



ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΩΝ ΗΧΟΥ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΑΣ
ΙΟΝΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΟΠΤΙΚΟΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΕΣ ΣΤΗΝ
ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΟΧΗ»

**Μουσική στο νανόκοσμο : Μετατρέποντας εικόνες
ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σε ήχο**

**Μυρτώ Αποστόλου
ADA 2020001**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Τριμελής Επιτροπή

Επόπτης : Κωνσταντίνος Τηλιγάδης, Καθηγητής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Συνεπιβλέποντες : Παναγόπουλος Μιχαήλ, Αναπληρωτής καθηγητής,
Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Κωνσταντούδης Βασίλης, κύριος ερευνητής Ινστιτούτου
Νανοεπιστήμης & Νανοτεχνολογίας, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος

Κέρκυρα, Ιούλιος 2024

Περίληψη

Η ηχοποίηση δεδομένων μπορεί να διευκολύνει την επιστημονική έρευνα προσφέροντας ένα διαφορετικό τρόπο απεικόνισης. Επίσης, στις σύγχρονες ψηφιακές τέχνες η έρευνα της ηχοποίησης δεδομένων οδηγεί σε καλλιτεχνικό έργο.

Έτσι, με την ηχοποίηση δεδομένων εικόνων ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης και μέσω της γλώσσας προγραμματισμού του Matlab, προκύπτει ένα ηχητικό έργο, με βάση την πολυπλοκότητα της νανοδομημένης επιφάνειας των υλικών. Η μαθηματική μοντελοποίηση των νανοδομών, δίνει τη θέση της στη μουσική μοντελοποίηση και το χαρακτηρισμό των νανοδομών. Η επιλογή ενός τμήματος της εικόνας ως μοτίβο και η αναζήτησή του μέσα στην εικόνα, έχοντας προηγηθεί η αντιστοίχιση σε νότες, συνθέτουν την μουσική από το νανόκοσμο, που εκτός από την ακουστική πληροφορία και τα επιστημονικά συμπεράσματα για την πολυπλοκότητα, αποτελεί και ένα καλλιτεχνικό - ηχητικό έργο.

Abstract

Data sonification can facilitate scientific research by offering a different way of visualization. Moreover, in contemporary digital arts the research of data sonification leads to artistic achievements. Thus, through the sonification of electron microscope image data and through the Matlab programming language a sonic work is achieved based on the complexity of the nanostructured surface of materials. The mathematical modeling of nanostructures gives way to music modeling and nanostructures characterisation. The selection of a part of the image as light motif and its search within the image, having previously matched notes, compose the music from the nanoworld, which apart from acoustic information and scientific conclusions about complexity is also an artistic- sound work.

Στους γονείς μου
Αναστασία και Χρήστο
και στην Άννα

“ Βλέπομεν γαρ ἄρτι δι’ ἐσόπτρου ἐν αἰνίγματι,...”
(Α΄ Επιστολή προς Κορινθίους, Απ. Παύλος).

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	σελ 4
1. Θεωρητικό μέρος	
1.1 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο	σελ 6
1.2 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης	σελ 7
1.3 Εικόνες ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης	σελ 9
1.4 Νανόκοσμος	σελ 12
1.5 Ηχοποίηση	σελ 14
1.6 Ηχοποίηση και τέχνη	σελ 15
1.7 Πολυπλοκότητα	σελ 19
1.8 Πολύπλοκα συστήματα	σελ 23
1.9 Το βέλος του χρόνου	σελ 24
1.10 Πολυπλοκότητα και ηχοποίηση	σελ 27
1.11 Συνθετικές εικόνες με μεταβλητή πολυπλοκότητα	σελ 28
2. Ερευνητικό μέρος - Ηχοποίηση με το Matlab	
2.1 Το Matlab	σελ 29
2.2 Η μεθοδολογία για ηχοποίηση εικόνων μικροσκοπίας	σελ 31
2.3 Ηχοποιημένες εικόνες	σελ 35
2.4 Αλγόριθμος ηχοποίησης	σελ 39
2.5 Ηχοποίηση συνθετικών εικόνων με μεταβλητή πολυπλοκότητα	σελ 41
2.6 Παρατηρήσεις από την ηχοποίηση των συνθετικών εικόνων	σελ 43
Βιβλιογραφία	σελ 50
Ευχαριστίες	σελ 54
Παράρτημα	
A. Αλγόριθμος ηχοποίησης με σχόλια	σελ 55
B. Αλγόριθμος παραγωγής συνθετικών εικόνων (ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος)	σελ 57
Γ. Παρατηρήσεις και παρτιτούρες	σελ 63
Δ. Μουσικές ασκήσεις	σελ 68
Ε. Παρουσιάσεις του ερευνητικού μέρους της εργασίας	σελ 71

Εισαγωγή

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διαδικασία ηχοποίησης (sonification), από πληροφορία εικόνων ηλεκτρονικής μικροσκοπίας. Το πεδίο της έρευνας για την ηχοποίηση αφορά τη χρήση του προγράμματος Matlab με τη συνάρτηση «normxcorr2». Ο σκοπός της ηχοποίησης καθορίζει και την αντιστοίχιση (mapping), που πραγματοποιείται.

Το θεωρητικό μέρος της εργασίας περιλαμβάνει πληροφορίες και παραδείγματα από ηχοποίηση δεδομένων και πληροφορίες για τη λειτουργία του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και το νανόκοσμο. Επίσης, παρουσιάζεται η έννοια της πολυπλοκότητας, βάσει της οποίας προκύπτει και η ηχοποίηση, με πληροφορίες και παραδείγματα για τα πολύπλοκα συστήματα. Στο ερευνητικό μέρος, επιχειρείται η μετατροπή εικόνων από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, σε ήχο, με χρήση αλγορίθμου, με το πρόγραμμα Matlab.

Η ηχοποίηση είναι η χρήση ήχου, εκτός ομιλίας, για τη μετάδοση πληροφοριών. Είναι ένας μετασχηματισμός των σχέσεων των δεδομένων σε ένα ακουστικό σήμα και είναι από τη φύση της διεπιστημονική, εφόσον ενσωματώνει έννοιες από την ανθρώπινη αντίληψη, την ακουστική, τις τέχνες, το σχέδιο και τη μηχανική. Απαιτείται διεπιστημονική συνεργασία επιστημόνων υπολογιστών, φυσικών, μουσικών, συνθετών, ανάλογα με τον τομέα εφαρμογής της.

Η ηλεκτρονική μικροσκοπία έχει εφαρμογές σε ένα μεγάλο εύρος ερευνητικών τομέων και προσφέρει τη δυνατότητα λήψης εικόνων της δομής υλικών, με υψηλή ευκρίνεια και μεγάλη διακριτική ικανότητα. Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο χρησιμοποιεί δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας, αντί για φως. Η ηλεκτρονική δέσμη μπορεί να σαρώνει το προς μέτρηση δείγμα (ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης) ή να διέρχεται μέσα από αυτό, μετά από σχετική προετοιμασία του (ηλεκτρονική μικροσκοπία διέλευσης). Στην πρώτη περίπτωση της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης, η δέσμη ηλεκτρονίων σαρώνει την επιφάνεια του δείγματος με την οποία αλληλεπιδρά, και παρέχει πληροφορίες για τη μορφολογία και τη

σύσταση της επιφάνειας από την ανίχνευση των ηλεκτρονίων που προκύπτουν από αυτή την αλληλεπίδραση. Το τελικό αποτέλεσμα είναι μία ψηφιακή εικόνα διαβαθμίσεων του γκρι, στην οποία η φωτεινότητα των εικονοστοιχείων καθορίζεται από την ποσότητα των ηλεκτρονίων που ανιχνεύονται από το συγκεκριμένο σημείο της μέτρησης.

Οι εικόνες ηλεκτρονικής μικροσκοπίας που χρησιμοποιούνται, προέρχονται από το νανόκοσμο από υλικά με ελεγχόμενη νανοδόμηση της επιφάνειας και του εσωτερικού τους. Αυξάνεται έτσι η επικοινωνιακότητα της ύλης και δημιουργείται μια νέα γλώσσα συνομιλίας με το υλικό, στη νανοκλίμακα. Έτσι, μπορούμε να προσεγγίσουμε τη νανοδομημένη επιφάνεια σαν ένα πολύπλοκο σύστημα που η πληροφορία που εμπεριέχεται σε αυτή, χαρακτηρίζει την πολυπλοκότητά του.

Η πολυπλοκότητα της νανοδομημένης επιφάνειας και η λήψη της εικόνας με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, ή η παραγωγή συνθετικής εικόνας μέσω αλγορίθμου αποτελεί την πηγή έμπνευσης για την μετατροπή εικόνας σε ηχητικό αποτέλεσμα.

Το ηχητικό - μουσικό αποτέλεσμα αποτελεί «χαρακτηριστικό έργο», που φυσικά σχετίζεται με τη μορφή της επιφάνειας αφού εμπνέεται από την επιφανειακή τοπογραφία της και είναι κάθε φορά «μοναδικό», αφού ο καλλιτέχνης επιλέγει τον τρόπο επιλογής των μοτίβων, την αντιστοίχιση στις νότες και επιπλέον τη μουσική σύνθεση, ως προς τον τρόπο που θα προκύψει.

Η πολυπλοκότητα ποσοτικοποιεί - χαρακτηρίζει την πληροφορία που ενέχει μια επιφανειακή μορφολογία. Προσαρμόζεται λοιπόν ο τρόπος της ηχοποίησης των εικόνων με βάση την πολυπλοκότητα της εικόνας, δηλαδή το πληροφοριακό της περιεχόμενο, την λειτουργικότητά της και την ενσωμάτωση με το περιβάλλον. Έτσι, το ηχητικό αποτέλεσμα λειτουργεί ως διάδραση με την επιφάνεια.

Θεωρητικό μέρος

1 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο προσφέρει ένα ενδιαφέρον παράδειγμα της εναλλαγής των κυματικών και σωματιδιακών ιδιοτήτων των ηλεκτρονίων. Δέσμη ηλεκτρονίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχηματισμό του είδωλου ενός αντικειμένου, με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως μια φωτεινή δέσμη. Μια ακτίνα φωτός μπορεί να καμφθεί με ανάκλαση ή διάθλαση και μια ηλεκτρονική τροχιά μπορεί να καμφθεί με ηλεκτρικό ή μαγνητικό πεδίο. Ηλεκτρόνια εκπέμπονται από θερμή κάθοδο και επιταχύνονται από διαφορά δυναμικού, της τάξης των 10 έως 100 KV. Στα ηλεκτρονικά μικροσκόπια σάρωσης, τα ηλεκτρόνια περνούν μέσα από ένα συγκεντρωτικό φακό και σχηματίζουν παράλληλη δέσμη, πριν σαρώσουν το δείγμα ή το προς εξέταση αντικείμενο. Η εικόνα που λαμβάνεται σχηματίζεται από τα ηλεκτρόνια που καταγράφει κατάλληλος ανιχνευτής και τα οποία προκύπτουν από την αλληλεπίδραση της προσπίπτουσας ηλεκτρονικής δέσμης, με το υλικό στο συγκεκριμένο σημείο της σάρωσης.

Η μέτρηση επαναλαμβάνεται σε κάθε σημείο της σάρωσης και έτσι δημιουργούνται τα εικονοστοχεία που τελικά σχηματίζουν την ψηφιακή εικόνα που λαμβάνουμε. Η φωτεινότητα του κάθε εικονοστοιχείου είναι ανάλογη των ηλεκτρονίων που ανιχνεύει ο ανιχνευτής του μικροσκοπίου. Η τελική μεγέθυνση μπορεί να φτάσει μέχρι 500.000 - 1.000.000. Όλη η συσκευή περικλείεται σε θάλαμο κενού, αλλιώς τα ηλεκτρόνια θα συγκρούονταν με τα μόρια του αέρα και το είδωλο θα ήταν ασαφές (Young, Hugh D. 1994, 1152-1153).

Το πρώτο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο ήταν ένα ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διέλευσης που αναπτύχθηκε από τον Γερμανό επιστήμονα Max Knoll και τον ηλεκτρολόγο μηχανικό Ernst Ruska στη Γερμανία το 1931. Χρησιμοποίησε ένα μοντέλο παρόμοιο με το μικροσκόπιο φωτός, με τη διαφορά ότι μια δέσμη ηλεκτρονίων αντί για ορατό φως, περνούσε μέσω ενός δείγματος και σχημάτιζε μια εικόνα σε μια φθορίζουσα οθόνη. Η χρήση ηλεκτρονίων ως μέσο απεικόνισης πέτυχε ανάλυση 10 nm σε σύγκριση με ανάλυση 200

ηπου επιτυγχάνονταν με ένα μικροσκόπιο φωτός. Έτσι, για πρώτη φορά στην ιστορία, τα ηλεκτρόνια είχαν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για τη δημιουργία εικόνων της ύλης.

Λόγω της θεμελιώδους αυτής εργασίας του στην οπτική ηλεκτρονίων και για το σχεδιασμό του πρώτου ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, ο Ernst Ruska έλαβε το βραβείο Νόμπελ στη φυσική το 1986 (Ul-Hamid,2018,12).

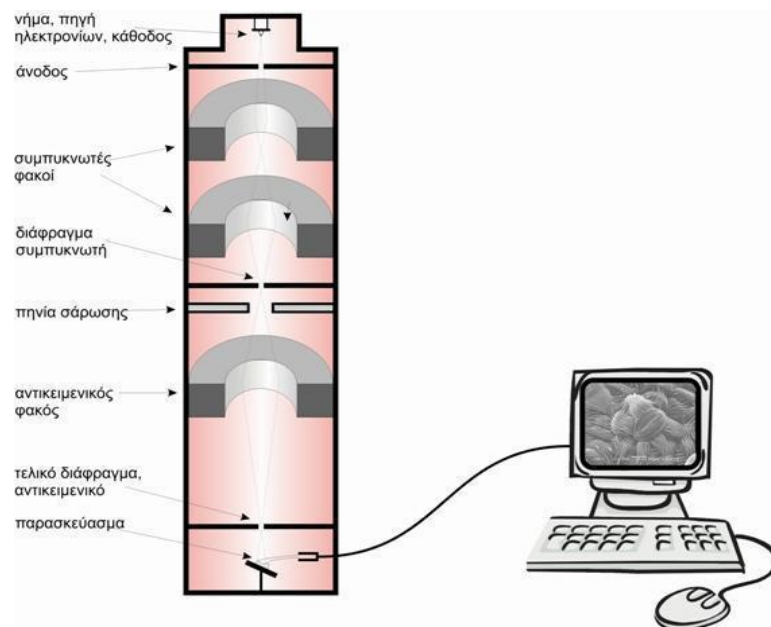
2 Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (ΗΜΣ) - (Scanningelectronmicroscope)

Η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί μια δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας που σαρώνει το δείγμα, ώστε τα ηλεκτρόνια να αλληλεπιδρούν με τα άτομα του δείγματος και μετά να ανιχνεύονται. Έτσι, επιτρέπεται η μορφολογική αναπαράσταση του δείγματος και παρέχονται πληροφορίες για τη σύσταση της επιφάνειάς του, σχηματίζοντας μια τρισδιάστατη εικόνα.

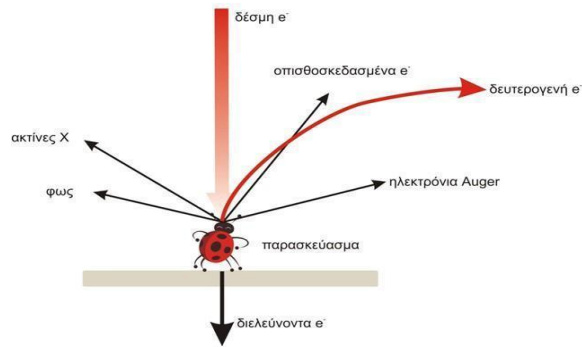
Η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης έχει εφαρμογές σε ένα μεγάλο εύρος ερευνητικών τομέων αφού προσφέρει τη δυνατότητα λήψης εικόνων υψηλής ευκρίνειας και μεγάλης διακριτικής ικανότητας. Η μεγέθυνση ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου μπορεί να φτάσει $\times 1.000.000$, με ανάλυση $< 1\text{nm}$. Επιτρέπει στους επιστήμονες να παρατηρούν και να απεικονίζουν νανοδομικές λεπτομέρειες της επιφάνειας ενός ευρέος φάσματος υλικών όπως μέταλλα, κράματα, κεραμικά, πολυμερή, ορυκτά πετρωμάτων, εναποθέσεις διάβρωσης, μεμβράνες, φύλλα, βιολογικά δείγματα κλπ.(Ul-Hamid, 2018,4).

Το ΗΜΣ χρησιμοποιεί μια δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας αντί για φως. Η δέσμη ηλεκτρονίων εστιάζεται από σύστημα συγκεντρωτικών φακών και σχηματίζει μια λεπτή γραμμή που εδώ όμως αντί να διαπερνά το παρασκεύασμα, σαρώνει την επιφάνειά του ακριβώς όπως σαρώνει την εικόνα η δέσμη ηλεκτρονίων στον καθοδικό σωλήνα μιας τηλεόρασης. Η δέσμη των ηλεκτρονίων παράγεται από ένα νήμα και ένα σύστημα ανόδου καθόδου, όπου εφαρμόζεται υψηλή τάση, συνήθως της τάξης των 15 - 40 kV, για την επιτάχυνση των ηλεκτρονίων. Το αποτέλεσμα είναι κάποια από

τα ηλεκτρόνια να το διαπερνούν, κάποια να σκεδάζονται ή να άγονται, ενώ συγχρόνως να προκαλείται η παραγωγή δευτερογενών ηλεκτρονίων, ακτίνων X και ηλεκτρονίων Auger, όπως δείχνει η Εικόνα 2. Τα δευτερογενή ηλεκτρόνια που προέρχονται από την επιφάνεια του παρασκευάσματος, έχουν μικρή σχετικά ενέργεια που σχετίζεται με τη τοπογραφία του. Αυτά τα δευτερογενή ηλεκτρόνια συλλέγονται και στέλνονται σαν ένα ηλεκτρονικό σήμα μέσω ενός ενισχυτή εικόνας σ' ένα καθοδικό σωλήνα (CRT) όπου γίνεται και η παρατήρηση ή και η φωτογράφιση του δείγματος. Στα σύγχρονα ΗΜΣ το αναλογικό ψηφιακό σήμα ψηφιοποιείται και η παρατήρηση, αλλά και όλος ο έλεγχος και η λειτουργία του μικροσκοπίου, γίνονται μέσω Η/Υ. Τα υπόλοιπα ηλεκτρόνια ή ακτινοβολίες που παράγονται μπορούν να μας δώσουν άλλες πληροφορίες σχετικές με την υφή και σύσταση του παρασκευάσματος (Φασσέας, n.d.).

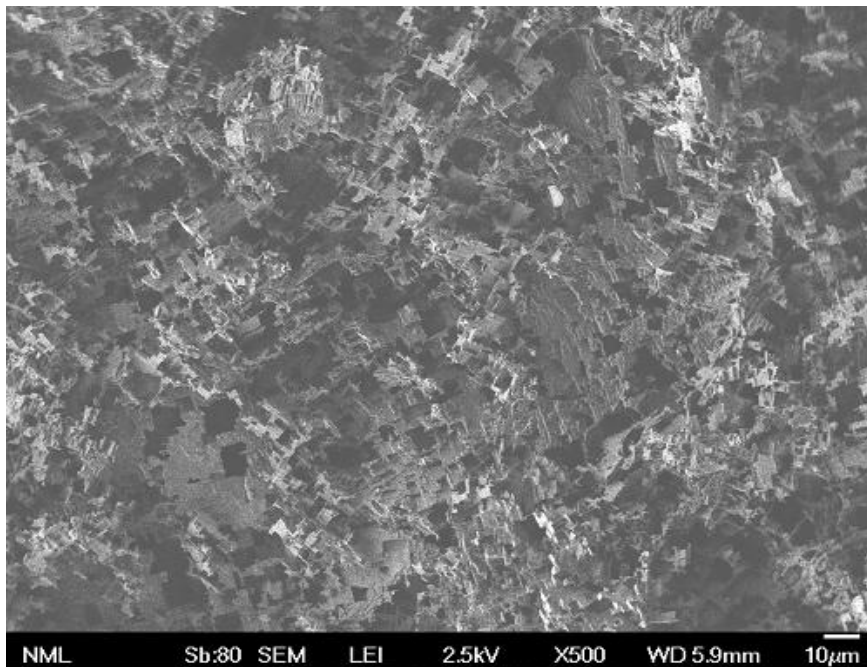


Εικόνα 1 :Σχηματική παράσταση των διαφόρων τμημάτων ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (ΗΜΣ).(Φασσέας, n.d.).

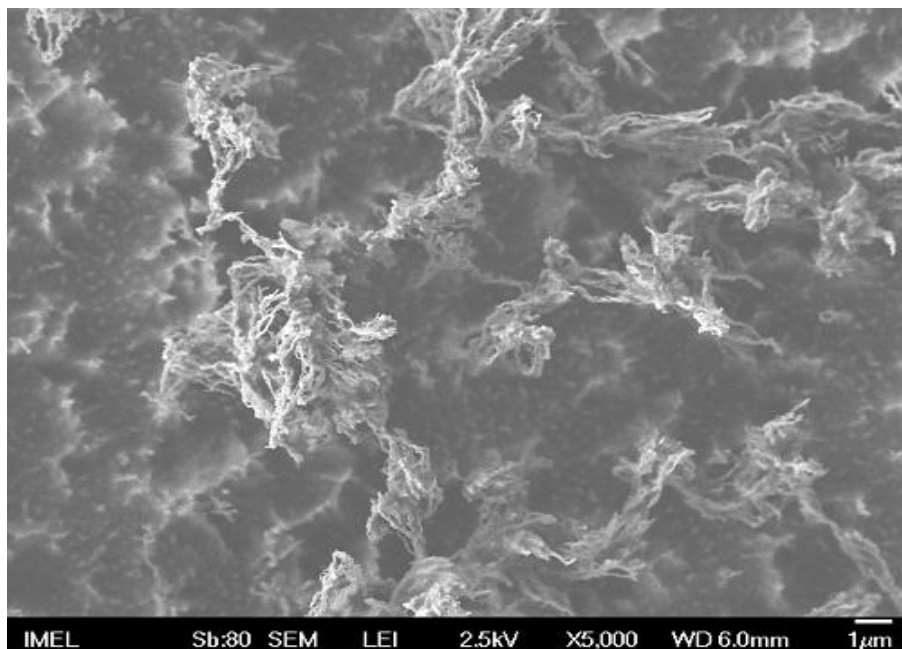


Εικόνα 2 :Οι διάφοροι τρόποι αλληλεπίδρασης παρασκευάσματος και δέσμης επιταχυνόμενων ηλεκτρονίων, όπως συμβαίνει και στο ΗΜΣ.(Φασσέας, n.d.).

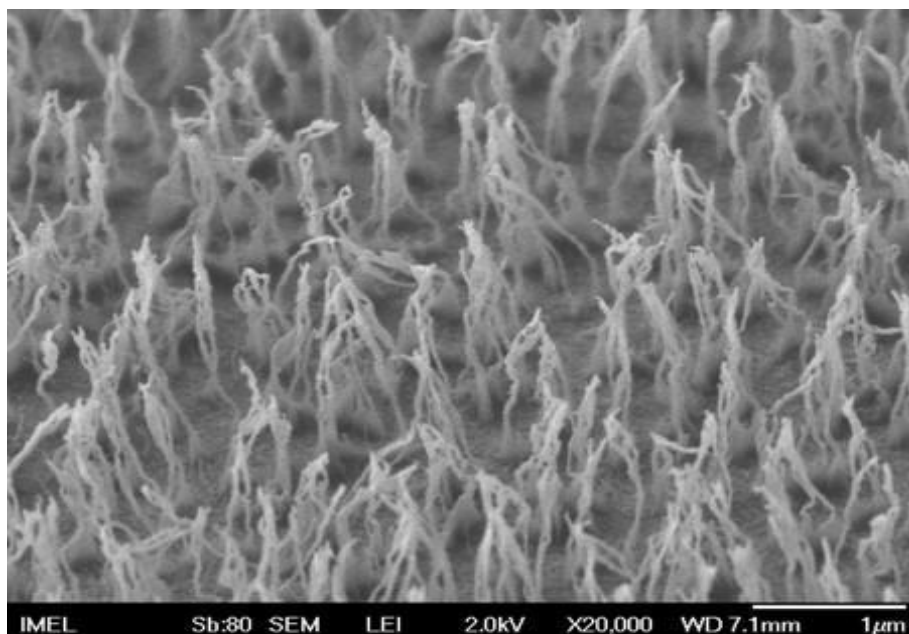
3 Εικόνες ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης - ScanningElectronMicroscope (SEM)



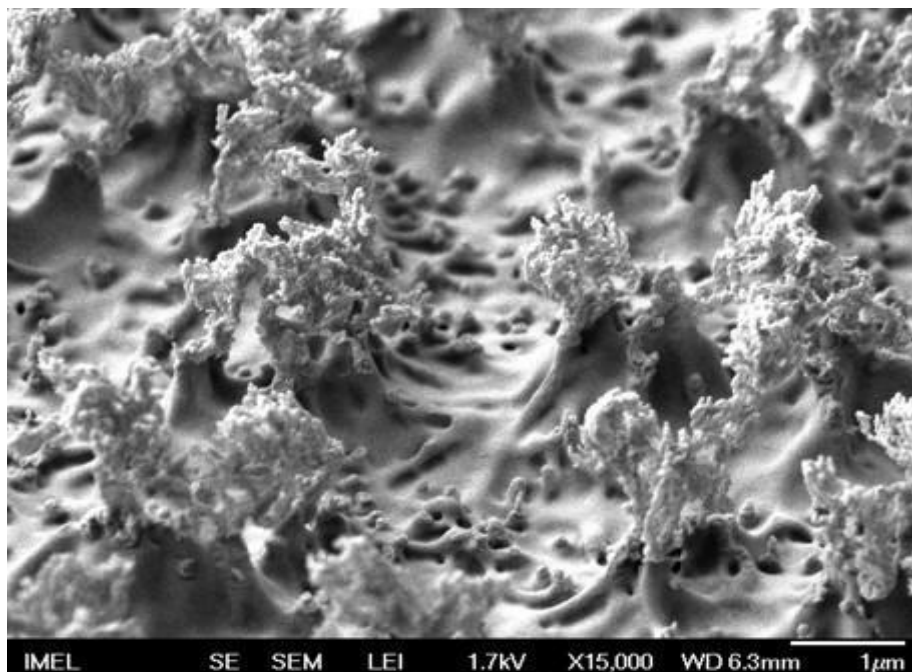
Εικόνα 3 : Αλουμίνιο που έχει εμβαπτιστεί και εγχαραχθεί (διαβρωθεί) από HCl. (ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος)



Εικόνα 4 : Πολυμερές που έχει εγχαραχθεί σε αντιδραστήρα πλάσματος με αέριο O_2 . (ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος)



Εικόνα 5 : Κ. Έλληνας - Πολυμερές που έχει εγχαραχθεί σε αντιδραστήρα πλάσματος με αέριο O_2 . (ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος)



Εικόνα 6 : Κ. Έλληνας - Πολυμερές που έχει εγχαραχθεί σε αντιδραστήρα πλάσματος με αέριο O_2 . (ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος)

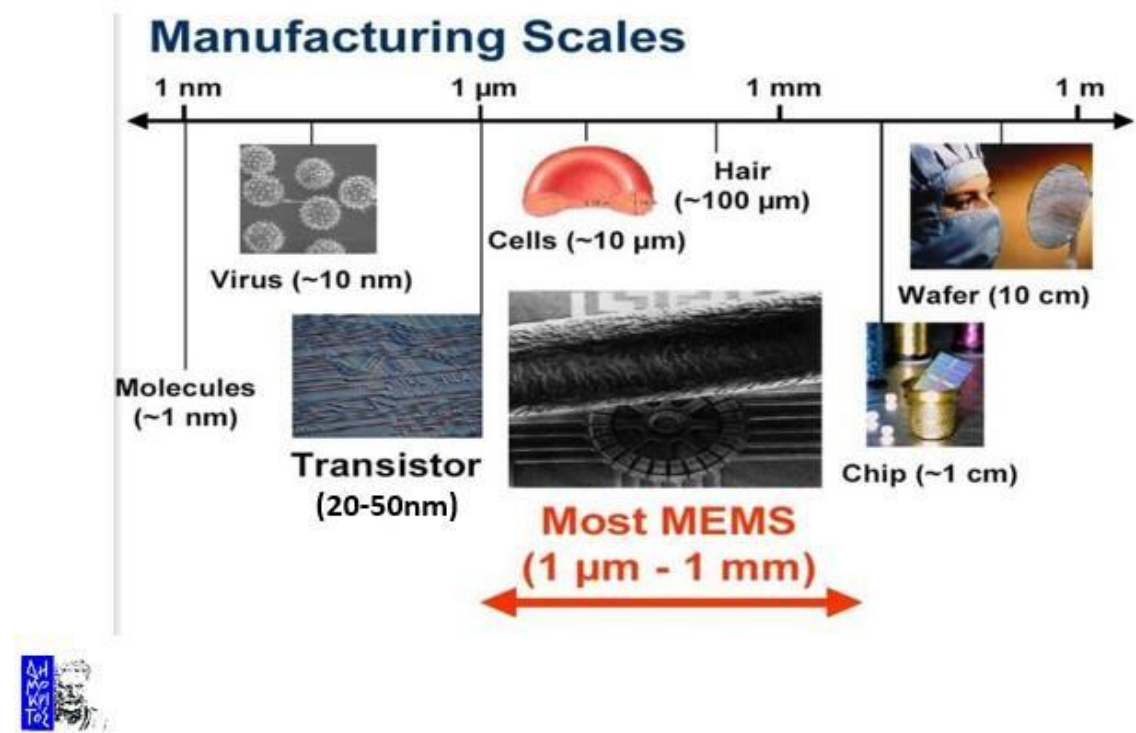
Οι παραπάνω εικόνες, προέρχονται από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος (INN,n.d.)



Εικόνα 7 : Scanning Electron Microscope (SEM) - ΕΚΕΦΕΔημόκριτος.

4 Νανόκοσμος

Τα πράγματα γύρω μας τα γνωρίζουμε από την όψη τους, την υφή τους, το χρώμα τους, αλλά κυρίως από τις επιφάνειές τους. Η επιφάνεια είναι η επαφή του υλικού με το περιβάλλον του. Ο νανόκοσμος αποκαλύπτεται από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης και η νανοκλίμακα προσδιορίζεται προσεγγιστικά στο εύρος 1-100 nm, με αντικείμενα αναφοράς τις πρωτεΐνες, τους ιούς και το μόριο του DNA.

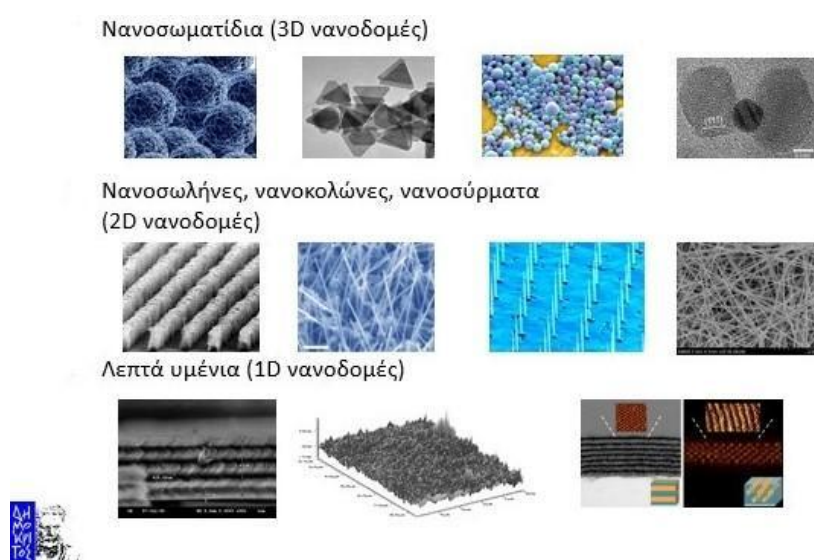


Εικόνα 8 : Παραδείγματα δομών αντικειμένων σε διάφορες κλίμακες από το 1m έως το 1nm.

Η μεγάλη ιδέα της νανοτεχνολογίας είναι η αύξηση της διεπιφάνειας των υλικών μέχρι το έσχατο βάθος της νανοκλίμακας. Έτσι, η νανοτεχνολογία προχωρά σε ελεγχόμενη νανοδόμηση (1-100 nm) της επιφάνειας και του εσωτερικού των υλικών, αυξάνοντας την επικοινωνιακότητα της ύλης. Η νανοτεχνολογία οδηγεί στο σχεδιασμό, κατασκευή και λειτουργία διατάξεων και συστημάτων που περιέχουν δομές με τουλάχιστον μια χαρακτηριστική διάσταση μικρότερη των 100 nm. Η Νανοτεχνολογία είναι

ένα νέο επιστημονικό πεδίο στο οποίο συνδυάζονται γνώσεις από διαφορετικά επιστημονικά πεδία, όπως της φυσικής, της χημείας, της βιολογίας, της επιστήμης και της τεχνολογίας υλικών. Για παράδειγμα, η φυσική προσφέρει γνώσεις σχετικά με τη κβαντική συμπεριφορά των υλικών στην κλίμακα του νάνο και η χημεία για την αλληλεπίδραση των νανοσωματιδίων, ενώ, η επιστήμη - τεχνολογία υλικών για τη σχέση ανάμεσα στη δομή και στις ιδιότητες των υλικών.

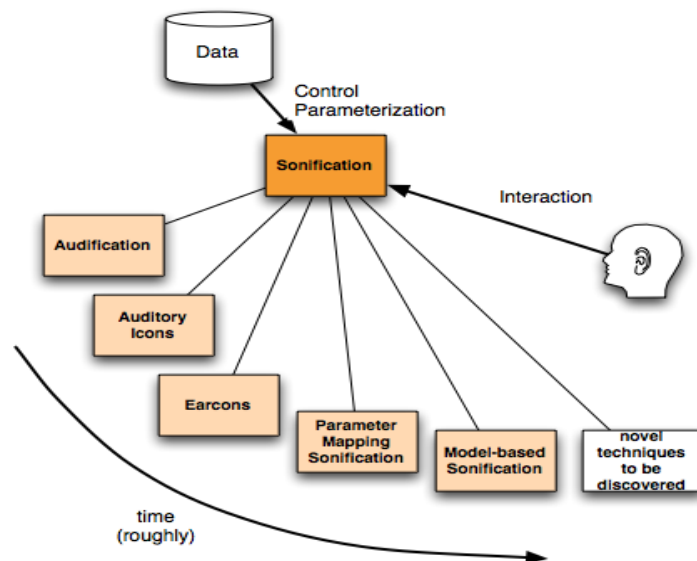
Προϊόντα της Νανοτεχνολογίας έχουν ήδη κατακλύσει τις αγορές του σύγχρονου κόσμου και μέσω των εφαρμογών, συμβάλλει στην επίλυση προβλημάτων που αφορούν τη διάγνωση και θεραπεία ασθενειών, το περιβάλλον, την ενέργεια, το διάστημα κ.α. Για παράδειγμα, βιοαισθητήρες που περιλαμβάνουν νανοσωματίδια χρυσού, φαίνεται ότι μπορούν να συμβάλλουν στην έγκαιρη ανίχνευση του OEM (οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου). Ο χρυσός σε διαστάσεις μερικών νανομέτρων από αγωγός μετατρέπεται σε ημιαγωγό, ενώ το ασήμι σε διαστάσεις νανομέτρων γίνεται αντιβακτηριακό υλικό (Σπύρτου κ.ά., 2018, 22).



Εικόνα 9 : Νανοδομές 1D, 2D και 3D αντίστοιχα.

5 Ηχοποίηση

Η ηχοποίηση είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί δεδομένα ως είσοδο και παράγει ηχητικά σήματα. Μπορεί να ονομαστεί ηχοποίηση, αν ο ήχος αντικατοπτρίζει αντικειμενικές ιδιότητες ή σχέσεις στα δεδομένα εισόδου και αν η αλλαγή είναι συστηματική, που αυτό σημαίνει ότι παρέχεται ακριβής ορισμός του τρόπου με τον οποίο τα δεδομένα (και οι ενδεχόμενες αλληλεπιδράσεις) προκαλούν την αλλαγή του ήχου. Επίσης, αν το αποτέλεσμα της διαδικασίας μπορεί να αναπαραχθεί. Δηλαδή, δεδομένων των ίδιων δεδομένων και των ίδιων αλληλεπιδράσεων (ή εναυσμάτων), ο ήχος ο οποίος παράγεται πρέπει να είναι δομικά πανομοιότυπος (Herman 2008, 2).



Εικόνα 10 : Herman <https://sonification.de/son/>

Η ηχοποίηση είναι από τη φύση της διεπιστημονική, εφόσον ενσωματώνει έννοιες από την ανθρώπινη αντίληψη, την ακουστική, τις τέχνες, το σχέδιο και τη μηχανική : Απότο μετρητή Geigernου μετατρέπει τα επίπεδα ακτινοβολίας σε ήχο και τους ήχους του σύμπαντος, ως την ηχοποίηση που οδήγησε στην ανακάλυψη του «QuantumWhistle» στο πείραμα των φυσικών Davisκαι Packard (NASA. 2005).

Απαιτείται λοιπόν διεπιστημονική συνεργασία επιστημόνων υπολογιστών, φυσικών, ερευνητών, μουσικών, συνθετών, ανάλογα με τον τομέα εφαρμογής της (Krameretal. 2010, 12-13).

6 Ηχοποίηση : Επιστήμη και Τέχνη

Στο Νότιο πόλο, η συλλογή δεδομένων από τον ανιχνευτή νετρίνων (IceCube), μετασχηματίστηκε σε ήχο πιάνου. Ο ανιχνευτής καταλαμβάνει ένα κυβικό χιλιόμετρο πάγου και είναι θαμμένος σε βάθος 1,5 χιλιομέτρου κάτω από την επιφάνεια του Νότιου Πόλου. Αποτελείται από μια διάταξη 86 κατακόρυφων σωλήνων, κατά μήκος των οποίων υπάρχουν δεκάδες εξαιρετικά ευαίσθητοι αισθητήρες φωτός και συνολικά περιέχονται 5.160 φωτοαισθητήρες ή ψηφιακές οπτικές μονάδες (DOMs = DigitalOpticalModules). Οι σωλήνες είναι τοποθετημένοι σε πηγάδια μέσα στον πάγο με τέτοιο τρόπο, ώστε όλοι μαζί να μπορούν να ανιχνεύσουν συγκρούσεις που γίνονται σε βάθος 1,5 έως και 2,5 χιλιόμετρα κάτω από την παγωμένη επιφάνεια του Νότιου Πόλου. Από τις σπάνιες αλληλεπιδράσεις των νετρίνων με τα νουκλεόνια των πάγων προκύπτουν σχετικιστικά μίονια, τα οποία με τη σειρά τους δημιουργούν φωτόνια Cherenkov. Τα φωτόνια συλλέγονται από τα DOMs και μετασχηματίζονται σε ηλεκτρικά σήματα που καταγράφονται στους υπολογιστές. Το παραγόμενο ηχητικό έργο προκύπτει από τη συνεργασία του καλλιτέχνη Fortescue και της Dr. Gwenhael de Wasseige (Fortescue 2019). Αντιστοιχήθηκαν τα γεγονότα συμβάντων από τους 86 αισθητήρες, στα 88 πλήκτρα ενός μεγάλου πιάνου (Fortescue 2018) .

Ο David Ibbett είναι μουσικός συνθέτης. Δημιουργεί ένα μίγμα κλασικής και ηλεκτρονικής μουσικής εμπνεόμενος από την επιστήμη. Ο Ibbett είναι ο πρώτος προσκεκλημένος συνθέτης που επισκέφθηκε το εργαστήριο Fermilab τον Ιανουάριο του 2020, για να μάθει περισσότερα σχετικά με τα νετρίνα και άρχισε να δουλεύει τις πρώτες του συνθέσεις εμπνευσμένες από αυτά τα σωματίδια (Hesla 2020).

Με το «Particle of Doubt» δημιούργησε μια ωδή στο μυστήριο των νετρίνων και το χαρακτήρισε ως η ηχοποίηση της ταλάντωσης των νετρίνων, όπου ένα νετρίνο μεταμορφώνεται μεταξύ των διαφορετικών τύπων του. Η σοπράνο Beth Sterling τραγουδάει για το λεπτό νετρίνο (Hesla 2020).

Η LilyAsquith, είναι επιστήμονας του ATLAS με διδακτορικό στο UniversityCollege του Λονδίνου, στην αναζήτηση ενός μποζονίουHiggs. Είναι επικεφαλής του έργου LHCsound (Google 2024). Η πρόκληση για το έργο αυτό είναι να βρει ένα συνεκτικό πλαίσιο για να ηχοποιήσει τη μεγάλη ποικιλία διεργασιών και μεταβλητών που εμπλέκονται στα πειράματα LHC, όπως η κατανομή στο χώρο και το χρόνο των σωματιδίων που αναδύονται από μια σύγκρουση, η εξέλιξη των σωματιδίων που ταξιδεύουν και η αλληλεπίδρασή τους με την ύλη. Προκύπτει έτσι μια συνεργασία μεταξύ των φυσικών και των μουσικών (Cirilli, 2011).

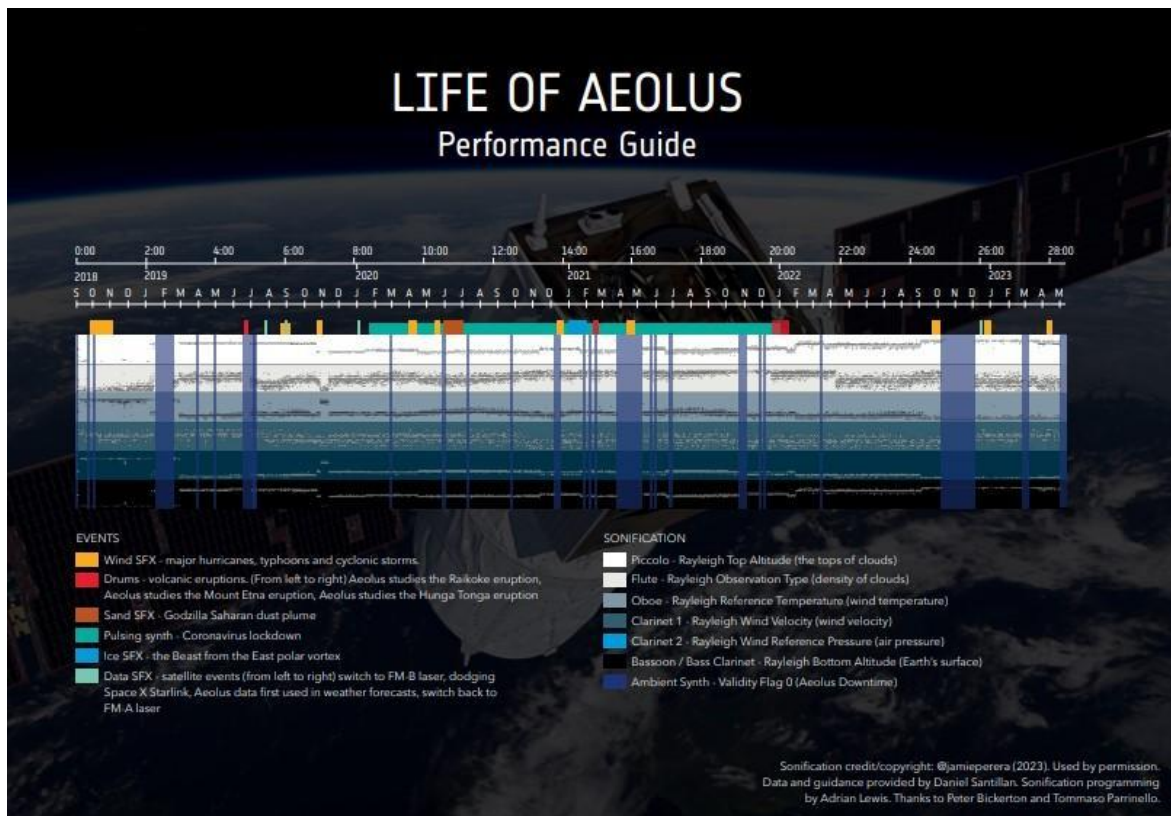
Η Asquith με το συνεργάτη της προγραμματιστή Dobson και με τη συνεργασία φυσικών και μουσικών, μεταφράζουν δεδομένα από τον Μεγάλο Επιταχυντή Αδρονίων LHC σε μουσικές νότες, μέσω της διαδικασίας της ηχοποίησης (sonification). Πιστεύουν ότι οι φυσικοί, θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα της ηχοποίησης ως πληροφορίες για να συμπληρώσουν τα παραδοσιακά οπτικά και αριθμητικά δεδομένα που συλλέγονται από τον LHC.

Επίσης, δημιούργησαν το πρόγραμμα GUI «gooeey», για τη διαδικασία ηχοποίησης. Το πρόγραμμα θα επιτρέπει σε κάθε πειραματιστή, από μαθητή γυμνασίου έως επικεφαλής ερευνητή του LHC, να εισάγει τα δικά του δεδομένα και να δημιουργήσει ένα μουσικό έργο. Αν και το LHC sound ξεκίνησε τον Ιανουάριο του 2010, η ιδέα της μετατροπής των δεδομένων σε ηχητικό ήχο δεν είναι νέα. Ο Dobson πιστεύει ότι το ανθρώπινο αυτί είναι καλό στο να ανιχνεύει λεπτές αλλαγές στον ήχο και όταν ένας νέος ήχος ακούγεται, τραβάει την προσοχή μας. Στο GUI οι ήχοι συνδέονται με δεδομένα από μεταβλητές όπως ο τύπος σωματιδίου, η ταχύτητα ή η ενέργεια. Οι χρήστες μπορούν να ανεβάζουν τα δεδομένα τους ως λίστα αριθμών και να δημιουργούν μουσική προσαρμόζοντας παραμέτρους όπως το όργανο, το ρυθμό και τον τόνο. Για παράδειγμα, ένας χρήστης μπορεί να επιλέξει να χρησιμοποιήσει δεδομένα από την ενέργεια ενός σωματιδίου, κάνοντας για την ηχοποίηση αυτών, mapping με ένα βιολί, δημιουργώντας ένα arpeggio, δηλαδή μια σειρά από νότες, καθώς η ενέργεια αυξομειώνεται κατά τη διάρκεια του γεγονότος. Αυτό που κάνουν οι

φυσικοί είναι σαν ένα κυνήγι θησαυρού ή μια ιστορία ντετέκτιβ και αυτό θα μπορούσε να τους βοηθήσει να μετασχηματίσουν τα δεδομένα τους, λέει ο Dobson. «Η απλή ιδέα ότι μπορούν να «ακούσουν» συγκρούσεις, θα μπορούσε να είναι ένα άλλο εργαλείο στο οπλοστάσιο τους. Οποιοδήποτε πείραμα με μια στήλη μεταβαλλόμενων αριθμών μπορεί να ηχοποιηθεί, ακόμη και κάτι τόσο απλό, όπως η επιτάχυνση ενός ξύλινου αυτοκινήτου καθώς κυλάει σε μια ράμπα. Η LHC sound έλαβε επιχορήγηση από το Science and Technology Facilities Council για να αναπτύξει και να παρουσιάσει ένα εργαστήριο σε σχολεία μέσης εκπαίδευσης στο Ηνωμένο Βασίλειο, ώστε οι μαθητές να μπορούν να ηχοποιήσουν τα δικά τους πρότζεκτ φυσικής (*Symmetry Dimensions of Particle Physics*, 2011).

Μεταξύ των προτεινόμενων έργων, μια χορογραφία πάνω στους ήχους, μια σύνθεση που θα μπορούσε να εκτελεστεί με ένα πραγματικό όργανο ή μια οθόνη που θα αναπαράγει σε πραγματικό χρόνο ηχητικά τα γεγονότα του πειράματος ATLAS, όπως συμβαίνουν στον επιταχυντή.

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος (ESA) ηχοποίησε δεδομένα του δορυφόρου Aeolus σε μία ορχηστρική σύνθεση με τίτλο «Life of Aeolus». Ο δορυφόρος εκτοξεύτηκε τον Αύγουστο του 2018 με στόχο να βελτιώσει τις μετεωρολογικές προγνώσεις και τα κλιματικά μοντέλα. Σηματοδοτώντας το τέλος της αποστολής του Αιόλου στο μισής ώρας διάρκειας «Life of Aeolus», κάθε δευτερόλεπτο παραπέμπει σε μία μέρα στη ζωή του δορυφόρου Aeolus και στον άνεμο που μετρούσε καθώς περιστρεφόταν γύρω από τη Γη, 16 φορές την ημέρα (ESA 2023).



Εικόνα 11 : LIFE OF AEOLUS Performance Guide [ESA - Life of Aeolus in music](https://www.esa.int/ESA_Media/Images/2023/01/Life_of_Aeolus_in_music)

Η ESA συνεργάστηκε με τον συνθέτη JamiePerera και στο ορχηστρικό κομμάτι που προκύπτει, όπου κάθε δευτερόλεπτο είναι μια μέρα στη ζωή του Αιόλου, τα δεδομένα αντιπροσωπεύονται από διαφορετικά όργανα. Στο ορχηστρικό κομμάτι παρουσιάζονται επίσης, γεγονότα ορόσημα της περιόδου λειτουργίας του Aeolus, όπως ηφαιστειακές εκρήξεις, τυφώνες, αλλά και η πανδημία του κορονοϊού.

Το επίσημο κανάλι SoundCloud της ESA, <https://soundcloud.com/esa> φιλοξενεί πολλούς ήχους και τις ηχοποιήσεις από το διάστημα, συμπεριλαμβανομένου του περίφημου «singingcomet», ένα κομμάτι που έχει επαναχρησιμοποιηθεί χιλιάδες φορές από συνθέτες και μουσικούς, σε όλο τον κόσμο (soundcloud 2014).

Το πρότζεκτ της NASA «Sonification» ηχοποιεί εικόνες και δεδομένα από το διαστημικό τηλεσκόπιο JamesWebb της NASA. Επίσης, χρησιμοποιούνται δεδομένα από το διαστημικό τηλεσκόπιο ακτίνων X Chandra της NASA και το Hubble (NASA 2022).

Έτσι, υπάρχει ένας νέος τρόπος για την εξερεύνηση του διαστήματος μέσω του ήχου. Οι ακροατές μπορούν να εισέλθουν στο περίπλοκο ηχητικό τοπίο των κοσμικών απότομων βράχων στο νεφέλωμα Carina, να εξερευνήσουν τους αντιθετικούς τόνους δύο εικόνων που απεικονίζουν το νεφέλωμα του νότιου Δακτυλίου και να αναγνωρίσουν τα μεμονωμένα σημεία δεδομένων, σε ένα φάσμα μετάδοσης του γιγάντιου εξωπλανήτη θερμού αερίου «WASP-96 b». Ο στόχος είναι να γίνουν κατανοητές οι εικόνες και τα δεδομένα του Webb μέσω του ήχου και οι ακροατές να δημιουργήσουν τις δικές τους νοητικές εικόνες. Μια ομάδα επιστημόνων, μουσικών, ενός μέλους της κοινότητας τυφλών και ατόμων με προβλήματα όρασης, εργάστηκαν για την προσαρμογή των δεδομένων του Webb, με την υποστήριξη της αποστολής Webb και του Universe of Learning της NASA : <https://universe-of-learning.org/> (NASA, n.d.).

7 Πολυπλοκότητα

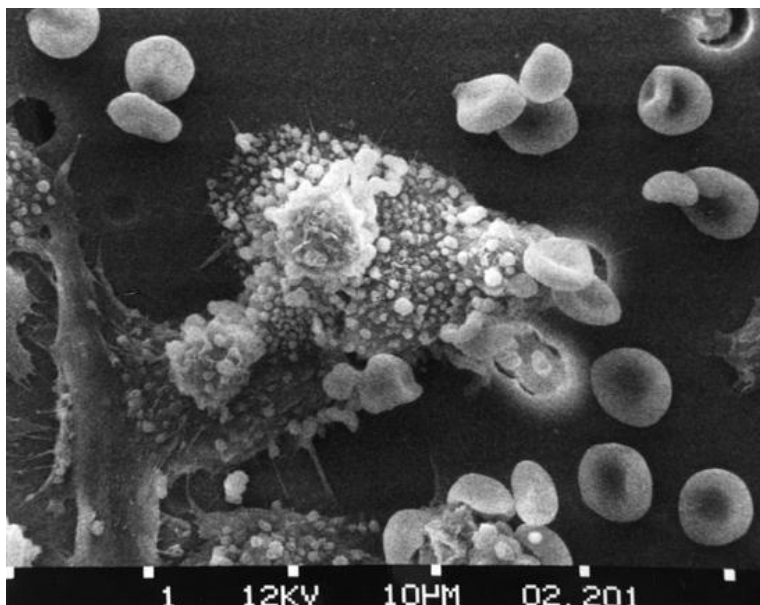
Στη σύγχρονη φυσική θεωρία εμφανίζεται όλο και πιο συχνά, η μη γραμμικότητα και η ολιστικότητα που οδηγούν στην ιδέα ενός κόσμου που όχι απλώς μεταβάλλεται, αλλά δημιουργείται συνεχώς. Στη θεωρία της πολυπλοκότητας η μη γραμμικότητα εμφανίζεται στη μελέτη λειτουργιών στη χημεία, βιολογία, οικολογία , ιατρική, κοινωνιολογία κ.ά.

Ο Edward Lorenz μαθηματικός και μετεωρολόγος τη δεκαετία του 1960 μελετούσε τους βασικούς παράγοντες που διαμορφώνουν το κλίμα (ατμοσφαιρική πίεση, υγρασία, ταχύτητα του ανέμου, θερμοκρασία), έχοντας στη διάθεσή του έναν από τους πρώτους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Στους υπολογισμούς του στις προσομοιώσεις για την πρόβλεψη του καιρού, δίνοντας τιμές στην ταχύτητα του ανέμου με ακρίβεια 6 δεκαδικών ψηφίων ο εκτυπωτής τύπωνε τα αποτελέσματα με 3 δεκαδικά ψηφία. Το σφάλμα στην πρόβλεψη, ήταν μικρότερο από 0,002%. Επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία με όλα τα ψηφία, η πρόβλεψη έδωσε τελείως διαφορετικά αποτελέσματα. Όταν στρογγυλοποιείς μια ταχύτητα ανέμου 42,526237 χιλιομέτρων την ώρα σε 42,526 της κόβεις 23,7 εκατοστά την ώρα. Τι είναι αυτό που μπορεί να προκαλέσει μια πνοή

ανέμου 23,7 εκατοστά την ώρα; Το φτερούγισμα μιας πεταλούδας σκέφτηκε ο Lorenz! Δηλαδή, μπορεί το φτερούγισμα μιας πεταλούδας στη Βραζιλία, να προκαλέσει μια καταιγίδα στο Τέξας. Και κάπως έτσι, γεννήθηκε ο όρος «φαινόμενο της πεταλούδας», το εκλαϊκευμένο όνομα ενός χαρακτηριστικού που αποτελεί τη βάση της επιστήμης της πολυπλοκότητας. Μια υπέρ -επιστήμη αφού αγκαλιάζει τα μαθηματικά, τις φυσικές επιστήμες (φυσική, χημεία, βιολογία, μετεωρολογία, ιατρική) αλλά και τις κοινωνικές επιστήμες (οικονομολογία και κοινωνιολογία). Το επιστημονικό όνομα του χαρακτηριστικού που αναφέρεται ως «φαινόμενο της πεταλούδας» είναι υπερευαίσθητη εξάρτηση από τις αρχικές συνθήκες. Αυτά τα φαινόμενα ονομάζονται χαοτικά (Μιχαηλίδης και Μπουντής 2017, 22-3).

Το ανοσοποιητικό σύστημα είναι ένα παράδειγμα πολύπλοκου συστήματος στο οποίο σχετικά απλά στοιχεία, προκαλούν συλλογικά περίπλοκη συμπεριφορά που περιλαμβάνει σηματοδότηση (η ικανότητα των κυττάρων να δέχονται και να αντιδρούν σε σήματα που έρχονται από τον εξωκυτταρικό χώρο) και στο οποίο η προσαρμογή επέρχεται με την πάροδο του χρόνου.

Το ανοσοποιητικό σύστημα αποτελείται από πολλούς διαφορετικούς τύπους κυττάρων που κατανέμονται σε ολόκληρο το σώμα (στο αίμα, στο μυελό των οστών, στους λεμφαδένες και σε άλλα όργανα). Αυτή η συλλογή κυττάρων λειτουργεί μαζί, με αποτελεσματικό και αποδοτικό τρόπο χωρίς κεντρικό έλεγχο. Η συμπεριφορά του ανοσοποιητικού συστήματος προκύπτει από τις ανεξάρτητες ενέργειες εκατομμυρίων απλών κυττάρων χωρίς κανένα στην πραγματικότητα υπεύθυνο. Η δράση των απλών κυττάρων όπως Β κύτταρα, Τ κύτταρα, μακροφάγα, κ.λπ. μπορεί να θεωρηθεί ως ένα είδος χημικού δικτύου επεξεργασίας σήματος, στο οποίο η αναγνώριση ενός εισβολέα από ένα κύτταρο πυροδοτεί έναν καταρράκτη σημάτων, ανάμεσα στα κύτταρα που βάζουν στο παιχνίδι την περίπλοκη σύνθετη απόκριση.



Εικόνα 12 : Τα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος επιτίθενται σε καρκινικό κύτταρο. (Φωτογραφία από τη SusanArnold, από το Εθνικό Ινστιτούτο Καρκίνου VisualsOnline [CancerCells: Death \(Step 3\): ImageDetails - NCI VisualsOnline](#)

Ο DouglasHofstadter, στο βιβλίο του «Gödel, Escher, Bach», κάνει μια εκτεταμένη αναλογία μεταξύ των αποικιών μυρμηγκιών και του εγκεφάλου. Και τα δύο είναι πολύπλοκα συστήματα στα οποία σχετικά απλά στοιχεία με περιορισμένη μόνο επικοινωνία μεταξύ τους, προκαλούν συλλογικά μία αναδυόμενη περίπλοκη και εκλεπτυσμένη συμπεριφορά όλου του συστήματος. Στον εγκέφαλο, τα απλά συστατικά είναι κύτταρα που ονομάζονται νευρώνες. Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι οι ενέργειες των νευρώνων και τα πρότυπα των συνδέσεων μεταξύ ομάδων νευρώνων, είναι αυτά που προκαλούν αντίληψη, σκέψη, συναισθήματα, συνείδηση και άλλες σημαντικές εγκεφαλικές δραστηριότητες μεγάλης κλίμακας. Οι νευρώνες αποτελούνται από τρία κύρια μέρη. Το κυτταρικό σώμα, που περιλαμβάνει τον πυρήνα και μεγάλο αριθμό οργανιδίων, τους κλάδους - αποφυάδες που ονομάζονται δένδριτες και συλλέγουν τα σήματα (νευρικές ώσεις) που στέλνονται στο κύτταρο και τους νευράξονες, που μεταδίδουν νευρικές ώσεις από το κυτταρικό σώμα. Πολύ χονδρικά, ένας νευρώνας μπορεί να βρίσκεται είτε σε ενεργή κατάσταση ή ανενεργή κατάσταση. Ένας νευρώνας πυροδοτείται, όταν λαμβάνει αρκετά σήματα από άλλους νευρώνες μέσω των δένδριτών του. Η πυροδότηση συνίσταται στην

αποστολή ενός ηλεκτρικού παλμού μέσω του άξονα, ο οποίος στη συνέχεια μετατρέπεται σε χημικό σήμα μέσω χημικών ουσιών, που ονομάζονται νευροδιαβιβαστές. Αυτό το χημικό σήμα με τη σειρά του ενεργοποιεί άλλους νευρώνες, μέσω των δενδριτών τους. Αυτές οι ενέργειες θυμίζουν αυτές των μυρμηγκιών σε μια αποικία. Τα άτομα (νευρώνες ή μυρμηγκία) αντιλαμβάνονται σήματα από άλλα άτομα και μια επαρκής αθροιστική ισχύς αυτών των σημάτων αναγκάζει τα άτομα να ενεργούν με συγκεκριμένους τρόπους, ώστε να παράγουν πρόσθετα σήματα. Τα συνολικά αποτελέσματα μπορεί να είναι πολύ περίπλοκα. Οι επιστήμονες δεν καταλαβαίνουν ακόμη πώς οι ενέργειες μεμονωμένων ή πυκνών δικτύων νευρώνων, προκαλούν τη μεγάλης κλίμακας συμπεριφορά του εγκεφάλου. Δεν καταλαβαίνουν τι σημαίνουν τα νευρωνικά σήματα, πώς συνεργάζονται μεγάλοι αριθμοί νευρώνων για να παράγουν παγκόσμια γνωστική συμπεριφορά, ή πώς ακριβώς κάνουν τον εγκέφαλο να κάνει σκέψεις και να μαθαίνει νέα πράγματα. Και τελικά, πώς προέκυψε μέσω της εξέλιξης ένα τόσο περίτεχνο σύστημα σηματοδότησης, με τόσο ισχυρές συλλογικές ικανότητες (Mitchell 2009, 6). Τα μυρμηγκία στρατού του είδους *Ecitonhamatum*, σχηματίζουν «ζωντανές» γέφυρες σε διαλείμματα και κενά στο δάσος, που επιτρέπουν στα μεγάλα σμήνη επιδρομών τους να ταξιδεύουν αποτελεσματικά. Παρουσιάζουν ένα επίπεδο συλλογικής νοημοσύνης, εκτελώντας έναν συλλογικό υπολογισμό. Δεν υπάρχει κανένα μυρμηγκί που να επιβλέπει την απόφαση, κάνουν αυτόν τον υπολογισμό ως αποικία. Η Radhika Nagpal, καθηγήτρια της επιστήμης των υπολογιστών στο Πανεπιστήμιο του Χάρβαρντ, η οποία μελετά τη ρομποτική και τα αυτοοργανούμενα βιολογικά συστήματα, δήλωσε ότι τα ευρήματα αποκαλύπτουν ότι υπάρχει «κάτι πολύ πιο θεμελιώδες για το πώς οι πολύπλοκες δομές συναρμολογούνται και προσαρμόζονται στη φύση και ότι δεν είναι μέσω ενός επόπτη ή σχεδιαστή που λαμβάνει αποφάσεις» (Morgan, 2015).

8 Πολύπλοκα συστήματα

Τα πολύπλοκα συστήματα χαρακτηρίζονται από κάποιες κοινές ιδιότητες.

1. Σύνθετη συλλογική συμπεριφορά : Τα συστήματα (που περιγράφονται στα παραδείγματα αποτελούνται από μεγάλα δίκτυα μεμονωμένων συστατικών (μυρμήγκια, Β κύτταρα, νευρώνες), που το καθένα συνήθως ακολουθεί σχετικά απλούς κανόνες, χωρίς κεντρικό έλεγχο ή ηγέτη. Είναι οι συλλογικές δράσεις μεγάλου αριθμού συστατικών που δημιουργούν το σύμπλεγμα, που είναι δύσκολα προβλέψιμες, καθώς έχουν μεταβαλλόμενα πρότυπα συμπεριφοράς.
2. Σηματοδότηση και επεξεργασία πληροφοριών : Όλα αυτά τα συστήματα παράγουν και χρησιμοποιούν πληροφορίες και σήματα τόσο από το εσωτερικό όσο και από το εξωτερικό τους περιβάλλον.
3. Προσαρμογή : Όλα αυτά τα συστήματα προσαρμόζονται, δηλαδή αλλάζουν τη συμπεριφορά τους και βελτιώνουν τις πιθανότητές τους για επιβίωση, μέσω της μάθησης, ή με εξελικτικές διαδικασίες.

Ως πολύπλοκο σύστημα θα μπορούσαμε λοιπόν να πούμε ότι είναι ένα σύστημα στο οποίο μεγάλα δίκτυα εξαρτημάτων χωρίς κεντρικό έλεγχο και με απλούς κανόνες λειτουργίας, προκαλούν πολύπλοκη συλλογική συμπεριφορά, επεξεργασία πληροφοριών και προσαρμογή μέσω μάθησης, ή εξέλιξης.

Συστήματα στα οποία προκύπτει οργανωμένη συμπεριφορά χωρίς εσωτερικό ή εξωτερικό ελεγκτή ή οδηγό ή καθοδηγητή, χαρακτηρίζονται από αυτοοργάνωση. Δεδομένου ότι οι απλοί κανόνες παράγουν πολύπλοκη συμπεριφορά με δύσκολους τρόπους πρόβλεψης, η μακροσκοπική συμπεριφορά τέτοιων συστημάτων ονομάζεται μερικές φορές αναδυόμενη. Εδώ είναι ένας εναλλακτικός ορισμός ενός πολύπλοκου συστήματος, δηλαδή ένα σύστημα που εμφανίζει πρωτότυπες, αναδυόμενες και αυτοοργανωτικές συμπεριφορές (Mitchell 2009, 12-13).

Ο Ilya Prigogine, θεμελιωτής της θεωρίας της πολυπλοκότητας, δίνοντας έμφαση στο ρόλο της τυχαιότητας και του χάους στη δημιουργία δομής, φαντάζεται ένα σύμπαν στο οποίο τα αντικείμενα δεν ορίζονται τόσο καλά όσο στην κλασική ή και την κβαντική φυσική. Στο σύμπαν του Prigogine το

μέλλον δε μπορεί να προσδιοριστεί, επειδή υπόκειται στην τυχαιότητα, τη διακύμανση και την ενίσχυση. Το χαρακτηρίζει αυτό, μια νέα «αρχή αβεβαιότητας». Σύμφωνα με την αρχή της αβεβαιότητας που διατύπωσε ο WernerHeisenberg, είναι αδύνατο να γνωρίζουμε με πλήρη ακρίβεια τη θέση και την ορμή, ενός υποατομικού σωματιδίου. Η αρχή αυτή εισήγαγε την ανάγκη για την εισαγωγή της πιθανότητας, στην περιγραφή της συμπεριφοράς των σωματιδίων.

Η νέα «αρχή αβεβαιότητας» του Prigogine λέει ότι, πέρα από κάποιο οριακό σημείο πολυπλοκότητας τα συστήματα οδεύουν προς μη προβλέψιμες κατευθύνσεις, χάνουν τις αρχικές τους συνθήκες και δεν μπορούν να τις ανακτήσουν, ή να αντιστραφούν. Η αδυναμία τους να πάνε πίσω στο χρόνο, αποτελεί ένα «φράγμα εντροπίας». Το μυστικό της δημιουργικότητας της φύσης βρίσκεται στους νόμους της μη προβλεψιμότητας, του χάους και της μη αντιστρεπτότητας του χρόνου (Briggs και Peat 1991,157-5).

9 Το βέλος του χρόνου

Το πρόβλημα του χρόνου, δηλαδή της ροής που διατηρεί, δημιουργεί, καταστρέφει, βρίσκεται πάντα στο επίκεντρο των προβληματισμών του ανθρώπου. Ο χρόνος είναι η βασική διάσταση της ύπαρξής μας. Σε όλα τα φαινόμενα που παρατηρούμε γύρω μας, στη φυσική του μακρόκοσμου, στη χημεία, στη βιολογία, ή στις επιστήμες του ανθρώπου το μέλλον και το παρελθόν παίζουν ένα διαφορετικό ρόλο. Παντού συναντάμε ένα «βέλος του χρόνου». Αυτό το βέλος του χρόνου είναι πάντοτε παρόν και υπάρχει ως στενός σύνδεσμος. μεταξύ μη αντιστρεψιμότητας και πολυπλοκότητας. Όσο υψηλότερος ο βαθμός πολυπλοκότητας (χημεία, ζωή, εγκέφαλος), τόσο πιο έκδηλο είναι το βέλος του χρόνου.

Με την ενσωμάτωση της μη αντιστρεψιμότητας, μπορούμε να διερευνήσουμε πώς αυτό το βέλος του χρόνου επιδρά σε άρσεις συμμετρίας και στην εμφάνιση τάξης και αταξίας σε μακροσκοπικό επίπεδο. Η τάξη και η αταξία προέρχονται από το χάος. Η αστάθεια και το χάος οδηγούν σε δυο συνέπειες. Την ενοποίηση της μικροσκοπικής με τη μακροσκοπική

περιγραφή της φύσης (που επιτυγχάνεται μόνο με τροποποίηση της μικροσκοπικής περιγραφής) και τη διατύπωση μιας κβαντικής θεωρίας (απευθείας μέσω πιθανοτήτων χωρίς το δυϊσμό της ορθόδοξης κβαντικής θεωρίας). Οι νόμοι της φύσης είναι συνδεδεμένοι με το ντετερμινισμό και την αναστρεψιμότητα του χρόνου, ενώ για ασταθή συστήματα καθίστανται θεμελιωδώς πιθανοκρατικοί δίνοντας ένα μέτρο του εφικτού και όχι βεβαιότητας (Prigogine, 2003,90).

Ο Prigogine χρησιμοποιεί τη λέξη χάος με δύο διακριτούς τρόπους. Υπάρχει το παθητικό χάος της ισορροπίας και μέγιστης εντροπίας, όπου τα στοιχεία είναι τόσο πολύ αναμειγμένα ώστε δεν υπάρχει καμία οργάνωση. Αυτό είναι το «θερμικό χάος ισορροπίας» που προέβλεψε ο Clausius. Υπάρχει όμως και το δεύτερο είδος, που είναι δραστήριο και ενεργητικό, μακριά από την ισορροπία, και εκεί μπορεί να συμβούν παράξενα πράγματα. Ένα από τα αγαπημένα παραδείγματά του, για την τάξη που ξεπηδά από το χάος είναι από την υδροδυναμική, η αστάθεια Bénard. Αν θερμάνουμε ένα δοχείο με υγρό, ώστε η κάτω επιφάνεια να γίνει θερμότερη από την πάνω, σχηματίζονται τότε δίνες, που παρασύρουν σε τυρβώδη ροή δισεκατομμύρια μόρια, δημιουργώντας χαρακτηριστικές δομές εξαγωνικής μορφής, τις κυψελίδες Bénard. Γίνεται φανερό πως μια ιδιότητα του μακριά από την ισορροπία χάους, είναι ότι περιέχει τη δυνατότητα αυτοοργάνωσης. Μακριά από την ισορροπία, η ύλη «βλέπει». Φαίνεται σαν κάθε μόριο να είναι «πληροφορημένο» για τη συνολική κατάσταση του συστήματος. Για τον Prigogine η ιδέα της επικοινωνίας και της πληροφορίας είναι συνδεδεμένη, με το πώς η τυχαία συμπεριφορά οδηγεί σε πολύπλοκη σύζευξη ανάδρασης και αυθόρμητη τάξης. Βλέπει να εμφανίζονται αυτοοργανωμένες δομές στη βιολογία, στις δίνες, στην ανάπτυξη πόλεων και πολιτικών κινημάτων, στην εξέλιξη των άστρων (Briggs 1991, 143-44).

Η ανάδειξη δομών μακράν της ισορροπίας, λέγονται δομές έκλυσης (Dissipative Structures). Μακράν της ισορροπίας εμφανίζονται δομές που συντηρούνται όσο το σύστημα εκλύει ενέργεια και βρίσκεται σε αλληλεπίδραση με το περιβάλλον. Το πιο απλό παράδειγμα μιας δομής

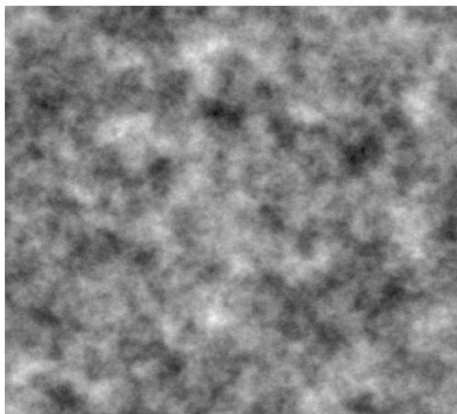
έκλυσης είναι μια πόλη που η ύπαρξή της σχετίζεται άμεσα με το περιβάλλον της. Αν διακοπεί αυτή η σχέση η πόλη θα εξαφανιστεί. Αυτή είναι μια προφανής αντίθεση με τις δομές ισορροπίας, όπως π.χ. με τους κρυστάλλους οι οποίοι μόλις σχηματιστούν μένουν απομονωμένοι σχηματίζοντας «νεκρές» δομές, χωρίς έκλυση ενέργειας (Prigogine, 2003, 31).

Ο Ilya Prigogine τιμήθηκε με το βραβείο Nobel, διότι απέδειξε πώς μακράν της ισορροπίας έχουμε σημεία διακλάδωσης, που προέρχονται από το μη γραμμικό χαρακτήρα των εξισώσεων εξέλιξης. Τότε παρουσιάζονται πολλές δυνατότητες, πολλοί κλάδοι και αυτοί οι κλάδοι οδηγούν σε εμφάνιση νέων δομών στο χωροχρόνο. Έτσι, η κατεύθυνση του χρόνου σε συνδυασμό με την αύξηση της εντροπίας, παίζει πολύ σημαντικό και εποικοδομητικό ρόλο. Ο Prigogine πιστεύει ότι από τη στιγμή που οι νόμοι της δυναμικής, είτε είναι κλασική δυναμική, είτε κβαντική, είτε σχετικιστική, δεν περιλαμβάνουν την κατεύθυνση του χρόνου, είναι αναγκαίο να επαναδιατυπωθούν. Θυμάται ότι ο Heisenberg έθετε την ερώτηση, «ποια είναι η διαφορά μεταξύ ενός ζωγράφου αφηρημένης τέχνης και ενός θεωρητικού φυσικού;» και απαντούσε ότι, ένας ζωγράφος αφηρημένης τέχνης θα ήθελε όσο το δυνατόν να είναι πρωτότυπος, ενώ ένας θεωρητικός φυσικός να είναι κατά το δυνατόν λιγότερο πρωτότυπος (Prigogine 2003, 40).

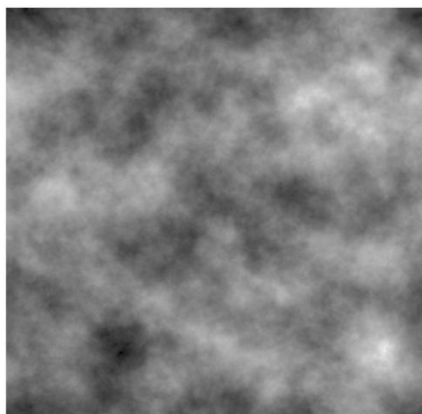
10 Πολυπλοκότητα και ηχοποίηση

Η πολυπλοκότητα της νανοδομημένης επιφάνειας και η λήψη της εικόνας με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, ή η παραγωγή συνθετικής εικόνας μέσω αλγορίθμου, αποτελεί την πηγή έμπνευσης για την μετατροπή εικόνας, σε ηχητικό αποτέλεσμα. Το ηχητικό - μουσικό αποτέλεσμα αποτελεί «χαρακτηριστικό έργο», που φυσικά σχετίζεται με τη μορφή της επιφάνειας, αφού εμπνέεται από την επιφανειακή τοπογραφία της και είναι κάθε φορά «μοναδικό», αφού ο καλλιτέχνης επιλέγει τον τρόπο επιλογής των μοτίβων, την αντιστοίχιση στις νότες και επιπλέον τη μουσική σύνθεση, ως προς τον τρόπο που θα προκύψει. Η πολυπλοκότητα ποσοτικοποιεί - χαρακτηρίζει την πληροφορία που ενέχει μια επιφανειακή μορφολογία. Προσαρμόζουμε λοιπόν τον τρόπο που ηχοποιούμε τις εικόνες, με βάση την πολυπλοκότητα της εικόνας, δηλαδή, το πληροφοριακό της περιεχόμενο, την λειτουργικότητά της και την ενσωμάτωση με το περιβάλλον. Έτσι, το ηχητικό αποτέλεσμα λειτουργεί ως διάδραση με την επιφάνεια. Μπορούμε να προσεγγίσουμε μια νανοδομημένη επιφάνεια σαν ένα πολύπλοκο σύστημα, που η πληροφορία που εμπεριέχεται σε αυτή, χαρακτηρίζει την πολυπλοκότητά του. Η πολυπλοκότητα μιας εικόνας σε μία προσέγγισή της, σχετίζεται με την μεγάλη ποικιλία τοπικών μοτίβων που συνυπάρχουν σε αυτή. Μεταφορικά μιλώντας, αυτό σημαίνει ότι αν κάποιος ταξιδεύει πάνω στην εικόνα, θα βλέπει όλο διαφορετικά "τοπία" γύρω του και άρα θα αποκομίζει περισσότερη πληροφορία. Αντίθετα, αν μία εικόνα έχει περιοδική δομή ή είναι καθαρός θόρυβος, τότε αυτή η ποικιλία χάνεται και το τοπίο γίνεται πιο μονότονο. Με την ηχοποίηση αυτών, ερευνάται κατά πόσο με τον αλγόριθμο που χρησιμοποιήθηκε μπορεί να αποτυπωθεί ηχητικά αυτή η διαφορά. Οι συνθετικές εικόνες είναι εικόνες που φτιάχνουμε στον υπολογιστή, με ελεγχόμενο βαθμό πολυπλοκότητας και τυχαιότητας. Επιχειρείται επίσης, η συσχέτισή τους με το ηχητικό αποτέλεσμα.

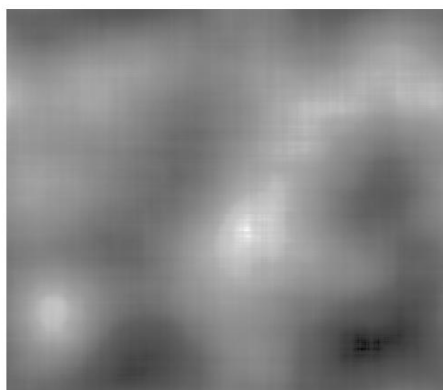
11 Συνθετικές εικόνες με μεταβλητή πολυπλοκότητα



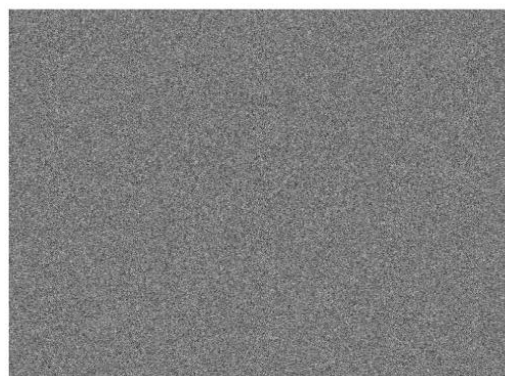
corlength20



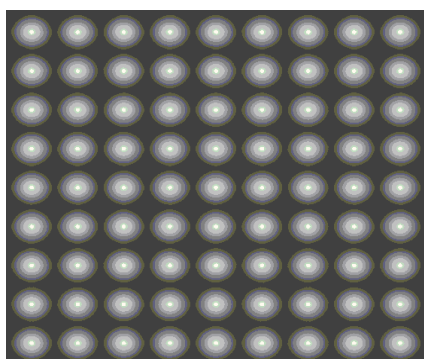
corlength50



corlength 100



noise



periodical

Ερευνητικό μέρος - Ηχοποίηση με MATLAB

Από τη μαθηματική μοντελοποίηση των εικόνων του νανόκοσμου, στη μουσική μοντελοποίηση.

1 MATLAB

Το MATLAB είναι ένα ανοιχτού κώδικα υπολογιστικό περιβάλλον, για υλοποίηση επιστημονικών και ερευνητικών εφαρμογών. Το όνομά του προέρχεται από τα αρχικά γράμματα των λέξεων MATrixLABoratory (εργαστήριο πινάκων). Το MATLAB είναι ένα διαδραστικό (interactive) πρόγραμμα για αριθμητικούς υπολογισμούς και οπτικοποίηση δεδομένων (datavisualization) με δυνατότητες προγραμματισμού, ένα σημαντικό εργαλείο στις μαθηματικές και φυσικές επιστήμες (Γεωργίου και Ξενοφώντος 2007, 2).

Αρχικά, σχεδιάστηκε για μαθηματικό προγραμματισμό και χρησιμοποιείται σήμερα ευρύτατα, στην επιστημονική κοινότητα. Ωστόσο, το MATLAB προσφέρει πάρα πολλές δυνατότητες στον προγραμματιστή, ώστε να μπορεί να θεωρηθεί πλέον ένα πολύ ισχυρό εργαλείο γενικού προγραμματισμού. Μερικά από τα κυριότερα χαρακτηριστικά του είναι :

Προγραμματισμός σε γλώσσα scripting που μοιάζει πολύ με τη γλώσσα C. Τα αρχεία script έχουν κατάληξη .m. Εκτέλεση εντολών σε commandline από interpreter για γρήγορη δοκιμή ενός προγράμματος, μιας εφαρμογής, ή μιας ιδέας. Δυνατότητα εκτέλεσης ενός script από το commandline γράφοντας απλώς το όνομα του αρχείου script με ή χωρίς την κατάληξη .m. Δυνατότητα δημιουργίας αρχείων exe με χρήση compiler. Εύκολη διαχείριση πινάκων (matrices) και διανυσμάτων (vectors). Ολοκληρωμένο περιβάλλον editor/debugger (medit.exe). Καλείται από το κεντρικό παράθυρο του MATLAB όταν ζητήσουμε να ανοίξουμε ή να δημιουργήσουμε ένα νέο αρχείο, μπορεί όμως να εκτελεστεί και ως ανεξάρτητο πρόγραμμα. Εξαιρετικές δυνατότητες δημιουργίας γραφικών παραστάσεων εύκολα και γρήγορα. Γραφικές παραστάσεις 2 και 3 διαστάσεων. Προχωρημένες δυνατότητες όπως 3-D φωτισμός, αλλαγή οπτικής γωνίας, δημιουργία εικονοσειρών κ.α. Γραφικός προγραμματισμός

και δυνατότητα σχεδιασμού παραθύρων, κουμπιών, γραφικών μενού, κ.λπ. Πλήρης γκάμα δυνατοτήτων για σχεδιασμό Graphical User Interfaces (GUI) και εξαιρετικό εργαλείο βοήθειας Help. Με τόσες δυνατότητες που προσφέρει το MATLAB είναι πολύ εύκολο να ξεχάσεις τα ακριβή ορίσματα μιας συνάρτησης, ή το όνομα της συνάρτησης που εκτελεί μια συγκεκριμένη εργασία. Το εργαλείο Help του MATLAB είναι πλήρες, λεπτομερές, εύχρηστο και εύκολο στην αναζήτηση της πληροφορίας που χρειάζεται ο χρήστης, ενώ περιέχει παραδείγματα και demos.

Το MATLAB περιέχει επίσης, μεγάλο πλήθος έτοιμων βιβλιοθηκών. Οι standard βιβλιοθήκες προσφέρουν έτοιμες συναρτήσεις για επεξεργασία αριθμών, διανυσμάτων, πινάκων, για δημιουργία plots, κ.λπ. Υπάρχει επίσης, μεγάλη σειρά ειδικών βιβλιοθηκών που λέγονται εργαλειοθήκες (toolboxes) και ειδικεύονται σε μια επιστημονική περιοχή. Μερικά από τα πιο σημαντικά toolboxes είναι: Signal processing toolbox, Image processing toolbox, Neural networks toolbox, Fuzzy Logic toolbox, Statistics toolbox, Optimization toolbox, Communications toolbox, Virtual Reality toolbox, Database toolbox, Control toolbox, Symbolic math toolbox, Financial toolbox, Mapping toolbox, Wavelet toolbox. Το MATLAB είναι εξοπλισμένο με μια γλώσσα προγραμματισμού που μοιάζει πολύ με τη γλώσσα C (Διαμαντάρας και Γουλιάνας 2013, 4,5).

Η βασική δομή της πληροφορίας στο MATLAB είναι ο πίνακας, ένα διατεταγμένο σύνολο πραγματικών αριθμών που έχει διαστάσεις $M \times N$. Μια ασπρόμαυρη εικόνα είναι ένας πίνακας δεδομένων του οποίου οι τιμές αναπαριστούν την ένταση του φωτός. Το MATLAB αποθηκεύει την εικόνα σε ένα απλό πίνακα, του οποίου κάθε στοιχείο αναφέρεται σε ένα και μοναδικό pixel.

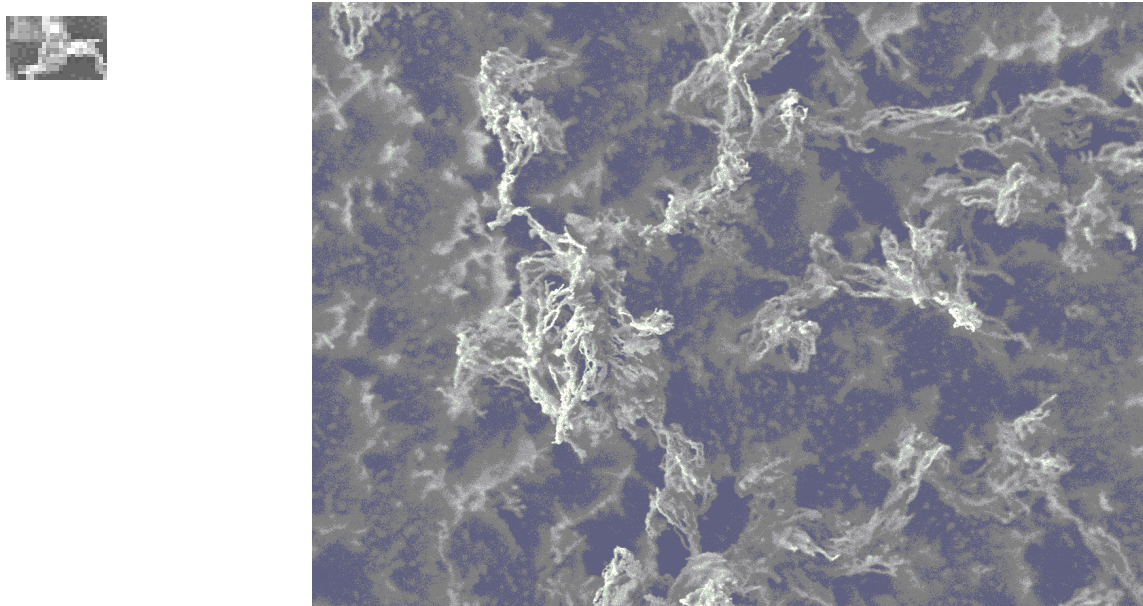
Το MATLAB αποθηκεύει τις περισσότερες εικόνες σαν δισδιάστατους πίνακες. Τα στοιχεία του πίνακα αναπαριστούν διάφορες εντάσεις του φωτός (επίπεδα του γκρι), όπου η ένταση 0 αναπαριστά το μαύρο και η ένταση 1, 255 ή 65535 αναπαριστά το λευκό. Υπάρχει η δυνατότητα να επεξεργαστούμε ορισμένους τύπους αρχείων εικόνας, όπως την BMP (Microsoft Windows Bitmap) που χρησιμοποιείται και στην παρούσα

εργασία. Μια πληθώρα πληροφοριών τόσο για αρχάριους όσο και προχωρημένους είναι διαθέσιμη στην επίσημη ιστοσελίδα της MATLAB: <http://www.mathworks.com> (Γεωργίου και Ξενοφώντος 2007,1).

2 Η μεθοδολογία για ηχοποίηση εικόνων μικροσκοπίας

Η μεγάλη ποικιλία εικόνων ηλεκτρονικού μικροσκοπίου συνετέλεσε σε μια από τις μεγαλύτερες ανακαλύψεις της τελευταίας 20ετίας, τη μεγάλη μορφολογική ποικιλομορφία του νανόκοσμου. Η υλοποίηση του αλγόριθμου έγινε με το MATLAB και την συνάρτηση «normxcorr2», (MathWorks.n.d.).

Αρχικά επιλέχθηκε μια εικόνα ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης από πολυμερές που έχει εγχαραχθεί σε αντιδραστήρα πλάσματος με αέριο O_2 .



Εικόνα 13 : Εικόνα Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης
(Κ. Έλληνας – Δ. Νιώρας, INN ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος) και αντίστοιχο pattern.

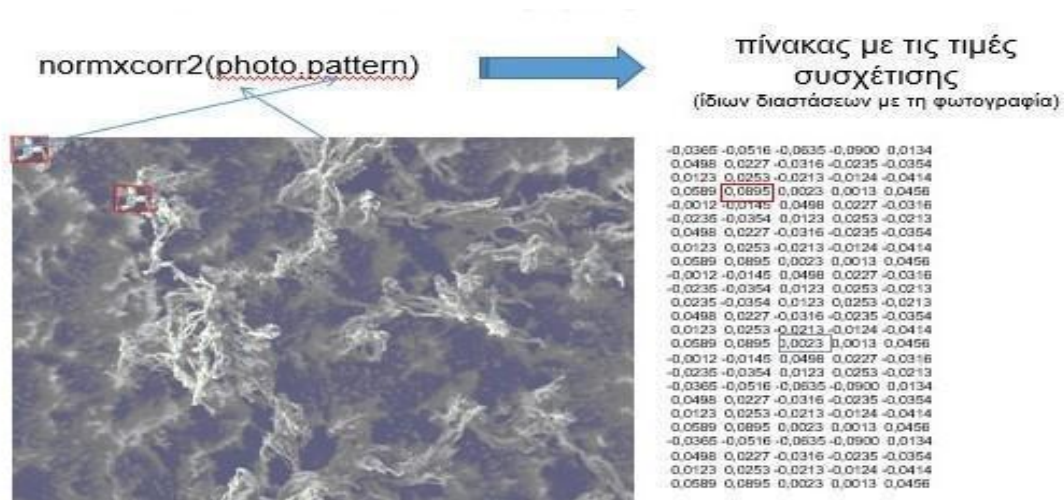
Για την ηχοποίηση της εικόνας του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης, επιλέγουμε ένα πολύ μικρό μοτίβο (pattern) από τη συγκεκριμένη εικόνα, Αυτό που μας ενδιαφέρει, είναι ο βαθμός συσχέτισης με την υπόλοιπη εικόνα.

Η συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε η «normxcorr2», παράγει έναν πίνακα με τις τιμές από την εφαρμογή της crosscorrelation στις δύο φωτογραφίες, (αρχική και μοτίβο) συγκρίνοντας κάθε φορά, το προς αναζήτηση μοτίβο σαρώνοντας την αρχική φωτογραφία.

```
-0.0365 -0.0516 -0.0635 -0.0900 0.0134
0.0498 0.0227 -0.0316 -0.0235 -0.0354
0.0123 0.0253 -0.0213 -0.0124 -0.0414
0.0589 0.0895 0.0023 0.0013 0.0456
-0.0012 -0.0145 0.0498 0.0227 -0.0316
-0.0235 -0.0354 0.0123 0.0253 -0.0213
0.0498 0.0227 -0.0316 -0.0235 -0.0354
0.0123 0.0253 -0.0213 -0.0124 -0.0414
0.0589 0.0895 0.0023 0.0013 0.0456
-0.0012 -0.0145 0.0498 0.0227 -0.0316
-0.0235 -0.0354 0.0123 0.0253 -0.0213
0.0235 -0.0354 0.0123 0.0253 -0.0213
0.0498 0.0227 -0.0316 -0.0235 -0.0354
0.0123 0.0253 -0.0213 -0.0124 -0.0414
0.0589 0.0895 0.0023 0.0013 0.0456
-0.0012 -0.0145 0.0498 0.0227 -0.0316
-0.0235 -0.0354 0.0123 0.0253 -0.0213
-0.0365 -0.0516 -0.0635 -0.0900 0.0134
0.0498 0.0227 -0.0316 -0.0235 -0.0354
0.0123 0.0253 -0.0213 -0.0124 -0.0414
0.0589 0.0895 0.0023 0.0013 0.0456
-0.0365 -0.0516 -0.0635 -0.0900 0.0134
0.0498 0.0227 -0.0316 -0.0235 -0.0354
0.0123 0.0253 -0.0213 -0.0124 -0.0414
0.0589 0.0895 0.0023 0.0013 0.0456
```

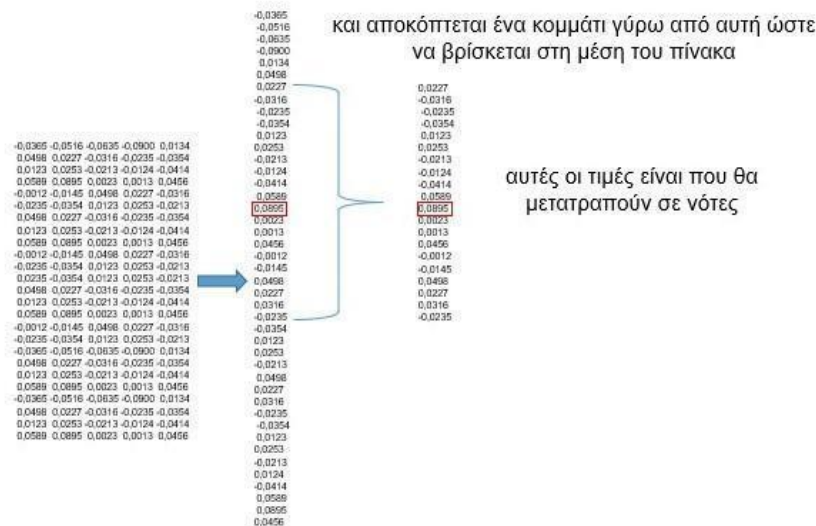
Εικόνα 14 : Εικόνα του πίνακα από την εφαρμογή της crosscorrelation.

Στη συνέχεια, εντοπίζεται η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή συσχέτισης. Η μέγιστη τιμή υποδεικνύει και σε ποια θέση στη φωτογραφία εντοπίστηκε το μοτίβο.



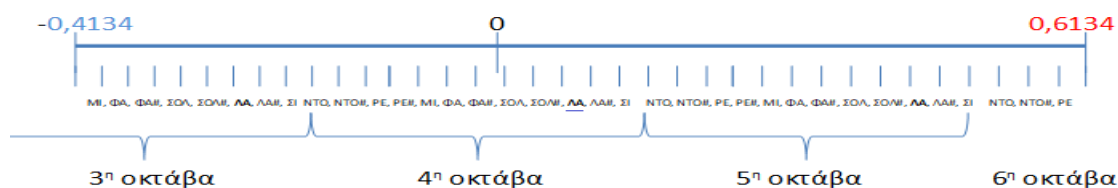
Εικόνα 15 : Εικόνα με τις τιμές συσχέτισης.

Έπειτα, ο πίνακας με τις τιμές συσχέτισης μετατρέπεται σε μονοδιάστατη στήλη, εντοπίζεται η θέση της μέγιστης τιμής και αποκόπτεται ένα κομμάτι γύρω από αυτή, ώστε να βρίσκεται στη μέση του πίνακα. Αυτές οι τιμές είναι που θα μετατραπούν σε νότες.



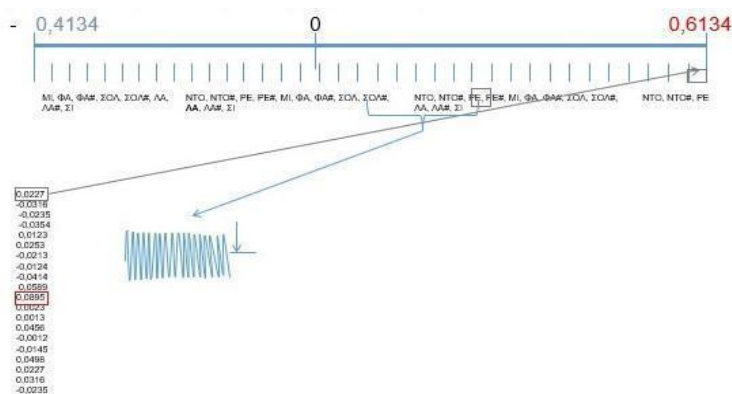
Εικόνα 16 : Εικόνα της διαδικασίας μετατροπής των τιμών σε νότες.

Γνωρίζοντας ήδη την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή που έχει προκύψει, χωρίζουμε το διάστημα μεταξύ τους ανάλογα με τις οκτάβες που θα χρησιμοποιήσουμε για την 'ηχοποίηση' της συσχέτισης. Επιλέγοντας τρεις οκτάβες, αντιστοιχούν σε αυτές 36 ημιτόνια, καθώς κάθε οκτάβα έχει 12 ημιτόνια (ΝΤΟ, ΝΤΟ#, ΡΕ, ΡΕ#, ΜΙ, ΦΑ, ΦΑ#, ΣΟΛ, ΣΟΛ#, ΛΑ, ΛΑ#, ΣΙ) Επίσης, φροντίζουμε στο μέσο των διαστημάτων να αντιστοιχηθεί η νότα ΛΑ (Α₄), η νότα δηλαδή με συχνότητα 440 Hz, που επιλέγεται συνήθως ως σημείο αναφοράς.



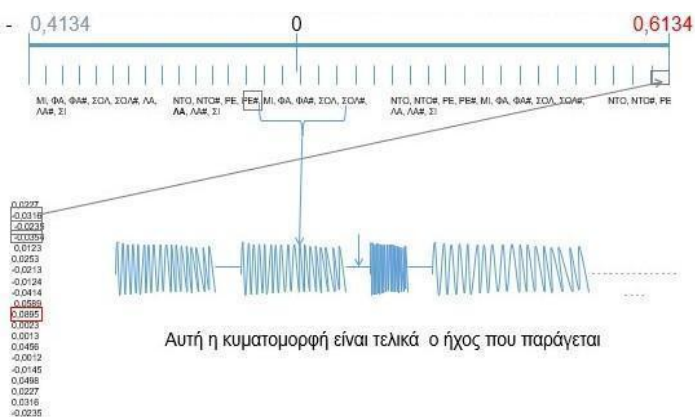
Εικόνα 17 : Εικόνα των 3 επιλεγμένων οκτάβων.

Στη συνέχεια, εντοπίζουμε κάθε τιμή σε ποιο διάστημα βρίσκεται και αφού υπολογιστεί πόσα ημιτόνια είναι πάνω ή κάτω από την νότα ΛΑ (που είναι η νότα αναφοράς), κατασκευάζουμε τις τιμές της ημιτονοειδούς καμπύλης της αντίστοιχης νότας και προσθέτουμε και ένα μικρό κενό, για να διαχωρίζονται οι νότες.



Εικόνα 18 : Εικόνα κατασκευής της ημιτονοειδούς καμπύλης.

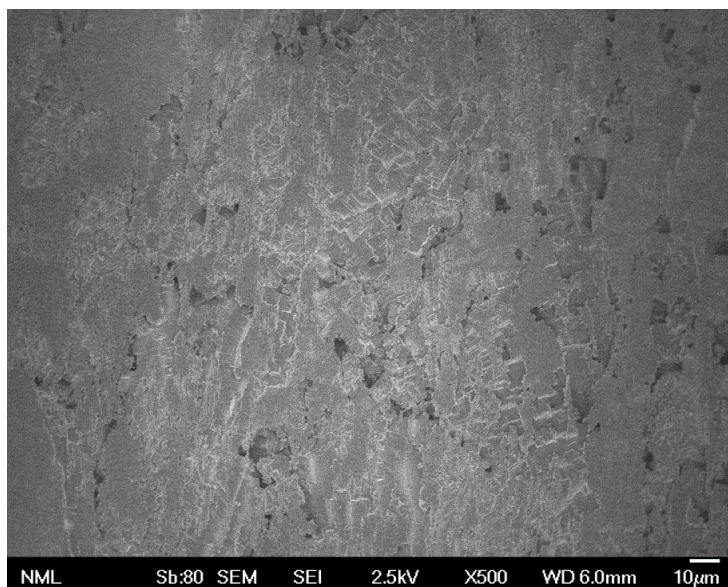
Συνεχίζουμε με την επόμενη τιμή. Κατασκευάζουμε έτσι μια νότα για κάθε τιμή συσχέτισης. Το ύψος της νότας υποδηλώνει μεγαλύτερες τιμές συσχέτισης. Όταν είμαστε κοντά στο μέγιστο, τότε η νότα διαρκεί και περισσότερο, για να είναι πιο διακριτή. Έτσι, σχηματίζεται η τελική κυματομορφή, που είναι και ο ήχος που παράγεται.



Εικόνα 19 : Εικόνα κατασκευής της τελικής κυματομορφής.

3 Εικόνες που ηχοποιήθηκαν με την παραπάνω μεθοδολογία με τους αντίστοιχους ήχους

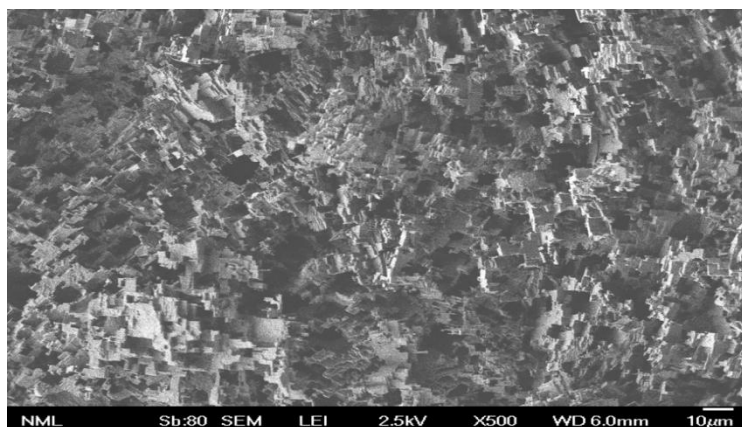
1. Εικόνα Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης από αλουμίνιο, που έχει εμβαπτιστεί και εγχαραχθεί από HCl για 6 λεπτά.



(Κ. Έλληνας – Π. Σαρκίρης, INN ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος)

[HCL6.mp3](#)

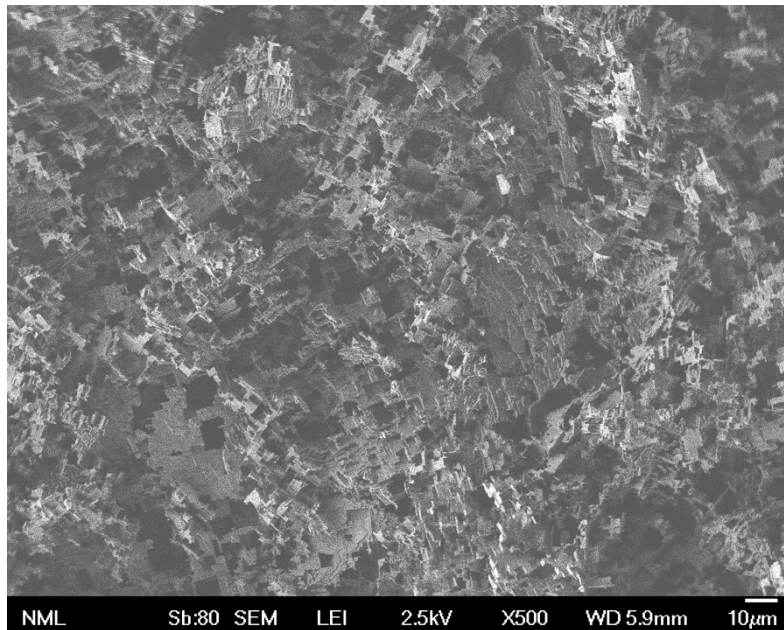
2. Εικόνα Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης από αλουμίνιο, που έχει εμβαπτιστεί και εγχαραχθεί από HCl για 8 λεπτά.



(Κ. Έλληνας – Π. Σαρκίρης, INN ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος)

[Hcl8.mp3](#)

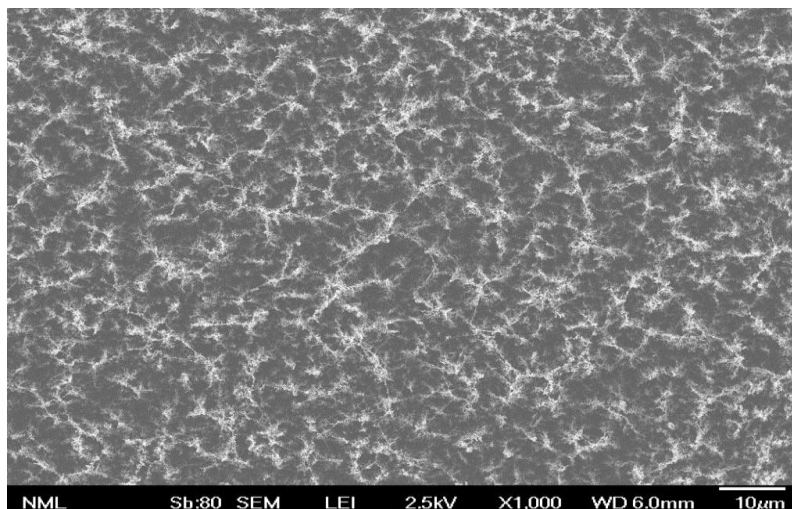
3. Εικόνα Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης από αλουμίνιο που έχει εμβαπτιστεί και εγχαραχθεί από HCl για 12 λεπτά.



(Κ. Έλληνας – Π. Σαρκίρης, INN ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος)

[HCL12.mp3](#)

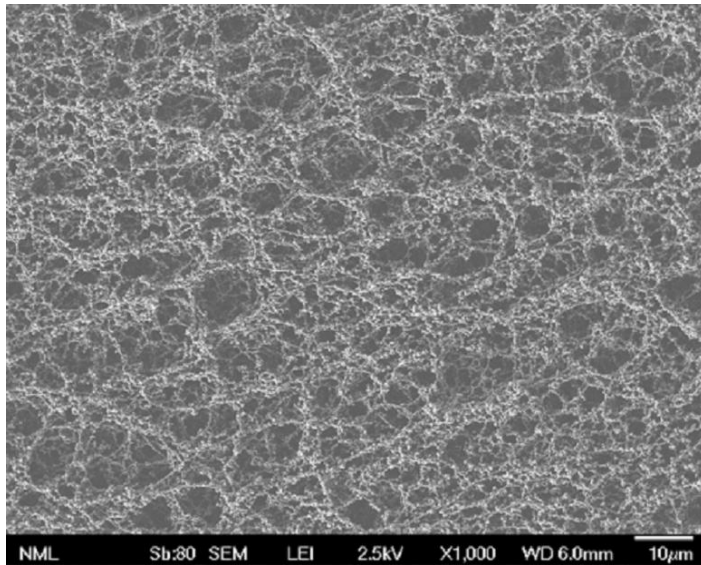
4. Εικόνα Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης από επιφάνεια οξικής κυτταρίνης (πορώδες πολυμερές), μετά από εγχάραξη σε αντιδραστήρα πλάσματος με αέριο O₂ για 2 λεπτά.



(Κ. Έλληνας – Δ. Ιωάννου, INN ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος)

[CA2.mp3](#)

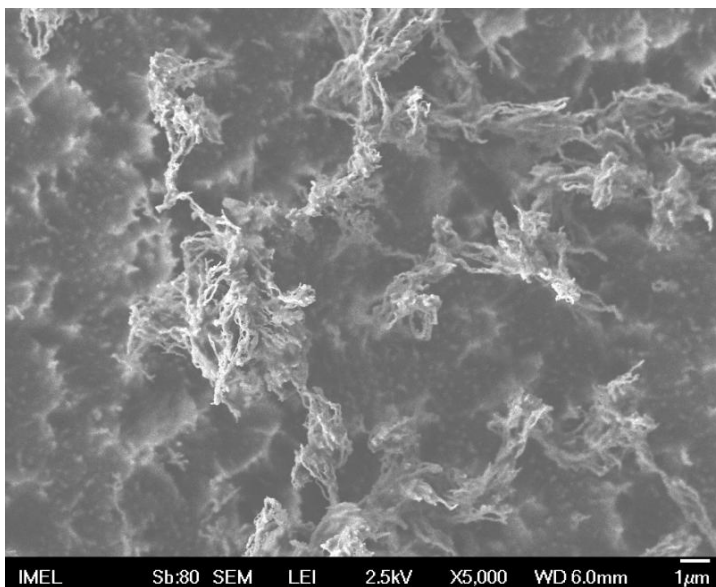
5. Εικόνα Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης από επιφάνεια οξικής κυτταρίνης (πορώδες πολυμερές).



(Κ. Έλληνας – Δ. Ιωάννου, INN ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος)

[CAun.mp3](#)

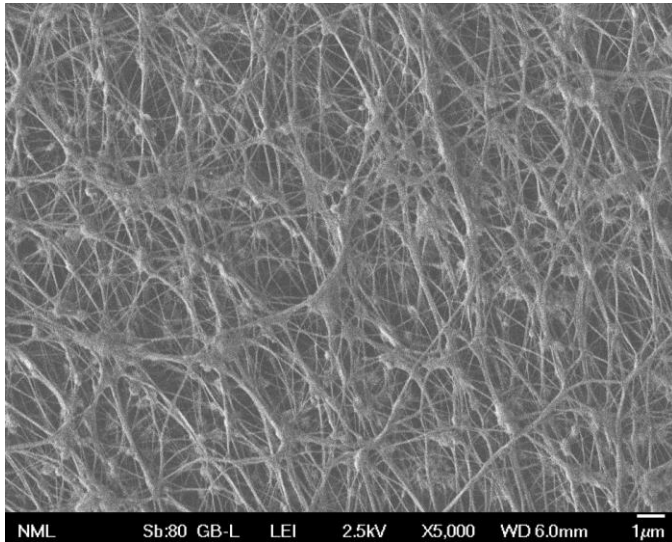
6. Εικόνα Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης από πολυμερές, που έχει εγχαραχθεί σε αντιδραστήρα πλάσματος με αέριο O_2 .



(Κ. Έλληνας – Δ. Νιώρας, INN ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος)

[SEM POLYMERES.mp3](#)

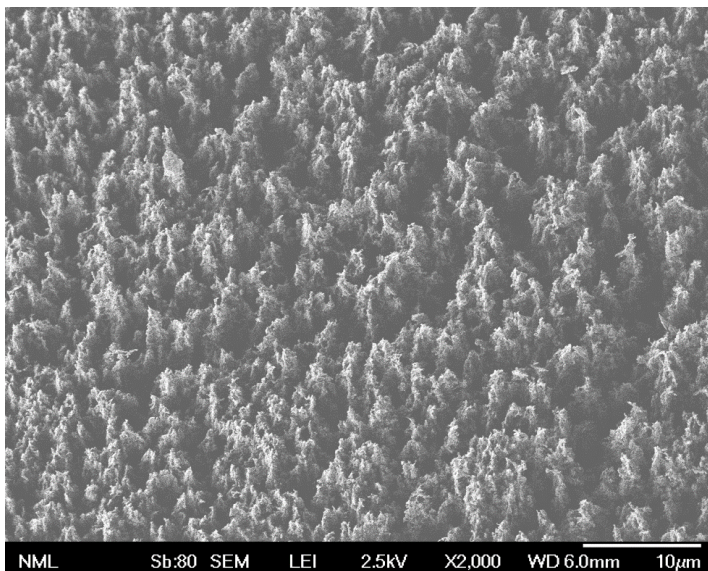
7. Εικόνα Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης από επιφάνεια πολυτετραφθοροαιθυλενίου (Teflon).



(Κ. Έλληνας – Δ. Ιωάννου, INN ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος)

[PTFE02.mp3](#)

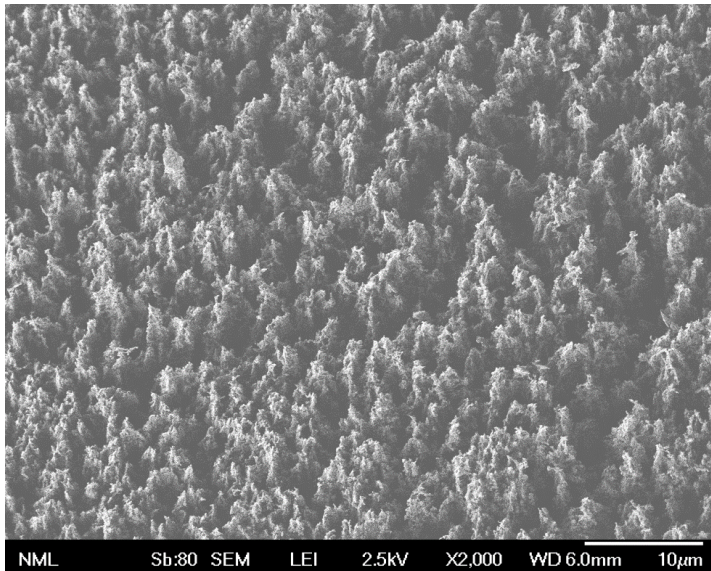
8. Εικόνα Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης από επιφάνεια πολύ – τετραφθοροαιθυλενίου (Teflon), μετά από εγχάραξη σε αντιδραστήρα πλάσματος με αέριο O_2 για 2 λεπτά.



(Κ. Έλληνας – Δ. Ιωάννου, INN ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος)

[PTFE01.mp3](#)

9. Η ίδια εικόνα με ηχοποίηση PAULSTRECH



(Κ.Έλληνας – Δ. Ιωάννου, INN ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος)

[PTFE02 PAULSTRETCH.mp3](#)

και η περιήγηση στην εικόνα

https://drive.google.com/file/d/1nNktQrKzBOa00xmYXCQn_xjd7jyRDYK1/view?usp=sharing

4 Αλγόριθμος ηχοποίησης

```
pat = (imread('jart0.bmp'));  
full = (imread('jart1.bmp'));  
imshowpair(full,pat,'montage')  
c = normxcorr2(pat,full);  
figure, surf(c), shading flat  
CorrMax = max(c(:));  
CorrMin = min(c(:));  
[ypeak, xpeak] = find(c==max(c(:)));  
CorrRange = CorrMax-CorrMin;  
octaves = 3;  
N_notes = octaves * 12; )  
CorrInterval = CorrRange/N_notes;
```

```

yoffSet = ypeak-size(pat,1);
xoffSet = xpeak-size(pat,2);
figure
imshow(full);
imrect(gca, [xoffSet+1, yoffSet+1, size(pat,2), size(pat,1)]);
c1 = reshape (c,size(c,2)*size(c,1),1);
[yp,xp]=find(c1==max(c1(:)));
range=50;
croppedMatrix = c1(yp-range:yp+range, 1:1);
notecreate = @(frq,dur) [sin(2*pi* [1:dur]/8192 * (440*2.^((frq-
1)/12))),zeros(1,100)];
dur = 0.3*8192;
songnote = [];
for q1=1:length(croppedMatrix)
foridx=0:1:N_notes
ifcroppedMatrix(q1)>(CorrMax-(idx)*CorrInterval)
dur = 1.0* 8192;
else
dur = 0.3*8192;
end
songnote = [songnote; [notecreate((N_notes/2+1-idx),dur) ]];
break;
end
end
end
sound(songnote,8192)
figure;imagesc(c);

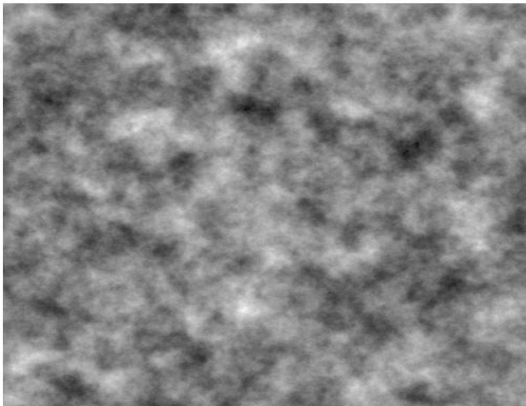
```

5 Ηχοποίηση συνθετικών εικόνων

Συνθετικές εικόνες, είναι οι εικόνες που όπως αναφέρθηκε παράγονται στον υπολογιστή, με ελεγχόμενο βαθμό πολυπλοκότητας και τυχαιότητας, μέσω αλγορίθμου. Ο τρόπος ηχοποίησης είναι αυτός που χρησιμοποιήθηκε και στις προηγούμενες εικόνες του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου.

Εικόνες με μεταβλητή πολυπλοκότητα με το αντίστοιχο ηχητικό αποτέλεσμα

1. corlength20



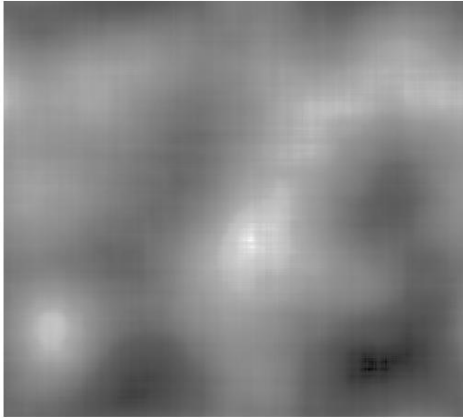
https://drive.google.com/file/d/1erZDV8JHrfWtJz_uwhTB9eXBktNaH5UH/view?usp=drive_link

2. corlength50



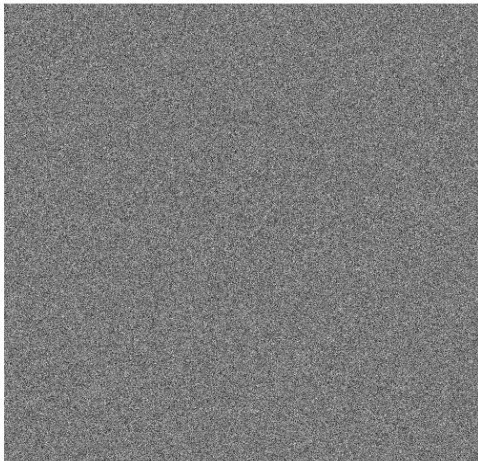
https://drive.google.com/file/d/1_0oke1qnxGt44KXqR8-TETNXDMok34y9/view?usp=drive_link

3. corlength100



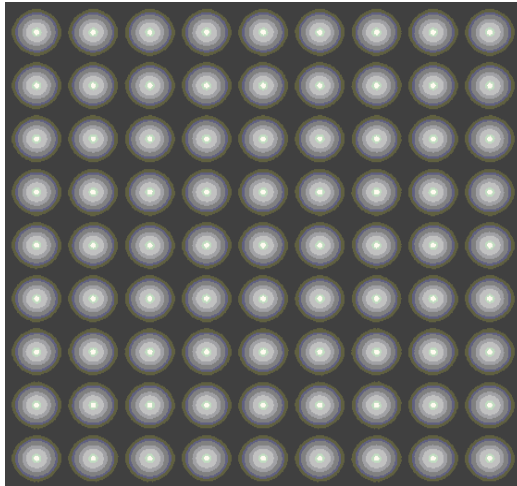
https://drive.google.com/file/d/1BoxWnlhHvFaueMUcvaYXTkh0X4xoNxiK/view?usp=drive_link
https://drive.google.com/file/d/1BoxWnlhHvFaueMUcvaYXTkh0X4xoNxiK/view?usp=drive_link

4. noise



https://drive.google.com/file/d/1P2YHu3Kgilmyuok2fRItBxXD4V783E-S/view?usp=drive_link

5. periodical



https://drive.google.com/file/d/1qWL4scn7BEsT-bHGqmb2LQ-uq_Euz4h9/view?usp=drive_link

6 Παρατηρήσεις από την ηχοποίηση των συνθετικών εικόνων

Για την ηχοποίηση μιας εικόνας όπως αναφέρθηκε, επιλέγεται ένα εύρος συχνοτήτων στο οποίο θα κινηθεί το ηχητικό αποτέλεσμα της ηχοποίησης. Οι τιμές του μονοδιάστατου πίνακα μετατρέπονται σε νότες, οι οποίες έχουν μια έκταση τριών (3) σχεδόν οκτάβων, με βαρύτερη - χαμηλότερη την E_3 και οξύτερη-ψηλότερη την D_6 . Σε κάθε «ηχοποιημένη εικόνα» οι νότες διαδέχονται η μια την άλλη, με τους παρακάτω τρόπους:

α) Με βηματική, ανιούσα ή κατιούσα κίνηση, (δηλαδή τόνους ή ημιτόνια προς τα πάνω ή προς τα κάτω). Η κίνηση αυτή υποδηλώνει, ότι το ποσοστό ομοιότητας, του εκάστοτε τμήματος της εικόνας με το "pattern" που τη διατρέχει σε κάθε βήμα, έχει μικρή μεταβολή.

β) Με κίνηση «σημειωτών», (δηλαδή, επανάληψη μιας νότας μια ή περισσότερες φορές). Κατά τη διάρκεια της κίνησης αυτής, το ποσοστό ομοιότητας παραμένει σταθερό.

Υ) Με άλματα, (δηλαδή διαστήματα μεγαλύτερα του τόνου), μικρά ή μεγάλα ανιόντα ή κατιόντα. Τα άλματα δείχνουν μια απότομη μεταβολή του ποσοστού ομοιότητας. Όσο μεγαλύτερα είναι, τόσο μεγαλύτερη είναι η μεταβολή αυτή.

Επίσης, όταν οι νότες κινούνται στην ψηλή περιοχή της επιλεγμένης μουσικής έκτασης (διάστημα 3 οκτάβων από E3 - D6), τα ποσοστά ομοιότητας είναι μεγάλα. Για κάθε νότα εκτός της D6, χρησιμοποιούμε την χρονική αξία του ενός τετάρτου (♩) και για τη κεντρική νότα D6, την αξία του παρεστιγμένου μισού, το οποίο ισούται με 3 τέταρτα, δεδομένου ότι έχει τριπλάσια διάρκεια από τις υπόλοιπες.

Στο παράρτημα αναφέρονται παρατηρήσεις για κάθε μια από τις 5 συνθετικές εικόνες. Επίσης, παρουσιάζονται και οι παρτιτούρες που αντιστοιχούν σε κάθε εικόνα.

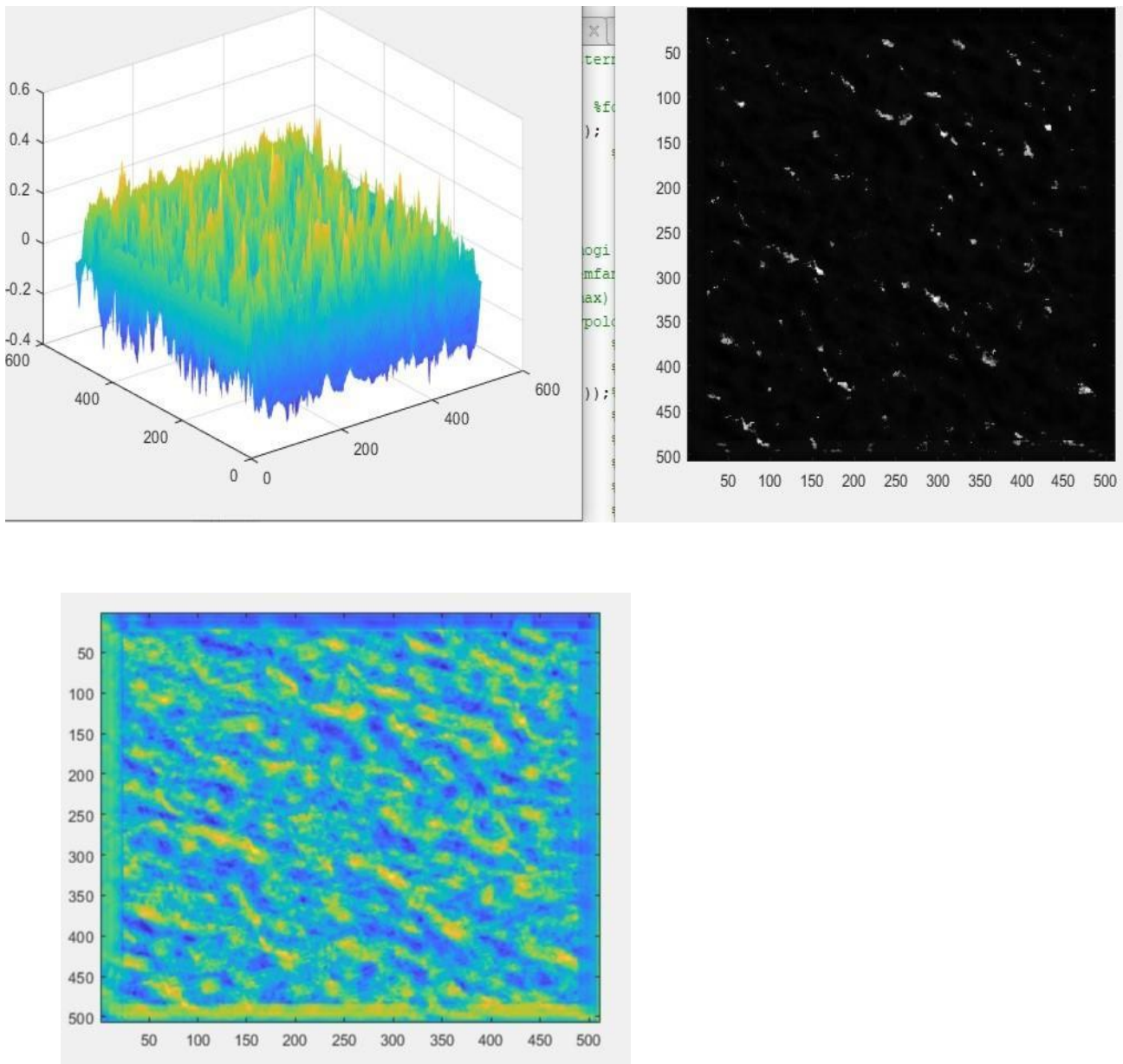
Για τις εικόνες που αντιστοιχούν στο `motivo` και στο `corlength50`, παρουσιάζονται παρτιτούρες με σύνθεση που οδηγούν σε διαφορετικό μουσικό αποτέλεσμα, χωρίς όμως να χάνεται η αρχική πληροφορία από την ηχοποίηση.

Στη Δυτική μουσική οι νότες ονομάζονται και με τα πρώτα 7 γράμματα του λατινικού αλφαβήτου, με την αντιστοιχία : A=la, B=si, C=do, D=re, E=mi, F=fa, G=sol/. Ο δείκτης δίπλα σε κάθε νότα προσδιορίζει την οκτάβα που βρίσκεται η συγκεκριμένη νότα.

Οπτικοποίηση σε 3D του βαθμού συσχέτισης

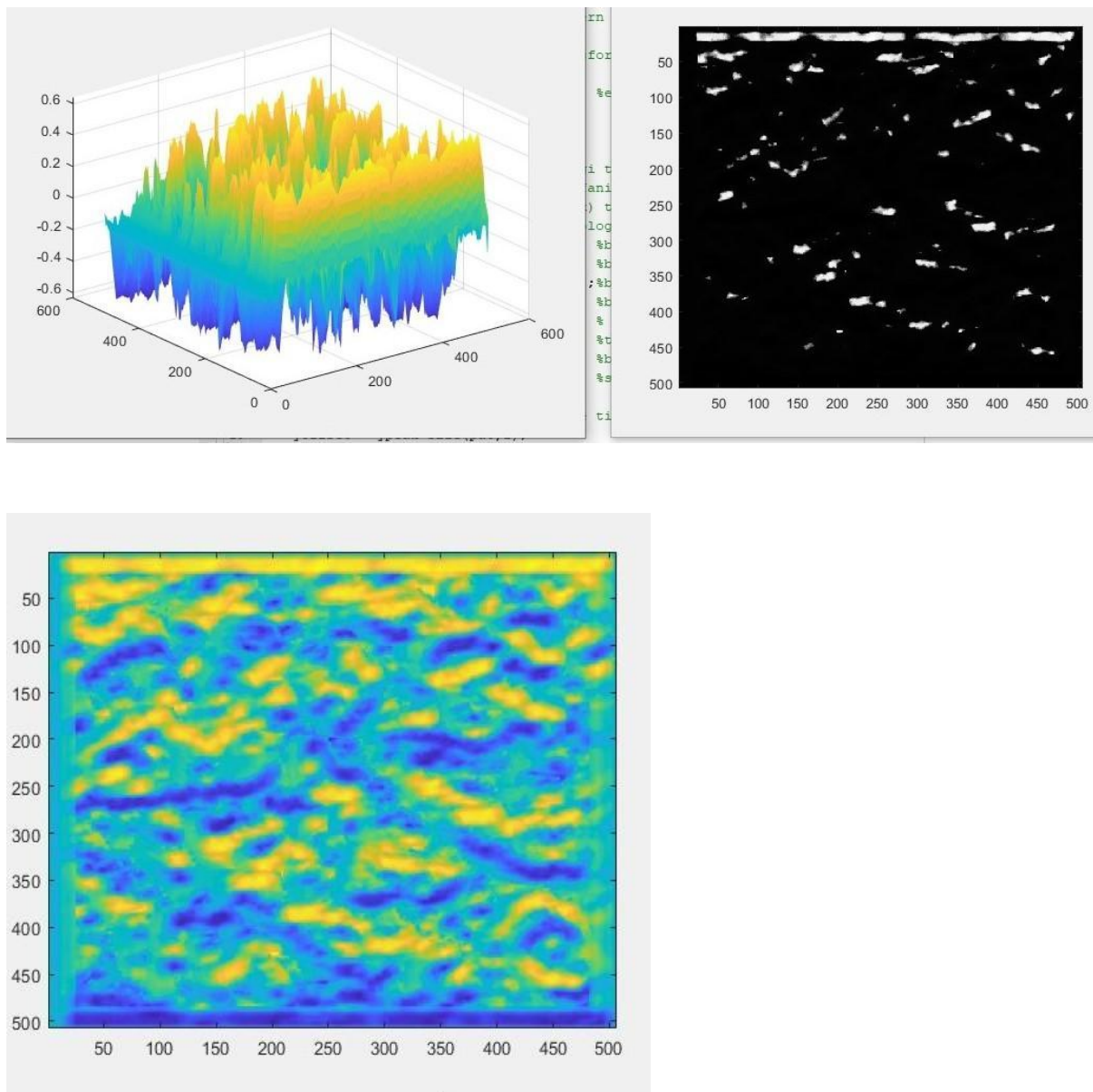
Επιπλέον, θα μπορούσαμε παράλληλα με τον ήχο που παίρνουμε κατά την ηχοποίηση από τις εικόνες μεταβλητής πολυπλοκότητας, να παρατηρήσουμε και την εικόνα που αντιστοιχεί στην διαφορετική ποικιλία τοπικών μοτίβων αυτών.

A. corlength20



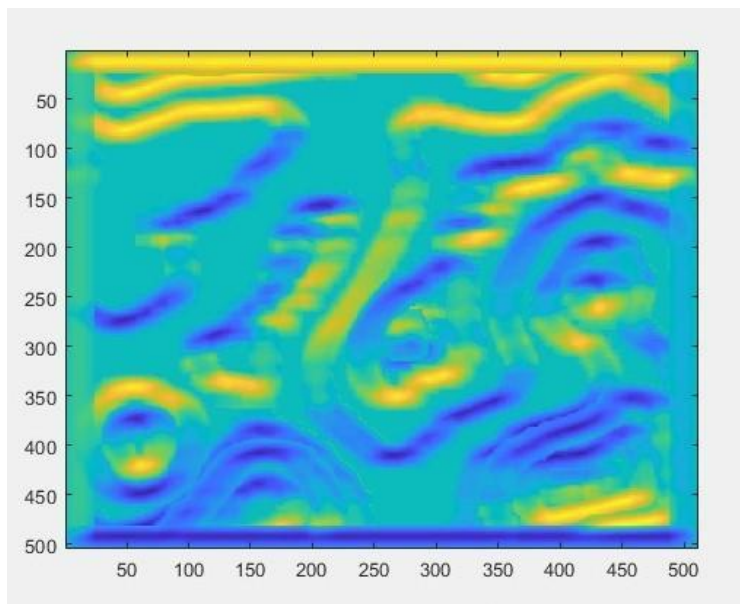
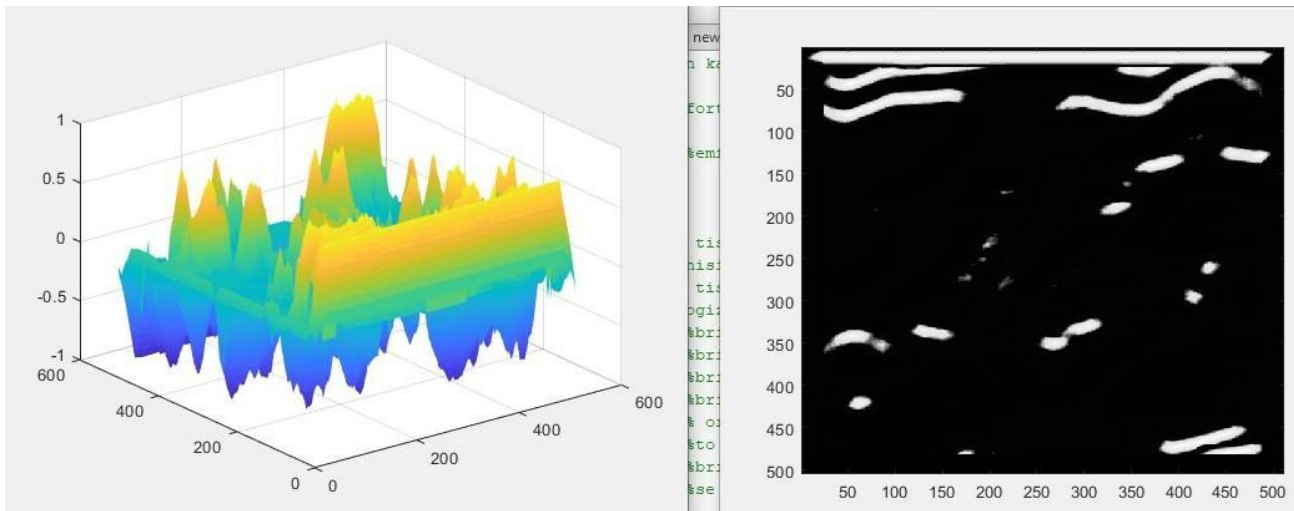
Εικόνα 20 : Εικόνα οπτικοποίησης σε 3D του βαθμού συσχέτισης του corlength20.

B. corlength50



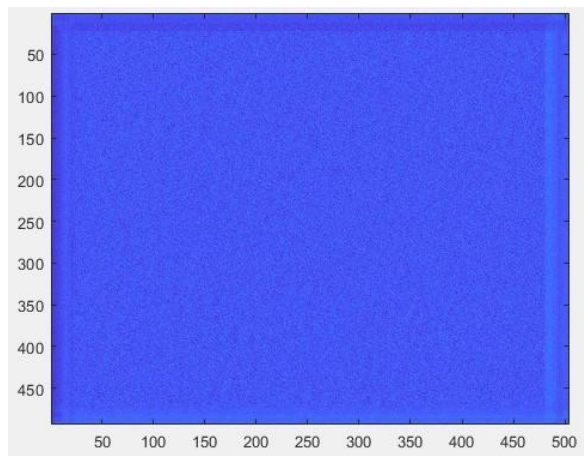
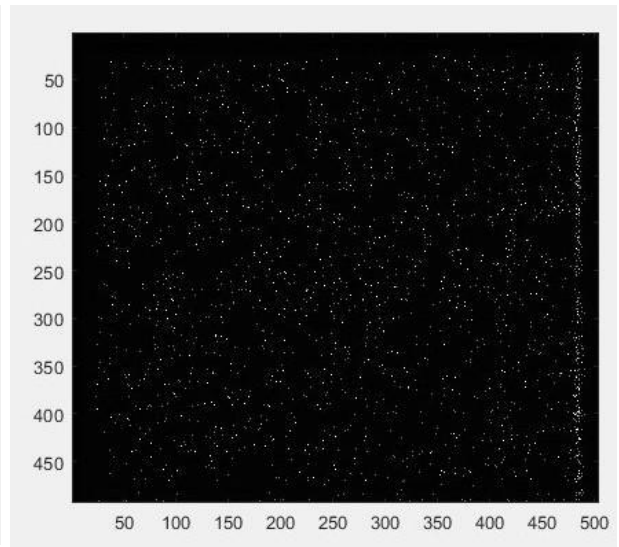
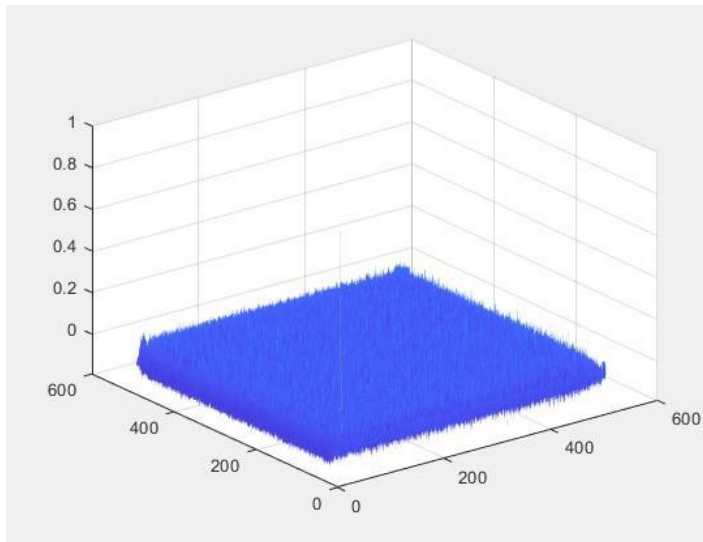
Εικόνα 21 : Εικόνα οπτικοποίησης σε 3D του βαθμού συσχέτισης του `corlength50`.

Γ. corlength100



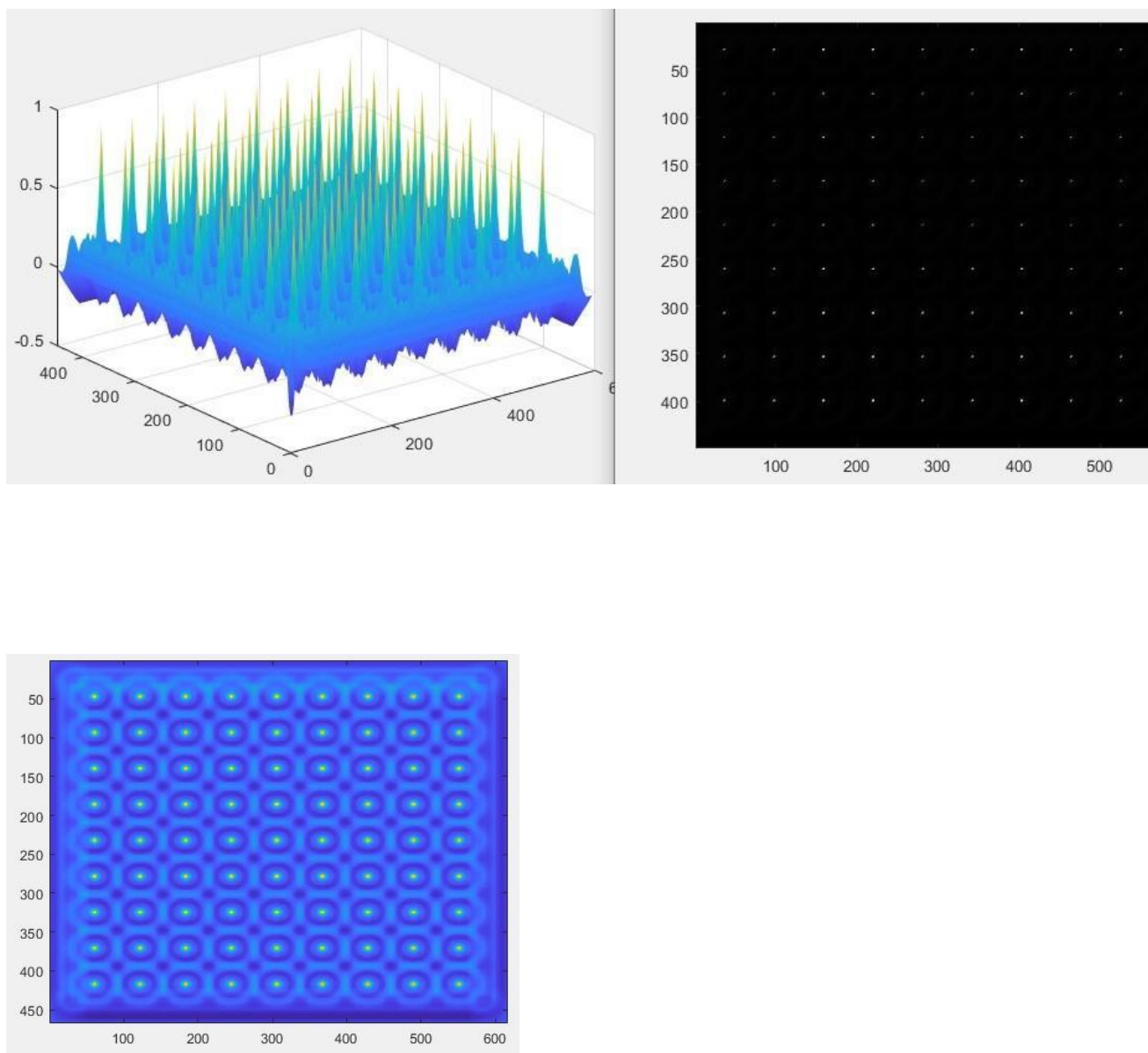
Εικόνα 22 : Εικόνα οπτικοποίησης σε 3D του βαθμού συσχέτισης του corlength100

Δ. noise



Εικόνα 23 : Εικόνα οπτικοποίησης σε 3D του βαθμού συσχέτισης του noise

E. periodical



Εικόνα 24 : Εικόνα οπτικοποίησης σε 3D του βαθμού συσχέτισης του periodical.

Βιβλιογραφία

Cirilli, Manuela. 2011. "Listening to the sound of science." Symmetry dimensions of particle physics, January 6, 2010.

https://www.symmetrymagazine.org/breaking/2010/06/01/listening-to-the-sound-of-science?language_content_entity=und

ESA. 2023. "Life of Aeolus in music." Accessed June 1, 2024.

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2023/07/Life_of_Aeolus_in_music

ESA. 2023. "The sound of Aeolus will blow you away." Accessed June 1, 2024.

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/FutureEO/Aeolus/The_sound_of_Aeolus_will_blow_you_away

Fortescue, Donald. 2018. "Axis Mundi." Video, 04:58.

<http://www.donaldfortescue.com/axis-mundi/>

Fortescue, Donald, and Gwenhael de Wasseige. 2019. "Synergy between Art and Science: Collaboration at the South Pole." Presented at 36th International Cosmic Ray Conference, Madison, WI, U.S.A. July 24th - August 1st, 2019.

<https://arxiv.org/abs/1908.08812>

Google. 2024. "LHCsound." Sonification of the ATLAS detector data. Last modified April 24, 2024.

<https://lhcsound.wordpress.com/> και <https://soundcloud.com/uclsound/sets/the-large-hadron-collider>

Hermann, Thomas. 2008. "Taxonomy and definitions for sonification and auditory display." In Proceedings of the 14th International Conference on Auditory Display, Paris, France, June 24 - 27, 2008. Published by IRCAM (Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique), Paris, France.

<http://icad08.ircam.fr/static/>

Hesla, Leah. 2020. "Giving voice to neutrinos: Fermilab guest composer David Ibbett releases neutrino-inspired video and commentary." Fermilab, April 23, 2023.

<https://news.fnal.gov/2020/04/giving-voice-to-neutrinos-fermilab-guestcomposer-david-ibbett-releases-neutrino-inspired-video-and-commentary/>

Hesla, Leah. 2020. "Giving voice to neutrinos." Symmetry dimensions of particle physics, May 7, 2023.

<https://www.symmetrismagazine.org/article/giving-voice-to-neutrinos-fermilab-guest-composer-david-ibbett>

INN. n.d. "Electron Microscopy and Nanomaterials." Accessed May 10, 2024.

<https://inn.demokritos.gr/facilities/scanning-electron-microscope-sem/>

MathWorks. n.d. "normxcorr2." Accessed April 10, 2024.

<https://www.mathworks.com/help/images/ref/normxcorr2.html>

Mitchell, Melanie. 2009. Complexity: A Guided Tour. New York: Oxford University Press.

Morgan, Kelly. 2015. "Ants build 'living' bridges with their bodies, speak volumes about group intelligence." Princeton University Office of Communications, November 30, 2015.

<https://www.princeton.edu/news/2015/11/30/ants-build-living-bridges-their-bodies-speak-volumes-about-group-intelligence>

NASA. 2005. "Physicists Hear High-Tech Whistle While They Work." Accessed June 1, 2024.

<https://www.jpl.nasa.gov/news/physicists-hear-high-tech-whistle-while-they-work>

NASA. 2022. "NASA Webb's First Full-Color Images, Data Are Set to Sound."

Accessed June 26, 2024.

<https://www.nasa.gov/universe/nasa-webbs-first-full-color-images-data-are-set-to-sound/>

NASA. n.d. "Sonifications." Accessed June 25, 2024.

<https://science.nasa.gov/mission/hubble/multimedia/sonifications/>

"Playing by ear in the laboratory." 2011. Symmetry dimensions of particle physics, January 4, 2011.

https://www.symmetrymagazine.org/breaking/2011/01/04/playing-by-ear-in-the-laboratory?language_content_entity=und

soundcloud. 2014. "A Singing Comet." Accessed June 1, 2024.

<https://soundcloud.com/esa/a-singing-comet>

Ul-Hamid, Anwar. 2018. A Beginners' Guide to Scanning Electron Microscopy. Berlin, Germany: Springer.

Briggs, John, and F. David Peat. 1991. Ο παραγμένος καθρέφτης. Μεταφράστηκε από Νίκο Κωνσταντόπουλο. Αθήνα: Κάτοπτρο.

Γεωργίου, Γ., και Χ. Ξενοφώντος. 2007. Εισαγωγή στη MATLAB. Λευκωσία: Kantzilaris

Διαμαντάρας, Κ., και Κ. Γουλιάνας. 2013. Σύντομο Εγχειρίδιο Matlab. Θεσσαλονίκη: Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης.

Μιχαηλίδης, Τεύκρος, και Τάσος Μπουντής. 2017. Μιλώντας στην Αθηνά για το Χάος και την Πολυπλοκότητα. Αθήνα: Πατάκης.

Prigogine, Ilya. 2003. Οι νόμοι του χάους. Μεταφράστηκε από Πασχάλη Χριστοδούλου. Αθήνα: Π. Τραυλός.

Σπύρτου, Άννα, Μάνου, Λεωνίδας, Πέικος, Γιώργος και Πηνελόπη Παπαδοπούλου. 2018. Διερευνώντας τα μυστικά του νανόκοσμου. Αθήνα: Gutenberg.

Young, Hugh D. 1994. Πανεπιστημιακή Φυσική. Μεταφράστηκε από Αναστασάκη Ε., Βλασσόπουλο Σ. Δ. Π., Δρή Ε., Ζουμπούλη Η. Σ., Κατσούφη Η. Κ., Κουρούκλη Γ., Μάνεση Ε., Παρασκευαΐδη Κ. Ε., Πιζάνια Μ. και Χριστοδουλίδη Ε. Μ. Αθήνα: Εκδόσεις Παπαζήση.

Φασσέας, Κωνσταντίνος. n.d. Τα Ηλεκτρονικά Μικροσκόπια.
<http://www.aua.gr/fasseas/electron%20microscopes.htm>

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ αρχικά τον εισηγητή του θέματος και συνεπιβλέποντα της παρούσας εργασίας κ. Βασίλη Κωνσταντούδη, για την συνεργασία και την ενθάρρυνση καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας, τον επόπτη καθηγητή της παρούσας εργασίας κ. Κωνσταντίνο Τηλιγάδη για τις συμβουλές του και την υποστήριξή του καθώς και τον συνεπιβλέποντα κ.Μιχάλη Παναγόπουλο για τη συμμετοχή του στην ομάδα της τριμελούς επιτροπής.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Άννα που με βοήθησε και με στήριξε με κάθε τρόπο σε όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού.

Επίσης, ευχαριστώ τους φίλους Μίμη, Δημήτρη, Γιούλα, Μαρία, Γιάννη, Κορίνα, Νένα, τον σύντροφό μου Γιάννη και την αδελφή μου Ελένη για τη βοήθειά και τη στήριξή τους.

Παράρτημα

A. Αλγόριθμος ηχοποίησης με σχόλια

```
% pat einai to pros anazitisi pattern kai full ipliriseikona

pat = (imread('noisep0.bmp')); %fortosi toy pros anazitisi pattern
full = (imread('noise.bmp')); %fortosi tis pliriseikonas
imshowpair(full,pat,'montage') %emfanisitwneikonwn

c = normxcorr2(pat,full); % efarmogi tis cross-correlation, stonpinaka c
apothikeyontai oi times apo tin sisxetisi
figure, surf(c), shading flat % emfanisi tw n apotelesmaton se grafima
    % briskoyme tin korifi (max) tis cross-correlation ,tinelaxistitimi
    % tin diafora toys, kai ypologizoume to bima
CorrMax = max(c(:)); %briskoume ti megisti timi
CorrMin = min(c(:)); %briskoume tin elaxisti timi
[ypeak, xpeak] = find(c==max(c(:))); %briskoume to simeio ston pinaka
c opoy brisketai to megisto
CorrRange = CorrMax-CorrMin; %briskoume tin diafora megistis-
elaxistis timis
octaves = 3; % orizoume ton ari8mo ton oktawn poy tha
xrisimopoiisoyme
N_notes = octaves * 12; %to plithos tw n notwn einai 12 gia kathe
oktaba (mazi me tis #)
CorrInterval = CorrRange/N_notes; %briskoume to bima. xwrizoume to
diastima min-max %se tosa meri osa oi notes pou thaxrisimopoiisoyme
% ypologismoι gia na broume tin thesi opoy tha emfanistei to plaisio

yoffSet = ypeak-size(pat,1);
xoffSet = xpeak-size(pat,2);
% emfanis itou plaisiou
figure
imshow(full);
imrect(gca, [xoffSet+1, yoffSet+1, size(pat,2), size(pat,1)]);

% metatropi toy pinaka c poy exei diastaseis oso kai ifotografia se %
monodiastato pinaka c1
c1 = reshape (c,size(c,2)*size(c,1),1);
[yp,xp]=find(c1==max(c1(:))); %ypologismos tis thesis tis megististimis
% epeidi o pinakas c1 exei para polles times koboyme ena kommati toy
pinaka % ayto poy periexei tin megisti timi
range=100; % to plithos ton timwn +/- poy tha kratisoyme girw apo tin
megisti timi
```

```

croppedMatrix = c1(yp-range:yp+range, 1:1); % dimioyrgia toy
kainoyrioukommenoupinaka

% sinartisi dimioyrgias notas. oi metabolites einai dur diarkeia kai h
% default timi tis einai 8192 alla tha tin prosarmozoume analoga kai to
% simantiko einai i sixnotita frqopougia timi 1 mas dinei sixnotita 440Hz
% tin nota A4 (i La tis 4is oktavas ) opou kai xrisimopoietai san to meso
tis sinartisis
% dinontas stin frq thetikes times >1 anebainoyme notes px an dwsoume
to 13% prokiptei sixnotita 880Hz i nota A5 dld mia octava panw. (oi notes
mia% oktavas mazi me tis # einai 12) sto telos prosthetoyme kai
midenika gia % nadiaxorizontai oi notes
notecreate = @(frq,dur) [sin(2*pi* [1:dur]/8192 * (440*2.^((frq-
1)/12))),zeros(1,100)];
dur = 0.3*8192; %i default timi gia ti diarkeia meiomenisto 0.3
songnote = []; % o pinakas poy tha krataei tis times apo tis kimatomorfes
kathe notas
for q1=1:length(croppedMatrix) %diatrexoume olo ton pinaka
croppedMatrixwste se kathe timi na apodosoume mia nota
    for idx=0:1:N_notes % gia oses synolika notes exoyme orisei
proigoymenws oti tha xrisimopoiisoyme

        if croppedMatrix(q1)>(CorrMax-(idx)*CorrInterval)
% sigkrinoume tin timi mas me to diastima katw apo to megisto
% paradeigma: an oi times einaip.x. apo (vazw au8eraita
% noumera) -3 ws +9 kai exoumeorisei 2 otitha
% xrisimopoiisoyme 2 octaves dld 2*12=24 notes tote to vima
% poythakopsoyme to diastima apo to elaxistows to megisto
% exei ipologistei proigoymenws
% CorrInterval = CorrRange/N_notes me to CorrRangenaieinai
% megisto - elaxisto =9-(-3)=12 kai tis notes synolika 24 to
% vima ypologizetai se 12/24=0.5
% ti kanoyme edw.estw iprwti timi mas ston pinaka
% cropped einai to +7.6 iprwti sigkrisi tha einai me ton
% metriti idx na xekinaei apo to 1. diladi
%(CorrMax-(idx)*CorrInterval) =9-1*0.5=8.5
% einai itimi mas megalyteri apo ayto? oxi. Ara pame sto
% epomeno idx. Gia idx=2 prokiptei 9-2*0.5=8
% einai itimi mas megalyteri apo ayto? oxi. Ara pame sto
% epomeno idx. Gia idx=3 prokiptei 9-3*0.5=7.5
% twra i timi mas einai megaliteri opote gia idx=3 proxwrame
% na kataskeyasoyme tin nota
%ritmizoume prwta ti diarkeia. Gia mikro idx poy simainei
%brikame to megisto i estw eimaste poli konta megalwnw tin
%diarkeia wste na diakrinetai
            if idx<2
                dur = 1.0* 8192;

```

```

else
    dur = 0.3*8192;
end
% kataskeyi tis nota me sixnotita N_notes/2+1-idx ayto giati theloyme
sti % mesaies times napesounstin nota A4 poyeipamearapxgia 24 notes
theloume i A4 na antistoixithe sto
% diastima me idx 12. Gia napexteii A4 prepei diladi i parastasi
% N_notes/2+1-idx na kanei 1 wste I sinartisi notecreate na ginei me
% 440Hz.
songnote = [songnote; [notecreate((N_notes/2+1-idx),dur) ]];
break; %afoybrikameti nota stamatame kai pamestinepomenitimitou
cropped
end
end
end
%kai ayti i entolipaizei ton ixo sinolika exeai oles tis notes poy
%kataskeyasame
sound(songnote,8192)
figure;imagesc(c);

```

B. Αλγόριθμος παραγωγής συνθετικών εικόνων (ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος)

%Created: 2020.03.08

%Generation of non-Gaussian surfaces with predetermined

%1. Mean value (mu)

% 2. Standard deviation (rms)

% 3. Skewness (skew)

% 4. Kurtosis (kurt)

% 5. Correlation lengths (ksix, ksiy)

% 6. Roughness exponent (alpha)

% The input values of kurtosis and skewness should satisfy the inequality

% kurtosis > 1 + skewness^2

% The method is described in Yang et al. CMES, vol.103, no.4, pp.251-279,2014

% We use pearson translation to transform random noise to non-gaussian series and

% inverse Fourier transform to generate Gaussian surfaces.

% The method is implemented in three steps

```

% 1. Generation of a Gaussian self-affine surface z_gs with rms,
ksix,ksiy,alpha
% 2. Generation of non-Gaussian noise z_ngn with mu,rms,skew,kurt
% 3. Arranging z_ngn according to the spatial arrangement of z_g to get
a non-Gaussian self-affine surface z_ngs
%function
[z_ngs]=SAimage_fft_2(N_total,rms,skewness,kurtosis,corlength_x,corlen
gth_y,alpha)
%INPUT
mu=0;
rms=0.2;
skew=.6;
kurt=.6;
ksix=2;
ksiy=2;
alpha=.5;
N=150; %surface side N

% % input moments and spatial parameters
% N=N_total; %surface side N
% mu=0;
% rms=rms;
% skew=skewness;
% kurt=kurtosis;
% ksix=corlength_x;
% ksiy=corlength_y;
% alpha=alpha;

numpoints=N;
tic;
for n=1:N/2,
hhcf_y(n)=0.0;

```

```

end
Pyy=0.0;

% open the output files
foutsur=fopen('surface.txt','w');

%1st step: Generation of a Gaussian surface
%Determine the autocorrelation function R(tx,ty)
R(1:(numpoints+1),1:(numpoints+1))=0;
txmin=-numpoints/2;
txmax=numpoints/2;
dtx=(txmax-txmin)/(numpoints);
tymin=-numpoints/2;
tymax=numpoints/2;
dty=(tymax-tymin)/(numpoints);
tx=[txmin:dtx:txmax];
ty=[tymin:dty:tymax];
fortx=txmin:dtx:txmax
for ty=tymin:dty:tymax
    %R(tx+txmax+1,ty+tymax+1)=((w^2)*exp(-
    (abs(tx)/ksi).^ (2*a)))*((w^2)*exp(-(abs(ty)/ksi).^ (2*a)));
    R(tx+txmax+1,ty+tymax+1)=((rms^2)*exp(-
    ((sqrt((tx/ksix)^2+(ty/ksiy)^2))).^(2*alpha)));%
    R(tx+txmax+1,ty+tymax+1)=((rms^2)*exp(-
    (abs(sqrt((tx/ksix)^2+(ty/ksiy)^2))).^(2*alpha)))*besselj(0,(2*pi*sqr(tx
    ^2+ty^2))/lamda);
end
end

%According to the Wiener-Khinchine theorem FR is the power spectrum of
the %desired profile
FR = fft2(R,numpoints,numpoints);
AMPR=sqrt(dtx^2+dty^2)*abs(FR);

```

% 2nd step: Generate a white noise, normalize it and take its Fourier transform

```
X=rand(numpoints,numpoints);
```

```
aveX=mean(mean((X)));
```

```
dif2X=(X-aveX).^2;
```

```
stdX=sqrt(mean(mean(dif2X)));
```

```
X=X/stdX;
```

```
XF = fft2(X,numpoints,numpoints);
```

% 3rd step: Multiply the two Fourier transforms

```
YF=XF.*(AMPR);
```

% 4th step: Perform the inverse Fourier transform of YF and get the desired

% surface

```
zaf = ifft2(YF,numpoints,numpoints);
```

```
z=real(zaf);
```

```
% figure,surf(z);
```

```
avez=mean(mean(z));
```

```
dif2z=(z-avez).^2;
```

```
stdz=sqrt(mean(mean(dif2z)));
```

```
z=((z-avez)*rms)/stdz;
```

% Define the fraction of the surface to be analysed

```
xmin=1;
```

```
xmax=N;
```

```
ymin=1;
```

```
ymax=N;
```

```
z_gs=z(xmin:xmax,ymin:ymax);
```

```
Nh=xmax-xmin+1;
```

```
figure, surf(z_gs);
```

```
% himage1=mat2gray(h1,[min(min(h1)),max(max(h1))]);
```

```
image_gs=mat2gray(z_gs);
```

```
figure, imshow(image_gs)
```

```
clear RAMPRz
```

```

return;
%2nd step: Generation of a non-Gaussian noise NxN
z_ngn=pearsrnd(mu,rms,skew,kurt,N,N);
%3rd step: Combination of z_gs with z_ngn to output a z_ngs
v_gs=z_gs(:);
v_ngn=z_ngn(:);
[vs_gs,Igs]=sort(v_gs);
[vs_ngn,Ingn]=sort(v_ngn);
for iv=1:N*N
ivs=Igs(iv);
v_ngs(ivs)=vs_ngn(iv);
end
z_ngs=reshape(v_ngs,N,N)';
% figure, surf(z_ngs,'linestyle','none')
image_ngs=mat2gray(z_ngs);
figure, imshow(image_ngs)
% bw=imbinarize(image_ngs,0.2);
% figure, imshow(bw);
return;
% 1. CORRELATION FUNCTIONS
%a. 1-D height-height correlation function
inpsur=z_ngs;
forndif=1:N/2,
    surf1=inpsur(1:N,1:(N-ndif));
    surf2=inpsur(1:N,(ndif+1):N);
    difsur2=(surf1-surf2).^2;
    hhcf1d(ndif)=sqrt(mean(mean(difsur2)));
rdif(ndif)=ndif;
end
%subplot(2,2,2);
figure,
loglog(rdif,hhcf1d);

```

```
grid on;
xlabel('r(nm)');
ylabel('G(r) (nm)^-3');
title('1-D height-height correlation function');

% fprintf(foutsur,'%f %f %f %f %f %f %f %f %f %f %f %f %f %f %f %f\n',z_ngo);
```

Γ. Παρατηρήσεις και παρτιτούρες

noise



Στην ηχοποίηση της εικόνας του **θορύβου**, οι νότες κινούνται στην πιο χαμηλή περιοχή συχνοτήτων από τις επιλεγμένες οκτάβες, επομένως τα ποσοστά ομοιότητας της εικόνας με το pattern, είναι πολύ μικρά σε όλη τη διάρκεια της ηχοποίησης.

motivo



Στην εικόνα του **μοτίβου**, η προσέγγιση της κεντρικής νότας D6 γίνεται με 4 διαδοχικά ανιόντα άλματα και ακολουθούν 5 διαδοχικά κατιόντα. Παρατηρείται ότι γίνονται με συμμετρικό τρόπο (...-B4-E5-A5-D6-A5-E5-B4....) που παραπέμπει στην επαναληψιμότητα ενός μοτίβου. Λίγο πριν το τέλος, 6 διαδοχικά ανιόντα άλματα οδηγούν σε άλλη μια ηχητική κορύφωση αυτή τη φορά στη νότα D^b 6 και ακολουθούν 3 κατιόντα άλματα.

corlength100



corlength100 : Οι νότες κινούνται ή βηματικά, ή σημειωτών, μέχρι την κεντρική νότα D6 η οποία ηχεί 3 φορές. Η απομάκρυνση από αυτήν γίνεται επίσης βηματικά αρχικά και ακολουθούν 3 κατιόντα άλματα. Η κίνηση συνεχίζεται ομαλά στην χαμηλότερη περιοχή και ακολουθεί ένα μεγάλο ανιόν άλμα που επαναφέρει τις νότες στην ψηλή περιοχή, στην οποία παραμένουν μέχρι το τέλος, κινούμενες βηματικά.

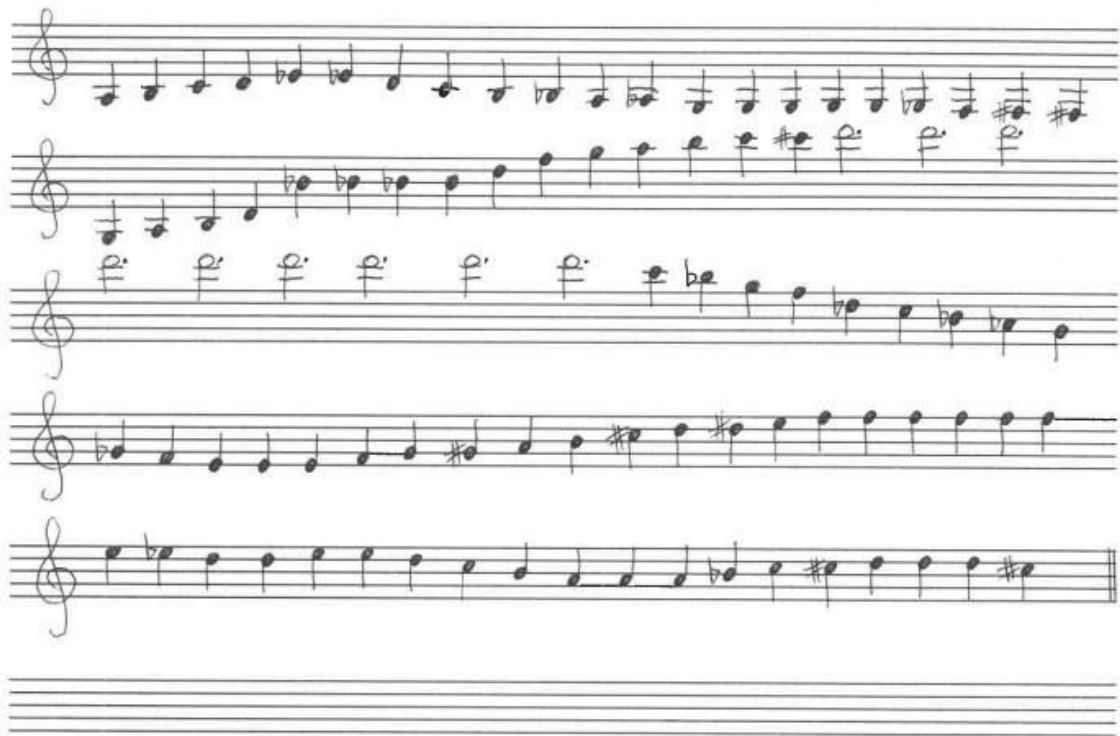
corlength20



corlength20 : Οι νότες κινούνται σε έκταση 2,5 οκτάβων από G[#] 3 - D6.

Αρχικά κινούνται ομαλά στη χαμηλή και στη μεσαία περιοχή, χωρίς άλματα με βηματική κίνηση. Συνεχίζοντας προς το μέγιστο οι νότες κάνουν 4 ανοδικά άλματα και μετά το μέγιστο κατεβαίνουν ομαλά και συνεχίζουν στη χαμηλή περιοχή, κινούμενες βηματικά μέχρι τέλους. Το μέγιστο D6 ηχεί 2 φορές.

corlength50



corlength50 : Οι νότες κινούνται σε έκταση από F3 μέχρι D6. Αρχικά κινούνται στη χαμηλή περιοχή ομαλά, ακολουθούν 4 ανιόντα άλματα και στη συνέχεια κινούνται στην ψηλή περιοχή και προσεγγίζουν με βηματική κίνηση την κεντρική νότα D6, η οποία ηχεί 9 φορές, το οποίο δηλώνει πολύ μεγάλο βαθμό ομοιότητας. Ακολουθούν 2 μικρά κατιόντα άλματα και στη συνέχεια οι νότες κινούνται ομαλά στη μεσαία περιοχή μέχρι τέλους.

Δ. Μουσικές (αντιστικτικές) ασκήσεις

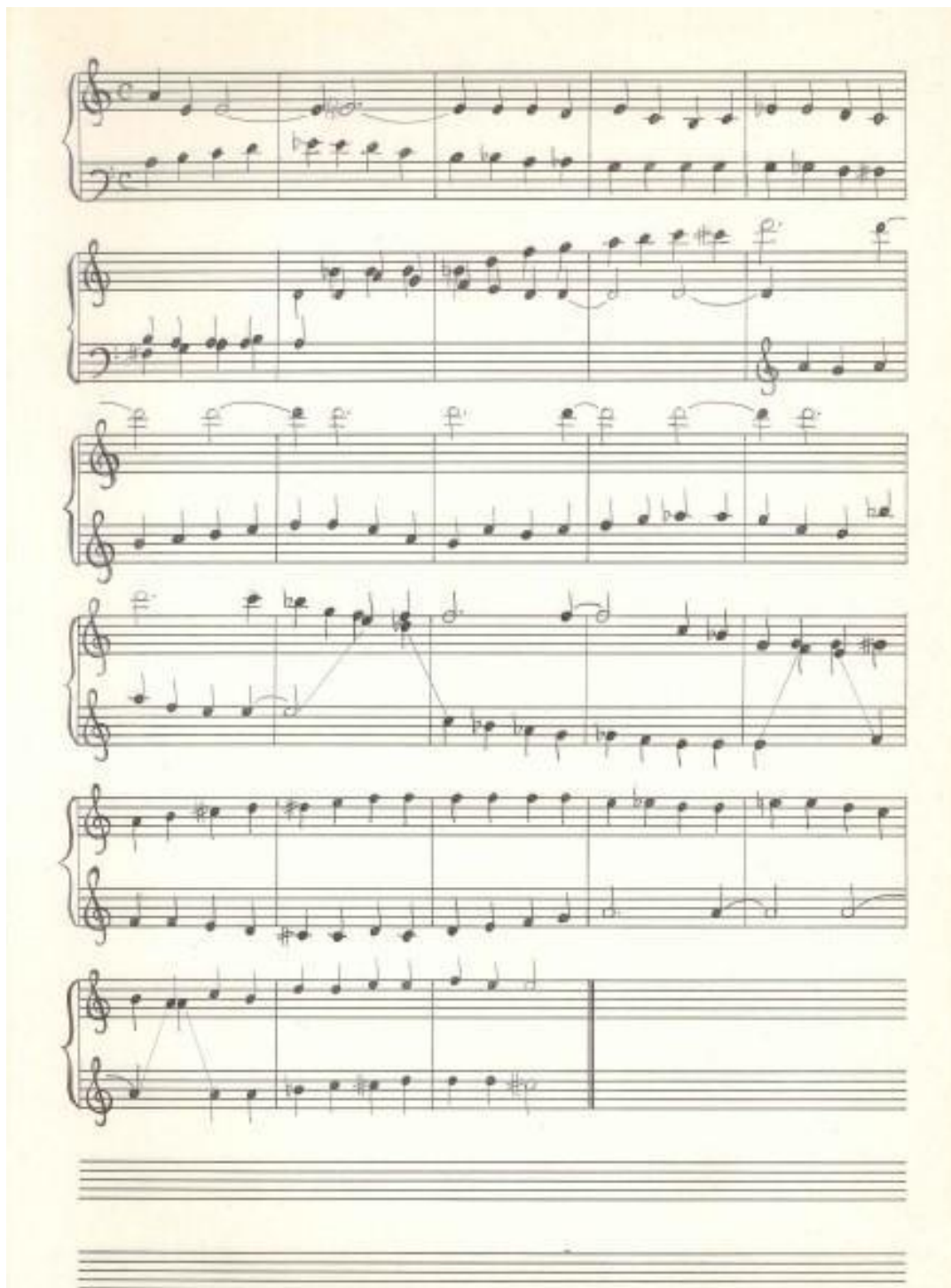
Αντίστιξη στη μουσική είναι η τέχνη του συνδυασμού μελωδικών γραμμών οι οποίες προορίζονται να εκτελεστούν και να ακουστούν ταυτόχρονα. Οι παρακάτω μουσικές ασκήσεις, είναι μια αντιστικτική απόπειρα πάνω στην αρχική - σταθερή μελωδία, χρησιμοποιώντας όλη τη σειρά των 100 φθόγγων κάθε ηχοποίησης.

Η νέα μελωδία που προστέθηκε κινείται παράλληλα, είτε ψηλότερα είτε χαμηλότερα από την αρχική και στην ίδια μουσική έκταση με φθόγγους της ίδιας χρονικής αξίας με την αρχική. Γενικά σε μια ηχοποίηση εικόνας, μπορούμε να θεωρήσουμε σαν μελωδική γραμμή ολόκληρη τη σειρά των φθόγγων, ή τμήμα αυτής. Ίσως διακρίνουμε κάποια μουσικά μοτίβα ή και μουσικές φράσεις. Με αυτά ως «πρώτη ύλη», γίνεται επεξεργασία και ανάπτυξη ώστε να παραχθεί ένα μουσικά ενδιαφέρον αποτέλεσμα.

Στην αντιστικτική άσκηση με αρχική μελωδία την ηχοποίηση του motivo, προβάλλεται περισσότερο η νέα μελωδία και η αρχική είναι περισσότερο συνοδευτική. Στην αντιστικτική άσκηση με αρχική μελωδία την ηχοποίηση του corlenght50, αναδεικνύεται η αρχική μελωδία με τη βοήθεια της νέας.

Ακολουθούν οι δύο αντιστικτικές ασκήσεις από την μουσικό Νένα Γεωργακοπούλου:

α. Αντιστικτική άσκηση με αρχική μελωδία την ηχοποίηση του motivo



Εικόνα από παρτιτούρα (Νένα Γεωργακοπούλου)

β. ΑΝΤΙΣΤΙΚΤΙΚΗ άσκηση με αρχική μελωδία την ηχοποίηση του corlenght50



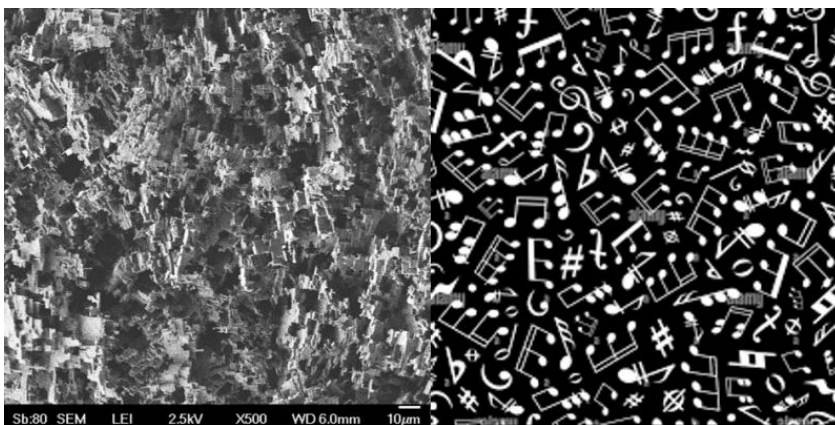
Εικόνα από παρτιτούρα (Νένα Γεωργακοπούλου)

Ε. Παρουσίαση του ερευνητικού μέρους της εργασίας, της ηχοποίησης.

A. Athens Science Festival 2022 στην Τεχνόπολη του Δήμου Αθηναίων, Οκτώβριος 2022.

Συμμετοχή της Μυρτώς Αποστόλου φοιτήτριας στο ΠΜΣ Οπτικοακουστικές Τέχνες στην Ψηφιακή Εποχή του ΤΤΗΕ, με την παρουσία του Κωνσταντίνου Τηλιγάδη, Αναπληρωτή Καθηγητή ΤΤΗΕ και σε συνεργασία με τον Βασίλη Κωνσταντούδη, Φυσικό-Ερευνητή στο Ινστιτούτο Νανοεπιστήμης και Νανοτεχνολογίας (ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος), με θέμα :

Μουσική από τον νανόκοσμο



«Τι σκέφτεστε όταν βλέπετε μία εικόνα μικροσκοπίου; Σίγουρα τι υλικό δείχνει, τις λειτουργίες που έχουν οι μικρο και νανοδομές του και μπορεί τη μαθηματική μοντελοποίηση τους. Σίγουρα όμως, δεν σκέφτεστε τη μουσική που μπορεί να ακουστεί από αυτές. Αφού η μουσική είναι ανθρώπινο δημιούργημα, ενώ οι νανοδομές ανήκουν στον έξω κόσμο. Όμως και τα μαθηματικά είναι ανθρώπινο δημιούργημα αλλά μιλάμε για μαθηματική μοντελοποίηση του κόσμου. Μήπως μπορούμε να μιλήσουμε και για μουσική μοντελοποίηση του κόσμου; Αλλά τι ακριβώς σημαίνει αυτό; Δεν ξέρουμε, αλλά αν θέλετε να το ψάξουμε μαζί ελάτε στην παρουσίαση μας να μοιραστούμε τα πρώτα ευρήματα, ερωτήματα και αμφιβολίες» (Κυριακή 23 Οκτ 2022 19:00 - 19:50 INNOVATHENS).

Β. 19ο Πανελλήνιο Συνέδριο Φυσικής Λουτράκι 2022, (ClubHotel Λουτρακίου 18-19-20 Νοεμβρίου 2022).

Ένωση Ελλήνων Φυσικών. Σύγχρονη Φυσική και Μεγάλα Επιτεύγματα
Έρευνα-Τεχνολογία – Καινοτομία - Εκπαίδευση - Περιβάλλον
Κυριακή 20-11-2022.

Θέμα: « Η μουσική του νανόκοσμου ή τι μπορούμε να "ακούσουμε" από μία εικόνα μικροσκοπίου»

Αποστόλου Μυρτώ, Φυσικός, Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια, Τμήμα Τεχνών
Ήχου και Εικόνας, Ιόνιο Πανεπιστήμιο
Τηλιγάδης Κωνσταντίνος, Καθηγητής, Τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας,
Ιόνιο Πανεπιστήμιο
Κωνσταντούδης Βασίλης, Κύριος Ερευνητής, Ινστιτούτο Νανοεπιστήμης και
Νανοτεχνολογίας, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος

Γ. «Η Φυσική μαγεύει» 17-18-19 Δεκεμβρίου 2022 στο Πανεπιστήμιο
Δυτικής Αττικής.

Συμμετοχή της Μυρτώς Αποστόλου φοιτήτριας στο ΠΜΣ Οπτικοακουστικές
Τέχνες στην Ψηφιακή Εποχή του ΤΤΗΕ με την παρουσία του Κωνσταντίνου
Τηλιγάδη, αναπληρωτή Καθηγητή ΤΤΗΕ σε συνεργασία με τον Βασίλη
Κωνσταντούδη, φυσικό-ερευνητή στο Ινστιτούτο Νανοεπιστήμης και
Νανοτεχνολογίας ΕΚΕΦΕ 'Δημόκριτος, με θέμα :

**«Η Φυσική μαγεύει και εμπνέει ... ηχοτοπία από εικόνες
ηλεκτρονικού μικροσκοπίου»**

Ένα τριήμερο εκδηλώσεων, με συμμετοχή μαθητών, σε εργαστήρια
πειράματα, ομιλίες, workshop και θεματολογία από όλο το φάσμα των
φυσικών επιστημών.

Το θέμα : Μουσική από τον νανόκοσμο - ακούγοντας τις εικόνες του
ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Μια εικόνα μικροσκοπίου που μπορεί να
οδηγήσει εκτός από τη μαθηματική μοντελοποίηση, σε μουσική
μοντελοποίηση - ηχοποίηση του νανόκοσμου.

Δ. AthensScienceFestival 2023 στην Τεχνόπολη του Δήμου Αθηναίων (10-10-2023).

ScienceFestival: Ακούγοντας τη μουσική των επιφανειών



Μια ενδιαφέρουσα παρουσίαση σε μαθητές και μαθήτριες Λυκείου πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του AthensScienceFestival 2023, στην Τεχνόπολη του δήμου Αθηναίων, από ομάδα ερευνητών του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτου και του Ιονίου Πανεπιστημίου. Με το συνδυασμό επιστημονικής λογικής και καλλιτεχνικής φαντασίας, η ομάδα επιχείρησε μια διαφορετική προσέγγιση των επιφανειών των πραγμάτων - την ηχοποίησή τους.

«Ας δούμε λίγο τα πράγματα που μας περιβάλλουν. Αυτό που γνωρίζουμε για αυτά, προέρχεται κυρίως από τις επιφάνειές τους. Παρατηρούμε την όψη τους, το χρώμα τους. Αν ακουμπήσουμε πάνω τους, θα νιώσουμε την υφή τους. Οι επιφάνειες είναι το βασικό μέσο επικοινωνίας των πραγμάτων με τον κόσμο γύρω τους. Αξίζει επομένως να τις γνωρίσουμε καλύτερα. Στην επιστήμη αυτό γίνεται με τα μικροσκόπια και άλλες μεθόδους εξέτασης της χημικής σύστασης και της μορφολογίας τους.

Όπως και με εφαρμογή των γνώσεων μας για τη φυσική και χημεία των υλικών σε αυτές. Μπορούμε να δοκιμάσουμε όμως και κάτι διαφορετικό: Να ακούσουμε τη μουσική τους, με ποιόν τρόπο; Αξιοποιώντας την

ψηφιακή αναπαράσταση των επιφανειών από εικόνες μικροσκοπίας και αλγορίθμους «ηχοποίησής τους», σημειώνουν οι συντελεστές της ομάδας (η φυσικός και εικαστικός Μυρτώ Αποστόλου, ο ερευνητής φυσικός του ΕΚΕΦΕ Δημόκριτου Βασίλης Κωνσταντούδης και ο καθηγητής του Ιονίου Πανεπιστημίου, Κωνσταντίνος Τηλιγάδης). Λογική λοιπόν, αλλά και φαντασία. Όπως είπε και ο Αϊνστάιν, «με τη λογική πηγαίνεις από το Α στο Β. Με τη φαντασία μπορείς να πας παντού».

<https://www.cnn.gr/tech/story/386544/science-festival-akoygontas-ti-mousiki-ton-epifaneion>