοπολογία στο πρότυπο KPRP.



Εικόνα 2. Η χωροταξική διάταξη που απεικονίζεται σε αυτό το σχήμα απαγορεύεται αυστηρά.

Με αυτό το κίνητρο κατά νου, προτείνουμε την κατάργηση όλων αυτών των υποθέσεων. Το παιχνίδι που προκύπτει κατανέμεται χωρικά ως προς τα εστιατόρια και ονομάζεται κατανεμημένο παιχνίδι εστιατορίου Καλκούτα Paise (DKPRG). Στο περιβάλλον μας, κάθε πελάτης μπορεί να έχει το δικό του σημείο αφετηρίας, το οποίο είναι, γενικά, διαφορετικό από τις τοποθεσίες εκκίνησης των άλλων πελατών. Οι τοποθεσίες εκκίνησης μπορούν είτε να συγκεντρωθούν σε μια μικρή περιοχή της περιοχής της πόλης της Καλκούτα, ακριβώς όπως το τυπικό KPRP, είτε μπορεί να θεωρηθεί ότι ακολουθούν μια τυχαία κατανομή. Η θεμελιώδης διαφορά με τις προηγούμενες προσεγγίσεις είναι ότι τώρα τα εστιατόρια θεωρούνται ως *ομοιόμορφα κατανεμημένα* στην πόλη της Καλκούτα. Αυτή η ομοιόμορφη τυχαιότητα στην τοποθέτηση των εστιατορίων συνεπάγεται ότι πρέπει να υπάρχουν εστιατόρια αρκετά κοντά το ένα στο άλλο. Αυτό το συμπέρασμα καθίσταται αναπόφευκτο, ιδιαίτερα στην περίπτωση που ο αριθμός των εστιατορίων είναι μεγάλος ($n \rightarrow \infty$). Όπως θα φανεί, η *αναμενόμενη απόσταση* μεταξύ των "γειτονικών" εστιατορίων θα είναι σχετικά μικρή και θα μειωθεί όσο αυξάνεται ο αριθμός n των εστιατορίων.

Αυτό οδηγεί σε μια *εξατομικευμένη* κατάσταση για κάθε μεμονωμένο παίκτη: κάθε παίκτης αντιμετωπίζει ένα *εξατομικευμένο* πρόβλημα ταξιδιωτικού πωλητή. Σε κάθε παίκτη αντιστοιχεί ένα μεμονωμένο γράφημα. Αυτό το γράφημα έχει κόμβους $n + 1$, οι οποίοι είναι οι τοποθεσίες των εστιατορίων n συν την τοποθεσία του σημείου εκκίνησης του πελάτη. Τα κόστη που εκχωρούνται στα άκρα είναι επίσης *προσωποποιημένα*. Κάθε παίκτης συνδυάζει έναν αντικειμενικό παράγοντα, δηλαδή τις χωρικές αποστάσεις μεταξύ των εστιατορίων, με έναν υποκειμενικό παράγοντα, τις προσωπικές τους προτιμήσεις. Στο DKPRG παραιτούμαστε από τον περιορισμό της κοινής προτίμησης και αφήνουμε κάθε πελάτη να έχει μια ξεχωριστή προτίμηση. Ας διευκρινίσουμε, ωστόσο, ότι το να σερβιριστείς, ακόμα και στο λιγότερο προτιμότερο εστιατόριο, είναι πιο επιθυμητό από το να μην σερβιριστείς καθόλου! Αυτό με τη σειρά του θα οδηγήσει σε μια πιθανώς μοναδική

παραγγελία των εστιατορίων από το πιο προτιμότερο στο λιγότερο προτιμότερο για *κάθε παίκτη*.

Ως εκ τούτου, κάθε παίκτης βρίσκεται αντιμέτωπος με μια ξεχωριστή τοπολογία δικτύου, η οποία είναι το συνδυασμένο αποτέλεσμα της εγγενούς τυχαιότητας των χωρικών τοποθεσιών και της υποκειμενικότητας των προτιμήσεών του. Η τοπολογία των εστιατορίων έχει μια περαιτέρω κρίσιμη σημασία: ένας πελάτης του οποίου η πρώτη επιλογή είναι ένα συγκεκριμένο εστιατόριο, θα έχει τώρα με πολύ μεγάλη πιθανότητα την ευκαιρία να επισκεφτεί ένα δεύτερο, ένα τρίτο ή ακόμα και ένα τέταρτο εστιατόριο στην ίδια περιοχή, εάν χρειαστεί. Για κάθε παίκτη, το κόστος χρόνου κυριαρχείται από το χρόνο που απαιτείται για να επισκεφθείτε το πρώτο εστιατόριο. το ταξίδι σε άλλα κοντινά εστιατόρια της ίδιας περιοχής συνεπάγεται αμελητέο κόστος χρόνου λόγω της χωροταξικής τους εγγύτητας. Ο πελάτης έχει μια δεύτερη (ή και μια τρίτη) ευκαιρία να σερβιριστεί κατά τη διάρκεια του μεσημεριανού διαλείμματος. Έτσι, μια αποτελεσματική, αν όχι βέλτιστη, μέθοδος για κάθε πελάτη να λαμβάνει καλά ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με την πρώτη, δεύτερη, τρίτη, κ.λπ. επιλογή του είναι να λύσει το Πρόβλημα του Ταξιδιώτη Πωλητή για το *προσωποποιημένο* γράφημά του. Αν και το TSP είναι ένα NP-σκληρό πρόβλημα, σχεδόν βέλτιστες λύσεις πρακτικής αξίας μπορούν να επιτευχθούν σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα χρησιμοποιώντας μεταερευτικές μεθόδους. Ξεκινώντας από αυτή την προοπτική, προτείνουμε μια καταμελημένη στρατηγική που θα οδηγήσει σε μια αποτελεσματική παγκόσμια λύση. Όλοι οι παίκτες θα χρησιμοποιήσουν μια κοινή στρατηγική υψηλού επιπέδου, η οποία προσαρμόζεται με ακρίβεια σύμφωνα με τις ατομικές προτιμήσεις τους. Για να βελτιώσουμε τη σαφήνεια αναφέρουμε ρητά παρακάτω τις υποθέσεις και που ορίζουν και χαρακτηρίζουν την παραλλαγή DKPRG.

- (1) DKPRG είναι ένα παιχνίδι που επαναλαμβάνεται άπειρες φορές.
- (2) Το σύνολο των παικτών συμβολίζεται με $A = \{a_1, \dots, a_n\}$. Οι n *παίκτες* (αναφέρονται και ως *πελάτες*) μπορεί να έχουν διαφορετικές τοποθεσίες εκκίνησης. Το σύνολο των εστιατορίων συμβολίζεται με $R = \{r_1, \dots, r_n\}$. Τα n *εστιατόρια* είναι ομοιόμορφα καταμελημένα εντός της περιοχής της πόλης. Όλοι οι παίκτες γνωρίζουν τις τοποθεσίες των εστιατορίων, αλλά δεν χρειάζεται να γνωρίζουν τις τοποθεσίες εκκίνησης των υπολοίπων.
- (3) Σε κάθε παίκτη $a \in A$ αντιστοιχεί μια ξεχωριστή *προσωποποιημένη σειρά προτίμησης* $P_a = (r_{j_1}, r_{j_2}, \dots, r_{j_n})$, τέτοια ώστε το εστιατόριο r_{j_1} να είναι η πρώτη τους επιλογή, r_{j_2} η δεύτερη και ούτω καθεξής, με r_{j_n} να είναι η τελευταία προτίμησή τους.
- (4) Κάθε εστιατόριο μπορεί να φιλοξενήσει μόνο έναν πελάτη κάθε φορά. εάν δύο ή περισσότεροι πελάτες φτάσουν σε ένα εστιατόριο, μόνο ένας μπορεί να εξυπηρετηθεί. Αυτό που θα σερβιριστεί επιλέγεται τυχαία.
- (5) Κάθε παίκτης $a \in A$ έχει έναν *εξατομικευμένο γράφο* $G_a = (V_a, E_a)$. Το G_a είναι ένα πλήρες μη κατευθυνόμενο γράφημα με $n + 1$ κορυφές $v_0, v_1, \dots, v_n$, όπου v_0 είναι η αρχική θέση του a και v_j είναι η θέση του εστιατορίου j , $1 \leq j \leq n$. Για κάθε ζεύγος διακριτών κορυφών $u, v \in V_a$ υπάρχει μια μη κατευθυνόμενη ακμή (u, v) στο E_a . Το γράφημα G_a συμπληρώνεται με τον (συμμετρικό) *cost matrix* C_a που εκχωρεί σε κάθε άκρο (u, v) ένα κόστος $c_{u,v}$.
- (6) Κάθε παίκτης $a \in A$ λύνει το αντίστοιχο TSP χρησιμοποιώντας μια αποτελεσματική μεθευρετική που εξάγει μια σχεδόν βέλτιστη *διαδρομή* $T_a = (l_0, l_1, \dots, l_n, l_{n+1})$, όπου $l_0 = l_{n+1}$ είναι το σημείο εκκίνησης του a και l_k , $1 \leq k \leq n$, είναι ο δείκτης του εστιατορίου στη θέση k^{th} της διαδρομής.
- (7) Προικισμένοι με την ατομική τους περιήγηση T_a , όλοι οι πελάτες ακολουθούν μια *κοινή* στρατηγική. Ταξιδεύουν από την αρχική τους τοποθεσία l_0 στο εστιατόριο r_{l_1} . Εάν εξυπηρετηθούν, τότε ολοκληρώνουν τη διαδρομή τους με επιτυχία. Εάν όχι, προχωρούν σε r_{l_2} . Εάν η προσπάθειά τους να πάρουν το μεσημεριανό τους εκεί επίσης αποτύχει, τότε προχωρούν στο r_{l_3} και ούτω καθεξής.

(8) Η Στρατηγική Αναθεώρησης. Οι παίκτες λειτουργούν ανεξάρτητα και δεν πραγματοποιείται καμία επικοινωνία μεταξύ δύο από αυτούς. Επομένως, κάθε πελάτης αγνοεί εντελώς τα δρομολόγια των άλλων πελατών. Κάθε απόγευμα αναθεωρούν τη στρατηγική τους λαμβάνοντας υπόψη μόνο όσα συνέβησαν την τρέχουσα ημέρα. Αν σερβιρίστηκαν σε συγκεκριμένο εστιατόριο σήμερα, τότε αύριο πάνε κατευθείαν στο *ίδιο* εστιατόριο. Αυτό ισχύει ακόμα κι αν αυτό το εστιατόριο δεν βρίσκεται στην πρώτη θέση της περιήγησής τους. Για παράδειγμα, όσοι παίκτες δεν κατάφεραν να πάρουν μεσημεριανό γεύμα στην πρώτη τους επιλογή, αλλά το κατάφεραν με τη δεύτερη ή την τρίτη επιλογή, αύριο θα πάνε κατευθείαν στο εστιατόριο που τους σέρβιρε παρά το γεγονός ότι το συγκεκριμένο εστιατόριο δεν είναι το πιο προτιμότερο. Όσοι δεν κατάφεραν να πάρουν μεσημεριανό γεύμα, ξέρουν μόνο *ποια εστιατόρια έμειναν άδεια*, δηλαδή δεν τα έχει επισκεφτεί κανένας παίκτης σήμερα. Πιο περίπλοκες πληροφορίες, όπως οι επιλογές άλλων παικτών ή αν σερβίρονται και σε ποιο εστιατόριο, φαίνονται περιττές. Οι μη εξυπηρετούμενοι παίκτες κατασκευάζουν και λύνουν το νέο τους εξατομικευμένο TSP, χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά ως κορυφές μόνο τα *κενά εστιατόρια* (συν φυσικά την τοποθεσία εκκίνησης).

Σύμφωνα με το σχέδιο στρατηγικής που χρησιμοποιείται στο m-stop DKPRG, στην αρχή της δεύτερης (τρίτης, κ.λπ.) ημέρας, οι ικανοποιημένοι πελάτες πηγαίνουν πάντα κατευθείαν στο εστιατόριο που τελικά τους σέρβιρε την προηγούμενη ημέρα. Αυτή η στρατηγική ακολουθείται από όλους τους πράκτορες, γεγονός που εγγυάται ότι οι πελάτες που έμειναν ικανοποιημένοι την προηγούμενη μέρα παραμένουν ικανοποιημένοι και σήμερα. Ουσιαστικά, αυτό σημαίνει ότι οι ικανοποιημένοι πράκτορες έχουν «κερδίσει» το παιχνίδι και από εδώ και πέρα δεν χρειάζεται να λύσουν το εξατομικευμένο TSP τους. Το παιχνίδι παίζεται αγωνιστικά από τους ανικανοποίητους παράγοντες της προηγούμενης ημέρας. Υποθέτουμε ότι έχουν επίγνωση των μη κατειλημμένων εστιατορίων και, ως εκ τούτου, κάθε ένα από αυτά λύνει για άλλη μια φορά το εξατομικευμένο TSP του για να υπολογίσει την περιήγησή του. Φυσικά, σήμερα το δίκτυο των εστιατορίων αποτελείται μόνο από τα μη κατειλημμένα εστιατόρια. Το σημερινό DKPRG m-stop με μία βολή είναι διαφορετικό από το παιχνίδι μίας βολής της προηγούμενης ημέρας σε έναν κρίσιμο παράγοντα: ο αριθμός των «ενεργά ανταγωνιστικών» παικτών είναι σημαντικά μικρότερος. Από τη φύση του παιχνιδιού, ο αριθμός των ενεργών παικτών στην αρχή της στάσης 1 της παρούσας ημέρας είναι ίσος με τον αριθμό των μη ικανοποιημένων πελατών στο τέλος της προηγούμενης ημέρας. Ο αναμενόμενος αριθμός ενεργών παικτών ποικίλλει με κάθε μέρα που περνά σύμφωνα με το Θεώρημα.

Αυτή η εργασία εξερεύνησε μια εντελώς νέα οπτική γωνία του προβλήματος του εστιατορίου Kalkata Paise. Η τοπολογική διάταξη των εστιατορίων βρίσκεται στο επίκεντρο αυτού του νέου παραδείγματος. Αρχικά, δηλώσαμε ρητά ορισμένες υποθέσεις που υπάρχουν μόνο σιωπηρά στην τυπική διατύπωση του παιχνιδιού. Έχοντας κάνει αυτό, κάναμε το ριζικό βήμα για να τα προσπεράσουμε και να δημιουργήσουμε ένα εντελώς νέο σκηνικό. Η κριτική εξέταση της τοπολογικής ρύθμισης του παιχνιδιού ενίσχυσε την αντίληψή μας σχετικά με τις τοποθεσίες των εστιατορίων και πρότεινε μια πιο ρεαλιστική τοπολογική διάταξη. Υποστηρίξαμε ότι η ομοιόμορφη κατανομή τους σε ολόκληρη την περιοχή της πόλης είναι η πιο λογική, δίκαιη και πιθανή κατάσταση. Ως αποτέλεσμα, ορίσαμε μια νέα έκδοση του παιχνιδιού που διανέμεται χωρικά και ονομάζεται εύστοχα κατανεμημένο παιχνίδι εστιατορίου Kolkate Paise (DKPRG). Η ομοιόμορφη πιθανολογική κατανομή των εστιατορίων μας επέτρεψε να αποδείξουμε αυστηρά ότι, καθώς ο αριθμός τους n αυξάνεται, τα εστιατόρια *πλησιάζουν* και η απόσταση μεταξύ των γειτονικών εστιατορίων μειώνεται. Σε ένα τέτοιο δίκτυο, κάθε πελάτης έχει τη δυνατότητα να περάσει από περισσότερα από ένα εστιατόρια εντός του επιτρεπόμενου χρονικού παραθύρου. Οι παίκτες γίνονται πλέον ταξιδιώτες πωλητές και αυτό μας οδήγησε να προτείνουμε την καινοτόμο ιδέα ότι το TSP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αυξήσει τις πιθανότητες επιτυχίας σε αυτό το παιχνίδι. Αυτό κορυφώθηκε με την ανάπτυξη μιας νέας και πιο αποτελεσματικής στρατηγικής όπου κάθε παίκτης χρησιμοποιεί μεταερευνητικές μεθόδους για να λύσει το εξατομικευμένο TSP του επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη χρήση.

Μετά από αυστηρή διαμόρφωση του DKPRG, αποδείξαμε εντελώς γενικούς τύπους που επιβεβαιώνουν την αύξηση της χρήσης του σχεδίου μας. Διαπιστώσαμε ότι η χρήση που κυμαίνεται από 0, 85 έως 0, 95 είναι εφικτή.

Αξίζει να αναφέρουμε ότι το γεγονός ότι η στρατηγική μας παρουσιάζει πολύ γρήγορη σύγκλιση στη σταθερή κατάσταση χρήσης 1, 0 μπορεί ενδεχομένως να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση της παρακάτω κατάστασης. Ένα ζήτημα που παραμένει και είναι κοινό σε όλα σχεδόν τα έργα στη βιβλιογραφία είναι το απλό θέμα ότι μια σχεδόν βέλτιστη χρήση μπορεί, γενικά, να μην είναι βέλτιστη για κάθε παράγοντα ξεχωριστά. Ένα κοινωνικά αποτελεσματικό αποτέλεσμα όπου κάθε παίκτης τρώει μεσημεριανό γεύμα και κάθε εστιατόριο καλεί έναν πελάτη να εξυπηρετήσει, δεν είναι απαραίτητα βέλτιστο για τον μεμονωμένο πελάτη, με την έννοια ότι ένας παίκτης μπορεί να σερβιριστεί σε ένα εστιατόριο χαμηλής προτίμησης. Μια πιθανή λύση σε αυτό μπορεί να είναι η περιοδική επαναφορά του παιχνιδιού. Αναμένουμε ότι η υιοθέτηση μιας περιόδου επαναφοράς, δηλαδή ο καθορισμός μιας συγκεκριμένης περιόδου ημερών, μετά την οποία γίνεται επαναφορά του συστήματος και το παιχνίδι ξεκινά από την αρχή, μπορεί να μετριάσει αυτό το μειονέκτημα.

Πιστεύουμε ότι το προτεινόμενο παιχνίδι μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία σε πολλές πραγματικές καταστάσεις πρακτικής σημασίας. Για παράδειγμα, η κατανεμημένη φύση του προτεινόμενου παιχνιδιού θα το καθιστούσε ιδιαίτερα κατάλληλο για την αντιμετώπιση του προβλήματος που μελετήθηκε στο [304]. Εκεί, μια περιοχή ή μια χώρα παρέχει νοσοκομεία και κρεβάτια σε διάφορα σημεία μιας περιοχής. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις ασθενών που προτιμούν να πάνε σε νοσοκομεία υψηλότερης βαθμίδας σε μεγαλύτερη απόσταση παρά σε νοσοκομεία χαμηλότερης βαθμίδας σε μικρότερες αποστάσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μια μακρά λίστα αναμονής, καθώς τόσο οι ντόπιοι όσο και οι μη τοπικοί ασθενείς περιμένουν περισσότερο, προκαλώντας άκαιρη θεραπεία για τους ασθενείς (καθώς ο εκτιμώμενος αριθμός ασθενών αυξάνεται) και κοινωνική σπατάλη υπηρεσιών για απρόσιτα νοσοκομεία. Στο πλαίσιο της υγειονομικής περίθαλψης, υπάρχουν δύο ακόμη περιπτώσεις στις οποίες το παιχνίδι που προτείνουμε θα μπορούσε να προσφέρει λύση. Το πρώτο αφορά τις καθυστερήσεις εκφόρτωσης ασθενοφόρου, δηλαδή όταν ένα ασθενοφόρο που φτάνει στο τμήμα επειγόντων περιστατικών δεν μπορεί να εγκαταλείψει τον ασθενή επειδή δεν υπάρχουν διαθέσιμα κρεβάτια. Αυτή η λύση μπορεί να λειτουργήσει σε δύο επίπεδα, επιλέγοντας την καλύτερη διαδρομή για την έγκαιρη άφιξη του ασθενοφόρου και συμβάλλοντας στην καλύτερη διαχείριση των πόρων του νοσοκομείου προκειμένου να ξεκινήσει άμεσα η θεραπεία του ασθενούς [451]. Ταυτόχρονα, πολλά προβλήματα σχετικά με τη βελτιστοποίηση της διαδρομής, την κατανομή πόρων και τη χρήση εμφανίζονται στον τομέα των δημόσιων μεταφορών. Η πιο κοινή ερώτηση σχετικά με τις μεταφορές είναι πώς θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν περιορισμένοι πόροι για τη μεγιστοποίηση των κοινωνικών οφελών, λαμβάνοντας υπόψη τις περιόδους αιχμής και την άνιση κατανομή των πόρων [323]. Ένα κυκλοφοριακό πρόβλημα που η πρότασή μας θα μπορούσε να αντιμετωπίσει, παρόμοιο με το προηγούμενο, είναι το πρόβλημα της δρομολόγησης των σχολικών λεωφορείων [689]. Η δυσκολία του προβλήματος της δρομολόγησης του σχολικού λεωφορείου πηγάζει από την αυστηρή ρουτίνα και το χρονοδιάγραμμα που πρέπει να ακολουθούν τα λεωφορεία, την απαίτηση ότι οι μαθητές πρέπει να φτάσουν στην ώρα τους για τα μαθήματά τους και τον υπολογισμό της βέλτιστης διαδρομής για το λεωφορείο προκειμένου να συγκεντρωθούν όλα οι μαθητές.

Σε κάθε περίπτωση, αυτή η ιδέα για μια μελλοντική εργασία θα απαιτήσει περαιτέρω μελέτη και πειραματική αξιολόγηση της χρησιμότητάς της. Τέλος, μια άλλη πιθανή κατεύθυνση για μελλοντική εργασία θα μπορούσε να περιλαμβάνει εκτεταμένες πειραματικές δοκιμές και περαιτέρω διερεύνηση άλλων εκδόσεων του TSP. Για παράδειγμα, ότι υπάρχει μια πιο περιοριστική έκδοση του TSP, το Πρόβλημα του Ταξιδιώτη πωλητή με τα Windows Time (TSP-TW). Το TSP-TW είναι μια περιορισμένη έκδοση του TSP στην οποία ο πωλητής πρέπει να επισκεφτεί τις πόλεις εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού παραθύρου. Αυτή η έκδοση είναι ακόμα πιο περίπλοκη και δύσκολο να λυθεί. Ωστόσο, οι εγγενείς χρονικοί περιορισμοί που είναι ενσωματωμένοι στο TSP-TW ενδέχεται να παρέχουν μια ακόμη πιο ρεαλιστική μοντελοποίηση του DKPRG.

Κεφάλαιο 4

Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων

Λόγω της απήχησης του πεδίου της Θ.Π. σε πληθώρα άλλων επιστημών, έχουν προκύψει διάφορα παρακλάδια με ελαφρώς διαφορετικές παραμέτρους από αυτές της παραδοσιακής Θ.Π.. Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζεται μια εκτενής αναφορά στην Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων. Η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων (Ε.Θ.Π.) βασίζεται στην παραδοσιακή Θ.Π., αλλά περιλαμβάνει επίσης αρκετές σημαντικές παραλλαγές και, ως εκ τούτου, διαφέρει σημαντικά από το αρχικό, κλασικό πεδίο της Θ.Π..

4.1 Θεωρητικό πλαίσιο

Η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων (Ε.Θ.Π. για συντομία) έχει τραβήξει τα βλέμματα βιολόγων και μαθηματικών καθώς και επιστημόνων υπολογιστών. Αυτός ο σχετικά νέος κλάδος δίνει την ευκαιρία στους ερευνητές να μελετήσουν τις συμπεριφορές παικτών, οι οποίοι δεν λειτουργούν με βάση τη λογική, αλλά με βάση τα ένστικτα και τη νοοτροπία του “κοπαδιού”. Επομένως, ο όρος *δυναμική του πληθυσμού* είναι ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος όρος σε αυτόν τον τομέα και αυτός είναι ακριβώς ο στόχος, η κατανόηση αυτής της έννοιας.

Σε αυτήν την επέκταση της Θ.Π., αρκετές έννοιες της κλασικής Θ.Π. είναι κοινές και χρησιμοποιούνται με τον ίδιο τρόπο, αλλά πολλές άλλες είτε έχουν εισαχθεί για πρώτη φορά είτε έχουν τροποποιηθεί για να ταιριάζουν στην ορολογία του προβλήματος. Η λογική αντικαθίσταται από το *ένστικτο* και την *φυσική επιλογή* και η έννοια του κέρδους μετατρέπεται σε *Δαρβινική καταλληλότητα*. Η κύρια διαφορά μεταξύ της κλασικής Θ.Π. και της Ε.Θ.Π. είναι ότι η πρώτη μελετά συνήθως παίκτες που ενεργούν με βάση τη λογική, ενώ η δεύτερη μελετά παίκτες που ενεργούν με βάση τα ένστικτα, με πρωταρχικό το ένστικτο της επιβίωσης. Επομένως, η Ε.Θ.Π. είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για τη μελέτη οντοτήτων σε σχέση με την εξέλιξή τους τόσο σε επίπεδο ατομικό, όσο και σε επίπεδο πληθυσμού. Ως εκ τούτου, ο κύριος σκοπός του πεδίου είναι η κατανόηση των μικροοργανισμών και των ζώων καθώς και η συμπεριφορά τους στο περιβάλλον. Η μελέτη αυτών των πρόσθετων στοιχείων ήταν κάτι στο οποίο η Θ.Π. υστερούσε, οπότε η Ε.Θ.Π. ήρθε να καλύψει το κενό. Αυτή η προσέγγιση φαίνεται να εξηγεί καλύτερα και να παρέχει καλύτερη εικόνα για τις συμπεριφορές σε φυσικούς κόσμους και πραγματικά φαινόμενα. Ένα από τα πιο διαδεδομένα έργα σε αυτόν τον τομέα είναι το [590].

Ως εκ τούτου, η Ε.Θ.Π. εστιάζει κυρίως σε πληθυσμούς και οργανισμούς που βασίζονται σε ένστικτα και τείνουν να εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου. Ο σκοπός αυτού του πεδίου είναι να κατανοήσει τις συμπεριφορές τόσο του πληθυσμού όσο και των επιμέρους μονάδων του σε αυτό το πλαίσιο. Όσον αφορά τους πληθυσμούς των ζώων και τις συμπεριφορές τους, αυτό που μελετάται περισσότερο είναι το μοντέλο ζευγαρώματος καθώς και η αναζήτηση τροφής. Η Ε.Θ.Π. προσφέρει τη δυνατότητα μοντελοποίησης της εξέλιξης του πληθυσμού σε μορφή παιχνιδιού, καθώς και της κατανομής των φαινοτύπων σε πληθυσμούς, κάτι που επιτυγχάνεται με τη

χρήση εργαλείων της κλασικής Θ.Π. σε συνδυασμό με έννοιες δυναμικών συστημάτων.

Οι νέες έννοιες που εμφανίζονται σε αυτό το πεδίο αναφέρονται στον αλτρουισμό που μπορούν να επιδείξουν οι οντότητες μεταξύ τους. Ο *αλτρουισμός* ορίζεται ως η κατάσταση κατά την οποία κάποιος προσπαθεί να προωθήσει τη φυσική κατάσταση του άλλου, ακόμη και με προσωπικό κόστος. Μια άλλη βασική έννοια είναι η *αμοιβαιότητα*, όπου αναπτύσσεται μια σχέση μεταξύ δύο οντοτήτων, πιθανώς διαφορετικών ειδών, όπου και οι δύο πλευρές επωφελούνται από αυτή τη συνεργασία. Η *συμπεριληπτική καταλληλότητα* χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό ενός γονιδίου, ενός οργανισμού και συνεπώς ενός πληθυσμού κατάλληλου, ανάλογα με τον οργανισμό ή τον πληθυσμό που το φέρει. Το ESS εκφράζει τη στρατηγική και επομένως τη συμπεριφορά ή άλλο φαινότυπο που υιοθετείται από έναν πληθυσμό και τις επιμέρους οντότητες του, που δεν μπορεί να επηρεαστεί με κανέναν τρόπο στη φυσική επιλογή. Ως *φαινότυπος* ορίζονται τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν έναν οργανισμό, δηλαδή η συμπεριφορά του, η φυσιολογία του και τα φυσικά του χαρακτηριστικά, ενώ ο *γονότυπος* χρησιμοποιείται για την απόδοση της γενετικής δομής του οργανισμού. Αρκετοί γονότυποι μπορούν να σχηματίσουν έναν φαινότυπο.

Οι στρατηγικές σε αυτά τα παιχνίδια ενδέχεται να αλλάζουν ή να διαφέρουν λόγω μετάλλαξης ή υψηλότερης αναπαραγωγικής επιτυχίας [590]. Η έννοια της ισορροπίας υπάρχει επίσης εδώ με τη μορφή ESS, που εισήχθη από τους J. Smith και G. Price στο [712]. Ομοίως, μια στρατηγική που υιοθετείται από όλα τα άτομα του πληθυσμού μπορεί να κυριαρχήσει σε όλες τις μεταλλαγμένες στρατηγικές στον πληθυσμό. Αυτή η έννοια είναι συνέπεια των διαδικασιών φυσικής επιλογής. Ακριβώς επειδή η μελέτη αυτού του πεδίου επικεντρώνεται σε πληθυσμούς και οντότητες μέσα σε αυτούς, μπορεί να υπάρχουν συγκρούσεις μεταξύ διαφορετικών πληθυσμών. Υπάρχουν λοιπόν δύο κατηγορίες παιχνιδιών, τα στατικά και τα δυναμικά παιχνίδια [143]. Η στατική και η δυναμική Θ.Π. παίζουν σημαντικό ρόλο στη μελέτη ενός προβλήματος. Η έννοια της ισορροπίας αλλάζει μεταξύ αυτών των δύο προσεγγίσεων. Σε πολλούς γύρους ενός δυναμικού παιχνιδιού, όπως στην περίπτωση του κλασικού παιχνιδιού “Πέτρα-Ψαλίδι-Χαρτί” (Rock-Scissor-Paper), δεν υπάρχει σημείο ισορροπίας NE. Επομένως, το αν ένα παιχνίδι θα θεωρηθεί στατικό ή δυναμικό είναι βασικό σημείο στην ερμηνεία του.

Στην περίπτωση των στατικών παιχνιδιών, υπάρχουν δύο πληθυσμοί που παίζουν μεταξύ τους και επιλέγονται τυχαία. Στη δεύτερη περίπτωση, η οποία είναι ακόμη πιο ρεαλιστική, οι πληθυσμοί εξελίσσονται δυναμικά και η εξέλιξή τους περιγράφεται από την εξίσωση συνεχούς αντιγραφής που εισήγαγαν οι Taylor και Jonker στο [749]. Χρησιμοποιώντας αυτή την εξίσωση, πολλές βιολογικές διεργασίες μοντελοποιούνται πιο εύκολα και μπορούν να εφαρμοστούν σε καταστάσεις κοινωνικο-βιολογικών προβλημάτων, μαθηματικής οικολογίας, εξέλιξης προβιοτικών και γενετικής πληθυσμού.

Η εξέλιξη των στρατηγικών που προκύπτουν από τη φυσική επιλογή σε έναν ετερογενή πληθυσμό περιγράφεται από τη *δυναμική του αντιγραφής* και την εξίσωσή του. Αυτή είναι ουσιαστικά η εξίσωση Lotka-Volterra. Ένα σημαντικό μέλημα στην εξελικτική βιολογία είναι η διατήρηση και η προώθηση της βιοποικιλότητας. Το ερώτημα που προκύπτει με τη χρήση της Θ.Π. είναι εάν και πόσες διαφορετικές στρατηγικές φαινοτύπου μπορούν να συνυπάρχουν σε ένα είδος. Μια πρόσφατη έρευνα για τα εξελικτικά παιχνίδια στη βιολογία βρίσκεται στο [422].

Στα βιολογικά προβλήματα βασικό ερώτημα αποτελεί το ποιες οντότητες θεωρούνται παίκτες, ειδικά όταν πρόκειται για πολυκύτταρους οργανισμούς. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η επιλογή γίνεται ανάλογα με το πρόβλημα. Ολόκληροι οργανισμοί, πληθυσμοί ή ακόμα και κύτταρα μπορούν να μελετηθούν ως παίκτες.

Η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων εστιάζει σε πληθυσμούς και μικροοργανισμούς, όπως τα βακτήρια, και μελετά τις αλληλεπιδράσεις τους όταν θεωρούνται παιχνίδια. Αυτή η εργασία [426] στοχεύει να είναι μια ολοκληρωμένη παρουσίαση των παιχνιδιών που παίζουν τα μικρόβια και συγκεκριμένα τα βακτήρια κατά τη διάρκεια της ζωής τους.

Αποκορύφωμα της έρευνας γύρω από τα εξελικτικά παιχνίδια, αποτελεί το πρόσφατα δημοσιευμένο κεφάλαιο [424]. Οι αρχές της Θεωρίας Παιγνίων μπορεί να ισχύουν για πολλά προβλή-

ματα στη βιολογία, προσφέροντας μια εναλλακτική προσέγγιση και πρόσθετη γνώση. Οι οργανισμοί που μελετώνται σε αυτή την έρευνα είναι τα μικρόβια, τα βακτήρια και τα κύτταρα. Το πεδίο της Εξελικτικής Θεωρίας Παιγνίων προσπαθεί να κατανοήσει τους τρόπους που χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση της βιωσιμότητας των πληθυσμών, της διαφορετικότητας και πολλών άλλων σημαντικών συμπεριφορών.

Η έρευνα γύρω από την Ε.Θ.Π. γέννησε και την ιδέα για τον συσχετισμό των βιολογικών ιών με τους ιούς που μολύνουν υπολογιστές. Από την έρευνα, προέκυψε ότι οι ιοί υπολογιστών έχουν παρόμοια μοτίβα και συμπεριφορές με τους βιολογικούς αντίστοιχούς τους, κάτι που μπορεί να βοηθήσει στην απομάκρυνση επίμονων ιών υπολογιστών με στρατηγικές που εφαρμόζονται σε βιολογικά συστήματα [457]. Αυτή η εργασία επιχειρεί να συσχετίσει έναν πολύ γνωστό ιό, τον *Virlock*, με τον βακτηριοφάγο $\phi 6$. Επιπλέον, το άρθρο προτείνει ορισμένες αποτελεσματικές στρατηγικές και πρακτικούς τρόπους που μπορεί να μειώσουν τη μόλυνση από τον *Virlock* και άλλους παρόμοιους τέτοιους ιούς.

4.2 Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη δημοσίευση που συνδύασε την κλασική Θ.Π. με την Ε.Θ.Π. ήταν το «*Evolution and the Theory of Games*» [485] του Lewontin. Ήταν η πρώτη αναφορά σε ένα παιχνίδι μεταξύ ειδών, αν και τα περισσότερα παιχνίδια περιλαμβάνουν οντότητες ενάντια στη φύση. Ωστόσο, η αρχή του πεδίου υπολογίζεται γύρω στο 1967 με τη δημοσίευση των «*παιχνιδιών αναλογίας φύλου*» του Χάμιλτον [352]. Μια άλλη ιδιαίτερα σημαντική δημοσίευση στον τομέα αυτό ακολούθησε το 1973. Περιέχει τις πρώτες επιτυχημένες προσπάθειες συσχέτισης της δυναμικής των βιολογικών συστημάτων με τις τεχνικές Θ.Π.. Εδώ εμφανίζεται για πρώτη φορά ο όρος Εξελικτική Σταθερή Στρατηγική (*Evolutionary Stable Strategy - ESS* για συντομία)[712]. Το κλασικό πλέον βιβλίο «*Theory of Games and Economic Behavior*» εκδόθηκε το 1947. Από τότε έχει γίνει ορόσημο για την Θ.Π. [781]. Τα συνεργατικά παιχνίδια εισήχθησαν για πρώτη φορά ως όρος σε αυτό το βιβλίο. Το «*Evolution and the Theory of Games*» [485] πρότεινε το πρώτο παιχνίδι που συνδυάζει την Θ.Π. και την εξελικτική βιολογία. Ήταν ένα παιχνίδι που παιζόταν μεταξύ των ειδών. Στη σύγχρονη εξελικτική βιολογία καθώς και στη Θ.Π., τα παιχνίδια αφορούν παράγοντες (οντότητες) ενάντια στη φύση. Η Ε.Θ.Π. εισήχθη για πρώτη φορά ως πεδίο το 1967. Στην εργασία του [352], ο Hamilton παρουσιάζει κάποια προβλήματα ως παιχνίδια. Το όνομά τους ήταν «*παιχνίδια αναλογίας φύλου*» μεταξύ των ειδών.

Παρά την εργασία του Hamilton, η επιστημονική ανακάλυψη ήρθε μάλλον αργότερα, από τις εργασίες των Maynard Smith και Price που δημοσιεύθηκαν το 1973 [712] και αργότερα του Smith [715]. Ήταν η πρώτη προσπάθεια μελέτης δυναμικών βιολογικών συστημάτων χρησιμοποιώντας έννοιες από τη θεωρία της Θ.Π.. Επινόησαν τον όρο ESS, τον οποίο χρησιμοποίησαν για να περιγράψουν την κατανομή διαφορετικών φαινοτύπων στη βιολογία του πληθυσμού.

Το «*Prisoners' Dilemma*» [283], αναμφισβήτητο το πιο διάσημο παιχνίδι στη Θ.Π., παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από τους M. Dresher και M. Flood τη δεκαετία του '50 ως πειραματικό έργο. Υπάρχουν δύο εκδόσεις αυτού του παιχνιδιού, η κλασική έκδοση και η επαναλαμβανόμενη. Είναι ένα μοναδικό παιχνίδι και πολλοί επιστήμονες στρέφονται σε αυτό για να δοκιμάσουν τις θεωρίες τους και απασχολεί ιδιαίτερος και την Ε.Θ.Π.. Είναι ένα παιχνίδι που αμφισβητεί τη σημασία της συνεργασίας [73]. Οι Haigh et al. [349] αναλύουν μια πληθώρα μοντέλων για συγκρούσεις μεταξύ n οντοτήτων. Το ESS σε αυτές τις περιπτώσεις είναι στην πραγματικότητα μια κατανομή πιθανοτήτων. Οι Broom et al. [142] εισήγαγαν μια ποικιλία μοντέλων που βασίζονται σε περισσότερες από δύο οντότητες που ανταγωνίζονται ταυτόχρονα, οδηγώντας σε πιο περίπλοκες λύσεις και στρατηγικές από τα κλασικά παιχνίδια δύο παικτών.

Στη μελέτη των Turner και Chao [762] οι βακτηριακές λοιμώξεις παρουσιάζονται ως καταστάσεις που μοιάζουν με κλασικά παιχνίδια όπου η φύση προτιμά στην πραγματικότητα τις κυρίαρχες στρατηγικές. Στο [762] η Θ.Π. χρησιμοποιήθηκε για την κατανόηση των πληθυσμών φάγων βα-

κτηριακού RNA που εμφανίζουν δύο γονότυπους. Τα πειράματά τους έδειξαν ότι δημιουργήθηκε μια συνάρτηση κέρδους παρόμοια με τη στρατηγική στο PD με βάση την καταλληλότητα των φάγων. Το παιχνίδι PD μπορεί επίσης να εξηγήσει τη δυναμική του μεταλλαγμένου πολλαπλασιασμού του *E. coli* που συγκλίνει σε μια μη βέλτιστη κατάσταση και την προκύπτουσα εγωιστική συμπεριφορά στο [784]. Ένα παιχνίδι δηλητήριο-αντίδοτο εισήχθη το 2002 [591] με την ανατροπή του διαχωρισμού των χρωμοσωμάτων σε σεξουαλικά είδη. Οι Gokhale et al. [326] εξετάζουν τα εξελικτικά παιχνίδια για πολλούς παίκτες από θεωρητική άποψη σε άπειρους και πεπερασμένους πληθυσμούς.

4.3 Μικρόβια και βακτήρια

Στην Ε.Θ.Π., γίνεται πολύς λόγος για τα μικρόβια, καθώς είναι οι ιδανικοί οργανισμοί για μελέτη όσον αφορά την εξελικτική δυναμική και τη δυναμική των σχέσεων μεταξύ τους. Η θεωρητική τους απλότητα, καθώς και η ευρέως διαδεδομένη μορφή τους, προσφέρουν μια σειρά από δυνατότητες, κυρίως λόγω της ποικιλίας που τα διέπει και της ικανότητάς τους να προσαρμόζονται στις περιβαλλοντικές συνθήκες διαφορετικών ειδών. Τέλος, σε επίπεδο κοινότητας και πληθυσμού, η σύνθετη φύση τους και οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις αποτελούν ένα ενδιαφέρον κομμάτι μελέτης. Η αμοιβαιότητα και η συνεργασία στους μικροβιακούς οργανισμούς διασφαλίζεται με την κατάταξη των μηχανισμών που χρησιμοποιούν άλλοι οργανισμοί. Αυτό συμβαίνει επειδή τα μικρόβια δεν απομνημονεύουν εύκολα συμπεριφορές.

Τα μικρόβια, τα οποία ονομάζονται και μικροοργανισμοί, μπορούν να συναντηθούν σχεδόν παντού στη φύση, όπως και στο ανθρώπινο σώμα. Είναι πολύ μικρά για να φαίνονται. Τα μικρόβια στο ανθρώπινο σώμα μπορεί να σχηματίσουν ζεύγη, αλυσίδες, συστάδες ή ακόμα και μεμονωμένα κύτταρα. Τα μικρόβια θεωρούνται ο ευρύτερος όρος που περιέχει τύπους όπως βακτήρια, ιούς και μύκητες. Είναι ίσως οι καλύτεροι οργανισμοί για να μελετήσει κανείς την εξελικτική δυναμική και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους [288]. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ζωής και παρόλο που φαίνονται απλές οντότητες, η ποικιλομορφία και η ικανότητά τους να προσαρμόζονται σε πολλαπλές περιβαλλοντικές συνθήκες τα καθιστά εξαιρετικά ενδιαφέροντα για μελέτη. Επιπλέον, οι κοινότητες τους χαρακτηρίζονται από την πολύπλοκη φύση τους και τις περίτεχνες αλληλεπιδράσεις τους.

Ένας αριθμός μελετών υποδηλώνει ότι οι βιολογικοί οργανισμοί όπως τα βακτήρια είναι “έξυπνοι” οργανισμοί και έχουν την ικανότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω ηλεκτρικών ή χημικών επικοινωνιών [199]. Στην περίπτωση των οργανισμών, μπορούν να μελετηθούν είτε μεμονωμένα ως μεμονωμένοι παίκτες παιχνιδιού είτε ως πληθυσμός, δηλαδή ως πολυκύτταρος οργανισμός. Μικροοργανισμοί όπως τα βακτήρια φαίνεται να συνεργάζονται για την επιβίωση και συνεπώς τη νίκη. Τα βακτήρια, παρά την απλότητά τους ως οργανισμοί, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για μελέτη. Το πλασμίδιο μπορεί να περιέχει γονίδια με κάποιο είδος αντίστασης, που δεν έχουν άλλοι οργανισμοί. Τα βακτήρια, σε αντίθεση με τους ιούς, μπορούν επίσης να λειτουργήσουν ως ανεξάρτητες οντότητες. Οι ιοί μπορούν να υπάρχουν και να αναπτυχθούν μόνο σε έναν ζωντανό οργανισμό.

Τα βακτήρια, ένας τύπος μικροβίων, είναι μονοκύτταροι οργανισμοί. Η κυτταρική τους δομή είναι αρκετά απλή σε αντίθεση με άλλους οργανισμούς. Το κέντρο ελέγχου τους είναι στην πραγματικότητα ένας ενιαίος βρόχος DNA που περιέχει τις γενετικές τους πληροφορίες αντί να έχει οργανίδια συνδεδεμένα με πυρήνα ή μεμβράνη. Ένα πλασμίδιο, ένας επιπλέον κύκλος γενετικού υλικού που υπάρχει σε ορισμένα βακτήρια, περιέχει συγκεκριμένα γονίδια που άλλα βακτήρια δεν διαθέτουν, προσφέροντας πλεονεκτήματα, όπως αντίσταση σε ορισμένα αντιβιοτικά. Συνήθως, τα βακτήρια χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με το σχήμα τους.

- Σφαιρικά (ή αλλιώς κόκκοι)
- Ραβδοειδή (ή αλλιώς βάκιλλοι)

- Σπειροειδή (ή αλλιώς σπριρύλλια)
- Καμπυλόγραμματες ράβδοι (δονάκια)
- Σπειροχαίτες

Τα βακτήρια παρουσιάζουν όλα τα είδη περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών. Υπάρχουν βακτήρια που χρειάζονται οξυγόνο, ενώ άλλα όχι. Μερικά ευδοκιμούν στη ζέστη, ενώ άλλα χρειάζονται κρύο. Τυπικά παραδείγματα περιλαμβάνουν τη σαλμονέλα και τον σταφυλόκοκκο. Βακτήρια και μικρόβια μπορούν επίσης να βρεθούν σε κάθε βιότοπο στη Γη. Μπορούν να ζήσουν μέσα ή πάνω σε άλλους οργανισμούς. Κάποια προκαλούν βλάβες στους οργανισμούς που παρασιτούν, ενώ άλλα είναι εξαιρετικά ωφέλιμα για τον οργανισμό. Το ίδιο ισχύει και για το ανθρώπινο σώμα. Ορισμένα βακτήρια είναι επικίνδυνα ενώ άλλα είναι ωφέλιμα για τον άνθρωπο.

Δημιουργούν διάφορους συνδυασμούς όταν εμφανίζονται σε ζευγάρια, αλλά υπάρχουν και μόνοι τους. Υπάρχουν σχεδόν σε κάθε πτυχή της ζωής και της φύσης μας. Τείνουν να ζουν πάνω ή μέσα σε άλλους οργανισμούς, όπως φυτά, ζώα και ανθρώπους. Πολλά βακτήρια βρίσκονται επίσης στο ανθρώπινο σώμα, όπως στο πεπτικό σύστημα. Άλλα βρίσκονται στο έδαφος ή σε νεκρούς οργανισμούς, όπου ενισχύουν την ανακύκλωση ουσιών. Μερικά προκαλούν προβλήματα στους οργανισμούς που υπάρχουν και ευθύνονται για δηλητηρίαση και βλάβη, ενώ άλλα είναι ωφέλιμα για τον οργανισμό που τα φιλοξενεί. Τα αντιβιοτικά είναι συνήθως μια καλή άμυνα κατά των βακτηριακών λοιμώξεων, καθώς είτε τα σκοτώνουν είτε τα εμποδίζουν να αναπαραχθούν.

Ο τρόπος με τον οποίο αναπαράγονται τα βακτήρια είναι ενδιαφέρον, καθώς αναπαράγονται με μια μέθοδο που ονομάζεται δυαδική σχάση. Αυτός ο μονοκύτταρος οργανισμός, λοιπόν, διαιρείται σε δύο πανομοιότυπα κύτταρα κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας και από το DNA του γονικού κυττάρου προκύπτουν δύο πανομοιότυπα νέα. Κάθε κύτταρο που προκύπτει είναι το ίδιο με το γονικό του κύτταρο. Ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες κατά την αναπαραγωγή, εμφανίζονται διαφορετικές ταχύτητες επανεμφάνισης αυτού του φαινομένου. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία είναι πολύ γρήγορη. Κάτω από ευνοϊκές συνθήκες, ορισμένα βακτήρια μπορούν να αναπαράγονται κάθε 20 λεπτά. Μερικά σχηματίζουν εξαιρετικά ισχυρούς μηχανισμούς επιβίωσης, όπως τα ενδοσπόρια, τα οποία κάνουν το σώμα ανθεκτικά σε εχθρικές φυσικές και χημικές συνθήκες και, τελικά, δύσκολα καταστρέφονται. Αυτή η κατάσταση τα καθιστά δυσάρεστα παθογόνα, όπως ο *Bacillus anthracis*, η αιτία του άνθρακα.

Σε ένα εξελικτικό παιχνίδι, ειδικά μεταξύ μικροβίων, είναι σημαντική η μακροπρόθεσμη επιβίωση του πληθυσμού με τη βοήθεια εξελισσόμενων στρατηγικών. Η επιβίωση εξαρτάται επίσης από τις στρατηγικές που θα ακολουθήσουν τα άλλα μικρόβια [353]. Εκτός από τη δυνατότητα εξέλιξης ενός πληθυσμού, σημαντική είναι και η φυσική κατάσταση του ατόμου, η οποία καθορίζεται από τον αριθμό των απογόνων. Μελετήθηκαν τρεις περιπτώσεις μικροβίων ως προς τον αλτρουϊσμό, την εξαπάτηση και τη συνεργασία ή σύγκρουση μεταξύ τους περιγράφοντας τους οργανισμούς, τις συμπεριφορές τους και τις μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις από τις οποίες προέκυψαν οι πίνακες κέρδους (fitness) για κάθε μελέτη.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μικροοργανισμών περιλαμβάνουν συνεργασία, αλτρουϊσμό, ανταγωνισμό ή ακόμα και εκμετάλλευση. Οι αλληλεπιδράσεις, ωστόσο, κοστίζουν από την άποψη της ενέργειας του σώματος και πρέπει να αποκτηθούν κάποιοι πόροι για να γίνει αυτό. Η σύγκριση μεταξύ κόστους και κέρδους σε πόρους μετά από κάθε αλληλεπίδραση είναι η ανταμοιβή του οργανισμού για τη συγκεκριμένη αλληλεπίδραση. Αυτές οι στρατηγικές είναι πρακτικά οι φαινότυποι. Οι πιο επιτυχημένοι οργανισμοί είναι αυτοί που εξασφαλίζουν την αναπαραγωγή τους και έχουν την υψηλότερη φυσική κατάσταση. Επομένως, η καλύτερη στρατηγική επιλέγεται από τη φυσική επιλογή.

Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι σε περιπτώσεις συνεργασίας και αλτρουϊσμού αποδεικνύεται ότι υπάρχουν σταθερές ισορροπίες ανταμοιβών, κάτι που έρχεται σε αντίθεση με τις ατομικιστικές συμπεριφορές και την επιβίωση του πιο ικανού ως μοντέλο εξέλιξης. Ανάλογα με τη στρατηγική που

πρέπει να ακολουθηθεί, οι κινήσεις εξετάζονται διαφορετικά και λαμβάνονται άλλες αποδόσεις ανά στρατηγική. Ο αλτρουϊσμός και ο εγωισμός είναι δύο βασικές στρατηγικές και τα μικρόβια μπορούν είτε να είναι αμοιβαία ωφέλιμα, είτε να ενεργούν σκεπτόμενοι το κοινό καλό, είτε εγωιστικά ή ακόμα και οδηγούμενα από μοχθηρά κίνητρα [132].

Το βακτήριο του εδάφους *Bacillus subtilis* μελετήθηκε σε διάφορα στρεσογόνα περιβάλλοντα [690]. Έτσι, αυτό το είδος τείνει να ελέγχει πώς ανταποκρίνονται οι γείτονές του στο περιβάλλον γύρω τους. Το βακτήριο μπορεί να ακολουθήσει δύο στρατηγικές: είτε να ξεκινήσει τη διαδικασία σπορίωσης είτε αλλιώς να αδρανοποιήσει ρίχνοντας το μισό DNA του στο περιβάλλον και τυλίγοντάς το σε ένα κέλυφος. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα ή όταν οι συνθήκες έχουν βελτιωθεί, το σπόριο μετατρέπεται ξανά σε ένα φυσιολογικό βακτήριο. Αν και τα περισσότερα βακτήρια φαίνεται να επιλέγουν αυτή τη στρατηγική σε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες, ένας μικρός αριθμός φαίνεται να επιλέγει τη δεύτερη απόφαση να εισέλθει σε μια κατάσταση που ονομάζεται επάρκεια. Κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού, τα βακτήρια επιλέγουν να εγκαταλείψουν τη δημιουργία σπορίων και να κλέψουν μέρος του DNA του γείτονά τους για να προσαρμοστούν στο περιβάλλον. Η επιλογή της επάρκειας φαίνεται να είναι η ασφαλέστερη σε περιπτώσεις που βελτιώνεται το περιβάλλον, επειδή η διαδικασία σπορίωσης έχει κόστος. Αυτή η διαδικασία μπορεί να αντιμετωπιστεί ως περίπτωση PD, ενός από τα πιο διάσημα και κλασικά παιχνίδια της Θ.Π., το οποίο βρίσκει εφαρμογές και στην Ε.Θ.Π..

Τα βακτήρια φαίνεται να αντιδρούν όχι μόνο με βάση το περιβάλλον και τα επίπεδα στρες, αλλά και λαμβάνοντας υπόψη τι μπορούν να κάνουν άλλα βακτήρια. Η δημιουργία σπορίων μπορεί να είναι μια διαδικασία που διαρκεί αρκετές ώρες και επομένως δεν φαίνεται καλή ιδέα για επιλογή, ωστόσο εάν κανένα βακτήριο δεν την επιλέξει ως στρατηγική, δεν θα προκύψει επιπλέον DNA ώστε τα υπόλοιπα να εισέλθουν στην κατάσταση. Η πολυπλοκότητα αυτού του προβλήματος αυξάνεται αν λάβει κανείς υπόψη τον παράγοντα του χρόνου απόφασης.

Στο Δίλημμα των Φυλακισμένων ο πρώτος που κάνει επιλογή δεν κερδίζει ούτε χάνει και επίσης δεν ξέρει τι έκανε ο σύντροφός του. Στην περίπτωση των βακτηρίων, η γνώση των άλλων στρατηγικών είναι βασικός παράγοντας για τη λήψη αποφάσεων. Ως εκ τούτου, η τελική απόφαση εξαρτάται επίσης από το πόσο ακραίες είναι οι περιβαλλοντικές συνθήκες και πόσο γρήγορα βελτιώνονται ή επιδεινώνονται, καθώς και από το εάν ένα άλλο βακτήριο θα αποφασίσει πρώτα. Εάν το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της μελέτης επιλέξει να μην σποριώσει, ένα βακτήριο μπορεί να επιλέξει να το κάνει και να αλλάξει την ισορροπία του παιχνιδιού πέρα από αυτό [690]. Ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης μπορεί να συμβουλευτεί την αναφορά [428] για περισσότερες οδηγίες σχετικά με την πιθανή χρήση του PD στη βιολογία.

Τα βακτήρια έχουν την ικανότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω χημικών σημάτων και στρεσογόνων παραγόντων που σχετίζονται με τον πληθυσμό, οι αλλαγές στο περιβάλλον τους και οι επιλογές άλλων πληθυσμών παίζουν βασικό ρόλο. Η επάρκεια, αν και φαίνεται πιο ασφαλής, διατρέχει πολύ μεγαλύτερο κίνδυνο καταστροφής, ενώ η σπορίωση ισοδυναμεί με ομολογία στο PD. Η τελική απόφαση των βακτηρίων λαμβάνεται ουσιαστικά σε κυτταρικό επίπεδο και σχετίζεται άμεσα με το επίπεδο στρες του βακτηρίου.

4.4 Παίγνια και βακτήρια

Στην Ε.Θ.Π., τα βακτήρια υποτίθεται ότι έχουν έναν μόνο σκοπό, δηλαδή να ανταγωνίζονται για μακροπρόθεσμη επιβίωση με κληρονομικά χαρακτηριστικά και η απόδοσή τους είναι η Δαρβινική ικανότητα, η μέση αναπαραγωγική επιτυχία, η οποία συνδέεται με τις άλλες στρατηγικές βακτηρίων.

Τα βακτήρια παίζουν το παιχνίδι “Prisoners’ Dilemma” της κλασικής Θ.Π., ενισχυμένο με την ικανότητα συλλογισμού για να επιβιώσουν. Στο [690] μελετούν τη συμπεριφορά του βακτηρίου του εδάφους *Bacillus subtilis* σε πολλά περιβάλλοντα με στρεσογόνους παράγοντες. Φαίνεται ότι αυτού του είδους τα βακτήρια τείνουν να ελέγχουν τις αντιδράσεις των γειτόνων τους στο περι-

βάλλον και έχουν δύο επιλογές για να διαλέξουν. Αυτό το βακτήριο μπορεί είτε να επιλέξει την *σπορίωση* είτε να επιλέξει την *επάρκεια*. Κατά τη διάρκεια της σπορίωσης, τα βακτήρια απορρίπτουν το μισό από το DNA τους. Το σπόριο μετατρέπεται σε βακτήριο μετά από ένα χρονικό διάστημα. Η επάρκεια από την άλλη πλευρά είναι μια διαδικασία όπου τα βακτήρια κλέβουν μέρος του απορριφθέντος DNA προκειμένου να προσαρμοστούν στο σκληρό περιβάλλον. Η σπορία είναι σαν να εξομολογείται κανείς στο δίλημμα του φυλακισμένου, ενώ η επάρκεια είναι σαν να μένει σιωπηλός.

Αυτή η ιδέα είναι παρόμοια με το κλασικό παιχνίδι. Στο δίλημμα των φυλακισμένων δύο άτομα συλλαμβάνονται για κακούργημα. Βρίσκονται σε ξεχωριστά κελιά και παρουσιάζονται και οι δύο με την ίδια προσφορά. Όταν ο ένας μένει σιωπηλός και ο άλλος ομολογεί, ο πρώτος είναι ελεύθερος να πάει και ο δεύτερος παίρνει την πλήρη πρόταση. Αν και οι δύο ομολογήσουν, αντιμετωπίζουν την ποινή, αλλά με πρόωγη αποφυλάκιση, και αν κανένας από τους δύο δεν ομολογήσει, τιμωρούνται με μικρότερη ποινή. Από ορθολογική άποψη, θα πρέπει να επιλέξουν να μην ομολογήσουν, για να πάρουν την πιο ελαφριά ποινή, αλλά από τη σκοπιά του κάθε κρατούμενου, η βέλτιστη στρατηγική είναι να αποστασιοποιηθεί.

Όπως οι κρατούμενοι, τα βακτήρια κάνουν μια επιλογή με βάση το περιβάλλον και το τι μπορεί να κάνουν άλλα βακτήρια. Η δημιουργία σπορίων είναι χρονοβόρα, επομένως μόνο με βάση τη λογική τα βακτήρια θα πρέπει να επιλέξουν την ικανότητα. Αυτό δεν είναι εύλογο, καθώς δεν θα υπήρχε σπορίωση και κανένα βακτήριο δεν θα μπορούσε να αποκτήσει το απαραίτητο επιπλέον DNA. Τα βακτήρια επικοινωνούν μέσω χημικών ουσιών σχετικά με το πόσο γεμάτη είναι η αποικία, οι περιβαλλοντικοί στρεσογόνοι παράγοντες και άλλες βακτηριακές αποικίες τριγύρω. Ωστόσο, μια ενδιαφέρουσα στροφή σε αυτό το παιχνίδι είναι όταν προστίθεται το στοιχείο του χρόνου. Σε αντίθεση με το κλασικό δίλημμα των φυλακισμένων, τα βακτήρια μπορούν να πάρουν την απόφασή τους με βάση τον αριθμό των γειτόνων που εισέρχονται σε σπορίωση τη συγκεκριμένη στιγμή. Φυσικά, η βέλτιστη στρατηγική για ένα βακτήριο είναι να περιμένει άλλα βακτήρια να πάρουν μια απόφαση, αλλά και πάλι πρέπει να αποφασίσουν αρκετά γρήγορα για να αποφύγουν τον θάνατο.

Οι Turner και Chao [762] διερεύνησαν γιατί οι πληθυσμοί φάγων βακτηριακού RNA έχουν διαφορετικές συχνότητες από τους δύο γονότυπους $\phi 6$ σε διαφορετικές πολλαπλές λοιμώξεις. Συσχετίστηκε με την Θ .Π. και μελετήθηκε ως PD δείχνοντας πειραματικά ότι δημιουργείται μια αντισταθμιστική κατάσταση σε μορφή πίνακα κερδών, στην οποία η εγωϊστική συμπεριφορά οδηγεί στη βέλτιστη συμπεριφορά.

Ένα άλλο παιχνίδι που παίζουν τα βακτήρια είναι το παιχνίδι “Hawk-Dove”. Σε αυτό το παιχνίδι, οι παίκτες αποφασίζουν ανεξάρτητα αν θα συμβιβαστούν ή θα συγκρουστούν. Είναι ένα παιχνίδι που παίζεται συνήθως στη βιολογία και στην Ε.Θ.Π. και είναι κυρίως ένα παιχνίδι υπερηφάνειας. Εάν ένας παίκτης υποχωρήσει για να αποφύγει το χειρότερο αποτέλεσμα, η σύγκρουση αποφεύγεται και το παιχνίδι τελειώνει. Όμως, οι παίκτες κοροϊδεύουν ο ένας τον άλλον για να αυξήσουν τον κίνδυνο ντροπής στην υποχώρηση. Για παράδειγμα, στο [190] ένα όσπριο - ένα φυτό φασολιών - έχει δημιουργήσει μια ανταλλαγή πόρων με βακτήρια που παρέχουν άζωτο. Το φυτό μπορεί να χρησιμοποιήσει το άζωτο για τη φωτοσύνθεση. Τα βακτήρια ζουν στις ρίζες του φυτού και βασίζονται στο φυτό για τη ζάχαρη ως ενέργεια. Αυτή η σχέση βασίζεται στη συνεργασία, ή τουλάχιστον θα έπρεπε να βασίζεται. Εάν οι εταίροι συναλλάσσονται με πιστότητα, η συνεργασία αναδεικνύεται ως ESS.

Οι Noel et al. [586] πρότειναν το δικό τους παιχνίδι, όπου τα βακτήρια έχουν ένα επίπεδο ενέργειας. Μπορούν να κερδίσουν ή να ξοδέψουν ενέργεια. Εάν το βακτήριο ξοδέψει ενέργεια μπορεί να πεθάνει ή με επαρκή ενέργεια μπορεί να επιβιώσει. Τα βακτήρια μπορούν να είναι είτε άπληστα είτε συνεργάσιμα. Το παιχνίδι παίζεται σε πολλούς γύρους και οι ενέργειες κάθε παίκτη ενημερώνονται. Το παιχνίδι τελειώνει όταν όλοι οι παίκτες λιμοκτονούν ή αποδειχθεί ότι είναι επιτυχημένοι.

Παρακάτω, παρουσιάζεται ένας πίνακας με τα παιχνίδια και τις πιο σημαντικές πληροφορίες

για αυτά.

Βακτήριο	Παίγνιο	Αναφορά
Βακτήριο εδάφους <i>Bacillus subtilis</i>	Δίλημμα των Φυλακισμένων	Jose Onuchic[193]
Βακτήρια που παρέχουν άζωτο	Hawk vs Dove	Charles C. Cowden[190]
<i>E. coli</i>	Rock-Paper-Scissor	E. Frey και T. Reichenbach[288]
Βακτήρια	Βακτήρια και ενέργεια	Noel et al.[586]

Πίνακας 2. Βακτήρια, Παίγνια και Αναφορές

Ως παιχνίδι δηλητήριο – αντίδοτο, ο Nowak παρουσίασε στο [591] μια αντιστροφή του διαχωρισμού των χρωμοσωμάτων των σεξουαλικών ειδών. Ένα άλλο τυπικό παιχνίδι της Θ.Π., που φαίνεται να χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα πλήθος διαφορετικών οικοσυστημάτων, είναι το “Rock-Scissors-Paper” (RSP). Η ιδιαιτερότητα αυτού του παιχνιδιού είναι ότι είναι κυκλικό μεταξύ τριών παικτών. Σε αυτό το παιχνίδι η πέτρα τυλίγεται σε χαρτί, το χαρτί κόβεται με ψαλίδι και το ψαλίδι συνθλίβεται από την πέτρα. Σε βιολογικό επίπεδο υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες που αντιστοιχούν σε πέτρα, ψαλίδι και χαρτί: παραγωγός (P), ανθεκτικός (R) και ευαίσθητος (S).

	P	R	S
P	0	-a	b
R	a	0	-c
S	-b	c	0

Πίνακας 3. Πίνακας κέρδους για το παιχνίδι RSP, όπου a, b, c είναι τα κέρδη

Το RSP μπορεί να σχετίζεται άμεσα με το PD, με τις εξής διαφορές: υπάρχουν περισσότεροι παίκτες και προστίθεται μια επιπλέον στρατηγική. Έτσι, το RSP φέρνει μια πρόσθετη πολυπλοκότητα στον πίνακα των πιθανών κερδών [540]. Οι πληθυσμοί *Escherichia coli* έχουν διερευνηθεί καθώς παίζουν αυτό το παιχνίδι [441]. Σε αυτήν την περίπτωση, το παιχνίδι παίζεται είτε μεταξύ δύο ή τριών ανταγωνιστικών ποικιλιών.

Το “Πέτρα-Ψαλίδι-Χαρτί” είναι ένα πολύ γνωστό παιχνίδι μεταξύ δύο παικτών, όπου σχηματίζουν ταυτόχρονα ένα από τα τρία διαφορετικά σχήματα χρησιμοποιώντας το χέρι τους: “πέτρα”, “ψαλίδι” και “χαρτί”. Οι [441] και [288] μελέτησαν τρία στελέχη *Escherichia coli* και φαίνεται ότι αυτά τα βακτήρια παίζουν το προαναφερθέν παιχνίδι. Τα τοποθέτησαν σε ένα πιάτο Petri και ανακάλυψαν ότι αν και στην αρχή αυτά τα στελέχη συνυπάρχουν, αφού τα έβαλαν σε μια φιάλη και ανακατεύοντας σ’ αυτά, μόνο το ανθεκτικό στέλεχος επιβιώνει ενώ τα άλλα δύο πεθαίνουν.

Η εγωιστική συμπεριφορά που εμφανίστηκε στην PD χρησιμοποιήθηκε επίσης για να εξηγήσει τη δυναμική πολλαπλασιασμού του μεταλλάγματος *E. coli* σε μια υποβέλτιστη κατάσταση. Το [441] χρησιμοποίησε το RSP για να μελετήσει επίσης την ποικιλομορφία του *Escherichia coli* και των βακτηρίων. Τρία ανταγωνιστικά είδη εμφανίστηκαν στο σύστημά τους και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ποικιλομορφία μπορεί να προωθηθεί μέσω μη ιεραρχικών ανταγωνιστικών σχέσεων. Ανταγωνιστικές βακτηριακές κοινότητες μπορούν να συνυπάρξουν μόνο εάν προκύψουν οικολογικές διεργασίες όπως η διασπορά, η κίνηση και η αλληλεπίδραση μικρής κλίμακας, όπως καταδεικνύεται από το RSP. Μια περιεκτική ανασκόπηση των παιχνιδιών που παίζουν τα μικρόβια κατά τη διάρκεια της ζωής τους δίνεται στο [426], ενώ ορισμένες υποδείξεις για τη χρήση του Θ.Π. γενικά ως μοντέλου υπολογισμού με βιολογική έμπνευση, μπορείτε να βρείτε στο [753].

Πειράματα πραγματοποιούνται μεταξύ τριών στελεχών. Στις περιπτώσεις που οι αλληλεπιδράσεις συμβαίνουν τοπικά, ο πληθυσμός συνυπάρχει για συγκεκριμένες τιμές των παραμέτρων του μοντέλου. Ωστόσο, στην περίπτωση μιας μεγαλύτερης γειτονιάς, το πιο ανθεκτικό στέλεχος επιβιώνει και η συνύπαρξη δεν είναι δυνατή.

4.5 Μια έρευνα για τα εξελικτικά παιχνίδια στη βιολογία

Οι εφαρμογές της Θεωρίας Παιγνίων στη βιολογία είναι πολυάριθμες, συγκρίνοντας και μοντελοποιώντας καταστάσεις μεταξύ βακτηρίων, ιών, κ.λπ. τέτοιων φαινομένων. Ειδικότερα, η εισαγωγή των αυτόματων φέρνει νέες δυνατότητες στη διαδικασία λήψης αποφάσεων[423]

Τα παιχνίδια είναι γνωστό ότι είναι μια από τις παλαιότερες έννοιες που κατανοούν και παίζουν οι άνθρωποι. Ο κύριος σκοπός των παικτών είναι φυσικά η νίκη. Η Θεωρία Παιγνίων [781] είναι ένα καθιερωμένο ερευνητικό πεδίο που μελετά τη λήψη αποφάσεων με χρήση μαθηματικών εργαλείων προκειμένου να κατανοήσει καταστάσεις στις οποίες εμπλέκονται πολλά μέρη που ανταλαμβάνουν ενέργειες με βάση τη λογική και τα ενδιαφέροντά τους.

Σήμερα η Θ.Π. εφαρμόζεται με επιτυχία σε πολλούς τομείς που κυμαίνονται από τις κοινωνικές επιστήμες και τα οικονομικά μέχρι τη βιολογία. Έχει αποδειχτεί καρποφόρα στη μελέτη κοινωνικών διλημμάτων, δηλαδή καταστάσεων όπου το όφελος των πολλών θα πρέπει να υπερτερεί του οφέλους του ατόμου. Το κύριο πλεονέκτημα του GT είναι η ικανότητα ανάλυσης της σύγκρουσης ή της συνεργασίας μεταξύ λογικών ατόμων και των στρατηγικών που επιλέγουν να ακολουθήσουν προκειμένου να επιτύχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Ο σκοπός κάθε ατόμου είναι να επιτύχει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα, το οποίο επισήμως ονομάζεται χρησιμότητα, απόδοση ή ευημερία, ανάλογα με το περιβάλλον. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να ακολουθήσουν μια στρατηγική και να αποφασίσουν αν θα συνεργαστούν ή θα κάνουν πίσω.

Τις τελευταίες δεκαετίες ο τομέας της Θ.Π. έχει επεκταθεί με νέες ιδέες και έννοιες έξω από τους παραδοσιακούς τομείς των οικονομικών και κοινωνικών επιστημών. Η μορφή του έχει βελτιωθεί με επεκτάσεις όπως τα κβαντικά και τα εξελικτικά παιχνίδια. Αυτή η εξέλιξη έχει προσελκύσει στον τομέα των μαθηματικών, των κβαντικών φυσικών, των βιολόγων και φυσικά, των επιστημόνων υπολογιστών, εκτός από οικονομολόγους και θεωρητικούς παιγνίων. Η Κβαντική Θεωρία (QT) συγκεκριμένα έχει ρίξει φως σε μια νέα προοπτική και προσφέρει πολλές νέες δυνατότητες.

Στο ίδιο πνεύμα, έχει επίσης γίνει αντιληπτό ότι η Θ.Π. θα μπορούσε να είναι χρήσιμη στη βιολογία, προκειμένου να μελετηθεί και να κατανοηθεί η δυναμική του πληθυσμού. Σε αυτό το νέο βιολογικό παράδειγμα της Θ.Π. υπάρχουν πολλές ομοιότητες με την κλασική, αλλά και μερικές αξιοσημείωτες αλλαγές. Κάτω από αυτό το νέο πρίσμα, η ανταμοιβή έχει γίνει κέρδος στη Δαρβινική φυσική κατάσταση και ο ορθολογισμός, ένα από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των κλασικών παικτών, έχει αντικατασταθεί από τη φυσική επιλογή. Αυτή η νέα προοπτική φέρνει μια θετική προσθήκη στην κλασική Θ.Π., επειδή στην πραγματική ζωή, οι οντότητες δεν λειτουργούν πάντα με βάση τη λογική, αλλά σε αμέτρητες περιπτώσεις ενεργούν με βάση τα ένστικτα. Έχει επισημανθεί από πολλούς ερευνητές ότι οι βιολογικές οντότητες συμπεριφέρονται «έξυπνα». Για παράδειγμα, στο [511] υποστηρίζεται ότι τα βακτήρια είναι πιο έξυπνα από ό,τι πιστεύεται παραδοσιακά, παρουσιάζοντας προσαρμοστικότητα στις στρατηγικές επιβίωσης, που αποδίδεται σε κάποια μορφή ηλεκτρική ή χημική επικοινωνία μεταξύ τους. Τα βακτήρια ενεργούν ως άτομα, αλλά υπό ορισμένες συνθήκες ενώνονται ως πολυκύτταρος οργανισμός. Εκφράζουν μια συνεργατική συμπεριφορά για να επιβιώσουν.

Η συμβολή αυτής της εργασίας είναι η εκτενής έρευνα που παρουσιάζει σχετικά με τη συσχέτιση των εξελικτικών παιχνιδιών με τη θεωρία των αυτομάτων. Από όσο γνωρίζουμε, δεν υπάρχουν μέχρι στιγμής άλλες έρευνες που να επικεντρώνονται σε αυτό το θέμα. Η πιο κοντινή έρευνα είναι τα [817] αλλά από βιολογική άποψη, με ένα μικρό μέρος να αναφέρεται σε βιολογικά συστήματα

και παιχνίδια. Ελπίζουμε η τρέχουσα έρευνα να δώσει ώθηση και να εντείνει τη συνεχιζόμενη έρευνα στον τομέα αυτό.

Η Ε.Θ.Π. είναι ένας συνδυασμός πληθυσμιακής βιολογίας και Θ.Π.. Καθιερώνει ένα πλαίσιο συλλογισμού σχετικά με βιολογικούς πληθυσμούς, όπως βακτήρια και ιούς. Σε ένα τυπικό εξελικτικό παιχνίδι μεταξύ βιολογικών οντοτήτων, οι στρατηγικές αντιστοιχούν σε χαρακτηριστικά, η ανταμοιβή αντιστοιχεί στην αναπαραγωγή και η νίκη στο παιχνίδι αντιστοιχεί στην επιβίωση.

Για παράδειγμα, στο [762] οι Turner et al. χρησιμοποίησαν το παιχνίδι Prisoners' Dilemma για να μελετήσουν έναν ιό RNA. Η κοινοτική εδαφικότητα στα πουλιά rukeko μπορεί επίσης να γίνει κατανοητή με μια προσαρμογή του Διλήμματος των φυλακισμένων σύμφωνα με τον John Craig [192].

Στο [515] εισήχθησαν στοιχεία Θ.Π.. Το σύνολο αποτελείται από δύο υποπληθυσμούς, τον πολλαπλασιαστικό και τον μεταναστευτικό γονότυπο. Η προαναφερθείσα μελέτη προτείνει ότι οι αποδόσεις των διαφορετικών κυτταρικών αλληλεπιδράσεων μπορούν να καθορίσουν τη δυναμική της ανάπτυξης και υπάρχει μια αποπληρωμή στην οποία υπάρχει ο μέγιστος ρυθμός ανάπτυξης του όγκου.

Οι Gatenby και Vincent [300] μελετούν την εξελικτική δυναμική της καρκινογένεσης με τεχνικές Θ.Π. και πληθυσμιακής δυναμικής. Το αποτέλεσμα τους έγκειται στο γεγονός ότι η συνήθισμένη κυτταροτοξική θεραπεία αποτυγχάνει λόγω της ικανότητας των καρκινικών κυττάρων να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες.

Αυτή η εργασία [453] αφορά την εξελικτική μοντελοποίηση του καρκίνου και είναι μια μελέτη για τον πρώιμο σχηματισμό καρκίνου και το μοντέλο επιλογής στοχαστικής μετάλλαξης. Με βάση αυτό το έγγραφο, εάν πριν μια μετάλλαξη προηγηθεί μιας χρωμοσωμικής αστάθειας σε ένα κατασταλακτικό γονίδιο, τότε αυτό γίνεται το έναυσμα στον πρώιμο σχηματισμό [303].

Οι Kerr et al. [441] μελετούν την ποικιλότητα του *Escherichia coli* και των βακτηρίων με τη βοήθεια του παιχνιδιού Rock-Paper-Scissors και προσομοιώνουν τις καταστάσεις με πλέγμα. Το σύστημά τους φαίνεται να έχει τρία ανταγωνιστικά είδη με σχέση ακριβώς όπως το γνωστό παιχνίδι. Ο βράχος συνθλίβει το ψαλίδι, το ψαλίδι κόβει χαρτί και το χαρτί καλύπτει το βράχο. Αυτές οι σχέσεις βρέθηκαν σε διάφορα φυσικά συστήματα. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι οι μη ιεραρχικές ανταγωνιστικές σχέσεις μπορούν να προάγουν τη διαφορετικότητα.

Η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων (Ε.Θ.Π.) μπορεί να θεωρηθεί ως επέκταση της Θ.Π., αλλά με ορισμένες σημαντικές διαφορές. Στην Ε.Θ.Π. οι παίκτες είναι διαφορετικές οντότητες από τους παίκτες στη Θ.Π., όπως ζώα, μικροοργανισμοί, βακτήρια, ιοί κ.λπ. Επιπλέον, οι παίκτες στη Θ.Π. θεωρούνται λογικοί και έτσι η λήψη της απόφασής τους βασίζεται στη λογική, ενώ στην Ε.Θ.Π. οι παίκτες λειτουργούν με βάση τα ένστικτα, τις αποφάσεις και τις επιθυμίες της πλειοψηφίας. Έτσι, η Ε.Θ.Π. προσπαθεί να κατανοήσει και να εξηγήσει τα αποτελέσματα των παιχνιδιών που παίζονται από παράλογους παίκτες που επηρεάζονται από το ένστικτό τους και τις επιλογές των άλλων.

Αυτή η μορφή Θ.Π. είναι μια εξέλιξη κατάλληλη για μοντελοποίηση καταστάσεων όπου οι παίκτες λειτουργούν με βάση τα ένστικτα και όχι τη λογική, κάτι που συμβαίνει συνήθως στον μικρόκοσμο, στο περιβάλλον και στις ζωικές κοινωνίες και φαίνεται να είναι μια πιο ακριβής αναπαράσταση πολλών φαινομένων του πραγματικού κόσμου. Το κύριο αντικείμενο του EGT είναι βιολογικοί πληθυσμοί που αναπτύσσονται και εξελίσσονται δυναμικά σε συνάρτηση με το χρόνο. Είναι η εφαρμογή της GT στο βιολογικό πεδίο, προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι πληθυσμοί, καθώς και τα άτομα, λειτουργούν σε έναν πληθυσμό. Το κύριο ενδιαφέρον έγκειται στα μοντέλα ζευγαρώματος και αναζήτησης τροφής σχετικά με τη συμπεριφορά των ζώων.

Ενώ το παιχνίδι εξελίσσεται, κάθε παίκτης μπορεί να επιλέξει από μια ποικιλία έγκυρων κινήσεων, γνωστών σε όλους τους παίκτες από την αρχή του παιχνιδιού. Οι ενέργειες που είναι διαθέσιμες για κάθε παίκτη κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού περιλαμβάνουν το σύνολο των στρατηγικών που μπορεί να ακολουθήσει ο παίκτης κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού. Οι ενέργειες και η

στρατηγική που επιλέγει κάθε παίκτης επηρεάζουν τη λήψη αποφάσεων από τους άλλους παίκτες.

4.6 Μικρόβια και τα παιχνίδια που παίζουν[426]

Αυτή η εργασία στοχεύει να παρέχει μια συνοπτική και περιεκτική εισαγωγή στη Θεωρία Παιγνίων και την Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων και να παρουσιάσει μια ποικιλία παιχνιδιών που παίζουν τα μικρόβια και συγκεκριμένα οι πληθυσμοί των βακτηρίων μεταξύ τους. Η εισαγωγή καλύπτει θεωρητικές έννοιες, χρήσιμες για την κατανόηση των βασικών ιδεών και την επεξήγηση των θεμελιωδών εννοιών, ώστε να είναι πιο απλές στην κατανόηση.

Στη συνέχεια προχωράμε με τις απαραίτητες αναφορές στα πιο σημαντικά σχετικά έργα, τόσο για την Θ.Π. όσο και για την Ε.Θ.Π. και στη συνέχεια παρουσιάζουμε τη συμβολή αυτής της εργασίας. Η σύνδεση μεταξύ Θ.Π. και βακτηρίων αναλύεται και εξηγείται. Μερικά παιχνίδια που θα μπορούσαν να παίζουν τα βακτήρια παρουσιάζονται στην αρχή και μερικά από τα πιο χαρακτηριστικά μοντέλα που έχουν εισαχθεί από ερευνητές συνοψίζονται σε αυτό το άρθρο. Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, ολοκληρώνουμε την εργασία μας με μελλοντικές επεκτάσεις. Ένας σχετικό περιορισμένος αριθμός μελετών έχει επικεντρωθεί σε αυτό το θέμα. Έρευνες όπως οι [441] και [288] είναι κάπως πιο κοντά σε αυτήν τη γραμμή έρευνας, αλλά καμία από αυτές τις εργασίες δεν παρουσίασε ένα πλήρες φάσμα των παιχνιδιών που μπορούν να θεωρηθούν ότι παίζουν τα βακτήρια. Ελπίζουμε ειλικρινά ότι αυτή η έρευνα θα δώσει ιδέες και κίνητρα για άλλα νέα έργα στον τομέα της Ε.Θ.Π. ή ακόμα και στη βιολογία βασισμένα σε βακτήρια.

Η Θεωρία Παιγνίων παρέχει τα μέσα για την κατανόηση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων προσαρμόζει την κλασική Θεωρία Παιγνίων έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί σε παράλογους παράγοντες, όπως εκείνους που κατοικούν στον μικρόκοσμο. Συνήθως, τα μικρόβια και τα βακτήρια δεν ενεργούν σύμφωνα με μια λογική διαδικασία. Συχνά οι ενέργειές τους βασίζονται σε άλλους μηχανισμούς που τα βοηθούν να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν. Σε αυτή τη μελέτη παρουσιάσαμε και εξηγήσαμε μερικά από τα παιχνίδια που παίζουν διάφορα είδη βακτηρίων. Ως μελλοντική επέκταση, μπορεί κανείς να εισαγάγει και να δοκιμάσει τα παιχνίδια που έχουμε παρουσιάσει σε αυτήν την εργασία σε εργαστηριακό περιβάλλον, ώστε να συλλέξει περαιτέρω πειραματικά αποτελέσματα και να αναλύσει τις υποκείμενες στρατηγικές.

4.7 Παίγνια και πρωτεΐνες

Οι πρωτεΐνες βρίσκονται στα κύτταρα κάθε ζωντανού οργανισμού, όπως τα φυτά, τα βακτήρια και οι ιοί. Υπάρχουν πολλοί τύποι κυττάρων όπως μυϊκά κύτταρα, εγκεφαλικά κύτταρα, αιμοσφαίρια και άλλα. Οι λειτουργίες αυτών των κυττάρων καθορίζονται από πρωτεΐνες, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την αποστολή σημάτων στον εγκέφαλο, την υποστήριξη των μυών και άλλες δραστηριότητες. Οι πρωτεΐνες, μεταξύ άλλων, δρουν ως καταλύτες, ένζυμα και συμβάλλουν στο να εκτελούνται ταχύτερα οι χημικές αντιδράσεις.

Αν και βρίσκονται σε πολλά σημεία, οι πρωτεΐνες χαρακτηρίζονται από μια αλυσίδα συντηγμένων αμινοξέων. Τα αμινοξέα είναι μικρά μόρια που συνδέονται μεταξύ τους με τη μορφή αλυσίδας. Υπάρχουν 20 διαφορετικά είδη με βάση το πώς ενώνονται τόσο στη βασική αλυσίδα όσο και στις πλευρικές αλυσίδες που δημιουργούνται. Ανάλογα με τις ιδιότητές τους διακρίνονται σε όξινα ή αλκαλικά, υδρόφιλα ή υδρόφοβα. Η προαναφερθείσα αλυσίδα δεν έχει τη μορφή ευθείας γραμμής, αλλά διπλώνει και συγκρατεί ορισμένα αμινοξέα πιο κοντά στο κέντρο από άλλα. Ανάλογα με την πρωτεΐνη, προκύπτουν διαφορετικά σχήματα, αλλά το ίδιο υπάρχει για κάθε είδος. Τα περισσότερα διπλώνουν μόνο τους και το σχήμα τους είναι στην πραγματικότητα η σταθερή τους κατάσταση. Το σχήμα τους καθορίζει και τη λειτουργία της πρωτεΐνης, γι' αυτό και έχει ιδιαίτερη αξία.

Η γνώση και η κατανόηση της δομής μιας πρωτεΐνης βοηθά στην κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της, γεγονός που καθιστά την ανάπτυξη φαρμάκων εύκολη υπόθεση. Ο αριθμός των

αμινοξέων ανά πρωτεΐνη εξαρτάται από τον τύπο της. Είναι πολύ δύσκολο να προβλέψουμε πώς θα διπλωθεί μια πρωτεΐνη. Επειδή όμως αποτελούν μεγάλο μέρος πολλών ασθενειών, αξίζει να μελετηθούν καθώς αποτελούν και μέρος της θεραπείας ή της πρόληψης. Αυτό συμβαίνει γιατί σε μια προσπάθεια οι πρωτεΐνες να λειτουργούν ομαλά, είναι πιθανό να εμπλακούν σε ασθένειες. Στην περίπτωση του καρκίνου, τα ίδια τα κύτταρα του σώματος αναπαράγονται ανεξέλεγκτα σε κάποιο σημείο του σώματος. Αυτή η ανάπτυξη μπορεί να περιοριστεί από ομάδες πρωτεϊνών, εάν δεν έχουν καταστραφεί από εξωτερικούς επιβλαβείς παράγοντες. Τέτοιες πρωτεΐνες είναι ο ογκοκατασταλτικός p53, όπου συνήθως αναγνωρίζουν τη βλάβη και εμποδίζουν το κύτταρο να γίνει καρκινικό. Βλάβη σε αυτό το γονίδιο και σε άλλα εμφανίζεται στις μισές περίπου περιπτώσεις καρκίνων.

Διεργασίες όπως η ακαμψία ή η ευελιξία μιας πρωτεΐνης θεωρούνται ως οι στρατηγικές τους. Η διαδικασία της μετάλλαξης ή της επιγενετικής τροποποίησης είναι πρακτικά οι περιπτώσεις που προκαλούν μετατοπίσεις μεταξύ στρατηγικών για οντότητες όπως το RNA και το DNA. Σε αυτές τις πρωτεΐνες, οι λειτουργίες βρίσκονται στις κωδικοποιητικές τους αλληλουχίες. Οι διαφορετικές στρατηγικές μεταξύ διαφορετικών πρωτεϊνών έχουν ως αποτέλεσμα να αναπαράγονται με διαφορετική συχνότητα και συνεπώς διαφορετικές αποδόσεις [132]. Οι Sharan et al. προτείνουν ένα αφηρημένο παιχνίδι με τη βοήθεια αλγορίθμων πρόβλεψης που βασίζονται σε δίκτυο, στο οποίο οι πρωτεΐνες είναι οι παίκτες. Το παιχνίδι δεν είναι συνεργατικό και η ανταμοιβή προκύπτει ως συνδυασμός ομοιότητας τόσο από πλευράς πρωτεϊνών και πληροφοριών όσο και ομοιοτήτων μεταξύ λειτουργικών κλάσεων [692].

Η μελέτη του σχηματισμού ενός συμπλόκου πρωτεϊνών από δύο πρωτεΐνες ως παιχνίδι αποδίδει δύο πιθανές στρατηγικές [458]. Κάθε πρωτεΐνη μπορεί να έχει μια στρατηγική ως προς το σχήμα της. Ως εκ τούτου, μπορεί να θεωρηθεί είτε ευέλικτη είτε άκαμπτη. Ανάλογα με τη στρατηγική που θα επιλέξουν οι δύο παίκτες, θα προκύψουν και οι τελικές καταστάσεις του παιχνιδιού.

	Πρωτεΐνη 1 - Άκαμπτη	Πρωτεΐνη 1 - Εύκαμπτη
Πρωτεΐνη 2 - Άκαμπτη	Χωρίς δεσμό	Με δεσμό
Πρωτεΐνη 2 - Εύκαμπτη	Με δεσμό	Με δεσμό αλλά ασταθή

Πίνακας 4. Παιχνίδι μεταξύ δύο πρωτεϊνών

Εάν και οι δύο πρωτεΐνες είναι άκαμπτες και οι σχηματισμοί τους δεν επικαλύπτονται, δεν μπορεί να υπάρξει δέσμος. Αν η μια είναι άκαμπτη και η άλλη εύκαμπτη μπορούν να συνδεθούν, ενώ αν είναι και οι δύο εύκαμπτες συνδέονται αλλά χωρίς σταθερό τελικό σχήμα του συμπλέγματος. Συμπερασματικά, φαίνεται ότι η καλύτερη περίπτωση είναι η μία πρωτεΐνη να είναι εύκαμπτη και η άλλη άκαμπτη, οπότε οδηγεί στην τελική απόδοση. Το παιχνίδι που μόλις περιγράφηκε θυμίζει το κλασικό παιχνίδι γεράκι-περιστεριού (Hawk-Dove) [383]. Στο κλασικό παιχνίδι Hawk-Dove, και οι δύο παίκτες έχουν έναν στόχο, συνήθως το φαγητό, την αναπαραγωγή ή την κυριαρχία σε μια περιοχή. Ο ρόλος του γερακιού υποδηλώνει μια επιθετική στρατηγική (Defect) ενώ ο ρόλος του περιστεριού προτείνει μια στρατηγική συνεργασίας (Cooperation). Οι πιθανές καταστάσεις που ισχύουν σε αυτό το παιχνίδι κυμαίνονται από το σημείο όπου υπάρχουν δύο γεράκια και επιτίθενται το ένα στο άλλο, δύο περιστερία που μοιράζονται το έπαθλο ή ένα από αυτά παίρνει τη μέγιστη ανταμοιβή και, τέλος, το περιστέρι συναντά το γεράκι και φεύγει, όπου δεν κερδίζει ούτε χάνει ενώ το γεράκι κερδίζει. Ο αποστάτης φαίνεται να έχει τη μέγιστη απόδοση.

Hawk - Dove	Hawk	Dove
Hawk	Επίθεση	Κερδίζει το Hawk
Dove	Κερδίζει το Hawk	Αμοιβαία

Πίνακας 5. Αναπαράσταση του Hawk - Dove

Το Foldit είναι ένα διαδικτυακό παιχνίδι πολλών παικτών, σε αντίθεση με τα θεωρητικά μοντέλα που παρουσιάστηκαν μέχρι τώρα, στο οποίο οι παίκτες συνεργάζονται και ανταγωνίζονται για να δημιουργήσουν ακριβή μοντέλα δομής πρωτεΐνης, σε μια προσπάθεια να προβλέψουν τη δομή μιας πρωτεΐνης. Ουσιαστικά, οι παίκτες δημιουργούν τις δικές τους στρατηγικές γύρω από δομές πρωτεΐνης και μπορούν να τις προτείνουν ως *συνταγές*. Άλλοι παίκτες μπορούν επίσης να τα βελτιώσουν και να τα επεξεργαστούν προκειμένου να εξελίσσουν τους αναδιπλούμενους αλγόριθμους που έχουν προκύψει ως μέρος αυτού του παιχνιδιού. Μέσω αυτής της οπτικής αναπαράστασης, μέχρι στιγμής έχει προκύψει ένας νέος αλγόριθμος για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων μέσω νέων στρατηγικών [442].

4.8 Θεωρία Παιγνίων και καρκίνος

Ο καρκίνος είναι μια γενετική ασθένεια όπου ένας αριθμός μεταλλάξεων αλλάζει συγκεκριμένα κύτταρα και τα μετατρέπει σε πληθυσμούς, όπου το καθένα δρα ξεχωριστά για να κερδίσει χώρο και πόρους έναντι των υπολοίπων. Τα κύτταρα που αποτελούνται από έναν όγκο μπορεί να είναι διαφορετικών τύπων, με αποτέλεσμα διαφορετικά χαρακτηριστικά, συμπεριφορές και αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους καθώς και με το περιβάλλον γύρω τους. Αυτή η ποικιλόμορφη ιδιαιτερότητα επηρεάζει την επιβίωση και την αναπαραγωγή και μεταδίδεται από τα κύτταρα των γονέων στα απογόνους.

Επιπλέον, αυτό το γεγονός δείχνει ξεκάθαρα πόσο επιθετικοί μπορεί να είναι οι τύποι κυττάρων, καθώς και η αντοχή τους στις θεραπείες. Το EGT εστιάζει κυρίως στον τρόπο επιλογής φαινοτύπων όγκου, επειδή η ανάπτυξη καρκίνου εξαρτάται άμεσα από νέους φαινότυπους που εμφανίζονται και δημιουργούν υποπληθυσμούς στον όγκο. Ο ρόλος των φαινοτυπικών μεταπτώσεων στην ανάπτυξη του καρκίνου έχει μελετηθεί από την άποψη της θεραπείας [357].

Οι Anderson et al. έχουν δείξει ενδιαφέρον για την εξέλιξη των επιθετικών φαινοτύπων και τον ανταγωνισμό μεταξύ αυτών των κυττάρων. Ένα από τα χαρακτηριστικά του επιθετικού καρκίνου είναι ότι υπάρχουν φαινότυποι που σταδιακά εξαρτώνται όλο και λιγότερο από τη γειτονιά τους [38], [357]. Σε μεγάλο αριθμό περιπτώσεων μέσω των παιχνιδιών που μελετήθηκαν, φαίνεται ότι κύτταρα που είναι ανεξάρτητα από το περιβάλλον στο οποίο ανήκουν, μπορούν να συνυπάρχουν με κύτταρα που εξαρτώνται από το μικροπεριβάλλον τους. Δεν είναι απαραίτητα τα χαρακτηριστικά του όγκου να υιοθετούνται από όλα τα καρκινικά κύτταρα για να αναπτυχθεί ο καρκίνος [74].

Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κυττάρων δεν είναι απαραίτητα μόνο ανταγωνιστικές. Υπάρχει επίσης η περίπτωση που συνεργάζονται διαφορετικοί τύποι καρκινικών κυττάρων με διαφορετικές ιδιότητες και προκύπτει πληθυσμός με συνδυαστικές ιδιότητες. Αυτοί οι τύποι κυτταρικών αλληλεπιδράσεων παίζουν βασικό ρόλο στην εξέλιξη του καρκίνου [730]. Οι περιπτώσεις που διακρίνονται εδώ είναι τα δύο κύτταρα που ωφελούνται όταν αλληλεπιδρούν, επομένως είναι αμοιβαία, που βλάπτονται όταν αλληλεπιδρούν, άρα είναι ανταγωνιστικά, ώστε το όφελος του ενός να υπερβαίνει κατά πολύ τα άλλα κύτταρα, επομένως πρέπει να θεωρείται το αρχικό αρπακτικό, και, τέλος, το όφελος του ενός δεν έχει κόστος για τον άλλον, άρα ικανοποιητικό.

Κύτταρο 1		
Κύτταρο 2	Αμοιβαιότητα	Ανταγωνιστικό
	Ένα αρπακτικό	Ικανοποιητικό

Πίνακας 6. Κυτταρικό παιχνίδι μεταξύ δύο παικτών

Επίσης, ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι αλληλεπιδράσεις των καρκινικών κυττάρων με μη καρκινικά, όπως οι ινοβλάστες, όπου υπάρχει τάση για συνέργεια. Τα χαρακτηριστικά μιας εξελισσόμενης ασθένειας όπως ο καρκίνος είναι ότι τα κύτταρα που τον αποτελούν ευδοκιμούν μόνο εάν προσαρμοστούν στο περιβάλλον γύρω τους, ενώ αυτά που αποτυγχάνουν καταλήγουν να κα-

ταστραφούν. Οι δύο κύριες πτυχές αυτής της ασθένειας, δηλαδή η αλληλεπίδραση μεταξύ των κυττάρων και των νέων χαρακτηριστικών που εμφανίζει ένας πληθυσμός, αποτελούν σημεία ενδιαφέροντος για μαθηματικά μοντέλα που βασίζονται στις αρχές της EGT, καθώς και στη δυναμική του καρκίνου με την πάροδο του χρόνου. Ένας σημαντικός περιορισμός αυτών των μοντέλων είναι η υπόθεση ότι όλες οι πιθανές φαινοτυπικές στρατηγικές πληθυσμού είναι γνωστές καθώς και ο αριθμός των φαινοτύπων σε έναν όγκο, ειδικά όταν ο αριθμός μπορεί να αλλάξει με την πάροδο του χρόνου. Ωστόσο, η μοντελοποίηση τέτοιων καταστάσεων με τη βοήθεια του EGT είναι μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα προσέγγιση, με περιθώρια παρατήρησης συμπεριφορών που διαφορετικά θα είχαν αγνοηθεί. Επίσης, αυτός ο τύπος μοντελοποίησης παρέχει έδαφος για τη μελέτη θεραπειών για τέτοιες ασθένειες.

Απόπειρες μοντελοποίησης της κυριαρχίας των εγωιστικών καρκινικών κυττάρων έχουν εμφανιστεί στη βιβλιογραφία, καθώς τέτοιοι οργανισμοί τείνουν να επιδίδονται σε μονοκυτταρισμό και εγωιστικές συμπεριφορές, εγκαταλείποντας τις συμπεριφορές πολυκύτταρων οργανισμών. Η εμφάνιση ανεξάρτητων οργανισμών σε πληθυσμούς επηρεάζει τις στρατηγικές άλλων οργανισμών καθώς και τη δυναμική του πληθυσμού. Οι στρατηγικές προσαρμόζονται διαφορετικά όταν έρχονται αντιμέτωπες με εγωιστικές συμπεριφορές. Τέτοια μοντελοποίηση φαίνεται να γίνεται με τη χρήση βακτηρίων, για μοντελοποίηση εγωιστικών συμπεριφορών αλλά και συνεργασία με απώτερο στόχο την κατανόηση των αλληλεπιδράσεων άλλων οργανισμών, ακόμη και μεταξύ ενός όγκου-ξενιστή στην ανάπτυξη και εξέλιξη του καρκίνου και της μετάστασης.

Το EGT επιτρέπει τη μοντελοποίηση του καρκίνου προκειμένου να κατανοηθεί η συμπεριφορά τέτοιων κυττάρων. Οι Artem Kaznatcheev και Jacob G. Scott παρουσίασαν τη μελέτη τους για διάφορα καρκινικά κύτταρα προσαρμόζοντας ορισμένες παραμέτρους και μελετώντας τις επιπτώσεις ορισμένων παραγόντων. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματά τους, το περιβάλλον στο οποίο υπάρχουν και εξελίσσονται τέτοια κύτταρα παίζει σημαντικό ρόλο στην κατανόηση τέτοιων συμπεριφορών [437].

Στη βιολογία του καρκίνου, σημαντικό μέρος είναι η αντοχή τους στα φάρμακα. Η επένδυση στην ανθεκτικότητα στα φάρμακα κοστίζει για τα κύτταρα σε σύγκριση με κύτταρα που δεν επενδύουν σε αυτήν, τα οποία μπορούν επομένως να χρησιμοποιήσουν τους επιπλέον πόρους για ανάπτυξη και αναπαραγωγή. Ωστόσο, στην αντιβιοτική κατάσταση, τα κύτταρα που έχουν αναπτύξει αντίσταση είναι αυτά με το μόλυβδο. Ως εκ τούτου, θα μπορούσε κανείς να πει ότι το κέρδος εδώ είναι το κέρδος με τη μορφή επιβίωσης και το κόστος με τη μορφή αντίστασης. Μια τέτοια προοπτική όμως επηρεάζει αρνητικά τη θεραπεία του καρκίνου.

Η δυναμική του παιχνιδιού μεταξύ ανθεκτικών και μη ανθεκτικών κυττάρων εξετάστηκε από την ομάδα του Kaznatcheev, καθώς και η παρουσία ινοβλαστών και αλεκτινίμπης σε αυτό το παιχνίδι. Οι ινοβλάστες είναι κύτταρα που παράγουν κολλαγόνο στον συνδετικό ιστό που φαίνεται να συνεργάζονται με καρκινικά κύτταρα για να αναπαραχθούν, ενώ η αλεκτινίμπη χρησιμοποιείται ως φάρμακο σε περιπτώσεις καρκίνου του πνεύμονα. Έρευνες έχουν δείξει ότι όταν υπάρχουν ινοβλάστες χωρίς αλεκτινίμπη συνυπάρχουν οι δύο προς μελέτη τύποι κυττάρων και επομένως υπάρχουν περιπτώσεις ασθενών που δεν έχουν λάβει καμία θεραπεία. Σε περιπτώσεις όπου συνυπάρχουν ινοβλάστες και αλεκτινίμπη, η ισορροπία μετατοπίζεται σε έναν ανθεκτικό πληθυσμό καρκινικών κυττάρων [437]. Αυτή η μοντελοποίηση προσφέρει μια εναλλακτική στη σύγχρονη θεραπεία του καρκίνου, καθώς είναι περισσότερο μια προσέγγιση σταδιακών δόσεων σε συνδυασμό με παρατήρηση συμπεριφορών καρκινικών κυττάρων παράλληλα και πριν από την επόμενη δόση. Η έρευνα του Kaznatcheev επικεντρώνεται κυρίως στις συμπεριφορές μεμονωμένων κυττάρων, καθώς εκεί στοχεύουν και φάρμακα. Ωστόσο, η γενικευμένη προσέγγιση της κατάστασης λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικούς παράγοντες αλλάζει τη συνολική εικόνα της κατάστασης.

Στη μελέτη του Mansury [515], στοιχεία του GT εμφανίζονται επίσης σε όγκους. Συγκεκριμένα, η πιθανή ανάπτυξη του όγκου μπορεί να αποδοθεί σε απόδοση ανάλογα με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφορετικών κυττάρων, καθώς και την απόδοση για την οποία ο ρυθμός ανάπτυξης του όγκου είναι ο μέγιστος. Η καρκινογένεση είναι ένα ζήτημα που εξετάστηκε επίσης

από τους Gatenby και Vincent [300], οι οποίοι προσπάθησαν να την εξετάσουν από την εξελικτική δυναμική της σκοπιά και έδειξαν ότι η κυτταροτοξική θεραπεία αποτυγχάνει λόγω της προσαρμοστικότητας των καρκινικών κυττάρων στις νέες συνθήκες. Ο πρώιμος σχηματισμός καρκίνου είναι επίσης ένα θέμα στο έργο της Komarova [453]. Η εξελικτική μοντελοποίηση του καρκίνου καθώς και το μοντέλο επιλογής στοχαστικής μετάλλαξης είναι βασικά σημεία σε αυτή τη μελέτη και σύμφωνα με τα αποτελέσματά της, εάν μια μετάλλαξη προηγείται από χρωμοσωμική αστάθεια σε ένα γονίδιο καταστολέα, τότε είναι η ώθηση για πρώιμο σχηματισμό. Ομοιότητες μεταξύ κοινοτήτων κακοήθων κυττάρων και βακτηρίων παρατηρήθηκαν στην ταχεία ανάπτυξη της αντοχής τους στα φάρμακα. Η συλλογική αντίδραση στο στρες είναι ένας παράγοντας αυτής της εξέλιξης και καταφεύγουν σε βακτηριακές κοινότητες ως μοντέλα για καρκινικά κύτταρα.

4.9 Θεωρία Παιγνίων και άλλες αντισυμβατικές προσεγγίσεις στα βιολογικά συστήματα[424]

Η Θεωρία Παιγνίων και ιδιαίτερα η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων είναι πεδία που μελετούν και οι επιστήμονες υπολογιστών, γιατί οι προσομοιώσεις αυτών των παιχνιδιών περιγράφουν ακόμα καλύτερα τις καταστάσεις που παρουσιάζονται θεωρητικά. Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι και μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση καταστάσεων, όπου διαφορετικοί τύποι κυττάρων παίρνουν τη μορφή αντικειμένων. Στην περίπτωση της προσομοίωσης καρκινικών κυττάρων, το περιβάλλον είναι η καρκινική περιοχή που έχει αναπτυχθεί στο σώμα. Για να υπάρξει εξέλιξη, η έννοια της συνεργασίας είναι απαραίτητη. Φυσικά, για να μελετηθούν οι αλληλεπιδράσεις σε μακροσκοπικό επίπεδο, πρέπει να υπάρχουν αρκετοί πληθυσμοί με επαρκή αριθμό ατόμων. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η εξελικτική δυναμική αναδύεται, επιδεικνύοντας μεγάλο ενδιαφέρον.

Οι ιδιότητες του παιχνιδιού έχουν παρατηρηθεί ακόμη και σε βιολογικές διεργασίες όπως η εξέλιξη των πρεβιοτικών. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι αλληλεπιδράσεις σε μικροσκοπικό επίπεδο, δηλαδή σε κυτταρικό και υποκυτταρικό επίπεδο. Εκτός λοιπόν από τη μελέτη των πολυκύτταρων οργανισμών, αξίζει να ερευνήσουμε τα κύτταρα και τα μακρομόρια μέσα σε αυτούς, καθώς φαίνεται να αναπτύσσουν ιδιότητες παιχνιδιού. Οι κινήσεις τους θεωρούνται οι στρατηγικές τους. Οι παίκτες μπορούν να αλλάξουν τη στρατηγική τους, συνήθως μέσω διαδικασιών όπως η μετάλλαξη ή η επιγενετική τροποποίηση, και η επόμενη στρατηγική που πρέπει να ακολουθηθεί προκύπτει από τη φυσική επιλογή. Φυσικά, η έκβαση του παιχνιδιού εξαρτάται από την αναπαραγωγική επιτυχία.

Στον τομέα του καρκίνου, η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων προσφέρει εναλλακτικούς τρόπους μοντελοποίησης, με βάση ένα μαθηματικό υπόβαθρο, προκειμένου να μελετηθούν οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κυτταρικών πληθυσμών και πώς αναπτύσσουν διαφορετικά χαρακτηριστικά [357]. Η βιολογία των όγκων και του καρκίνου έχει μελετηθεί σε αρκετές περιπτώσεις.

Η εισαγωγή αυτής της εργασίας διευκρινίζει όλους τους σημαντικούς όρους, ακολουθούμενους από παιχνίδια και εργασίες ανά πεδίο/βιολογικό πληθυσμό που θα εξεταστεί. Αυτό το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μια σύντομη εισαγωγή στην κβαντική προσέγγιση των παραπάνω εννοιών, σε συνδυασμό με ενδεικτικές αναφορές στη θεωρία των αυτομάτων και τη συσχέτιση όλων των παραπάνω με μη συμβατικές μεθόδους υπολογισμού.

Παραδοσιακά, σε αυτόν τον τομέα, οι παίκτες είναι ορθολογικές οντότητες και ακολουθούν μια στρατηγική σύμφωνα με τα προσωπικά τους κίνητρα και στόχους. Στόχος φυσικά των παικτών είναι να έχουν το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα και να μεγιστοποιήσουν το κέρδος τους επιλέγοντας την πιο κατάλληλη στρατηγική για αυτούς. Κατά τη διάρκεια και τους γύρους ενός παιχνιδιού, κάθε παίκτης καλείται να κάνει την επιλογή του, συνήθως κάνοντας εναλλακτικές στροφές και σε ορισμένες περιπτώσεις ταυτόχρονα. Το εύρος των πιθανών κινήσεων που είναι αποδεκτές στο παιχνίδι είναι γνωστό στους παίκτες από την αρχή και όλοι επιλέγουν από το ίδιο διαθέσιμο σύνολο δεδομένων. Οι επιλογές που κάνουν οι παίκτες στην πορεία ονομάζονται συνήθως στρατηγική που

ακολουθούν σε αυτό το παιχνίδι. Οι επιλογές και η στρατηγική ενός παίκτη επηρεάζουν άμεσα τις άλλες στρατηγικές που θα ακολουθήσουν οι εμπλεκόμενοι.

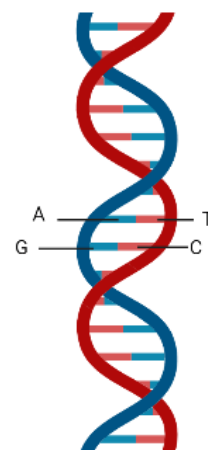
Η μαθηματική αναπαράσταση για τις πληρωμές ανά παίκτη γίνεται με τη μορφή μιας συνάρτησης χρησιμότητας και οι αποδόσεις που περιλαμβάνονται σε αυτήν υπολογίζονται με μαθηματικές εξισώσεις σύμφωνα με τις συμπεριφορές όλων των παικτών. Στόχος του κάθε παίκτη, φυσικά, είναι να έχει την υψηλότερη απόδοση σε σχέση με τους άλλους. Αυτά τα αποτελέσματα τυπικά αντιπροσωπεύονται από έναν πίνακα πληρωμών. Η περίπτωση στην οποία όλοι οι παίκτες καταλήγουν να έχουν την ίδια ανταμοιβή χωρίς να είναι απαραίτητα η υψηλότερη δυνατή, είναι η Ισορροπία Nash (NE) του παιχνιδιού [569]. Αυτό το σημείο είναι ένα από τα πιο σημαντικά concept στο GT. Με αυτή τη γνώση, το GT χρησιμοποιείται σε άλλους τομείς όπως η ψυχολογία, η οικονομία, η πολιτική, τα δίκτυα και η βιολογία. Λόγω της απήχησης του πεδίου, έχουν προκύψει διάφοροι κλάδοι με ελαφρώς διαφορετικές παραμέτρους από αυτές του παραδοσιακού GT.

4.10 Η λανθασμένη αναδίπλωση πρωτεΐνης και οι νευροεκφυλιστικές ασθένειες από τη σκοπιά της θεωρίας παιγνίων

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι να παράσχει μια εισαγωγικού επιπέδου αλλά ολοκληρωμένη έρευνα σχετικά με τη δυνατότητα προβολής και ερμηνείας βιολογικών καταστάσεων, μερικές από τις οποίες αναφέρονται σε ιδιαίτερα σημαντικές έννοιες, όπως η κακή αναδίπλωση πρωτεΐνης και οι νευροεκφυλιστικές ασθένειες, από τη σκοπιά της Θεωρίας Παιγνίων. και, ειδικά, την Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων. Η ικανότητα της Εξελικτικής Θεωρίας Παιγνίων να αιτιολογεί τη δυναμική της εξέλιξης του πληθυσμού σε αφηρημένα γενικά περιβάλλοντα, μπορεί να αποτελέσει ένα κατάλληλο πλαίσιο για τη μελέτη των μοτίβων συμπεριφοράς μικροοργανισμών, όπως τα βακτήρια, οι ιοί, οι πρωτεΐνες και τα αμινοξέα. Ελπίζεται ότι, λόγω της κρίσιμης και απειλητικής φύσης των ασθενειών που προκαλούνται από την κακή αναδίπλωση των πρωτεϊνών, αυτή η διαφορετική προοπτική που μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση θεωρητικών εργαλείων παιχνιδιών, μπορεί να οδηγήσει σε χρήσιμες νέες ιδέες που θα προωθήσουν την έρευνα σε αυτόν τον τομέα.

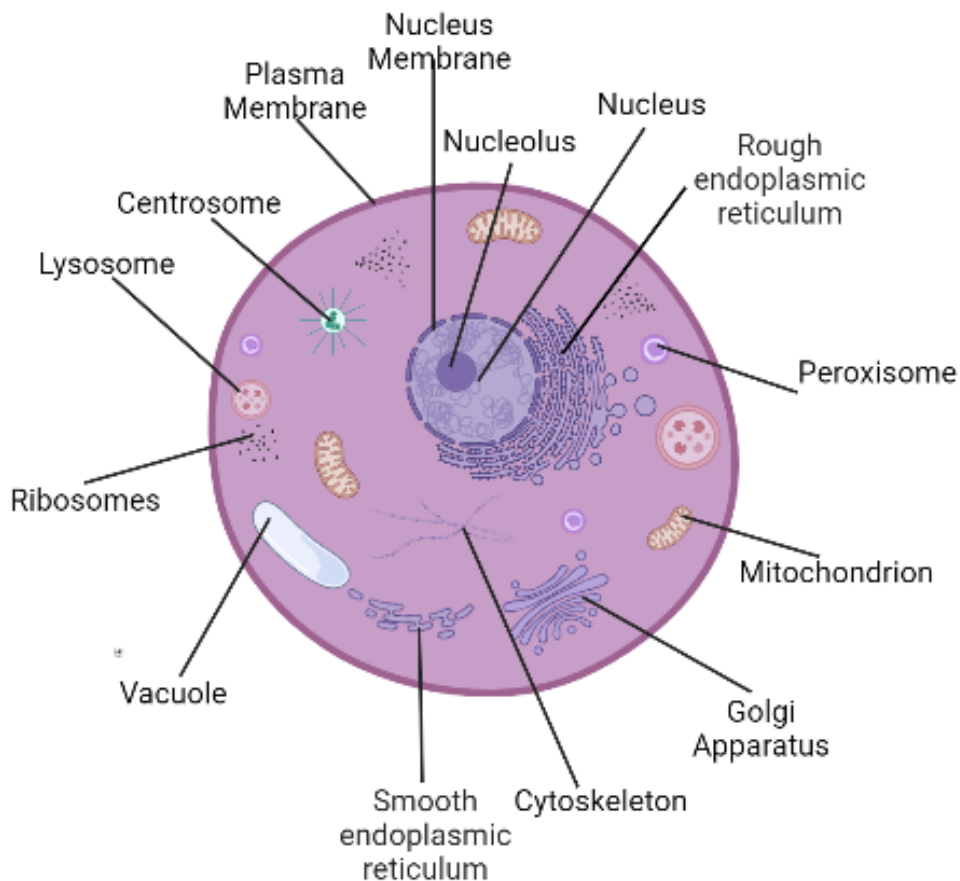
Όλα τα κύτταρα περιέχουν γενετικές πληροφορίες. Γενετική πληροφορία υπάρχει στην αλληλουχία των αζωτούχων βάσεων στα μόρια του DNA: Αδενίνη (A), Γουανίνη (G), Κυτοσίνη (C) και Θυμίνη (T). Τα κύτταρα χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα προκαρυωτικά και τα ευκαρυωτικά. Τα προκαρυωτικά κύτταρα δεν έχουν σχηματισμένο πυρήνα και η γύρω κυτταρική μεμβράνη τα διαχωρίζει από το περιβάλλον. Το γενετικό υλικό βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη περιοχή του κυττάρου που ονομάζεται νουκλεοειδές. Από την άλλη πλευρά, τα ευκαρυωτικά κύτταρα έχουν έναν πλήρως σχηματισμένο πυρήνα, ο οποίος περιέχει το γενετικό υλικό. Αποτελούνται από την πλασματική μεμβράνη, το κυτταρόπλασμα και τον πυρήνα του κυττάρου.

Σε ένα ευκαρυωτικό κύτταρο, το πρώτο πράγμα που φαίνεται είναι μια ομοιογενής μάζα αρκετά περιγεγραμμένη και συγκεντρωμένη σε ένα σημείο εντός του οποίου βρίσκεται ο πυρήνας του κυττάρου. Ο πυρήνας, αλλιώς γνωστός ως «κέντρο ελέγχου», περιβάλλεται από το κυτταρόπλασμα που περιέχει τα οργανίδια που χρησιμεύουν για τη σύλληψη ενέργειας από το εξωτερικό περιβάλλον για το κύτταρο. Κάθε κύτταρο έχει έναν πυρήνα, αλλά υπάρχει και η πιθανότητα ενός κυττάρου με δύο ή περισσότερους πυρήνες. Κατά τη διαφοροποίηση υπάρχουν κύτταρα, όπως τα ερυθρά αιμοσφαίρια, που χάνουν τον πυρήνα τους. Συγκεκριμένα, ο πυρήνας περιβάλλεται από την πυρηνική μεμβράνη, η οποία



Εικόνα 3. DNA

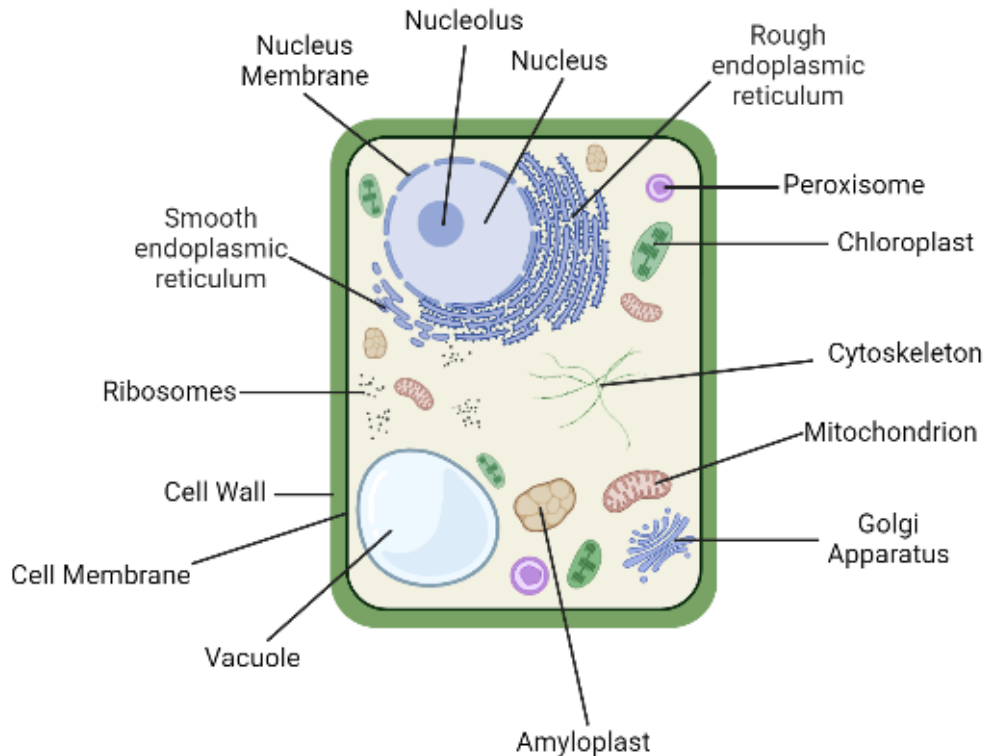
αποτελείται από δύο στοιχειώδεις μεμβράνες, την εξωτερική και την εσωτερική. Κατά διαστήματα παρατηρούνται πόροι που επιτρέπουν στις δύο μεμβράνες να ενωθούν προκειμένου ο πυρήνας να επικοινωνήσει με το κυτταρόπλασμα. Το νουκλεόπλασμα βρίσκεται μέσα στον πυρήνα και είναι μια ημι-ρευστή ουσία που περιέχει το DNA του κυττάρου και πρωτεΐνες, νουκλεοτίδια και άλλο γενετικό υλικό. Ο πυρήνας έχει σφαιρικό σχήμα και πυκνή υφή, περιέχει DNA και RNA χωρίς να περιβάλλεται από μεμβράνη και σε αυτόν συντίθεται rRNA, απαραίτητο για τα ριβοσώματα.



Εικόνα 4. Animal cell representation.

Όλες οι μεμβράνες που βρίσκονται σε ένα κύτταρο συνθέτουν το ενδομεμβρανικό σύστημα, το οποίο αποτελείται από ενδοπλασματικό δίκτυο, σύμπλεγμα Golgi, λυσοσώματα, υπεροξειδωσώματα και κενοτόπια. Το ενδοπλασματικό δίκτυο είναι το σύνολο των αγωγών και των κυστιδίων που διασχίζουν το κυτταρόπλασμα. Διακρίνεται στο τραχύ ενδοπλασματικό δίκτυο και στο λείο ενδοπλασματικό δίκτυο. Στην εξωτερική πλευρά των μεμβρανών υπάρχουν ριβοσώματα που αποτελούνται από rRNA και πρωτεΐνες, τα οποία υπάρχουν επίσης σε κυτταρόπλασμα, μιτοχόνδρια, χλωροπλάστες. Εκεί γίνεται η πρωτεϊνοσύνθεση και οι απαραίτητες πρωτεΐνες παράγονται από μόνες τους. Το λείο ενδοπλασματικό δίκτυο είναι συνέχεια του πυρήνα και η διαφορά σε σχέση με το τραχύ ενδοπλασματικό δίκτυο έγκειται στην απουσία ριβοσωμάτων. Ως εκ τούτου, ο ρόλος του περιορίζεται στη σύνθεση λιπιδίων και στην εξουδετέρωση τοξικών ουσιών. Τα κενοτόπια, κυστίδια που περιβάλλονται από μια μεμβράνη και περιέχουν υγρό, ονομάζονται χυμότοπες στα φυτικά κύτταρα και αποθηκεύουν θρεπτικά συστατικά.

Οι χλωροπλάστες υπάρχουν μόνο στα φυτικά κύτταρα και συγκεκριμένα στα πράσινα μέρη των φυτών καθώς βοηθούν στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Το DNA βρίσκεται στο στρώμα του χλωροπλάστη μαζί με ένζυμα, ριβοσώματα και πρωτεΐνες. Τα μιτοχόνδρια βρίσκονται σε όλα



Εικόνα 5. Plant cell representation

τα ευκαρυωτικά κύτταρα είτε φωτοσυνθέτουν είτε όχι, αλλά δεν βρίσκονται στα ερυθρά αιμοσφαίρια. Είναι οργανίδια απαραίτητα για τη λειτουργία του κυττάρου, καθώς μετατρέπουν την ενέργεια στην κατάλληλη μορφή ανάλογα με τη λειτουργία που απαιτείται. Το σχήμα τους μπορεί να ποικίλλει, καθώς και ο αριθμός τους σε κάθε κελί. Η πλασματική μεμβράνη είναι ο διαχωριστής του κυττάρου από το περιβάλλον. Εκτός από τη μεμβράνη που χωρίζει τον πυρήνα από το κυτταρόπλασμα, το κύτταρο περιβάλλεται από το κυτταρικό τοίχωμα το οποίο υπάρχει μόνο στα φυτικά κύτταρα και το περίβλημά του είναι ανθεκτικό και συμπαγές για να αντέχει τις καταπονήσεις για την προστασία του κυττάρου. Αποτελείται από διάφορους πολυσακχαρίτες, με κυριότερο την κυτταρίνη.

μετάλλαξη είναι κάθε αλλαγή που συμβαίνει στο γενετικό υλικό ενός οργανισμού, είτε τυχαία είτε λόγω της επίδρασης άλλων παραγόντων. Οι μεταλλάξεις χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τις γενετικές και τις χρωμοσωμικές. Γενικά, οι μεταλλάξεις συμβάλλουν στη γενετική ποικιλότητα του πληθυσμού, αλλά ταυτόχρονα συσχετίζονται και παίζουν σημαντικό ρόλο στην κληρονομικότητα των ασθενειών. Μια μετάλλαξη μπορεί να συμβεί τόσο σε ένα γεννητικό κύτταρο όσο και σε ένα σωματικό κύτταρο σε έναν οργανισμό. Η διαφορά μεταξύ των γεννητικών κυττάρων και των σωματικών μεταλλάξεων έγκειται στο γεγονός ότι η πρώτη μπορεί να κληρονομηθεί, να περάσει από γενιά σε γενιά, ενώ η δεύτερη όχι. Ωστόσο, οι τελευταίες εντοπίζονται στην πλειονότητα των περιπτώσεων μετάλλαξης, γεγονός που τις καθιστά την πιο συχνή και συχνή εμφάνιση.

Η Θεωρία Παιγνίων και ιδιαίτερα η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων έχει προσελκύσει επιστήμονες υπολογιστών κυρίως λόγω της ικανότητάς της να προσομοιώνει διάφορες καταστάσεις ως παιχνίδια και να κατασκευάζει αποτελεσματικά κατάλληλα μοντέλα που μπορούν να μελετηθούν θεωρητικά. Αυτά τα θεωρητικά μοντέλα παιχνιδιών χρησιμοποιούν αλγόριθμους εξέλιξης, στους οποίους διαφορετικοί τύποι κυττάρων παίρνουν τη μορφή παικτών. Μία από τις πιο συχνά μελε-

Animal & Plant Cell Comparison		
<i>Organelle</i>	<i>Animal Cell</i>	<i>Plant Cell</i>
Nucleus	Yes	Yes
Cell Wall	No	Yes
Plasma Membrane	Yes	Yes
Ribosomes	Yes	Yes
Mitochondria	Yes	Yes
Chromosomes	Yes	Yes
Endoplasmic Reticulum	Yes	Yes
Golgi Apparatus	Yes	Yes
Lysosome	Yes	No [†]
Peroxisome	Yes	Yes
Vacuole	No	Yes
Chloroplasts	No	Yes
Centrosome	Yes	No

τημένες προσεγγίσεις σε αυτό το πλαίσιο είναι η [590]. Στα περισσότερα πραγματιστικά σενάρια, η εξέλιξη των βιολογικών πληθυσμών μοντελοποιείται με ακρίβεια από μαθηματικές εξισώσεις, όπως αυτή που επινόησαν οι Taylor και Jonker στο [749]. Η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε προβλήματα κοινωνικο-βιολογίας, μαθηματικής οικολογίας, πληθυσμιακής γενετικής, στρατηγικών αποκατάστασης από μολύνσεις από ιούς υπολογιστών (βλ. [456]) κ.λπ. Για πιο πρόσφατες αναφορές και υποδείξεις σχετικά με πιθανές εφαρμογές εξελικτικών παιχνιδιών στο βιολογικά συστήματα, μπορεί κανείς να συμβουλευτεί τις αναφορές [422, 428]. Μια έρευνα καταστάσεων σχετικά με μικρόβια που μπορούν να θεωρηθούν ως παιχνίδια μπορείτε να βρείτε στο [425]. Περαιτέρω συνδέσεις μεταξύ βιολογικών και μοριακών διεργασιών με έννοιες και παραδείγματα από την επιστήμη των υπολογιστών της Θεωρίας Παιγνίων έχουν καθιερωθεί από καιρό. για μερικούς πρόσφατους δείκτες δείτε [311, 309, 753].

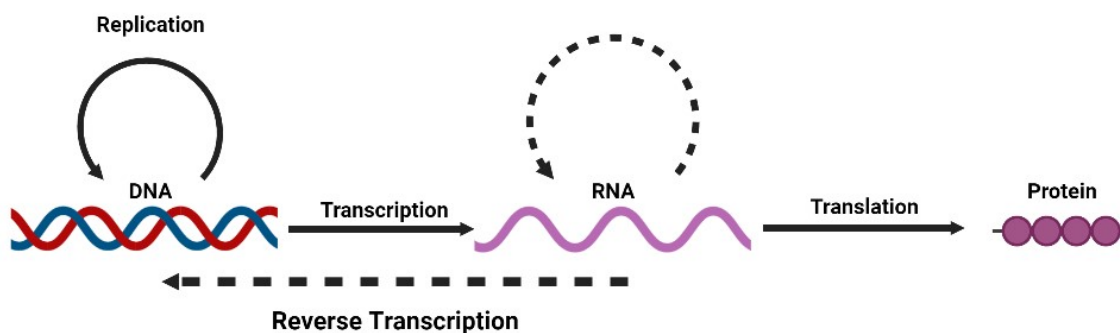
4.11 Το παράδειγμα των βακτηρίων

Τα βακτήρια ανακαλύφθηκαν από τον Antoni van Leeuwenhoek [838] και χαρακτηρίζονται ως προκαρυώτες. Περιέχουν γενετικό υλικό DNA και είναι μονοκύτταροι, μικροσκοπικοί οργανισμοί. Προκειμένου να μελετηθεί και να αποσαφηνιστεί η εσωτερική τους δομή, χρειάζονται ισχυρά ηλεκτρονικά μικροσκόπια, τα οποία συχνά είναι ορατά μόνο χρησιμοποιώντας μια συγκεκριμένη τεχνική χρώσης. Η συγκεκριμένη τεχνική περιλαμβάνει τη χρήση μικροσκοπίων αντίθεσης φάσης (χρώση Gram). Αν τα βακτήρια χαρακτηριστούν ως Gram θετικά τότε σταδιακά θα αποκτήσουν μπλε χρώμα, ενώ αν χαρακτηριστούν αρνητικά θα καταλήξουν να μετατραπούν σε ροζ απόχρωση. Το κυτταρικό τοίχωμα των θετικών κατά Gram βακτηρίων αποτελείται κυρίως από πεπτιδογλυκάνη και τεϊχοϊκά οξέα, ενώ αυτό των αρνητικών κατά Gram βακτηρίων είναι πολυστρωματικό, με το εξωτερικό στρώμα μεμβράνης πάνω από ένα λεπτό στρώμα πεπτιδογλυκάνης. Η πεπτιδογλυκάνη είναι ένα πολυμερές μακράς αλυσίδας που εμφανίζεται μόνο στα βακτήρια.

Έχει παρατηρηθεί ότι οι ικανότητές τους ποικίλλουν και μπορούν να παρουσιαστούν και γενικά να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε οργανική και ανόργανη ένωση. Ταυτόχρονα αποτελούν αιτία ασθενειών σε ανθρώπους, ζώα και φυτά. Τα περισσότερα βακτήρια είναι αβλαβή και σε πολλές περιπτώσεις λειτουργούν ως ευεργετικοί οργανισμοί για τις δραστηριότητες ανώτερων οργανισμών. Για παράδειγμα, τα βακτήρια μπορούν να βρεθούν σε τρόφιμα, χημικά και αντιβιοτικά. Τα βακτηριακά κύτταρα διαφέρουν από τα προκαρυωτικά και ευκαρυωτικά κύτταρα, καθώς δεν έχουν χλωροπλάστες (φυτικά κύτταρα), μιτοχόνδρια (ζωικά και φυτικά κύτταρα) και πυρήνα. Τα βακτήρια φαίνεται να έχουν ιδιαίτερη ποικιλομορφία στη δομή τους και διαφέρουν μεταξύ τους

ως προς το σχήμα, το μέγεθος, τον μεταβολισμό και τον βίοτοπο. Δεν υπάρχουν απόλυτοι κανόνες για τη δομή των βακτηρίων. Το βακτηριακό DNA, το γενετικό υλικό των βακτηρίων, έχει μια δομή που ποικίλλει μεταξύ των βακτηρίων. Γενικά, τα βακτήρια μπορούν και ευδοκιμούν σε πολλά διαφορετικά περιβάλλοντα. Για παράδειγμα, τα αερόβια χρειάζονται οξυγόνο για να επιβιώσουν σε αντίθεση με τα αναερόβια. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλα βακτήρια που προσαρμόζονται ανάλογα με την ποσότητα του οξυγόνου. Προφανώς, εκτός από το οξυγόνο, άλλοι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη βιωσιμότητα ενός βακτηρίου και κατ' επέκταση το γενετικό του υλικό είναι η θερμοκρασία, το νερό, το αλάτι, το pH.

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους αρκούν για να διακρίνουν τα βακτήρια μεταξύ τους και από όλους τους άλλους οργανισμούς. Όλες αυτές οι διακρίσεις και διαφορές μεταξύ των βακτηρίων καταλήγουν στην ταξινόμησή τους. Τα χαρακτηριστικά που διαθέτουν χρησιμοποιούνται επίσης για τον προσδιορισμό των μολυσματικών ιδιοτήτων τους. Αξίζει να επισημανθεί ότι υπάρχουν βακτήρια που έχουν την ικανότητα να κολυμπούν σε υγρό μέσο, καθώς και την ικανότητα να γλιστρούν σε επιφάνειες. Μέχρι στιγμής, η επιστήμη έχει καταλήξει στο συμπέρασμα ότι ο καλύτερος τρόπος ταξινόμησης των βακτηρίων είναι η χρήση γενετικής. Ουσιαστικά η μεθοδολογία επικεντρώνεται στην αναζήτηση κοινών, σχετικά πρόσφατων, απογόνων μεταξύ βακτηρίων προκειμένου να προσδιοριστεί ο βαθμός συγγένειας. Τέλος, τα κύρια μορφολογικά χαρακτηριστικά είναι το σχήμα, η κινητικότητα και τα αποτελέσματα της χρώσης κατά Gram.



Εικόνα 6. Reverse transcription

Ερχόμενοι στο κομμάτι της αναπαραγωγής των βακτηρίων, τονίζεται ότι υπάρχουν περισσότεροι από ένας τρόποι που συμβαίνει αυτό. Ο κύριος και πιο συχνός τρόπος αναπαραγωγής είναι η δυαδική σχάση. Οι αναπαραγωγικές διαδικασίες διαφέρουν από ομάδα σε ομάδα βακτηρίων. Ουσιαστικά, κατά την ανάπτυξη των βακτηριακών κυττάρων, το DNA θα διπλασιαστεί. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, δύο νέα και πανομοιότυπα κύτταρα θα προκύψουν από τη διαίρεση ενός κυττάρου. Όσον αφορά την ανταλλαγή γενετικών πληροφοριών, διευκρινίζεται ότι η μεταφορά γενετικής πληροφορίας από ένα μόριο βακτηριακού DNA σε ένα άλλο ονομάζεται μεταγωγή και μπορεί να πραγματοποιηθεί από έναν ιό. Αυτός ο ιός που μολύνει τα βακτήρια ονομάζεται βακτηριοφάγος. Τα πλασμίδια είναι μικρά κυκλικά μόρια DNA που μεταφέρουν βοηθητικές πληροφορίες. Ανάλογα με τη θέση του πλασμιδίου, εάν είναι προσκολλημένο στην κυτταρική μεμβράνη ή μέσα σε ένα βακτηριακό χρωμόσωμα, το όνομα ποικίλλει και έτσι ονομάζεται επίσωμα.

Κάθε κύτταρο χρειάζεται ενέργεια για να εκτελέσει τις λειτουργίες του. Έτσι, η κυτταρική ενέργεια παράγεται μέσω αντιδράσεων μεταφοράς ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια μετακινούνται από ένα οργανικό ή ανόργανο μόριο δότη σε ένα μόριο δέκτη μέσω μιας οδού για τη διατήρηση της ενέργειας που απελευθερώνεται κατά τη μεταφορά ηλεκτρονίων, παγιδεύοντάς την σε μια μορφή που το κύτταρο μπορεί να χρησιμοποιήσει για οποιαδήποτε χημική ή φυσική εργασία κάνει. Ο βακτηριακός μεταβολισμός χωρίζεται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες, τον ετερότροφο, τον

αυτότροφο και τον φωτοτροφικό. Και τα τρία είναι ο τρόπος ενός βακτηρίου να παράγει ενέργεια και άνθρακα για να υποστηρίξει την ανάπτυξή του. Ο ετερότροφος μεταβολισμός αναφέρεται σε ετερότροφα βακτήρια, τα οποία χρησιμοποιούν οργανικά μόρια για να παράγουν την ενέργεια που χρειάζονται. Ο φωτοτροφικός μεταβολισμός σχετίζεται με τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε κυτταρική μέσω της φωτοσύνθεσης.

4.12 Μια σύντομη παρέκκλιση σχετικά με τους ιούς

Οι ιοί είναι μικρότεροι από τα βακτήρια και θεωρούνται εν μέρει ζωντανοί οργανισμοί. Αυτό συμβαίνει γιατί ο ιός ενεργοποιείται όταν βρει κατάλληλο κύτταρο ξενιστή. Στη συνέχεια θα αναλάβει τον μηχανισμό του κυττάρου και θα αρχίσει να παράγει νέα στελέχη του. Ένας ιός μπορεί να βρεθεί μέσα σε ένα βακτηριακό κύτταρο και να είναι μολυσματικός παράγοντας. Εκτός από τα βακτηριακά κύτταρα, ο ιός εμφανίζεται και πολλαπλασιάζεται και στα ανθρώπινα κύτταρα. Ωστόσο, απενεργοποιείται όταν αφαιρεθεί από τον κεντρικό υπολογιστή και αυτό κάνει τη μελέτη του πιο δύσκολη.

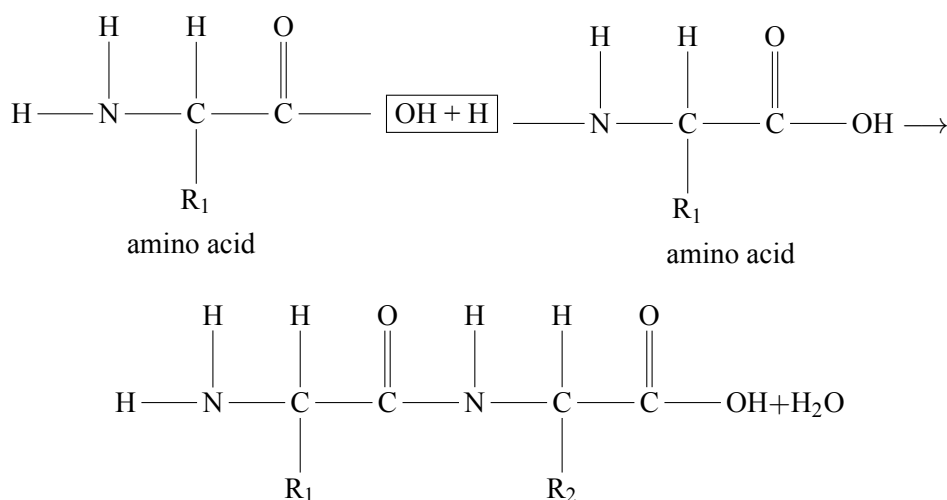
Χάρη στην κυτταρική καλλιέργεια και την ανάπτυξη της μοριακής βιολογίας, επιτεύχθηκε η αποκωδικοποίηση των γενετικών της πληροφοριών. Οι ιοί γενικά δεν ζουν ελεύθερα, δεν μπορούν να ταξινομηθούν ως οργανισμοί, αλλά ως παράσιτα εξαρτώνται πλήρως από το κύτταρο ξενιστή για όλες τις λειτουργίες που απαιτούνται για την ύπαρξή τους. Φυσικά το πιο μολυσματικό μέρος ενός ιού είναι αυτό που περιέχει το DNA ή το RNA αντίστοιχα. Ο ιός δεν μπορεί να επιβιώσει έξω από το κύτταρο ξενιστή και για αυτό το λόγο η θεωρία ότι οι ιοί είναι μορφές ζωής καταρρίπτεται.

Ο ιός χρησιμοποιεί νουκλεοτίδια και αμινοξέα του κυττάρου ξενιστή. Οποιαδήποτε ταξινόμηση των ιών σε κατηγορίες γίνεται μόνο μέσω των ξενιστών που μολύνει ο ιός. Η διάταξη νουκλεϊκού οξέος και πρωτεϊνών μπορεί να προσφέρει ποικιλία στο σχήμα και το μέγεθος των ιών. Για παράδειγμα, μια γραμμική διάταξη θα εμφανίζει τον ιό ως γραμμή. Για να προσαρμοστεί ο ιός σε νέα κύτταρα και να αντιμετωπίσει την ανοσολογική προστασία των κυττάρων-ξενιστών, υφίσταται μεταλλάξεις. Για να μολυνθεί ένα νέο κύτταρο, αυτό σημαίνει ότι η ανοσολογική του διαδικασία είναι χαμηλή έως ανύπαρκτη. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πανδημία. Ο ιός θα εισέλθει από το κυτταρόπλασμα στο γενετικό υλικό, θα το μολύνει και θα εξαπλώσει τη μόλυνση. Τα αντιβιοτικά μπορεί να είναι χρήσιμα κατά των βακτηρίων αλλά αναποτελεσματικά έναντι των ιών. Ο ιός που πρόκειται να αντιμετωπιστεί απαιτεί εμβόλιο για τον περιορισμό της μόλυνσης και απαιτούνται αντιικά φάρμακα για την πλήρη θεραπεία [672].

4.13 Πρωτεΐνες και Αμινοξέα

Τα δομικά στοιχεία των πρωτεϊνών είναι τα αμινοξέα. Όπως τα νουκλεοτίδια αποτελούν τα νουκλεϊκά οξέα, οι μονοσακχαρίτες αποτελούν τους πολυσακχαρίτες, έτσι και τα αμινοξέα συνθέτουν τις πρωτεΐνες. Επομένως, μονοσακχαρίτες, νουκλεοτίδια, αμινοξέα ονομάζονται μονομερή και όταν επαναλαμβάνονται πολλές φορές σχηματίζουν πολυμερή (μακρομόρια). Τα μονομερή που συνδυάζονται για να σχηματίσουν τα πολυμερή μπορεί να είναι είτε οι ίδιες πρωτεΐνες που σχηματίζουν είτε διαφορετικά λιπίδια σχηματισμού. Η συμπύκνωση, η διαδικασία σύνδεσης μονομερών, αφαιρεί ένα άτομο υδρογόνου από το ένα μονομερές και μια ομάδα υδροξυλίου από το άλλο για να δημιουργήσει έναν ομοιοπολικό δεσμό μεταξύ τους, ο οποίος παρέχει σταθερότητα.

Είκοσι διαφορετικά αμινοξέα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πρωτεϊνών. Η αλλαγή της αλληλουχίας αμινοξέων παράγει ένα μεγάλο εύρος πρωτεϊνικών μορίων, το καθένα με τη δική του λειτουργία. Το σταθερό συστατικό των αμινοξέων αποτελείται από ένα άτομο υδρογόνου, μια αμινομάδα και μια ομάδα καρβοξυλίου που συνδέεται με ένα άτομο άνθρακα. Για κάθε αμινοξύ, το μεταβλητό τμήμα αποτελείται από μια πλευρική ομάδα με ξεχωριστή χημική δομή. Το στάδιο



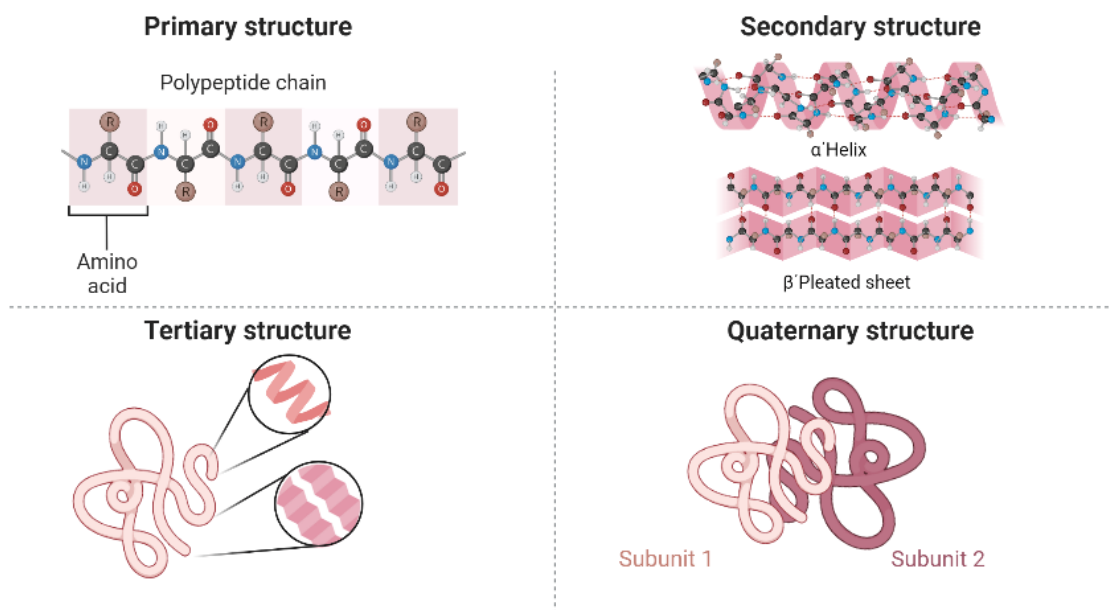
Εικόνα 7. Μια τυπική αλληλουχία αμινοξέων

της συμπύκνωσης, που αφαιρεί ένα μόριο νερού, συνδυάζει δύο αμινοξέα για να σχηματίσει ένα διπεπτίδιο.

Η διαμόρφωση του μορίου πρωτεΐνης στο χώρο προσδιορίζεται από την αλληλουχία των αμινοξέων στην πεπτιδική αλυσίδα και σταθεροποιείται από τους δεσμούς που σχηματίζονται μεταξύ των ομάδων R των αμινοξέων. Υπάρχει επίσης η διαίρεση κατά επίπεδο και το πρώτο επίπεδο είναι η κύρια δομή. Είναι η αλληλουχία αμινοξέων στην πολυπεπτιδική αλυσίδα. Στο δεύτερο επίπεδο, που αποτελεί τη δευτερογενή δομή της πρωτεΐνης, η πολυπεπτιδική αλυσίδα διπλώνεται και αποκτά είτε ελικοειδή είτε διπλωμένη μορφή. Στο τρίτο επίπεδο, η πολυπεπτιδική αλυσίδα, διπλωμένη ή ελικοειδής, αναδιπλώνεται στο χώρο, έτσι ώστε να αποκτήσει μια καθορισμένη μορφή, την τριτογενή δομή. Εάν η πρωτεΐνη αποτελείται από μία μόνο πολυπεπτιδική αλυσίδα, το τελικό στάδιο του σχηματισμού της είναι η τριτοταγής δομή. Αλλά αν αποτελείται από περισσότερες πολυπεπτιδικές αλυσίδες, το τελικό στάδιο είναι η τεταρτοταγής δομή, ο συνδυασμός των μεμονωμένων πολυπεπτιδικών αλυσίδων σε ένα μόνο μόριο πρωτεΐνης.

Διαφορετικές αλληλουχίες αμινοξέων μπορεί να οδηγήσουν σε διαφορετικές αναδιπλώσεις του μορίου, κάτι που συνεπάγεται διαφορετικές δευτεροταγείς και τριτοταγείς δομές και, επομένως, διαφορετική διαμόρφωση στο χώρο. Η τρισδιάστατη δομή μιας πρωτεΐνης καθορίζει τη λειτουργία που εκτελεί. Η έκθεση μιας πρωτεΐνης σε ακραίες συνθήκες προκαλεί αλλαγή των δεσμών μεταξύ των ομάδων, απώλεια της τρισδιάστατης δομής της και τελικά χάνει τη λειτουργικότητά της.

Ωστόσο, ένα λάθος σχήμα, μια λάθος μορφή μπορεί να αποδοθεί στην επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων και αλλαγών. Ο όρος που χαρακτηρίζει μια τέτοια κατάσταση ονομάζεται *λανθασμένη αναδίπλωση πρωτεϊνών*. Η κακή αναδίπλωση των πρωτεϊνών είναι υπεύθυνη για τις σερπινοπάθειες, τη νόσο του Αλτσχάιμερ και τη νόσο του Πάρκινσον. Ο όρος μετουσίωση διευκρινίζει το σπάσιμο των πρωτεϊνικών δεσμών, όταν βρίσκονται στη δευτεροταγή, τριτοταγή ή τεταρτοταγή δομή τους με μία προϋπόθεση, να μην συμβαίνουν αλλαγές στην πρωτογενή τους δομή. Όπως εξηγήθηκε παραπάνω, τα αμινοξέα σχηματίζουν δεσμούς μεταξύ των πλευρικών τους ομάδων, οι οποίοι σπάνε και τελικά καταστρέφουν την τρισδιάστατη δομή της πρωτεΐνης και χάνουν τη λειτουργικότητά της. Έτσι, τα αμινοξέα και κατ' επέκταση οι πρωτεΐνες επηρεάζουν την κακή αναδίπλωση, μια διαδικασία που επιταχύνεται χάρη στις μεταλλάξεις. Ωστόσο, μια εσφαλμένη μορφή (λανθασμένη αναδίπλωση πρωτεΐνης) μπορεί επίσης να οφείλεται σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία και το pH. Η μετουσίωση ανακαλύπτεται κατά τη διαδικασία ξεδίπλωσης των πρωτεϊνών. Η έλλειψη τάξης καθιστά τις πρωτεΐνες μη λειτουργικές.



Εικόνα 8. Δομές πρωτεϊνών

4.13.1 Alzheimer

Η νόσος του Αλτσχάιμερ είναι μια από τις πρώτες νευροεκφυλιστικές ασθένειες που αποκάλυφθηκε ότι προκαλείται από κακή αναδίπλωση πρωτεΐνης. Θεωρείται ότι είναι κληρονομικό και μπορεί να οδηγήσει σε άνοια. Περιλαμβάνει απώλεια νοητικών λειτουργιών, ανεξάρτητα από τη γήρανση του εγκεφάλου, και απώλεια μνήμης. Ουσιαστικά, το άτομο που είναι άρρωστο παρουσιάζει δυσκολία στην επικοινωνία, μειωμένη ικανότητα σκέψης και λογικής λογικής, ακόμη και δυσκολίες σε απλές καθημερινές δραστηριότητες. Ένας εγκέφαλος που προσβάλλεται από τη νόσο του Αλτσχάιμερ παρουσιάζει ανωμαλίες στους νευρώνες και τις περιοχές του φλοιού των ημισφαιρίων. Υπάρχουν εξωκυτταρικές εναποθέσεις (αμυλοειδείς πλάκες) λόγω της συσσώρευσης πρωτεΐνης χαμηλού μοριακού βάρους και πρωτεΐνης β -αμυλοειδούς, ενώ η αυξημένη συγκέντρωση πρωτεΐνης οδηγεί στη λύση των λυσοσωμάτων και κατ' επέκταση στην καταστροφή των νευρικών κυττάρων. Αυτή η πρωτεΐνη είναι μέρος μιας άλλης πρόδρομης πρωτεΐνης, της APP (Amyloid Precursor Protein), η οποία βρίσκεται στην κυτταρική μεμβράνη των νευρώνων [366].

4.13.2 Αμυλοείδωση

Η αμυλοείδωση είναι μια ασθένεια που προκαλείται επίσης από κακή αναδίπλωση πρωτεΐνης. Συγκεκριμένα, είναι μια ομάδα ασθενειών στις οποίες συσσωρεύονται πρωτεϊνικά συσσωματώματα είτε σε όργανα είτε σε ιστούς. Αυτές οι ασθένειες θεωρούνται κληρονομικές και προκαλούνται από μεταλλάξεις στα γονίδια των πρωτεϊνών του πλάσματος. Τέτοιες ασθένειες βρίσκονται ακόμη υπό έρευνα και τα συμπτώματά τους ποικίλλουν, καθώς εξαρτώνται από το τι είναι η πρωτεΐνη, πού βρίσκεται στο σύνολο και πολλά άλλα. Είναι σύνηθες φαινόμενο οι πάσχοντες να έχουν γαστρεντερικές ανωμαλίες, νεφρική ανεπάρκεια και ακόμη και καρδιακά προβλήματα. Υπάρχει μια κατηγοριοποίηση σχετικά με αυτή τη νόσο σε πρωτοπαθή και δευτεροπαθή αμυλοείδωση. Το πρώτο είναι το πιο συχνά και η επιρροή του αγγίζει την καρδιά, τα νεφρά, τα νεύρα και το έντερο. Τα αίτια δεν είναι ξεκάθαρα, αλλά εμφανίζεται μόνο όταν τα κύτταρα του μυελού των οστών παράγουν αντισώματα, τα οποία συγκεντρώνονται στο αίμα και καταλήγουν στους ιστούς, εμποδίζοντας τη ροή του αίματος. Σχετικά με τη δευτεροπαθή αμυλοείδωση, έχει επισημανθεί πως

συνδυάζεται με φλεγμονώδεις παθήσεις (ρευματοειδής αρθρίτιδα, αγκυλοποιητική σπονδυλίτιδα).

4.13.3 Αθηροσκλήρωση

Η αθηροσκλήρωση είναι μια αγγειακή νόσος άρρηκτα συνδεδεμένη με τη φλεγμονή και τη στένωση των αρτηριών. Εγκεφαλικά επεισόδια αρτηριακής πάχυνσης παρατηρούνται ακόμη και σε νεαρά άτομα και μπορούν να τα συνοδεύουν σε όλη τους τη ζωή. Παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνιση αυτής της νόσου είναι η χοληστερόλη, η αρτηριακή πίεση, το κάπνισμα, οι μεταλλάξεις στα γονίδια, ο μεταβολισμός.

4.14 Συσχέτιση με στοιχεία της Θεωρίας Παιγνίων

Η Θεωρία Παιγνίων εστιάζει στην ερμηνεία και την κατανόηση της συμπεριφοράς των ανθρώπων και των ζώων. Αναπτύχθηκε αρχικά για τον χρηματοπιστωτικό τομέα. Στη συνέχεια άρχισε να επεκτείνεται σε άλλους επιστημονικούς τομείς και να χρησιμοποιείται σε άλλους τομείς όπως ο στρατός, η πολιτική, η βιολογία και πολλά άλλα. Ουσιαστικά, η χρήση των εφαρμοσμένων μαθηματικών παρέχει τα κατάλληλα εργαλεία για την ανάλυση καταστάσεων στις οποίες τα άτομα που καλούνται να λάβουν τις αποφάσεις αναφέρονται ως παίκτες και οι αποφάσεις με τη σειρά τους πρέπει να αλληλοεξαρτώνται. Με αυτόν τον τρόπο οι παίκτες αναγκάζονται να προβλέψουν την επόμενη κίνηση του άλλου παίκτη και να δημιουργήσουν την αντίστοιχη στρατηγική που απαιτείται για να τους νικήσουν. Στον κλάδο της βιολογίας, μια από τις πρώτες εφαρμογές της Θεωρίας Παιγνίων ήταν η ανάπτυξη ενός πλαισίου συμπεριφοράς κατάλληλου για την καταπολέμηση των ζώων. Τα ζώα αντιμετωπίζονται σαν να ήταν παίκτες και κάθε συνάντηση μεταξύ τους ως αλληλεπίδραση, με αποτέλεσμα αποδόσεις παρόμοιες με την Δαρβινική υγεία [232].

Η Θεωρία Παιγνίων ρίχνει φως στις νευροβιολογικές μελέτες που στοχεύουν στην κατανόηση της λήψης αποφάσεων σε νευρικό επίπεδο. Όπως ένα άτομο μπορεί να πάρει αποφάσεις, έτσι μπορούν και οι εμπλεκόμενες περιοχές του εγκεφάλου. Οι μελέτες επί του παρόντος επικεντρώνονται στους μηχανισμούς του εγκεφάλου για τη λήψη αποφάσεων και στο εάν η «αβεβαιότητα» επηρεάζει. Οι επίμονες βακτηριακές λοιμώξεις είναι πολύ δύσκολο να αντιμετωπιστούν και μπορεί να είναι θανατηφόρες. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ορισμένες καταστάσεις βακτηριακών επίμονων λοιμώξεων μπορούν να αναπαρασταθούν με τη βοήθεια της θεωρίας παιγνίων. Το υποκείμενο παιχνίδι περιλαμβάνει ένα παθογόνο και τον οικοδεσπότη, που βρίσκονται σε σύγκρουση συμφερόντων μεταξύ τους. Με τη βοήθεια παιχνιδιών αυτού του τύπου, αποδεικνύεται ότι τα παθογόνα βακτήρια μπορούν να εντοπιστούν στο ενδοκυτταρικό και εξωκυτταρικό διαμέρισμα του ξενιστή και έτσι το βακτήριο μπορεί να επιβιώσει με επιτυχία και να συνεχίσει να προκαλεί λοιμώξεις στον ξενιστή, από τις οποίες δεν μπορεί εύκολα να ξεφύγει. [244].

Η Θεωρία Παιγνίων μπορεί επίσης να ρίξει φως στο πώς τα βακτήρια μπορούν να αντιστέκονται στα αντιβιοτικά. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα υπάρχοντα κλασικά παιχνίδια σχετίζονται με μοντέλα μικροβιακών συστημάτων, εισάγοντας έννοιες και χαρακτηριστικά από την Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων. Φυσικά, αυτά τα μοντέλα περιγράφουν ορισμένες βασικές καταστάσεις και αλληλεπιδράσεις τέτοιων συστημάτων, αλλά υπάρχει μια συνεχής προσπάθεια επέκτασης και μοντελοποίησης της πολυπλοκότητας των φυσικών συστημάτων. Ωστόσο, ακόμη και σε βασικό επίπεδο, η αντιμετώπιση συμπεριφορών στο πλαίσιο της θεωρίας παιγνίων προσφέρει μια εναλλακτική προοπτική σχετικά με τις μορφές ανταχής στα αντιβιοτικά από τα εν λόγω βακτήρια [184].

Είναι ακόμη δυνατό να προχωρήσουμε παραπέρα και να συνδυάσουμε την εξελικτική θεωρία παιγνίων με την κβαντική μηχανική. Αρχικά, αυτή η προσέγγιση στόχευε παιχνίδια και καταστάσεις εκτός της βιολογικής σφαίρας, που ασχολούνταν με κβαντικές υλοποιήσεις τυχαίων παιχνιδιών (βλ. [51, 48, 42] για περισσότερες λεπτομέρειες και αναφορές) και αρχετυπικά κλασικά παιχνίδια όπως το Δίλημμα των φυλακισμένων [317].

Η μελέτη των οργανισμών σε επίπεδο γονιδίου ανοίγει το δρόμο για μια βαθύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο συμπεριφέρονται οι οργανισμοί, τόσο σε ατομικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο πληθυσμού. Η κατανόηση της συμπεριφοράς οργανισμών όπως τα βακτήρια, οι ιοί, τα γονίδια, ακόμη και οι πρωτεΐνες, μπορεί να αλλάξει ριζικά τον τρόπο με τον οποίο οι επιστήμονες αντιμετωπίζουν τις λοιμώξεις από τέτοιους οργανισμούς, προκειμένου να επιτύχουν καλύτερες μεθόδους θεραπείας. Οι μεταλλάξεις σε επίπεδο γονιδίου δημιουργούν αρκετά προβλήματα στους οργανισμούς που φέρουν τους μεταλλαγμένους μικροοργανισμούς. Αποτελούν την κύρια αιτία για προβλήματα υγείας από ήπιες παθήσεις έως θανατηφόρες για τον οικοδεσπότη. Οι νευροεκφυλιστικές ασθένειες έχουν μέγιστο ενδιαφέρον για διάφορα επιστημονικά πεδία, καθώς επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη ζωή του ξενιστή και η κακή αναδίπλωση πρωτεΐνης έχει μεγάλο μερίδιο ευθύνης για την ύπαρξή τους. Η θεωρία παιγνίων και ιδιαίτερα η εξελικτική θεωρία παιγνίων, μοντελοποιεί διάφορες σύνθετες καταστάσεις ως απλούστερα μοντέλα συμπεριφοράς που βασίζονται σε μαθηματικές τεχνικές. Επομένως, πιο εύκολα προκύπτουν συμπεράσματα σχετικά με τη συμπεριφορά και την αλληλεπίδραση των οντοτήτων που θεωρούνται παίκτες σε κάθε περίπτωση. Ο συσχετισμός της εξελικτικής θεωρίας παιγνίων με βιολογικές καταστάσεις και συστήματα πληθυσμού προσφέρει μια εναλλακτική προσέγγιση σε ένα πεδίο το οποίο έχει προσελκύσει όλα τα φώτα.

4.15 Συσχέτιση βιολογικών και ιών υπολογιστών με Ε.Θ.Π.[457]

Οι ιοί υπολογιστών έχουν πολλές ομοιότητες με τους βιολογικούς ιούς και η συσχέτισή τους μπορεί να προσφέρει νέες προοπτικές και νέες ευκαιρίες στην προσπάθεια αντιμετώπισης και ακόμη και εξάλειψής τους. Η εξελικτική θεωρία παιγνίων έχει καθιερωθεί ως χρήσιμο εργαλείο για τη μοντελοποίηση ιογενών συμπεριφορών. Αυτή η ενότητα επιχειρεί να συσχετίσει έναν πολύ γνωστό ιό, τον Virlock, με τον βακτηριοφάγο φ6. Επιπλέον, προτείνονται ορισμένες αποτελεσματικές στρατηγικές και πρακτικοί τρόποι που μπορεί να μειώσουν τη μόλυνση από τον Virlock και παρόμοιους τέτοιους ιούς.

Ο πιο συνηθισμένος όρος που χρησιμοποιείται επί του παρόντος για να αναφέρεται σε κακόβουλα προγράμματα υπολογιστή είναι αυτός του «ιούς υπολογιστή». Η λογική πίσω από αυτόν τον μεταφορικό όρο που χρησιμοποιείται για να περιγράψει αυτό το είδος λογισμικού βασίζεται στην παρατηρούμενη συμπεριφορά του που φαίνεται να έχει πολλά κοινά με τη συμπεριφορά ενός βιολογικού ιού. Ο Fred Cohen, ο Αμερικανός επιστήμονας υπολογιστών που επινόησε αυτόν τον όρο το 1983 τα περιέγραψε ως αυτοαναπαραγόμενα προγράμματα που μολύνουν άλλα ενσωματώνοντας τον κακόβουλο κώδικά τους σε αυτά[177].

Οι ιοί υπολογιστών, όπως και οι βιολογικοί τους αντίστοιχοι, έχουν πολλές διαφορετικές παραλλαγές. Χαρακτηριστικά όπως οι συνθήκες λειτουργίας τους, ο δημογραφικός στόχος του ξενιστή τους, οι τρόποι αναπαραγωγής τους, ο τύπος μόλυνσης, το ποσοστό επιτυχίας μόλυνσης, ο τρόπος εξάπλωσής τους, οι συνέπειες και η σοβαρότητά τους και πολλά άλλα χαρακτηριστικά, είναι αυτά που διαφοροποιούν κάθε ιό υπολογιστή, ενώ πολλοί πήραν το όνομά τους από τέτοιου είδους χαρακτηριστικά. Οι ιοί ταξινομούνται επίσης συνήθως με βάση τον τρόπο με τον οποίο μολύνουν το μηχάνημα υποδοχής. [808], [806]

Στο παρελθόν, ένας ιός υπολογιστή δεν άφηνε μόνιμη ζημιά στον κεντρικό υπολογιστή. Ωστόσο, αυτό έχει αλλάξει. Ένα κοινό κίνητρο πίσω από τους ιούς υπολογιστών πλέον είναι να αποφέρει κέρδος στον ιδιοκτήτη του κακόβουλου λογισμικού ή γενικά να τον ωφελήσει με κάποιο τρόπο. Ένας από τους τρόπους με τους οποίους επιτυγχάνεται αυτό είναι η κλοπή των ιδιωτικών δεδομένων του μολυσμένου ξενιστή, η κρυπτογράφηση τους και η αίτηση από το θύμα (γνωστό και ως “κορόιδο”) να πληρώσει λύτρα με αντάλλαγμα το κλειδί για την αποκρυπτογράφηση των κρυπτογραφημένων δεδομένων του. Φαίνεται να είναι μια αύξηση στη δημοτικότητα των ιών που επιτίθενται στο απόρρητο των χρηστών υπολογιστών προκειμένου να αποφέρουν (παράνομα) κέρδη σε ορισμένα άτομα. Αυτό απαιτεί τη δημιουργία περισσότερων τρόπων και επιπέδων προστασίας.

Η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων (Ε.Θ.Π.) είναι ένα εργαλείο που βοηθά στη μοντελοποίηση

της συμπεριφοράς αυτού του είδους των ιών, θέτοντας έτσι μια πορεία για το σχεδιασμό ενός υψηλότερου επιπέδου ασφάλειας. Έχει τραβήξει το ενδιαφέρον επιστημόνων όπως βιολόγων, μαθηματικών, οικονομολόγων, ψυχολόγων, επιστημόνων υπολογιστών και πολλών άλλων. Οι συνδέσεις και οι εφαρμογές της σε ρεαλιστικές συνθήκες της πραγματικής ζωής είναι αυτό που κάνει αυτή την ιδέα ακόμα πιο σαγηνευτική. Η Ε.Θ.Π. δίνει στον επιστήμονα τα κατάλληλα εργαλεία για τη μελέτη ενστικτωδών συμπεριφορών, βιολογικών φαινομένων και αποφάσεων που βασίζονται στον ορθολογισμό. Ο όρος πληθυσμιακή δυναμική χρησιμοποιείται πλέον ευρέως και αναφέρεται σε φαινόμενα και συμπεριφορές όπως τα παραπάνω καθώς και σε σύνολα στρατηγικών ή χαρακτηριστικών που μπορεί να κληρονομήσουν οι παίκτες. [803]

Το μικροσκοπικό επίπεδο είναι εξίσου ενδιαφέρον με το μακροσκοπικό είδος παρατήρησης. Ακόμη και σε βιολογικές διεργασίες έχουν παρατηρηθεί ιδιότητες του παιχνιδιού. Εξετάζοντας βαθύτερα τα κύτταρα και τα μακρομόρια που αποτελούν μέρος πολυκύτταρων οργανισμών, αναπτύσσουν ιδιότητες παιχνιδιού. Η στρατηγική που υιοθετεί ο καθένας τους βασίζεται στις κινήσεις του. Η στρατηγική ενός συγκεκριμένου παίκτη μπορεί (και πιθανότατα θα) αλλάξει καθώς ακολουθεί τις αρχές της φυσικής επιλογής. Οι στρατηγικές υπόκεινται πάντα σε αλλαγές, καθώς σε όλη τη διάρκεια της ζωής του κυττάρου τείνουν να συμβαίνουν μεταλλάξεις που προκαλούν μη αναστρέψιμες αλλαγές, καθώς και αναστρέψιμες αλλαγές που προκαλούνται από επιγενετικές τροποποιήσεις. Όλα τα παραπάνω σχετίζονται με την αναπαραγωγή αυτών των αντικειμένων και είναι προφανές ότι η αναπαραγωγική επιτυχία αλλάζει το αποτέλεσμα του παιχνιδιού.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι σημερινοί ιοί υπολογιστών έχουν πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά και συνήθως κατηγοριοποιούνται με βάση τους μηχανισμούς μόλυνσης και τη συμπεριφορά τους. Οι ιοί αποτελούν μέρος της οικογένειας κακόβουλου λογισμικού όπως ακριβώς και τα σκουλήκια[468].

Για να εμπλακεί ένας ιός υπολογιστή για πρώτη φορά με τον κεντρικό υπολογιστή και να ξεκινήσει την αναπαραγωγή του, πρέπει πρώτα να μολύνει τον στοχευμένο υπολογιστή. Φαίνεται ότι υπάρχει κάποια τυχαιότητα στον τρόπο με τον οποίο ο ιός συνεχίζει να εξαπλώνεται στις περιπτώσεις σκουληκιών και ιών με συστατικό σκουλήκι και με πολυμορφικό ή μεταμορφικό κώδικα.

Ένας συνηθισμένος ιός θα αναπαράγει τον εαυτό του επισυνάπτοντας τον κακόβουλο κώδικά του σε πολλά αρχεία κεντρικού υπολογιστή καθώς προχωρά ο χρόνος. Τα σκουλήκια από την άλλη πλευρά δεν χρειάζεται καν να χειριστούν τα αρχεία σε έναν υπολογιστή για να αντιγράψουν τον εαυτό τους. [807] Τα σκουλήκια παραμένουν ενεργά στη μνήμη και την CPU του υπολογιστή και οι ενέργειές τους είναι συνήθως αόρατες στον χρήστη, εκτός εάν καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες από τους πόρους του υπολογιστή, οπότε η αργή απόδοση θα υποδηλώνει την ύπαρξή του.

Το ενδιαφέρον μέρος των σκουληκιών και των ιών που περιέχουν ένα συστατικό τύπου worm δεν είναι μόνο ότι μπορούν να αναπαραχθούν με γρήγορο τρόπο αλλά κυρίως το γεγονός ότι μπορούν να το κάνουν αυτό χωρίς καμία ανθρώπινη αλληλεπίδραση με τον υπολογιστή[748] [468]. [587]

Εκτός από τους τρόπους και τη δυναμική αναπαραγωγής, ορισμένοι τύποι ιών έχουν την ικανότητα να μεταλλάσσονται προκειμένου να επιτύχουν καλύτερα ποσοστά επιτυχίας, καλύτερη εξάπλωση και γενικά να ενισχύσουν τα ήδη υπάρχοντα χαρακτηριστικά τους. Αυτή η ικανότητα είναι χαρακτηριστικό πολυμορφικών και μεταμορφικών ιών. Πιο συγκεκριμένα, ένας πολυμορφικός ιός κάνει χρήση μιας μεταβλητής κρυπτογράφησης για να κρυπτογραφήσει τον εαυτό του προκειμένου να κάνει κάθε αντίγραφο του μοναδικό.

Ένας άλλος τρόπος εμφάνισης μεταλλαγμένων ιών είναι όταν ο δημιουργός του κακόβουλου λογισμικού έχει επίγνωση της κατάστασης του ιού στους υπολογιστές που επηρεάζονται και την αποτελεσματικότητά του και θέλει να κάνει το κακόβουλο λογισμικό πιο ισχυρό και να διαδώσει αυτήν τη νέα παραλλαγή. Ο δημιουργός μπορεί να αποφασίσει να αλλάξει τον αρχικό κώδικα του ιού και να αρχίσει να διαδίδει τη νέα και ενημερωμένη μετάλλαξη του αρχικού ιού, προκειμένου να τον καταστήσει πιο αποτελεσματικό και να επιτύχει κατορθωτούς στόχους.

Ο σκοπός πίσω από τη χρήση αυτού του είδους κώδικα (όπως πολυμορφικός και μεταμορφικός) είναι να αποφύγει τον εντοπισμό τους από λογισμικά προστασίας από κακόβουλο λογισμικό και ιούς. Η εφαρμογή του «πολυμορφικού χαρακτηριστικού» σε έναν ιό τείνει να είναι αρκετά ευκολότερη σε σύγκριση με το «μεταμορφικό χαρακτηριστικό». Ωστόσο, το κόστος της υλοποίησης μπορεί να αξίζει τον κόπο, καθώς προσφέρει επίσης καλύτερη προστασία έναντι του λογισμικού προστασίας από ιούς, επειδή καθιστά τον ιό πιο δύσκολο να εντοπιστεί.

Προκειμένου να αποφευχθεί η ανίχνευση, ορισμένα σκουλήκια και ιοί, ειδικά αυτοί με συστατικό τύπου worm, καταφέρνουν να εφαρμόσουν στρατηγικές απόκρυψης. Μερικοί κρύβονται με το να μην καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο όταν αναπαράγουν τον εαυτό τους προσκολλώντας στα αρχεία του κεντρικού υπολογιστή. Άλλοι ιοί προσπαθούν να σκοτώσουν διεργασίες που εκτελούνται από ενεργό λογισμικό προστασίας από ιούς στον υπολογιστή ή στο λειτουργικό σύστημα για να προστατευτούν και να αφήσουν τον χρήστη να έχει μια ψευδή αίσθηση ασφάλειας.

4.15.1 Βιολογικοί ιοί

Οι ιοί είναι οργανισμοί που δρουν παρασιτικά και πρέπει να μολύνουν έναν ξενιστή για να μπορέσουν να αναπαραχθούν και να μεταφέρουν το γενετικό τους υλικό, είτε DNA είτε RNA και πρωτεΐνες [723]. Δεν μπορούν να συνθέσουν πρωτεΐνες και επομένως χρησιμοποιούν ριβοσώματα ξενιστή για να μεταφράσουν το RNA τους σε πρωτεΐνες που τους εξυπηρετούν [129].

Οι ιοί μεταδίδονται με διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με το είδος τους. Ο αριθμός των κυττάρων που έχουν μολυνθεί με έναν ιό ονομάζεται «εύρος ξενιστή» [504]. Πιθανοί τρόποι αντιμετώπισης ενός βιολογικού ιού είναι το ανοσοποιητικό σύστημα του οργανισμού του οποίου το σώμα θα μολύνει. Συνήθως αυτοί οι οργανισμοί είναι ζώα, φυτά, μύρια ή ακόμα και άνθρωποι [724]. Επιπλέον, τα εμβόλια παρέχουν καλή άμυνα και βοηθούν το ανοσοποιητικό σύστημα συνήθως σε μια συγκεκριμένη μόλυνση από ιό. Εκτός από τα εμβόλια, διατίθενται και αντιικά φάρμακα που εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου [534]. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες κατηγορίες ιών που επιτίθενται στο ανοσοποιητικό σύστημα του οργανισμού που έχουν μολύνει και προκαλούν χρόνιες λοιμώξεις [729].

Όταν ένα κύτταρο μολύνεται με έναν ιό, αναγκαστικά και άμεσα αναπαράγεται σε αντίγραφα του ιού. Οι ιοί αποτελούνται από το γενετικό τους υλικό, το καψίδιο, ένα σύνολο πρωτεϊνών που προστατεύουν το γενετικό υλικό και σε ορισμένες περιπτώσεις από εξωτερικά λιπίδια. Το ιοσωμάτιο είναι η εξωκυτταρική μορφή του ιού.

Ανάλογα με το γονιδίωμά τους, είτε πρόκειται για γονιδίωμα DNA είτε για RNA, ονομάζονται ως τέτοιοι (ιός DNA & RNA αντίστοιχα) [684]. Για έναν ιό RNA, το γενετικό υλικό αποτελείται από ριβονουκλεϊκό οξύ (RNA)[787]. Ένας ιός μπορεί να έχει πολλές διαφορετικές επιδράσεις σε έναν οργανισμό. Η πρόκληση του θανάτου του κυττάρου ξενιστή είναι αυτό που κάνουν οι περισσότεροι από αυτούς. Συνήθως, το κάνουν αυτό χρησιμοποιώντας ιικές πρωτεΐνες για να περιορίσουν την κανονική δραστηριότητα του κυττάρου [454, 259].

Οι επιπτώσεις που έχει ένας ιός σε έναν οργανισμό είναι πολλές. Τα περισσότερα προκαλούν το θάνατο του κυττάρου ξενιστή. Συνήθως, ο θάνατος περιλαμβάνει τον περιορισμό της φυσιολογικής δραστηριότητας του κυττάρου από τις ιικές πρωτεΐνες. Οι επιδράσεις ορισμένων ιών μπορεί να προκαλέσουν μόνιμη βλάβη στον οργανισμό ξενιστή ή μπορούν να εξαλειφθούν χωρίς κακοήθεια [362]. Ορισμένοι ιοί μολύνουν έναν οργανισμό και δεν προκαλούν αλλαγές στα κύτταρα. Ως εκ τούτου, η λειτουργία τους συνεχίζεται κανονικά με τον ιό, ωστόσο καταλήγει να μολύνει επίμονα τελικά. Ο τύπος φάγου είναι μια κοινή μέθοδος για τον εντοπισμό της πηγής των λοιμώξεων[82].

Ακριβώς επειδή οι ιοί είναι ακυτταρικοί οργανισμοί, δεν μεταδίδονται με κυτταρική διαίρεση. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούν τον ξενιστή, προκειμένου να δημιουργήσουν πολλά αντίγραφα του εαυτού τους. Όταν ένας ιός μολύνει έναν ξενιστή, ο ξενιστής αναγκάζεται να αναπαράγει τον αρχικό ιό. Υπάρχει ένας βασικός κύκλος ζωής για τους ιούς [800]. Η μόλυνση ξεκινά με την προσκόλληση ενός ιού και των πρωτεϊνών του στην επιφάνεια του ξενιστή. Οι ιοί έχουν πρωτεΐνες ή

μόρια προσκόλλησης στην επιφάνειά τους που αναγνωρίζουν και συνδέονται με υποδοχείς στην επιφάνεια των κυττάρων-ξενιστών. Αυτή η προσκόλληση είναι συχνά αρκετά επιλεκτική, με τον ιό να εστιάζει σε ορισμένα είδη κυττάρων-ξενιστών. Τότε καθορίζεται ο τύπος του κυττάρου και το εύρος του ξενιστή. Μετά από αυτό, ο ιός διεισδύει στο κύτταρο. Αυτό μπορεί να συμβεί με διάφορους τρόπους ανάλογα με τον τύπο του ιού. Μερικοί ιοί συγχωνεύονται απευθείας με την κυτταρική μεμβράνη του ξενιστή, ενώ άλλοι εσωτερικεύονται από την ενδοκυττάρωση. Τα βακτήρια δεν έχουν ισχυρό προστατευτικό τοίχωμα και έχουν αναπτυχθεί μηχανισμοί διείσδυσης γονιδίων στους ιούς, ενώ το καψίδιο δεν φεύγει από το εξωτερικό του κυττάρου. Προκειμένου να αποκαλυφθεί το γενετικό του υλικό εντός του κυττάρου ξενιστή, ο ιός μπορεί να χρειαστεί να αποκαλυφθεί, χάνοντας τα εξωτερικά στρώματα ή το καψίδιο του. Μετά από αυτό, το γονιδίωμα του ιού εκτίθεται και είναι έτοιμο για αναπαραγωγή [127]. Οι φάσεις αντιγραφής και μεταγραφής της αλληλεπίδρασης είναι εκεί όπου το ιικό γενετικό υλικό αποκτά τον έλεγχο του μηχανισμού του κυττάρου ξενιστή. Όταν ο ιός αναδιπλασιάζεται, το γονιδίωμα πολλαπλασιάζεται επίσης. Αφού αντιγραφούν, μπορεί να εμφανιστούν αλλοιωμένες πρωτεΐνες και σωματίδια σε σχέση με την αρχική μορφή του ιού πριν συμβεί η διείσδυση. Τα νεοσχηματισμένα σωματίδια ιού που συναρμολογούνται αποκτούν μια νέα τελική δομή ιού καθώς και νέα λειτουργικά χαρακτηριστικά.

Η αναπαραγωγή του ιού σημαίνει επίσης πολλαπλασιασμό του γονιδιώματος. Μετά την αντιγραφή, σωματίδια και αλλοιωμένες πρωτεΐνες μπορεί να εμφανιστούν σε σχέση με την αρχική μορφή του ιού πριν από τη διείσδυση. Η λύση είναι η διαδικασία με την οποία ένας ιός απελευθερώνεται από ένα κύτταρο ξενιστή. Αυτό προκαλεί τη θανάτωση του κυττάρου. Προφάγος είναι η διαδικασία με την οποία ο ξενιστής αναπαράγεται, επομένως ο ιός αναπαράγεται επίσης. Όταν ο ιός παύει να είναι ανενεργός, προκαλεί λύση στο κύτταρο ξενιστή. Η αναπαραγωγή ενός ιού RNA λαμβάνει χώρα στο κυτταρόπλασμα. Κάθε ιός έχει τα δικά του ένζυμα που δημιουργούν αντίγραφα των γονιδιωμάτων. Μετά τη λύση, ο ιός μπορεί να μολύνει ένα άλλο, νέο κύτταρο ξενιστή, οδηγώντας στην επανάληψη αυτού του κύκλου. Επίσης, κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, μπορεί να υπάρξουν μεταλλάξεις του ιού [672].

Όταν το ανοσοποιητικό σύστημα ενός οργανισμού εκτίθεται σε έναν ιό, παράγει αντισώματα για την καταστολή του ιού. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται χυμική ανοσία. Ανάλογα με τα αντισώματα που παράγονται, μένει να φανεί αν ο οργανισμός έχει αναρρώσει από τον ιό ή όχι.

4.15.2 Βακτηριακοί ιοί & Βακτηριοφάγοι

Οι βακτηριοφάγοι ή φάγοι είναι ιοί που μεταβάλλουν ή διαφοροποιούν τους μικροβιακούς πληθυσμούς. Χρησιμοποιήθηκαν ως αντιβακτηριακά μέσα λόγω των ιδιοτήτων τους [599]. Το εύρος ξενιστών ορισμένων βακτηριοφάγων εστιάζει σε ένα μόνο βακτηριακό στέλεχος.

Οι βακτηριοφάγοι είναι μία από τις ομάδες των ιών και μολύνουν συγκεκριμένα βακτήρια. Συνήθως έχουν γονιδιώματα δίκλωνου RNA. Ένας ιός RNA αποτελείται από τμήματα που συνθέτουν μια πρωτεΐνη. Αυτά τα τμήματα υπάρχουν στο καψίδιο. Διαφορετικά τμήματα μπορεί να βρίσκονται σε διαφορετικά ισωμάτια και ωστόσο ο ιός μπορεί να είναι μεταδοτικός [223]. Ο τρόπος που κάνουν τη μόλυνση είναι προσκολλώντας σε μόρια της επιφάνειας του βακτηρίου και στη συνέχεια εισέρχονται στο κύτταρο. Σε πολλές περιπτώσεις, μόλις ο αρχικός ιός εισέλθει στο κύτταρο, αρχίζει να μεταφράζει το mRNA του σε πρωτεΐνες. Στη συνέχεια, το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είτε γίνεται ισωμάτιο και βοηθά στο σχηματισμό άλλων τέτοιων βιριόντων είτε συμμετέχει στη διαδικασία της κυτταρικής λύσης. Τα ένζυμα του ιού συμβάλλουν στην καταστροφή της κυτταρικής μεμβράνης. Ο κύριος τρόπος με τον οποίο τα βακτήρια προστατεύονται από τέτοιες λοιμώξεις είναι με τη βοήθεια ενζύμων που στοχεύουν άγνωστο RNA. Τα βακτήρια μπορούν επίσης να ανιχνεύσουν γονιδιώματα από ιούς που έχουν πολεμήσει στο παρελθόν και να εμποδίσουν την αναπαραγωγή τους μέσω παρεμβολής RNA. Αυτός είναι ένας μηχανισμός άμυνας των βακτηρίων έναντι τέτοιων λοιμώξεων. Από τη φύση τους, τα βακτήρια έχουν την τακτική να παρεμβαίνουν στο RNA.

Κατά τη διάρκεια της αντιγραφής ενός ιικού RNA, συμβαίνουν ορισμένες μεταλλάξεις, οι οποίες μπορεί είτε να μην επηρεάζουν τις πρωτεΐνες των κυττάρων είτε να συμβάλλουν σε αντίσταση στα αντιικά φάρμακα.

Βακτηριοφάγος φ6

Ο βακτηριοφάγος φ6, γνωστός και ως φάγος *Pseudomonas* φ6, είναι ένας λυτικός ιός και μέλος της οικογένειας κυστοϊών που μολύνει τα βακτήρια *Pseudomonas* [571]. Συγκεκριμένα, αυτός ο τύπος ιού μολύνει *Pseudomonas syringae* και βακτήρια που μολύνουν τα όσπρια. Ο βακτηριοφάγος φ6 έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στη βιβλιογραφία και στο παρελθόν έχει συσχετιστεί με το πεδίο της κλασικής και εξελικτικής θεωρίας παιγνίων [763, 761, 816, 445]. Ταξινομείται ως ιός dsRNA (δίκλωνο RNA) και το δίκλωνο γονιδιώμα του αποτελείται από δώδεκα πρωτεϊνικούς κώδικες και τρία τμηματικά μέρη. Μια λιπιδική μεμβράνη καλύπτει το νουκλεοκαψίδιο τέτοιων ειδών. Ο κύκλος μόλυνσης ξεκινά με την προσκόλληση στο βακτήριο ξενιστή χρησιμοποιώντας πρωτεΐνες που δεσμεύουν τον υποδοχέα στην επιφάνειά του. Με τη μοναδική του πρωτεΐνη, που ονομάζεται P3, σχεδιασμένη για αυτή τη λειτουργία, το φ6 βρίσκει το βακτήριο και κολλάει σε αυτό. Εκτός από την παραπάνω πρωτεΐνη, πολλές άλλες πρωτεΐνες συμμετέχουν στη διαδικασία μόλυνσης των κυττάρων. Κατά την προσάρτηση, το φ6 εγχέει το τμηματοποιημένο, τριμερές γονιδιώμα του στο κύτταρο ξενιστή, όπου συμβαίνει η αντιγραφή και η μεταγραφή [706]. Σε αντίθεση με πολλούς άλλους βακτηριοφάγους, ο φ6 φέρει ένα τμηματοποιημένο, τριμερές γονιδίωμα που αποτελείται από τρία ξεχωριστά τμήματα RNA. Αυτά τα τμήματα ονομάζονται L (μεγάλο), M (μεσαίο) και S (μικρό) και κωδικοποιούν βασικές ιικές πρωτεΐνες και ένζυμα. Το τμήμα L κωδικοποιεί την εξαρτώμενη από RNA RNA πολυμεράση και το ένζυμο κάλυψης, το τμήμα M κωδικοποιεί δομικές πρωτεΐνες και μια πρωτεάση ωρίμανσης, ενώ το τμήμα S κωδικοποιεί μη δομικές πρωτεΐνες που εμπλέκονται στην αντιγραφή και τη μεταγραφή. Αυτή η τμηματοποιημένη δομή γονιδιώματος επιτρέπει στο φ6 να υποβληθεί σε γενετική ανακατάταξη, ενισχύοντας την προσαρμοστικότητα και την ποικιλομορφία του καθώς μολύνει κυρίως *Pseudomonas syringae*, ένα φυτοπαθογόνο βακτήριο [706]. Αυτή η διαδικασία οδηγεί στη σύνθεση ιικού RNA και πρωτεϊνών που απαιτούνται για τη συναρμολόγηση νέων σωματιδίων φάγου. Το φ6 εμφανίζει υψηλό βαθμό εξειδίκευσης του ξενιστή, στοχεύοντας κυρίως τα βακτήρια *Pseudomonas*, ιδιαίτερα τα στελέχη *Pseudomonas syringae*. Αυτή η εξειδίκευση προκαλείται από ειδικές πρωτεΐνες που δεσμεύουν τον υποδοχέα στην επιφάνεια του φάγου που αναγνωρίζουν και προσκολλώνται σε υποδοχείς στην επιφάνεια του βακτηριακού κυττάρου. Το εξωτερικό λιπιδικό περιβλήμα του ιού προέρχεται από τη μεμβράνη του κυττάρου ξενιστή κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης νέων σωματιδίων φάγου. Μετά τη συναρμολόγηση και την ωρίμανση, το κύτταρο ξενιστή υφίσταται λύση, απελευθερώνοντας σωματίδια απογόνων φάγων που μπορούν να μολύνουν άλλα βακτήρια *Pseudomonas*, διαιωνίζοντας τον κύκλο μόλυνσης [706]. Αυτός ο κύκλος προσκόλλησης στο κύτταρο ξενιστή, είσοδος, αντιγραφή και μεταγραφή του ιικού RNA, συναρμολόγηση, ωρίμανση, λύση κυττάρων και απελευθέρωση νέων σωματιδίων φάγου συνεχίζεται, επιτρέποντας στον βακτηριοφάγο φ6 να πολλαπλασιαστεί και να εξαπλωθεί σε πληθυσμούς βακτηρίων *Pseudomonas*. Ο απώτερος στόχος του πολλαπλασιασμού είναι να δημιουργηθεί ένας μεγάλος αριθμός σωματιδίων απογόνων φάγων ικανών να μολύνουν επιπλέον κύτταρα-ξενιστές, διασφαλίζοντας την επιβίωση και την εξάπλωση του φάγου εντός του βακτηριακού πληθυσμού ξενιστή του. Οι βακτηριοφάγοι φ6 ανταγωνίζονται μεταξύ τους για να αποκτήσουν πρωτεΐνες καψιδίου στον κοινό βακτηριακό στοχευόμενο ξενιστή τους. Όταν συναρμολογούνται διαφορετικά στελέχη βακτηριοφάγων φ6, με ποικίλους αριθμούς σωματιδίων βακτηριοφάγου που μπορούν ταυτόχρονα να μολύνουν ένα μόνο βακτηριακό κύτταρο, λαμβάνονται διαφορετικά αποτελέσματα. Το αποτέλεσμα μόλυνσης του βακτηριακού κυττάρου από τον ιό εξαρτάται άμεσα από τον συνδυασμό και τις αναλογίες που θα επιλεγούν στους πληθυσμούς φάγων και βακτηρίων. Ένα στέλεχος μπορεί να μολύνει ένα κύτταρο μόνο του ή η μόλυνση μπορεί να προκύψει από έναν συνδυασμό ιών και των ομολόγων τους ή ακόμα και από μεταλλάξεις

τους [761]. Η συμπεριφορά των βακτηριοφάγων, συμπεριλαμβανομένου του ρόλου που θα παίζει ο καθένας και αν θα συνεργαστούν με τους γείτονές τους ή θα είναι εγωιστές, παίζει καταλυτικό ρόλο στην ικανότητα του πληθυσμού έναντι του ιού. Ο $\phi 6$ βρίσκεται όταν συνυπάρχουν πολυμορφισμός και βοηθητικοί ιοί. Ορισμένες ενέργειες μπορούν να γίνουν κατανοητές χρησιμοποιώντας το παιχνίδι διλήμματος του φυλακισμένου, ενώ άλλες μπορούν να διαβαστούν χρησιμοποιώντας το παιχνίδι χιονοστιβάδας (γνωστό και ως παιχνίδι με κοτόπουλο), με διάφορα αποτελέσματα ανάλογα με την αναλογία των μολυσματικών ιών προς τα βακτηριακά κύτταρα [763].

Το $\phi 6$ είναι ένα σημαντικό μοντέλο οργανισμού στην έρευνα της ιολογίας λόγω του μοναδικού γονιδιώματος και του καλά κατανοητού κύκλου ζωής του, βοηθώντας τις έρευνες για τις αλληλεπιδράσεις ιού-ξενιστή, τη βιολογία RNA και την αντιγραφή του ιού.

Εκτός από τον ρόλο του ως πρότυπου οργανισμού, το $\phi 6$ έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον για πιθανές εφαρμογές στη θεραπεία με φάγους, μια νέα στρατηγική που χρησιμοποιεί φάγους για να στοχεύει και να σκοτώνει συγκεκριμένα επιβλαβή βακτήρια, προσφέροντας ίσως μια εναλλακτική λύση στα αντιβιοτικά. Επιπλέον, η φυσική παρουσία του $\phi 6$ στο περιβάλλον μπορεί να βοηθήσει στον περιορισμό του πληθυσμού των βακτηρίων *Pseudomonas* πυροδοτώντας τη λύση των κυττάρων και μειώνοντας την αφθονία των βακτηρίων. Το $\phi 6$ και παρόμοιοι φάγοι είναι χρήσιμοι στη βιοτεχνολογία, ιδιαίτερα στην τεχνολογία απεικόνισης φάγων, όπου βοηθούν στην επιλογή ορισμένων πρωτεϊνών με επιθυμητά χαρακτηριστικά.

Λόγω της τάσης του να μολύνει και να πολλαπλασιάζεται στα βακτήρια του ξενιστή, η εξάλειψη του βακτηριοφάγου $\phi 6$, ενός τύπου ιού που μολύνει τα βακτήρια *Pseudomonas*, μπορεί να είναι δύσκολη υπόθεση. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μέθοδοι για τον έλεγχο ή τη μείωση της εμφάνισης του $\phi 6$ σε διάφορα περιβάλλοντα. Τα αντιβιοτικά, τα οποία χρησιμοποιούνται γενικά για τη θεραπεία βακτηριακών λοιμώξεων, είναι μια στρατηγική. Τα αντιβιοτικά, αν και δεν εξαλείφουν άμεσα τους φάγους, μπορούν να βοηθήσουν έμμεσα μειώνοντας τον πληθυσμό των ευάλωτων βακτηρίων-ξενιστών. Αυτό μπορεί να μειώσει τον αριθμό των διαθέσιμων κεντρικών υπολογιστών για $\phi 6$, μειώνοντας ενδεχομένως τη διάδοσή του [131].

Η θεραπεία με φάγους είναι μια άλλη τεχνική που περιλαμβάνει τη χρήση άλλων βακτηριοφάγων γνωστών ως «αρπακτικών φάγων» που στοχεύουν ιδιαίτερα και μολύνουν το $\phi 6$ ή σχετικούς βακτηριοφάγους. Οι αρπακτικοί φάγοι χρησιμοποιούνται σε αυτή τη μέθοδο για τη μείωση του πληθυσμού των $\phi 6$ σε μια βακτηριακή καλλιέργεια.

Η δημιουργία ανθεκτικών βακτηριακών στελεχών έναντι της μόλυνσης από $\phi 6$ είναι μια μακροπρόθεσμη στρατηγική. Τα βακτήρια μπορούν να δημιουργηθούν μέσω γενετικής μηχανικής που δεν διαθέτουν τους υποδοχείς στους οποίους συνδέεται το $\phi 6$. Αυτή η διαδικασία, ωστόσο, μπορεί να μην είναι κατάλληλη για όλες τις εφαρμογές και θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή [131].

Ο έλεγχος περιβαλλοντικών παραγόντων όπως η θερμοκρασία, το pH ή η διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών μπορεί να βοηθήσει στον περιορισμό του πολλαπλασιασμού του $\phi 6$ και των βακτηρίων ξενιστών του σε συγκεκριμένες καταστάσεις όπως εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού ή βιομηχανικές εργασίες. Η κατανόηση και η αλλαγή των περιβαλλοντικών συνθηκών που προάγουν τον πολλαπλασιασμό του $\phi 6$ μπορεί να είναι επωφελής. Επιπλέον, η ενδεδειγμένη απολύμανση με κατάλληλες χημικές ουσίες, θερμότητα ή ακτινοβολία UV μπορεί να βοηθήσει στην αδρανποίηση και την εξάλειψη των σωματιδίων $\phi 6$, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου η μόλυνση από $\phi 6$ είναι πρόβλημα, όπως ο εργαστηριακός εξοπλισμός [704].

Οι αυστηρές πολιτικές υγιεινής και βιοασφάλειας, για παράδειγμα, είναι κρίσιμες για τον περιορισμό της εισαγωγής και εξάπλωσης του $\phi 6$, ιδιαίτερα σε εργαστηριακά και βιομηχανικά περιβάλλοντα όπου χρησιμοποιούνται καλλιέργειες βακτηρίων. Αυτές οι προφυλάξεις μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση του κινδύνου μόλυνσης από $\phi 6$. Η τροποποίηση ή η ρύθμιση των συνθηκών καλλιέργειας μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη του $\phi 6$ σε αρκετές βιοτεχνολογικές εφαρμογές. Η βελτιστοποίηση της σύνθεσης του καλλιεργητικού μέσου ή της θερμοκρασίας, για παράδειγμα, μπορεί να μειώσει τον αντίκτυπο του $\phi 6$ στις βιοδιεργασίες [816]. Η συγκεκριμένη τεχνική

για την αφαίρεση ή τον έλεγχο του βακτηριοφάγου $\phi 6$ θα καθοριστεί από το πλαίσιο, τους στόχους και τους διαθέσιμους πόρους. Όταν ασχολείται κανείς με το $\phi 6$, είναι σημαντικό να αξιολογεί τους πιθανούς κινδύνους και τα οφέλη κάθε τεχνικής, ειδικά σε ερευνητικά ή βιομηχανικά περιβάλλοντα, και να ζητά συμβουλές από ειδικούς στην ιολογία, τη μικροβιολογία ή τη βιοτεχνολογία.

Ενώ η θεωρία παιγνίων χρησιμοποιείται πιο συχνά στα οικονομικά, τις κοινωνικές επιστήμες και τις πολιτικές επιστήμες, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως αναλογία ή εννοιολογικό πλαίσιο για την κατανόηση συγκεκριμένων στοιχείων βιολογικών συστημάτων, όπως οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ ιών όπως ο βακτηριοφάγος $\phi 6$ και ο ξενιστής τους βακτήρια [761].

Σε αυτή την προοπτική, μπορούμε να δούμε τη συν-εξελικτική δυναμική των δύο ως ένα στρατηγικό «παιχνίδι». Τα βακτήρια εξελίσσουν αμυντικά συστήματα για να αντέχουν σε ιογενείς λοιμώξεις, αλλά ιοί όπως το $\phi 6$ προσαρμόζονται για να παρακάμψουν αυτές τις προστασίες. Αυτή η συνεχής προσαρμογή μπορεί να γίνει κατανοητή ως μια στρατηγική αλληλεπίδραση στην οποία και τα δύο μέρη προσαρμόζουν τις στρατηγικές τους (γενετική σύνθεση) ως αντίδραση στις ενέργειες του άλλου με την πάροδο του χρόνου [816]. Επιπλέον, η θεωρία παιγνίων παρέχει ένα πλαίσιο για τη σύλληψη στρατηγικών ιών όπως το $\phi 6$ και τη βελτιστοποίηση των πιθανοτήτων επιτυχούς μόλυνσης και πολλαπλασιασμού μέσα σε ένα κύτταρο ξενιστή. Ομοίως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση των αμυντικών συστημάτων των οργανισμών-ξενιστών (σε αυτό το παράδειγμα, των βακτηρίων) έναντι ιογενών λοιμώξεων, όπως η ενεργοποίηση μηχανισμών άμυνας κατά των ιών.

Μια άλλη άποψη εξετάζει την κατανομή πόρων εντός του κυττάρου ξενιστή. Το $\phi 6$ και το βακτήριο-ξενιστής μπορεί να αγωνίζονται για σπάνιους πόρους, όπως ενέργεια και πρώτες ύλες, προκειμένου να διατηρήσουν τον πολλαπλασιασμό και την επιβίωσή τους. Έννοιες από τη θεωρία παιγνίων, όπως το δίλημμα του κρατούμενου και η τραγωδία των κοινών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κατανοήσουμε καλύτερα πώς αυτές οι ανταγωνιστικές οντότητες κατανέμουν πόρους και αλληλεπιδρούν στο περιβάλλον υποδοχής [445].

Επιπλέον, η θεωρία παιγνίων μπορεί να βοηθήσει στη διερεύνηση της αντιστάθμισης μεταξύ της ικής μολυσματικότητας (η ικανότητα να βλάψει τον ξενιστή) και της αντίστασης του ξενιστή (η ικανότητα προστασίας από μόλυνση). Αυτή η αντιστάθμιση μπορεί να εξεταστεί από την προοπτική τόσο της εξελικτικής στρατηγικής του ιού όσο και του ξενιστή. Ενώ η θεωρία παιγνίων παρέχει ένα χρήσιμο παράδειγμα για τη μελέτη των στρατηγικών στοιχείων των αλληλεπιδράσεων ιού-ξενιστή, αυτές οι αλληλεπιδράσεις είναι εγγενώς περίπλοκες. Περιλαμβάνουν μια ποικιλία γενετικών, βιοχημικών και περιβαλλοντικών στοιχείων που υπερβαίνουν τα βασικά μοντέλα που προσφέρει η θεωρία παιγνίων. Ωστόσο, η εφαρμογή των εννοιών της θεωρίας παιγνίων διευρύνει την κατανόησή μας για το πώς αλληλεπιδρούν ιοί όπως το $\phi 6$ και τα κύτταρα ξενιστές τους σε μια δυναμική αλληλεπίδραση στρατηγικών και προσαρμογών.

4.15.3 Σύγκριση των δύο ιών

Το VirLock ζητά από τον χρήστη να πληρώσει λύτρα για να αποκτήσει ξανά πρόσβαση στα αρχεία του και στον υπολογιστή γενικότερα. Το VirLock έχει παρασιτική συμπεριφορά. Όταν εκτελείται, αρχίζει να μολύνει τα υποστηριζόμενα αρχεία υπολογιστή, αλλά ο τρόπος που αλλάζει/μολύνει ένα αρχείο είναι λίγο διαφορετικός από αυτό που συμβαίνει συνήθως με αυτόν τον τύπο κακόβουλου λογισμικού. Το VirLock ενσωματώνει καθαρό κώδικα μέσα σε ένα κακόβουλο λογισμικό αντί για κακόβουλο λογισμικό μέσα στον καθαρό κώδικα. Αυτό σημαίνει ότι κάθε αρχείο που έχει κρυπτογραφηθεί θα ενσωματωθεί στο κακόβουλο λογισμικό. Τώρα κάθε μολυσμένο αρχείο μπορεί να μολύνει καθώς λειτουργεί σαν μετάλλαξη του VirLock. Το VirLock αυτοαναπαράγεται με αυτόν τον τρόπο και μεγάλωσε τον «πληθυσμό» του. Οι μεταλλάξεις είναι πολλές και υπάρχουν πολλές μεταβλητές του VirLock στις βάσεις δεδομένων πολλών λογισμικών προστασίας από ιούς και οι μεταλλάξεις του ιού πιθανότατα βοήθησαν να αποφευχθεί ο εντοπισμός από ορισμένα προγράμματα προστασίας από ιούς με την πάροδο του χρόνου.

Κάθε φορά που το VirLock κρυπτογραφεί ένα αρχείο, προσθέτει την επέκταση .exe σε αυτό και το αποδίδει ένα αντίγραφο του εαυτού του. Έτσι, κάθε μολυσμένο αρχείο είναι τεχνικά μια παραλλαγή του ίδιου του κακόβουλου λογισμικού. Το λογισμικό προστασίας από ιούς συνήθως δεν μπορεί να αποκρυπτογραφήσει αρχεία, επομένως το λιγότερο που μπορούν να κάνουν είναι να εντοπίσουν το κακόβουλο λογισμικό και να το θέσουν σε καραντίνα ή να το διαγράψουν εντελώς. Η διαγραφή όλων των μολυσμένων αρχείων στον υπολογιστή προφανώς δεν είναι η βέλτιστη λύση. Ορισμένα λογισμικά προστασίας από ιούς προσφέρουν ένα καθαριστικό VirLock που μπορεί να σκουπίσει τα υπολείμματα ιών και επίσης να «αποκρυπτογραφήσει» τα περισσότερα (αν όχι όλα) από τα μολυσμένα αρχεία σε περίπτωση γνωστών παραλλαγών του VirLock.

Οι πιο πρόσφατες παραλλαγές του VirLock φαίνεται να είναι αρκετά ισχυρές και αποτελεσματικές, παρόλο που έχει περάσει αρκετός χρόνος από την πρώτη του εμφάνιση και το ξέσπασμα. Όταν το VirLock μολύνει έναν υπολογιστή, εμφανίζει ένα μήνυμα που καταλαμβάνει ολόκληρη την περιοχή της οθόνης ενημερώνοντας τον χρήστη ότι εντοπίστηκε πειρατικό λογισμικό στον υπολογιστή, επομένως πρέπει να πληρώσει πρόστιμο για αυτήν την παράνομη ενέργεια για να μην συλληφθεί. Για να πείσει τον χρήστη ότι αυτή η ειδοποίηση είναι νόμιμη, το VirLock έχει τοπικοποιήσει το GUI, επομένως ανάλογα με την τοποθεσία του θύματος θα εμφανίζει τα λογότυπα των αντίστοιχων τοπικών αρχών και της κυβέρνησης. Εν τω μεταξύ τα αρχεία του μολυσμένου υπολογιστή «κρυπτογραφούνται» στο παρασκήνιο και επίσης μολύνονται. Ο όρος «κρυπτογράφηση» σε αυτή την περίπτωση συνοδεύεται από κάποια διευκρίνιση.

Η δομή αυτού του είδους αρχείων είναι η εξής, από πάνω προς τα κάτω: Η αρχή και το τέλος του κώδικα είναι κατασκευασμένα από πολυμορφικό κώδικα που αλλάζει σε κάθε επανάληψη, οπότε βασικά ο κώδικας είναι τυλιγμένος από αυτό το είδος πολυμορφικού κώδικα που επίσης αναφέρεται ως κωδικός διακόσμησης. Μετά το πρώτο κομμάτι του πολυμορφικού κώδικα υπάρχει ο κακόβουλος κώδικας που εκτελείται κάθε φορά. Αμέσως μετά τον κακόβουλο κώδικα το VirLock ενσωματώνει τον καθαρό κώδικα και ακολουθεί το τελευταίο κομμάτι πολυμορφικού κώδικα.

Ο λυτικός ιός του βακτηριοφάγου φ6 ανήκει στους ιούς των κυστοϊών και στοχεύει να μολύνει τα βακτήρια *Pseudomonas*. Το γονιδίωμά του είναι δίκλωνο, αποτελείται από τρία τμήματα και κωδικοποιεί 12 πρωτεΐνες. Τέτοια είδη αποτελούνται από μια λιπιδική μεμβράνη που περιβάλλει το νουκλεοκαψίδιο τους.

Το φ6 εντοπίζει και κολλάει πάνω στο βακτήριο που θέλει να μολύνει με την ειδική πρωτεΐνη του για το σκοπό αυτό, την P3. Από εκεί και πέρα, διαφορετικές πρωτεΐνες συμβάλλουν στη διαδικασία μόλυνσης των κυττάρων. Ο βακτηριοφάγος φ6 έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για να μοντελοποιήσει τις συμπεριφορές και τη δομή του και στο παρελθόν είχε συνδεθεί με το πεδίο της κλασικής και εξελικτικής θεωρίας παιγνίων.

Η σύγκριση των χαρακτηριστικών των βιολογικών ιών και των ιών υπολογιστών και του τρόπου με τον οποίο συμπεριφέρονται πριν και μετά την εισβολή του ξενιστή παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον και μπορεί να δώσει νέες γνώσεις. Οι ιοί υπολογιστών, όπως και οι βιολογικοί τους αντίστοιχοι, συνεχίζουν να εξελίσσονται σε συμφωνία με την πρόοδο των υπολογιστών. Οι βιολογικοί ιοί μεταλλάσσονται και οι γενιές μπορούν να παρακολουθούνται με την πάροδο του χρόνου.

Για να επεκτείνουμε αυτήν τη μεταφορά, μπορούμε να συγκρίνουμε το ανοσοποιητικό σύστημα ενός βακτηρίου με λογισμικό προστασίας από ιούς και άλλο λογισμικό ασφαλείας που είναι εγκατεστημένο σε έναν υπολογιστή, καθώς και με άλλες πτυχές ψηφιακής ασφάλειας (όπως πρόνομια, ενέργειες, ρυθμίσεις κ.λπ.). Οι ιοί υπολογιστών στοχεύουν να αποδυναμώσουν το «ανοσοποιητικό σύστημα» του υπολογιστή μολύνοντας τα αρχεία του υπολογιστή του θύματος, τα οποία σε αυτό το σενάριο μπορεί να μοιάζουν με κύτταρα βακτηρίου που έχουν μολυνθεί από βιολογικό ιό, προκειμένου να αναπαραχθούν και να αυξήσουν τον πληθυσμό τους. Εκτός από τα προαναφερθέντα, οι ιοί VirLock και τύπου worm προσπαθούν να μολύνουν πολλά άτομα και να διαδώσουν τον πληθυσμό τους μέσω του δικτύου, το οποίο μπορεί να συνδεθεί με έναν πληθυσμό βακτηρίων σε κοντινή απόσταση.

Επιλέξαμε έναν εκπρόσωπο από κάθε ομάδα για να συγκρίνουμε και να συνδέσουμε τους ιούς

υπολογιστών με τα βιολογικά τους ισοδύναμα. Επιλέξαμε τον βακτηριοφάγο $\phi 6$ ως δείγμα βιολογικών ιών, επειδή η συμπεριφορά και η δομή του έχουν ερευνηθεί εκτενώς και στο παρελθόν είχε συσχετιστεί με το πεδίο της κλασικής και εξελικτικής θεωρίας παιγνίων. Λόγω του χαρακτηριστικού τμηματοποιημένου γονιδιώματος και του καλά τεκμηριωμένου κύκλου ζωής του, ο βακτηριοφάγος $\phi 6$ έχει διερευνηθεί ευρέως στην ιολογία και χρησιμοποιείται ως πρότυπο οργανισμό για την εξέταση πολλών πτυχών αλληλεπιδράσεων ιού-ξενιστή, ιικής αντιγραφής και βιολογίας RNA. Η μελέτη $\phi 6$ βοηθά τους ερευνητές να κατανοήσουν το ευρύτερο θέμα της ιολογίας και της μοριακής βιολογίας.

Με άλλα λόγια, ο βακτηριοφάγος $\phi 6$ ξεχωρίζει ως ένας ξεχωριστός και καλά μελετημένος ιός με διακριτικές ιδιότητες, καθιστώντας τον εξαιρετικό εργαλείο για την κατανόηση της ιολογίας και των αλληλεπιδράσεων ιού-ξενιστή, καθώς και για τη διερεύνηση πολλών πρακτικών εφαρμογών που κυμαίνονται από τη θεραπεία με φάγο έως τη βιοτεχνολογία.

Ακολουθούν οι κύριες ιδιότητες και χαρακτηριστικά του VirLock που θα μπορούσαν να συνδεθούν με βακτηριοφάγους, ιδιαίτερα το $\phi 6$:

1. Είναι ιοί που αναπαράγονται μόνοι τους και φαίνεται να αναπτύσσονται ραγδαία.
2. Προσπαθούν να προστατευτούν επιτιθέμενοι και τελικά χειραγωγούν τον κεντρικό υπολογιστή
3. Επηρεάζουν τον κεντρικό υπολογιστή προκειμένου να αποκτήσει πλήρη πρόσβαση στις λειτουργίες του και να διατηρήσει ανεπηρέαστη την ιογενή του ικανότητα
4. Επηρεάζουν ορισμένους τύπους κεντρικών υπολογιστών
5. Παρασιτική συμπεριφορά, ενώ χειραγωγούν και ενσωματώνουν τον κώδικά τους στα αντίγραφα τους
6. Μπορούν να εξαπλωθούν όταν τα μολυσμένα μέρη έρχονται σε επαφή με άλλους ξενιστές
7. Έχουν μια βασική δομή που υπόκειται σε αλλαγές
8. Είναι σε θέση να μεταλλάσσονται γρήγορα όχι μόνο από μόνοι τους αλλά και με εξωτερική βοήθεια
9. Μπορεί να είναι μη ανιχνεύσιμα για συγκεκριμένο χρόνο και η συμπεριφορά τους είναι δύσκολο να εντοπιστεί και να εξαλειφθεί.

Οι ιοί υπολογιστών μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους. Ωστόσο, η ομοιότητά τους σε σχέση με τους βιολογικούς ιούς εντοπίζεται σε πολλές ιδιότητες, εφόσον κάποιος συσχετίζει τους κατάλληλους ιούς μεταξύ τους, ανάλογα με τα κοινά στοιχεία συμπεριφοράς τους. Η μελέτη τους και η συσχέτιση μεταξύ ιών υπολογιστών και βιολογικών ιών προσφέρει μια εναλλακτική ματιά και προσέγγιση για τον τρόπο αντιμετώπισης τόσο των βιολογικών όσο και των ιών υπολογιστών. Θα ήταν επίσης ενδιαφέρον να εντοπίσουμε μοναδικές στρατηγικές μιας ομάδας και να προσπαθήσουμε να τις προσομοιώσουμε στην άλλη ομάδα, με κατάλληλο παραλληλισμό, προκειμένου να προκύψουν νέες προσεγγίσεις και λύσεις.

Κεφάλαιο 5

Κβαντική Θεωρία Παιγνίων

Τα κβαντικά παιχνίδια είναι παιχνίδια δανεισμένα από το κλασικό GT, με το πλεονέκτημα των κβαντικών στρατηγικών. Οι παίκτες μπορούν να κάνουν κινήσεις που είναι διαθέσιμες μόνο στην κβαντική θεωρία παιγνίων (Κ.Θ.Π.), με βάση τους νόμους της κβαντικής μηχανικής.

Η QGT ήρθε για να προσθέσει νέες ιδέες και εναλλακτικές επιλογές στις ήδη γνωστές και χρησιμοποιημένες λύσεις προβλήματα. Ο τομέας του GT έχει εμπλουτιστεί με διαφορετική, πιο σύνθετη προσέγγιση αλλά με σημαντικά ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά. Η πληθώρα των στρατηγικών και των κινήσεων των παικτών στο QGT οδηγεί σε νέες λύσεις και νέες στρατηγικές κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού. Έχει αποδειχθεί ότι οι κβαντικές τακτικές οδηγούν σε καλύτερα αποτελέσματα από την κλασική εκδοχή της.

Ο Meyer το 1999 [537] ήταν ο πρώτος που απέδειξε την προαναφερθείσα δήλωση, όπου περιέγραψε το πρώτο κβαντικό παιχνίδι. Είναι μια παραλλαγή της κλασικής ρίψης νομίσματος μεταξύ δύο παικτών, με τον Picard να παίζει με βάση κλασικούς κανόνες και κινήσεις και τον Q να είναι κβαντικός παίκτης. Ο Q καταφέρνει να κερδίσει τον Picard όσες φορές κι αν παίζει το παιχνίδι, δείχνοντας την υπεροχή του κβαντικού έναντι των κλασικών τεχνικών για αυτό το παιχνίδι. Η εργασία αυτή οδήγησε στην εκτενή έρευνα αυτού του νέου πεδίου και ακολούθησαν πιο σημαντικές εργασίες. Ωστόσο, οι έρευνες για το αν τα κβαντικά παιχνίδια ξεπερνούν τα κλασικά είναι αμφισβητήσιμες/αμφιλεγόμενες.

Στο QGT [278], [639], επιτρέπουμε στους παίκτες να χρησιμοποιούν κβαντικές στρατηγικές παράλληλα με τις κλασικές. Καθώς πρόκειται για ένα πολύ μεγαλύτερο σύνολο πιθανών κινήσεων των παικτών, προσφέρει τη δυνατότητα πολύ πιο διαφοροποιημένης συμπεριφοράς. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού είναι το γεγονός ότι εάν μόνο ένας παίκτης γνωρίζει την κβαντική φύση του παιχνιδιού, δεν θα χάσει ποτέ σε ορισμένους τύπους παιχνιδιών. Αυτό βρίσκεται, για παράδειγμα, σε κοινωνικά διλήμματα, όπου οι κβαντικές στρατηγικές εισάγουν μια θαυματουργή κίνηση [279]. Αυτή είναι μια στρατηγική που πάντα κερδίζει έναντι κάθε κλασικής στρατηγικής. Εάν και οι δύο παίκτες γνωρίζουν τη φύση του παιχνιδιού, ένας από αυτούς μπορεί να εξαπατήσει προσθέτοντας επιπλέον qubits στο σύστημα [544]. Όταν λαμβάνουμε υπόψη την αποσυνολή, η συμπεριφορά του παιχνιδιού αλλάζει [280]. Συγκεκριμένα, η πολύ γνωστή ισορροπία Nash ενός παιχνιδιού μπορεί να μετατοπιστεί σε διαφορετική στρατηγική [301]. Επιπλέον, υπάρχει επίσης μια κβαντική έκδοση του παραδόξου του Parrondo [628] [281].

Στην Κβαντική Θεωρία Παιγνίων (Κ.Θ.Π.) το εύρος των επιλογών των παικτών, το σύνολο των δεδομένων τους για την ακρίβεια, είναι πιο περίπλοκο και οι παίκτες μπορούν επίσης να λειτουργήσουν στο σύστημα με πίνακες, αλλάζοντας την κλασική πορεία του παιχνιδιού. Πιο συγκεκριμένα, το σύνολο των κινήσεων αποτελείται από κβαντικές καταστάσεις στο Hilbert Space και οι παίκτες επιλέγουν να ακολουθήσουν κβαντικές στρατηγικές αντί για τις μικτές που χρησιμοποιούν στο κλασικό GT. Ως αντίστοιχο της δυναμικής του αντιγραφέα του EGT, οι Leung et al. [480] προτείνουν τη δυναμική του κβαντικού αντιγραφέα, προκειμένου να παρουσιάσουν την εξέλιξη της στρατηγικής μη ισορροπίας. Εφαρμόζεται μόνο σε κβαντικές στρατηγικές και διαφέρει

από την κλασική ως προς την εξέλιξη της στρατηγικής.

Η τρέχουσα λογοτεχνία αφθονεί με κβαντικά εξελικτικά παιχνίδια [435], [401], [393], [394], [394], [393]. Η βασική ιδέα σε αυτά τα παιχνίδια είναι ο συνδυασμός κλασικών εξελικτικών παιχνιδιών με κβαντικά παιχνίδια με αμετάβλητη ισορροπία Nash (NE). Πολλοί ερευνητές βλέπουν τα μοριακά φαινόμενα ως παιχνίδια που παίζονται σύμφωνα με τους νόμους της κβαντικής μηχανικής [237]. Το δίπλωμα πρωτεΐνης είναι μια τέτοια περίπτωση [325]. Ο ανταγωνισμός ιών στο RNA έχει συσχετιστεί με το παιχνίδι δύο ατόμων Prisoners' Dilemma από τους Turner και Chao [762]. Η εμπλοκή, η οποία είναι χαρακτηριστικό μόνο για κβαντικά στοιχεία, μπορεί, ωστόσο, να διαταράξει τις ισορροπίες ESS. Οι Kay et al. [435] δείχνουν, ότι ανάλογα με τα χρονικά βήματα, ένα κβαντικό εξελικτικό παιχνίδι μπορεί να κυριαρχήσει σε ένα κλασικό παιχνίδι.

Εάν ο αριθμός των επαναλήψεων είναι ένας γνωστός πεπερασμένος αριθμός, τότε ένα απλό όρισμα προς τα πίσω επαγωγής υποδηλώνει ότι η μόνη ισορροπία είναι η αμοιβαία απόκλιση σε κάθε γύρο. Ωστόσο, εάν το παιχνίδι επαναληφθεί απεριόριστες αλλά άγνωστες φορές ή αν παιχτεί άπειρες φορές με έκπτωση ή απόδοση μέσου όρου, τότε θεωρητικά μπορούν να προκύψουν συνεργατικά αποτελέσματα, υποδηλώνει ότι με αρκετά μικρή έκπτωση, κάθε μεμονωμένα ορθολογικό αποτέλεσμα μπορεί να υποστηριχθεί ως ισορροπία Nash (τέλεια για το υποπαιχνίδι).

Στα mixed παιχνίδια για πολλούς παίκτες, το Flitney [276] δίνει ένα ενδιαφέρον αποτέλεσμα ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός των παικτών, η εμπλοκή του παιχνιδιού μειώνεται. Αυτό μειώνει την πρόσθετη συνεισφορά που φέρνει η κβαντοποίηση σε σχέση με το κλασικό τους αντίστοιχο. Όταν επιτρέπεται η επανάληψη των κβαντικών παιχνιδιών, ενδέχεται να εμφανιστούν αποτελέσματα διαφορετικά από το μεμονωμένο παιχνίδι. Στο παιχνίδι Wise and Foolish Alice, οι Grib και Parfionov [grib2005μπορούν] να βρουν ότι η αναμενόμενη απόδοση της Alice είναι υψηλότερη από αυτή της αντιπάλου της σε επαναλαμβανόμενα παιχνίδια, παρόλο που έχουν τις ίδιες αναμενόμενες αποδόσεις σε έναν γύρο.

5.1 Το κλασικό παραδοσιακό παιχνίδι Ταψίλου

Το ελληνικό παιχνίδι τζόγου «Ταψίλου» είναι ένα παιχνίδι ρίψης νομισμάτων που προέρχεται ειδικά από το ελληνικό νησί της Κέρκυρας. Το Ταψίλου είναι ένα παραδοσιακό παιχνίδι που παίζεται την παραμονή της Πρωτοχρονιάς και την Πρωτοχρονιά στο Μαντούκι της Κέρκυρας.

Το Ταψίλου, γνωστό και ως «σταυροί και όψεις» («σταυροί ή Μάρκου») πηγαίνει πίσω στην ιστορία του νησιού. Ήταν εξαιρετικά δημοφιλές στις δεκαετίες του '60, του '70 και του '80 στους Κερκυραίους και ήταν παράδοση να παίζεται γύρω από τη γιορτή της Πρωτοχρονιάς. Αν και θεωρείται παιχνίδι, για πολλούς από τους συμμετέχοντες σήμαινε την οικονομική τους καταστροφή.[433]

Το Ταψίλου χρειάζεται δύο νομίσματα. Χρησιμοποιούσαν ως επί το πλείστον ελληνικό νόμισμα (δραχμές), τις λεγόμενες 5-δραχμές («ταλάρα ή ταλίρα»). Ήταν το μεγαλύτερο σε διάμετρο νόμισμα των ημερών. Το νόμισμα απεικονίζει μια φιγούρα στη μια όψη και έναν σταυρό στην άλλη. Έτσι, η εναλλακτική ονομασία «σταυροί και μάρκα». Ως έδαφος, οι συμμετέχοντες επιλέγουν μια περιοχή με χόμα ή άμμο.



Εικόνα 9. Το κέρμα [738]

Δύο νομίσματα τοποθετούνται στα δύο ή τρία δάχτυλα της "μάνας". Οι παίκτες στέκονται ψηλά και τα κέρματα πετιούνται ψηλά στον ουρανό, γι' αυτό το όνομα «Ταψίλου» (που σημαίνει «ψηλά ψηλά»). Οι παίκτες σχεδιάζουν έναν κύκλο γύρω από τη ρίψη. Η αρχική θέση των νομισμάτων στα δάχτυλα ήταν ένα νόμισμα με το πρόσωπο προς τα πάνω και ένα με το σταυρό. Μετά την ανατροπή, τα νομίσματα καταλήγουν στο έδαφος. Εάν τα κέρ-

ματα καταλήγουν με δύο όψεις, ο παίκτης ήταν αυτός που θα κερδίσει. Εάν τα νομίσματα καταλήξουν με σταυρούς, ο άλλος κερδίζει και σε περίπτωση που τα νομίσματα καταλήξουν σε μία από κάθε κατάσταση, η ρίψη επαναλαμβάνεται μέχρι να εμφανιστούν και οι δύο ίδιες καταστάσεις.



Εικόνα 10. Η ρίψη του νομίσματος [745]

Συνήθως στοιχηματίζονταν μεγάλο χρηματικό ποσό σε αυτό το παιχνίδι, ανάλογα με το στοίχημα και μόνο χαρτονομίσματα, όχι κέρματα.

Οι παίκτες δημιουργούν έναν κύκλο γύρω από το σημείο ρίψης. Πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον 2 παίκτες, ένας τζογαδόρος και μία «μάννα», η οποία πετάει τα δύο κέρματα. Κατά κύριο λόγο, αυτό το παιχνίδι παίζεται ανάμεσα σε δεκαπέντε ή περισσότερους παίκτες, αρκεί να έχουν ένα χρηματικό ποσό, αρκετά μεγάλο για να στοιχηματίσουν. Δεν υπάρχει όριο ως προς τον μέγιστο αριθμό παικτών. Η «μάννα» είναι ένας από αυτούς που μπορούν να αποκτήσουν το μεγαλύτερο χρηματικό ποσό και θέλει

να πάρει αυτό το μέρος. Πριν από την ρίψη, κάθε παίκτης εκτός από τη «μάννα» πρέπει να ανακοινώσει το στοίχημά του. Η μάννα πρέπει να πετάει τα νομίσματα όσο πιο ψηλά γίνεται και τα κέρματα πρέπει να καταλήγουν κοντά στον κύκλο των ανθρώπων.

Όταν τα δύο νομίσματα καταλήγουν με όψη προς τα πάνω, η μάννα κερδίζει και συγκεντρώνει όλα τα χρήματα του στοίχηματος. Εάν προκύψουν δύο σταυροί, η μάννα πρέπει να επιστρέψει στους παίκτες το στοίχημά τους x2. Εάν το αποτέλεσμα είναι μία όψη και ένας σταυρός, τότε οι παίκτες επιλέγουν μεμονωμένα αν θα αυξήσουν το στοίχημά τους ή θα παραμείνουν στα ίδια και η μάννα ρίχνει ξανά τα νομίσματα μέχρι να εμφανιστούν δύο από τις ίδιες καταστάσεις των νομισμάτων. Η Μάννα χάνει όταν δεν μένουν άλλα χρήματα. Αντίστοιχα, όταν ο προϋπολογισμός της μάννας μειώνεται χαμηλά, η μάννα μπορεί να αποφασίσει να μην πάρει άλλα στοίχηματα ή να δεχτεί μέχρι ένα συγκεκριμένο ποσό, για να μην καταλήξει σε χρέη. Όταν η μάννα χάνει όλα τα χρήματα, ένας άλλος παίκτης γίνεται μάννα, απλά λέγοντάς το.

Αυτό είναι ένα απαγορευμένο παιχνίδι, οπότε σε πολλές περιπτώσεις υπήρχαν «τσιλιαδόροι». Υπάρχουν δύο κοινές στρατηγικές εξαπάτησης σε αυτό το παιχνίδι. Το πιο δύσκολο ήταν να σπάσει ή να λυγίσει κανείς το νόμισμα λίγο, έτσι ώστε να πέφτει πάντα από την επιθυμητή πλευρά. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τα νομίσματα να είναι πειραγμένα, αλλά η ρωγμή έπρεπε να είναι μη ανιχνεύσιμη.

Το άλλο ήταν κατά τη διάρκεια της ρίψης. Υπάρχει μια τεχνική όπου τα δύο νομίσματα φαίνονται να γυρίζουν στον αέρα πριν καταλήξουν στο έδαφος, αλλά στην πραγματικότητα μόνο το ένα αναποδογυρίζει, ενώ το άλλο δεν αναποδογυρίζει καθόλου. Αυτό είναι απλώς μια ψευδαίσθηση μόνο για τους καλά εκπαιδευμένους απατεώνες. Εάν ένας παίκτης αναγνωρίσει μια συγκεκριμένη στρατηγική κλεψίματος έχει το δικαίωμα να πει «δεν πάει» ή «τα κόβω» και το στοίχημά του δεν μετράει, ακυρώνεται.

5.2 Η κβαντική εκδοχή

Δίνουμε τρεις (ή τέσσερις) παραλλαγές για αυτό το παιχνίδι με σειρά αυξανόμενου αριθμού ενεργειών και πολυπλοκότητας, με την έννοια ότι η παραλλαγή δύο είναι πιο περίπλοκη από την παραλλαγή ένα και ούτω καθεξής.

Σε αυτήν την παραλλαγή, εξετάζουμε τις περιπτώσεις και τα αποτελέσματα όταν μια μεμονωμένη αλληλεπίδραση επηρεάζει μόνο ένα νόμισμα. Παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα όταν η

ίδια κίνηση ισχύει για το πρώτο και μετά το δεύτερο νόμισμα. Η αλληλεπίδραση σε αυτήν την παραλλαγή είναι απλώς μια περιστροφή ενός νομίσματος ανά θήκη.

Για την περιστροφή, χρησιμοποιούμε τη μέθοδο $ry()$ στη γλώσσα qiskit. Η μέθοδος $ry()$ περιστρέφει ένα μόνο qubit γύρω από τον άξονα Y. Η εξίσωση της περιστροφής:

$$RY(\theta) = \exp(-i\frac{\theta}{2}Y) = \begin{pmatrix} \cos\frac{\theta}{2} & -\sin\frac{\theta}{2} \\ \sin\frac{\theta}{2} & \cos\frac{\theta}{2} \end{pmatrix} \quad (5.2.1)$$

Στους παρακάτω πίνακες, εξετάζουμε τέσσερις περιπτώσεις περιστροφής, με διαφορετική γωνία περιστροφής και παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα για κάθε νόμισμα (q0 και q1).

Περιστροφή 0-qubit		
Περίπτωσης	Rotation	Αποτέλεσμα
Περίπτωση 1:	$9\pi/10$	01
Περίπτωση 2:	$\pi/10$	00
Περίπτωση 3:	$9\pi/5$	00
Περίπτωση 4:	π	01

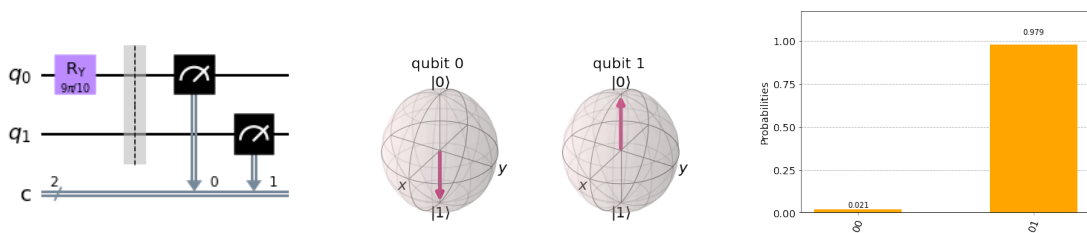
Πίνακας 7. Αποτέλεσμα μετά την εφαρμογή $ry(0)$

Περιστροφή 1-qubit		
Περίπτωση	Περιστροφή	Αποτέλεσμα
Περίπτωση 1:	$9\pi/10$	10
Περίπτωση 2:	$\pi/10$	00
Περίπτωση 3:	$9\pi/5$	00
Περίπτωση 4:	π	10

Πίνακας 8. Αποτέλεσμα μετά την εφαρμογή $ry(1)$

Η πρώτη παραλλαγή

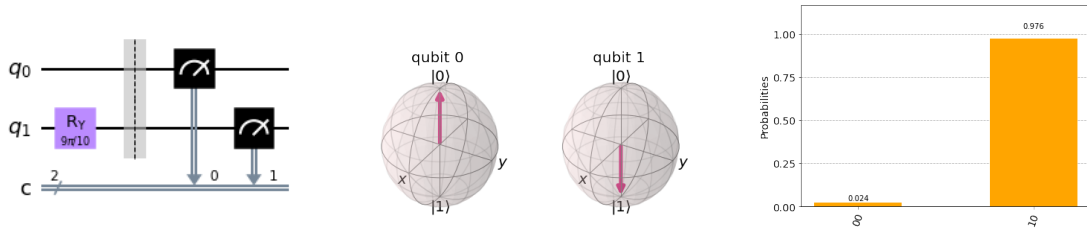
Στην πρώτη περίπτωση, περιστρέφουμε το $q[0]$ για $\theta = \frac{9}{10}$.



Εικόνα 11. Περίπτωση 1

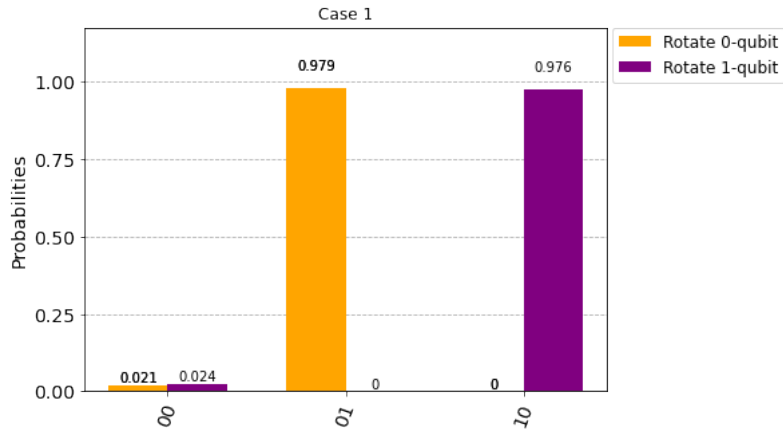
Ο προσομοιωτής προβλέπει ότι 100 τοις εκατό των φορών ο κλασικός καταχωρητής επιστρέφει 0. Τα αποτελέσματα αυτής της μέτρησης απεικονίζονται με τη μορφή σφαιρών Bloch και ιστογράμματος.

Επειτα, περιστρέφουμε το $q[1]$ για $\theta = \frac{9}{10}$.



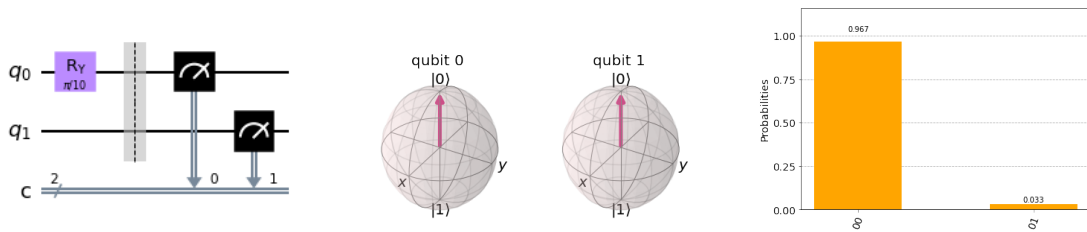
Εικόνα 12. Περίπτωση 1

Σύγκριση των αποτελεσμάτων για τα δύο qubits στην Περίπτωση 1



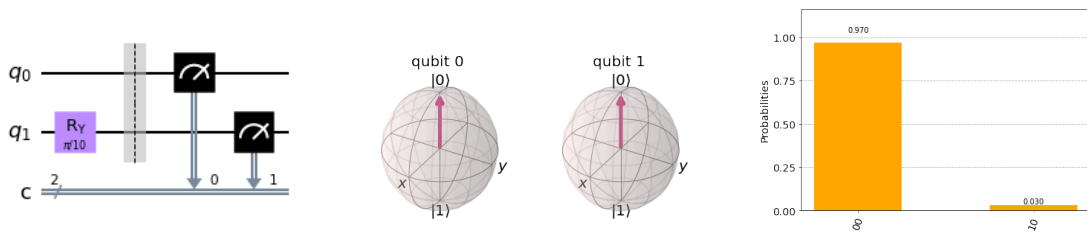
Εικόνα 13. Σύγκριση

Στην δεύτερη περίπτωση, περιστρέφουμε το $q[0]$ για $\theta = \frac{1}{10}$.



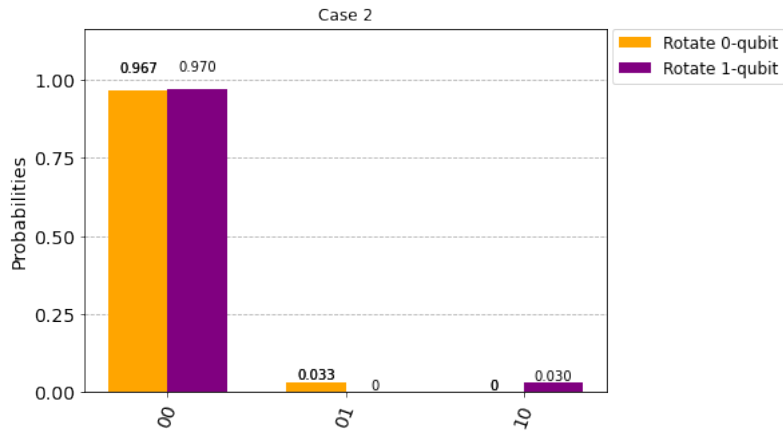
Εικόνα 14. Περίπτωση 2

Στη συνέχεια, περιστρέφουμε το $q[1]$ για $\theta = \frac{1}{10}$.



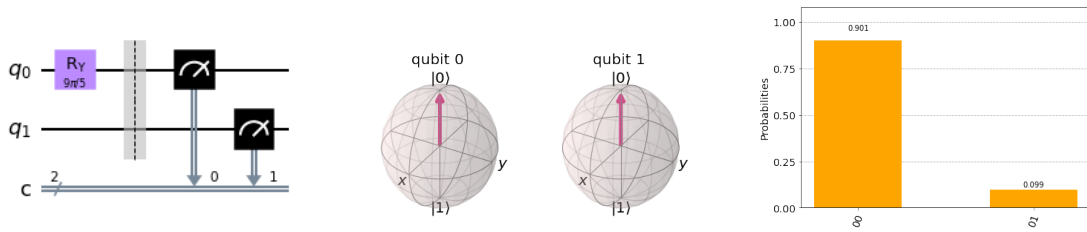
Εικόνα 15. Περίπτωση 2

Σύγκριση της περίπτωσης 2 για τα δύο qubits



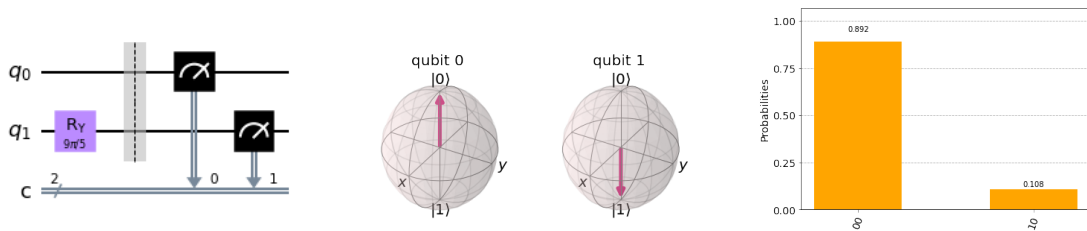
Εικόνα 16. Σύγκριση

Στην τρίτη περίπτωση, περιστρέφουμε το $q[0]$ για $\theta = \frac{9}{5}$.



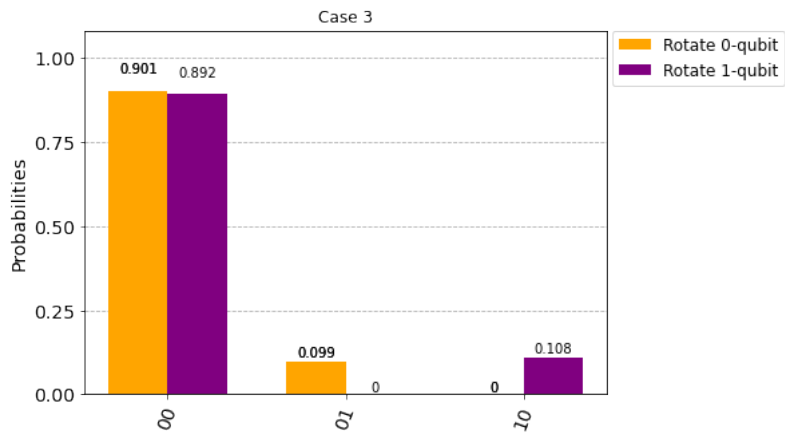
Εικόνα 17. Περίπτωση 3

Τέλος, περιστρέφουμε το $q[1]$ για $\theta = \frac{9}{5}$.



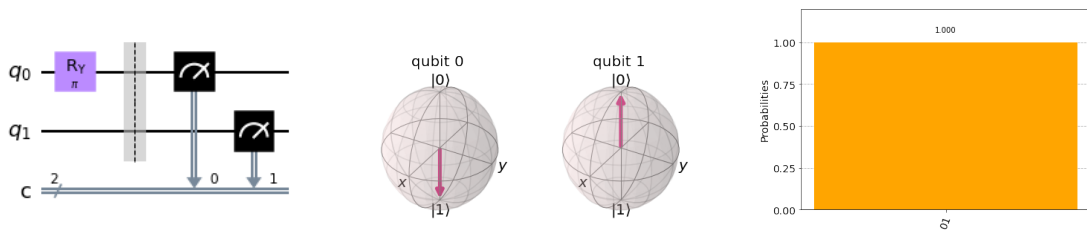
Εικόνα 18. Περίπτωση 3

Σύγκριση της περίπτωσης 3 για τα δύο qubits



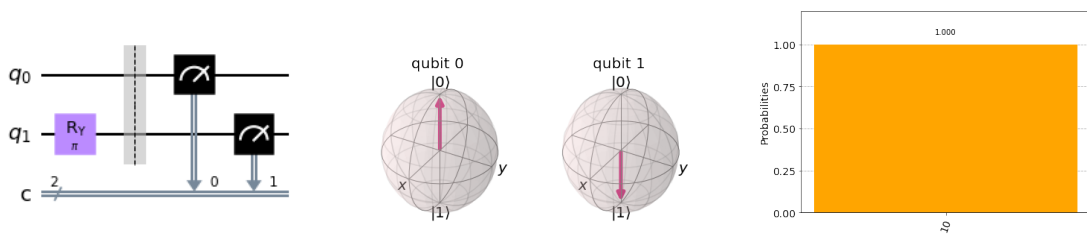
Εικόνα 19. Σύγκριση

Στην τέταρτη περίπτωση, περιστρέφουμε το $q[0]$ για $\theta = \pi$.



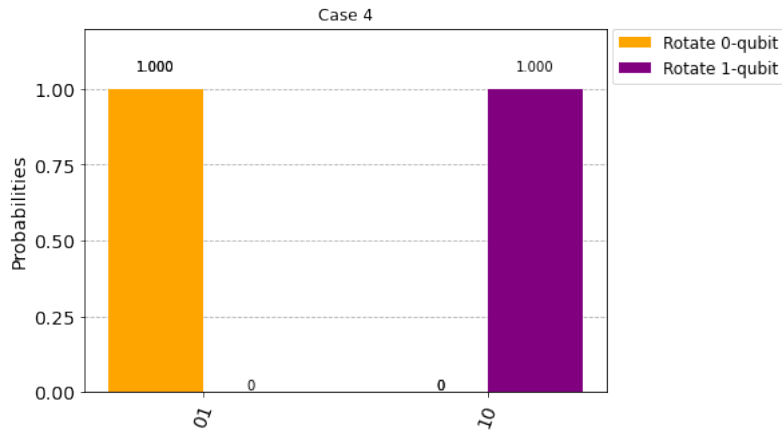
Εικόνα 20. Περίπτωση 4

Στη συνέχεια, περιστρέφουμε το $q[1]$ για $\theta = \pi$.



Εικόνα 21. Περίπτωση 4

Σύγκριση της Περίπτωσης 4 για τα qubits



Εικόνα 22. Σύγκριση

Εδώ τελειώνει ο πρώτος γύρος και η πρώτη παραλλαγή.

Στη δεύτερη παραλλαγή, εξετάζουμε μια δεύτερη αλληλεπίδραση. Η δεύτερη παραλλαγή σχετίζεται άμεσα με την πρώτη, καθώς εξετάζουμε τις περιπτώσεις στις οποίες τα αποτελέσματα της πρώτης ήταν είτε 01 είτε 10. Επομένως, στις γωνίες περιστροφής που είχαν ένα αμφιλεγόμενο αποτέλεσμα, η πύλη CNOT εφαρμόζεται αμέσως μετά την περιστροφή. Η πύλη ελεγχόμενου-X (controlled-NOT, CNOT) επηρεάζει ένα qubit αναστρέφοντάς το όταν το qubit ελέγχου βρίσκεται στην κατάσταση $|1\rangle$. Εάν πάρουμε το MSB ως qubit ελέγχου (π.χ. $cx(q[1], q[0])$), τότε ο πίνακας θα μοιάζει με:

$$C_X = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (5.2.2)$$

Ωστόσο, όταν το LSB είναι το qubit ελέγχου, (π.χ. $cx(q[0], q[1])$), αυτή η πύλη είναι ισοδύναμη με τον ακόλουθο πίνακα:

$$C_X = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (5.2.3)$$

Γενικά, μπορούμε να μετατρέψουμε ένα μεμονωμένο CNOT σε μια ελεγχόμενη έκδοση οποιασδήποτε περιστροφής γύρω από τη σφαίρα Bloch κατά μια γωνία π , απλά προηγουμένως και ακολουθώντας το με τις σωστές περιστροφές.

Εδώ, εξετάζουμε μόνο τις δύο περιπτώσεις της προηγούμενης παραλλαγής. Υπάρχουν δύο γωνίες περιστροφής με τέτοιο αποτέλεσμα. $9\pi/10$ και π και για τα δύο qubits.

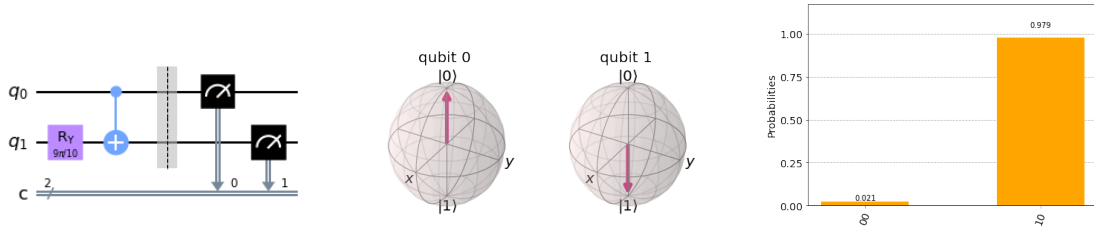
- Περιστροφή 0 ($9\pi/10$)
- Περιστροφή 1 ($9\pi/10$)
- Περιστροφή 0 (π)
- Περιστροφή 1 (π)

	CNOT (0,1)	CNOT (1,0)
Περιστροφή 1 ($9\pi/10$)	10	11
Περιστροφή 0 ($9\pi/10$)	11	01
Περιστροφή 0 (π)	11	01
Περιστροφή 1 (π)	10	11

Πίνακας 9. Δεύτερη παραλλαγή του παιχνιδιού

Η δεύτερη παραλλαγή

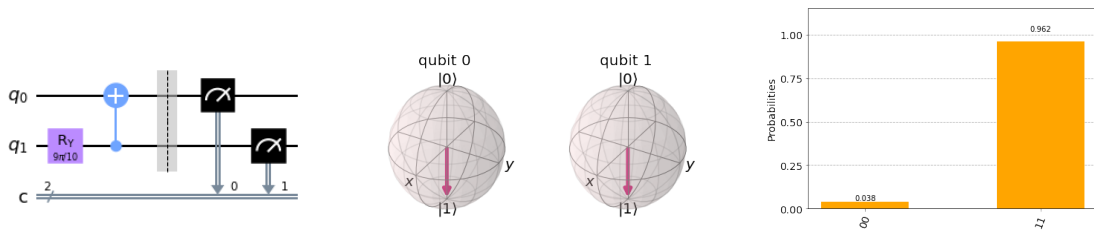
Στην πρώτη περίπτωση του δεύτερου γύρου, περιστρέφουμε το $q[1]$ για $\theta = \frac{9}{10}$ και εφαρμόζουμε το $cx(0,1)$:



Εικόνα 23. Περίπτωση 1

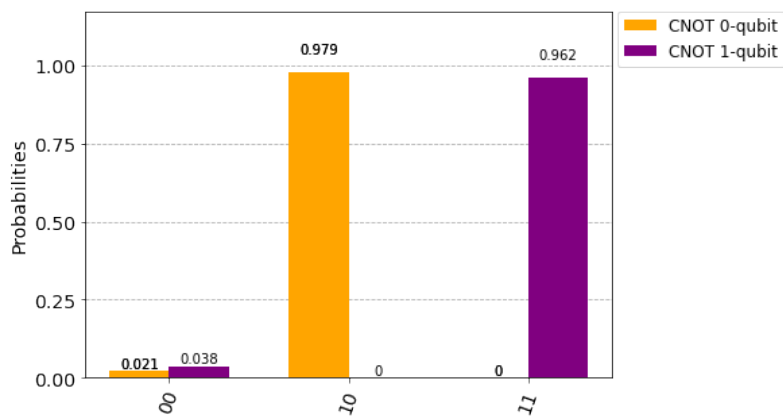
Τα αποτελέσματα αυτού του μέτρου απεικονίζονται με τη μορφή σφαιρών bloch και ιστογράμματος.

Στη συνέχεια, εφαρμόζουμε το $cx(1,0)$



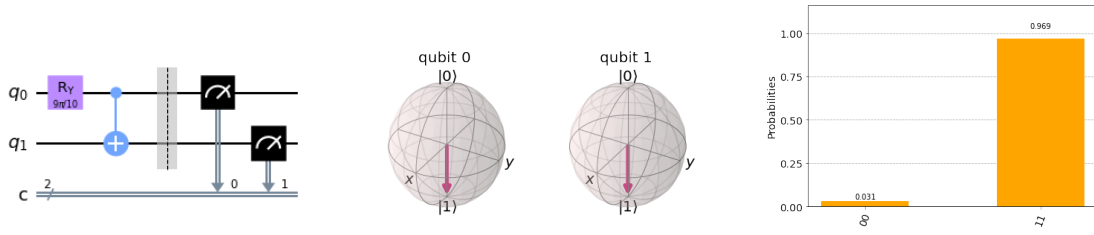
Εικόνα 24. Περίπτωση 1

Σύγκριση για την πρώτη περίπτωση



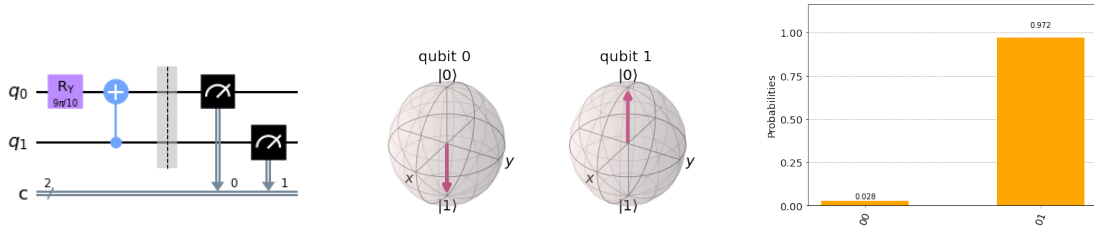
Εικόνα 25. Σύγκριση

Στην δεύτερη περίπτωση, περιστρέφουμε το $q[0]$ για $\theta = \frac{9}{10}$ και εφαρμόζουμε το $cx(0,1)$:



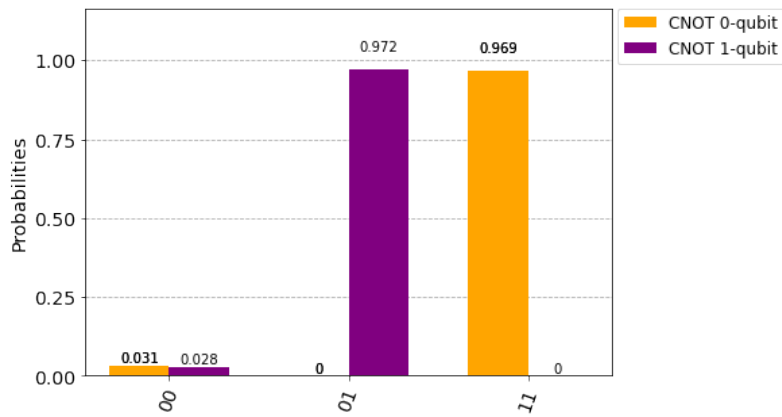
Εικόνα 26. Περίπτωση 2

Στη συνέχεια, εφαρμόζουμε το $cx(1,0)$



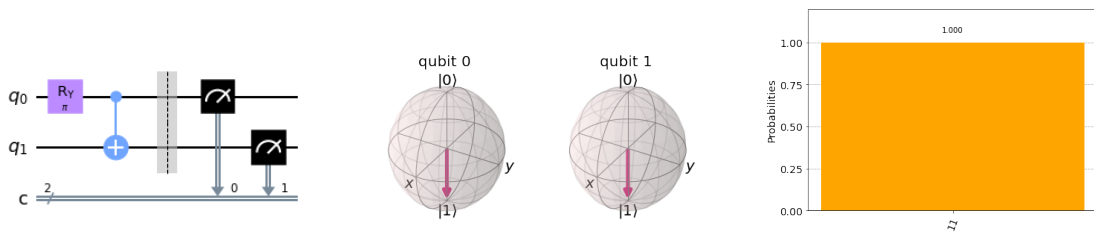
Εικόνα 27. Περίπτωση 2

Σύγκριση της περίπτωσης 2 για τα δύο qubits



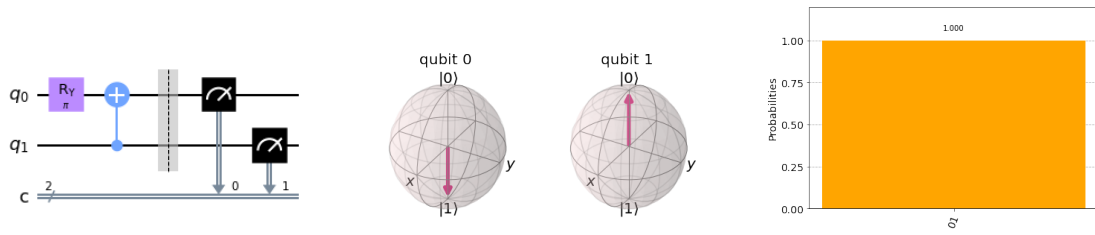
Εικόνα 28. Σύγκριση

Στην τρίτη περίπτωση, περιστρέφουμε το $q[0]$ για $\theta = \pi$ και εφαρμόζουμε το $cx(0,1)$:



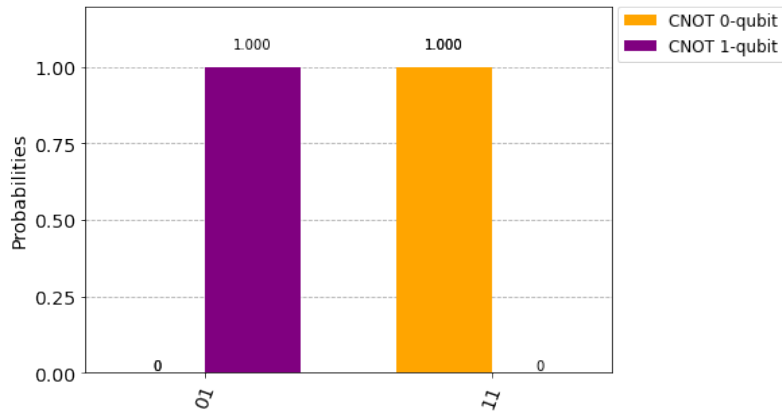
Εικόνα 29. Περίπτωση 3

Στη συνέχεια, εφαρμόζουμε το $cx(1,0)$



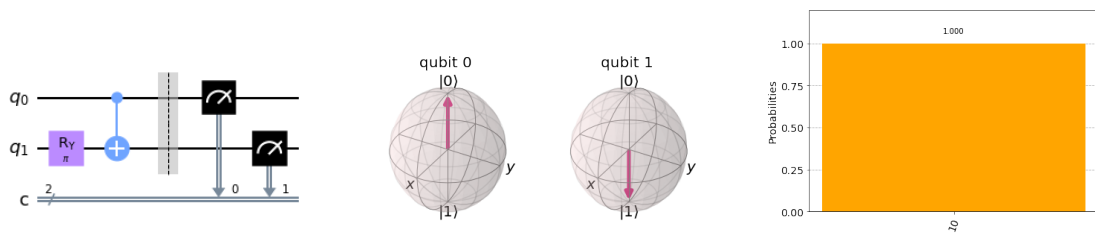
Εικόνα 30. Περίπτωση 3

Σύγκριση της τρίτης περίπτωσης για τα δύο qubits



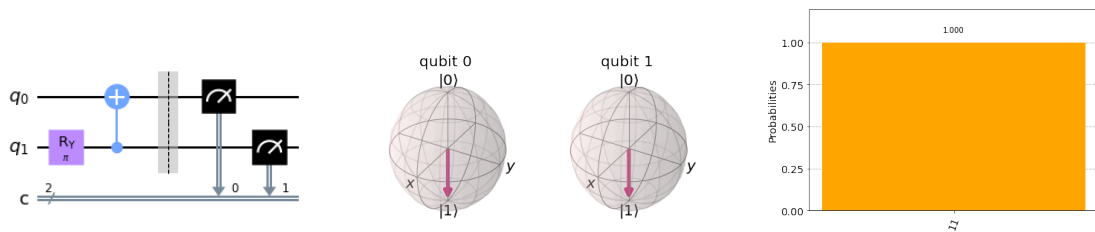
Εικόνα 31. Σύγκριση

Στην τέταρτη περίπτωση, περιστρέφουμε το $q[1]$ για $\theta = \pi$ και εφαρμόζουμε το $cx(0,1)$:



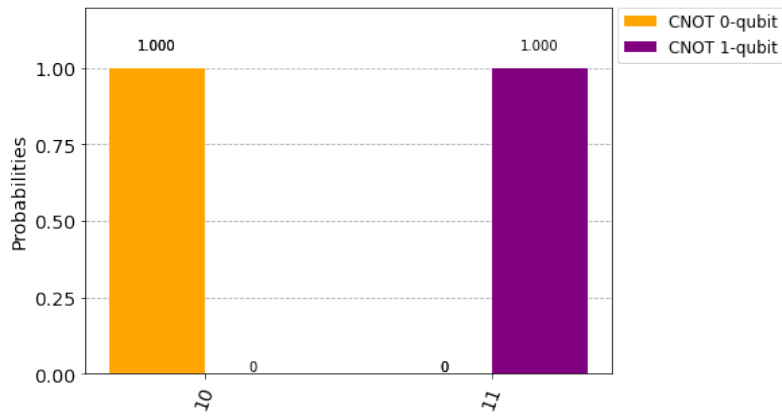
Εικόνα 32. Περίπτωση 4

Τέλος, εφαρμόζουμε το $cx(1,0)$



Εικόνα 33. Περίπτωση 4

Σύγκριση της τέταρτης περίπτωσης για τα δύο qubits



Εικόνα 34. Σύγκριση

Εδώ τελειώνει η δεύτερη παραλλαγή.

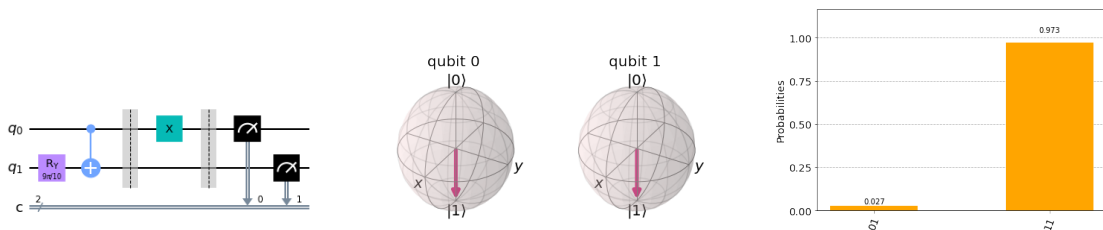
Η τρίτη και τελευταία παραλλαγή

$$X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} = u3(\pi, 0, \pi) \quad (5.2.4)$$

	X (0)	X (1)
Περίπτωση 1:	11	00
Περίπτωση 2:	11	00
Περίπτωση 3:	00	11
Περίπτωση 4:	00	11

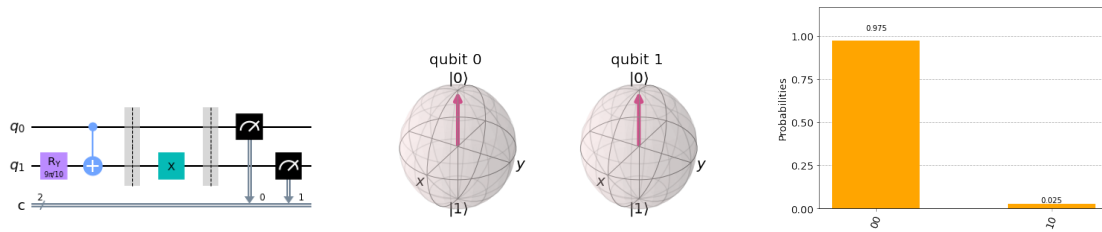
- Περίπτωση 1: Περιστροφή 1 ($9\pi/10$) & cx (0,1)
- Περίπτωση 2: Περιστροφή 1 (p) & cx (0,1)
- Περίπτωση 3: Περιστροφή 0 ($9\pi/10$) & cx (1,0)
- Περίπτωση 4: Περιστροφή 0 (p) & cx (1,0)

Στην πρώτη περίπτωση, περιστρέφουμε το $q[1]$ για $\theta = \frac{9}{10}$, εφαρμόζουμε το cx (0,1) και έπειτα το x(0):



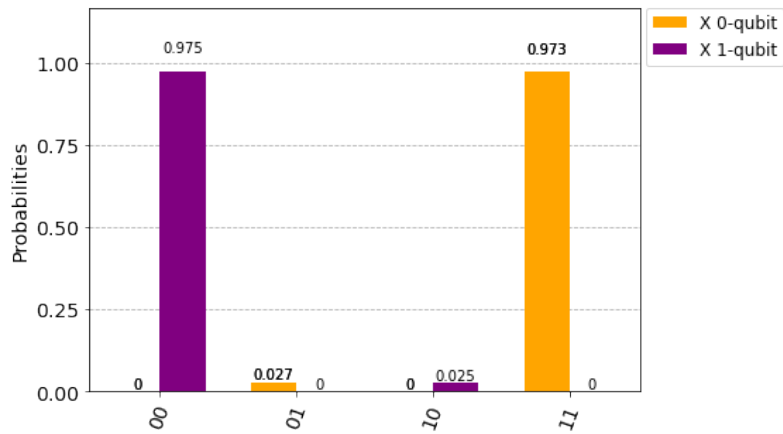
Εικόνα 35. Περίπτωση 1

Στη συνέχεια, εφαρμόζουμε το x(1).



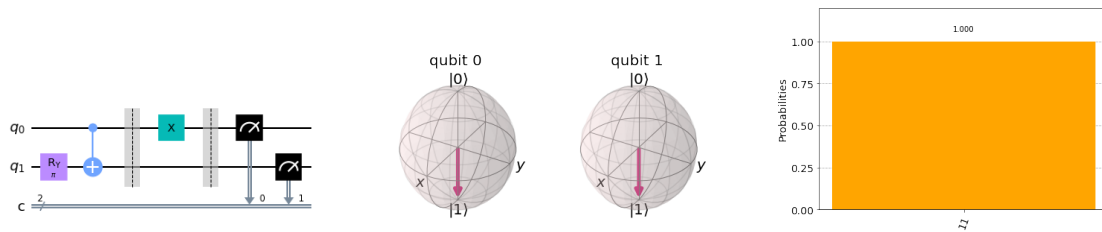
Εικόνα 36. Περίπτωση 1

Σύγκριση της περίπτωσης 1 για τα δύο qubits



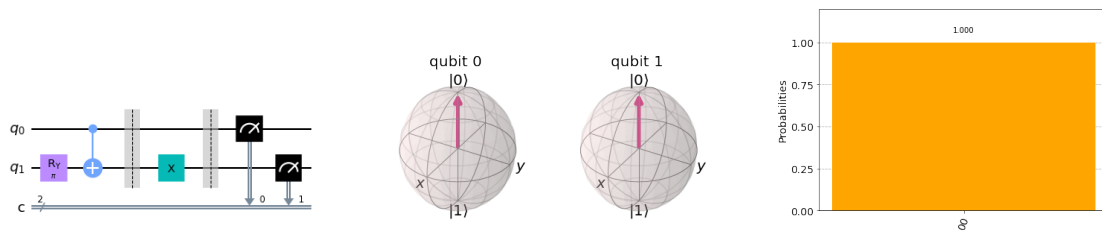
Εικόνα 37. Σύγκριση

Στην δεύτερη περίπτωση, περιστρέφουμε το $q[1]$ για $\theta = \pi$, εφαρμόζουμε το $cx(0,1)$ και έπειτα το $x(0)$:



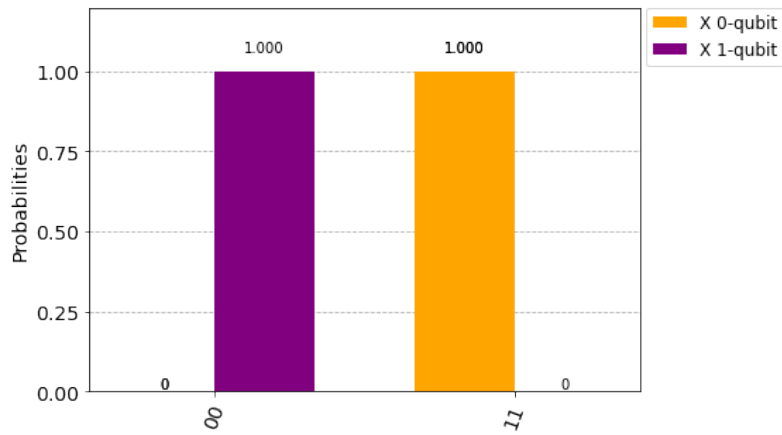
Εικόνα 38. Περίπτωση 2

Στη συνέχεια, εφαρμόζουμε το $x(1)$



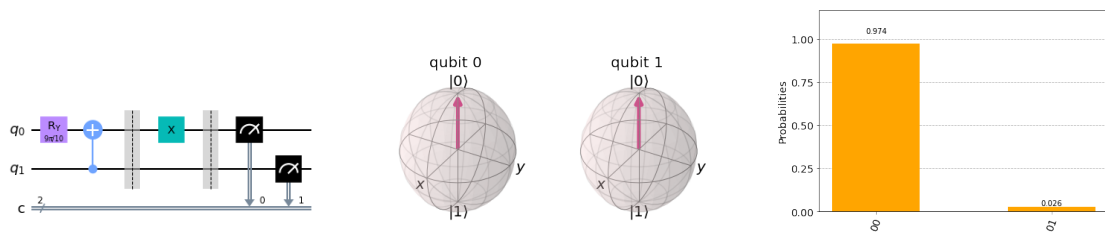
Εικόνα 39. Περίπτωση 2

Σύγκριση των αποτελεσμάτων της περίπτωσης 2 για τα δύο qubits



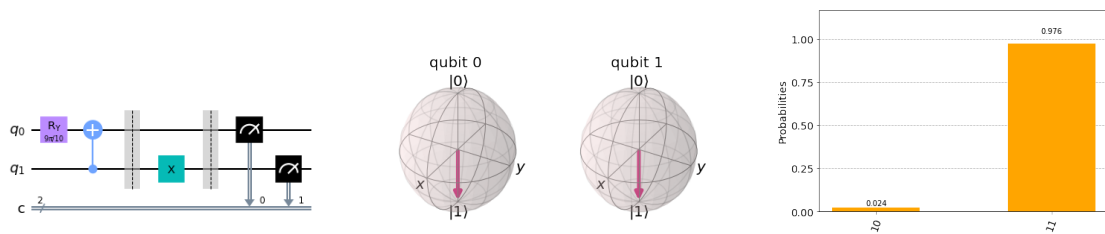
Εικόνα 40. Σύγκριση

Στην τρίτη περίπτωση, περιστρέφουμε το $q[0]$ για $\theta = \frac{9}{10}$, εφαρμόζουμε το $cx(1,0)$ και στη συνέχεια το $x(0)$:



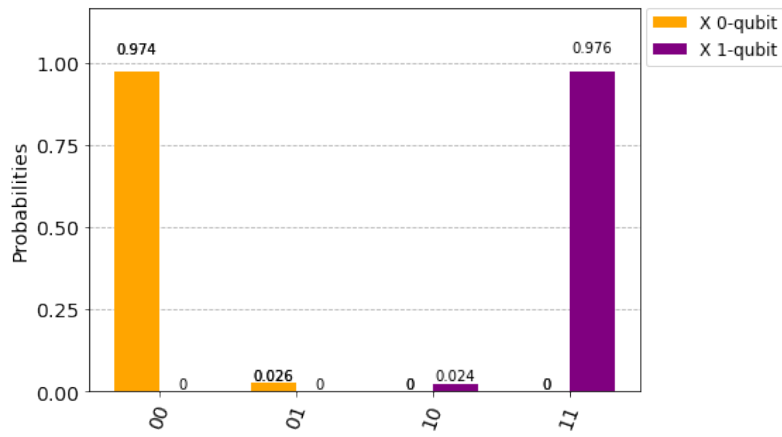
Εικόνα 41. Περίπτωση 3

Τέλος εφαρμόζουμε το $x(1)$



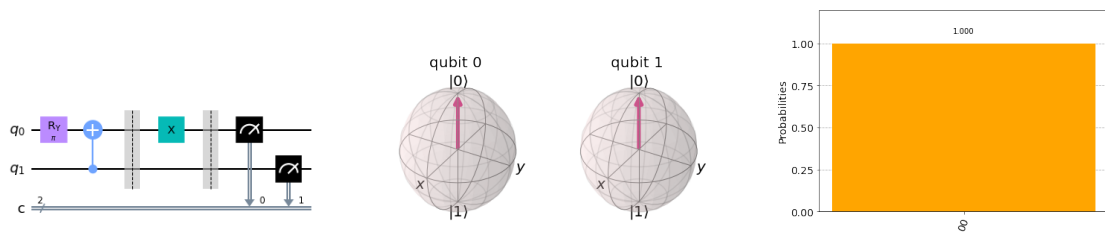
Εικόνα 42. Περίπτωση 3

Σύγκριση των αποτελεσμάτων της περίπτωσης 3 για τα δύο qubits



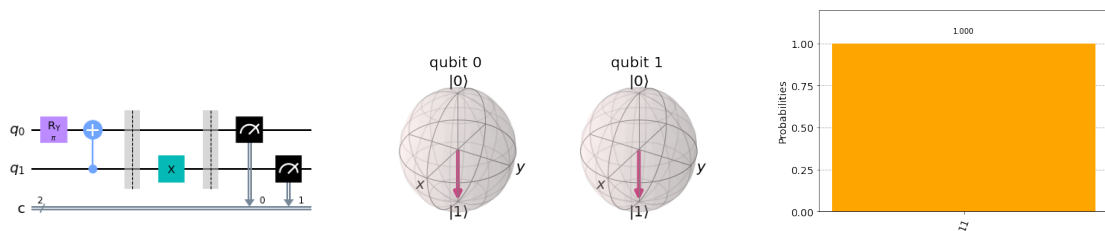
Εικόνα 43. Σύγκριση

Τέλος, στην τέταρτη περίπτωση περιστρέφουμε το $q[0]$ για $\theta = \pi$, εφαρμόζουμε το $cx(1,0)$ και στη συνέχεια το $x(1)$:



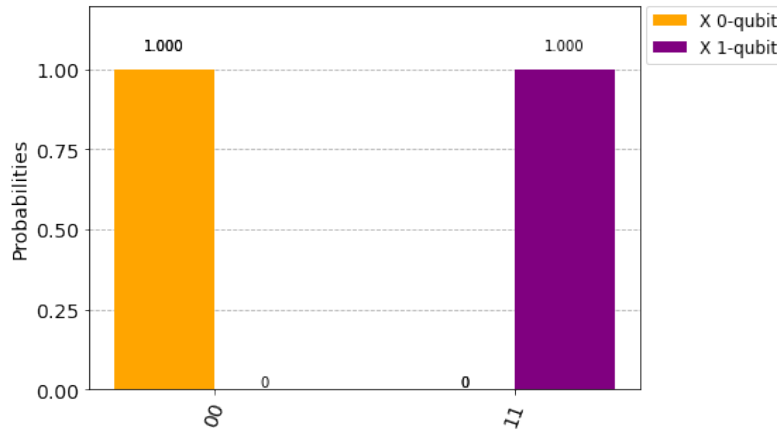
Εικόνα 44. Περίπτωση 4

Έπειτα, εφαρμόζουμε το $x(1)$



Εικόνα 45. Περίπτωση 4

Σύγκριση της περίπτωσης 4 για τα δύο qubits



Εικόνα 46. Σύγκριση

Αυτή ήταν η τρίτη και τελευταία παραλλαγή.

Στην πρώτη παραλλαγή εξετάζουμε τέσσερις περιπτώσεις. Εφαρμόζεται μόνο μία κίνηση, η περιστροφή. Κάθε περίπτωση εξετάζει μια διαφορετική γωνία του θ , και επομένως, μια διαφορετική περιστροφή του νομίσματος. Αρχικά, εξετάζουμε την περίπτωση 1, τόσο για $q[0]$ και για $q[1]$. Για $\theta = \frac{9}{10}$ φαίνεται ότι και το $q[0]$ και το $q[1]$ καταλήγουν στη μεσαία κατάσταση (01 ή 10 αντίστοιχα). Στη δεύτερη περίπτωση, η γωνία είναι $\theta = \frac{1}{10}$ και έχουμε την πρώτη στρατηγική νίκης για την μάνα. Ακόμα κι αν περιστρέψουμε το $q[0]$ ή το $q[1]$, καταλήγουμε σε 00, που είναι ο νικηφόρος συνδυασμός της μάνας. Αυτή είναι η πρώτη κυρίαρχη στρατηγική για την μάνα που συναντάμε μέχρι στιγμής. Η τρίτη περίπτωση οδηγεί επίσης σε μια στρατηγική νίκης για τον πέταμα. Η γωνία είναι $\theta = \frac{9}{10}$ και όταν περιστρέψουμε το $q[0]$ καθώς και το $q[1]$ καταλήγουμε στη στρατηγική νίκης του δεύτερου ρίπτη για την πρώτη παραλλαγή. Η τέταρτη και τελευταία περίπτωση που εξετάζουμε σε αυτή την πρώτη παραλλαγή είναι η περιστροφή των δύο qubits με γωνία $\theta = \pi$. Και στις δύο περιστροφές καταλήγουμε με 01 και 10.

Η μάνα φαίνεται να έχει το πάνω χέρι στην πρώτη παραλλαγή, με δύο από τις τέσσερις στρατηγικές νίκης, ενώ οι άλλες δύο οδηγούν σε περαιτέρω αλληλεπιδράσεις και για τις δύο πλευρές.

Στη δεύτερη παραλλαγή εξετάζουμε μόνο τις περιπτώσεις που καταλήγουν σε ισοπαλία. Αυτές είναι η περίπτωση 1 και η περίπτωση 4 που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Τώρα, εφαρμόζουμε την πύλη controlled-NOT πρώτα για το MSB ως qubit ελέγχου ($cx(1, 0)$) και μετά για το LSB ($cx(0, 1)$). Έτσι, εξετάζουμε τις δύο προηγούμενες συνδέσεις (και πάλι, περιστρέφοντας κάθε qubit ανά περίπτωση) και εφαρμόζουμε την πύλη CNOT. Έτσι, και αυτή η παραλλαγή καταλήγει σε τέσσερις περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση περιστρέφουμε το $q[1]$ για $\theta = \frac{9}{10}$ και εφαρμόζουμε το $cx(0, 1)$. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει ισοπαλία. Θα εξετάσουμε περαιτέρω αυτή τη στρατηγική στην επόμενη και τελευταία παραλλαγή. Ωστόσο, η εφαρμογή $cx(1, 0)$ στο ίδιο qubit με την ίδια γωνία που αναφέρθηκε προηγουμένως μας δίνει την πρώτη στρατηγική νίκης για τον παίκτη, ένα απόλυτο 11. Η δεύτερη περίπτωση είναι τα ίδια βήματα όπως στην περίπτωση 1, αλλά για $q[0]$ αυτή τη φορά. Ως αποτέλεσμα, το $cx(0, 1)$ μας δίνει τη δεύτερη στρατηγική νίκης για τον παίκτη σε αυτήν την παραλλαγή. Ωστόσο, το $cx(1, 0)$ οδηγεί σε ισοπαλία. Στην τρίτη περίπτωση, εξετάζουμε την περίπτωση 4 από την πρώτη παραλλαγή, αλλά για $q[0]$. Έτσι, περιστρέφουμε το $q[0]$ qubit για $\theta = \pi$ και όταν εφαρμόζουμε την πύλη CNOT $cx(0, 1)$ καταλήγουμε στην τρίτη στρατηγική νίκης για τον παίκτη, ενώ η $cx(1, 0)$ μας δίνει άλλη μια ισοπαλία προς εξέταση. Η τέταρτη και τελευταία περίπτωση για αυτήν την παραλλαγή είναι η ίδια περιστροφή και γωνία όπως στην προηγούμενη περίπτωση, αλλά εφαρμόζεται σε $q[1]$. Το $cx(0, 1)$ οδηγεί σε ισοπαλία, αλλά το $cx(1, 0)$ ωφελεί τον παίκτη, οδηγώντας στην τέταρτη και τελευταία στρατηγική νίκης σε αυτήν την παραλλαγή.

Ενώ η πρώτη παραλλαγή φαινόταν να ωφελεί τον παίκτη, σε αυτήν την παραλλαγή ο παίκτης

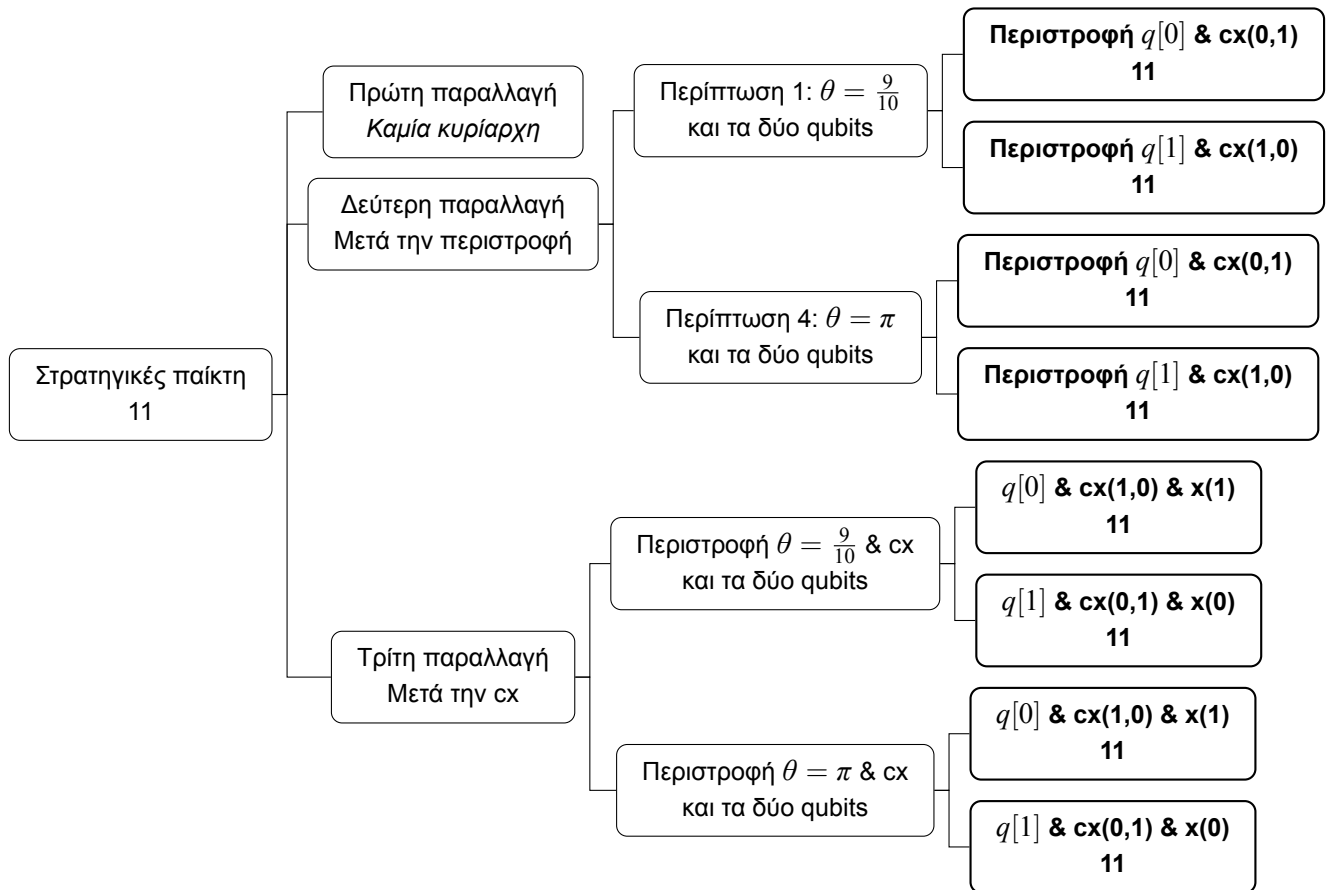
έχει το πάνω χέρι στις μισές περιπτώσεις. Όταν εφαρμόζεται μια περιστροφή και μια πύλη CNOT σε ένα qubit, αυτό οδηγεί σε ένα άλλο σύνολο κινήσεων ή σε νίκη του παίκτη.

Στην τρίτη και τελευταία παραλλαγή του παιχνιδιού μας, εξετάζουμε ξανά τις περιπτώσεις που δεν είχαν επιλυθεί προηγουμένως. Έτσι, μελετάμε τις κινήσεις που οδήγησαν σε ισοπαλία στη δεύτερη παραλλαγή. Κάθε περίπτωση είχε μια κατάσταση ισοπαλίας. Ειδικά, όταν περιστρέφουμε το $q[1]$, η ισοπαλία προέρχεται από την εφαρμογή του $cx(0, 1)$ και όταν περιστρέφουμε το $q[0]$, η ισοπαλία προέρχεται από την εφαρμογή του $cx(1, 0)$, ανεξάρτητα από τη γωνία περιστροφής.

Έτσι, η πρώτη περίπτωση είναι όταν περιστρέφουμε το $q[1]$ για $\theta = \frac{9}{10}$ και εφαρμόζουμε το $cx(0, 1)$. Στη συνέχεια, εφαρμόζουμε το X-gate για κάθε bit. Όταν εφαρμόζουμε $x(0)$, η στρατηγική ωφελεί τον παίκτη, ενώ το $x(1)$ ωφελεί τον παίκτη. Στη δεύτερη περίπτωση περιστρέφουμε το $q[1]$ για $\theta = \pi$ και εφαρμόζουμε το $cx(0, 1)$. Όταν εφαρμόζουμε $x(0)$, η στρατηγική ωφελεί τον παίκτη, ενώ το $x(1)$ ωφελεί τον παίκτη. Στην τρίτη περίπτωση περιστρέφουμε το $q[0]$ για $\theta = \frac{9}{10}$ και εφαρμόζουμε το $cx(1, 0)$. Όταν εφαρμόζουμε $x(0)$, η στρατηγική θεωρείται ότι είναι κέρδος για τον παίκτη, ενώ το $x(1)$ είναι το κέρδος για τον παίκτη. Στην τέταρτη και τελευταία περίπτωση αυτής της παραλλαγής, περιστρέφουμε το $q[0]$ για $\theta = \pi$ και εφαρμόζουμε το $cx(1, 0)$. Στη συνέχεια, όταν εφαρμοστεί το $x(0)$, η μάνα έχει μια στρατηγική νίκης, ενώ το $x(1)$ οδηγεί σε μια στρατηγική νίκης των παικτών.

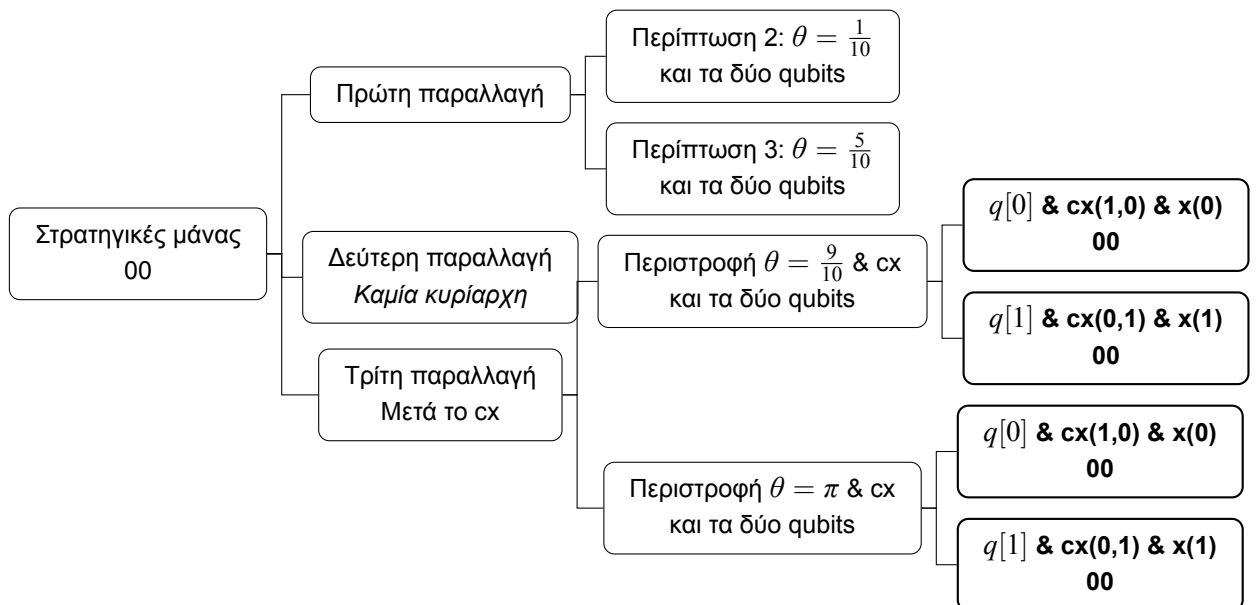
Φαίνεται ότι ανάλογα με το qubit που περιστρέφουμε, αν εφαρμόσουμε το X-gate στο ίδιο, αρχικό qubit καταλήγουμε σε μια στρατηγική νίκης, και πάλι ανεξάρτητα από τη γωνία. Το ενδιαφέρον μέρος αυτής της παραλλαγής είναι ότι όλες οι στρατηγικές οδηγούν σε μια στρατηγική νίκης. Υπάρχουν τέσσερις στρατηγικές νίκης για κάθε παίκτη σε αυτήν την παραλλαγή.

Σε σενάρια πραγματικής ζωής, μπορεί να υπάρχουν 2 ή περισσότερες μάνες ταυτόχρονα, αλλά μόνο μία μάνα πετάει ανά παραλλαγή. Στην επόμενη παραλλαγή, μια άλλη μάνα αναλαμβάνει και σε αυτήν την επέκταση οι μάνες μπορούν να επιλέξουν το νικητήριο ζευγάρι τους.



Εικόνα 47. Οι νικητήριες στρατηγικές του παίκτη

Και το δέντρο της μάνας:



Εικόνα 48. Οι νικητήριες στρατηγικές της μάνας

5.3 Κβαντική Θεωρία Παιγνίων και Βιολογία

Η Κβαντική Θεωρία Παιγνίων (Κ.Θ.Π.) είναι ένας άλλος κλάδος της Θ.Π., που συνδυάζει τις αρχές της κλασικής Θ.Π. με τα φαινόμενα της κβαντικής μηχανικής. Επομένως, οι προοπτικές αυτού του σχετικά νέου τομέα υπόσχονται νέες δυνατότητες επίλυσης προβλημάτων. Η προσθήκη του κβαντικού υπολογισμού στην ανάπτυξη παιχνιδιών δίνει έναν μεγαλύτερο αριθμό πιθανών στρατηγικών και κινήσεων από τις οποίες οι παίκτες μπορούν να επιλέξουν. Η προοπτική που παρέχει αυτή η περιοχή είναι έξω από τα συνηθισμένα μέχρι στιγμής, και αυτό ακριβώς είναι που κάνει το πεδίο τόσο ενδιαφέρον. Επιπλέον, αυτές οι νέες κινήσεις και στρατηγικές που προκύπτουν, δεν έχουν μελετηθεί στην κλασική Θ.Π..

Μια νέα προοπτική μπορεί να επιτευχθεί προσθέτοντας στη μελέτη τέτοιων παιχνιδιών εργαλεία μοντελοποίησης και αρχές από την κβαντική Ε.Θ.Π.. Επιπλέον, η υιοθέτηση μη συμβατικών υπολογιστικών μεθόδων, όπως τα κβαντικά αυτόματα, μπορεί να ανοίξει νέους ορίζοντες στη μελέτη τέτοιων παιχνιδιών. Ο τομέας των κβαντικών παιχνιδιών γνώρισε εκρηκτική ανάπτυξη από το 1999, όπου εμφανίστηκαν δύο θεμελιώδεις εργασίες. Το ένα ήταν το παιχνίδι PQ του Meyer [537], το οποίο είναι η κβαντική υλοποίηση του παιχνιδιού πένας και το άλλο ήταν η πρόταση του πρωτοκόλλου Eisert-Wilkens-Lewenstein [237] που έχει προσαρμοστεί σε μεγάλο βαθμό στην περιγραφή του κβαντικά παιχνιδιού. Ο αναγνώστης παραπέμπεται στα [51] και [48] για αποτελέσματα και εκτενείς αναφορές σχετικά με το παιχνίδι PQ και στο [317] για τρόπους χρήσης στρατηγικών υπό όρους στο επαναλαμβανόμενο παιχνίδι PD στο πλαίσιο του σχήματος EWL.

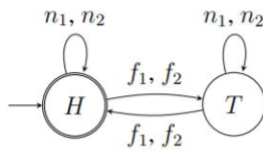
Εν ολίγοις, ένα κβαντικό παιχνίδι είναι στην πραγματικότητα ένα παιχνίδι στο οποίο χρησιμοποιούνται κβαντικές στρατηγικές, δηλαδή στρατηγικές που βασίζονται στις αρχές της κβαντικής μηχανικής. Ως αποτέλεσμα, προκύπτει ένα ευρύτερο φάσμα πιθανών κινήσεων από την κλασική Θ.Π.. Οι παίκτες πλέον λειτουργούν με βάση ένα σύνολο κβαντικών καταστάσεων στις οποίες μπορούν να βρεθούν οι κινήσεις τους, εκτός από τις κλασικές. Οι κβαντικές καταστάσεις βρίσκονται στον κατάλληλο χώρο Hilbert. Στην Κ.Θ.Π. υπάρχει και ο όρος replicator dynamics, με τη μορφή quantum replicator dynamics, που έχει την ίδια σημασία με την κλασική του έκδοση, μόνο που τώρα ισχύει αποκλειστικά για κβαντικές στρατηγικές [367].

Ένας συνδυασμός κλασικών και κβαντικών στρατηγικών μεταξύ των παικτών ενός παιχνιδιού μελετάται σε αρκετές περιπτώσεις, [639]. Το ενδιαφέρον για αυτά τα παιχνίδια αυξάνεται όταν υπάρχει ένας παίκτης που θεωρείται ο κβαντικός παίκτης και, ως εκ τούτου, μπορεί να χρησιμοποιήσει κβαντικές στρατηγικές, και ο άλλος θεωρείται ως ο κλασικός παίκτης. Στα περισσότερα παιχνίδια, ο κβαντικός παίκτης έχει πλεονέκτημα και δεν χάνει. Νέες στρατηγικές και κινήσεις παρουσιάζονται, όπου η λεγόμενη *miracle move* προκύπτει από τις κβαντικές στρατηγικές, που πάντα κερδίζει τους κλασικούς. Εάν το εύρος των κινήσεων είναι γνωστό σε όλους τους παίκτες, και επομένως και οι δύο θεωρούνται κβαντικές, μία από αυτές φαίνεται να εκδηλώνει τη συμπεριφορά της κλεψιάς, συνήθως εισάγοντας ένα επιπλέον qubit στη στρατηγική της. Η προσθήκη αποσυννοχής (decoherence), ένα από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της κβαντικής μηχανικής σε ένα παιχνίδι, αλλάζει εντελώς το ίδιο το παιχνίδι [280].

Υπάρχουν πολλά γνωστά κλασικά παιχνίδια που έχουν κβαντιστεί μέχρι στιγμής [342], αλλά υπάρχουν επίσης πολλές μελέτες γύρω από την κβαντική έκδοση των εξελικτικών παιχνιδιών, γνωστά ως κβαντικά εξελικτικά παιχνίδια [435]. Αξίζει να αναφέρουμε ότι τα παιχνίδια σε μοριακό επίπεδο έχουν επίσης εξεταστεί υπό το πρίσμα της Κ.Θ.Π. [237], καθώς και περιπτώσεις αναδίπλωσης πρωτεΐνης [325]. Μια άλλη ιδιότητα της κβαντικής μηχανικής είναι η εμπλοκή, η οποία ωστόσο έχει παρατηρηθεί ότι διαταράσσει τις ισορροπίες ESS.

Η πρώτη έρευνα σχετικά με τον συσχετισμό κβαντικών παιχνιδιών και αυτομάτων δημοσιεύθηκε το 2015 [312]. Αναδεικνύει τη σχέση αυτομάτων με την κβαντική θεωρία παιγνίων και τον συσχετισμό αυτομάτων με νικηφόρες στρατηγικές κβαντικών παιχνιδιών. Συνδέει κυρίαρχες στρατηγικές επαναλαμβανόμενων κβαντικών παιχνιδιών με κβαντικά αυτόματα που αναγνωρίζουν άπειρες περιοδικές εισόδους. Ως αναφορά, χρησιμοποιήσαμε το κβαντικό παιχνίδι pq-renny

όπου η κβαντική στρατηγική υπερτερεί της επιλογής καθαρής ή μικτής στρατηγικής.



Εικόνα 49. Ένα απλό DFA αυτόματο για τη ρίψη νομίσματος όπως παρουσιάστηκε στην έρευνα [312]

Αυτές οι αρχικές έρευνες ήταν απόρροια της έρευνας γύρω από το παιχνίδι του στριψίματος του νομίσματος. Άλλη μια εργασία προς δημοσίευση προέκυψε από αυτή την έρευνα και αφορά στα δύο κβαντικά κέρματα, όπου αυξάνει η πολυπλοκότητα των στρατηγικών και των κινήσεων των παικτών, αλλά και η εκτέλεση του προτεινόμενου παιχνιδιού στον κβαντικό υπολογιστή της IBM με τη βοήθεια του πακέτου qiskit.

Τέλος, η δύναμη των εμπνευσμένων από τα κβαντικά αλγορίθμων έγκειται στην ικανότητά τους να συνδυάζουν καινοτόμα χαρακτηριστικά και ανώτερα αποτελέσματα. Αυτό το κεφάλαιο [619] είναι μια προσπάθεια να δοθεί μια συνοπτική αλλά περιεκτική ανασκόπηση της τρέχουσας κατάστασης στον τομέα της μεθευρετικής που βασίζεται σε κβαντική έμπνευση, ιδιαίτερα προσανατολισμένη προς εκείνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υπάρχοντες κβαντικούς υπολογιστές.

Η προηγούμενη έρευνα σε συνδυασμό με το πρόβλημα του περιπλανώμενου πωλητή, γέννησαν την ιδέα της επόμενης δημοσίευσης [431]. Το πρόβλημα Kolkata Paise Restaurant είναι ένα προκλητικό παιχνίδι. Η προσέγγιση αντιλαμβάνεται τις τοποθεσίες των εστιατορίων ως ομοιόμορφα κατανομημένες στην πόλη. Αυτή η αλλαγή στην προοπτική έχει βαθιές προεκτάσεις στην τοπολογική διάταξη των εστιατορίων, γεγονός που καθιστά πλέον ρεαλιστικό να υποθέσουμε ότι κάθε παίκτης έχει δεύτερη ευκαιρία. Κάθε παίκτης μπορεί να επισκεφτεί, σε περίπτωση αποτυχίας, περισσότερα από ένα εστιατόρια, εντός των προκαθορισμένων χρονικών περιορισμών.

Άρκετες έρευνες προέκυψαν και από την μελέτη των εξελικτικών παιχνιδιών, καθότι παρουσιάζουν ένα πολύ ενδιαφέρον πεδίο διερεύνησης. Σε αυτή την εργασία [429], διερευνάται και αναφέρεται η βιβλιογραφία του Prisoners' Dilemma (κλασική και κβαντική μορφή). Το Prisoners' Dilemma είναι ένα πολύ γνωστό παιχνίδι στη θεωρία παιγνίων με πολλές παραλλαγές και εφαρμογές σε διάφορους τομείς. Η προσθήκη κβαντικών στρατηγικών σε αυτό το παιχνίδι ανοίγει νέες δυνατότητες και αλλάζει σημαντικά τις ισορροπίες του παιχνιδιού.

5.4 Διαδικασίες εμπνευσμένες από τη φύση και τα κβαντικά φαινόμενα[619]

Ακόμη και πριν οι κβαντικοί υπολογιστές γίνουν γνωστοί στο κοινό, οι αλγόριθμοι που εμπνέονται από κβαντικά είχαν ήδη εισαχθεί και απέκτησαν μια καλή φήμη. Η δύναμή τους έγκειται στην ικανότητά τους να συνδυάζουν καινοτόμα χαρακτηριστικά και ανώτερα αποτελέσματα. Στα σχεδόν 20 χρόνια που υπάρχει το πεδίο έχει επιτευχθεί ένας τεράστιος αριθμός αποτελεσμάτων. Αυτή η εργασία είναι μια προσπάθεια να δώσει μια συνοπτική αλλά περιεκτική ανασκόπηση της τρέχουσας κατάστασης στον τομέα της εμπνευσμένης από κβαντική μεθευρετική, ειδικά προσανατολισμένη προς εκείνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υπάρχοντες κβαντικούς υπολογιστές.

Οι κβαντικές εμπνευσμένες διαδικασίες χρησιμοποιούν τις βασικές αρχές του κβαντικού υπολογισμού. Ο κβαντικός υπολογισμός, μια υποενότητα των φυσικών υπολογιστών και ένα πεδίο που εισήχθη σχετικά πρόσφατα (τη δεκαετία του 1980) από τον Feynman, ο οποίος δήλωσε ότι η αποτελεσματική προσομοίωση ενός πραγματικού κβαντικού συστήματος χρησιμοποιώντας έναν κλασικό υπολογιστή δεν είναι δυνατή, καθώς θα υπήρχε εκθετική επιβράδυνση κατά την προσομοίωση πραγματικών κβαντικών διεργασιών [263, 265]. Ο κβαντικός υπολογισμός, μια γενική έννοια που αναγνωρίζει την υπολογιστική διαδικασία ως φυσικό φαινόμενο, θα μπορούσε να είναι μια σημαντική προσθήκη στις υπάρχουσες τυπικές διαδικασίες υπολογισμού.

Ο κβαντικός υπολογιστής συνδυάζει ορισμούς, φορμαλισμούς και έννοιες από διάφορες φυσι-

κές επιστήμες εκτός από την επιστήμη των υπολογιστών. Περιλαμβάνει κυρίως μαθηματικά (π.χ. γραμμική άλγεβρα) και φυσική (κβαντομηχανική). Σε αυτό το μέρος αναφερόμαστε μόνο στα πιο απαραίτητα από την πλευρά της υπολογιστικής επιστήμης.

Υπάρχουν δύο τύποι κβαντικών καταστάσεων: οι καθарές και οι μικτές καταστάσεις. Μια καθαρή κατάσταση είναι μια κατάσταση που αντιπροσωπεύεται από ένα ενιαίο διάνυσμα $|\chi\rangle$ σε έναν σύνθετο χώρο Hilbert. Μια μικτή κατάσταση είναι μια στατιστική κατανομή καθαρών καταστάσεων που εκφράζονται με τη μορφή πινάκων πυκνότητας.

Στον φορμαλισμό Dirac κάθε κατάσταση της μηχανής είναι μια υπέρθεση των βασικών καταστάσεων $|\chi_i\rangle$. Κάθε κατάσταση έχει τη μορφή:

$$|\chi\rangle = c_1 |\chi_1\rangle + c_2 |\chi_2\rangle + \dots + c_n |\chi_n\rangle,$$

όπου ισχύει ότι:

$$|c_1|^2 + |c_2|^2 + \dots + |c_n|^2 = 1.$$

Ένας κβαντικός καταχωρητής είναι το κβαντικό ανάλογο ενός κλασικού καταχωρητή επεξεργαστή. Μια μαθηματική περιγραφή ενός κβαντικού καταχωρητή επιτυγχάνεται με τη χρήση τανυστικών προϊόντων διανυσμάτων qubit bra ή ket. Πιο συγκεκριμένα, ένας κβαντικός καταχωρητής n -qubit αντιπροσωπεύεται από το στοιχείο

$|\chi\rangle = |\chi_1\rangle \otimes |\chi_2\rangle \otimes \dots \otimes |\chi_n\rangle$, όπου το ket είναι το τανυστικό γινόμενο στον χώρο Hilbert: $H = H_1 \otimes H_2 \otimes \dots \otimes H_n$, με το n να είναι ο αριθμός των qubits. [347].

Η μεθευρετική είναι μια μέθοδος που υπολογίζει λύσεις για δύσκολα προβλήματα βελτιστοποίησης, κυρίως, από τα πεδία της επιστήμης των υπολογιστών και της μαθηματικής βελτιστοποίησης. Είναι χρήσιμα για πολλά προβλήματα και κάνουν λίγες υποθέσεις σχετικά με το πρόβλημα βελτιστοποίησης. Χρησιμοποιούν ευρετικά χαμηλού επιπέδου ή αλγόριθμους αναζήτησης και είναι πιο αφηρημένα από τα ευρετικά. Το προφανές μειονέκτημα είναι, φυσικά, ότι ένα μεθευρετικό δεν μπορεί να εγγυηθεί ότι θα βρει τη βέλτιστη συνολική λύση σε ένα πρόβλημα.

Υπάρχουν σημαντικοί αλγόριθμοι που αναπτύχθηκαν και εισήχθησαν πριν εμφανιστεί ο κλασικός υπολογιστής και το ίδιο ισχύει για τους κβαντικούς αλγόριθμους, πολλοί από τους οποίους εμφανίστηκαν πριν από την εφαρμογή του πρώτου κβαντικού υπολογιστή. Οι κβαντοεμπνευσμένοι αλγόριθμοι αποτελούν στην πραγματικότητα μια δική τους κατηγορία, όντας κάπου στη μέση μεταξύ κλασικών και κβαντικών αλγορίθμων. Η εφαρμογή μιας μεθευρετικής σε έναν κβαντικό υπολογιστή απαιτεί μια υβριδική στρατηγική που συνδυάζει κβαντικούς και κλασικούς υπολογιστές για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Η ερευνητική κοινότητα έχει δείξει μεγάλο ενδιαφέρον για την εφαρμογή κβαντικών αλγορίθμων σε μεταευρετικές διαδικασίες και σε ένα είδος αλγορίθμου γενικότερα. Το 1996, προτάθηκε ένας νέος αλγόριθμος που ονομάζεται αλγόριθμος εμπνευσμένος από κβαντικά. Συνδυάζει τον κβαντικό μηχανισμό και τους χαρακτηριστές υπολογισμού της εξέλιξης και γι' αυτό αυτός ο αλγόριθμος εμπνευσμένος από κβαντικά ονομάζεται επίσης αλγόριθμος κβαντικής εξέλιξης (QEA) [567].

Οι Sandip et al. προτείνόμενες τεχνικές οι οποίες είναι η Βελτιστοποίηση αποικίας μυρμηγκιών με κβαντική έμπνευση, η διαφορική εξέλιξη με κβαντική έμπνευση και η βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων εμπνευσμένη από κβαντικά για το κατώφλι χρωμάτων πολλαπλών επιπέδων. Αυτές οι τεχνικές βρίσκουν τις βέλτιστες τιμές κατωφλίου σε διαφορετικά επίπεδα ορίου για έγχρωμες εικόνες[218].

Ένας κβαντικός εμπνευσμένος αλγόριθμος Κοινωνικής Εξέλιξης προτείνεται υβριδίζοντας έναν αλγόριθμο Κοινωνικής Εξέλιξης με τον αναδυόμενο εξελικτικό αλγόριθμο εμπνευσμένου από κβαντικά. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος QSE εφαρμόζεται σε ένα γνωστό πρόβλημα σακιδίου 0-1 και η απόδοση του αλγορίθμου συγκρίνεται με διάφορα εξελικτικά, σμήνη και παραλλαγές εξελικτικών αλγορίθμων εμπνευσμένων από κβαντικά. Οι Pavithr et al. ισχυρίζονται ότι η απόδοση του αλγορίθμου QSE είναι καλύτερη ή συγκρίσιμη με τις διαφορετικές εξελικτικές αλγοριθμικές παραλλαγές που ελέγχεται έναντι του [626].

Συνολικά, πολλοί κβαντικοί αλγόριθμοι τελευταίας τεχνολογίας παρουσιάστηκαν σε αυτή τη σύντομη ανασκόπηση. Προφανώς πολλά σημαντικά έχουν παραλειφθεί λόγω του συντριπτικού

αριθμού των άρθρων του χώρου. Παρουσιάστηκαν μερικά παραδείγματα αλγορίθμων βελτιστοποίησης φυσικών και κβαντικών εμπνευσμένων. Αυτή η ανασκόπηση ελπίζουμε να δώσει τον τόνο της περιοχής που μελετήσαμε και παρουσιάσαμε. Ως μελλοντική εργασία, μια σημαντικά πιο εκτενής ανασκόπηση που θα περιλαμβάνει πολλούς περισσότερους αλγόριθμους από αυτόν τον ερευνητικό τομέα θα ήταν μια ευπρόσδεκτη προσθήκη σε αυτό το συναρπαστικό και ταχέως αναπτυσσόμενο πεδίο.

5.4.1 Βιβλιογραφική επισκόπηση κβαντικά εμπνευσμένων διαδικασιών

Οι Narayanan et al. [567] το 1996 χρησιμοποίησαν τον όρο “quantum inspired” για έναν νέο αλγόριθμο, λόγω του συνδυασμού κβαντικών μηχανισμών και εξελικτικών χαρακτηριστικών. Ένας άλλος κοινός όρος είναι ο Κβαντικός Αλγόριθμος Εξέλιξης (QEA). Στο [218] παρουσιάστηκαν κβαντικά εμπνευσμένες τεχνικές από τη βελτιστοποίηση αποικίας μυρμηγκιών, τη διαφορική εξέλιξη και τη βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων για το όριο έγχρωμης εικόνας πολλαπλών επιπέδων. Το [626] πρότεινε έναν αλγόριθμο κοινωνικής εξέλιξης εμπνευσμένο από κβαντικά (QSE) υβριδοποιώντας αλγόριθμους από την κοινωνική εξέλιξη και την κβαντική εξέλιξη. Δοκίμασαν τον αλγόριθμό τους στο πρόβλημα του σακιδίου και την απόδοσή του σε διάφορες παραλλαγές. Με βάση τα αποτελέσματα, το QSE ξεπέρασε τους άλλους εξελικτικούς αλγόριθμους με τους οποίους συγκρίθηκε.

Στο [249] επινόησαν έναν τύπο βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων εμπνευσμένη από κβαντικά με έναν κυτταρικό πληθυσμό. Σκοπός τους ήταν να διατηρήσουν ορισμένους περιορισμούς σχετικά με τον πληθυσμό καθώς και να διευκολύνουν την αναζήτηση. Οι Zheng et al. [847] εφάρμοσαν έναν υβριδικό εξελικτικό αλγόριθμο εμπνευσμένο από κβαντικά σε ένα πρόβλημα προγραμματισμού flow-shop. Οι Lu et al. [505] εισήγαγαν έναν αλγόριθμο αναζήτησης εμπνευσμένο από κβαντικά με στόχο την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης. Οι Wu et al. [824] ανέπτυξαν έναν κβαντικό αλγόριθμο που χρησιμοποίησε έννοιες από το πεδίο της θεωρίας παιγνίων.

Το [568] εισήγαγε έναν γενετικό αλγόριθμο εμπνευσμένο από κβαντικά ως μια νέα εξελικτική μέθοδο υπολογισμού που βασίζεται στην κβαντική μηχανική προκειμένου να επιτύχει αποτελεσματικότητα. Ανεπίσημα, έδειξαν ότι ο εμπνευσμένος από κβαντικά γενετικός αλγόριθμός τους δίνει καλύτερα πειραματικά αποτελέσματα από τον κλασσικό αντίστοιχό του για το Πρόβλημα του Ταξιδιώτη Πωλητή.

Οι Han et al. [355] ανέπτυξαν έναν νέο εξελικτικό αλγόριθμο εμπνευσμένο από κβαντικά. Ορισμένες κβαντικές αρχές όπως τα qubits και η υπέρθεση υιοθετήθηκαν για αυτόν τον αλγόριθμο. Μια κβαντική πύλη εισήχθη για να οδηγήσει σε καλύτερες λύσεις. Διεξήγαγαν πειραματικές δοκιμές στο πρόβλημα του σακιδίου και τα αποτελέσματα έδειξαν καλύτερη απόδοση σε σύγκριση με τον κλασσικό γενετικό αλγόριθμο. Οι Han et al. [356] ανέπτυξαν επίσης έναν άλλο εξελικτικό αλγόριθμο, αλλά παράλληλο αυτή τη φορά. Με βάση τα πειράματα που διεξήγαγαν οι συγγραφείς, ο παράλληλος γενετικός αλγόριθμος εμπνευσμένος από κβαντικά φαινόταν καλύτερος από τον διαδοχικό γενετικό αλγόριθμο και άλλους κλασσικούς γενετικούς αλγόριθμους.

Στο [528] παρουσίασαν τη βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων εμπνευσμένη από κβαντικά (QPSO). Σύμφωνα με πειραματικά δεδομένα, αυτή η προσέγγιση έδειξε καλύτερη αναζήτηση και ταχύτερη σύγκλιση. Οι δοκιμές επιβεβαίωσαν ότι αυτός ο τύπος αλγορίθμου μπορεί να είναι ένα αξιόπιστο εργαλείο για την επίλυση προβλημάτων Οικονομικής Κατανομής Φορτίου.

Οι Zhang et al. [845] εισήγαγαν έναν συνδυασμό κβαντικής εμπνευσμένης εξελικτικής προσέγγισης και συστημάτων P με τη μορφή ενός εξελικτικού αλγορίθμου. Η προσέγγισή τους δοκιμάστηκε στο πρόβλημα του σακιδίου και τα αποτελέσματα που προέκυψαν επιβεβαίωσαν την ανώτερη απόδοσή του σε σύγκριση με τους κλασσικούς αλγόριθμους για ορισμένες δομές συστημάτων P.

Οι Talbi et al. [742] υποστήριξαν μια διαφορετική προσέγγιση στο πρόβλημα του ταξιδιώτη πωλητή, ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης συγκριτικής αξιολόγησης. Ο προτεινόμενος αλγόριθμος

ήταν ένας συνδυασμός κβαντικών υπολογιστών και γενετικών αλγορίθμων. Οι συγγραφείς επεσήμαναν ότι υπήρχαν περιπτώσεις του Προβλήματος του Ταξιδιώτη Πωλητή όπου ο αλγόριθμός τους είχε πολύ καλύτερη απόδοση από τους κλασικούς γενετικούς αλγόριθμους.

Οι Tiwari et al. [757] μελετούν τη σύνδεση μεταξύ του κβαντικού υπολογισμού και της μηχανικής και της μηχανικής μάθησης. Ένας κβαντικός εμπνευσμένος δυαδικός ταξινομητής επινοήθηκε και δοκιμάστηκε σε σώματα κειμένου και εικόνων. Το μοντέλο τους αποδείχθηκε πιο αποτελεσματικό με τη βοήθεια της κβαντικής θεωρίας ανίχνευσης και ξεπέρασε τις κλασικές μεθόδους αιχμής.

Οι Papalitsas et al. [617] ανέπτυξαν το qGVNS, μια κβαντική παραλλαγή του πολύ γνωστού μεταερευτικού GVNS. Το qGVNS, το οποίο ενσωμάτωσε αρχές κβαντομηχανικής, δοκιμάστηκε επίσης σε ορισμένες περιπτώσεις του Προβλήματος του Ταξιδιώτη Πωλητή.

Ο Giannakis et al. [314] εισήγαγε έναν νέο αλγόριθμο που συνδύαζε ευρετικά και κβαντικά εμπνευσμένα στοιχεία βελτιστοποίησης. Λόγω της πολυπλοκότητας των βιολογικών ακολουθιών, η επεξεργασία τους απαιτεί τεράστια υπολογιστική ισχύ και η ευθυγράμμιση των ακολουθιών είναι μια εξαιρετικά χρήσιμη διαδικασία για πρακτικούς λόγους. Το μοντέλο τους χρησιμοποιήθηκε για την επίλυση αυτού του προβλήματος. Ο αλγόριθμος συγκρίθηκε με άλλες μεθόδους και έδωσε πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα, ιδιαίτερα για μεγάλα σύνολα ακολουθιών.

Οι Papalitsas et al. [609] ενίσχυσαν τη γνωστή μέθοδο GVNS, που υιοθετήθηκε ευρέως στον τομέα της συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Στο στάδιο της ανακίνησης, ενσωματώθηκαν στοιχεία κβαντικού υπολογισμού. Το πρόβλημα του ταξιδιώτη πωλητή με τα παράθυρα χρόνου (TSP-TW), μια δύσκολη επέκταση NP-hard του κλασικού TSP, μπορεί να είναι χρήσιμο σε διάφορες πρακτικές καταστάσεις (για παράδειγμα στην περίπτωση των φορτηγών συλλογής απορριμμάτων). Αυτή η νέα παραλλαγή του GVNS αποδείχθηκε πειραματικά ότι είναι ικανός υποψήφιος για την αποτελεσματική αντιμετώπιση τέτοιων σεναρίων σε πραγματικό χρόνο.

Ο Wagner et al. [788] πρότεινε έναν εξελικτικό αλγόριθμο εμπνευσμένο από κβαντικά σχεδιασμένο να καλύπτει τη δημιουργία συστοιχιών, με μια απλή και φυσική αναπαράσταση qubit. Διαφορετικές εκδόσεις αυτού του αλγορίθμου δοκιμάστηκαν με διαφορετικούς τελεστές.

Οι Abraham et al. [2] πρότειναν ένα QEA για την επίλυση συνεχών προβλημάτων βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων και έδειξαν ότι μπορούν να παράγουν καλό υπερόγκο και μετρήσεις για τέτοιου είδους προβλήματα.

5.5 Το Δίλημμα των Φυλακισμένων και Βιολογία[429]

Το Prisoners' Dilemma είναι ένα πολύ γνωστό παιχνίδι στη θεωρία παιγνίων με πολλές παραλλαγές και εφαρμογές σε διάφορους τομείς. Η προσθήκη κβαντικών στρατηγικών σε αυτό το παιχνίδι ανοίγει νέες δυνατότητες και αλλάζει σημαντικά τις ισορροπίες του παιχνιδιού.

Δύο πολύ γνωστά παιχνίδια που θεωρούνται παιχνίδια matrix είναι το παιχνίδι Hawk-Dove[712] και το Prisoners' Dilemma [762]. Και τα δύο αυτά παιχνίδια χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν σημαντικά βιολογικά/κοινωνικά σενάρια. Το Prisoners' Dilemma (PD) είναι ένα διάσημο παιχνίδι του GT στις κοινωνικές επιστήμες. Αυτό το παιχνίδι ισορροπεί μεταξύ συνεργασίας και ανταγωνισμού στις επιχειρήσεις, την πολιτική, τα οικονομικά και τα κοινωνικά περιβάλλοντα. Η PD εφαρμόζεται επίσης στη βιολογία και στα φαινόμενα πληθυσμιακής εξέλιξης. Σε αυτό το άρθρο, η βιβλιογραφία της PD (κλασική και κβαντική μορφή) και μια ανασκόπηση της προόδου και της τρέχουσας κατάστασης της έρευνας στον τομέα της GT διερευνώνται και αναφέρονται (1999). Και τα δύο αυτά παιχνίδια χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν σημαντικά βιολογικά/κοινωνικά σενάρια. Το Prisoners' Dilemma (PD) είναι ένα διάσημο παιχνίδι του GT στις κοινωνικές επιστήμες. Αυτό το παιχνίδι ισορροπεί μεταξύ συνεργασίας και ανταγωνισμού στις επιχειρήσεις, την πολιτική, τα οικονομικά και τα κοινωνικά περιβάλλοντα. Η PD εφαρμόζεται επίσης στη βιολογία και στα φαινόμενα πληθυσμιακής εξέλιξης. Σε αυτό το άρθρο, διερευνάται και αναφέρεται η βιβλιογραφία της PD (κλασική και κβαντική μορφή) και μια ανασκόπηση της προόδου και της τρέχουσας κατάστασης της έρευνας στον τομέα της GT.

Οι Eisert et al. [237] πρότεινε ένα νέο μοντέλο για παιχνίδια δύο στρατηγικών δύο παικτών με εμπλοκή με κβαντισμό του PD. Ο Zhang [843] τροποποίησε το μοντέλο του επιτρέποντας αυθαίρετες αποδεκτές τοπικές λειτουργίες για κάθε παίκτη και ασχολήθηκε με μια ποσοτική μελέτη σχετικά με την αύξηση των κερδών ισορροπίας στα κβαντικά παιχνίδια. Στο παιχνίδι PD, είναι αποδεδειγμένο ότι οι πράκτορες τα καταφέρνουν καλύτερα στο κβαντικό παιχνίδι από ότι στο κλασικό παιχνίδι. Στα κβαντικά παιχνίδια, ωστόσο, οι παίκτες χρησιμοποιούν κβαντικές στρατηγικές αντί για μικτές στρατηγικές, σε ένα μεγαλύτερο σύνολο κβαντικών καταστάσεων στον χώρο Hilbert H. Έχει αποδειχθεί ότι οι κβαντικές στρατηγικές οδηγούν σε πλεονεκτήματα έναντι των κλασικών στρατηγικών σε ορισμένα παραδείγματα παιχνιδιών. Οι Eisert et al. κβαντίστηκε η PD και απέδειξε ότι το δίλημμα μπορούσε να ξεφύγει. Η επόμενη εργασία των Eisert και Wilkens [235] διερεύνησε τις επιπτώσεις της ταύτισης των στρατηγικών με κβαντικές πράξεις στο GT. Μελετούνται κβαντικά παιχνίδια με κλασικό ανάλογο, προκειμένου να προσδιοριστούν οι ιδιαιτερότητες των θεωρητικών ρυθμίσεων παιχνιδιών στον κβαντικό τομέα. Δίνουν έμφαση στη λεπτομερή διερεύνηση διαφορετικών συνόλων κβαντικών στρατηγικών. Οι δύο παίκτες μπορούν να αποφασίσουν ανεξάρτητα αν σκοπεύουν να «συνεργαστούν» ή «ελάττωμα». Ως εκ τούτου, λαμβάνουν μια ορισμένη ανταμοιβή σύμφωνα με τις αντίστοιχες επιλογές τους. Υποτίθεται ότι και οι δύο παίκτες θέλουν να μεγιστοποιήσουν την ατομική τους απόδοση, ωστόσο πρέπει να επιλέξουν την επιλογή τους χωρίς να γνωρίζουν την απόφαση του άλλου παίκτη. Η εμπλοκή στο μοντέλο του Eisert [236] αμφισβητείται. Η διαπλοκή υποδηλώνει ότι κάθε κρατούμενος γνωρίζει ο ένας την επιλογή του άλλου, σαν να ανακρίνεται στο ίδιο δωμάτιο. Σε αυτή την περίπτωση, το δίλημμα μετατρέπεται σε παιχνίδι συνεργασίας. Επομένως, αμφισβητείται η ακρίβεια του μοντέλου του Eisert, ως κβαντικής αναπαράστασης του κλασικού παιχνιδιού.

Το συμπέρασμα των Flitney και Hollenberg [275], για παράδειγμα, ότι η υπάρχουσα βιβλιογραφία κβαντικών παιχνιδιών έχει δώσει υπερβολική σημασία στις προκύπτουσες ισορροπίες είναι αρκετά ενδιαφέρον. Ισχυρίστηκαν ότι οι νέες ισορροπίες είναι τεχνουργήματα της επιλογής του στρατηγικού χώρου: το συγκεκριμένο τμήμα του χώρου των ενιαίων τελεστών στους οποίους περιορίζονται οι παίκτες, παρά ιδιότητες του υποκείμενου παιχνιδιού. Άλλες μελέτες παρουσιάζουν τον τρόπο κβαντοποίησης των παιχνιδιών για πολλούς παίκτες και τη γενίκευση των κβαντικών παιχνιδιών δύο παικτών σε κβαντικά παιχνίδια με n παίκτες. Οι Du et al. επεκτείνουν το παιχνίδι PD σε ένα παιχνίδι PD με n παίκτες. Γενικεύουν το κβαντικό του μοντέλο στην περίπτωση όπου οι παίκτες μοιράζονται μη μέγιστα μπερδεμένες καταστάσεις: μια κλασική περιοχή, μια ενδιάμεση περιοχή και μια πλήρως κβαντική περιοχή [227]. Κατά τη διάρκεια του ίδιου έτους, αυτοί οι συγγραφείς [225] μελέτησαν επίσης τις ιδιότητες του κβαντικού μοντέλου σε διάφορες συνθήκες, δηλαδή διαφορετικό αριθμό παικτών, διαφορετικό στρατηγικό χώρο και διαφορετική ποσότητα εμπλοκής. Οι Iqbal and Toor [393] δείχνουν τις διαφορές μεταξύ της επαναλαμβανόμενης κβαντικής PD και της έκδοσης ενός γύρου. Στην επαναλαμβανόμενη έκδοση, οι παίκτες τείνουν να «συνεργάζονται» αντί για «ελάττωμα», λόγω της προηγούμενης γνώσης τους για το παιχνίδι. Η συνεργασία είναι ένα άλλο βασικό στοιχείο στα παιχνίδια. Ορισμένα έγγραφα [226], [225], [224] δείχνουν ότι η εμπλοκή βελτιώνει τον συντονισμό μεταξύ των παικτών και συνεπώς τις αποδόσεις (αν η συνάρτηση ανταμοιβής εξαρτάται από τους τύπους των παικτών). Σε μια πιο πρόσφατη εργασία, οι Siopsis et al. [708] μελέτησε παραλλαγές του μοντέλου του Eisert, στο οποίο ο κρατούμενος είναι εξοπλισμένος με ένα μόνο qubit. Ο διαθέσιμος χώρος Hilbert διευρύνεται με την εισαγωγή ενός τρίτου qubit που ο ερωτών μπορεί να εμπλέξει με τα άλλα δύο. Εφαρμόζουν μια ενισχυμένη τεχνική ανάκρισης που βασίζεται στην τριμερή εμπλοκή και αναλύουν τις ισορροπίες Nash. Όταν πλησιάζετε μια κατάσταση W , εμφανίζονται ισορροπίες Nash, οι οποίες συμπίπτουν με τη βέλτιστη επιλογή Pareto, όπου και οι δύο κρατούμενοι συνεργάζονται.

Οι Chen et al. [166] χρησιμοποίησε το μοντέλο του Eisert για PD και το πρόσθεσε σε παιχνίδια δημόσιων αγαθών με n παίκτες, με διαφορετικά επίπεδα μπερδεμένων σωματιδίων. Προσπάθησαν να δείξουν πώς μπορεί να κατασκευαστεί ένας κβαντικός μηχανισμός για να αντιμετωπίσει την πτυχή του προβλήματος του ελεύθερου αναβάτη, χωρίς την ανάγκη επιβολής από τρίτους ή

επαναλαμβανόμενου παιχνιδιού. Το μεγαλύτερο μέρος της δύναμης αυτού του νέου μηχανισμού προέρχεται από μπερδεμένες καταστάσεις, οι οποίες θεωρητικά επιτρέπουν στα άτομα να συντονίζονται και να δεσμεύονται σε περιβάλλοντα ενώ τα κλασικά μέσα δεν το κάνουν. Η διαπλοκή μπορεί επίσης να εκτιμήσει την πρακτικότητα ενός κβαντικού μηχανισμού. Επιτρέπεται μόνο μία μέτρηση του αποτελέσματος, αντί να αποκαλύπτονται οι επιλογές μεμονωμένων χειριστή, με αποτέλεσμα πρόσθετο απόρρητο. Οι Chen και Hogg [167] προσπάθησαν να αξιολογήσουν την πιθανή πρακτικότητα των κβαντικών οικονομικών μηχανισμών δοκιμάζοντας πειραματικά τον τρόπο με τον οποίο οι άνθρωποι παίζουν την κβαντική έκδοση του παιχνιδιού PD (σε εργαστηριακό περιβάλλον ενώ χρησιμοποιούσαν μια προσομοιωμένη έκδοση της υποκείμενης κβαντικής φυσικής. Ακόμη και χωρίς επίσημη εκπαίδευση στην κβαντική μηχανική, οι άνθρωποι σχεδόν πετυχαίνουν τις προβλέψεις της θεωρίας των κερδών, αλλά δεν χρησιμοποιούν ισορροπίες Nash μεικτής στρατηγικής όπως προβλέπεται από το GT.

Η επόμενη εργασία, των Solmeyer et al. [716], δείχνει πώς τα κβαντικά παιχνίδια με ελλείψεις πληροφορίες μπορούν να μελετηθούν σε ένα πλαίσιο Bayes. Το PD δημιουργήθηκε σε αυτό το πλαίσιο με τρεις παίκτες: δύο τύπους του δεύτερου κρατούμενου ενώ ο πρώτος κρατούμενος παίζει μαζί τους με πιθανότητα p και $1 - p$, αντίστοιχα. Το Μπεϋζιανό πλαίσιο προκύπτει από το γεγονός ότι ο πρώτος κρατούμενος έχει αμφιβολίες για τον τύπο του αντιπάλου του που κωδικοποιείται είτε σε μια κλασική πιθανότητα είτε στα πλάτη μιας κυματικής συνάρτησης. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν μια κατηγορία Nash Equilibria με πλούσιες δομές, που χαρακτηρίζεται από μια σχέση φάσης των στρατηγικών των παικτών. Παρέχουν μια άλλη, πιο εμπεριστατωμένη προοπτική των κβαντικών πλεονεκτημάτων των Bayesian παιχνιδιών σε σχέση με τα κλασικά. Ο ρόλος της εμπλοκής σε ένα κβαντικό παιχνίδι έχει ερμηνευτεί ως μια μορφή συμβουλής, σύμβασης ή διαμεσολάβησης επικοινωνίας μεταξύ των παικτών και δίνεται από τον διαιτητή. Η διαπλοκή μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως ένα περιβάλλον που δρα για να συσχετίσει τις επιλογές των παικτών, αφού επιβάλλεται από τον διαιτητή.

Οι Iqbal και Toor [395] υποστήριξαν ότι σε ένα επαναλαμβανόμενο κλασικό παιχνίδι PD δύο σταδίων, η γνώση ότι και οι δύο παίκτες θα αποτύχουν στο δεύτερο στάδιο προκαλεί τους παίκτες να αποστατήσουν και στο πρώτο στάδιο. Έτσι, βρήκαν μια κβαντική έκδοση αυτού του επαναλαμβανόμενου παιχνιδιού όπου οι παίκτες αποφασίζουν να συνεργαστούν στο πρώτο στάδιο, ενώ γνωρίζουν ότι και οι δύο θα ελαττώσουν στο δεύτερο. Οι παίκτες θεωρούν με παρόμοιο τρόπο ότι η καλύτερη επιλογή τους είναι να «ελαττώσουν», τόσο στο δεύτερο στάδιο του παιχνιδιού όσο και στο κλασικό παιχνίδι ενός σταδίου. Ως αποτέλεσμα, η ισορροπία Nash είναι μοναδική και ακριβώς η ίδια και στις δύο εκδόσεις, επειδή οι αποδόσεις του προηγούμενου σταδίου μεταφέρονται στο επόμενο στάδιο ως σταθερές. Οι Flitney και Hollenberg [276] υποστηρίζουν ότι η νέα ισορροπία Nash και οι κλασικές κβαντικές μεταβάσεις που συμβαίνουν στο μοντέλο των Eisert et al. είναι απλώς ένα τεχνούργημα του συγκεκριμένου χώρου στρατηγικής που έχει επιλεγεί. Επιλέγοντας έναν διαφορετικό, αλλά εξίσου αξιόπιστο, στρατηγικό χώρο δύο παραμέτρων, δείχνουν ότι μπορούν να προκύψουν διαφορετικές ισορροπίες Nash με διαφορετικές κλασικές κβαντικές μεταβάσεις. Επιπλέον, γενικεύουν τις στρατηγικές δύο παραμέτρων και εξετάζουν επίσης αυτές τις στρατηγικές σε ένα περιβάλλον για πολλούς παίκτες (Nash Equilibria σε N-player QPD).

Αυτή η εργασία [498] διερευνά τα κβαντικά παιχνίδια μεταξύ δύο απομακρυσμένων παικτών σε κβαντικά δίκτυα. Προτείνονται δύο σχήματα για κατανεμημένα απομακρυσμένα κβαντικά παιχνίδια. Ακολουθώντας αυτά τα σχήματα, κατασκευάζουν δύο σχέδια του κατανεμημένου παιχνιδιού PD σε δίκτυα κβαντικής εμπλοκής, όπου χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες μέθοδοι για τηλεμεταφορά και μη τοπικές ενιαίες πύλες δύο qubit, αντίστοιχα. Σε μια άλλη μελέτη [490], με βάση τη βάση δεδομένων Web of Science, μέσω της χρήσης των μεθόδων ανάλυσης κοινωνικών δικτύων, η βιβλιογραφία για τα κβαντικά παιχνίδια αναλύεται από την οπτική γωνία των λέξεων-κλειδιών συν-συμβολή, συν-συγγραφή, και συν-παράθεση. Η έρευνά τους περιγράφει διεξοδικά τα κύρια μοντέλα κβαντικών παιχνιδιών και την πρόοδο της έρευνας μέχρι στιγμής. Τέλος, αναγνωρίζουν

τις αναπτυξιακές προοπτικές του κλάδου.

Οι Melo-Luna et al. [527] για ένα διμερές παιχνίδι μη μηδενικού αθροίσματος δήλωσε ότι οι τοπικές κβαντικές συσχετίσεις εισόδου και οι διαχωρισμένες καταστάσεις αρκούν για να επιτευχθεί ένα πλεονέκτημα σε σχέση με οποιαδήποτε κλασική στρατηγική. Συγκεκριμένα, βρίσκεται ένα άλλο υποκείμενο θεμελιώδες κβαντικό χαρακτηριστικό, πέρα από τη διαπλοκή ή τη μη τοπικότητα. Ο Alonso-Sanz [25] μελέτησε τη διασπαστική επίδραση του κβαντικού θορύβου στο επαναλαμβανόμενο παιχνίδι PD με μεταβλητή εμπλοκή. Τα κυψελωτά αυτόματα χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση του παιχνιδιού. Ο κβαντικός θόρυβος στα δίκαια κβαντικά παιχνίδια απαιτεί μεγαλύτερη εμπλοκή προκειμένου να εμφανιστεί το επιθυμητό ζεύγος στρατηγικής, παρόμοια με την αμοιβαία συνεργασία. Όμως ο κβαντικός θόρυβος στα άδικα παιχνίδια δεν είναι υπέρ του κβαντικού παίκτη, καθώς καθυστερεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Πολλές μελέτες έχουν δείξει μια σύνδεση μεταξύ μοριακών φαινομένων και παιχνιδιών. Το GT φαίνεται να παρέχει έναν πρακτικό τρόπο προσομοίωσης βιολογικών φαινομένων σύμφωνα με τους νόμους της κβαντικής μηχανικής.

Η PD εμφανίζεται επίσης στην εξελικτική βιολογία μεταξύ ειδών αντί για μεμονωμένους παράγοντες, ενάντια στη φύση. Αυτή η ιδέα προτάθηκε από τον R. C. Lewontin, αν και πολλές μελέτες διαφώνησαν με αυτή τη δήλωση, επειδή δεν είναι εφαρμόσιμη στη φύση. Οι Turner και Chao [762] χρησιμοποίησαν το GT για να μελετήσουν έναν ιό RNA σε μια μορφή PD. Έδειξαν πειραματικά ότι οι δύο γονότυποι της μόλυνσης δημιουργούν μια μήτρα αποπληρωμής σε σχέση με τη στρατηγική PD. Η εγωιστική συμπεριφορά που προέκυψε σε ένα παιχνίδι PD χρησιμοποιήθηκε επίσης για να εξηγήσει τη δυναμική του πολλαπλασιασμού του μεταλλαγμένου *E. coli* σε μια υποβέλτιστη κατάσταση [784]. Η κοινοτική εδαφικότητα στα πουλιά *rukeko* μπορεί επίσης να γίνει κατανοητή από μια προσαρμογή του PD σύμφωνα με τον John Craig [192].

5.5.1 Κλασική και Κβαντική εκδοχή

Το PD είναι ένα παιχνίδι μηδενικού αθροίσματος. Τα συμφέροντα των παικτών συγκρούονται πλήρως, έτσι ώστε το κέρδος ενός ατόμου να είναι απώλεια ενός άλλου [600]. Η αστυνομία συνέλαβε δύο υπόπτους και τους ανακρίνει σε χωριστά δωμάτια. Ο καθένας μπορεί είτε να ελαττώσει (ενοχοποιήσει τον άλλον) είτε να συνεργαστεί (να σιωπήσει). Ο καθένας μπορεί να βελτιώσει ανεξάρτητα τη θέση του αποστατώντας. Το Defection είναι η κυρίαρχη στρατηγική για τον καθένα. Αλλά όταν και οι δύο ελαττώνονται (Nash Equilibrium), το αποτέλεσμα είναι χειρότερο για αυτούς από ό,τι όταν και οι δύο σιωπούν [75]. Αυτό το αποτέλεσμα είναι κατώτερο από το Pareto από το αποτέλεσμα της αμοιβαίας συνεργασίας. Η συνεργασία μπορεί να επιτευχθεί σε επαναλαμβανόμενα παιχνίδια του παιχνιδιού επειδή το προσωρινό κέρδος από την εξαπάτηση (απόσπαση) μπορεί να αντισταθμιστεί από τη μακροπρόθεσμη απώλεια λόγω της κατάρρευσης της συνεργασίας [543], [600]. Το κύριο σημείο έρευνας του [701] είναι η συμπεριφορά των παικτών σε ένα RPD.

Το 1993, ο Nowak και ο Sigmund παρουσίασαν μια στρατηγική που είχε πλεονεκτήματα έναντι της στρατηγικής tit-for-tat. Με βάση τη συμπεριφορική θεωρία του Pavlov, η προτεινόμενη στρατηγική εφαρμόζει έναν μοναδικό μηχανισμό συμπεριφοράς: win-stay ή lose-shift. Τα κύρια πλεονεκτήματά του είναι η διόρθωση περιστασιακών λαθών και η εκμετάλλευση άνευ όρων συνεργατών. Τα αποτελέσματα που παρέχονται από προσομοιώσεις αναφέρονται στο [590]. Στο PD, η κυρίαρχη στρατηγική είναι η αποτυχία. Επομένως, η μόνη ισορροπία είναι Ελάττωμα/Ελαττώματα. Από την άλλη, όταν υπάρχουν δύο ισορροπίες (Εξομολογήστε/Εξομολογηθείτε και Σιωπή/Σιωπή), η κατάσταση δεν είναι ΠΔ, αλλά ένα από τα παιχνίδια συντονισμού. Τρεις διαφορετικές εκδοχές της ΠΔ με πολλαπλές ισορροπίες (προβλήματα συντονισμού) εξετάζονται σε αυτή την εργασία.

Σχετικά με την έκδοση Hawk-Dove, οι Burrridge, Gao και Mao [147] εξετάζουν την επίδραση των στρατηγικών που βασίζονται στη μνήμη στη δυναμική του παιχνιδιού στο κλασικό παιχνίδι. Θεωρούν ότι μια ομάδα πρακτόρων παίζει το παιχνίδι. Αυτοί οι πράκτορες έχουν μια μνήμη από

προηγούμενες αλληλεπιδράσεις που χρησιμοποιούν για να βελτιστοποιήσουν το παιχνίδι τους. Τόσο με αναλυτική όσο και με αριθμητική προσέγγιση, δείχνουν ότι μια αστάθεια εμφανίζεται σε ένα κρίσιμο μήκος μνήμης. Επίσης, όταν το παιχνίδι είναι σταθερό, η μεγάλη μνήμη είναι ευεργετική, αλλά αυτή η αστάθεια, που μπορεί να προκληθεί από υπερβολικά μεγάλη μνήμη, δίνει το πλεονέκτημα σε όσους έχουν μικρότερη μνήμη. Το μοντέλο παιχνιδιού Hawk-Dove περιγράφει επιθετικά γεράκια που ανταγωνίζονται ειρηνικά περιστέρια για επιβίωση. Το μοντέλο σχετίζεται με το παιχνίδι «κοτόπουλο» καθώς και με το «Δίλημμα των φυλακισμένων». Τα αποτελέσματα παρέχονται από προσομοιώσεις. Παράγεται μια ντετερμινιστική εξίσωση καθυστέρησης για τη μέση στρατηγική του πληθυσμού και εξάγεται μια αναλυτική έκφραση για το κρίσιμο σημείο διακλάδωσης. Συμπερασματικά, είναι δυνατό για έναν ασθενέστερο παράγοντα να ευημερήσει λόγω της περίσσειας ισχυρότερων ανταγωνιστών.

Η κβαντική θεωρία παιγνίων (Κ.Θ.Π.) είναι μια ενίσχυση της κλασικής GT. Στην πραγματικότητα, το Κ.Θ.Π. είναι η εξέλιξη του κλασικού GT με την προσθήκη κβαντικών θεωρητικών κανόνων και λογικής. Το Κ.Θ.Π. ήρθε για να προσθέσει νέες ιδέες και εναλλακτικές επιλογές στις ήδη γνωστές και χρησιμοποιημένες λύσεις προβλημάτων. Το πεδίο του GT έχει εμπλουτιστεί με διαφορετικές, πιο σύνθετες προσεγγίσεις και σημαντικά ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά. Η πληθώρα των στρατηγικών και των κινήσεων των παικτών στο Κ.Θ.Π. οδηγεί σε νέες λύσεις και νέες στρατηγικές κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού. Έχει αποδειχθεί ότι οι κβαντικές τακτικές οδηγούν σε καλύτερα αποτελέσματα από την κλασική εκδοχή της. Τα κβαντικά παιχνίδια μπορούν να οριστούν ως κβαντικά συστήματα όπου δύο ή περισσότεροι πράκτορες αλληλεπιδρούν με ποσοτικοποιημένες κινήσεις.

Μια άλλη εργασία που πρότεινε ένα κβαντικό μοντέλο παιχνιδιού PD είναι αυτό των Eisert, Wilkens και Lewenstein [237]. Το 2000, ο Eisert Wilkens [235] επέκτεινε την προηγούμενη εργασία ορίζοντας τους όρους του κβαντικού παιχνιδιού και της κβαντικής στρατηγικής και προτείνοντας αρκετές κβαντικές στρατηγικές που υπερβαίνουν τις κλασικές στρατηγικές. Μετά τη δημοσίευση αυτών των δύο θεμελιωδών εργασιών, παρατηρείται η εμφάνιση πολυάριθμων εργασιών σχετικά με το κβαντικό μοντέλο που πρότεινε ο Eisert. Ο Eisert et al. πρότεινε ένα φυσικό κβαντικό μοντέλο παιχνιδιού PD. Αποδεικνύεται ότι οι κβαντικές στρατηγικές οδηγούν στην απόδραση από το δίλημμα. Επίσης, πρότειναν μια στρατηγική που ανταμείβει πάντα έναν κλασικό παίκτη.

Οι κβαντικές στρατηγικές έχει αποδειχθεί ότι ωφελούν τον κβαντικό παίκτη έναντι του κλασικού τους αντίστοιχου στο PD. Στην πραγματικότητα, ορισμένα μοναδικά χαρακτηριστικά είναι διαθέσιμα για κβαντικούς παίκτες με τα οποία το κλασικό GT δεν είναι εξοικειωμένο. Ειδικά η εμπλοκή είναι ένα κρίσιμο χαρακτηριστικό στο Κ.Θ.Π. που δίνει υπεροχή στις κβαντικές στρατηγικές. Διαπιστώθηκε ότι η κβαντοποίηση δεν μπορεί να λύσει πλήρως το δίλημμα για το παιχνίδι «Battle of the Sexes», ενώ μπορεί να κάνει για το PD και το Stag Hunt, εάν γίνουν οι κατάλληλοι συσχετισμοί για τις στρατηγικές των παικτών. Εν συντομία, η κβαντική εμπλοκή μπορεί να αντιμετωπίσει κλασικά διλήμματα για ορισμένα παιχνίδια και τα παιχνίδια για τα οποία αυτό είναι δυνατό μπορούν να κριθούν από τους κλασικούς πίνακες αποπληρωμής. Μια άλλη πιθανή προοπτική για μελλοντική εργασία είναι η προσπάθεια δημιουργίας ενός κβαντικού μοντέλου για μια διαφορετική έκδοση PD [524]. Το παιχνίδι Hawk-Dove και το Battle of the Sexes έχουν ήδη μελετηθεί σε κβαντικό πλαίσιο.

Κεφάλαιο 6

Θεωρία Αυτομάτων

Τα αυτόματα θεωρούνται απλά μηχανήματα ως προς τη σχεδιαστική τους πολυπλοκότητα, αλλά αποτελούν ιδανικά μοντέλα για την αναπαράσταση και μοντελοποίηση προβλημάτων και καταστάσεων που χρήζουν περαιτέρω μελέτης. Επιλέγονται σε περίπλοκες συνθήκες, όπου η λύση πρέπει να βρεθεί με διαφορετική προσέγγιση από τις συνηθισμένες μαθηματικές εξισώσεις. Τα αυτόματα χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση μιας ποικιλίας προβλημάτων, τόσο στην επιστήμη των υπολογιστών, όσο και σε άλλους κλάδους. Χρησιμοποιούνται επίσης στη Θ.Π. για τη μοντελοποίηση παιχνιδιών και διαδικασιών λήψης αποφάσεων. Είναι μαθηματικά μοντέλα με συγκεκριμένη δομή και δέχονται εισροές και εξόδους με βάση το υπό εξέταση πρόβλημα.

Τα αυτόματα, παρά την απλότητά τους, αποτελούν ιδανικά μοντέλα ανάλυσης και απεικόνισης πολύπλοκων καταστάσεων, καθώς προσφέρουν λύσεις και διαφορετική οπτική στα υπάρχοντα προβλήματα. Η πρώτη προσπάθεια συνδυασμού της θεωρίας των αυτομάτων και του GT ήταν το 1981. Η χρήση των αυτομάτων για τη μοντελοποίηση στρατηγικών έχει ξεχωριστά πλεονεκτήματα. Προσφέρουν εκτεταμένες δυνατότητες ανάλυσης, σε σύγκριση με άλλα εργαλεία, καθώς και ευελιξία στην επίδειξη θεωρητικά στρατηγικών επιλογών που δεν μπορούν εύκολα να οριστούν διαφορετικά [543]. Επιπλέον, το πιθανό κόστος πολυπλοκότητας της στρατηγικής είναι ένα άλλο βασικό μέρος στη θεωρία των αυτομάτων [124].

”Μη συμβατικός Υπολογισμός” σημαίνει την εφαρμογή μη τυποποιημένων μεθόδων και μοντέλων στους υπολογιστές. Είναι ένα πρόσφατα καθιερωμένο πεδίο, με πολλά ενδιαφέροντα και πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα.

Ένα πολύ γνωστό ζήτημα για την Επιστήμη των Υπολογιστών είναι ότι ο νόμος του Moore (μια δήλωση ότι η ισχύς του υπολογιστή διπλασιάζεται κάθε δύο χρόνια με το ίδιο κόστος) τείνει να φτάσει στους φυσικούς του περιορισμούς. Ο νόμος του Moore, οι μηχανές von Neumann κ.λπ. αποτελούν μέρη του κλασικού υπολογιστικού μοντέλου. Λόγω αυτών των περιορισμών, η επιστημονική κοινότητα φαίνεται να έχει μια τάση να περιστρέφεται γύρω από νέους «εναλλακτικούς» τρόπους και μεθόδους υπολογισμού. Αυτές οι μέθοδοι ονομάζονταν μη συμβατικές μέθοδοι.

Γενικά, ο μη συμβατικός υπολογισμός είναι ένα ευρύ φάσμα νέων ή ασυνήθιστων προτεινόμενων υπολογιστικών μοντέλων. Ένα μέρος αυτών των υπολογιστικών μοντέλων είναι ο φυσικός υπολογισμός.

Μπορούμε να ορίσουμε τον φυσικό υπολογισμό ως τη διαδικασία που μας κάνει να σκεφτόμαστε «φυσικά» για τις υπολογιστικές διαδικασίες [593]. Οι υπολογιστές εμπνευσμένοι από τη φύση έχουν αναδειχθεί ως ένα αποτελεσματικό παράδειγμα για το σχεδιασμό και την προσομοίωση καινοτόμων υπολογιστικών μοντέλων εμπνευσμένων από φυσικά φαινόμενα για την επίλυση πολύπλοκων μη γραμμικών και δυναμικών προβλημάτων. Μερικά από τα γνωστά υπολογιστικά συστήματα και αλγόριθμοι εμπνευσμένοι από τη φύση είναι

[218]

1. Εξελικτικοί αλγόριθμοι εμπνευσμένοι από βιολογικά συστήματα.

2. Αλγόριθμοι νοημοσύνης Swarm εμπνευσμένοι από τη συμπεριφορά του σμήνους/ομάδας των πρακτόρων.
3. Κοινωνικοί και πολιτιστικοί αλγόριθμοι εμπνευσμένοι από ανθρώπινες αλληλεπιδράσεις και πεποιθήσεις στην κοινωνία.
4. Αλγόριθμοι εμπνευσμένοι από κβαντικά, εμπνευσμένοι από την κβαντική φυσική.

Τα πεπερασμένα αυτόματα (FA) μπορούν να βοηθήσουν όχι μόνο στη μελέτη των λειτουργιών του υπολογιστή, αλλά και στη λειτουργία του εγκεφάλου. Πολλές μελέτες επιλέγουν τα αυτόματα, ειδικά το FA, ως τρόπο μοντελοποίησης παιχνιδιών και λήψης αποφάσεων. Ανδρόνικος κ.ά. κατασκεύασε πεπερασμένα αυτόματα για να μοντελοποιήσει όλες τις πιθανές καταστάσεις του παιχνιδιού PQ και για τους δύο παίκτες και ένα ημιαυτόματο που εκφράζει όλα τα πιθανά πεπερασμένα παιχνίδια μεταξύ Q (το κβαντικό παίκτη) και Picard (το κλασικό) [52]. Τα αυτόματα χρησιμοποιούνται επίσης για την ανάλυση νευρωνικών δικτύων [543]. Κάποιοι προτιμούν τις μηχανές του Moore να το κάνουν αυτό, ως πιο κατάλληλο εργαλείο [681]. Τα FA είναι μαθηματικά μοντέλα με διακριτές εισόδους και εξόδους που μπορούν να οπτικοποιηθούν μια ιδέα και να δώσουν συγκεκριμένη δομή σε αυτήν.

Τα κυψελωτά αυτόματα (CA) εισήχθησαν για πρώτη φορά από τον John von Neumann [782] και έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς στη μοντελοποίηση βιολογικών συστημάτων [215]. Είναι μοντέλα υπολογισμού παρόμοια με τη φυσική που αποτελούνται βασικά από μια σειρά παρόμοιων κυψελών που περιέχουν έναν πεπερασμένο αριθμό πιθανών καταστάσεων. Λόγω της φύσης τους που μοιάζει με τη φυσική, υπήρξε μια πρώιμη πρόταση να ποσοτικοποιηθεί αυτό το μοντέλο [261]. Το "Game of Life" [664], [185] του Conway είναι το πιο δημοφιλές δισδιάστατο CA στη βιβλιογραφία και επίσης καθολικό για υπολογισμούς. Πιθανώς το πιο γνωστό CA είναι το «Game of Life» του Conway, ένα δισδιάστατο CA που έχει αποδειχθεί ότι είναι καθολικό για υπολογισμούς, με την έννοια ότι οποιαδήποτε μηχανή Turing (TM) μπορεί να κωδικοποιηθεί στην αρχική της κατάσταση και στη συνέχεια να εκτελεστεί από εξέλιξη του CA. Καθώς τα TM συχνά θεωρούνται ως ένας ισχυρός ορισμός του «τι είναι ένας αλγόριθμος» στην κλασική επιστήμη των υπολογιστών, αυτό παρέχει ένα βασικό αποτέλεσμα στην έρευνα ΑΠ. Ωστόσο, μπορούν να επιτευχθούν περισσότερα με τη χρήση CA από την απλή εκτέλεση οποιουδήποτε αλγορίθμου. Εκτελούν κατανεμημένους αλγόριθμους με κατανεμημένο τρόπο, μοντελοποιούν φαινόμενα μαζί με τη χωρική τους δομή και επιτρέπουν τη χρήση του χωρικού παραλληλισμού που είναι εγγενής στο μοντέλο. Οι Martinez et al. παρουσιάζουν στο [521] ένα φυσιολογικό CA με τάση να μιμείται την αντίδραση και τη διάχυση σε χημικά συστήματα, εφαρμόζοντας μια λογική CA. Το μοντέλο τους χρησιμοποιεί κανάλια στατικών μοτίβων και ο υπολογισμός βασίζεται σε μοτίβα διάδοσης βροχοπτώσεων. Στη δουλειά των Adamatzky et al. [6] προτείνονται παιχνίδια που παίζονται σε CA εναντίον όλων των γειτόνων όπου ο τύπος τους ενημερώνεται με βάση την υψηλότερη απόδοσή τους.

Στο [243], οι συγγραφείς παρουσιάζουν μια διακριτή ΑΠ σε ένα δισδιάστατο πλέγμα, το οποίο βασίζεται σε έναν αλγόριθμο τυχαίας βάδισης, όπου συνυπάρχουν και αλληλεπιδρούν διαφορετικές αποικίες βακτηρίων. Σκοπός αυτής της προσομοίωσης είναι η κατανόηση των κοινωνικοβιολογικών συμπεριφορών μεταξύ των βακτηρίων, είτε συνεργάζονται είτε ανταγωνίζονται μεταξύ τους. Gerlee et al. in [303] παρουσιάζουν CA για ανάπτυξη συμπαγούς όγκου. Κάθε κύτταρο έχει ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο απόκρισης μικροπεριβάλλοντος. Αυτά τα δίκτυα έχουν ως είσοδο περιβαλλοντικές μεταβλητές και παράγουν την κυτταρική συμπεριφορά. Η μοντελοποίηση του καρκίνου σε συνδυασμό με την CA εισήχθη από τους Düchting και Vogelsaenger στο [229] προκειμένου να δοκιμαστούν τα αποτελέσματα της ακτινοθεραπείας. Patel et al. in [622] και Anderson in [37] χρησιμοποιούν ένα υβριδικό μοντέλο CA για τον γλυκολυτικό φαινότυπο και την εισβολή του όγκου αντίστοιχα. Τα στοιχεία του CA αλληλεπιδρούν με συνεχή πεδία χημικών.

Στο [22] οι ερευνητές προτείνουν κλασικά και κβαντικά αυτόματα Battle of the Sexes (BoS), ένα άλλο κλασικό παιχνίδι GT και EGT αντίστοιχα. Παρουσιάζουν ένα χωροταξικό BoS που μοιά-

ζει με CA στην κλασική και κβαντική διατύπωσή του, και ένα για την κατάσταση όπου ο ένας παίκτης έχει κλασικές στρατηγικές και ο άλλος κβαντικό. Το κβαντικό νόμισμα και μπορεί να μοντελοποιηθεί από ένα κβαντικό αυτόματο πλέγματος όπως παρουσιάζεται στο [275]. Το δίλημμα των φυλακισμένων διαμορφώθηκε επίσης σε ένα δισδιάστατο πλέγμα στο [739] για να καταδείξει τη χωρική πάλη της συνεργασίας και του ελαττώματος στο [590]. Τα άτομα ξεκινούν τον πρώτο γύρο ενάντια στους γείτονές τους και στο τέλος του γύρου προσαρμόζουν τις στρατηγικές τους με βάση αυτή με την υψηλότερη απόδοση. Διακρίνουμε τη δυναμική της μίμησης στη [194] και πολλά ενδιαφέροντα χωρικά μοτίβα μπορούν να παραχθούν σε [543] και [23].

Επίσης, ο Huberman στο [381] πρότεινε μια συσχέτιση μεταξύ του Διλήμματος των φυλακισμένων και των εξελικτικών παιχνιδιών με προσομοιώσεις υπολογιστή και CA. Οι Abreu και Rubinstein στο [4] προτείνουν ένα μοντέλο στο οποίο δύο παίκτες επιλέγουν ένα πεπερασμένο αυτόματο για να παίξουν το άπειρο RPD. Σε περίπτωση που δύο αυτόματα οδηγούν σε ίση απόδοση, ο παίκτης επιλέγει το λιγότερο περίπλοκο. Το θέμα είναι ότι οι παίκτες αντιπροσωπεύουν μια εξελικτική διαδικασία, με τα αυτόματα να αντιπροσωπεύουν την εξέλιξη κατά τα προηγούμενα παιχνίδια του παιχνιδιού. Ο Rubinstein μελετά ένα παιχνίδι όπου οι στρατηγικές των δύο παικτών εκφράζονται ως FA. Ο κύριος σκοπός, φυσικά, είναι η μέγιστη απόδοση για κάθε παίκτη και ο ελάχιστος αριθμός καταστάσεων των μηχανών του. Τα αποτελέσματα της μελέτης του έδειξαν ότι η συνεργασία δεν είναι η λύση στο άπειρο RPD [681].

Ο Axelrod και ο Hamilton στο [75] συνέβαλαν πολύ στην «εξέλιξη της συνεργασίας.» Προτείνουν μια στρατηγική "tit-for-tat" για το άπειρο RPD. Ο Axelrod ισχυρίζεται ότι ένα ωραίο μηχανήμα είναι αυτό που δεν ελαττώνεται πρώτα και το "tit-for-tat" θεωρείται τέτοιο. Ο Binmore in [124] μοντελοποίησε τις στρατηγικές των παικτών του RPD ως FA. Ο [23] εξηγεί το Quantum CA (QCA) για PD. Αποδεικνύεται ότι με το QCA, λόγω της στρατηγικής μίμησης μεταξύ γειτόνων, οι παίκτες επιλέγουν αμοιβαία συνεργασία. Η μνήμη των προηγούμενων γύρων θα μπορούσε να είναι ανασταλτικός παράγοντας και μπορεί να επιβραδύνει τη λήψη αποφάσεων Ως αποτέλεσμα, εάν οι κβαντικοί παίκτες θυμούνται τις προηγούμενες κινήσεις, οι κλασσικοί παίκτες θα μπορούσαν να καταλήξουν με υψηλότερες αποδόσεις.

Μια χωρική κβαντική διατύπωση του παιχνιδιού του επαναλαμβανόμενου διλήμματος κρατουμένων (PD) μελετάται σε αυτήν την εργασία. Το παιχνίδι παίζεται με τον τρόπο κυψελωτών αυτόματα (CA), δηλαδή με τοπική και σύγχρονη αλληλεπίδραση. Η εξέλιξη επιτυγχάνεται μέσω της μίμησης του καλύτερου γείτονα. Στο σενάριο κβαντικό έναντι κβαντικού, φαίνεται πώς η αυξανόμενη εμπλοκή υποστηρίζει την αύξηση της κύριας απόδοσης σε όλο το πλέγμα, από την τιμωρία (η δεύτερη χαμηλότερη παράμετρος PD) χωρίς εμπλοκή, μέχρι την ανταμοιβή (η δεύτερη υψηλότερη παράμετρος PD) με μέγιστη εμπλοκή. Αυτή η μετάβαση είναι αρκετά ομαλή στο σενάριο των τριών παραμέτρων και με ένα είδος μετάβασης φάσης στο πλαίσιο των δύο παραμέτρων. Στο άδικο σενάριο κβαντικής έναντι κλασικής, η επίδραση της εμπλοκής φαίνεται να είναι πολύ πιο περίπλοκη. Έτσι, πάνω από το μεσαίο επίπεδο εμπλοκής, ο κβαντικός παίκτης έξω εκτελεί τον κλασικό παίκτη, αλλά για τα επίπεδα του παράγοντα εμπλοκής κάτω, αλλά πλησιάζει, το μεσαίο επίπεδο εμπλοκής, απροσδόκητα ο κλασικός παίκτης έξω εκτελεί τον κβαντικό παίκτη [24].

Η προσθήκη μιας τέτοιας μοντελοποίησης στο πεδίο της Θ.Π. προσφέρει πλεονεκτήματα όσον αφορά την ανάλυση προβλημάτων σε σύγκριση με άλλες τεχνικές, αλλά επίσης αποκαλύπτει μια διαφορετική οπτικοποίηση των στρατηγικών μέσα στο παιχνίδι, κάτι που μπορεί να μην είναι προφανές διαφορετικά. Στη θεωρία των αυτομάτων, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην πολυπλοκότητα των στρατηγικών που προκύπτουν.

Ο Suwais[737] σε έρευνά του αξιολόγησε διαφορετικές παραλλαγές αυτομάτων. Φαίνεται[20] ότι τα πεπερασμένα αυτόματα ανταποκρίνονται καλύτερα σε περιπτώσεις στρατηγικών ενώ τα κυτταρικά σε πιο περίπλοκα περιβάλλοντα.

6.1 Αυτόματα και Εξελικτική Βιολογία

Η συμπεριφορά των βακτηρίων μελετήθηκε επίσης από τους Kerr et al. [441] χρησιμοποιώντας το παιχνίδι “Rock-Paper-Scissors” με τη μορφή αυτομάτων. Είχαν τρία ανταγωνιστικά είδη και κατέληξαν να δείξουν ότι οι μη ιεραρχικές ανταγωνιστικές σχέσεις μπορούν στην πραγματικότητα να προωθήσουν την ποικιλομορφία.

Τα Κυτταρικά Αυτόματα (Cellular Automata - CA), ένας ειδικός τύπος αυτόματων, χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μοντελοποίηση βιολογικών συστημάτων και αλληλεπιδράσεων. Ο σχεδιασμός τους είναι μοναδικός, καθώς αποτελούνται από κελιά που αντιπροσωπεύουν όλες τις πιθανές καταστάσεις. Ένα κλασικό δισδιάστατο CA είναι αυτό που σχεδιάστηκε για το “Game of Life” του Conway. Τα CA χρησιμοποιούνται επίσης για τη μοντελοποίηση της αντίδρασης και της διάχυσης σε χημικά συστήματα, με μια μορφή που μοιάζει ρεαλιστική. Τα CA είναι ιδανικά για τη μοντελοποίηση καταστάσεων που περιλαμβάνουν ένα παιχνίδι μεταξύ γειτόνων και τις αλληλεπιδράσεις τους [6]. Προτάθηκε ένα CA με βάση έναν αλγόριθμο τυχαίας βάδισης για την απεικόνιση διαφορετικών βακτηριακών πληθυσμών και την αλληλεπίδρασή τους. Με τη βοήθεια αυτού του αυτόματου, η κατανόηση των συμπεριφορών των βακτηρίων μεταξύ ενός πληθυσμού γίνεται πιο απλή [243].

Η κυτταρική μοντελοποίηση για το σκοπό της μελέτης της διεισδυτικότητας των γλοιοβλαστωμάτων με χρήση Θ.Π. και φαινοτύπων προτάθηκε από τους Mansury et al. στο [515]. Το CA έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση χωρικών μοντέλων αντί για τα κλασικά διαφορικά μοντέλα με εξισώσεις. Αντιπροσωπεύουν πληθυσμούς και δομημένα περιβάλλοντα. Τα CA έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για την κατανόηση της βιοποικιλότητας και του τρόπου με τον οποίο προκύπτει. Έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη του τρόπου με τον οποίο τα ποσοστά μεταλλάξεως επηρεάζουν το παιχνίδι. Τα βακτήρια επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται ανίχνευση απαρτίας (QS). Ένα δισδιάστατο CA έχει προταθεί για την αναπαράστασή τους [199]. Η χρήση των αυτομάτων μεμβράνης, τα οποία έχουν εμπνευστεί από τη βιολογία, για τη μοντελοποίηση βιομοριακών διεργασιών έχει διερευνηθεί στο [311].

Το PD ως δισδιάστατο πλέγμα προσφέρει καλύτερη συνεργασία και στρατηγικές ελαττωμάτων [590]. Λόγω της επανάληψης του παιχνιδιού σε γύρους, οι παίκτες προσαρμόζουν τις κινήσεις τους στο τέλος κάθε γύρου για μέγιστη απόδοση.

6.2 Αυτόματα και Κβαντική Θεωρία Παιγνίων

Η δυναμική της μίμησης μελετάται και τα χωρικά μοτίβα βρίσκονται στο [23]. Το PD εξετάστηκε επίσης από την εξελικτική του σκοπιά μέσω προσομοιώσεων υπολογιστή, καθώς και μέσω της οπτικοποίησής του σε CA. Επιπλέον, οι Alonso et al. στο [23] εισήγαγε το κβαντικό CA για το ίδιο παιχνίδι, όπου φαίνεται βέλτιστο για τους παίκτες να συνεργάζονται αμοιβαία λόγω της στρατηγικής μίμησης. Σε περίπτωση που το παιχνίδι εξελιχθεί σε περισσότερους από έναν γύρους, ο κβαντικός παίκτης φαίνεται να μένει πίσω και υπάρχει πιθανότητα ακόμη και να χάσει σε σύγκριση με τον κλασικό παίκτη.

Αυτό έγινε για δύο βασικούς λόγους. Πρώτον, στο QCA ο υπολογισμός συμβαίνει χωρίς εξωτερικό (περιττό) έλεγχο, εξαλείφοντας έτσι μια πηγή αποσυννοχής, η οποία είναι πρόβλημα για την εφαρμογή QC. Δεύτερον, αποτελούν ένα καλό πλαίσιο για τη μελέτη της κβαντικής προσομοίωσης ενός κβαντικού συστήματος, το οποίο προβλέπεται να είναι μια σημαντική εφαρμογή του QC. Από την σκοπιά της Επιστήμης Υπολογιστών, υπάρχουν άλλοι λόγοι για να μελετήσετε το QCA, όπως η μελέτη διαστημικά ευαίσθητων προβλημάτων στην επιστήμη των υπολογιστών σε κβαντική ρύθμιση ή με περισσότερα πλήρη και τυπικά μοντέλα φυσικής ικανότητας υπολογισμού.

Όσον αφορά το QCA, ο Watrous [801] απέδειξε ότι το QCA είναι καθολικό με την έννοια του QTM. Οι Shepherd, Franz και Werner [696] όρισαν μια κατηγορία QCA όπου το μοναδιαίο U_i σκέδασης αλλάζει σε κάθε βήμα i (CCQCA). Η καθολικότητα στην έννοια του κυκλώματος

έχει επιτευχθεί από τους Van Dam [205], Cirac και Vollbrecht [779], Nagaj και Wocjan [557] και Raussendorf [659].

Βασισμένοι στην προηγούμενη έρευνα και στο ίδιο παιχνίδι (pq-penny flip) προέκυψε το 2018 η επόμενη εργασία [52]. Σε αυτό το άρθρο, διερευνούμε όλα τα πιθανά πεπερασμένα παιχνίδια που μπορούν να παιχτούν μεταξύ των δύο παικτών Q και Picard του αρχικού παιχνιδιού PQ. Ξεκινώντας από το αυτόματο που αντιστοιχεί στο αρχικό παιχνίδι, κατασκευάζουμε πιο περίτεχνα αυτόματα για ορισμένες επεκτάσεις του παιχνιδιού, πριν τελικά παρουσιάσουμε ένα ημιαυτόματο που καταγράφει την εγγενή συμπεριφορά όλων των πιθανών παραλλαγών του παιχνιδιού PQ.

Η συμβολή αυτού του άρθρου [423] έγκειται στην εκτεταμένη έρευνα που παρουσιάζει σχετικά με τα εξελικτικά παιχνίδια και τη θεωρία αυτομάτων. Αυτή η εργασία παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη σύνδεση μεταξύ της βιολογίας και των εξελισσόμενων πληθυσμών με την κλασική και κβαντική εξελικτική θεωρία παιγνίων και εξηγεί τα οφέλη των μη συμβατικών μεθόδων υπολογιστών στη μελέτη τέτοιων φαινομένων.

Η σύνδεση των κυρίαρχων στρατηγικών για τα κβαντικά παιχνίδια με τα κβαντικά αυτόματα έχει καθιερωθεί στο [309]. Η κβαντοποίηση των αυτομάτων έχει προταθεί από το 1986, λόγω της χρηστικότητάς τους ως μοντέλα.

Το Battle of the Sexes (BoS), ένα από τα εμβληματικά παιχνίδια τόσο της εξελικτικής όσο και της κλασικής Θ.Π., αποδόθηκε με τη μορφή χωρικών κλασικών και κβαντικών αυτομάτων αντίστοιχα στο [22]. Σε αυτή την περίπτωση, ο ένας από τους δύο παίκτες ήταν κλασικός παίκτης και ο άλλος κβαντικός παίκτης. Στο BoS, υπάρχει συνήθως ένα ζευγάρι που μαλώνει για το πού θα συναντηθούν το βράδυ. Το ένα άτομο θέλει να πάει σε ένα παιχνίδι, ενώ το άλλο θέλει να πάει στην όπερα (οι λεπτομέρειες ποικίλλουν ανάλογα με την έκδοση). Θέλουν να βγουν έξω, αλλά όχι στο ίδιο μέρος. Αυτό είναι ένα ασύμμετρο παιχνίδι που θυμίζει πολύ το παιχνίδι γεράκι-περιστεριού. Σε αυτή την περίπτωση, το άτομο του οποίου η επιλογή θα είναι η τελική απόφαση έχει τη μεγαλύτερη απόδοση.

		Παίκτης 1 - Αγώνας	
		Αγώνας	Όπερα
Παίκτης 2 - Όπερα	Όπερα	Καβγάς	Παίκτης 2
	Αγώνας	Παίκτης 1	Καβγάς

Πίνακας 10. Πίνακας κέρδους του παιχνιδιού “Η μάχη των δύο φύλων”

Κεφάλαιο 7

Συζήτηση – Συμπεράσματα – Μελλοντικές επεκτάσεις

Οι αρχές του GT παρέχουν ένα θεωρητικό πλαίσιο για την κατανόηση της εξέλιξης των βιολογικών αλληλεπιδράσεων. Το EGT ισχύει για οργανισμούς που αλληλεπιδρούν επανειλημμένα, τόσο εντός ενός πληθυσμού όσο και σε σχέση με την εξέλιξη του χρόνου. Σε ειδικές περιπτώσεις, προκύπτουν ESS κατά τις οποίες μια συγκεκριμένη στρατηγική υιοθετείται από όλα τα μέλη ενός πληθυσμού και εναλλακτικές στρατηγικές (μεταλλαγμένοι φαινότυποι) δεν μπορούν να εισβάλουν και να εκτοπίσουν το ESS. Η ευελιξία του GT επιτρέπει τη δοκιμή σύνθετων μικτών στρατηγικών και την ενσωμάτωση ανταμοιβής και τιμωρίας σε εξελικτικές στρατηγικές. Το πιο σημαντικό, το GT αποδεικνύει ότι η εξέλιξη της συνεργασίας και του αλτρουισμού συνάδει με την εξέλιξη μέσω της φυσικής επιλογής.

Η κβαντική θεωρία παιγνίων, με συνεχώς αυξανόμενες εφαρμογές σε εξελικτικά προβλήματα, έχει τεράστια οφέλη, καθώς συνδυάζει τις αρχές της GT, EGT και της κβαντικής μηχανικής αντίστοιχα. Η οπτικοποίηση αυτών των αποτελεσμάτων και μοντέλων με τη βοήθεια αυτομάτων, τόσο κλασικών όσο και κβαντικών, επιτρέπει τη βαθύτερη κατανόηση και προσαρμογή τους στις ιδιαιτερότητες του προβλήματος. Σε τελική ανάλυση, αυτή η προσέγγιση έχει τη δυνατότητα να ενισχύσει σημαντικά τις δυνατότητές μας για ανάλυση συμπεριφοράς και επίλυση προβλημάτων που αφορούν βιολογικά συστήματα και πληθυσμούς.

Η Θεωρία Παιγνίων παρέχει τα μέσα για την κατανόηση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων προσαρμόζει την κλασική Θεωρία Παιγνίων έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί σε παράλογους παράγοντες, όπως εκείνους που κατοικούν στον μικρόκοσμο. Συνήθως, τα μικρόβια και τα βακτήρια δεν ενεργούν σύμφωνα με μια λογική διαδικασία. Συχνά οι ενέργειές τους βασίζονται σε άλλους μηχανισμούς που τα βοηθούν να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν. Σε αυτή τη μελέτη παρουσιάσαμε και εξηγήσαμε μερικά από τα παιχνίδια που παίζουν διάφορα είδη βακτηρίων. Ως μελλοντική επέκταση, μπορεί κανείς να εισαγάγει και να δοκιμάσει τα παιχνίδια που έχουμε παρουσιάσει σε αυτήν την εργασία σε εργαστηριακό περιβάλλον, ώστε να συλλέξει περαιτέρω πειραματικά αποτελέσματα και να αναλύσει τις υποκείμενες στρατηγικές.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής έρευνας παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με το χρονοδιάγραμμα. Αρχικά, προηγήθηκε η συγκέντρωση και κατανόηση της βιβλιογραφίας γύρω από το προς εξέταση παίγνιο σε κάθε περίπτωση. Μετά την κατανόηση του τρόπου εξέλιξης του παιχνιδιού και τις προτεινόμενες στρατηγικές, έγιναν προσπάθειες πρόβλεψης στρατηγικών με τη βοήθεια αυτομάτων (όπως στην περίπτωση [312],[52]).

Σε άλλες περιπτώσεις, η μελέτη των περιπτώσεων των παιχνιδιών, καθώς και οι τρόποι με τους οποίους θα μπορούσαν να ωφεληθούν άλλους κλάδους, πέρα από αυτούς για τους οποίους προτάθηκαν αρχικά, καθώς και συσχετισμός παιγνίων με σημαντικά προβλήματα ανεξαρτήτως πεδίου οδήγησε στις έρευνες [429], [423], [424], οι οποίες αφορούν κυρίως βιολογικά συστήματα και προσομοιώσεις συστημάτων με την βοήθεια της Θεωρίας Παιγνίων.

Στις τελευταίες δημοσιεύσεις (αυτές που έχουν γίνει δεκτές, όσο και αυτές που αναμένουμε σύντομα) έχουν συσχετισθεί και θεωρητικά αλλά και πειραματικά ιοί υπολογιστών με βιολογικούς ιούς, καθώς φαίνεται να παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες ως προς τη συμπεριφορά τους και προσπάθεια επίλυσης σημαντικών ιών υπολογιστών μέσω της μοντελοποίησης της μόλυνσης με τη μορφή παιχνιδιού.

Αυτό το έργο συνηγορεί υπέρ μιας νέας άποψης και παρέχει ένα σημείο εκκίνησης για μελλοντικούς πειραματισμούς. Θέσαμε τις βάσεις για μελλοντική έρευνα που περιλαμβάνει την προοπτική της θεωρίας παιγνίων συσχετίζοντας ιούς υπολογιστών με βιολογικούς. Εκτός από την καλύτερη κατανόηση του παράγοντα επιρροής τους σε ένα παιχνίδι, η μελέτη των χαρακτηριστικών και των συμπεριφορών και των παραλληλισμών τους μπορεί επίσης να υπονοήσει ότι οι διαδικασίες θεραπείας και απολύμανσης που λειτουργούν αποτελεσματικά στον βιολογικό κόσμο μπορεί να φαίνονται αποτελεσματικές μέσω κατάλληλης συσχέτισης με τον κόσμο των υπολογιστών. Καθώς η συμπεριφορική ανάλυση γίνεται πιο σημαντική, η θεωρία παιγνίων χρησιμεύει ως ενοποιητικό εργαλείο, με τα περισσότερα λογισμικά κατά του κακόβουλου λογισμικού να αναβαθμίζουν συνεχώς τα εργαλεία ανάλυσής τους. Η ανάλυση της δραστηριότητας του ιού και των συμπεριφορών των χρηστών μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών μέτρων ενάντια σε έναν αντίπαλο.

Μέσα από τη μελέτη της αλληλεπίδρασής τους με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων και μεθοδολογίας, μπορούν να προκύψουν εναλλακτικές στρατηγικές για την αντιμετώπιση βιολογικών λοιμώξεων και λοιμώξεων υπολογιστών. Επειδή τα αποτελέσματα της δοκιμής διείσδυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αλλάξουν τις τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στα παιχνίδια, τα προτεινόμενα εργαλεία και μεθοδολογίες θεωρίας παιχνιδιών θα μπορούσαν να είναι αποτελεσματικά για τη βελτίωση της δοκιμής διείσδυσης. Όταν αντιμετωπίζουμε πολλές καταστάσεις, η αξιολόγηση απειλών είναι ζωτικής σημασίας τόσο στη θεωρία όσο και στην πραγματικότητα, ειδικά σε περιβάλλοντα όπου τα δεδομένα είναι κρίσιμα. Επιπλέον, η ανάλυση κινδύνου, όπως καταδεικνύεται στους προηγούμενους πίνακες και διαγράμματα, είναι κρίσιμη για τον προσδιορισμό μιας στρατηγικής που θα παρέχει την καλύτερη συνολική ανταμοιβή.

Υπάρχουν ορισμένες πτυχές που συνήθως παραβλέπονται, παρά το γεγονός ότι είναι σημαντικές και θα μπορούσαν να αλλάξουν το αποτέλεσμα μιας επίθεσης. Προκειμένου να επιτευχθούν τα καλύτερα αποτελέσματα, συγκεκριμένοι χρήστες και τα χαρακτηριστικά τους θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή μιας στρατηγικής, επειδή η απλή επιλογή της καλύτερης ασφάλειας δεν λαμβάνει υπόψη κόστος όπως τιμή, πολυπλοκότητα, εφαρμογή κ.λπ. Για να είναι αποτελεσματικό, κάθε λειτουργικό πλαίσιο πρέπει να επιδεικνύει μια βαθύτερη κατανόηση ενός ιού και της τεχνικής μόλυνσης του. Τα σκουλήκια, για παράδειγμα, έχουν ένα πολύ παρόμοιο μολυσματικό μοτίβο και το προτεινόμενο πλαίσιο θα μπορούσε να ισχύει και για αυτά.

Το πρόβλημα Kolkata Paise Restaurant παρουσίασε ιδιαίτερο ενδιαφέρον και η νέα εκδοχή που προτείναμε μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς σε προβλήματα βελτιστοποίησης διαδρομής αναφορικά με τα ασθενοφόρα, αλλά και στην ίση κατανομή κλινών σε νοσοκομεία με μεγάλη ουρά αναμονής ασθενών.

Τέλος, το πιο σημαντικό αποτέλεσμα της έρευνας αυτής είναι η κβαντική εκδοχή δύο κερμάτων (βασισμένη σε παραδοσιακό παιχνίδι) και η μοντελοποίηση του παιχνιδιού στον κβαντικό υπολογιστή της IBM με τη βοήθεια του πακέτου qiskit. Αυτό είναι ίσως και το πιο ικανοποιητικό σημείο της έρευνας, καθώς εκτός από το θεωρητικό υπόβαθρο, υπάρχουν και πρακτικά αποτελέσματα με μορφή κώδικα σε γλώσσα python και σχηματικά προκύπτουν κυρίαρχες στρατηγικές για ένα παιχνίδι που διαμορφώθηκε στην αρχή θεωρητικά και πήρε την τελική του μορφή μέσα από την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων σε κβαντικό υπολογιστή.

Το Κβαντικό Ταψίλου, ένα νέο κβαντικό παιχνίδι εμπνευσμένο από το παλιό ελληνικό παιχνίδι ρίψης νομισμάτων Ταψίλου, παρουσιάζεται σε αυτό το έργο. Ενώ η παραδοσιακή μορφή του παιχνιδιού έχει μια απλή και ίση κατανομή πιθανοτήτων, με τους δύο παίκτες να έχουν ίσες πιθανότητες νίκης $\frac{1}{4}$, το Κβαντικό Ταψίλου προσφέρει έναν νέο βαθμό πολυπλοκότητας και δικαιοσύνης,

αξιοποιώντας τις αρχές της κβαντικής φυσικής. Και οι δύο παίκτες εξακολουθούν να έχουν ίσες πιθανότητες να κερδίσουν στο Κβαντικό Ταψίλου, αλλά οι πιθανότητές τους τώρα τροποποιούνται από τις προηγούμενες επιλογές τους και την εφαρμογή των κβαντικών αρχών. Το Κβαντικό Ταψίλου βασίζεται στις ακόλουθες δύο θεμελιώδεις εξελίξεις.

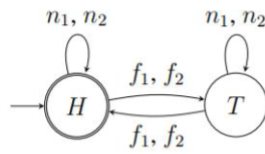
Μπλεγμένες καταστάσεις με ίσα πλάτη πιθανότητας μπορούν να δημιουργηθούν χρησιμοποιώντας πύλες περιστροφής αντί για τις συνήθως χρησιμοποιούμενες πύλες Hadamard. Η Κβαντικό Ταψίλου χρησιμοποιεί πύλες περιστροφής, συγκεκριμένα πύλες περιστροφής R_y , για να δημιουργήσει καταστάσεις τύπου Bell με διαφορετικά πλάτη πιθανότητας, προσθέτοντας πολυπλοκότητα στη δυναμική του παιχνιδιού. Το Κβαντικό Ταψίλου ενσωματώνει Ομάδες με την έννοια ότι και οι δύο παίκτες συμφωνούν σε μια συγκεκριμένη ομάδα κυκλικής εναλλαγής τάξης n , όπου το n θα πρέπει να είναι ένας αρκετά μεγάλος ακέραιος αριθμός για να προσφέρει στους παίκτες περισσότερες επιλογές και να αυξάνει τον ενθουσιασμό του παιχνιδιού. Αυτή η ομάδα χρησιμεύει ως βάση του παιχνιδιού και οι δύο παίκτες επιλέγουν περιστροφές από αυτό για να εκτελέσουν τις ενέργειές τους χρησιμοποιώντας τις συσχετισμένες πύλες περιστροφής R_y . Η επιλογή αυτής της ομάδας και οι συγκεκριμένες εναλλαγές εντός αυτής έχουν ουσιαστικό αντίκτυπο στο αποτέλεσμα του παιχνιδιού, ενσωματώνοντας μια στρατηγική πτυχή που βασίζεται στη θεωρία της ομάδας. Το Κβαντικό Ταψίλου διατηρεί το χαρακτηριστικό της δικαιοσύνης του κλασικού παιχνιδιού Ταψίλου ενώ φέρνει πολυπλοκότητα και ποικιλία στις πιθανότητες νίκης ενσωματώνοντας αυτές τις κβαντικές έννοιες και τη θεωρία ομάδων. Για να μεγιστοποιήσουν τις πιθανότητές τους να κερδίσουν σε αυτή τη μοναδική κβαντική προσαρμογή ενός αρχαίου ελληνικού παιχνιδιού, οι παίκτες πρέπει να αξιολογήσουν προσεκτικά τις επιλογές περιστροφής τους εντός της συμφωνημένης ομάδας καθώς και τις μπερδεμένες καταστάσεις που σχηματίζονται από τις πύλες περιστροφής R_y . Αυτό το παράδειγμα υπογραμμίζει την κρίσιμη σημασία των ομάδων για τη διατήρηση της δικαιοσύνης στα κβαντικά παιχνίδια, κάτι που συνάδει με τα συμπεράσματα μιας προηγούμενης μελέτης που δημοσιεύτηκε στο [42], η οποία διαπίστωσε ότι τα συμμετρικά κβαντικά παιχνίδια στα οποία και οι δύο παίκτες αντλούν τις κινήσεις τους από την ίδια ομάδα είναι εγγενώς δίκαια.

Τον πρώτο χρόνο των διδακτορικών σπουδών υπήρξε εξοικείωση με την υπάρχουσα βιβλιογραφία γύρω από την κλασική και κβαντική Θεωρία Παιγνίων. Ερευνήθηκαν τα υπάρχοντα παιχνίδια της κλασικής Θεωρίας Παιγνίων, με έμφαση στα παιχνίδια που έχουν και κβαντική εκδοχή. Για τα παίγνια της κβαντικής Θεωρίας Παιγνίων μελετήθηκε εκτενώς ο τρόπος κβαντοποίησής τους. Ακόμη πιο συγκεκριμένα, η έρευνα επικεντρώθηκε και στα παιχνίδια (κλασικά και κβαντικά) τα οποία έχουν συσχετιστεί με μη συμβατικές μεθόδους υπολογισμού (μοντελοποίηση και επίλυση τους μέσω υπολογιστικών συστημάτων όπως είναι τα αυτόματα). Σημαντικό κομμάτι της έρευνας αποτέλεσαν επίσης και τα εξελικτικά παιχνίδια και η εξελικτική πλευρά μερικών κλασικών παιχνιδιών και η αναπαράσταση αυτών με μη συμβατικές μεθόδους υπολογισμού και αυτόματα. Η μελέτη αφορά και τους τύπους αυτομάτων που έχουν προταθεί και χρησιμοποιούνται στη Θεωρία Παιγνίων (κλασικά και κβαντικά αυτόματα) για τη διευκόλυνση επίλυσης και μοντελοποίησης των καταστάσεων. Μετά την ικανοποιητική ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, ακολούθησαν μια σειρά από δημοσιεύσεις σε συνέδρια και περιοδικά διεθνούς κύρους, σχετικά με τους τομείς έρευνας (όπως παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο). Στο επόμενο εξάμηνο, αναμένεται η δημοσίευση τριών ακόμη άρθρων σε επιστημονικά περιοδικά διεθνούς κύρους, σχετικών με τα ήδη δημοσιευμένα άρθρα, καθώς και η ολοκλήρωση της συγγραφής της διδακτορικής διατριβής.

7.1 Ερευνητικά ερωτήματα και μελλοντικές προεκτάσεις

Η πρώτη έρευνα σχετικά με τον συσχετισμό κβαντικών παιχνιδιών και αυτομάτων δημοσιεύθηκε το 2015 [312]. Αναδεικνύει τη σχέση αυτομάτων με την κβαντική θεωρία παιγνίων και τον συσχετισμό αυτομάτων με νικηφόρες στρατηγικές κβαντικών παιχνιδιών. Συνδέει κυρίαρχες στρατηγικές επαναλαμβανόμενων κβαντικών παιχνιδιών με κβαντικά αυτόματα που αναγνωρί-

ζουν άπειρες περιοδικές εισόδους. Ως αναφορά, χρησιμοποιήσαμε το κβαντικό παιχνίδι pq-penny όπου η κβαντική στρατηγική υπερτερεί της επιλογής καθαρής ή μικτής στρατηγικής.



Εικόνα 50. Ένα απλό DFA αυτόματο για τη ρίψη νομίσματος όπως παρουσιάστηκε στην έρευνα [312]

Βασισμένοι στην προηγούμενη έρευνα και στο ίδιο παιχνίδι (pq-penny flip) προέκυψε το 2018 η επόμενη εργασία μας [52]. Σε αυτό το άρθρο, διερευνούμε όλα τα πιθανά πεπερασμένα παιχνίδια που μπορούν να παιχτούν μεταξύ των δύο παικτών Q και Picard του αρχικού παιχνιδιού PQ. Ξεκινώντας από το αυτόματο που αντιστοιχεί στο αρχικό παιχνίδι, κατασκευάζουμε πιο περίτεχνα αυτόματα για ορισμένες επεκτάσεις του παιχνιδιού, πριν τελικά παρουσιάσουμε ένα ημιαυτόματο που καταγράφει την εγγενή συμπεριφορά όλων των πιθανών παραλλαγών του παιχνιδιού PQ.

Αυτές οι αρχικές έρευνες ήταν απόρροια της έρευνας γύρω από το παιχνίδι του στρινίματος του νομίσματος. Άλλη μια εργασία προς δημοσίευση προέκυψε από αυτή την έρευνα και αφορά στα δύο κβαντικά κέρματα, όπου αυξάνει η πολυπλοκότητα των στρατηγικών και των κινήσεων των παικτών, αλλά και η εκτέλεση του

προτεινόμενου παιχνιδιού στον κβαντικό υπολογιστή της IBM με τη βοήθεια του πακέτου qiskit.

Άρκετές έρευνες προέκυψαν και από την μελέτη των εξελικτικών παιχνιδιών, καθότι παρουσιάζουν ένα πολύ ενδιαφέρον πεδίο διερεύνησης. Σε αυτή την εργασία μας [429], διερευνάται και αναφέρεται η βιβλιογραφία του Prisoners' Dilemma (κλασική και κβαντική μορφή). Το Prisoners' Dilemma είναι ένα πολύ γνωστό παιχνίδι στη θεωρία παιγνίων με πολλές παραλλαγές και εφαρμογές σε διάφορους τομείς. Η προσθήκη κβαντικών στρατηγικών σε αυτό το παιχνίδι ανοίγει νέες δυνατότητες και αλλάζει σημαντικά τις ισορροπίες του παιχνιδιού.

Η συμβολή αυτού του άρθρου [423] έγκειται στην εκτεταμένη έρευνα που παρουσιάζει σχετικά με τα εξελικτικά παιχνίδια και τη θεωρία αυτομάτων. Αυτή η εργασία παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη σύνδεση μεταξύ της βιολογίας και των εξελισσόμενων πληθυσμών με την κλασική και κβαντική εξελικτική θεωρία παιγνίων και εξηγεί τα οφέλη των μη συμβατικών μεθόδων υπολογιστών στη μελέτη τέτοιων φαινομένων.

Η Εξελικτική Θεωρία Παιγνίων εστιάζει σε πληθυσμούς και μικροοργανισμούς, όπως τα βακτήρια, και μελετά τις αλληλεπιδράσεις τους όταν θεωρούνται παιχνίδια. Αυτή η εργασία [426] στοχεύει να είναι μια ολοκληρωμένη παρουσίαση των παιχνιδιών που παίζουν τα μικρόβια και συγκεκριμένα τα βακτήρια κατά τη διάρκεια της ζωής τους.

Αποκορύφωμα της έρευνας γύρω από τα εξελικτικά παιχνίδια, αποτελεί το πρόσφατα δημοσιευμένο κεφάλαιο [424]. Οι αρχές της Θεωρίας Παιγνίων μπορεί να ισχύουν για πολλά προβλήματα στη βιολογία, προσφέροντας μια εναλλακτική προσέγγιση και πρόσθετη γνώση. Οι οργανισμοί που μελετώνται σε αυτό το κεφάλαιο είναι τα μικρόβια, τα βακτήρια και τα κύτταρα. Το πεδίο της Εξελικτικής Θεωρίας Παιγνίων προσπαθεί να κατανοήσει τους τρόπους που χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση της βιωσιμότητας των πληθυσμών, της διαφορετικότητας και πολλών άλλων σημαντικών συμπεριφορών.

Η έρευνα γύρω από την εξελικτική θεωρία παιγνίων γέννησε και την ιδέα για τον συσχετισμό των βιολογικών ιών με τους ιούς που μολύνουν υπολογιστές. Από την έρευνα μας, προέκυψε ότι οι ιοί υπολογιστών έχουν παρόμοια μοτίβα και συμπεριφορές με τους βιολογικούς αντιστοιχούς τους, κάτι που μπορεί να βοηθήσει στην απομάκρυνση επίμονων ιών υπολογιστών με στρατηγικές που εφαρμόζονται σε βιολογικά συστήματα [457]. Αυτή η εργασία επιχειρεί να συσχετίσει έναν πολύ γνωστό ιό, τον Virlock, με τον βακτηριοφάγο φ6. Επιπλέον, το άρθρο προτείνει ορισμένες αποτελεσματικές στρατηγικές και πρακτικούς τρόπους που μπορεί να μειώσουν τη μόλυνση από τον Virlock και παρόμοιους τέτοιους ιούς. Θέλουμε να πραγματοποιήσουμε εργαστηριακές δοκιμές για τη διάδοση ιών υπολογιστών σε δίκτυα μεσαίου και μικρού μεγέθους στο μέλλον. Από αυτή την άποψη, η ανάπτυξη νέων παιχνιδιών και πινάκων απόδοσης με βάση τις πραγματικές συνθήκες για μια ευρύτερη ποικιλία χρηστών θα είναι επωφελής. Πιστεύουμε ότι η εξελικτική

θεωρία παιγνίων παρέχει τα απαραίτητα εργαλεία για την καλύτερη παρακολούθηση των αλλαγών του ιού και το σχεδιασμό μέτρων κατά των λοιμώξεων. Για το σκοπό αυτό, σκοπεύουμε να διεκρινούμε τις τρέχουσες συνθέσεις και να αξιολογήσουμε περαιτέρω την αποτελεσματικότητά τους όσον αφορά την απολύμανση, την ικανότητα επάλειψης και τη σκληρότητα. Ας ελπίσουμε ότι αυτό θα μας επιτρέψει να συγκεντρώσουμε ακόμη πιο αντικειμενικά και ρεαλιστικά μέτρα από τα σχετικά παιχνίδια σχετικά με τη σοβαρότητα ενός ιού υπολογιστή σε διαφορετικά σενάρια, την πιθανότητα απολύμανσης και εάν ορισμένες συγκεκριμένες τακτικές είναι πιο αποτελεσματικές για αυτού του είδους τον ιό. Επιπλέον, θέλουμε να δούμε αν ισχύουν διαδικασίες όπως η φυσική επιλογή και οι σχετικές λειτουργίες στις ρυθμίσεις του υπολογιστή.

Τέλος, η δύναμη των εμπνευσμένων από τα κβαντικά αλγορίθμων έγκειται στην ικανότητά τους να συνδυάζουν καινοτόμα χαρακτηριστικά και ανώτερα αποτελέσματα. Αυτό το κεφάλαιο [619] είναι μια προσπάθεια να δοθεί μια συνοπτική αλλά περιεκτική ανασκόπηση της τρέχουσας κατάστασης στον τομέα της μεθευρετικής που βασίζεται σε κβαντική έμπνευση, ιδιαίτερα προσανατολισμένη προς εκείνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υπάρχοντες κβαντικούς υπολογιστές.

Η προηγούμενη έρευνα σε συνδυασμό με το πρόβλημα του περιπλανώμενου πωλητή, γέννησαν την ιδέα της επόμενης δημοσίευσης [431]. Το πρόβλημα Kolkata Paise Restaurant είναι ένα προκλητικό παιχνίδι. Η προσέγγισή μας αντιλαμβάνεται τις τοποθεσίες των εστιατορίων ως ομοιόμορφα κατανομημένες στην πόλη. Αυτή η αλλαγή στην προοπτική έχει βαθιές προεκτάσεις στην τοπολογική διάταξη των εστιατορίων, γεγονός που καθιστά πλέον ρεαλιστικό να υποθέσουμε ότι κάθε παίκτης έχει δεύτερη ευκαιρία. Κάθε παίκτης μπορεί να επισκεφτεί, σε περίπτωση αποτυχίας, περισσότερα από ένα εστιατόρια, εντός των προκαθορισμένων χρονικών περιορισμών.

Η προσθήκη της κβαντικής θεωρίας στον τομέα της EGT θα πρέπει να αποδειχθεί εξαιρετικά επωφελής, εν όψει των νέων δυνατοτήτων που υπόσχεται το QT και έχει ήδη αποδειχθεί στο QGT. Αναμένεται να παρέχει τα εργαλεία που θα επιτρέψουν στους ερευνητές να μοντελοποιήσουν τη δυναμική της εξέλιξης του πληθυσμού και ακόμη πιο ποικίλα βιολογικά φαινόμενα με θεωρητικές μηχανές, όπως αυτόματα, είτε κλασικά είτε κβαντικά, και γνωστά παιχνίδια από την κλασική GT. Λόγω της απλής φύσης και λειτουργίας τους, που είναι εύκολα κατανοητά σε διαισθητικό επίπεδο, τα παιχνίδια και τα αυτόματα είναι η πρώτη επιλογή όταν πρόκειται για μοντελοποίηση και ανάλυση συμπεριφορών και προβλημάτων που σχετίζονται με βιολογικά συστήματα και πληθυσμούς. Για να δώσουμε ένα συγκεκριμένο παράδειγμα, υπάρχουν προκλήσεις για τους βιολόγους, όπως προσαρμοστικές μεταλλάξεις, οι οποίες μπορούν να επιλυθούν με κβαντικές θεωρητικές αρχές, όπως τα Κβαντικά Μοντέλα Προσαρμοστικών Μεταλλάξεων.

Φαίνεται ότι η βιβλιογραφία στερείται μελέτης για την εξελικτική βιολογία και το QGT. Θα μπορούσε να είναι ενδιαφέρον και κατά την άποψή μου ωφέλιμο να μοντελοποιήσουμε βιολογικά συστήματα και συμπεριφορές με κβαντικά παιχνίδια και όχι μόνο να εφαρμόσουμε την κβαντική μηχανική στη βιολογία (κβαντική βιολογία). Υπάρχουν ενδείξεις στη βιβλιογραφία ότι ο συνδυασμός αυτών των πεδίων θα μπορούσε να οδηγήσει σε κβαντικά αυτοαναπαράγόμενα αυτόματα [594].

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [2] Julisa Bana Abraham, Oyas Wahyunggoro και Noor Akhmad Setiawan. «An Effective Quantum Inspired Genetic Algorithm for Continuous Multiobjective Optimization». Στο: *2019 5th International Conference on Science in Information Technology (ICSITech)*. IEEE. 2019, σσ. 161–166.
- [4] Dilip Abreu και Ariel Rubinstein. «The structure of Nash equilibrium in repeated games with finite automata». Στο: *Econometrica: Journal of the Econometric Society* (1988), σσ. 1259–1281.
- [6] Andrew Adamatzky. *Game of life cellular automata*. Τόμ. 1. Springer, 2010.
- [20] Sally Almasra, Khaled Suwais και Muhammad Rafie. «The Applications of Automata in Game Theory». Στο: *Intelligent Technologies and Techniques for Pervasive Computing* (2013), σσ. 204–217.
- [22] Ramón Alonso-Sanz. «A quantum battle of the sexes cellular automaton». Στο: *Proc. R. Soc. A* (2012), rspa20120161.
- [23] Ramón Alonso-Sanz. «A quantum prisoner’s dilemma cellular automaton». Στο: *Proc. R. Soc. A* 470.2164 (2014), σ. 20130793.
- [24] Ramón Alonso-Sanz. «Variable entangling in a quantum prisoner’s dilemma cellular automaton». Στο: *Quantum Information Processing* 14.1 (2015), σσ. 147–164.
- [25] Ramón Alonso-Sanz. «On the effect of quantum noise in a quantum prisoner’s dilemma cellular automaton». Στο: *Quantum Information Processing* 16 (2017), σσ. 1–21.
- [37] Alexander RA Anderson. «A hybrid mathematical model of solid tumour invasion: the importance of cell adhesion». Στο: *Mathematical medicine and biology: a journal of the IMA* 22.2 (2005), σσ. 163–186.
- [38] Alexander RA Anderson, Mohamed Hassanein, Kevin M Branch, Jenny Lu, Nichole A Lobdell, Julie Maier, David Basanta, Brandy Weidow, Archana Narasanna, Carlos L Arteaga κ.ά. «Microenvironmental independence associated with tumor progression». Στο: *Cancer research* 69.22 (2009), σσ. 8797–8806.
- [42] Theodore Andronikos. «Conditions that enable a player to surely win in sequential quantum games». Στο: *Quantum Information Processing* 21.7 (Ιούλ. 2022). DOI: 10.1007/s11128-022-03604-8.
- [48] Theodore Andronikos και Alla Sirokofskich. «The Connection between the PQ Penny Flip Game and the Dihedral Groups». Στο: *Mathematics* 9.10 (Μάι. 2021), σ. 1115. DOI: 10.3390/math9101115.
- [51] Theodore Andronikos, Alla Sirokofskich, Kalliopi Kastampolidou, Magdalini Varvouzou, Konstantinos Giannakis και Alexander Singh. «Finite Automata Capturing Winning Sequences for All Possible Variants of the PQ Penny Flip Game». Στο: *Mathematics* 6.2 (Φεβ. 2018), σ. 20. DOI: 10.3390/math6020020.

- [52] Theodore Andronikos, Alla Sirokofskich, Kalliopi Kastampolidou, Magdalini Varvouzou, Konstantinos Giannakis και Alexander Singh. «Finite automata capturing winning sequences for all possible variants of the PQ penny flip game». Στο: *Mathematics* 6.2 (2018), σ. 20.
- [73] Robert Axelrod. «Effective choice in the prisoner's dilemma». Στο: *Journal of conflict resolution* 24.1 (1980), σσ. 3–25.
- [74] Robert Axelrod, David E Axelrod και Kenneth J Pienta. «Evolution of cooperation among tumor cells». Στο: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103.36 (2006), σσ. 13474–13479.
- [75] Robert Axelrod και William Donald Hamilton. «The evolution of cooperation». Στο: *science* 211.4489 (1981), σσ. 1390–1396.
- [82] Dorte Lau Baggesen, Gitte Sørensen, EM Nielsen και Henrik Caspar Wegener. «Phage typing of Salmonella Typhimurium—is it still a useful tool for surveillance and outbreak investigation?» Στο: *Eurosurveillance* 15.4 (2010), σ. 19471.
- [100] Elchanan Ben-Porath. «Repeated games with finite automata». Στο: *Journal of Economic Theory* 59.1 (1993), σσ. 17–32.
- [124] Kenneth G Binmore και Larry Samuelson. «Evolutionary stability in repeated games played by finite automata». Στο: *Journal of economic theory* 57.2 (1992), σσ. 278–305.
- [127] Dieter Blaas. «Viral entry pathways: the example of common cold viruses». Στο: *Wiener Medizinische Wochenschrift* 166.7 (2016), σσ. 211–226.
- [129] Jeffrey Boase και Barry Wellman. «A plague of viruses: biological, computer and marketing». Στο: *Current sociology* 49.6 (2001), σσ. 39–55.
- [131] Katrin Bohl, Sabine Hummert, Sarah Werner, David Basanta, Andreas Deutsch, Stefan Schuster, Günter Theißen και Anja Schroeter. «Evolutionary game theory: molecules as players». Στο: *Molecular BioSystems* 10.12 (2014), σσ. 3066–3074.
- [132] Katrin Bohl, Sabine Hummert, Sarah Werner, David Basanta, Andreas Deutsch, Stefan Schuster, Günter Theißen και Anja Schroeter. «Evolutionary game theory: molecules as players». Στο: *Molecular BioSystems* 10.12 (2014), σσ. 3066–3074.
- [133] Immanuel M Bomze. «Lotka-Volterra equation and replicator dynamics: a two-dimensional classification». Στο: *Biological cybernetics* 48.3 (1983), σσ. 201–211.
- [142] M Broom, C Cannings και GT Vickers. «Multi-player matrix games». Στο: *Bulletin of mathematical biology* 59.5 (1997), σσ. 931–952.
- [143] Mark Broom και Jan Rychtár. *Game-theoretical models in biology*. CRC Press, 2013.
- [147] James Burridge, Yu Gao και Yong Mao. «Delayed response in the Hawk Dove game». Στο: *The European Physical Journal B* 90 (2017), σσ. 1–6.
- [163] Damien Challet και Y-C Zhang. «Emergence of cooperation and organization in an evolutionary game». Στο: *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 246.3-4 (1997), σσ. 407–418.
- [166] Kay-Yut Chen και Tad Hogg. «How well do people play a quantum prisoner's dilemma?» Στο: *Quantum Information Processing* 5.1 (2006), σσ. 43–67.
- [167] Lily Chen, Lily Chen, Stephen Jordan, Yi-Kai Liu, Dustin Moody, Rene Peralta, Ray Perlner και Daniel Smith-Tone. *Report on post-quantum cryptography*. Τόμ. 12. US Department of Commerce, National Institute of Standards και Technology, 2016.
- [177] Fred Cohen. «Computer viruses: theory and experiments». Στο: *Computers & security* 6.1 (1987), σσ. 22–35.

- [184] Peter L Conlin, Josephine R Chandler και Benjamin Kerr. «Games of life and death: antibiotic resistance and production through the lens of evolutionary game theory». Στο: *Current opinion in microbiology* 21 (2014), σσ. 35–44.
- [185] John Conway. «The game of life». Στο: *Scientific American* 223.4 (1970), σ. 4.
- [190] CC Cowden. «Game theory, evolutionary stable strategies and the evolution of biological interactions». Στο: *Nature Education Knowledge* 3.6 (2012).
- [192] John L Craig. «Are communal pukeko caught in the prisoner's dilemma?» Στο: *Behavioral Ecology and Sociobiology* 14 (1984), σσ. 147–150.
- [193] Jonas Cremer, Anna Melbinger και Erwin Frey. «Growth dynamics and the evolution of cooperation in microbial populations». Στο: *Scientific reports* 2 (2012), σ. 281.
- [194] Ross Cressman. *The stability concept of evolutionary game theory: a dynamic approach*. Τόμ. 94. Springer Science & Business Media, 2013.
- [199] Tamás Czárán και Rolf F Hoekstra. «Microbial communication, cooperation and cheating: quorum sensing drives the evolution of cooperation in bacteria». Στο: *PLoS one* 4.8 (2009), e6655.
- [205] Wim van Dam. «Quantum cellular automata». Στο: *Master's Thesis, Computer Science Institute, University of Nijmegen, The Netherlands* (1996).
- [215] Andreas Deutsch και Sabine Dormann. *Cellular Automaton Modeling of Biological Pattern Formation: Characterization, Applications, and Analysis*. 2005.
- [218] Sandip Dey, Siddhartha Bhattacharyya και Ujjwal Maulik. «New quantum inspired meta-heuristic techniques for multi-level colour image thresholding». Στο: *Applied Soft Computing* 46 (2016), σσ. 677–702. ISSN: 1568-4946. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2015.09.042>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494615006146>.
- [223] Trevor Douglas και Mark Young. «Viruses: making friends with old foes». Στο: *Science* 312.5775 (2006), σσ. 873–875.
- [224] Jiangfeng Du, Chenyong Ju και Hui Li. «Quantum entanglement helps in improving economic efficiency». Στο: *Journal of Physics A: Mathematical and General* 38.7 (2005), σ. 1559.
- [225] Jiangfeng Du, Hui Li, Xiaodong Xu, Xianyi Zhou και Rongdian Han. «Entanglement enhanced multiplayer quantum games». Στο: *Physics Letters A* 302.5-6 (2002), σσ. 229–233.
- [226] Jiangfeng Du, Xiaodong Xu, Hui Li, Xianyi Zhou και Rongdian Han. «Entanglement playing a dominating role in quantum games». Στο: *Physics Letters A* 289.1-2 (2001), σσ. 9–15.
- [227] Jiangfeng Du, Xiaodong Xu, Hui Li, Xianyi Zhou και Rongdian Han. «Playing prisoner's dilemma with quantum rules». Στο: *Fluctuation and Noise Letters* 2.04 (2002), R189–R203.
- [229] W Düchting και Th Vogelsaenger. «Analysis, forecasting, and control of three-dimensional tumor growth and treatment». Στο: *Journal of medical systems* 8.5 (1984), σσ. 461–475.
- [232] Steven N Durlauf και Lawrence E Blume. «Game theory and biology». Στο: *Game Theory*. Springer, 2010, σσ. 119–126.
- [235] Jens Eisert και Martin Wilkens. «Quantum games». Στο: *Journal of Modern Optics* 47.14-15 (2000), σσ. 2543–2556.

- [236] Jens Eisert, Martin Wilkens και Maciej Lewenstein. «Quantum games and quantum strategies». Στο: *Physical Review Letters* 83.15 (1999), σ. 3077. DOI: 10.1103/physrevlett.83.3077.
- [237] Jens Eisert, Martin Wilkens και Maciej Lewenstein. «Quantum games and quantum strategies». Στο: *Physical Review Letters* 83.15 (1999), σ. 3077.
- [243] Pablo Gómez Esteban και Alfonso Rodríguez-Patón. «Simulating a rock-scissors-paper bacterial game with a discrete cellular automaton». Στο: *International Work-Conference on the Interplay Between Natural and Artificial Computation*. Springer. 2011, σσ. 363–370.
- [244] Sandeepa M Eswarappa. «Location of pathogenic bacteria during persistent infections: insights from an analysis using game theory». Στο: *PloS one* 4.4 (2009), e5383.
- [249] Wei Fang, Jun Sun, Huanhuan Chen και Xiaojun Wu. «A decentralized quantum-inspired particle swarm optimization algorithm with cellular structured population». Στο: *Information Sciences* 330 (2016), σσ. 19–48. DOI: 10.1016/j.ins.2015.09.055.
- [255] Dominique Feillet, Pierre Dejax και Michel Gendreau. «Traveling Salesman Problems with Profits». Στο: *Transportation Science* 39.2 (Μάι. 2005), σσ. 188–205. ISSN: 1526-5447. DOI: 10.1287/trsc.1030.0079.
- [259] Cédric Feschotte και Clément Gilbert. «Endogenous viruses: insights into viral evolution and impact on host biology». Στο: *Nature Reviews Genetics* 13.4 (2012), σσ. 283–296.
- [261] Richard P Feynman. «Quantum mechanical computers». Στο: *Foundations of physics* 16.6 (1986), σσ. 507–531.
- [263] Richard P. Feynman. «Simulating physics with computers». Στο: *International Journal of Theoretical Physics Int J Theor Phys* 21.6-7 (1982), σσ. 467–488. DOI: 10.1007/bf02650179.
- [265] Richard Phillips Feynman, JG Hey και Robin W Allen. «Feynman lectures on computation». Στο: (1998).
- [275] Adrian P Flitney. «Aspects of quantum game theory». Διδακτορική διατρ. 2005.
- [276] Adrian P Flitney. «Multiplayer quantum Minority game with decoherence». Στο: *Fluctuations and Noise in Photonics and Quantum Optics III*. Τόμ. 5842. International Society for Optics και Photonics. 2005, σσ. 175–183.
- [278] Adrian P Flitney και Derek Abbott. «An introduction to quantum game theory». Στο: *Fluctuation and Noise Letters* 2.04 (2002), R175–R187.
- [279] Adrian P Flitney και Derek Abbott. «Advantage of a quantum player over a classical one in 2×2 quantum games». Στο: *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. Τόμ. 459. 2038. The Royal Society. 2003, σσ. 2463–2474.
- [280] Adrian P Flitney και Derek Abbott. «Quantum games with decoherence». Στο: *Journal of Physics A: Mathematical and General* 38.2 (2004), σ. 449.
- [281] Adrian P Flitney, Joseph Ng και Derek Abbott. «Quantum Parrondo's games». Στο: *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 314.1-4 (2002), σσ. 35–42.
- [283] MM Flood, M Dresher, AW Tucker και F Device. «Prisoner's Dilemma: Game Theory». Στο: *Experimental Economics* (1950).
- [288] Erwin Frey και Tobias Reichenbach. «Bacterial games». Στο: *Principles of Evolution*. Springer, 2011, σσ. 297–329.

- [300] Robert A Gatenby και Thomas L Vincent. «Application of quantitative models from population biology and evolutionary game theory to tumor therapeutic strategies». Στο: *Molecular cancer therapeutics* 2.9 (2003), σσ. 919–927.
- [301] Piotr Gawron, Dariusz Kurzyk και Łukasz Pawela. «Decoherence effects in the quantum qubit flip game using Markovian approximation». Στο: *Quantum Information Processing* 13.3 (2014), σσ. 665–682.
- [303] Philip Gerlee και Alexander RA Anderson. «An evolutionary hybrid cellular automaton model of solid tumour growth». Στο: *Journal of theoretical biology* 246.4 (2007), σσ. 583–603.
- [304] Asim Ghosh, Soumyajyoti Biswas, Arnab Chatterjee, Anindya Sundar Chakrabarti, Tapan Naskar, Manipushpak Mitra και Bikas K Chakrabarti. «Kolkata paise restaurant problem: An introduction». Στο: *Econophysics of Systemic Risk and Network Dynamics*. Springer, 2013, σσ. 173–200.
- [309] Konstantinos Giannakis και Theodore Andronikos. «Membrane automata for modeling biomolecular processes». Στο: *Natural Computing* 16.1 (Σεπτ. 2015), σσ. 151–163. DOI: 10.1007/s11047-015-9518-1.
- [311] Konstantinos Giannakis, Christos Papalitsas, Kalliopi Kastampolidou, Alexandros Singh και Theodore Andronikos. «Dominant Strategies of Quantum Games on Quantum Periodic Automata». Στο: *Computation* 3.4 (Νοέ. 2015), σσ. 586–599. DOI: 10.3390/computation3040586.
- [312] Konstantinos Giannakis, Christos Papalitsas, Kalliopi Kastampolidou, Alexandros Singh και Theodore Andronikos. «Dominant strategies of quantum games on quantum periodic automata». Στο: *Computation* 3.4 (2015), σσ. 586–599.
- [314] Konstantinos Giannakis, Christos Papalitsas, Georgia Theocharopoulou, Sofia Fanarioti και Theodore Andronikos. «A Quantum-inspired optimization Heuristic for the Multiple Sequence Alignment Problem in Bio-computing». Στο: *2019 10th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA)*. IEEE. 2019, σσ. 1–8.
- [317] Konstantinos Giannakis, Georgia Theocharopoulou, Christos Papalitsas, Sofia Fanarioti και Theodore Andronikos. «Quantum Conditional Strategies and Automata for Prisoners' Dilemmata under the EWL Scheme». Στο: *Applied Sciences* 9.13 (Ιούν. 2019), σ. 2635. DOI: 10.3390/app9132635.
- [323] Konstantinos Gkiotsalitis, Zongxiang Wu και Oded Cats. «A cost-minimization model for bus fleet allocation featuring the tactical generation of short-turning and interlining options». Στο: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 98 (2019), σσ. 14–36.
- [325] Valentin Gogonea και Kenneth M Merz. «Fully quantum mechanical description of proteins in solution. Combining linear scaling quantum mechanical methodologies with the Poisson- Boltzmann equation». Στο: *The Journal of Physical Chemistry A* 103.26 (1999), σσ. 5171–5188.
- [326] Chaitanya S Gokhale και Arne Traulsen. «Evolutionary multiplayer games». Στο: *Dynamic Games and Applications* 4.4 (2014), σσ. 468–488.
- [342] Hong Guo, Juheng Zhang και Gary J Koehler. «A survey of quantum games». Στο: *Decision Support Systems* 46.1 (2008), σσ. 318–332.

- [347] Paul Isaac Hagouel και Ioannis G. Karafyllidis. «Quantum computers: Registers, gates and algorithms». Στο: *2012 28th International Conference on Microelectronics Proceedings*. Institute of Electrical και Electronics Engineers (IEEE), Μάι. 2012. DOI: 10.1109/miel.2012.6222789. URL: <http://dx.doi.org/10.1109/MIEL.2012.6222789>.
- [349] John Haigh και Chris Cannings. «The n-person war of attrition». Στο: *Acta Applicandae Mathematica* 14.1-2 (1989), σσ. 59–74.
- [352] William D Hamilton. «Extraordinary sex ratios». Στο: *Science* 156.3774 (1967), σσ. 477–488.
- [353] Peter Hammerstein και Reinhard Selten. «Game theory and evolutionary biology». Στο: *Handbook of game theory with economic applications* 2 (1994), σσ. 929–993.
- [355] Kuk-Hyun Han και Jong-Hwan Kim. «Quantum-inspired evolutionary algorithm for a class of combinatorial optimization». Στο: *IEEE transactions on evolutionary computation* 6.6 (2002), σσ. 580–593.
- [356] Kuk-Hyun Han, Kui-Hong Park, Ci-Ho Lee και Jong-Hwan Kim. «Parallel quantum-inspired genetic algorithm for combinatorial optimization problem». Στο: *Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation (IEEE Cat. No. 01TH8546)*. Τόμ. 2. IEEE. 2001, σσ. 1422–1429.
- [357] Douglas Hanahan και Robert A Weinberg. «Hallmarks of cancer: the next generation». Στο: *cell* 144.5 (2011), σσ. 646–674.
- [362] William Hayes κ.ά. «The genetics of bacteria and their viruses. Studies in basic genetics and molecular biology.» Στο: *The genetics of bacteria and their viruses. Studies in basic genetics and molecular biology*. (1964).
- [366] Eszter Herczenik και Martijn FBG Gebbink. «Molecular and cellular aspects of protein misfolding and disease». Στο: *The FASEB journal* 22.7 (2008), σσ. 2115–2133.
- [367] Esteban Guevara Hidalgo. «Quantum replicator dynamics». Στο: *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 369.2 (2006), σσ. 393–407.
- [373] Josef Hofbauer και Karl Sigmund. *Evolutionary games and population dynamics*. Cambridge university press, 1998.
- [381] Bernardo A Huberman και Natalie S Glance. «Evolutionary games and computer simulations». Στο: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 90.16 (1993), σσ. 7716–7718.
- [383] Sabine Hummert, Katrin Bohl, David Basanta, Andreas Deutsch, Sarah Werner, Günter Theißen, Anja Schroeter και Stefan Schuster. «Evolutionary game theory: cells as players». Στο: *Molecular BioSystems* 10.12 (2014), σσ. 3044–3065.
- [393] A Iqbal και AH Toor. «Evolutionarily stable strategies in quantum games». Στο: *Physics Letters A* 280.5-6 (2001), σσ. 249–256.
- [394] A Iqbal και AH Toor. «Darwinism in quantum systems?» Στο: *Physics Letters A* 294.5-6 (2002), σσ. 261–270.
- [395] A Iqbal και AH Toor. «Quantum mechanics gives stability to a Nash equilibrium». Στο: *Physical Review A* 65.2 (2002), σ. 022306.
- [401] Azhar Iqbal και AH Toor. «Equilibria of replicator dynamics in quantum games». Στο: *arXiv preprint quant-ph/0106135* (2001).
- [422] Kalliopi Kastampolidou και Theodore Andronikos. «A Survey of Evolutionary Games in Biology». Στο: *Advances in Experimental Medicine and Biology*. Springer International Publishing, 2020, σσ. 253–261. DOI: 10.1007/978-3-030-32622-7_23.

- [423] Kalliopi Kastampolidou και Theodore Andronikos. «A survey of evolutionary games in biology». Στο: *GeNeDis 2018* (2020), σσ. 253–261.
- [424] Kalliopi Kastampolidou και Theodore Andronikos. «Game Theory and Other Unconventional Approaches to Biological Systems». Στο: *Handbook of Computational Neurodegeneration*. Springer, 2021, σσ. 1–18.
- [425] Kalliopi Kastampolidou και Theodore Andronikos. «Microbes and the Games They Play». Στο: *GeNeDis 2020*. Springer International Publishing, 2021, σσ. 265–271. DOI: 10.1007/978-3-030-78787-5_32.
- [426] Kalliopi Kastampolidou και Theodore Andronikos. «Microbes and the games they play». Στο: *GeNeDis 2020*. Springer, 2021, σσ. 265–271.
- [428] Kalliopi Kastampolidou, Maria Nefeli Nikiforos και Theodore Andronikos. «A Brief Survey of the Prisoners' Dilemma Game and Its Potential Use in Biology». Στο: *Advances in Experimental Medicine and Biology*. Springer International Publishing, 2020, σσ. 315–322. DOI: 10.1007/978-3-030-32622-7_29.
- [429] Kalliopi Kastampolidou, Maria Nefeli Nikiforos και Theodore Andronikos. «A brief survey of the prisoners' dilemma game and its potential use in biology». Στο: *GeNeDis 2018* (2020), σσ. 315–322.
- [431] Kalliopi Kastampolidou, Christos Papalitsas και Theodore Andronikos. «DKPRG or how to succeed in the kolkata paise restaurant game via TSP». Στο: *arXiv preprint arXiv:2101.07760* (2021).
- [433] George K. Kavvadias. *Tapsilou: The New Year's gambling game in Corfu*. <https://drepani.gr/index.php/topika-nea/boria-kerkura/item/5329>. Accessed: 27.07.2021.
- [435] Roland Kay, Neil F Johnson και Simon C Benjamin. «Evolutionary quantum game». Στο: *Journal of Physics A: Mathematical and General* 34.41 (2001), σ. L547.
- [437] Artem Kaznatcheev, Jeffrey Peacock, David Basanta, Andriy Marusyk και Jacob G Scott. «Fibroblasts and alectinib switch the evolutionary games played by non-small cell lung cancer». Στο: *Nature ecology & evolution* 3.3 (2019), σσ. 450–456.
- [441] Benjamin Kerr, Margaret A Riley, Marcus W Feldman και Brendan JM Bohannan. «Local dispersal promotes biodiversity in a real-life game of rock–paper–scissors». Στο: *Nature* 418.6894 (2002), σ. 171.
- [442] Firas Khatib, Seth Cooper, Michael D Tyka, Kefan Xu, Ilya Makedon, Zoran Popović και David Baker. «Algorithm discovery by protein folding game players». Στο: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108.47 (2011), σσ. 18949–18953.
- [445] Erica Klarreich. «Generous players: Game theory explores the golden rule's place in biology». Στο: *Science News* 166.4 (2004), σσ. 58–60.
- [451] Olive C Kobusingye, Adnan A Hyder, David Bishai, Manjul Joshipura, Eduardo Romero Hicks και Charles Mock. «Emergency medical services». Στο: *Disease Control Priorities in Developing Countries. 2nd edition* (2006).
- [453] Natalia L Komarova, Anirvan Sengupta και Martin A Nowak. «Mutation–selection networks of cancer initiation: tumor suppressor genes and chromosomal instability». Στο: *Journal of theoretical biology* 223.4 (2003), σσ. 433–450.
- [454] Eugene V Koonin και Yuri I Wolf. «Evolution of microbes and viruses: a paradigm shift in evolutionary biology?». Στο: *Frontiers in cellular and infection microbiology* 2 (2012), σ. 119.

- [456] Dimitris Kostadimas, Kalliopi Kastampolidou και Theodore Andronikos. «Correlation of biological and computer viruses through evolutionary game theory». Στο: *2021 16th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation & Personalization (SMAP)*. IEEE, Νοέ. 2021. DOI: 10.1109/smap53521.2021.9610778.
- [457] Dimitris Kostadimas, Kalliopi Kastampolidou και Theodore Andronikos. «Correlation of biological and computer viruses through evolutionary game theory». Στο: *2021 16th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation & Personalization (SMAP)*. IEEE. 2021, σσ. 1–6.
- [458] István A Kovács, Máté S Szalay και Peter Csermely. «Water and molecular chaperones act as weak links of protein folding networks: energy landscape and punctuated equilibrium changes point towards a game theory of proteins». Στο: *FEBS letters* 579.11 (2005), σσ. 2254–2260.
- [468] Nica Latto. *Worm vs. Virus: What's the Difference and Does It Matter?* Μάι. 2021. URL: <https://www.avast.com/c-worm-vs-virus>.
- [480] Ming Lam Leung. «Classical vs Quantum Games: Continuous-time Evolutionary Strategy Dynamics». Στο: *arXiv preprint arXiv:1104.3953* (2011).
- [485] Richard C Lewontin. «Evolution and the theory of games». Στο: *Journal of theoretical biology* 1.3 (1961), σσ. 382–403.
- [490] Shuliang Li και D Huang. «Hybrid Quantum Games». Στο: (2017).
- [498] Bo-Yang Liu, Hong-Yi Dai και Ming Zhang. «Playing distributed two-party quantum games on quantum networks». Στο: *Quantum Information Processing* 16 (2017), σσ. 1–13.
- [504] Roswitha Löwer, Johannes Löwer και Reinhard Kurth. «The viruses in all of us: characteristics and biological significance of human endogenous retrovirus sequences.» Στο: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 93.11 (1996), σσ. 5177–5184.
- [505] Tzyy-Chyang Lu και Jyh-Ching Juang. «Quantum-inspired space search algorithm (QSSA) for global numerical optimization». Στο: *Applied Mathematics and Computation* 218.6 (2011), σσ. 2516–2532. DOI: 10.1016/j.amc.2011.07.067.
- [511] Sarangam Majumdar και Sukla Pal. «Bacterial intelligence: imitation games, time-sharing, and long-range quantum coherence». Στο: *Journal of cell communication and signaling* 11.3 (2017), σσ. 281–284.
- [515] Yuri Mansury, Mark Diggory και Thomas S Deisboeck. «Evolutionary game theory in an agent-based brain tumor model: exploring the ‘genotype–phenotype’ link». Στο: *Journal of theoretical biology* 238.1 (2006), σσ. 146–156.
- [518] Robert E Marks. *Repeated games and finite automata*. Citeseer, 1990.
- [521] Genaro J Martínez, Andrew Adamatzky, Kenichi Morita και Maurice Margenstern. «Computation with competing patterns in Life-like automaton». Στο: *Game of Life Cellular Automata*. Springer, 2010, σσ. 547–572.
- [524] Richard H McAdams. «Beyond the prisoners’ dilemma: Coordination, game theory, and law». Στο: *S. Cal. L. Rev.* 82 (2008), σ. 209.
- [527] Carlos A Melo-Luna, Cristian E Susa, Andrés F Ducuara, Astrid Barreiro και John H Reina. «Quantum locality in game strategy». Στο: *Scientific Reports* 7.1 (2017), σ. 44730.
- [528] Ke Meng, Hong Gang Wang, ZhaoYang Dong και Kit Po Wong. «Quantum-inspired particle swarm optimization for valve-point economic load dispatch». Στο: *IEEE transactions on power systems* 25.1 (2009), σσ. 215–222.

- [534] Thomas C Mettenleiter και Francisco Sobrino. *Animal viruses: molecular biology*. Τόμ. 1. Caister Academic Press Norfolk, 2008.
- [537] David A Meyer. «Quantum strategies». Στο: *Physical Review Letters* 82.5 (1999), σ. 1052.
- [540] Franziska Michor και Martin A Nowak. «The good, the bad and the lonely». Στο: *Nature* 419.6908 (2002), σσ. 677–679.
- [543] John H Miller. «The coevolution of automata in the repeated prisoner’s dilemma». Στο: *Journal of Economic Behavior & Organization* 29.1 (1996), σσ. 87–112.
- [544] Jarosław A Miszcza, Piotr Gawron και Zbigniew Puchała. «Qubit flip game on a Heisenberg spin chain». Στο: *Quantum Information Processing* 11.6 (2012), σσ. 1571–1583.
- [555] Roger B Myerson. «Nash equilibrium and the history of economic theory». Στο: *Journal of Economic Literature* 37.3 (1999), σσ. 1067–1082.
- [557] Daniel Nagaj και Pawel Wocjan. «Hamiltonian quantum cellular automata in one dimension». Στο: *Physical Review A* 78.3 (2008), σ. 032311.
- [567] A. Narayanan και M. Moore. «Quantum-inspired genetic algorithms». Στο: *Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation* (). DOI: 10.1109/icec.1996.542334.
- [568] Ajit Narayanan και Mark Moore. «Quantum-inspired genetic algorithms». Στο: *Proceedings of IEEE international conference on evolutionary computation*. IEEE. 1996, σσ. 61–66.
- [569] John Nash. «Non-cooperative games». Στο: *Annals of mathematics* (1951), σσ. 286–295.
- [571] NCBI. *National Center for Biotechnology Information*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?lvl=0&id=2928686>. Accessed: 2023-09-22.
- [579] Abraham Neyman. «Bounded complexity justifies cooperation in the finitely repeated prisoners’ dilemma». Στο: *Economics letters* 19.3 (1985), σσ. 227–229.
- [586] Adam Noel, Yuting Fang, Nan Yang, Dimitrios Makrakis και Andrew W Eckford. «Using Game Theory for Real-Time Behavioural Dynamics in Microscopic Populations with Noisy Signalling». Στο: *arXiv preprint arXiv:1711.04870* (2017).
- [587] NortonLifeLock. *What is a computer worm, and how does it work?* URL: <https://us.norton.com/internetsecurity-malware-what-is-a-computer-worm.html>.
- [590] Martin A Nowak και Robert M May. «Evolutionary games and spatial chaos». Στο: *Nature* 359.6398 (1992), σ. 826.
- [591] Martin A Nowak και Karl Sigmund. «Biodiversity: Bacterial game dynamics». Στο: *Nature* 418.6894 (2002), σ. 138.
- [593] De Castro Leandro Nunes. *Fundamentals of natural computing: basic concepts, algorithms, and applications*. Chapman Hall/CRC, 2006.
- [594] Vasily Ogryzko. «On two quantum approaches to adaptive mutations in bacteria». Στο: *arXiv preprint arXiv:0805.4316* (2008).
- [599] S Onodera, VM Olkkonen, P Gottlieb, J Strassman, XY Qiao, Dennis H Bamford και L Mindich. «Construction of a transducing virus from double-stranded RNA bacteriophage phi6: establishment of carrier states in host cells». Στο: *Journal of virology* 66.1 (1992), σσ. 190–196.
- [600] Martin J Osborne κ.ά. *An introduction to game theory*. Τόμ. 3. 3. Oxford university press New York, 2004.

- [609] Christos Papalitsas και Theodore Andronikos. «Unconventional GVNS for Solving the Garbage Collection Problem with Time Windows». Στο: *Technologies* 7.3 (2019), σ. 61.
- [617] Christos Papalitsas, Panayiotis Karakostas και Kalliopi Kastampolidou. «A quantum inspired GVNS: Some preliminary results». Στο: *GeNeDis 2016*. Springer, 2017, σσ. 281–289.
- [619] Christos Papalitsas, Kalliopi Kastampolidou και Theodore Andronikos. «Nature and Quantum-Inspired Procedures—A Short Literature Review». Στο: *GeNeDis 2020* (2021), σσ. 129–133.
- [622] Aalpen A Patel, Edward T Gawlinski, Susan K Lemieux και Robert A Gatenby. «A cellular automaton model of early tumor growth and invasion: the effects of native tissue vascularity and increased anaerobic tumor metabolism». Στο: *Journal of theoretical biology* 213.3 (2001), σσ. 315–331.
- [626] R.s. Pavithr και Gursaran. «Quantum Inspired Social Evolution (QSE) algorithm for 0-1 knapsack problem». Στο: *Swarm and Evolutionary Computation* 29 (2016), σσ. 33–46. DOI: 10.1016/j.swevo.2016.02.006.
- [628] Łukasz Paweł και Jan Śladkowski. «Cooperative quantum Parrondo’s games». Στο: *Physica D: Nonlinear Phenomena* 256 (2013), σσ. 51–57.
- [639] Edward W Piotrowski και Jan Śladkowski. «An invitation to quantum game theory». Στο: *International Journal of Theoretical Physics* 42.5 (2003), σσ. 1089–1099.
- [659] Robert Raussendorf. «Quantum cellular automaton for universal quantum computation». Στο: *Physical Review A* 72.2 (2005), σ. 022301.
- [664] Paul Rendell. «Turing Machine in Conway Game of Life». Στο: *Designing Beauty: The Art of Cellular Automata*. Springer, 2016, σσ. 149–154.
- [672] Kara Rogers κ.ά. *Bacteria and viruses*. Britannica Educational Publishing, 2010.
- [681] Ariel Rubinstein. «Finite automata play the repeated prisoner’s dilemma». Στο: *Journal of economic theory* 39.1 (1986), σσ. 83–96.
- [684] Jesus F Salazar-Gonzalez, Maria G Salazar, Brandon F Keele, Gerald H Learn, Elena E Giorgi, Hui Li, Julie M Decker, Shuyi Wang, Joshua Baalwa, Matthias H Kraus κ.ά. «Genetic identity, biological phenotype, and evolutionary pathways of transmitted/founder viruses in acute and early HIV-1 infection». Στο: *Journal of Experimental Medicine* 206.6 (2009), σσ. 1273–1289.
- [689] Patrick Schittekat, Joris Kinable, Kenneth Sörensen, Marc Sevaux, Frits Spieksma και Johan Springael. «A metaheuristic for the school bus routing problem with bus stop selection». Στο: *European Journal of Operational Research* 229.2 (2013), σσ. 518–528.
- [690] Daniel Schultz, Peter G Wolynes, Eshel Ben Jacob και José N Onuchic. «Deciding fate in adverse times: sporulation and competence in *Bacillus subtilis*». Στο: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106.50 (2009), σσ. 21027–21034.
- [692] Roded Sharan, Igor Ulitsky και Ron Shamir. «Network-based prediction of protein function». Στο: *Molecular systems biology* 3.1 (2007), σ. 88.
- [696] Daniel J Shepherd, Torsten Franz και Reinhard F Werner. «Universally programmable quantum cellular automaton». Στο: *Physical review letters* 97.2 (2006), σ. 020502.
- [701] Martin Shubik. «A game-theoretic approach to political economy: volume 2 of Game theory in the social sciences». Στο: (*No Title*) (1984).

- [704] Andrea I Silverman και Alexandria B Boehm. «Systematic review and meta-analysis of the persistence and disinfection of human coronaviruses and their viral surrogates in water and wastewater». Στο: *Environmental Science & Technology Letters* 7.8 (2020), σσ. 544–553.
- [706] JACQUELINE FRANZESE Sinclair, ALEXANDER Tzagoloff, DOROTHY Levine και L Mindich. «Proteins of bacteriophage phi6». Στο: *Journal of virology* 16.3 (1975), σσ. 685–695.
- [708] George Siopsis, Radhakrishnan Balu και Neal Solmeyer. «Quantum prisoners’ dilemma under enhanced interrogation». Στο: *Quantum Information Processing* 17 (2018), σσ. 1–12.
- [712] J Maynard Smith και George R Price. «The logic of animal conflict». Στο: *Nature* 246.5427 (1973), σ. 15.
- [713] John Maynard Smith. «Evolution and the Theory of Games». Στο: *Did Darwin Get It Right?* Springer, 1988, σσ. 202–215.
- [715] Maynard Smith. «J.(1982)». Στο: *Evolution and the Theory of Games* ().
- [716] Neal Solmeyer, Ricky Dixon και Radhakrishnan Balu. «Characterizing the Nash equilibria of a three-player Bayesian quantum game». Στο: *Quantum Information Processing* 16 (2017), σσ. 1–17.
- [723] Gunther Siegmund Stent κ.ά. «Molecular biology of bacterial viruses.» Στο: *Molecular biology of bacterial viruses*. (1963).
- [724] Frank M Stewart και Bruce R Levin. «The population biology of bacterial viruses: why be temperate». Στο: *Theoretical population biology* 26.1 (1984), σσ. 93–117.
- [729] Done Stojanov. «Structural implications of SARS-CoV-2 Surface Glycoprotein N501Y mutation within receptor-binding domain [499-505]—computational analysis of the most frequent Asn501 polar uncharged amino acid mutations». Στο: *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 37.1 (2023), σ. 2206492.
- [730] DW Strand, OE Franco, D Basanta, ARA Anderson και SW Hayward. «Perspectives on tissue interactions in development and disease». Στο: *Current molecular medicine* 10.1 (2010), σσ. 95–112.
- [737] Khaled Suwais. «Assessing the utilization of automata in representing players’ behaviors in game theory». Στο: *Game Theory: Breakthroughs in Research and Practice: Breakthroughs in Research and Practice* 106 (2017).
- [738] SVCollector. *1876 5 drachmas silver George A MS62 NGC*. <https://www.svcollector.com/el/world-coins/1876-5-drachmai-george-a-ms62-ngc.html>. Accessed: 27.07.2021.
- [739] György Szabó και Csaba Töke. «Evolutionary prisoner’s dilemma game on a square lattice». Στο: *Physical Review E* 58.1 (1998), σ. 69.
- [742] Hichem Talbi, Amer Draa και Mohamed Batouche. «A new quantum-inspired genetic algorithm for solving the travelling salesman problem». Στο: *2004 IEEE International Conference on Industrial Technology, 2004. IEEE ICIT’04*. Τόμ. 3. IEEE. 2004, σσ. 1192–1197.
- [745] *Tapsilou, a game of chance played by the people of Corfu on New Year’s Eve*. <https://corfutvnews.gr/tapsilou-ena-tychero-paichnidi-pou-epaizan-oi-kerkyraioi-paramoni-protochronias>. Accessed: 27.07.2021.
- [748] Kerri Taylor. *What Is A Worm Virus?* Απρ. 2017. URL: <https://www.vipre.com/resource/what-is-a-worm-virus/>.

- [749] Peter D Taylor και Leo B Jonker. «Evolutionary stable strategies and game dynamics». Στο: *Mathematical biosciences* 40.1-2 (1978), σσ. 145–156.
- [753] Georgia Theocharopoulou, Konstantinos Giannakis, Christos Papalitsas, Sofia Fanarioti και Theodore Andronikos. «Elements of Game Theory in a Bio-inspired Model of Computation». Στο: *2019 10th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA)*. IEEE, Ιούλ. 2019, σσ. 1–4. DOI: 10.1109/iisa.2019.8900768.
- [757] Prayag Tiwari και Massimo Melucci. «Towards a quantum-inspired binary classifier». Στο: *IEEE Access* 7 (2019), σσ. 42354–42372.
- [761] Paul E Turner. «Cheating Viruses and Game Theory: The theory of games can explain how viruses evolve when they compete against one another in a test of evolutionary fitness». Στο: *American Scientist* 93.5 (2005), σσ. 428–435.
- [762] Paul E Turner και Lin Chao. «Prisoner’s dilemma in an RNA virus». Στο: *Nature* 398.6726 (1999), σ. 441.
- [763] Paul E Turner και Lin Chao. «Escape from prisoner’s dilemma in RNA phage Φ6». Στο: *The American Naturalist* 161.3 (2003), σσ. 497–505.
- [779] Karl GH Vollbrecht και J Ignacio Cirac. «Reversible universal quantum computation within translation-invariant systems». Στο: *Physical Review A* 73.1 (2006), σ. 012324.
- [781] John Von Neumann. «Morgenstern, O.(1944)». Στο: *Theory of games and economic behavior* (1947), σσ. 8–31.
- [782] John Von Neumann, Arthur W Burks κ.ά. «Theory of self-reproducing automata». Στο: *IEEE Transactions on Neural Networks* 5.1 (1966), σσ. 3–14.
- [784] Marin Vulić και Roberto Kolter. «Evolutionary cheating in Escherichia coli stationary phase cultures». Στο: *Genetics* 158.2 (2001), σσ. 519–526.
- [787] E.K. Wagner και M.J. Hewlett. *Basic Virology*. Blackwell Science, 2004. ISBN: 9781405103466. URL: <https://books.google.gr/books?id=3T6P7wUByugC>.
- [788] Michael Wagner, Ludwig Kampel και Dimitris E Simos. «Quantum-inspired evolutionary algorithms for covering arrays of arbitrary strength». Στο: *International Symposium on Experimental Algorithms*. Springer. 2019, σσ. 300–316.
- [800] Brian R Wasik και Paul E Turner. «On the biological success of viruses». Στο: *Annual review of microbiology* 67 (2013), σσ. 519–541.
- [801] John Watrous. «On one-dimensional quantum cellular automata». Στο: *Proceedings of IEEE 36th annual foundations of computer science*. IEEE. 1995, σσ. 528–537.
- [803] Jörgen W Weibull. *Evolutionary game theory*. MIT press, 1997.
- [806] *What Are The Different Types Of Computer Viruses?* URL: <https://uniserveit.com/blog/what-are-the-different-types-of-computer-viruses>.
- [807] *What is Computer Worm? Definition of Computer Worm*. URL: <https://economictimes.indiatimes.com/definition/computer-worm>.
- [808] *What’s the Difference between a Virus and a Worm?* Απρ. 2021. URL: <https://www.kaspersky.com/resource-center/threats/computer-viruses-vs-worms>.
- [816] Denise M Wolf και Adam P Arkin. «Motifs, modules and games in bacteria». Στο: *Current opinion in microbiology* 6.2 (2003), σσ. 125–134.
- [817] Denise M Wolf και Adam P Arkin. «Motifs, modules and games in bacteria». Στο: *Current opinion in microbiology* 6.2 (2003), σσ. 125–134.

- [824] Qiuyi Wu, Licheng Jiao, Yangyang Li και Xiaozheng Deng. «A novel quantum-inspired immune clonal algorithm with the evolutionary game approach». Στο: *Progress in Natural Science* 19.10 (2009), σσ. 1341–1347.
- [838] Lisa Yount. *Antoni van Leeuwenhoek: first to see microscopic life*. Enslow Publishers, Inc., 2008.
- [843] Shengyu Zhang. «Quantum strategic game theory». Στο: *Proceedings of the 3rd Innovations in Theoretical Computer Science Conference*. ACM. 2012, σσ. 39–59.
- [845] Ge-Xiang Zhang, Marian Gheorghe και Chao-Zhong Wu. «A quantum-inspired evolutionary algorithm based on P systems for knapsack problem». Στο: *Fundamenta Informaticae* 87.1 (2008), σσ. 93–116.
- [847] Tianmin Zheng και Mitsuo Yamashiro. «A novel hybrid quantum-inspired evolutionary algorithm for permutation flow-shop scheduling». Στο: *Journal of Statistics and Management Systems* 12.6 (2009), σσ. 1165–1182. DOI: 10.1080/09720510.2009.10701449.

Πρόσθετη Βιβλιογραφία

- [1] Frédéric Abergel, Bikas K Chakrabarti, Anirban Chakraborti και Asim Ghosh. *Econophysics of systemic risk and network dynamics*. Springer, 2012.
- [3] Dilip Abreu και Ariel Rubinstein. «The structure of Nash equilibrium in repeated games with finite automata». Στο: *Econometrica: Journal of the Econometric Society* (1988), σσ. 1259–1281. DOI: 10.2307/1913097.
- [5] Styliani Adam, Panagiotis Karastathis, Dimitris Kostadimas, Kalliopi Kastampolidou και Theodore Andronikos. «Protein Misfolding and Neurodegenerative Diseases: A Game Theory Perspective». Στο: *Handbook of Computational Neurodegeneration*. Springer International Publishing, 2023, σσ. 863–874. DOI: 10.1007/978-3-319-75922-7_71.
- [7] Diederik Aerts. «Towards a New Democracy: Consensus Through Quantum Parliament». Στο: *Worldviews, Science and Us*. World Scientific, Ιούλ. 2005. DOI: 10.1142/9789812702043_0011.
- [8] Foto Afrati, Theodore Andronikos και Theodoros Kavalieros. «On the expressiveness of query languages with linear constraints capturing desirable spatial properties». Στο: *Constraint Databases and Applications*. Springer Berlin Heidelberg, 1996, σσ. 105–115. DOI: 10.1007/3-540-62501-1_28.
- [9] Foto Afrati, Theodore Andronikos και Theodoros G. Kavalieros. «On the expressiveness of first-order constraint languages». Στο: *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Berlin Heidelberg, 1996, σσ. 22–39. DOI: 10.1007/3-540-60794-3_12.
- [10] Shubham Agarwal, Diptesh Ghosh και Anindya S Chakrabarti. «Self-organization in a distributed coordination game through heuristic rules». Στο: *The European Physical Journal B* 89.12 (2016), σ. 266.
- [11] Gagan Aggarwal, Amos Fiat, Andrew V. Goldberg, Jason D. Hartline, Nicole Immorlica και Madhu Sudan. «Derandomization of auctions». Στο: *Games and Economic Behavior* 72.1 (Μάι. 2011), σσ. 1–11. DOI: 10.1016/j.geb.2010.07.007.
- [12] N Aharon και J Silman. «Quantum dice rolling: a multi-outcome generalization of quantum coin flipping». Στο: *New Journal of Physics* 12.3 (Μαρ. 2010), σ. 033027. DOI: 10.1088/1367-2630/12/3/033027.
- [13] N. Aharon, S. Massar και J. Silman. «Family of loss-tolerant quantum coin-flipping protocols». Στο: *Physical Review A* 82.5 (Νοέ. 2010), σ. 052307. DOI: 10.1103/physreva.82.052307.
- [14] Dorit Aharonov, Wim Van Dam, Julia Kempe, Zeph Landau, Seth Lloyd και Oded Regev. «Adiabatic quantum computation is equivalent to standard quantum computation». Στο: *SIAM review* 50.4 (2008), σσ. 755–787.

- [15] Gorjan Alagic, Jacob Alperin-Sheriff, Daniel Apon, David Cooper, Quynh Dang, Yi-Kai Liu, Carl Miller, Dustin Moody, Rene Peralta κ.ά. *Status report on the first round of the NIST post-quantum cryptography standardization process*. US Department of Commerce, National Institute of Standards και Technology ..., 2019.
- [16] Gorjan Alagic, Jacob Alperin-Sheriff, Daniel Apon, David Cooper, Quynh Dang, John Kelsey, Yi-Kai Liu, Carl Miller, Dustin Moody, Rene Peralta κ.ά. «Status report on the second round of the NIST post-quantum cryptography standardization process». Στο: *US Department of Commerce, NIST* (2020).
- [17] Gorjan Alagic, Daniel Apon, David Cooper, Quynh Dang, Thinh Dang, John Kelsey, Jacob Lichtinger, Carl Miller, Dustin Moody, Rene Peralta κ.ά. «Status report on the third round of the NIST post-quantum cryptography standardization process». Στο: *National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg* (2022).
- [18] Beardon Alan F. Alan Beardon. *Algebra and Geometry*. Cambridge University Press, 30 Νοέ. 2006. 340 **pagetotals**. ISBN: 052181362X.
- [19] Sally Almanasra, Khaled Suwais και Muhammad Rafie. «The Applications of Automata in Game Theory». Στο: *Intelligent Technologies and Techniques for Pervasive Computing*. IGI Global, 2013, σσ. 204–217. DOI: 10.4018/978-1-4666-4038-2.ch011.
- [21] Md Zahangir Alom, Brian Van Essen, Adam T Moody, David Peter Widemann και Tarek M Taha. «Quadratic Unconstrained Binary Optimization (QUBO) on neuromorphic computing system». Στο: *2017 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*. IEEE. 2017, σσ. 3922–3929. DOI: 10.1109/ijcnn.2017.7966350.
- [26] Ramón Alonso-Sanz. «Quantum Approach to Game Theory». Στο: *Quantum Game Simulation*. Springer International Publishing, 2019, σσ. 11–19. DOI: 10.1007/978-3-030-19634-9_2.
- [27] Yoann Altmann, Stephen McLaughlin, Miles J Padgett, Vivek K Goyal, Alfred O Hero και Daniele Faccio. «Quantum-inspired computational imaging». Στο: *Science* 361.6403 (2018).
- [28] Andris Ambainis. «A new protocol and lower bounds for quantum coin flipping». Στο: *Proceedings of the thirty-third annual ACM symposium on Theory of computing*. ACM. 2001, σσ. 134–142. DOI: 10.1145/380752.380788.
- [29] Andris Ambainis. «A new protocol and lower bounds for quantum coin flipping». Στο: *Journal of Computer and System Sciences* 68.2 (Μαρ. 2004), σσ. 398–416. DOI: 10.1016/j.jcss.2003.07.010.
- [30] Andris Ambainis, Harry Buhrman, Yevgeniy Dodis και Hein Rohrig. «Multiparty quantum coin flipping». Στο: *Computational Complexity, 2004. Proceedings. 19th IEEE Annual Conference on*. IEEE. 2004, σσ. 250–259.
- [31] MHS Amin. «Consistency of the adiabatic theorem». Στο: *Physical review letters* 102.22 (2009), σ. 220401. DOI: 10.1103/physrevlett.102.220401. eprint: 0810.4335v3.
- [32] Michael Ampatzis και Theodore Andronikos. «QKD Based on Symmetric Entangled Bernstein-Vazirani». Στο: *Entropy* 23.7 (Ιούλ. 2021), σ. 870. DOI: 10.3390/e23070870.
- [33] Michael Ampatzis και Theodore Andronikos. «A Symmetric Extensible Protocol for Quantum Secret Sharing». Στο: *Symmetry* 14.8 (Αύγ. 2022), σ. 1692. DOI: 10.3390/sym14081692.
- [34] Michael Ampatzis και Theodore Andronikos. «Quantum Secret Aggregation Utilizing a Network of Agents». Στο: *Cryptography* 7.1 (Φεβ. 2023), σ. 5. DOI: 10.3390/cryptography7010005.

- [35] Liwei An και Guang-Hong Yang. «Enhancement of opacity for distributed state estimation in cyber–physical systems». Στο: *Automatica* 136 (Φεβ. 2022), σ. 110087. DOI: 10.1016/j.automatica.2021.110087.
- [36] Namit Anand και Colin Benjamin. «Do quantum strategies always win?». Στο: *Quantum Information Processing* 14.11 (Αύγ. 2015), σσ. 4027–4038. DOI: 10.1007/s11128-015-1105-y.
- [39] Theodore Andronikos. «Classification of SPARQL Queries into Equivalence Classes of Relevant Queries». Στο: *International Journal of Advanced Research in Computer Science* 8.9 (Σεπτ. 2017), σσ. 152–159. DOI: 10.26483/ijarcs.v8i9.4940.
- [40] Theodore Andronikos. «On the Feasibility of Handling Uncertainty in SPARQL Queries in the Case of Sparse Graphs». Στο: *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology* 8.6 (Νοέ. 2020), σσ. 396–402. DOI: 10.21276/ijircst.2020.8.6.5.
- [41] Theodore Andronikos. «Conditions that Enable a Player to Surely Win in Sequential Quantum Games». Στο: (Απρ. 2021). DOI: 10.20944/preprints202104.0298.v1.
- [43] Theodore Andronikos, Florina M. Ciorba, Ioannis Riakiotakis, George Papakonstantinou και Anthony T. Chronopoulos. «Studying the impact of synchronization frequency on scheduling tasks with dependencies in heterogeneous systems». Στο: *Performance Evaluation* 67.12 (Δεκ. 2010), σσ. 1324–1339. DOI: 10.1016/j.peva.2010.08.020.
- [44] Theodore Andronikos, Florina M. Ciorba, Panayiotis Theodoropoulos, Dimitrios Kamenopoulos και George Papakonstantinou. «Cronus: A platform for parallel code generation based on computational geometry methods». Στο: *Journal of Systems and Software* 81.8 (Αύγ. 2008), σσ. 1389–1405. DOI: 10.1016/j.jss.2007.11.715.
- [45] Theodore Andronikos, Nectarios Koziris, George Papakonstantinou και Panayiotis Tsanakas. «Optimal Scheduling for UET/UET-UCT Generalizedn-Dimensional Grid Task Graphs». Στο: *Journal of Parallel and Distributed Computing* 57.2 (Μάι. 1999), σσ. 140–165. DOI: 10.1006/jpdc.1999.1530.
- [46] Theodore Andronikos, Nectarios Koziris, Zaharias Tsiatsoulis, George Papakonstantinou και Panayiotis Tsanakas. «Lower Time and Processor Bounds for Efficient Mapping of Uniform Dependence Algorithms into Systolic Arrays». Στο: *Parallel Algorithms and Applications* 10.3-4 (Ιαν. 1997), σσ. 177–194. DOI: 10.1080/10637199708915616.
- [47] Theodore Andronikos, Alexander Singh, Konstantinos Giannakis και Spyros Sioutas. «Computing Probabilistic Queries in the Presence of Uncertainty via Probabilistic Automata». Στο: *Algorithmic Aspects of Cloud Computing*. Springer International Publishing, 2018, σσ. 106–120. DOI: 10.1007/978-3-319-74875-7_7.
- [49] Theodore Andronikos και Alla Sirokofskich. «A Quantum Detectable Byzantine Agreement Protocol Using Only EPR Pairs». Στο: *Applied Sciences* 13.14 (Ιούλ. 2023), σ. 8405. DOI: 10.3390/app13148405.
- [50] Theodore Andronikos και Alla Sirokofskich. «An Entanglement-Based Protocol for Simultaneous Reciprocal Information Exchange between 2 Players». Στο: *Electronics* 12.11 (Ιούν. 2023), σ. 2506. DOI: 10.3390/electronics12112506.
- [53] Theodore Andronikos, Alla Sirokofskich, Kalliopi Kastampolidou, Magdalini Varvouzou, Konstantinos Giannakis και Alexandre Singh. «Finite automata capturing winning sequences for all possible variants of the PQ penny flip game». Στο: (2017).
- [54] Theodore Andronikos και Michail Stefanidakis. «A Two-Party Quantum Parliament». Στο: *Algorithms* 15.2 (Φεβ. 2022), σ. 62. DOI: 10.3390/a15020062.

- [55] Theodore Andronikos και Stathis Zachos. «A Modal Logic Formalism for Scheduling DAGs». Στο: *Advances in Informatics*. World Scientific, Μαρ. 2000. DOI: 10 . 1142 / 9789812793928_0005.
- [56] H. Anton και C. Rorres. *Elementary Linear Algebra: Applications Version, 11th Edition*. Wiley Global Education, 2013. ISBN: 9781118879160.
- [57] Masashi Aono, Liping Zhu και Masahiko Hara. «Amoeba-based neurocomputing for 8-city traveling salesman problem.» Στο: *Int. J. Unconv. Comput.* 7.6 (2011), σσ. 463–480.
- [58] Myrto Arapinis, Nikolaos Lamprou, Elham Kashefi και Anna Pappa. «Definitions and Security of Quantum Electronic Voting». Στο: *ACM Transactions on Quantum Computing* 2.1 (Απρ. 2021), σσ. 1–33. DOI: 10 . 1145/3450144.
- [59] Marco Archetti και Kenneth J Pienta. «Cooperation among cancer cells: applying game theory to cancer». en. Στο: *Nat. Rev. Cancer* 19.2 (Φεβ. 2019), σσ. 110–117.
- [60] M.A. Armstrong. *Groups and Symmetry*. Undergraduate Texts in Mathematics. Springer New York, 1997. ISBN: 9780387966755.
- [61] Pablo Arrighi και Jonathan Grattage. «The quantum game of life». Στο: *Physics World* 25.06 (2012), σ. 23.
- [62] W Brian Arthur. «Inductive reasoning and bounded rationality». Στο: *The American economic review* 84.2 (1994), σσ. 406–411.
- [63] M. Artin. *Algebra*. Pearson Prentice Hall, 2011. ISBN: 9780132413770.
- [64] Norbert Ascheuer, Matteo Fischetti και Martin Grötschel. «Solving the Asymmetric Travelling Salesman Problem with time windows by branch-and-cut». Στο: *Mathematical Programming* 90.3 (Μάι. 2001), σσ. 475–506. ISSN: 1436-4646. DOI: 10 . 1007 / PL00011432. URL: <https://doi.org/10.1007/PL00011432>.
- [65] Markus Aspelmeyer, Thomas Jennewein, Martin Pfennigbauer, Walter R Leeb και Anton Zeilinger. «Long-distance quantum communication with entangled photons using satellites». Στο: *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* 9.6 (2003), σσ. 1541–1551.
- [66] George A. Kastis Athanassios S. Fokas Nikolaos Dikaos. «Covid-19: predictive mathematical formulae for the number of deaths during lockdown and possible scenarios for the post-lockdown period». Στο: *Proceedings of the Royal Society A. Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 477 (2249 Μάι. 2021).
- [67] Varunya Attasena, Jérôme Darmont και Nouria Harbi. «Secret sharing for cloud data security: a survey». Στο: *The VLDB Journal* 26.5 (2017), σσ. 657–681.
- [68] Robert J Aumann. «Survey of repeated games». Στο: *Essays in game theory and mathematical economics in honor of Oskar Morgenstern* (1981).
- [69] Robert J. Aumann. «Agreeing to Disagree». Στο: *The Annals of Statistics* 4.6 (1976), σσ. 1236–1239. ISSN: 00905364.
- [70] Robert J. Aumann. «Interactive epistemology I: Knowledge». Στο: *International Journal of Game Theory* 28.3 (Αύγ. 1999), σσ. 263–300. DOI: 10 . 1007 / s001820050111.
- [71] Sana Aurangzeb, Muhammad Aleem, Muhammad Azhar Iqbal, Muhammad Arshad Islam κ.ά. «Ransomware: a survey and trends». Στο: *Journal of Information Assurance & Security* 6.2 (2017), σσ. 48–58.
- [72] Robert Axelrod. «Effective Choice in the Prisoner’s Dilemma». Στο: *Journal of Conflict Resolution* 24.1 (Μαρ. 1980), σσ. 3–25. DOI: 10 . 1177 / 002200278002400101.
- [76] Sheldon Axler. *Algebra Trigonometry: With Student Solutions Manual*. WILEY, 1 Μαρ. 2011. 754 **pagetotals**. ISBN: 047047081X.

- [77] Sheldon Axler. *Precalculus : a prelude to calculus*. Hoboken, N.J: Wiley, 2013. ISBN: 9780470648049.
- [78] Ryan Babbush, Peter J Love και Alán Aspuru-Guzik. «Adiabatic quantum simulation of quantum chemistry». Στο: *Scientific reports* 4 (2014), σ. 6603. DOI: 10.1038/srep06603.
- [79] F. Bagarello και F. Gargano. «Modeling interactions between political parties and electors». Στο: *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 481 (Σεπτ. 2017), σσ. 243–264. DOI: 10.1016/j.physa.2017.04.035.
- [80] Fabio Bagarello. «An Operator View on Alliances in Politics». Στο: *SIAM Journal on Applied Mathematics* 75.2 (Ιαν. 2015), σσ. 564–584. DOI: 10.1137/140990747.
- [81] Dorte Lau Baggesen, Gitte Sørensen, EM Nielsen και Henrik Caspar Wegener. «Phage typing of Salmonella Typhimurium—is it still a useful tool for surveillance and outbreak investigation?». Στο: *Eurosurveillance* 15.4 (2010), σ. 19471.
- [83] Somshubhro Bandyopadhyay. «Teleportation and secret sharing with pure entangled states». Στο: *Physical Review A* 62.1 (2000), σ. 012308.
- [84] Anindita Banerjee και Anirban Pathak. «Maximally efficient protocols for direct secure quantum communication». Στο: *Physics Letters A* 376.45 (Οκτ. 2012), σσ. 2944–2950. DOI: 10.1016/j.physleta.2012.08.032.
- [85] Priyodorshi Banerjee, Manipushpak Mitra και Conan Mukherjee. «Kolkata paise restaurant problem and the cyclically fair norm». Στο: *Econophysics of Systemic Risk and Network Dynamics*. Springer, 2013, σσ. 201–216.
- [86] Sudipto Banerjee και Anindya Roy. *Linear Algebra and Matrix Analysis for Statistics*. Chapman και Hall/CRC, Ιούν. 2014. DOI: 10.1201/b17040.
- [87] Ning Bao και Nicole Yunger Halpern. «Quantum voting and violation of Arrow’s impossibility theorem». Στο: *Physical Review A* 95.6 (Ιούν. 2017), σ. 062306. DOI: 10.1103/physreva.95.062306.
- [88] Benjamín Barán και Marcos Villagra. «A Quantum Adiabatic Algorithm for Multiobjective Combinatorial Optimization». Στο: *Axioms* 8.1 (2019), σ. 32. DOI: 10.3390/axioms8010032.
- [89] R. Barends κ.ά. «Rolling quantum dice with a superconducting qubit». Στο: *Physical Review A* 90.3 (Σεπτ. 2014), σ. 030303. DOI: 10.1103/physreva.90.030303.
- [90] Tony Barnard. *Discovering group theory : a transition to advanced mathematics*. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. ISBN: 9781138030169.
- [91] S. Barnett. *Quantum Information*. Oxford Master Series in Physics. OUP Oxford, 2009. ISBN: 9780198527626.
- [92] Jon Barwise. «Scenes and Other Situations». Στο: *Journal of Philosophy* 78.7 (Ιούλ. 1981), σσ. 369–397. DOI: 10.2307/2026481.
- [93] Demian A Battaglia, Giuseppe E Santoro και Erio Tosatti. «Optimization by quantum annealing: Lessons from hard satisfiability problems». Στο: *Physical Review E* 71.6 (2005), σ. 066707. DOI: 10.1103/physreve.71.066707.
- [94] John Beachy. *Abstract algebra*. Long Grove, Ill: Waveland Press, 2019. ISBN: 1478638699.
- [95] Judith Beecher. *Algebra and trigonometry*. Boston: Pearson, 2016. ISBN: 9780321969569.
- [96] M. P. Bekakos. *Highly parallel computations : algorithms and applications*. Southampton: WIT Press, 2001. ISBN: 1853127485.
- [97] BA Bell, Damian Markham, DA Herrera-Martí, Anne Marin, WJ Wadsworth, JG Rarity και MS Tame. «Experimental demonstration of graph-state quantum secret sharing». Στο: *Nature communications* 5.1 (2014), σσ. 1–12.

- [98] Atidel Ben Hadj-Alouane και James C Bean. «A genetic algorithm for the multiple-choice integer program». Στο: *Operations research* 45.1 (1997), σσ. 92–101. DOI: 10.1287/opre.45.1.92.
- [99] Elchanan Ben-Porath. «Repeated games with finite automata». Στο: *Journal of Economic Theory* 59.1 (1993), σσ. 17–32. DOI: 10.1006/jeth.1993.1002.
- [101] Marcello Benedetti, John Realpe-Gómez, Rupak Biswas και Alejandro Perdomo-Ortiz. «Quantum-assisted learning of hardware-embedded probabilistic graphical models». Στο: *Physical Review X* 7.4 (2017), σ. 041052. DOI: 10.1103/physrevx.7.041052.
- [102] Giuliano Benenti, Giulio Casati, Davide Rossini και Giuliano Strini. *Principles of Quantum Computation and Information*. WORLD SCIENTIFIC, Ιαν. 2018. DOI: 10.1142/10909.
- [103] Ingemar Bengtsson και Karol Zyczkowski. *Geometry of Quantum States*. Cambridge University Press, 2017. DOI: 10.1017/9781139207010.
- [104] Simon C Benjamin και Patrick M Hayden. «Comment on “Quantum Games and Quantum Strategies”». Στο: *Physical Review Letters* 87.6 (2001), σ. 069801. DOI: 10.1103/physrevlett.87.069801.
- [105] C.H. Bennett, G. Brassard, C. Crepeau και U.M. Maurer. «Generalized privacy amplification». Στο: *IEEE Transactions on Information Theory* 41.6 (1995), σσ. 1915–1923. DOI: 10.1109/18.476316.
- [106] Charles H Bennett και Gilles Brassard. «Experimental quantum cryptography: the dawn of a new era for quantum cryptography: the experimental prototype is working». Στο: *ACM Sigact News* 20.4 (1989), σσ. 78–80.
- [107] Charles H. Bennett και Gilles Brassard. «Quantum Cryptography: Public Key Distribution and Coin Tossing». Στο: *Proceedings of the IEEE International Conference on Computers, Systems, and Signal Processing*. IEEE Computer Society Press, 1984, σσ. 175–179.
- [108] Charles H. Bennett και Gilles Brassard. «Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing». Στο: *Theoretical Computer Science* 560 (Δεκ. 2014), σσ. 7–11. DOI: 10.1016/j.tcs.2014.05.025.
- [109] Charles H. Bennett, Gilles Brassard, Claude Crépeau, Richard Jozsa, Asher Peres και William K. Wootters. «Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels». Στο: *Physical Review Letters* 70.13 (Μαρ. 1993), σσ. 1895–1899. DOI: 10.1103/physrevlett.70.1895.
- [110] Charles H. Bennett, Gilles Brassard, Claude Crépeau και Marie-Hélène Skubiszewska. «Practical Quantum Oblivious Transfer». Στο: *Advances in Cryptology — CRYPTO '91*. Springer Berlin Heidelberg, 1991, σσ. 351–366. DOI: 10.1007/3-540-46766-1_29.
- [111] Charles H. Bennett, Gilles Brassard και N. David Mermin. «Quantum cryptography without Bell’s theorem». Στο: *Physical Review Letters* 68.5 (Φεβ. 1992), σσ. 557–559. DOI: 10.1103/physrevlett.68.557.
- [112] Guido Berlin, Gilles Brassard, Felix Bussieres και Nicolas Godbout. «Fair loss-tolerant quantum coin flipping». Στο: *Physical Review A* 80.6 (2009), σ. 062321. DOI: 10.1103/physreva.80.062321.
- [113] Ethan Bernstein και Umesh Vazirani. «Quantum Complexity Theory». Στο: *SIAM Journal on Computing* 26.5 (Οκτ. 1997), σσ. 1411–1473. DOI: 10.1137/s0097539796300921.
- [114] Cyrille Bertelle, Marianne Flouret, Véronique Jay, Damien Olivier και Jean-Luc Ponty. «Adaptive behaviour for prisoner dilemma strategies based on automata with multiplicities». Στο: *ESS 2002 Conf., Dresden*. Citeseer. 2002.

- [115] Dimitris Bertsimas, John Tsitsiklis κ.ά. «Simulated annealing». Στο: *Statistical science* 8.1 (1993), σσ. 10–15. DOI: 10.1214/ss/1177011077.
- [116] Helmut Bez και Tony Croft. *Quantum Computation*. Chapman και Hall/CRC, Ιαν. 2023. DOI: 10.1201/9781003264569.
- [117] Jacob Biamonte, Peter Wittek, Nicola Pancotti, Patrick Rebentrost, Nathan Wiebe και Seth Lloyd. «Quantum machine learning». Στο: *Nature* 549.7671 (2017), σ. 195. DOI: 10.1038/nature23474. eprint: 1611.09347v2.
- [118] Leonora Bianchi, Marco Dorigo, Luca Maria Gambardella και Walter J. Gutjahr. «A survey on metaheuristics for stochastic combinatorial optimization». Στο: *Natural Computing* 8.2 (Ιούν. 2009), σσ. 239–287. ISSN: 1572-9796. DOI: 10.1007/s11047-008-9098-4.
- [119] Massimiliano Sassoli de Bianchi. «Quantum dice». Στο: *Annals of Physics* 336 (Σεπτ. 2013), σσ. 56–75. DOI: 10.1016/j.aop.2013.05.018.
- [120] Marc Billaud και Massimo Santoro. «Is Co-option a prevailing mechanism during cancer progression?» Στο: *Cancer research* 71.21 (2011), σσ. 6572–6575.
- [121] Lora Billings, William M. Spears και Ira B. Schwartz. *A unified prediction of computer virus spread in connected networks*. Απρ. 2002. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375960102001524>.
- [122] K Binder, AP Young, KH Fischer και JA Hertz. *Rev. Mod. Phys.* 1986.
- [123] Kenneth G Binmore και Larry Samuelson. «Evolutionary stability in repeated games played by finite automata». Στο: *Journal of economic theory* 57.2 (1992), σσ. 278–305. DOI: 10.1016/0022-0531(92)90037-i.
- [125] Daniel Birtles, Anna E Oh και Jinwoo Lee. «Exploring the pH dependence of the SARS-CoV-2 complete fusion domain and the role of its unique structural features». Στο: *Protein Science* 31.9 (2022), e4390.
- [126] Dieter Blaas. «Viral entry pathways: the example of common cold viruses». Στο: *Wiener Medizinische Wochenschrift* 166.7 (2016), σσ. 211–226.
- [128] Christian Blum και Andrea Roli. «Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison». Στο: *ACM computing surveys (CSUR)* 35.3 (2003), σσ. 268–308.
- [130] Jan Bogdanski, Nima Rafiei και Mohamed Bourennane. «Experimental quantum secret sharing using telecommunication fiber». Στο: *Physical Review A* 78.6 (2008), σ. 062307.
- [134] J Frédéric Bonnans και Alexander Shapiro. *Perturbation analysis of optimization problems*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [135] Kelly Boothby, Paul Bunyk, Jack Raymond και Aidan Roy. *Next-generation topology of D-Wave quantum processors*. Αδημοσίευτη ερευνητική εργασία. D-Wave Systems, 2019. eprint: 2003.00133v1.
- [136] Emil Boros, Yves Crama και Peter L Hammer. «Upper-bounds for quadratic 0–1 maximization». Στο: *Operations Research Letters* 9.2 (1990), σσ. 73–79. DOI: 10.1016/0167-6377(90)90044-6.
- [137] Endre Boros, Peter L Hammer και Gabriel Tavares. «Local search heuristics for quadratic unconstrained binary optimization (QUBO)». Στο: *Journal of Heuristics* 13.2 (2007), σσ. 99–132. DOI: 10.1007/s10732-007-9009-3.
- [138] Marietjie Botes και Gabriele Lenzini. «When cryptographic ransomware poses cyber threats: Ethical challenges and proposed safeguards for cybersecurity researchers». Στο: *2022 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&PW)*. IEEE. 2022, σσ. 562–568.

- [139] Nicole M Bouvier και Peter Palese. «The biology of influenza viruses». Στο: *Vaccine* 26 (2008), σσ. D49–D53.
- [140] Gilles Brassard, Norbert Lütkenhaus, Tal Mor και Barry C Sanders. «Limitations on practical quantum cryptography». Στο: *Physical review letters* 85.6 (2000), σ. 1330.
- [141] Anne Broadbent, Joseph Fitzsimons και Elham Kashefi. «Universal Blind Quantum Computation». Στο: *2009 50th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science*. IEEE, Οκτ. 2009. DOI: 10.1109/focs.2009.36.
- [144] Mark Broom και Jan Rychtář. «Nonlinear and multiplayer evolutionary games». Στο: *Advances in Dynamic and Evolutionary Games*. Springer, 2016, σσ. 95–115.
- [145] Vlasti Broucek και Paul Turner. «Technical, legal and ethical dilemmas: distinguishing risks arising from malware and cyber-attack tools in the ‘cloud’—a forensic computing perspective». Στο: *Journal of Computer Virology and Hacking Techniques* 9 (2013), σσ. 27–33.
- [146] Nicolas Brunner, Daniel Cavalcanti, Stefano Pironio, Valerio Scarani και Stephanie Wehner. «Bell nonlocality». Στο: *Reviews of Modern Physics* 86.2 (2014), σ. 419.
- [148] Steve Butler, Mohammad T. Hajiaghayi, Robert D. Kleinberg και Tom Leighton. «Hat Guessing Games». Στο: *SIAM Journal on Discrete Mathematics* 22.2 (Ιαν. 2008), σσ. 592–605. DOI: 10.1137/060652774.
- [149] F.W. Byron και R.W. Fuller. *Mathematics of Classical and Quantum Physics*. Dover books on physics and chemistry τ. 1-2. Dover Publications, 1992. ISBN: 9780486671642.
- [150] Adán Cabello. «Quantum Key Distribution in the Holevo Limit». Στο: *Physical Review Letters* 85.26 (Δεκ. 2000), σσ. 5635–5638. DOI: 10.1103/physrevlett.85.5635.
- [151] Adán Cabello. «Solving the liar detection problem using the four-qubit singlet state». Στο: *Physical Review A* 68.1 (Ιούλ. 2003), σ. 012304. DOI: 10.1103/physreva.68.012304.
- [152] Bei-Bei Cai και Xing-Hua Zhang. «Hybrid Quantum Genetic Algorithm and Its Application in VRP [J]». Στο: *Computer Simulation* 7 (2010).
- [153] Roberto Wolfler Calvo. «A new heuristic for the traveling salesman problem with time windows». Στο: *Transportation Science* 34.1 (2000), σσ. 113–124. DOI: 10.1287/trsc.34.1.113.12284.
- [154] James B. Carrell. *Groups, Matrices, and Vector Spaces*. Springer New York, 2017. DOI: 10.1007/978-0-387-79428-0.
- [155] J.Lawrence Carter και Mark N. Wegman. «Universal classes of hash functions». Στο: *Journal of Computer and System Sciences* 18.2 (Απρ. 1979), σσ. 143–154. DOI: 10.1016/0022-0000(79)90044-8.
- [156] Pau Farre Catherine McGeoch. *The D-Wave Advantage System: An Overview*. Αδημοσίευτη ερευνητική εργασία. D-Wave Systems, Σεπτ. 2020.
- [157] Pau Farre Catherine McGeoch. *The Advantage System: Performance Update*. Αδημοσίευτη ερευνητική εργασία. D-Wave Systems, Οκτ. 2021.
- [158] Vladimír Černý. «Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm». Στο: *Journal of optimization theory and applications* 45.1 (1985), σσ. 41–51.
- [159] Jeonghun Cha, Sushil Kumar Singh, Tae Woo Kim και Jong Hyuk Park. «Blockchain-empowered cloud architecture based on secret sharing for smart city». Στο: *Journal of Information Security and Applications* 57 (2021), σ. 102686.

- [160] Anindya Sundar Chakrabarti, Bikas K Chakrabarti, Arnab Chatterjee και Manipushpak Mitra. «The Kolkata Paise Restaurant problem and resource utilization». Στο: *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 388.12 (2009), σσ. 2420–2426.
- [161] Bikas K Chakrabarti. «Kolkata restaurant problem as a generalised el farol bar problem». Στο: *Econophysics of Markets and Business Networks*. Springer, 2007, σσ. 239–246.
- [162] Bikas K. Chakrabarti, Arnab Chatterjee, Asim Ghosh, Sudip Mukherjee και Boaz Tamir. *Econophysics of the Kolkata Restaurant Problem and Related Games*. Springer International Publishing, 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-61352-9.
- [164] Vinay Chamola, Alireza Jolfaei, Vaibhav Chanana, Prakhar Parashari και Vikas Hassija. «Information security in the post quantum era for 5G and beyond networks: Threats to existing cryptography, and post-quantum cryptography». Στο: *Computer Communications* 176 (2021), σσ. 99–118.
- [165] James M. Chappell, Azhar Iqbal και Derek Abbott. «Analysis of Two-Player Quantum Games in an EPR Setting Using Clifford's Geometric Algebra». Στο: *PLoS ONE* 7.1 (Ιαν. 2012). Επιμέλεια υπό Gerardo Adesso, e29015. DOI: 10.1371/journal.pone.0029015.
- [168] Donny Cheung, Peter Høyer και Nathan Wiebe. «Improved error bounds for the adiabatic approximation». Στο: *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical* 44.41 (2011), σ. 415302. DOI: 10.1088/1751-8113/44/41/415302.
- [169] Vicky Choi. «Minor-embedding in adiabatic quantum computation: I. The parameter setting problem». Στο: *Quantum Information Processing* 7.5 (2008), σσ. 193–209. DOI: 10.1007/s11128-008-0082-9. eprint: 0804.4884v1.
- [170] Jerry Chow, Oliver Dial και Jay Gambetta. *IBM Quantum breaks the 100-qubit processor barrier*. <https://research.ibm.com/blog/127-qubit-quantum-processor-eagle>. Accessed: 2022-04-03. 2021.
- [171] Matthias Christandl και Stephanie Wehner. «Quantum Anonymous Transmissions». Στο: *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Berlin Heidelberg, 2005, σσ. 217–235. DOI: 10.1007/11593447_12.
- [172] Florina M. Ciorba, Ioannis Riakiotakis, Theodore Andronikos, George Papakonstantinou και Anthony T. Chronopoulos. «Enhancing self-scheduling algorithms via synchronization and weighting». Στο: *Journal of Parallel and Distributed Computing* 68.2 (Φεβ. 2008), σσ. 246–264. DOI: 10.1016/j.jpdc.2007.07.003.
- [173] Richard Cleve, Daniel Gottesman και Hoi-Kwong Lo. «How to share a quantum secret». Στο: *Physical Review Letters* 83.3 (1999), σ. 648.
- [174] Vaughn Climenhaga. *From groups to geometry and back*. United States: American Mathematical Society, 2017. ISBN: 9781470434793.
- [175] Valerie Coffman, Joydip Kundu και William K Wootters. «Distributed entanglement». Στο: *Physical Review A* 61.5 (2000), σ. 052306.
- [176] Fred Cohen. «Computer viruses: Theory and experiments». Στο: *Computers & Security* 6.1 (1987), σσ. 22–35. ISSN: 0167-4048. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-4048\(87\)90122-2](https://doi.org/10.1016/0167-4048(87)90122-2).
- [178] Fred Cohen. *Computer viruses: Theory and experiments*. Απρ. 2002. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167404887901222>.
- [179] Mika Cohen, Mads Dam, Alessio Lomuscio και Hongyang Qu. «A Symmetry Reduction Technique for Model Checking Temporal-Epistemic Logic». Στο: *Proceedings of the 21st International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2009)*. 2009, σσ. 721–726. URL: <http://ijcai.org/Proceedings/09/Papers/125.pdf>.

- [180] Roger Colbeck και Renato Renner. «No extension of quantum theory can have improved predictive power». Στο: *Nature communications* 2.1 (2011), σσ. 1–5.
- [181] *Common Vulnerability Scoring System*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Common_Vulnerability_Scoring_System.
- [182] *Common Vulnerability Scoring System v3.1: Specification Document*. URL: <https://www.first.org/cvss/v3.1/specification-document>.
- [183] *Common Vulnerability Scoring System Version 3.1 Calculator*. URL: <https://www.first.org/cvss/calculator/3.1>.
- [186] Stephen A Cook. «The complexity of theorem-proving procedures». Στο: *Proceedings of the third annual ACM symposium on Theory of computing*. 1971, σσ. 151–158.
- [187] William J Cook. *In pursuit of the traveling salesman: mathematics at the limits of computation*. Princeton University Press, 2011. DOI: 10.1515/9781400839599.
- [188] Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest και Clifford Stein. *Introduction to Algorithms, Third Edition*. The MIT Press, 2009. ISBN: 0262033844.
- [189] Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest και Clifford Stein. *ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥΣ, 1η Έκδοση*. ΙΤΕ-ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ, 2016. ISBN: 978-960-524-473-6.
- [191] Evan Cox, Eric Schkufza, Ryan Madsen και Michael Genesereth. «Factoring general games using propositional automata». Στο: *Proceedings of the IJCAI Workshop on General Intelligence in Game-Playing Agents (GIGA)*. 2009, σσ. 13–20.
- [195] Alan Crispin και Alex Syrichas. «Quantum annealing algorithm for vehicle scheduling». Στο: *2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*. IEEE. 2013, σσ. 3523–3528. DOI: 10.1109/smcc.2013.601.
- [196] Diogo Cruz κ.ά. «Efficient Quantum Algorithms for GHZ and W States, and Implementation on the IBM Quantum Computer». Στο: *Advanced Quantum Technologies* 2.5-6 (Απρ. 2019), σ. 1900015. DOI: 10.1002/qute.201900015.
- [197] William Cruz-Santos, Salvador Venegas-Andraca και Marco Lanzagorta. «A QUBO Formulation of the Stereo Matching Problem for D-Wave Quantum Annealers». Στο: *Entropy* 20.10 (2018), σ. 786. DOI: 10.3390/e20100786.
- [198] Tatjana Curcic, Mark E Filipkowski, Almadena Chtchelkanova, Philip A D’Ambrosio, Stuart A Wolf, Michael Foster και Douglas Cochran. «Quantum networks: from quantum cryptography to quantum architecture». Στο: *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* 34.5 (2004), σσ. 3–8.
- [200] D-Wave. *D-Wave QPU architecture: Topologies*. https://docs.dwavesys.com/docs/latest/c_gs_4.html#pegasus-couplers. Accessed: 2022-01-03.
- [201] Systems D-Wave. *Getting Started with the D-Wave System*. Αδημοσίευτη ερευνητική εργασία. D-Wave Systems, 2019.
- [202] D-Wave Systems. *Advantage_system1.1 Solver Decommissioned*. https://docs.dwavesys.com/docs/latest/rn_feature_descriptions.html#advantage-system1-1-solver-decommissioned. Accessed 30/11/21. Νοέ. 2021.
- [203] Rodrigo Ferreira Da Silva και Sebastián Urrutia. «A General VNS heuristic for the traveling salesman problem with time windows». Στο: *Discrete Optimization* 7.4 (2010), σσ. 203–211. DOI: 10.1016/j.disopt.2010.04.002.
- [204] Joan Daemen και Vincent Rijmen. *The Design of Rijndael*. Springer Berlin Heidelberg, 2002. DOI: 10.1007/978-3-662-04722-4.

- [206] Anirban DasGupta. *Fundamentals of Probability: A First Course*. Springer-Verlag GmbH, 9 Απρ. 2010. ISBN: 1441957790.
- [207] Sanjoy Dasgupta, Christos H. Papadimitriou και Umesh Vazirani. *Algorithms*. 1η έκδοση. USA: McGraw-Hill, Inc., 2006. ISBN: 0073523402.
- [208] Sanjoy Dasgupta, Christos H. Papadimitriou και Umesh Vazirani. *Αλγόριθμοι*. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΕ, 2009. ISBN: 978-960-461-211-6.
- [209] Nike Dattani και Nick Chancellor. «Embedding quadratization gadgets on Chimera and Pegasus graphs». Στο: *arXiv preprint arXiv:1901.07676* (2019). eprint: 1901.07676v1.
- [210] Nike Dattani, Szilard Szalay και Nick Chancellor. «Pegasus: The second connectivity graph for large-scale quantum annealing hardware». Στο: *arXiv preprint arXiv:1901.07636* (2019).
- [211] Fu-Guo Deng και Gui Lu Long. «Secure direct communication with a quantum one-time pad». Στο: *Physical Review A* 69.5 (Μάι. 2004), σ. 052319. DOI: 10.1103/physreva.69.052319.
- [212] Fu-Guo Deng, Gui Lu Long και Xiao-Shu Liu. «Two-step quantum direct communication protocol using the Einstein-Podolsky-Rosen pair block». Στο: *Physical Review A* 68.4 (Οκτ. 2003), σ. 042317. DOI: 10.1103/physreva.68.042317.
- [213] Xinyang Deng, Qi Zhang, Yong Deng και Zhen Wang. «A novel framework of classical and quantum prisoner's dilemma games on coupled networks». Στο: *Scientific Reports* 6.1 (Μαρ. 2016). DOI: 10.1038/srep23024.
- [214] Harm Derksen, Emmanuel Jeandel και Pascal Koiran. «Quantum automata and algebraic groups». Στο: *Journal of Symbolic Computation* 39.3-4 (2005), σσ. 357–371. DOI: 10.1016/j.jsc.2004.11.008.
- [216] David Deutsch, Artur Ekert, Richard Jozsa, Chiara Macchiavello, Sandu Popescu και Anna Sanpera. «Quantum Privacy Amplification and the Security of Quantum Cryptography over Noisy Channels». Στο: *Physical Review Letters* 77.13 (Σεπτ. 1996), σσ. 2818–2821. DOI: 10.1103/physrevlett.77.2818.
- [217] David Deutsch και Richard Jozsa. «Rapid solution of problems by quantum computation». Στο: *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and Physical Sciences* 439.1907 (Δεκ. 1992), σσ. 553–558. DOI: 10.1098/rspa.1992.0167.
- [219] W. Diffie και M. Hellman. «New directions in cryptography». Στο: *IEEE Transactions on Information Theory* 22.6 (Νοέ. 1976), σσ. 644–654. DOI: 10.1109/tit.1976.1055638.
- [220] Avinash Dixit. *Games of strategy*. New York: W.W. Norton & Company, 2015. ISBN: 0393124436.
- [221] D. Dolev και H. R. Strong. «Authenticated Algorithms for Byzantine Agreement». Στο: *SIAM Journal on Computing* 12.4 (Νοέ. 1983), σσ. 656–666. DOI: 10.1137/0212045.
- [222] Yumin Dong και Zhijie Huang. «An improved noise quantum annealing method for TSP». Στο: *International Journal of Theoretical Physics* 59.12 (2020), σσ. 3737–3755.
- [228] Ke-Lin Du, MNS Swamy κ.ά. «Search and optimization by metaheuristics». Στο: ().
- [230] Yvan Dumas, Jacques Desrosiers, Eric Gelinas και Marius M Solomon. «An optimal algorithm for the traveling salesman problem with time windows». Στο: *Operations research* 43.2 (1995), σσ. 367–371. DOI: 10.1287/opre.43.2.367.
- [231] D.S. Dummit και R.M. Foote. *Abstract Algebra*. Wiley, 2004. ISBN: 9780471433347.
- [233] Todd Ebert. «Applications of Recursive Operators to Randomness and Complexity». Διδακτορική διατρ. University of California, Santa Barbara, 1998. ISBN: 0599087315.

- [234] BD Editors. *Biology dictionary*. URL: <https://biologydictionary.net/bacteria/>. (accessed: 01.09.2020).
- [238] Artur K. Ekert. «Quantum cryptography based on Bell's theorem». Στο: *Physical Review Letters* 67.6 (Αύγ. 1991), σσ. 661–663. DOI: 10.1103/physrevlett.67.661.
- [239] Chip Elliott. «The DARPA quantum network». Στο: *Quantum Communications and Cryptography*. CRC Press, 2018, σσ. 91–110.
- [240] Chip Elliott, Alexander Colvin, David Pearson, Oleksiy Pikalo, John Schlafer και Henry Yeh. «Current status of the DARPA quantum network». Στο: *Quantum Information and Computation III*. Τόμ. 5815. International Society for Optics και Photonics. 2005, σσ. 138–149.
- [241] Tatiana Ermakova και Benjamin Fabian. «Secret sharing for health data in multi-provider clouds». Στο: *2013 IEEE 15th conference on business informatics*. IEEE. 2013, σσ. 93–100.
- [242] ESET. *VirLock: The First Shape-shifter Among Ransomware*, ESET. URL: <https://www.eset.com/afr/about/newsroom/press-releases-afr/research/virlock-the-first-shape-shifter-among-ransomware10/>.
- [245] Ronald Fagin, Joseph Y. Halpern, Yoram Moses και Moshe Y. Vardi. «Common knowledge revisited». Στο: *Annals of Pure and Applied Logic* 96.1 (1999), σσ. 89–105. ISSN: 0168-0072. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-0072\(98\)00033-5](https://doi.org/10.1016/S0168-0072(98)00033-5). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/Article/pii/S0168007298000335>.
- [246] Ronald Fagin, Joseph Y. Halpern, Yoram Moses και Moshe Y. Vardi. *Reasoning About Knowledge*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2003. ISBN: 0262562006.
- [247] Bryce W Falk και James H Tsai. «Biology and molecular biology of viruses in the genus Tenuivirus». Στο: *Annual review of phytopathology* 36.1 (1998), σσ. 139–163.
- [248] Hong Fang. «pSPARQL: A Querying Language for Probabilistic RDF Data». Στο: *Complexity* 2019 (Μαρ. 2019), σσ. 1–7. DOI: 10.1155/2019/8258197.
- [250] Edward Farhi, Jeffrey Goldstone και Sam Gutmann. «A quantum approximate optimization algorithm». Στο: *arXiv preprint arXiv:1411.4028* (2014). eprint: 1411.4028v1.
- [251] Edward Farhi, Jeffrey Goldstone, Sam Gutmann, Joshua Lapan, Andrew Lundgren και Daniel Preda. «A quantum adiabatic evolution algorithm applied to random instances of an NP-complete problem». Στο: *Science* 292.5516 (2001), σσ. 472–475. DOI: 10.1126/science.1057726.
- [252] Edward Farhi, Jeffrey Goldstone, Sam Gutmann και Michael Sipser. «Quantum computation by adiabatic evolution». Στο: *arXiv preprint quant-ph/0001106* (2000).
- [253] Edward Farhi και Aram W Harrow. «Quantum supremacy through the quantum approximate optimization algorithm». Στο: *arXiv preprint arXiv:1602.07674* (2016). eprint: 1602.07674v2.
- [254] U. Feige. *You can leave your hat on (if you guess its color)*. Technical Report MCS04-03. Computer Science και Applied Mathematics, The Weizmann Institute of Science, 2004, σ. 10.
- [256] Dominique Feillet, Pierre Dejax και Michel Gendreau. «Traveling Salesman Problems with Profits». Στο: *Transportation Science* 39.2 (Μάρ. 2005), σσ. 188–205. ISSN: 1526-5447. DOI: 10.1287/trsc.1030.0079. URL: <http://dx.doi.org/10.1287/trsc.1030.0079>.

- [257] Sebastian Feld, Christoph Roch, Thomas Gabor, Christian Seidel, Florian Neukart, Isabella Galter, Wolfgang Mauereer και Claudia Linnhoff-Popien. «A hybrid solution method for the capacitated vehicle routing problem using a quantum annealer». Στο: *arXiv preprint arXiv:1811.07403* (2018). DOI: 10.3389/fict.2019.00013. eprint: 1811.07403v2.
- [258] Yanyan Feng, Ronghua Shi, Jian Zhou, Qin Liao και Ying Guo. «Quantum Byzantine Agreement with Tripartite Entangled States». Στο: *International Journal of Theoretical Physics* 58.5 (Μαρ. 2019), σσ. 1482–1498. DOI: 10.1007/s10773-019-04035-5.
- [260] R.P. Feynman, R.B. Leighton και M. Sands. *The Feynman Lectures on Physics, Vol. III: The New Millennium Edition: Quantum Mechanics*. The Feynman Lectures on Physics. Basic Books, 2011. ISBN: 9780465025015.
- [262] Richard P. Feynman. «Simulating physics with computers». Στο: *International Journal of Theoretical Physics Int J Theor Phys* 21.6-7 (1982), σσ. 467–488. DOI: 10.1007/bf02650179.
- [264] Richard Phillips Feynman, JG Hey και Robin W Allen. «Feynman lectures on computation». Στο: (1998). DOI: 10.2307/3621727.
- [266] Jerzy Filar και Vladimir Ejov. *Flinders Hamiltonian Cycle Project*. <https://sites.flinders.edu.au/flinders-hamiltonian-cycle-project/graph-database/>. Accessed: 2022-01-03.
- [267] David R. Finston και Patrick J. Morandi. *Abstract Algebra*. Springer International Publishing, 2014. DOI: 10.1007/978-3-319-04498-9.
- [268] FIRST. *Common vulnerability scoring system SIG*. URL: <https://www.first.org/cvss/>.
- [269] Michael J. Fischer, Nancy A. Lynch και Michael Merritt. «Easy impossibility proofs for distributed consensus problems». Στο: *Distributed Computing* 1.1 (Μαρ. 1986), σσ. 26–39. DOI: 10.1007/bf01843568.
- [270] Michael J. Fischer, Nancy A. Lynch και Michael S. Paterson. «Impossibility of distributed consensus with one faulty process». Στο: *Journal of the ACM* 32.2 (Απρ. 1985), σσ. 374–382. DOI: 10.1145/3149.214121.
- [271] Matthias Fitzi, Juan A. Garay, Ueli Maurer και Rafail Ostrovsky. «Minimal Complete Primitives for Secure Multi-party Computation». Στο: *Advances in Cryptology — CRYPTO 2001*. Springer Berlin Heidelberg, 2001, σσ. 80–100. DOI: 10.1007/3-540-44647-8_5.
- [272] Matthias Fitzi, Nicolas Gisin και Ueli Maurer. «Quantum Solution to the Byzantine Agreement Problem». Στο: *Physical Review Letters* 87.21 (Νοέ. 2001), σ. 217901. DOI: 10.1103/physrevlett.87.217901.
- [273] Matthias Fitzi, Nicolas Gisin, Ueli Maurer και Oliver von Rotz. «Unconditional Byzantine Agreement and Multi-party Computation Secure against Dishonest Minorities from Scratch». Στο: *Advances in Cryptology — EUROCRYPT 2002*. Springer Berlin Heidelberg, 2002, σσ. 482–501. DOI: 10.1007/3-540-46035-7_32.
- [274] Alice Flarend και Robert Hilborn. *Quantum Computing: From Alice to Bob*. Oxford University Press Oxford, Απρ. 2022. DOI: 10.1093/oso/9780192857972.001.0001.
- [277] Adrian P Flitney και Derek Abbott. «An introduction to quantum game theory». Στο: *Fluctuation and Noise Letters* 2.04 (2002), R175–R187. DOI: 10.1142/s0219477502000981.
- [282] MM Flood, M Drescher, AW Tucker και F Device. «Prisoner’s Dilemma: Game Theory». Στο: *Experimental Economics* (1950).

- [284] Peter Forster, Lucy Forster, Colin Renfrew και Michael Forster. «Phylogenetic network analysis of SARS-CoV-2 genomes». Στο: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117.17 (2020), σσ. 9241–9243.
- [285] Ben Fortescue και Gilad Gour. «Reducing the quantum communication cost of quantum secret sharing». Στο: *IEEE transactions on information theory* 58.10 (2012), σσ. 6659–6666.
- [286] John B. Fraleigh. *First Course in Abstract Algebra, A: Pearson New International Edition*. Pearson Education Limited, 23 Ιούλ. 2013. 464 **pagetotals**. ISBN: 1292024968.
- [287] U. Franz και A. Skalski. *Noncommutative Mathematics for Quantum Systems*. Cambridge - IISc series. Cambridge University Press, 2016. ISBN: 9781316675304. URL: <https://books.google.gr/books?id=vpdhnQAACAAJ>.
- [289] Yao Fu, Hua-Lei Yin, Teng-Yun Chen και Zeng-Bing Chen. «Long-distance measurement-device-independent multiparty quantum communication». Στο: *Physical review letters* 114.9 (2015), σ. 090501.
- [290] Martin Liebeck G. D. James. *Representations and Characters of Groups*. Cambridge University Press, 28 Φεβ. 2009. 468 **pagetotals**. ISBN: 0521812054.
- [291] Aida Gainutdinova και Abuzer Yakaryilmaz. «Unary probabilistic and quantum automata on promise problems». Στο: *Quantum Information Processing* 17.2 (2018), σ. 28.
- [292] J. Gallian. *Contemporary Abstract Algebra*. Cengage Learning, 2016. ISBN: 9781305887855.
- [293] Jay Gambetta. *Quantum-centric supercomputing: The next wave of computing*. <https://research.ibm.com/blog/next-wave-quantum-centric-supercomputing>. Accessed: 2022-11-18.
- [294] Rongwei Gan, Qingshun Guo, Huiyou Chang και Yang Yi. «Improved ant colony optimization algorithm for the traveling salesman problems». Στο: *Journal of Systems Engineering and Electronics* 21.2 (2010), σσ. 329–333.
- [295] Ekta Gandotra, Divya Bansal και Sanjeev Sofat. «Malware analysis and classification: A survey». Στο: *Journal of Information Security* 2014 (2014).
- [296] Wenhua Gao και Li Yang. «Quantum Election Protocol Based on Quantum Public Key Cryptosystem». Στο: *Security and Communication Networks* 2021 (Απρ. 2021). Επιμέλεια υπό Prosanta Gope, σσ. 1–15. DOI: 10.1155/2021/5551249.
- [297] Martin Gardner. *The 2nd Scientific American Book of Mathematical Puzzles & Diversions*. eng. New York: Simon και Schuster, 1961.
- [298] Silvano Garnerone, Paolo Zanardi και Daniel A Lidar. «Adiabatic quantum algorithm for search engine ranking». Στο: *Physical review letters* 108.23 (2012), σ. 230506. DOI: 10.1103/physrevlett.108.230506. eprint: 1109.6546v5.
- [299] Robert A Gatenby και Thomas L Vincent. «An evolutionary model of carcinogenesis». Στο: *Cancer research* 63.19 (2003), σσ. 6212–6220.
- [302] Michel Gendreau, Alain Hertz, Gilbert Laporte και Mihnea Stan. «A generalized insertion heuristic for the traveling salesman problem with time windows». Στο: *Operations Research* 46.3 (1998), σσ. 330–335. DOI: 10.1287/opre.46.3.330.
- [305] Asim Ghosh, Anindya Sundar Chakrabarti και Bikas K Chakrabarti. «Kolkata Paise Restaurant problem in some uniform learning strategy limits». Στο: *Econophysics and Economics of Games, Social Choices and Quantitative Techniques*. Springer, 2010, σσ. 3–9.

- [306] Asim Ghosh, Arnab Chatterjee, Manipushpak Mitra και Bikas K Chakrabarti. «Statistics of the Kolkata Paise Restaurant problem». Στο: *New Journal of Physics* 12.7 (Ιούλ. 2010), σ. 075033. DOI: 10.1088/1367-2630/12/7/075033.
- [307] Diptesh Ghosh και Anindya S Chakrabarti. «Emergence of distributed coordination in the Kolkata paise restaurant problem with finite information». Στο: *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 483 (2017), σσ. 16–24.
- [308] Konstantinos Giannakis και Theodore Andronikos. «Mitochondrial Fusion Through Membrane Automata». Στο: *Advances in Experimental Medicine and Biology*. Springer International Publishing, Νοέ. 2014, σσ. 163–172. DOI: 10.1007/978-3-319-09012-2_10.
- [310] Konstantinos Giannakis και Theodore Andronikos. «Use of Büchi automata and randomness for the description of biological processes». Στο: *International Journal of Scientific World* 3.1 (Μαρ. 2015), σ. 113. DOI: 10.14419/ijsw.v3i1.4356.
- [313] Konstantinos Giannakis, Christos Papalitsas, Georgia Theocharopoulou, Sofia Fanarioti και Theodore Andronikos. «A Quantum-inspired optimization Heuristic for the Multiple Sequence Alignment Problem in Bio-computing». Στο: *2019 10th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA)*. IEEE, Ιούλ. 2019. DOI: 10.1109/iisa.2019.8900740.
- [315] Konstantinos Giannakis, Alexandros Singh, Kalliopi Kastampolidou, Christos Papalitsas και Theodore Andronikos. «QM Automata: A New Class of Restricted Quantum Membrane Automata». Στο: *Advances in Experimental Medicine and Biology*. Springer International Publishing, 2017, σσ. 193–204. DOI: 10.1007/978-3-319-56246-9_15.
- [316] Konstantinos Giannakis, Georgia Theocharopoulou, Christos Papalitsas, Theodore Andronikos και Panayiotis Vlamos. «Associating -automata to path queries on Webs of Linked Data». Στο: *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 51 (Μάρ. 2016), σσ. 115–123. DOI: 10.1016/j.engappai.2016.01.013.
- [318] Konstantinos Giannakis, Georgia Theocharopoulou, Christos Papalitsas, Sofia Fanarioti και Theodore Andronikos. «Particular Biomolecular Processes as Computing Paradigms». Στο: *Advances in Experimental Medicine and Biology*. Springer International Publishing, 2020, σσ. 225–238. DOI: 10.1007/978-3-030-32622-7_20.
- [319] Nina Gierasimczuk και Jakub Szymanik. «A note on a generalization of the Muddy Children puzzle». Στο: *Proceedings of the 13th Conference on Theoretical Aspects of Rationality and Knowledge - TARK XIII*. ACM Press, 2011. DOI: 10.1145/2000378.2000409.
- [320] H. Gintis. *Game Theory Evolving: A Problem-Centered Introduction to Modeling Strategic Interaction (Second Edition)*. Princeton University Press, 2009. ISBN: 9780691140513. DOI: 10.2307/j.ctvc4gjh.
- [321] Pulak Ranjan Giri και Vladimir E. Korepin. «A review on quantum search algorithms». Στο: *Quantum Information Processing* 16.12 (Νοέ. 2017). DOI: 10.1007/s11128-017-1768-7.
- [322] Nicolas Gisin, Grégoire Ribordy, Hugo Zbinden, Damien Stucki, Nicolas Brunner και Valerio Scarani. «Towards practical and fast quantum cryptography». Στο: *arXiv preprint quant-ph/0411022* (2004).
- [324] Fred Glover και Gary Kochenberger. «A Tutorial on Formulating QUBO Models». Στο: *arXiv preprint arXiv:1811.11538* (2018).
- [327] Gene H. Golub. *Matrix Computations*. Johns Hopkins University Press, Fourth Edition, 7 Ιαν. 2013. ISBN: 1421407949.

- [328] Alan G. Gomez, William C. Oakes, Les L. Leone, Merle C. Potter και John L. Gruender. *Engineering your future: a project-based introduction to engineering*. Great Lakes Press, 2011.
- [329] Carlos Pedro Gonçalves και Carlos Gonçalves. «An evolutionary quantum game model of financial market dynamics-theory and evidence». Στο: (2007).
- [330] Alexey L. Gorodentsev. *Algebra I*. Springer International Publishing, 2016. DOI: 10 . 1007/978-3-319-45285-2.
- [331] Daniel Gottesman. «Theory of quantum secret sharing». Στο: *Physical Review A* 61.4 (2000), σ. 042311.
- [332] J Orlin Grabbe. «An introduction to quantum game theory». Στο: *arXiv preprint quant-ph/0506219* (2005).
- [333] Daniel M. Greenberger, Michael A. Horne και Anton Zeilinger. «Going Beyond Bell's Theorem». Στο: *Bell's Theorem, Quantum Theory and Conceptions of the Universe*. Springer Netherlands, 1989, σσ. 69–72. DOI: 10 . 1007/978-94-017-0849-4_10.
- [334] George D. Greenwade. «The Comprehensive Tex Archive Network (CTAN)». Στο: *TUGBoat* 14.3 (1993), σσ. 342–351.
- [335] Andrei Anatol'evich Grib και Georgy N Parfionov. «Can a game be quantum?». Στο: *Journal of Mathematical Sciences* 125.2 (2005), σσ. 173–184.
- [336] Warren P Grice και Bing Qi. «Quantum secret sharing using weak coherent states». Στο: *Physical Review A* 100.2 (2019), σ. 022339.
- [337] D.J. Griffiths. *Introduction to Quantum Mechanics*. Pearson international edition. Pearson Prentice Hall, 2005. ISBN: 9780131118928. DOI: 10 . 1017/9781316995433.
- [338] LK Grover. «A fast quantum mechanical algorithm for database search». Στο: *Proc. of the Twenty-Eighth Annual ACM Symposium on the Theory of Computing, 1996*. 1996. DOI: 10 . 1145/237814.237866.
- [339] Jie Gu, Yuan-Mei Xie, Wen-Bo Liu, Yao Fu, Hua-Lei Yin και Zeng-Bing Chen. «Secure quantum secret sharing without signal disturbance monitoring». Στο: *Optics Express* 29.20 (2021), σσ. 32244–32255.
- [340] Jian-Yu Guan, Zhu Cao, Yang Liu, Guo-Liang Shen-Tu, Jason S Pelc, MM Fejer, Cheng-Zhi Peng, Xiongfeng Ma, Qiang Zhang και Jian-Wei Pan. «Experimental passive round-robin differential phase-shift quantum key distribution». Στο: *Physical review letters* 114.18 (2015), σ. 180502.
- [341] Irène Guessarian, Eugénie Foustoucos, Theodore Andronikos και Foto Afrati. «On temporal logic versus datalog». Στο: *Theoretical Computer Science* 303.1 (Ιούν. 2003), σσ. 103–133. DOI: 10 . 1016/s0304-3975(02)00447-4.
- [343] Hong Guo, Juheng Zhang και Gary J. Koehler. «A survey of quantum games». Στο: *Decision Support Systems* 46.1 (Δεκ. 2008), σσ. 318–332. DOI: 10 . 1016/j . dss . 2008 . 07 . 001.
- [344] Gregory Gutin και Abraham P Punnen. *The traveling salesman problem and its variations*. Τόμ. 12. Springer Science & Business Media, 2006.
- [345] Gregory Gutin και Abraham P Punnen. *The traveling salesman problem and its variations*. Τόμ. 12. Springer Science & Business Media, 2006.
- [346] Stuart Hadfield, Zhihui Wang, Bryan O’Gorman, Eleanor G Rieffel, Davide Venturelli και Rupak Biswas. «From the quantum approximate optimization algorithm to a quantum alternating operator ansatz». Στο: *Algorithms* 12.2 (2019), σ. 34. DOI: 10 . 3390/a12020034. eprint: 1709 . 03489v2.

- [348] William C Hahn και Robert A Weinberg. «Rules for making human tumor cells». Στο: *New England Journal of Medicine* 347.20 (2002), σσ. 1593–1603.
- [350] B.C. Hall. *Quantum Theory for Mathematicians*. Graduate Texts in Mathematics. Springer New York, 2013. ISBN: 9781461471165. DOI: 10.1007/978-1-4614-7116-5.
- [351] Joseph Y. Halpern και Yoram Moses. «Knowledge and Common Knowledge in a Distributed Environment». Στο: *J. ACM* 37.3 (Ιούλ. 1990), σσ. 549–587. ISSN: 0004-5411. DOI: 10.1145/79147.79161. URL: <https://doi.org/10.1145/79147.79161>.
- [354] Jiawei Han, Micheline Kamber και Jian Pei. «Data Preprocessing». Στο: *Data Mining (Third Edition)*. Επιμέλεια υπό Jiawei Han, Micheline Kamber και Jian Pei. 3rd. The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems. Morgan Kaufmann, 2012, σσ. 83–124. ISBN: 978-0-12-381479-1. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381479-1.00003-4>.
- [358] M Hanauske, W König και B Dugall. «Evolutionary Quantum Game Theory and Scientific Communication. 2010». Στο: *Submitted to the "Second Brazilian Workshop of the Game Theory Society", Internet-Link*.
- [359] Pierre Hansen, Nenad Mladenovic, Raca Todosijevic και Saïd Hanafi. «Variable neighborhood search: basics and variants». Στο: *EURO Journal on Computational Optimization EURO J Comput Optim* (Δεκ. 2016). DOI: 10.1007/s13675-016-0075-x.
- [360] Liang Hao, Chuan Wang και Gui Lu Long. «Quantum secret sharing protocol with four state Grover algorithm and its proof-of-principle experimental demonstration». Στο: *Optics Communications* 284.14 (2011), σσ. 3639–3642.
- [361] Philipp Hauke, Helmut G Katzgraber, Wolfgang Lechner, Hidetoshi Nishimori και William D Oliver. «Perspectives of quantum annealing: Methods and implementations». Στο: *arXiv preprint arXiv:1903.06559* (2019). DOI: 10.1088/1361-6633/ab85b8. eprint: 1903.06559v1.
- [363] Dirk Helbing κ.ά. «Saving Human Lives: What Complexity Science and Information Systems can Contribute». Στο: *Journal of Statistical Physics* 158.3 (Ιούν. 2014), σσ. 735–781. DOI: 10.1007/s10955-014-1024-9.
- [364] Wolfram Helwig, Wei Cui, José Ignacio Latorre, Arnau Riera και Hoi-Kwong Lo. «Absolute maximal entanglement and quantum secret sharing». Στο: *Physical Review A* 86.5 (2012), σ. 052335.
- [365] Itay Hen και Federico M Spedalieri. «Quantum annealing for constrained optimization». Στο: *Physical Review Applied* 5.3 (2016), σ. 034007. DOI: 10.1103/physrevapplied.5.034007. eprint: 1508.04212v2.
- [368] Mark Hillery, Vladimír Bužek και André Berthiaume. «Quantum secret sharing». Στο: *Physical Review A* 59.3 (1999), σ. 1829.
- [369] Mark Hillery, Mário Ziman, Vladimír Bužek και Martina Bieliková. «Towards quantum-based privacy and voting». Στο: *Physics Letters A* 349.1-4 (Ιαν. 2006), σσ. 75–81. DOI: 10.1016/j.physleta.2005.09.010.
- [370] Jaakko Hintikka. *Knowledge and belief; an introduction to the logic of the two notions*. Ithaca, N.Y: Cornell University Press, 1962. ISBN: 0801401879.
- [371] Mika Hirvensalo. «Quantum automata theory—a review». Στο: *Algebraic Foundations in Computer Science*. Springer, 2011, σσ. 146–167. DOI: 10.1007/978-3-642-24897-9_7.
- [372] Jonathan K. Hodge. *Abstract Algebra*. Chapman και Hall/CRC, Δεκ. 2013. DOI: 10.1201/b16102.

- [374] Tom Hofmann. «How organisations can ethically negotiate ransomware payments». Στο: *Network Security* 2020.10 (2020), σσ. 13–17.
- [375] A.S. Holevo. *Probabilistic and Statistical Aspects of Quantum Theory*. Publications of the Scuola Normale Superiore. Scuola Normale Superiore, 2011. ISBN: 9788876423789. URL: <https://books.google.gr/books?id=17AIDhbWrTIC>.
- [376] Lloyd CL Hollenberg. «Fast quantum search algorithms in protein sequence comparisons: Quantum bioinformatics». Στο: *Physical Review E* 62.5 (2000), σ. 7532. DOI: 10.1103/physreve.62.7532.
- [377] John J Hopfield και David W Tank. «Computing with neural circuits: A model». Στο: *Science* 233.4764 (1986), σσ. 625–633. DOI: 10.1126/science.3755256.
- [378] Alasdair I Houston και John M McNamara. «Fighting for food: a dynamic version of the Hawk-Dove game». Στο: *Evolutionary Ecology* 2.1 (1988), σσ. 51–64.
- [379] Jan Howells. *Protecting yourself against the scourge of ransomware*. Σεπτ. 2017. URL: <https://www.orange-business.com/en/blogs/connecting-technology/security/protecting-yourself-against-the-scurge-of-ransomware>.
- [380] Li-Yi Hsu. «Quantum secret-sharing protocol based on Grover’s algorithm». Στο: *Physical Review A* 68.2 (2003), σ. 022306.
- [382] Richard J. Hughes, Jane E. Nordholt, Kevin P. McCabe, Raymond T. Newell, Charles G. Peterson και Rolando D. Somma. «Network-Centric Quantum Communications with Application to Critical Infrastructure Protection». Στο: (1 Μάι. 2013). arXiv: 1305.0305 [quant-ph].
- [384] J.F. Humphreys. *A Course in Group Theory*. Oxford Graduate Texts in Mathematics. Oxford University Press, 1996. ISBN: 9780198534594.
- [385] Hong-Wei Huo, Vojislav Stojkovic και Qiao-Luan Xie. «A quantum-inspired genetic algorithm based on probabilistic coding for multiple sequence alignment». Στο: *Journal of bioinformatics and computational biology* 8.01 (2010), σσ. 59–75. DOI: 10.1142/s0219720010004549.
- [386] Michael Huth και Mark Ryan. *Logic in computer science: modelling and reasoning about systems*. Cambridge England New York: Cambridge University Press, 2000. ISBN: 9780521656023.
- [387] Bruno Huttner, Nobuyuki Imoto, Nicolas Gisin και Tsafir Mor. «Quantum cryptography with coherent states». Στο: *Physical Review A* 51.3 (1995), σ. 1863.
- [388] T. Hwang, C. C. Hwang και C. W. Tsai. «Quantum key distribution protocol using dense coding of three-qubit W state». Στο: *The European Physical Journal D* 61.3 (Φεβ. 2011), σσ. 785–790. DOI: 10.1140/epjd/e2010-10320-y.
- [389] IBM. *IBM Quantum Composer*. <https://quantum-computing.ibm.com/composer>. Accessed: 2022-04-03.
- [390] IBM. *IBM Quantum Roadmap*. <https://research.ibm.com/blog/ibm-quantum-roadmap-2025>. Accessed: 2022-07-27.
- [391] Kyo Inoue, Edo Waks και Yoshihisa Yamamoto. «Differential phase shift quantum key distribution». Στο: *Physical review letters* 89.3 (2002), σ. 037902.
- [392] A Iqbal και AH Toor. «Entanglement and dynamic stability of Nash equilibria in a symmetric quantum game». Στο: *Physics Letters A* 286.4 (2001), σσ. 245–250.
- [396] A Iqbal και AH Toor. «Stability of mixed Nash equilibria in symmetric quantum games». Στο: *Communications in Theoretical Physics* 42.3 (2004), σ. 335.
- [397] A. Iqbal και A.H. Toor. «Evolutionarily stable strategies in quantum games». Στο: *Physics Letters A* 280.5-6 (Μαρ. 2001), σσ. 249–256. DOI: 10.1016/s0375-9601(01)00082-2.

- [398] A. Iqbal και A.H. Toor. «Quantum cooperative games». Στο: *Physics Letters A* 293.3-4 (Ιαν. 2002), σσ. 103–108. DOI: 10.1016/s0375-9601(02)00003-8.
- [399] A. Iqbal και A.H. Toor. «Quantum repeated games». Στο: *Physics Letters A* 300.6 (Αύγ. 2002), σσ. 541–546. DOI: 10.1016/s0375-9601(02)00893-9.
- [400] Azhar Iqbal. «Playing games with EPR-type experiments». Στο: *Journal of Physics A: Mathematical and General* 38.43 (Οκτ. 2005), σσ. 9551–9564. DOI: 10.1088/0305-4470/38/43/009.
- [402] Hirotaka Irie, Goragot Wongpaisarnsin, Masayoshi Terabe, Akira Miki και Shinichirou Taguchi. «Quantum annealing of vehicle routing problem with time, state and capacity». Στο: *International Workshop on Quantum Technology and Optimization Problems*. Springer. 2019, σσ. 145–156. DOI: 10.1007/978-3-030-14082-3_13. eprint: 1903.06322v1.
- [403] I Isaacs. *Finite group theory*. Providence, R.I: American Mathematical Society, 2008. ISBN: 0821843443.
- [404] Alexey P Isaev και Valery A. Rubakov. *Theory of Groups and Symmetries*. WSPC, 22 Μαρ. 2018. 476 **pagetotals**. ISBN: 981323685X.
- [405] JBC Jackson και LEO Buss. «Alleopathy and spatial competition among coral reef invertebrates». Στο: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 72.12 (1975), σσ. 5160–5163.
- [406] Siddharth Jain. «Solving the Traveling Salesman Problem on the D-Wave Quantum Computer». Στο: *Frontiers in Physics* 9 (Νοέ. 2021). DOI: 10.3389/fphy.2021.760783.
- [407] Sabine Jansen, Mary-Beth Ruskai και Ruedi Seiler. «Bounds for the adiabatic approximation with applications to quantum computation». Στο: *Journal of Mathematical Physics* 48.10 (2007), σ. 102111. DOI: 10.1063/1.2798382.
- [408] Bassem Jarboui, Houda Derbel, Saïd Hanafi και Nenad Mladenovic. «Variable neighborhood search for location routing». Στο: *Computers & Operations Research* 40.1 (2013), σσ. 47–57. DOI: 10.1016/j.cor.2012.05.009.
- [409] John Gilbert Jeremy Kepner. *Graph Algorithms in the Language of Linear Algebra*. Society for Industrial και Applied Mathematics, 1 Αύγ. 2011. 375 **pagetotals**. ISBN: 0898719909.
- [410] David S Johnson και Lyle A McGeoch. «The traveling salesman problem: A case study in local optimization». Στο: ().
- [411] R. Johnson και M. G. Pilcher. «The traveling salesman problem, edited by E. L. Lawler, J. K. Lenstra, A.H.G. Rinnooy Kan, and D.B. Shmoys, John Wiley & sons, chichester, 1985, 463 pp». Στο: *Networks* 19.5 (Αύγ. 1989), σσ. 615–616. DOI: 10.1002/net.3230190511.
- [412] Jeff Jones και Andrew Adamatzky. «Computation of the travelling salesman problem by a shrinking blob». Στο: *Natural Computing* 13.1 (Οκτ. 2013), σσ. 1–16. DOI: 10.1007/s11047-013-9401-x.
- [413] C. Jordan και D. Jordan. *Groups - Modular Mathematics Series*. Modular Mathematics Series. Elsevier Science, 1994. ISBN: 9780080571652.
- [414] Dintomon Joy, Supin P. Surendran και M. Sabir. «Efficient deterministic secure quantum communication protocols using multipartite entangled states». Στο: *Quantum Information Processing* 16.6 (Μάι. 2017). DOI: 10.1007/s11128-017-1613-z.
- [415] Nagata K, Resconi G, Nakamura T, Batle J, Abdalla S και Farouk A. «A Generalization of the Bernstein-Vazirani Algorithm». Στο: *MOJ Ecology & Environmental Sciences* 2.1 (Φεβ. 2017). DOI: 10.15406/moj.es.2017.02.00010.

- [416] Nagata K, Nakamura T, Geurdes H, Batle J, Abdalla S και Farouk A. «Quantum Communication Based on Simon's Algorithm». Στο: *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology* 5.8 (Δεκ. 2017), σσ. 28–31.
- [417] Tadashi Kadowaki. «Study of optimization problems by quantum annealing». Στο: *arXiv preprint quant-ph/0205020* (2002).
- [418] Tadashi Kadowaki και Hidetoshi Nishimori. «Quantum annealing in the transverse Ising model». Στο: *Physical Review E* 58.5 (1998), σ. 5355. DOI: 10.1103/physreve.58.5355.
- [419] P. Karakostas, A. Sifaleras και C.M. Georgiadis. «A general variable neighborhood search-based solution approach for the location-inventory-routing problem with distribution outsourcing». Στο: *Computers & Chemical Engineering* (2019). to appear. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2019.04.015.
- [420] Anders Karlsson, Masato Koashi και Nobuyuki Imoto. «Quantum entanglement for secret sharing and secret splitting». Στο: *Physical Review A* 59.1 (1999), σ. 162.
- [421] Venkateswaran Kasirajan. *Fundamentals of Quantum Computing*. Springer International Publishing, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-63689-0.
- [427] Kalliopi Kastampolidou και Theodore Andronikos. «Game Theory and Other Unconventional Approaches to Biological Systems». Στο: *Handbook of Computational Neurodegeneration*. Springer International Publishing, 2023, σσ. 163–180. DOI: 10.1007/978-3-319-75922-7_23.
- [430] Kalliopi Kastampolidou, Christos Papalitsas και Theodore Andronikos. «DKPRG or how to succeed in the Kolkata Paise Restaurant game via TSP». Στο: (16 Ιαν. 2021). arXiv: 2101.07760 [econ. TH].
- [432] Kalliopi Kastampolidou, Christos Papalitsas και Theodore Andronikos. «The Distributed Kolkata Paise Restaurant Game». Στο: *Games* 13.3 (2022), σ. 33. ISSN: 2073-4336. DOI: 10.3390/g13030033.
- [434] Roland Kay, Neil F Johnson και Simon C Benjamin. «Evolutionary quantum game». Στο: *Journal of Physics A: Mathematical and General* 34.41 (Οκτ. 2001), σσ. L547–L552. DOI: 10.1088/0305-4470/34/41/101.
- [436] P. Kaye, R. Laflamme και M. Mosca. *An Introduction to Quantum Computing*. OUP Oxford, 2007. ISBN: 9780198570004.
- [438] Adrian Keet, Ben Fortescue, Damian Markham και Barry C Sanders. «Quantum secret sharing with qudit graph states». Στο: *Physical Review A* 82.6 (2010), σ. 062315.
- [439] Todd R Kelley. «Optimization, an important stage of engineering design». Στο: *The Technology Teacher* 69.5 (2010), σ. 18.
- [440] Iordanis Kerenidis και Anupam Prakash. «Quantum recommendation systems». Στο: *arXiv preprint arXiv:1603.08675* (2016).
- [443] James King, Sheir Yarkoni, Mayssam M Nevisi, Jeremy P Hilton και Catherine C McGeoch. «Benchmarking a quantum annealing processor with the time-to-target metric». Στο: *arXiv preprint arXiv:1508.05087* (2015).
- [444] Scott Kirkpatrick, C Daniel Gelatt και Mario P Vecchi. «Optimization by simulated annealing». Στο: *science* 220.4598 (1983), σσ. 671–680. DOI: 10.1016/b978-0-08-051581-6.50059-3.
- [446] Jon Kleinberg. *Algorithm design*. Boston: Pearson/Addison-Wesley, 2006. ISBN: 9780321295354.

- [447] Jon Kleinberg και Eva Tardos. *Σχεδιασμός Αλγορίθμων*. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΕ, 2009. ISBN: 978-960-461-207-9.
- [448] Achim Klenke. *Probability Theory*. Springer London, 2014. DOI: 10.1007/978-1-4471-5361-0.
- [449] KnowBe4. *Virlock Ransomware*. URL: <https://www.knowbe4.com/virlock-ransomware>.
- [450] KnowBe4. *Virlock Ransomware Stealth Spread Via Cloud Storage*. URL: <https://blog.knowbe4.com/new-virlock-ransomware-strain-spreads-stealthily-via-cloud-storage>.
- [452] Gary Kochenberger, Jin-Kao Hao, Fred Glover, Mark Lewis, Zhipeng Lü, Haibo Wang και Yang Wang. «The unconstrained binary quadratic programming problem: a survey». Στο: *Journal of Combinatorial Optimization* 28.1 (2014), σσ. 58–81. DOI: 10.1007/s10878-014-9734-0.
- [455] Yvette Kosmann-Schwarzbach. *Groups and Symmetries*. Springer New York, 2010. DOI: 10.1007/978-0-387-78866-1.
- [459] Nectarios Koziris, Theodore Andronikos, George Economakos, George Papakonstantinou και Panayotis Tsanakas. «Automatic hardware synthesis of nested loops using UET grids and VHDL». Στο: *High-Performance Computing and Networking*. Springer Berlin Heidelberg, 1997, σσ. 888–897. DOI: 10.1007/bfb0031660.
- [460] Rafael Lahoz-Beltra. «Quantum genetic algorithms for computer scientists». Στο: *Computers* 5.4 (2016), σ. 24. DOI: 10.3390/computers5040024.
- [461] Ramji Lal. *Algebra 2*. Springer Singapore, 2017. DOI: 10.1007/978-981-10-4256-0.
- [462] Guillaume Lambert, Luis Estévez-Salmeron, Steve Oh, David Liao, Beverly M Emerson, Thea D Ilsty και Robert H Austin. «An analogy between the evolution of drug resistance in bacterial communities and malignant tissues». Στο: *Nature Reviews Cancer* 11.5 (2011), σσ. 375–382.
- [463] Guillaume Lambert, Saurabh Vyawahare και Robert H Austin. «Bacteria and game theory: the rise and fall of cooperation in spatially heterogeneous environments». Στο: *Interface focus* 4.4 (2014), σ. 20140029.
- [464] Leslie Lamport, Robert Shostak και Marshall Pease. «The Byzantine Generals Problem». Στο: *ACM Transactions on Programming Languages and Systems* 4.3 (Ιούλ. 1982), σσ. 382–401. DOI: 10.1145/357172.357176.
- [465] Steven E Landsburg. «Quantum game theory». Στο: *Notices of the AMS* 51.4 (2004), σσ. 394–399.
- [466] André Langevin, Martin Desrochers, Jacques Desrosiers, Sylvie Gélinas και François Soumis. «A two-commodity flow formulation for the traveling salesman and the makespan problems with time windows». Στο: *Networks* 23.7 (1993), σσ. 631–640. DOI: 10.1002/net.3230230706.
- [467] Ray LaPierre. *Introduction to Quantum Computing*. Springer International Publishing, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-69318-3.
- [469] Rinnooy Lawler Lenstra. *The Traveling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization*. John Wiley & Sons, 11 Σεπτ. 1985. 484 **pagetotals**. ISBN: 0471904139.
- [470] Rinnooy Lawler Lenstra. *Traveling Salesman Problem*. John Wiley Sons, 11 Σεπτ. 1985. 484 **pagetotals**. ISBN: 0471904139.
- [471] David Lay. *Linear algebra and its applications*. Boston: Pearson, 2016. ISBN: 9780321982384.

- [472] Michel Le Bellac. *A Short Introduction to Quantum Information and Quantum Computation*. Cambridge University Press, 2006. ISBN: 9780521860567. URL: https://books.google.gr/books?id=eQIP1%5C_fc7gYC.
- [473] *Leap's Hybrid Solvers Documentation*. <https://docs.ocean.dwavesys.com/en/latest/overview/hybrid.html#leap-s-hybrid-solvers>. Accessed: 2021-11-30.
- [474] *Leap's Hybrid Solvers Documentation*. https://docs.dwavesys.com/docs/latest/doc_leap_hybrid.html#idl. Accessed: 2021-11-30.
- [475] *LeapHybridSampler*. <https://docs.ocean.dwavesys.com/projects/system/en/latest/reference/samplers.html#leaphybridsampler>. Accessed: 2021-11-30.
- [476] Chiu Fan Lee και Neil Johnson. «Parrondo games and quantum algorithms». Στο: *arXiv preprint quant-ph/0203043* (2002).
- [477] Chiu Fan Lee και Neil F Johnson. «Efficiency and formalism of quantum games». Στο: *Physical Review A* 67.2 (2003), σ. 022311.
- [478] Doohwang Lee, Robert Larose και Nora Rifon. «Keeping our network safe: a model of online protection behaviour». Στο: *Behaviour & Information Technology* 27.5 (2008), σσ. 445–454.
- [479] Richard E Lenski και Gregory J Velicer. «Games microbes play». Στο: *Selection* 1.1-3 (2001), σσ. 89–96.
- [481] D Lewis. *Convention, A Philosophical Study*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1969.
- [482] Harry R. Lewis και Christos H. Papadimitriou. *Elements of the Theory of Computation*. 2nd. USA: Prentice Hall PTR, 1997. ISBN: 0132624788. DOI: 10.1145/300307.1040360.
- [483] Harry R. Lewis και Christos H. Papadimitriou. *Στοιχεία θεωρίας υπολογισμού*. Κριτική, 2005. ISBN: 978-960-218-397-7.
- [484] Mark Lewis και Fred Glover. «Quadratic unconstrained binary optimization problem preprocessing: Theory and empirical analysis». Στο: *Networks* 70.2 (2017), σσ. 79–97. DOI: 10.1002/net.21751. eprint: 1705.09844v1.
- [486] Angsheng Li και Xi Yong. «Entanglement Guarantees Emergence of Cooperation in Quantum Prisoner's Dilemma Games on Networks». Στο: *Scientific Reports* 4.1 (Σεπτ. 2014). DOI: 10.1038/srep06286.
- [487] Lvzhou Li και Yuan Feng. «On hybrid models of quantum finite automata». Στο: *Journal of Computer and System Sciences* 81.7 (2015), σσ. 1144–1158. DOI: 10.1016/j.jcss.2015.01.001. eprint: 1206.2131v2.
- [488] Lvzhou Li και Daowen Qiu. «Lower bounds on the size of semi-quantum finite automata». Στο: *Theoretical Computer Science* 623 (2016), σσ. 75–82. DOI: 10.1016/j.tcs.2015.09.031. eprint: 1502.02839v2.
- [489] Qiang Li, Azhar Iqbal, Matjaž Perc, Minyou Chen και Derek Abbott. «Coevolution of Quantum and Classical Strategies on Evolving Random Networks». Στο: *PLoS ONE* 8.7 (Ιούλ. 2013). Επιμέλεια υπό Alain Barrat, e68423. DOI: 10.1371/journal.pone.0068423.
- [491] Yuan Li και Guihua Zeng. «Quantum anonymous voting systems based on entangled state». Στο: *Optical Review* 15.5 (Σεπτ. 2008), σσ. 219–223. DOI: 10.1007/s10043-008-0034-8.
- [492] Zhen Li και Qi Liao. «Game theory of data-selling ransomware». Στο: *Journal of Cyber Security and Mobility* (2021), σσ. 65–96.

- [493] Sheng-Kai Liao, Wen-Qi Cai, Johannes Handsteiner, Bo Liu, Juan Yin, Liang Zhang, Dominik Rauch, Matthias Fink, Ji-Gang Ren, Wei-Yue Liu κ.ά. «Satellite-relayed intercontinental quantum network». Στο: *Physical review letters* 120.3 (2018), σ. 030501.
- [494] Sheng-Kai Liao, Wen-Qi Cai, Wei-Yue Liu, Liang Zhang, Yang Li, Ji-Gang Ren, Juan Yin, Qi Shen, Yuan Cao, Zheng-Ping Li κ.ά. «Satellite-to-ground quantum key distribution». Στο: *Nature* 549.7670 (2017), σσ. 43–47.
- [495] Daniel A Lidar, Ali T Rezakhani και Alioscia Hamma. «Adiabatic approximation with exponential accuracy for many-body systems and quantum computation». Στο: *Journal of Mathematical Physics* 50.10 (2009), σ. 102106. DOI: 10 . 1063 / 1 . 3236685. eprint: 0808.2697v3.
- [496] J Littlewood. *A Mathematician's Miscellany*. London: Methuen και Co, 1953.
- [497] Cheng-Ji Liu, Zhi-Hui Li, Chen-Ming Bai και Meng-Meng Si. «Quantum-secret-sharing scheme based on local distinguishability of orthogonal seven-qudit entangled states». Στο: *International Journal of Theoretical Physics* 57.2 (2018), σσ. 428–442.
- [499] Seth Lloyd, Masoud Mohseni και Patrick Rebentrost. «Quantum algorithms for supervised and unsupervised machine learning». Στο: *arXiv preprint arXiv:1307.0411* (2013). eprint: 1307.0411v2.
- [500] G. L. Long και X. S. Liu. «Theoretically efficient high-capacity quantum-key-distribution scheme». Στο: *Physical Review A* 65.3 (Φεβ. 2002), σ. 032302. DOI: 10 . 1103/physreva . 65 . 032302.
- [501] Gui-Lu Long, Dong Pan, Yu-Bo Sheng, Qikun Xue, Jianhua Lu και Lajos Hanzo. «An Evolutionary Pathway for the Quantum Internet Relying on Secure Classical Repeaters». Στο: *IEEE Network* 36.3 (Μάι. 2022), σσ. 82–88. DOI: 10 . 1109/mnet . 108 . 2100375.
- [502] César Pérez López. *MATLAB Linear Algebra*. Apress, 2014. DOI: 10 . 1007 / 978 – 1 – 4842–0322–4.
- [503] S. Lovett. *Abstract Algebra: Structures and Applications*. Taylor & Francis, 2015. ISBN: 9781482248906. DOI: 10 . 1201/b18722.
- [506] Andrew Lucas. «Ising formulations of many NP problems». Στο: *Frontiers in Physics* 2 (2014), σ. 5. DOI: 10 . 3389/fphy . 2014 . 00005. eprint: 1302.5843v3.
- [507] Norbert Lütkenhaus. «Security against individual attacks for realistic quantum key distribution». Στο: *Physical Review A* 61.5 (2000), σ. 052304.
- [508] James M. Chappell, Azhar Iqbal, M A. Lohe και Lorenz von Smekal. «An analysis of the quantum penny flip game using geometric algebra». Στο: *Journal of the Physical Society of Japan* 78.5 (2009), σ. 054801. DOI: 10 . 1143/jpsj . 78 . 054801. eprint: 0902.4296v1.
- [509] Antonio Machì. *Groups*. Springer Milan, 23 Ιαν. 2012. 396 **pagetotals**. ISBN: 884702420X.
- [510] Anuradha Mahasinghe, Richard Hua, Michael J. Dinneen και Rajni Goyal. «Solving the Hamiltonian Cycle Problem Using a Quantum Computer». Στο: *Proceedings of the Australasian Computer Science Week Multiconference*. ACSW 2019. Sydney, NSW, Australia: ACM, 2019, 8:1–8:9. ISBN: 978-1-4503-6603-8. DOI: 10 . 1145 / 3290688 . 3290703. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/3290688.3290703>.
- [512] *Malware & Computer Virus Facts & FAQs*. Μάι. 2021. URL: <https://www.kaspersky.com/resource-center/threats/computer-viruses-and-malware-facts-and-faqs>.
- [513] Malwarebytes. *Ransom.VirLock*. <https://www.malwarebytes.com/blog/detections/ransom-virlock>. Accessed: 2023-09-22.

- [514] M Mansour και Z Dahbi. «Quantum secret sharing protocol using maximally entangled multi-qudit states». Στο: *International Journal of Theoretical Physics* 59.12 (2020), σσ. 3876–3887.
- [516] Luca Marinatto και Tullio Weber. «A quantum approach to static games of complete information». Στο: *Physics Letters A* 272.5-6 (2000), σσ. 291–303.
- [517] Robert E Marks. *Repeated games and finite automata*. Australian Graduate School of Management, University of New South Wales, 1990.
- [519] George E. Martin. *Transformation Geometry*. Springer New York, 20 Δεκ. 1996. 256 **pagetotals**. ISBN: 0387906363.
- [520] Layla Martin. «Extending Kolkata Paise Restaurant Problem to Dynamic Matching in Mobility Markets». Στο: *Junior Management Science* 4.1 (Μαρ. 2019), σσ. 1–34. DOI: 10.5282/jums/v4i1pp1-34.
- [522] Roman Martoňák, Giuseppe E Santoro και Erio Tosatti. «Quantum annealing of the traveling-salesman problem». Στο: *Physical Review E* 70.5 (2004), σ. 057701. DOI: 10.1103/physreve.70.057701.
- [523] Michael Maschler. *Game Theory*. Cambridge University Press, 1 Ιουλ. 2020. ISBN: 1108493459.
- [525] Nimrod Megiddo και Avi Wigderson. «On play by means of computing machines: preliminary version». Στο: *Proceedings of the 1986 Conference on Theoretical aspects of reasoning about knowledge*. Morgan Kaufmann Publishers Inc. 1986, σσ. 259–274. DOI: 10.2307/2274561.
- [526] John Meier. *Groups, Graphs and Trees*. Cambridge University Press, 12 Απρ. 2011. 244 **pagetotals**. ISBN: 0521719771.
- [529] Tammy Menneer και Ajit Narayanan. «Quantum-inspired neural networks». Στο: *Tech. Rep. R329* (1995).
- [530] Markus Meringer. «Fast generation of regular graphs and construction of cages». Στο: *Journal of Graph Theory* 30.2 (Φεβ. 1999), σσ. 137–146. DOI: 10.1002/(sici)1097-0118(199902)30:2<137::aid-jgt7>3.0.co;2-g. URL: [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0118\(199902\)30:2%3C137::aid-jgt7%3E3.0.co;2-g](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0118(199902)30:2%3C137::aid-jgt7%3E3.0.co;2-g).
- [531] N.D. Mermin. *Quantum Computer Science: An Introduction*. Cambridge University Press, 2007. ISBN: 9781139466806. DOI: 10.1017/cbo9780511813870.
- [532] Jean-François Mertens. «Supergames». Στο: *Game Theory*. Springer, 1989, σσ. 238–241.
- [533] Albert Messiah. *Quantum mechanics*. North-Holland, Amsterdam, 1961. DOI: 10.1016/b0-12-227410-5/00626-8.
- [535] Carl D. Meyer. *Matrix Analysis and Applied Linear Algebra*. Philadelphia, PA, USA: Society for Industrial και Applied Mathematics, 2000. ISBN: 0-89871-454-0. DOI: 10.1137/1.9780898719512.
- [536] David A Meyer. «Quantum strategies». Στο: *Physical Review Letters* 82.5 (1999), σ. 1052. DOI: 10.1103/physrevlett.82.1052.
- [538] David A Meyer και Heather Blumer. «Parrondo games as lattice gas automata». Στο: *Journal of statistical physics* 107.1-2 (2002), σσ. 225–239.
- [539] David A Meyer και Heather Blumer. «Parrondo games as lattice gas automata». Στο: *Journal of statistical physics* 107.1-2 (2002), σσ. 225–239.
- [541] Stanley Mierzwa, James Drylie και Dennis Bogdan. «Ransomware Incident Preparations with Ethical Considerations and Command System Framework Proposal». Στο: *Journal of Leadership, Accountability and Ethics* 19.2 (2022), σ. 110.

- [542] Igal Milchtaich. «Congestion games with player-specific payoff functions». Στο: *Games and economic behavior* 13.1 (1996), σσ. 111–124.
- [545] N. Mladenovic και P. Hansen. «Variable neighborhood search». Στο: *Computers & Operations Research* 24.11 (1997), σσ. 1097–1100. DOI: 10.4114/ia.v7i19.717.
- [546] Nenad Mladenovic, Raca Todosijevic και Dragan Urošević. «Less is more: Basic variable neighborhood search for minimum differential dispersion problem». Στο: *Information Sciences* 326 (2016), σσ. 160–171. DOI: 10.1016/j.ins.2015.07.044.
- [547] Nenad Mladenović, Raca Todosijević και Dragan Urošević. «An efficient GVNS for solving traveling salesman problem with time windows». Στο: *Electronic Notes in Discrete Mathematics* 39 (2012), σσ. 83–90. DOI: 10.1016/j.endm.2012.10.012.
- [548] Carlos Mochon. «Quantum weak coin flipping with arbitrarily small bias». Στο: *arXiv preprint arXiv:0711.4114* (2007).
- [549] Savita Mohurle και Manisha Patil. «A brief study of wannacry threat: Ransomware attack 2017». Στο: *International Journal of Advanced Research in Computer Science* 8.5 (2017), σσ. 1938–1940.
- [550] Gabriel Molina-Terriza, Alipasha Vaziri, Rupert Ursin και Anton Zeilinger. «Experimental quantum coin tossing». Στο: *Physical review letters* 94.4 (2005), σ. 040501. DOI: 10.1103/physrevlett.94.040501.
- [551] Yoram Moses, Danny Dolev και Joseph Y. Halpern. «Cheating husbands and other stories: A case study of knowledge, action, and communication». Στο: *Distributed Computing* 1.3 (Σεπτ. 1986), σσ. 167–176. DOI: 10.1007/bf01661170.
- [552] Boris Motik. «Representing and querying validity time in RDF and OWL: A logic-based approach». Στο: *Journal of Web Semantics* 12-13 (Απρ. 2012), σσ. 3–21. DOI: 10.1016/j.websem.2011.11.004.
- [553] James Munkres. *Topology*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, Inc, 2000. ISBN: 9780131816299.
- [554] R.B. Myerson. *Game Theory*. Harvard University Press, 1997. ISBN: 9780674341166. DOI: 10.2307/j.ctvjjsf522.
- [556] Mario Ganau Naci Balak Deniz Inan, Cesare Zoia, Sinan Sönmez, Batuhan Kurt, Ahmet Akgül και Müjgan Tez. «A simple mathematical tool to forecast COVID-19 cumulative case numbers». Στο: *Clinical Epidemiology and Global Health* 12.100853 (2021).
- [558] Koji Nagata, Han Geurdes, Santanu Kumar Patro, Shahrokh Heidari, Ahmed Farouk και Tadao Nakamura. «Generalization of the Bernstein–Vazirani algorithm beyond qubit systems». Στο: *Quantum Studies: Mathematics and Foundations* 7.1 (Μάι. 2019), σσ. 17–21. DOI: 10.1007/s40509-019-00196-4.
- [559] Koji Nagata και Tadao Nakamura. «Can von Neumann’s Theory Meet the Deutsch-Jozsa Algorithm?». Στο: *International Journal of Theoretical Physics* 49 (Νοέ. 2009). DOI: 10.1007/s10773-009-0189-5.
- [560] Koji Nagata και Tadao Nakamura. «Can Von Neumann’s Theory Meet Quantum Computation?». Στο: *OALib* 02.08 (2015), σσ. 1–6. DOI: 10.4236/oalib.1101805.
- [561] Koji Nagata και Tadao Nakamura. «The Deutsch-Jozsa Algorithm Can Be Used for Quantum Key Distribution». Στο: *OALib* 02.08 (2015), σσ. 1–6. DOI: 10.4236/oalib.1101798.
- [562] Koji Nagata και Tadao Nakamura. «Quantum communication based on the Bernstein-Vazirani algorithm». Στο: (Μαρ. 2016).

- [563] Koji Nagata και Tadao Nakamura. «Quantum Cryptography, Quantum Communication, and Quantum Computer in a Noisy Environment». Στο: *International Journal of Theoretical Physics* 56.7 (Μαρ. 2017), σσ. 2086–2100. DOI: 10.1007/s10773-017-3352-4.
- [564] Koji Nagata, Tadao Nakamura και Ahmed Farouk. «Quantum Cryptography Based on the Deutsch-Jozsa Algorithm». Στο: *International Journal of Theoretical Physics* 56.9 (Ιούν. 2017), σσ. 2887–2897. DOI: 10.1007/s10773-017-3456-x.
- [565] Koji Nagata, Tadao Nakamura, Han Geurdes, Josep Batle, Soliman Abdalla και Ahmed Farouk. «Secure quantum key distribution based on a special Deutsch-Jozsa algorithm». Στο: *Asian Journal of Mathematics and Physics* 2 (2017), σσ. 6–13.
- [566] Mikio Nakahara. *Geometry, topology and physics*. 2nd. Institute of Physics Publishing, 2003. DOI: 10.1201/9781315275826.
- [570] Ashwin Nayak και Peter Shor. «Bit-commitment-based quantum coin flipping». Στο: *Physical Review A* 67.1 (2003), σ. 012304. DOI: 10.1103/physreva.67.012304.
- [572] Rodion Neigovzen, Carles Rodó, Gerardo Adesso και Anna Sanpera. «Multipartite continuous-variable solution for the Byzantine agreement problem». Στο: *Physical Review A* 77.6 (Ιούν. 2008), σ. 062307. DOI: 10.1103/physreva.77.062307.
- [573] Netskope. *Cloud Access Security Broker (CASB)*, Netskope. URL: <https://www.netskope.com/security-defined/what-is-casb>.
- [574] Florian Neukart, Gabriele Compostella, Christian Seidel, David Von Dollen, Sheir Yarkoni και Bob Parney. «Traffic flow optimization using a quantum annealer». Στο: *Frontiers in ICT* 4 (2017), σ. 29. DOI: 10.3389/fict.2017.00029. eprint: 1708.01625v2.
- [575] Hartmut Neven, Vasil S Denchev, Geordie Rose και William G Macready. «Training a large scale classifier with the quantum adiabatic algorithm». Στο: *arXiv preprint arXiv:0912.0779* (2009). eprint: 0912.0779v1.
- [576] Gordon F Newell και Elliott W Montroll. «On the theory of the Ising model of ferromagnetism». Στο: *Reviews of Modern Physics* 25.2 (1953), σ. 353. DOI: 10.1103/revmodphys.25.353.
- [577] IBM Newsroom. *IBM Unveils 400 Qubit-Plus Quantum Processor*. <https://newsroom.ibm.com/2022-11-09-IBM-Unveils-400-Qubit-Plus-Quantum-Processor-and-Next-Generation-IBM-Quantum-System-Two>. Accessed: 2022-04-03. 2022.
- [578] Abraham Neyman. «Bounded complexity justifies cooperation in the finitely repeated prisoners' dilemma». Στο: *Economics letters* 19.3 (1985), σσ. 227–229. DOI: 10.1016/0165-1765(85)90026-6.
- [580] Hossein Nezamabadi-pour. «A quantum-inspired gravitational search algorithm for binary encoded optimization problems». Στο: *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 40 (2015), σσ. 62–75.
- [581] Anh Tuan Nguyen, Julien Frison, K Phan Huy και Serge Massar. «Experimental quantum tossing of a single coin». Στο: *New Journal of Physics* 10.8 (2008), σ. 083037. DOI: 10.1088/1367-2630/10/8/083037. eprint: 0804.4411v1.
- [582] Duc Manh Nguyen και Sunghwan Kim. «Quantum Key Distribution Protocol Based on Modified Generalization of Deutsch-Jozsa Algorithm in d-level Quantum System». Στο: *International Journal of Theoretical Physics* 58.1 (Οκτ. 2018), σσ. 71–82. DOI: 10.1007/s10773-018-3910-4.
- [583] Michael A Nielsen και Isaac L Chuang. *Quantum computation and quantum information*. Cambridge University Press, 2010.

- [584] Hidetoshi Nishimori. *Statistical physics of spin glasses and information processing: an introduction*. 111. Clarendon Press, 2001.
- [585] NJCCIC. *VirLock NJCCIC Threat Profile*. 2016. URL: <https://www.cyber.nj.gov/threat-center/threat-profiles/ransomware-variants/virlock>.
- [588] Mirco A. Mannucci Noson S. Yanofsky. *Quantum Computing for Computer Scientists*. CAMBRIDGE, 1 Αύγ. 2008. 384 **pagetotals**. ISBN: 0521879965.
- [589] Martin A Nowak. «Five rules for the evolution of cooperation». Στο: *science* 314.5805 (2006), σσ. 1560–1563.
- [592] Martin A Nowak και Karl Sigmund. «Evolutionary dynamics of biological games». Στο: *science* 303.5659 (2004), σσ. 793–799.
- [595] Jeffrey W Ohlmann και Barrett W Thomas. «A compressed-annealing heuristic for the traveling salesman problem with time windows». Στο: *INFORMS Journal on Computing* 19.1 (2007), σσ. 80–90. DOI: 10.1287/ijoc.1050.0145.
- [596] T. Okamoto, K. Suzuki και Y. Tokunaga. «Quantum voting scheme based on conjugate coding». Στο: *NTT Technical Review* 6 (Ιαν. 2008).
- [597] Nicolas Melo De Oliveira, Ricardo Martins De Abreu Silva και Wilson Rosa De Oliveira. «QUBO formulation for the contact map overlap problem». Στο: *International Journal of Quantum Information* 16.08 (2018), σ. 1840007. DOI: 10.1142/s0219749918400075.
- [598] S Onodera, VM Olkkonen, P Gottlieb, J Strassman, XY Qiao, Dennis H Bamford και L Mindich. «Construction of a transducing virus from double-stranded RNA bacteriophage phi6: establishment of carrier states in host cells». Στο: *Journal of virology* 66.1 (1992), σσ. 190–196.
- [601] Jorge M. Pacheco, Arne Traulsen και Martin A. Nowak. «Coevolution of Strategy and Structure in Complex Networks with Dynamical Linking». Στο: *Physical Review Letters* 97.25 (Δεκ. 2006), σ. 258103. DOI: 10.1103/physrevlett.97.258103.
- [602] G Pagano, A Bapat, P Becker, KS Collins, A De, PW Hess, HB Kaplan, A Kyprianidis, WL Tan, C Baldwin κ.ά. «Quantum Approximate Optimization with a Trapped-Ion Quantum Simulator». Στο: *arXiv preprint arXiv:1906.02700* (2019).
- [603] Scott Pakin. «Performing fully parallel constraint logic programming on a quantum annealer». Στο: *Theory and Practice of Logic Programming* 18.5-6 (2018), σσ. 928–949. DOI: 10.1017/s1471068418000066. eprint: 1804.00036v1.
- [604] P. B. Pal. *A physicist's introduction to algebraic structures: vector spaces, groups, topological spaces and more*. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. ISBN: 9781108729116.
- [605] Dong Pan, Zaisheng Lin, Jiawei Wu, Haoran Zhang, Zhen Sun, Dong Ruan, Liuguo Yin και Gui Lu Long. «Experimental free-space quantum secure direct communication and its security analysis». Στο: *Photonics Research* 8.9 (Αύγ. 2020), σ. 1522. DOI: 10.1364/prj.388790.
- [606] Dong Pan, Xiao-Tian Song και Gui-Lu Long. «Free-Space Quantum Secure Direct Communication: Basics, Progress, and Outlook». Στο: *Advanced Devices & Instrumentation* 4 (Ιαν. 2023). DOI: 10.34133/adi.0004.
- [607] Dimitris Papadias και Theodore Andronikos. «Relation-based information processing with symbolic spatial indexes». Στο: *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Berlin Heidelberg, 1994, σσ. 288–291. DOI: 10.1007/3-540-58795-0_56.
- [608] Christos Papalitsas και Theodore Andronikos. «Unconventional GVNS for Solving the Garbage Collection Problem with Time Windows». Στο: *Technologies* 7.3 (Αύγ. 2019), σ. 61. DOI: 10.3390/technologies7030061.

- [610] Christos Papalitsas, Theodore Andronikos, Konstantinos Giannakis, Georgia Theocharopoulou και Sofia Fanarioti. «A QUBO Model for the Traveling Salesman Problem with Time Windows». Στο: *Algorithms* 12.11 (Οκτ. 2019), σ. 224. DOI: 10.3390/a12110224.
- [611] Christos Papalitsas, Theodore Andronikos και Panagiotis Karakostas. «Studying the Impact of Perturbation Methods on the Efficiency of GVNS for the ATSP». Στο: *Variable Neighborhood Search*. Springer International Publishing, 2019, σσ. 287–302. DOI: 10.1007/978-3-030-15843-9_22.
- [612] Christos Papalitsas, Konstantinos Giannakis, Theodore Andronikos, Dimitrios Theotokis και Angelo Sifaleras. «Initialization methods for the TSP with Time Windows using Variable Neighborhood Search». Στο: *IEEE Proc. of the 6th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA 2015), 6-8 July, Corfu, Greece*. 2015, σσ. 1–6. DOI: 10.1109/iisa.2015.7388106.
- [613] Christos Papalitsas, Panayiotis Karakostas και Theodore Andronikos. «A Performance Study of the Impact of Different Perturbation Methods on the Efficiency of GVNS for Solving TSP». Στο: *Applied System Innovation* 2.4 (Σεπτ. 2019), σ. 31. DOI: 10.3390/asi2040031.
- [614] Christos Papalitsas, Panayiotis Karakostas, Theodore Andronikos, Spyros Sioutas και Konstantinos Giannakis. «Combinatorial GVNS (General Variable Neighborhood Search) Optimization for Dynamic Garbage Collection». Στο: *Algorithms* 11.4 (Μαρ. 2018), σ. 38. DOI: 10.3390/a11040038.
- [615] Christos Papalitsas, Panayiotis Karakostas, Konstantinos Giannakis, Angelo Sifaleras και Theodore Andronikos. «Initialization methods for the TSP with Time Windows using qGVNS». Στο: *6th International Symposium on Operational Research, OR in the digital era - ICT challenges, Thessaloniki, Greece*. Ιούν. 2017.
- [616] Christos Papalitsas, Panayiotis Karakostas και Kalliopi Kastampolidou. «A Quantum Inspired GVNS: Some Preliminary Results». Στο: *Advances in Experimental Medicine and Biology*. Springer International Publishing, 2017, σσ. 281–289. DOI: 10.1007/978-3-319-56246-9_23.
- [618] Christos Papalitsas, Kalliopi Kastampolidou και Theodore Andronikos. «Nature and Quantum-Inspired Procedures – A Short Literature Review». Στο: *GeNeDis 2020*. Springer International Publishing, 2021, σσ. 129–133. DOI: 10.1007/978-3-030-78775-2_15.
- [620] Panos M Pardalos και Gregory P Rodgers. «Computational aspects of a branch and bound algorithm for quadratic zero-one programming». Στο: *Computing* 45.2 (1990), σσ. 131–144. DOI: 10.1007/bf02247879.
- [621] Taehyeun Park και Walid Saad. «Kolkata paise restaurant game for resource allocation in the internet of things». Στο: *2017 51st Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*. IEEE. 2017, σσ. 1774–1778.
- [623] Apoorva Patel. «Quantum algorithms and the genetic code». Στο: *Pramana* 56.2-3 (2001), σσ. 367–381.
- [624] Apoorva Patel. «Testing quantum dynamics in genetic information processing». Στο: *Journal of Genetics* 80.1 (2001), σσ. 39–43.
- [625] A. Pathak. *Elements of Quantum Computation and Quantum Communication*. CRC Press, 2013. ISBN: 9781466517929.
- [627] Christos Pavlatos, Alexandros C. Dimopoulos, Andrew Koulouris, Theodore Andronikos, Ioannis Panagopoulos και George Papakonstantinou. «Efficient reconfigurable embedded parsers». Στο: *Computer Languages, Systems & Structures* 35.2 (Ιούλ. 2009), σσ. 196–215. DOI: 10.1016/j.cl.2007.08.001.

- [629] Aleksandra Pawlicka, Michał Choraś, Marek Pawlicki και Rafał Kozik. «A \$10 million question and other cybersecurity-related ethical dilemmas amid the COVID-19 pandemic». Στο: *Business Horizons* 64.6 (2021), σσ. 729–734.
- [630] M. Pease, R. Shostak και L. Lamport. «Reaching Agreement in the Presence of Faults». Στο: *Journal of the ACM* 27.2 (Απρ. 1980), σσ. 228–234. DOI: 10.1145/322186.322188.
- [631] Momtchil Peev, Christoph Pacher, Romain Alléaume, Claudio Barreiro, Jan Bouda, W Boxleitner, Thierry Debuisschert, Eleni Diamanti, Mehrdad Dianati, JF Dynes κ.ά. «The SECOQC quantum key distribution network in Vienna». Στο: *New Journal of Physics* 11.7 (2009), σ. 075001.
- [632] Matjaž Perc, Karsten Donnay και Dirk Helbing. «Understanding Recurrent Crime as System-Immanent Collective Behavior». Στο: *PLoS ONE* 8.10 (Οκτ. 2013). Επιμέλεια υπό Peter Csermely, e76063. DOI: 10.1371/journal.pone.0076063.
- [633] Matjaž Perc, Jesús Gómez-Gardeñes, Attila Szolnoki, Luis M. Floría και Yamir Moreno. «Evolutionary dynamics of group interactions on structured populations: a review». Στο: *Journal of The Royal Society Interface* 10.80 (Μαρ. 2013), σ. 20120997. DOI: 10.1098/rsif.2012.0997.
- [634] Matjaž Perc και Attila Szolnoki. «Social diversity and promotion of cooperation in the spatial prisoner's dilemma game». Στο: *Physical Review E* 77.1 (Ιαν. 2008), σ. 011904. DOI: 10.1103/physreve.77.011904.
- [635] Matjaž Perc και Attila Szolnoki. «Coevolutionary games—A mini review». Στο: *Biosystems* 99.2 (Φεβ. 2010), σσ. 109–125. DOI: 10.1016/j.biosystems.2009.10.003.
- [636] Alejandro Perdomo-Ortiz, Neil Dickson, Marshall Drew-Brook, Geordie Rose και Alán Aspuru-Guzik. «Finding low-energy conformations of lattice protein models by quantum annealing». Στο: *Scientific reports* 2 (2012), σ. 571. DOI: 10.1038/srep00571.
- [637] Jonathan Pinnell, Isaac Nape, Michael de Oliveira, Najmeh TabeBordbar και Andrew Forbes. «Experimental Demonstration of 11-Dimensional 10-Party Quantum Secret Sharing». Στο: *Laser & Photonics Reviews* 14.9 (2020), σ. 2000012.
- [638] Edward W Piotrowski και Jan Sladkowski. «The next stage: quantum game theory». Στο: *arXiv preprint quant-ph/0308027* (2003).
- [640] Jim Pitman. *Probability*. Springer New York, 1993. DOI: 10.1007/978-1-4612-4374-8.
- [641] Alessandro Pluchino, Cesare Garofalo, Andrea Rapisarda, Salvatore Spagano και Maurizio Caserta. «Accidental politicians: How randomly selected legislators can improve parliament efficiency». Στο: *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 390.21-22 (Οκτ. 2011), σσ. 3944–3954. DOI: 10.1016/j.physa.2011.06.028.
- [642] Federico Prado και Benjamin Kerr. «The evolution of restraint in bacterial biofilms under nontransitive competition». Στο: *Evolution: International Journal of Organic Evolution* 62.3 (2008), σσ. 538–548.
- [643] John Preskill. *Quantum Information and Computation*. http://www.theory.caltech.edu/~preskill/ph219/ph219_2017. Accessed 18/12/17. 2017.
- [644] Qasm. *The qasm simulator*. <https://qiskit.org/documentation/stubs/qiskit.providers.aer.QasmSimulator.html>. Accessed: 2022-04-03.
- [645] Ruoyang Qi, Zhen Sun, Zaisheng Lin, Penghao Niu, Wentao Hao, Liyuan Song, Qin Huang, Jancun Gao, Liuguo Yin και Gui-Lu Long. «Implementation and security analysis of practical quantum secure direct communication». Στο: *Light: Science & Applications* 8.1 (Φεβ. 2019). DOI: 10.1038/s41377-019-0132-3.

- [646] Huawang Qin, Wallace KS Tang και Raylin Tso. «Hierarchical quantum secret sharing based on special high-dimensional entangled state». Στο: *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* 26.3 (2020), σσ. 1–6.
- [647] Qiskit. *CNOT Matrix*. <https://qiskit.org/documentation/stubs/qiskit.circuit.library.CXGate.html>. Accessed: 2023-07-07.
- [648] Qiskit. *DraperQFTAdder*. <https://qiskit.org/documentation/stubs/qiskit.circuit.library.DraperQFTAdder.html>. Accessed: 2022-04-03.
- [649] Qiskit. *Qiskit Open-Source Quantum Development*. <https://qiskit.org>. Accessed: 2022-04-03.
- [650] Qiskit. *Qiskit Open-Source Quantum Development*. <https://qiskit.org>. Accessed: 2021-12-22.
- [651] Qiskit. *UGate*. <https://qiskit.org/documentation/stubs/qiskit.circuit.library.UGate.html>. Accessed: 2022-04-03.
- [652] Zhiguo Qu, Zhexi Zhang, Bo Liu, Prayag Tiwari, Xin Ning και Khan Muhammad. «Quantum detectable Byzantine agreement for distributed data trust management in blockchain». Στο: *Information Sciences* 637 (Αύγ. 2023), σ. 118909. DOI: 10.1016/j.ins.2023.03.134.
- [653] qubovert. *The one-stop package for formulating, simulating, and solving problems in boolean and spin form*. <https://qubovert.readthedocs.io/en/latest/index.html>. Accessed: 2022-01-03.
- [654] Michael O Rabin και Dana Scott. «Finite automata and their decision problems». Στο: *IBM journal of research and development* 3.2 (1959), σσ. 114–125. DOI: 10.1147/rd.32.0114.
- [655] Pierre Ramond. *Group Theory*. Cambridge University Press, 1 Απρ. 2015. 322 **pagetotals**. ISBN: 0521896037.
- [656] Muhammad Ramzan. «Three-player quantum Kolkata restaurant problem under decoherence». Στο: *Quantum information processing* 12.1 (2013), σσ. 577–586.
- [657] *Ransomware*. Ιούλ. 2021. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ransomware>.
- [658] Jochen Rau. *Quantum Theory*. Oxford University Press, Μάι. 2021. DOI: 10.1093/oso/9780192896308.001.0001.
- [660] Patrick Rebentrost, Maria Schuld, Leonard Wossnig, Francesco Petruccione και Seth Lloyd. «Quantum gradient descent and Newton’s method for constrained polynomial optimization». Στο: *New Journal of Physics* (2019). DOI: 10.1088/1367-2630/ab2a9e. eprint: 1612.01789v4.
- [661] César Rego, Dorabela Gamboa, Fred Glover και Colin Osterman. «Traveling salesman problem heuristics: Leading methods, implementations and latest advances». Στο: *European Journal of Operational Research* 211.3 (2011), σσ. 427–441. ISSN: 0377-2217.
- [662] Gerhard Reinelt. «TSPLIB—A Traveling Salesman Problem Library». Στο: *ORSA Journal on Computing* 3.4 (Νοέ. 1991), σσ. 376–384. DOI: 10.1287/ijoc.3.4.376. URL: <https://doi.org/10.1287/ijoc.3.4.376>.
- [663] Heng-Feng Ren και Qing-Liang Wang. «Quantum Game of Two Discriminable Coins». Στο: *International Journal of Theoretical Physics* 47.7 (Δεκ. 2007), σσ. 1828–1835. DOI: 10.1007/s10773-007-9625-6.
- [665] Renato Renner και Ramona Wolf. «Quantum Advantage in Cryptography». Στο: *AIAA Journal* 61.5 (Μάι. 2023), σσ. 1895–1910. DOI: 10.2514/1.j062267.

- [666] Hyeun-Suk Rhee, Cheongtag Kim και Young U Ryu. «Self-efficacy in information security: Its influence on end users' information security practice behavior». Στο: *Computers & security* 28.8 (2009), σσ. 816–826.
- [667] Ioannis Riakiotakis, Florina M. Ciorba, Theodore Andronikos και George Papakonstantinou. «Distributed dynamic load balancing for pipelined computations on heterogeneous systems». Στο: *Parallel Computing* 37.10-11 (Οκτ. 2011), σσ. 713–729. DOI: 10.1016/j.parco.2011.01.003.
- [668] Ioannis Riakiotakis, Florina M. Ciorba, Theodore Andronikos, George Papakonstantinou και Anthony T. Chronopoulos. «Towards the optimal synchronization granularity for dynamic scheduling of pipelined computations on heterogeneous computing systems». Στο: *Concurrency and Computation: Practice and Experience* 24.18 (Φεβ. 2012), σσ. 2302–2327. DOI: 10.1002/cpe.2812.
- [669] R. L. Rivest, A. Shamir και L. Adleman. «A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems». Στο: *Communications of the ACM* 21.2 (Φεβ. 1978), σσ. 120–126. DOI: 10.1145/359340.359342.
- [670] Christopher Essex Robert Adams. *Calculus*. Pearson Education (US), 30 Ιούν. 2016. 1168 **pagetotals**. ISBN: 0134154363.
- [671] Kara Rogers κ.ά. *Bacteria and viruses*. Britannica Educational Publishing, 2010.
- [673] Pooya Ronagh, Brad Woods και Ehsan Iranmanesh. «Solving constrained quadratic binary problems via quantum adiabatic evolution». Στο: *Quantum Information & Computation* 16.11-12 (2016), σσ. 1029–1047. eprint: 1509.05001v2.
- [674] H.E. Rose. *A Course on Finite Groups*. Universitext. Springer London, 2009. ISBN: 9781848828896. DOI: 10.1007/978-1-84882-889-6.
- [675] Jeffrey Rosen. «The right to be forgotten». Στο: *Stan. L. Rev. Online* 64 (2011), σ. 88.
- [676] Gili Rosenberg, Mohammad Vazifeh, Brad Woods και Eldad Haber. «Building an iterative heuristic solver for a quantum annealer». Στο: *Computational Optimization and Applications* 65.3 (2016), σσ. 845–869. DOI: 10.1007/s10589-016-9844-y. eprint: 1507.07605v2.
- [677] Oscar H Montiel Ross. «A review of quantum-inspired metaheuristics: going from classical computers to real quantum computers». Στο: *IEEE Access* 8 (2019), σσ. 814–838.
- [678] J. Rotman. *An Introduction to the Theory of Groups*. 4η έκδοση. Graduate Texts in Mathematics. Springer New York, 1999. ISBN: 9780387942858.
- [679] J.J. Rotman. *A First Course in Abstract Algebra: With Applications*. Pearson Prentice Hall, 2006. ISBN: 9780131862678.
- [680] Ariel Rubinstein. «Finite automata play the repeated prisoner's dilemma». Στο: *Journal of economic theory* 39.1 (1986), σσ. 83–96. DOI: 10.1016/0022-0531(86)90021-9.
- [682] Matthew Ryan. «Ransomware revolution: The rise of a prodigious cyber threat». Στο: *Advances in Information Security* (2021). DOI: 10.1007/978-3-030-66583-8.
- [683] Katarzyna Rycerz και Piotr Frackiewicz. «A quantum approach to twice-repeated 2 x 2 game». Στο: *Quantum Information Processing* 19.8 (Ιούλ. 2020). DOI: 10.1007/s11128-020-02743-0.
- [685] S Salimi και MM Soltanzadeh. «Investigation of quantum roulette». Στο: *International Journal of Quantum Information* 7.03 (2009), σσ. 615–626. DOI: 10.1142/s0219749909004992. eprint: 0807.3142v3.
- [686] Aritra Sarkar. «Quantum Algorithms: for pattern-matching in genomic sequences». Στο: (2018).

- [687] Masahide Sasaki, Mikio Fujiwara, H Ishizuka, W Klaus, K Wakui, M Takeoka, S Miki, T Yamashita, Z Wang, A Tanaka κ.ά. «Field test of quantum key distribution in the Tokyo QKD Network». Στο: *Optics express* 19.11 (2011), σσ. 10387–10409.
- [688] Martin WP Savelsbergh. «Local search in routing problems with time windows». Στο: *Annals of Operations research* 4.1 (1985), σσ. 285–305. DOI: 10.1007/bf02022044.
- [691] Kaushik Senthoo και Pradeep Kiran Sarvepalli. «Theory of communication efficient quantum secret sharing». Στο: *IEEE Transactions on Information Theory* (2022).
- [693] Puya Sharif και Hoshang Heydari. «Strategies in a symmetric quantum Kolkata restaurant problem». Στο: *AIP Conference Proceedings 1508*. AIP, 2012, σσ. 492–496. DOI: 10.1063/1.4773171.
- [694] Puya Sharif και Hoshang Heydari. «An introduction to multi-player, multi-choice quantum games: Quantum minority games & kolkata restaurant problems». Στο: *Econophysics of Systemic Risk and Network Dynamics*. Springer, 2013, σσ. 217–236.
- [695] Kiran Sharma, Anindya S Chakrabarti, Anirban Chakraborti, Sujoy Chakravarty κ.ά. «The Saga of KPR: Theoretical and Experimental developments». Στο: *arXiv preprint arXiv:1712.06358* (2017).
- [697] PV Shijo και AJPCS Salim. «Integrated static and dynamic analysis for malware detection». Στο: *Procedia Computer Science* 46 (2015), σσ. 804–811.
- [698] David Bernard Shmoys, JK Lenstra, AHG Rinnooy Kan και Eugène L Lawler. *The traveling salesman problem*. Τόμ. 12. John Wiley & Sons, Incorporated, 1985.
- [699] P.W. Shor. «Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring». Στο: *Proceedings 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science*. IEEE Comput. Soc. Press, 1994. DOI: 10.1109/sfcs.1994.365700.
- [700] Peter W Shor. «Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer». Στο: *SIAM Review* 41.2 (1999), σσ. 303–332. DOI: 10.1137/s0036144598347011.
- [702] Martin Shubik. «Game theory in the social sciences: Concepts and solutions». Στο: (2006).
- [703] Carla Silva, Ana Aguiar, Priscila Lima και Inês Dutra. «Mapping a logical representation of TSP to quantum annealing». Στο: *Quantum Information Processing* 20.12 (2021), σ. 386.
- [705] Daniel R. Simon. «On the Power of Quantum Computation». Στο: *SIAM Journal on Computing* 26.5 (Οκτ. 1997), σσ. 1474–1483. DOI: 10.1137/s0097539796298637.
- [707] Antika Sinha και Bikas K. Chakrabarti. «Phase transition in the Kolkata Paise Restaurant problem». Στο: *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science* 30.8 (Αύγ. 2020), σ. 083116. DOI: 10.1063/5.0004816.
- [709] Michael Sipser. *Εισαγωγή στη θεωρία υπολογισμού*. ΙΤΕ-ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ, 2009. ISBN: 978-960-524-243-5.
- [710] Michael Sipser. *Introduction to the Theory of Computation*. Third. Boston, MA: Course Technology, 2013. ISBN: 113318779X.
- [711] Adam D Smith. «Quantum secret sharing for general access structures». Στο: *arXiv preprint quant-ph/0001087* (2000).
- [714] Justin R. Smith. *Abstract Algebra*. 2η έκδοση. Five Dimensions Press, 2020. ISBN: 9798579698353.
- [717] Sophos. *The current state of ransomware: VirLock, ThreatFinder, CrypVault and PowerShell-based*. Ιαν. 2016. URL: <https://news.sophos.com/en-us/2016/01/11/the-current-state-of-ransomware-virlock-threatfinder-crypvault-and-powershell-based/>.

- [718] Vanson Bourne Sophos Sally Adam. *Sophos Survey: The State of Ransomware 2021*. Απρ. 2021. URL: <https://assets.sophos.com/X24WTUEQ/at/k4qjqs73jk9256hffhqsmf/sophos-state-of-ransomware-2021-wp.pdf?cmp=120469>.
- [719] DG Sotiropoulos, EC Stavropoulos και MN Vrahatis. «A new hybrid genetic algorithm for global optimization». Στο: *Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications* 30.7 (1997), σσ. 4529–4538. DOI: 10.1016/s0362-546x(96)00367-7.
- [720] Theodoros Spyridopoulos, Konstantinos Maraslis, Alexios Mylonas, Theo Tryfonas και George Oikonomou. «A Game Theoretical Method for Cost-Benefit Analysis of Malware Dissemination Prevention». Στο: *Information Security Journal: A Global Perspective* 24.4-6 (2015), σσ. 164–176. DOI: 10.1080/19393555.2015.1092186.
- [721] Theodoros Spyridopoulos, Konstantinos Maraslis, Alexios Mylonas, Theo Tryfonas και George Oikonomou. «A game theoretical method for cost-benefit analysis of malware dissemination prevention». Στο: *Information Security Journal: A Global Perspective* 24.4-6 (2015), σσ. 164–176.
- [722] Tripwire Editorial Staff. *70% of Malware Infections Go Undetected by AV Software*. Φεβ. 2015. URL: <https://www.tripwire.com/state-of-security/latest-security-news/70-of-malware-infections-go-undetected-by-antivirus-software-study-says/>.
- [725] J. Stillwell. *Naive Lie Theory*. Undergraduate Texts in Mathematics. Springer, 2008. ISBN: 9780387782157. DOI: 10.1007/978-0-387-78214-0.
- [726] Evangelos Stogiannos, Christos Papalitsas και Theodore Andronikos. «Experimental Analysis of Quantum Annealers and Hybrid Solvers Using Benchmark Optimization Problems». Στο: *Mathematics* 10.8 (Απρ. 2022), σ. 1294. DOI: 10.3390/math10081294.
- [727] Michael Stohler και Ephraim Fischbach. «Non-transitive quantum games». Στο: *arXiv preprint quant-ph/0307072* (2003).
- [728] Done Stojanov. «Phylogenicity of B. 1.1. 7 surface glycoprotein, novel distance function and first report of V90T missense mutation in SARS-CoV-2 surface glycoprotein». Στο: *Meta Gene* 30 (2021), σ. 100967.
- [731] Gilbert Strang. *Introduction to Linear Algebra*. Cambridge University Press, 11 Αύγ. 2016. 600 **pagetotals**. ISBN: 0980232775.
- [732] Sjouwerman Stu. *This weird ransomware strain spreads like a virus in the cloud*. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/weird-ransomware-strain-spreads-like-virus-cloud-stu-sjouwerman>.
- [733] Damien Stucki, Matthieu Legre, Francois Buntschu, B Clausen, Nadine Felber, Nicolas Gisin, Luca Henzen, Pascal Junod, Gérald Litzistorf, Patrick Monbaron κ.ά. «Long-term performance of the SwissQuantum quantum key distribution network in a field environment». Στο: *New Journal of Physics* 13.12 (2011), σ. 123001.
- [734] Xin Sun, Piotr Kulicki και Mirek Sopek. «Multi-Party Quantum Byzantine Agreement without Entanglement». Στο: *Entropy* 22.10 (Οκτ. 2020), σ. 1152. DOI: 10.3390/e22101152.
- [735] Xin Sun, Quanlong Wang, Piotr Kulicki και Mirek Sopek. «A Simple Voting Protocol on Quantum Blockchain». Στο: *International Journal of Theoretical Physics* 58.1 (Οκτ. 2018), σσ. 275–281. DOI: 10.1007/s10773-018-3929-6.
- [736] Khaled Suwais. «Assessing the Utilization of Automata in Representing Players' Behaviors in Game Theory». Στο: *International Journal of Ambient Computing and Intelligence (IJACI)* 6.2 (2014), σσ. 1–14. DOI: 10.4018/ijaci.2014070101.

- [740] A. Szolnoki, M. Perc και Z. Danku. «Making new connections towards cooperation in the prisoner's dilemma game». Στο: *EPL (Europhysics Letters)* 84.5 (Δεκ. 2008), σ. 50007. DOI: 10.1209/0295-5075/84/50007.
- [741] S. Tadelis. *Game Theory: An Introduction*. Princeton University Press, 2013. ISBN: 9780691129082.
- [743] Ewin Tang. «A quantum-inspired classical algorithm for recommendation systems». Στο: *Proceedings of the 51st Annual ACM SIGACT Symposium on Theory of Computing*. 2019, σσ. 217–228.
- [744] Terence Tao. *Analysis*. Τόμ. 1. Hindustan Book Agency, 2006.
- [746] Armin Tavakoli, Isabelle Herbauts, Marek Żukowski και Mohamed Bourennane. «Secret sharing with a single d-level quantum system». Στο: *Physical Review A* 92.3 (2015), σ. 030302.
- [747] Craig Taylor. *Polymorphic Virus*. Μάι. 2021. URL: <https://cyberhoot.com/cybrary/polymorphic-virus/>.
- [750] The BlackBerry Cylance Threat Research Team. *Threat Spotlight: Virlock Polymorphic Ransomware*. Ιούλ. 2019. URL: <https://blogs.blackberry.com/en/2019/07/threat-spotlight-virlock-polymorphic-ransomware>.
- [751] *The 11 Most Common Types of Malware*. Απρ. 2021. URL: <https://www.crowdstrike.com/cybersecurity-101/malware/types-of-malware/>.
- [752] Georgia Theocharopoulou, Konstantinos Giannakis και Theodore Andronikos. «The mechanism of splitting mitochondria in terms of membrane automata». Στο: *2015 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology (ISSPIT)*. IEEE, Δεκ. 2015. DOI: 10.1109/isspit.2015.7394367.
- [754] Juan-Hong Tian, Jian-Zhong Zhang και Yan-Ping Li. «A Voting Protocol Based on the Controlled Quantum Operation Teleportation». Στο: *International Journal of Theoretical Physics* 55.5 (Νοέ. 2015), σσ. 2303–2310. DOI: 10.1007/s10773-015-2868-8.
- [755] Olawale Titiloye και Alan Crispin. «Quantum annealing of the graph coloring problem». Στο: *Discrete Optimization* 8.2 (2011), σσ. 376–384. DOI: 10.1016/j.disopt.2010.12.001.
- [756] Wolfgang Tittel, Hugo Zbinden και Nicolas Gisin. «Experimental demonstration of quantum secret sharing». Στο: *Physical Review A* 63.4 (2001), σ. 042301.
- [758] C. W. Tsai, C. R. Hsieh και T. Hwang. «Dense coding using cluster states and its application on deterministic secure quantum communication». Στο: *The European Physical Journal D* 61.3 (Φεβ. 2011), σσ. 779–783. DOI: 10.1140/epjd/e2010-10189-8.
- [759] Jung-Fa Tsai, John Gunnar Carlsson, Dongdong Ge, Yi-Chung Hu και Jianming Shi. «Optimization Theory, Methods, and Applications in Engineering». Στο: 2014.
- [760] Alan Turing. «On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem». Στο: *Proceedings of the London Mathematical Society* 42 (1936–7), σσ. 230–265.
- [764] Himanshu Tyagi και Alexander Vardy. «Universal Hashing for Information-Theoretic Security». Στο: *Proceedings of the IEEE* 103.10 (Οκτ. 2015), σσ. 1781–1795. DOI: 10.1109/jproc.2015.2462774.
- [765] Theo van Uem. *Ebert's asymmetric Hat Game*. arXiv:1612.00276. 2016. DOI: 10.48550/ARXIV.1612.00276.
- [766] Muhammad Asad Ullah, Jason William Setiawan, Junaid ur Rehman και Hyundong Shin. «On the Robustness of Quantum Algorithms for Blockchain Consensus». Στο: *Sensors* 22.7 (Απρ. 2022), σ. 2716. DOI: 10.3390/s22072716.

- [767] Hayato Ushijima-Mwesigwa, Christian FA Negre και Susan M Mniszewski. «Graph partitioning using quantum annealing on the D-Wave system». Στο: *Proceedings of the Second International Workshop on Post Moores Era Supercomputing*. ACM. 2017, σσ. 22–29. DOI: 10.1145/3149526.3149531. eprint: 1705.03082v1.
- [768] J. A. Vaccaro, Joseph Spring και Anthony Chefles. «Quantum protocols for anonymous voting and surveying». Στο: *Physical Review A* 75.1 (Ιαν. 2007), σ. 012333. DOI: 10.1103/physreva.75.012333.
- [769] Ashwin Vamshi. *Cloud Malware Fan-out with Virlock Ransomware*. Σεπτ. 2017. URL: <https://www.netskope.com/blog/cloud-malware-fan-virlock-ransomwar>.
- [770] Salvador E Venegas-Andraca, William Cruz-Santos, Catherine McGeoch και Marco Lanzagorta. «A cross-disciplinary introduction to quantum annealing-based algorithms». Στο: *Contemporary Physics* 59.2 (2018), σσ. 174–197. DOI: 10.1080/00107514.2018.1450720. eprint: 1803.03372v1.
- [771] Davide Venturelli, Salvatore Mandra, Sergey Knysh, Bryan O’Gorman, Rupak Biswas και Vadim Smelyanskiy. «Quantum optimization of fully connected spin glasses». Στο: *Physical Review X* 5.3 (2015), σ. 031040. DOI: 10.1103/physrevx.5.031040. eprint: 1406.7553v1.
- [772] Davide Venturelli, Dominic JJ Marchand και Galo Rojo. «Quantum annealing implementation of job-shop scheduling». Στο: *arXiv preprint arXiv:1506.08479* (2015). eprint: 1506.08479v2.
- [773] *Virlock’s resurgence poses bigger threat to file syncing over the cloud, Netskope*. Ιαν. 2017. URL: <https://www.netskope.com/fr/blog/virlocks-resurgence-poses-bigger-threat-file-syncing-cloud>.
- [774] VirusTotal. *Analysis of 29e40e7bd619110e8adbf99cbc48c09d03a8c4bebb49e5e583dd1ce35b5deea9*. URL: <https://www.virustotal.com/gui/file/29e40e7bd619110e8adbf99cbc48c09d03a8c4bebb49e5e583dd1ce35b5deea9>.
- [775] VirusTotal. *Analysis of 58d003a53890d6192e803c0cc2aa4f4ae35f7432d9600f1c60bd00323e50198b*. URL: <https://www.virustotal.com/gui/file/58d003a53890d6192e803c0cc2aa4f4ae35f7432d9600f1c60bd00323e50198b>.
- [776] VirusTotal. *Analysis of b3f70c6224b38f445ce2d2538ada604094de65165c84218798bfc4fd3ff11ac7*. URL: <https://www.virustotal.com/gui/file/b3f70c6224b38f445ce2d2538ada604094de65165c84218798bfc4fd3ff11ac7>.
- [777] Andrei Nacu & Mihail Andronic Vlad Craciun. «It’s a file infector... It’s ransomware... It’s VirLock». Στο: *Virus Bulletin Conference September 2015*. 2015.
- [778] B Fr Voigt. «Der Handlungsreisende, wie er sein soll und was er zu thun hat, um Aufträge zu erhalten und eines glücklichen Erfolgs in seinen Geschäften gewiss zu zu sein». Στο: *Commis-Voageur, Ilmenau. Neu aufgelegt durch Verlag Schramm, Kiel* (1981).
- [780] J. Von Neumann και O. Morgenstern. *Theory of Games and Economic Behavior*. Science Editions. Science Editions, J. Wiley, 1944. DOI: 10.2307/2550081.
- [783] John Von Neumann και Oskar Morgenstern. «Theory of games and economic behavior». Στο: *Bull. Amer. Math. Soc* 51.7 (1945), σσ. 498–504.
- [785] Tomas Vyskocil και Hristo Djidjev. «Embedding Equality Constraints of Optimization Problems into a Quantum Annealer». Στο: *Algorithms* 12.4 (2019). ISSN: 1999-4893. DOI: 10.3390/a12040077. URL: <https://www.mdpi.com/1999-4893/12/4/77>.
- [786] Tomáš Vyskočil, Scott Pakin και Hristo N. Djidjev. «Embedding Inequality Constraints for Quantum Annealing Optimization». Στο: *Quantum Technology and Optimization Problems*. Επιμέλεια υπό Sebastian Feld και Claudia Linnhoff-Popien. Cham: Springer International Publishing, 2019, σσ. 11–22. ISBN: 978-3-030-14082-3. DOI: 10.1007/978-3-030-14082-3_2.

- [789] Stan S. Wainer. «2005 Summer Meeting of the Association for Symbolic Logic. Logic Colloquium '05». Στο: *Bulletin of Symbolic Logic* 12.2 (Ιούν. 2006), σσ. 310–361. DOI: 10.2178/bs1/1146620064.
- [790] Edo Waks, Hiroki Takesue και Yoshihisa Yamamoto. «Security of differential-phase-shift quantum key distribution against individual attacks». Στο: *Physical Review A* 73.1 (2006), σ. 012344.
- [791] Chuan Wang, Fu Guo Deng και Gui Lu Long. «Multi-step quantum secure direct communication using multi-particle Green–Horne–Zeilinger state». Στο: *Optics Communications* 253.1-3 (Σεπτ. 2005), σσ. 15–20. DOI: 10.1016/j.optcom.2005.04.048.
- [792] Chuan Wang, Fu-Guo Deng, Yan-Song Li, Xiao-Shu Liu και Gui Lu Long. «Quantum secure direct communication with high-dimension quantum superdense coding». Στο: *Physical Review A* 71.4 (Απρ. 2005), σ. 044305. DOI: 10.1103/physreva.71.044305.
- [793] Sheng-lan Wang, Shun Zhang, Qing Wang και Run-hua Shi. «Fault-Tolerant Quantum Anonymous Voting Protocol». Στο: *International Journal of Theoretical Physics* 58.3 (Ιαν. 2019), σσ. 1008–1016. DOI: 10.1007/s10773-018-3992-z.
- [794] Xiang-Bin Wang, L.C. Kwek και C.H. Oh. «Quantum roulette: an extended quantum strategy». Στο: *Physics Letters A* 278.1-2 (Δεκ. 2000), σσ. 44–46. DOI: 10.1016/s0375-9601(00)00771-4.
- [795] Zeguo Wang, Shijie Wei, Gui-Lu Long και Lajos Hanzo. «Variational quantum attacks threaten advanced encryption standard based symmetric cryptography». Στο: *Science China Information Sciences* 65.10 (Ιούλ. 2022). DOI: 10.1007/s11432-022-3511-5.
- [796] Richard H Warren. «Adapting the traveling salesman problem to an adiabatic quantum computer». Στο: *Quantum information processing* 12.4 (2013), σσ. 1781–1785.
- [797] Richard H Warren. «Small traveling salesman problems». Στο: *Journal of Advances in Applied Mathematics* 2.2 (2017). DOI: 10.22606/jaam.2017.22003.
- [798] Richard H Warren. «Solving the traveling salesman problem on a quantum annealer». Στο: *SN Applied Sciences* 2.1 (2020), σσ. 1–5.
- [799] Richard H. Warren. *Solving combinatorial problems by two DWave hybrid solvers: a case study of traveling salesman problems in the TSP Library*. arXiv:2106.05948. 2021.
- [802] Jörgen W Weibull. *Evolutionary game theory*. MIT press, 1997.
- [804] RA Weinberg και Douglas Hanahan. «The hallmarks of cancer». Στο: *Cell* 100.1 (2000), σσ. 57–70.
- [805] *What Are The Different Types Of Computer Viruses?* URL: <https://uniserveit.com/blog/what-are-the-different-types-of-computer-viruses>.
- [809] Mark M. Wilde. *Quantum Information Theory*. Cambridge University Press, 28 Φεβ. 2018. 776 **pagetotals**. ISBN: 1107176166.
- [810] C.P. Williams. *Explorations in Quantum Computing*. Texts in Computer Science. Springer London, 2010. ISBN: 9781846288876.
- [811] Colin P. Williams. *Explorations in Quantum Computing*. Springer London, 2011. DOI: 10.1007/978-1-84628-887-6.
- [812] David P Williamson και David B Shmoys. *The design of approximation algorithms*. Cambridge university press, 2011.
- [813] Robert A. Wilson. *The Finite Simple Groups*. Springer London, 2009. DOI: 10.1007/978-1-84800-988-2.

- [814] Peter Winkler. *Puzzlers' Tribute. A Feast for the Mind*. AK Peters, 2001, σ. 408. ISBN: 9781568811215.
- [815] Peter Winkler. *Mathematical Mind-Benders*. A K Peters Ltd, 2007, σ. 160. ISBN: 9781568813363.
- [818] Ramona Wolf. *Quantum Key Distribution*. Springer International Publishing, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-73991-1.
- [819] Thomas G. Wong. *Introduction to classical and quantum computing*. Omaha, Nebraska: Rooted Grove, 2022. 388 **pagetotals**. ISBN: 9798985593112.
- [820] William K Wootters και Wojciech H Zurek. «A single quantum cannot be cloned». Στο: *Nature* 299.5886 (1982), σσ. 802–803.
- [821] G Von Wright. *An Essay in Modal Logic*. Amsterdam: North-Holland Pub. Co, 1951.
- [822] Jinshan Wu. «A new mathematical representation of Game Theory, I». Στο: *arXiv preprint quant-ph/0404159* (2004).
- [823] Jinshan Wu. «Theory of games on quantum objects». Στο: *arXiv preprint quant-ph/0503094* (2005).
- [825] Wang Yu-Wu, Wei Xiang-He και Zhu Zhao-Hui. «Quantum voting protocols based on the non-symmetric quantum channel with controlled quantum operation teleportation». Στο: *Acta Physica Sinica* 62.16 (2013), σ. 160302. DOI: 10.7498/aps.62.160302.
- [826] Xiaodong Wu, Yijun Wang και Duan Huang. «Passive continuous-variable quantum secret sharing using a thermal source». Στο: *Physical Review A* 101.2 (2020), σ. 022301.
- [827] A. D. Wyner. «The Wire-Tap Channel». Στο: *Bell System Technical Journal* 54.8 (Οκτ. 1975), σσ. 1355–1387. DOI: 10.1002/j.1538-7305.1975.tb02040.x.
- [828] Li Xiao, Gui Lu Long, Fu-Guo Deng και Jian-Wei Pan. «Efficient multiparty quantum-secret-sharing schemes». Στο: *Physical Review A* 69.5 (2004), σ. 052307.
- [829] FangXing Xu, Wei Chen, Shuang Wang, ZhenQiang Yin, Yang Zhang, Yun Liu, Zheng Zhou, YiBo Zhao, HongWei Li, Dong Liu κ.ά. «Field experiment on a robust hierarchical metropolitan quantum cryptography network». Στο: *Chinese Science Bulletin* 54.17 (2009), σσ. 2991–2997.
- [830] Peng Xue και Xin Zhang. «A simple quantum voting scheme with multi-qubit entanglement». Στο: *Scientific Reports* 7.1 (Αύγ. 2017). DOI: 10.1038/s41598-017-07976-1.
- [831] Alexander Yakhnis και Vladimir Yakhnis. «Gurevich–Harrington’s games defined by finite automata». Στο: *Annals of Pure and Applied Logic* 62.3 (1993), σσ. 265–294. DOI: 10.1016/0168-0072(93)90239-a.
- [832] Pu Yang, Krishnamurthy Iyer και Peter I Frazier. «Mean field equilibria for competitive exploration in resource sharing settings». Στο: *Proceedings of the 25th International Conference on World Wide Web*. 2016, σσ. 177–187.
- [833] Qian Yang, Jia-Jun Ma, Fen-Zhuo Guo και Qiao-Yan Wen. «Semi-loss-tolerant strong quantum coin-flipping protocol using quantum non-demolition measurement». Στο: *Quantum Information Processing* 13.7 (Μαρ. 2014), σσ. 1537–1544. DOI: 10.1007/s11128-014-0747-5.
- [834] Noson S. Yanofsky και Mirco A. Mannucci. *Quantum Computing for Computer Scientists*. Cambridge University Press, 2013. ISBN: 9780511421532.
- [835] C. H. Yeung και Y. -C. Zhang. *Minority Games*. 2008. arXiv:0811.1479 [physics.soc-ph].
- [836] Tongxin Yin, Armin Sarabi και Mingyan Liu. «Deterrence, backup, or insurance: a game-theoretic analysis of ransomware». Στο: *The Annual Workshop on the Economics of Information Security (WEIS)*. 2021.

- [837] A Peter Young. *Spin glasses and random fields*. Τόμ. 12. World Scientific, 1998.
- [839] Zhuo Yu. «The Improved Quantum Secret Sharing Protocol Based on Grover Algorithm». Στο: *Journal of Physics: Conference Series*. Τόμ. 2209. IOP Publishing. 2022, σ. 012031.
- [840] Jia-Lei Zhang, Shu-Cui Xie και Jian-Zhong Zhang. «An Elaborate Secure Quantum Voting Scheme». Στο: *International Journal of Theoretical Physics* 56.10 (Ιούλ. 2017), σσ. 3019–3028. DOI: 10.1007/s10773-017-3468-6.
- [841] Pei Zhang, Xiao-Qi Zhou, Yun-Long Wang, Bi-Heng Liu, Pete Shadbolt, Yong-Sheng Zhang, Hong Gao, Fu-Li Li και Jeremy L. O'Brien. «Quantum gambling based on Nash-equilibrium». Στο: *npj Quantum Information* 3.1 (Ιούν. 2017). DOI: 10.1038/s41534-017-0021-7.
- [842] Shengyu Zhang. «Quantum strategic game theory». Στο: *Proceedings of the 3rd Innovations in Theoretical Computer Science Conference*. ACM. 2012, σσ. 39–59. DOI: 10.1145/2090236.2090241. eprint: 1012.5141v2.
- [844] Shun Zhang, Sheng-lan Wang, Qing Wang και Run-hua Shi. «Quantum Anonymous Voting Protocol with the Privacy Protection of the Candidate». Στο: *International Journal of Theoretical Physics* 58.10 (Ιούλ. 2019), σσ. 3323–3332. DOI: 10.1007/s10773-019-04205-5.
- [846] Shenggen Zheng, Lvzhou Li, Daowen Qiu και Jozef Gruska. «Promise problems solved by quantum and classical finite automata». Στο: *Theoretical Computer Science* 666 (2017), σσ. 48–64. DOI: 10.1016/j.tcs.2016.12.025.
- [848] Muhammad Suhail Zubairy. *Quantum mechanics for beginners. With applications to quantum communication and quantum computing*. Oxford, 2020.
- [849] Καραφυλλίδης, Ιωάννης. *Κβαντική Υπολογιστική*. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, 2015. ISBN: 978-960-603-002-4.