ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής

Πτυχιακή εργασία

«Granoudi: Δημιουργία πρωτότυπου συνθεσάιζερ βασιζόμενο στην κοκκώδη σύνθεση σε προγραμματιστικό περιβάλλον MaxMSP»

Clement Καλλιαμπέτσος (TA1007)

Επιβλέπων: ***Νικόλας Βαλσαμάκης***

Ρέθυμνο Ιούνιος 2025

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Καλλιαμπέτσος Clement, [2025]

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου δεν υποδηλώνει απαραιτήτως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή μου Νικόλα Βαλσαμάκη που χωρίς τη δέουσα υπομονή και υποστήριξη δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη εργασία.

Clement Καλλιαμπέτσος (TA1007)

Θέμα: «Granoudi: Δημιουργία πρωτότυπου συνθεσάιζερ βασιζόμενο στην κοκκώδη σύνθεση σε προγραμματιστικό περιβάλλον MaxMSP»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται την ανάπτυξη ενός καινοτόμου αλγορίθμου κοκκώδους σύνθεσης στο προγραμματιστικό περιβάλλον Max/MSP. Το έργο συνδυάζει θεωρητική έρευνα με πρακτική εφαρμογή, προσφέροντας ένα ολοκληρωμένο σύστημα για δημιουργική επεξεργασία ήχου. Στο θεωρητικό μέρος, διερευνώνται οι ιστορικές ρίζες της granular σύνθεσης από τους Gabor και Ξενάκη, οι βασικές τεχνικές (συγχρονική/ασύγχρονη σύνθεση, pitch-synchronous grains) και οι εφαρμογές της σε sound design, μουσική σύνθεση και διαδραστικές εγκαταστάσεις. Το πρακτικό μέρος παρουσιάζει τον αλγόριθμο Granoudi, ο οποίος χαρακτηρίζεται από: κυκλικό buffer ηχογράφησης με συνεχή ανανέωση, MIDI-controllable pitch shifting, πολυφωνική αρχιτεκτονική , χωρική κατανομή για οκταφωνικά και στερεοφωνικά συστήματα. Ο αλγόριθμος λειτουργεί τόσο ως αυτόνομη ηχητική εγκατάσταση όσο και ως ζωντανό μουσικό όργανο, με εφαρμογές σε ψυχοακουστική έρευνα και ψηφιακή τέχνη.

Λέξεις κλειδιά: σύνθεση ήχου, κοκκώδης σύνθεση ήχου, μουσικός προγραμματισμός, MaxMSP

Clement Kalliabetsos (TA1007)

Title: «Granoudi: Developement of a prototype synthesizer based on granular synthesis in the MaxMSP programming environment»

ABSTRACT

The subject of this thesis is the development of an innovative granular synthesis algorithm in Max/MSP environment, bridging theoretical research with practical implementation. The theoretical framework explores: Historical foundations by Gabor and Xenakis. Core techniques (synchronous/asynchronous synthesis, spectral grains). Applications in sound design, electroacoustic music and interactive art. The Granoudi algorithm features: circular buffer with real-time overwriting, Precision pitch-shifting, Polyphonic architecture with 24 parallel grain engines, Spatial distribution for octophonic/stereo setups, Pedal-controlled interface. Functioning both as autonomous sound installation and live performance instrument, the system opens new possibilities in psychoacoustics research and digital art.

Keywords: sound synthesis, granular synthesis, music programming, MaxMSP

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Clement Καλλιαμπέτσος (TA1007) iv

Θέμα: «Granoudi: Δημιουργία πρωτότυπου συνθεσάιζερ βασιζόμενο στην κοκκώδη σύνθεση σε προγραμματιστικό περιβάλλον MaxMSP»..... iv

ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... iv

Clement Kalliabetsos (TA1007) v

Title: «Granoudi: Developement of a prototype synthesizer based on granular synthesis in the MaxMSP programming environment»..... v

ABSTRACT v

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ vi

ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... x

1 Βασικά Στοιχεία Θεωρίας της Κοκκώδους Σύνθεσης Ήχου 1

1.1 Ιστορική Αναδρομή και Εισαγωγή στη Κοκκώδους Σύνθεσης 1

1.2 Θεωρητικό Πλαίσιο της Granular Synthesis 4

1.3 Τεχνικές Προσεγγίσεις στην Κοκκώδη Σύνθεση 6

1.3.1 Ανεξάρτητη Αλλαγή Ταχύτητας και Ύψους (Pitch Bend)..... 7

1.3.2 Σύνθεση Παλμών (Pulsar Synthesis)..... 7

1.3.3 Σύνθεση Μικροσειρών (Trainlet Synthesis) και σύννεφα ακολουθιών 7

1.3.4 Σύνθεση Glisson..... 9

1.3.5 Φασματική Σύνθεση Κόκκων (Spectral Grain Synthesis) 9

1.4 Πεδία Εφαρμογής της Granular Synthesis 10

1.4.1 Σχεδιασμός ήχου Sound design..... 10

1.4.2 Μουσική σύνθεση 10

1.4.3 Ηχητική τέχνη (sound art) 10

1.4.4 Live performance..... 11

1.4.5 Ψηφιακά όργανα και Plugins 11
1.5 Ακουστική Αντίληψη της Granular Synthesis 11
1.5.1 Αντίληψη του Ήχου και του Χρόνου 11
1.5.2 Επίδραση στην ακουστική αντίληψη 12
1.5.3 Αισθητικές Προεκτάσεις 12
1.5.4 Συγκριτική Ανάλυση με Παραδοσιακές Τεχνικές 12
2 Υλοποίηση του Αλγόριθμου Granoudi Project 13
2.1 Εισαγωγή 13
2.2 Οδηγίες Χρήσης 14
2.2.1 Γενικές Οδηγίες και Επεξήγηση του Presentation Mode 15
2.2.2 Οδηγίες για τη Λειτουργία ως Sound Installation 16
2.2.3 Οδηγίες για τη Λειτουργία ως Μουσικό Όργανο 17
2.3 Τεχνική ανάλυση του Αλγόριθμου 18
2.3.1 Κεντρικός αλγόριθμος 18
2.3.2 Υποαλγόριθμος αναπαραγωγής [panida~] 20
2.3.3 Υποαλγόριθμος πολυφωνίας [poly~ diehard 9] 25
2.3.4 Ο υποαλγόριθμος [graincontrol] 31
3 Συμπεράσματα 34
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 37

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Ο Ιάννης Ηενάκης 1

Εικόνα 2 Ο Dennis Gabor 2

Εικόνα 3. Συγχρονική 4

Εικόνα 4. Παράδειγμα εφαρμογής granular synthesis. 5

Εικόνα 5 Pulse train synthesis. 8

Εικόνα 6 Σύνθεση Glisson 9

Εικόνα 7. Οθόνη υποδοχής Presentation mode 14

Εικόνα 8 Patching mode 18

Εικόνα 9 Record control. 18

Εικόνα 10 Αντικείμενο waveform με περιεχόμενο Buffer 19

Εικόνα 11 Ελεγχός τιμών waveform 19

Εικόνα 12 Υποαλγόριθμος Panida 20

Εικόνα 13 Υποαλγόριθμος αλλαγής κλίμακας. 21

Εικόνα 14 Υποαλγόριθμος υπολογισμού διάρκειας 23

Εικόνα 15 Μηχανισμός ενεργοποίησης. 24

Εικόνα 16 Περιβάλλουσα έντασης με ~trapezoid 25

Εικόνα 17 Περιβάλλουσα έντασης στον κόκκο. 25

Εικόνα 18 2.3.3 Υποαλγόριθμος πολυφωνίας [poly~ diehard 9] 26

Εικόνα 19 Υποαλγόριθμος control 27

Εικόνα 20 Bang routing 28

Εικόνα 21 Inlet και Outlet για pitch control 28

Εικόνα 22 Audio Inlets και Outlets 28

Εικόνα 23 Inlets και Outlets του υποαλγόριθμου ~Panida 29

Εικόνα 24 Υποαλγόριθμος mono stereo 30

Εικόνα 25 Υποαλγόριθμος Ψευδοστέρεο..... 30

Εικόνα 26 Σημεία ανάγνωσης - εγγραφής στο buffer..... 31

Εικόνα 27 Περιβάλλουσα έντασης ελεγχόμενη απο το graincontrol..... 31

Εικόνα 28 Υποαλγόριθμος graincontrol..... 32

Εικόνα 29 Εφαρμογή περιβάλλουσας έντασης..... 33

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η granular (κοκκώδης) σύνθεση αποτελεί μία από τις πιο καινοτόμες τεχνικές ηλεκτροακουστικής σύνθεσης, επιτρέποντας τον χειρισμό του ήχου σε μικροχρονικό επίπεδο μέσω της διάσπασής του σε στοιχειώδεις «κόκκους» (grains). Αυτή η προσέγγιση, που έχει τις ρίζες της στις θεωρητικές εργασίες του Dennis Gabor (1947) και στην πειραματική μουσική του Ιάννη Ξενάκη, αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από τον ηχητικό σχεδιασμό έως τη ζωντανή εκτέλεση.

Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα εργασία παρουσιάζει τον Granoudi Project, έναν αλγόριθμο granular σύνθεσης υψηλής ευελιξίας, σχεδιασμένο στο προγραμματιστικό περιβάλλον Max/MSP. Κύριος στόχος του έργου είναι η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος που συνδυάζει αυτόματη κυκλική ηχογράφηση, τονικό έλεγχο σε πραγματικό χρόνο και χωρική κατανομή ήχου, προσφέροντας νέες δυνατότητες τόσο σε μουσικούς όσο και σε ερευνητές.

Το κείμενο αυτό οργανώνεται σε δύο βασικά μέρη:

- Θεωρητικό πλαίσιο, όπου αναλύονται οι αρχές της granular σύνθεσης, οι ιστορικές της προεκτάσεις και οι σύγχρονες εφαρμογές της.

- Πρακτική υλοποίηση, με λεπτομερή τεκμηρίωση της αρχιτεκτονικής του Granoudi, των υποαλγορίθμων του (όπως ο graincontrol για την αποφυγή ηχητικών παραμορφώσεων) και των διαδραστικών του λειτουργιών.

Η σημασία του Granoudi, έγκειται στην ικανότητά του να λειτουργεί τόσο ως αυτόνομη ηχητική εγκατάσταση όσο και ως διαδραστικό μουσικό όργανο, προσαρμοζόμενο εύκολα στις ανάγκες του χρήστη. Παράλληλα, ανοίγει νέους δρόμους για μελλοντικές εφαρμογές, όπως η ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης για δυναμική δημιουργία κόκκων ή η χρήση του σε περιβάλλοντα εικονικής και επαυξημένης πραγματικότητας. Μέσα από αυτή την εργασία, επιδιώκεται να καταδειχθεί πώς η τεχνολογική καινοτομία μπορεί να ενισχύσει τη δημιουργική έκφραση, διατηρώντας παράλληλα την επιστημονική αυστηρότητα που απαιτεί η επεξεργασία του ήχου σε μικροχρονικό επίπεδο.

1 Βασικά Στοιχεία Θεωρίας της Κοκκώδους Σύνθεσης Ήχου

1.1 Ιστορική Αναδρομή και Εισαγωγή στη Κοκκώδους Σύνθεσης

Η ιδέα της Κοκκώδους Σύνθεσης (Granular Synthesis) έχει τις ρίζες της στον 20ό αιώνα, με θεωρητικές βάσεις που σχετίζονται με την κβαντική φυσική και την επεξεργασία του ήχου. Ο Dennis Gabor το 1947 ήταν ο πρώτος που εισήγαγε την έννοια του 'ακουστικού κβάντου' (Gabor, 1947, σ. 430), θεμελιώνοντας τη σύνδεση μεταξύ της ανάλυσης του ήχου και της κβαντικής θεωρίας. Οι ιδέες του Gabor ενέπνευσαν τους πρωτοπόρους της ηλεκτροακουστικής μουσικής, οδηγώντας στην ανάπτυξη της Granular Synthesis.

Ο Έλληνας συνθέτης Ιάννης Ξενάκης ήταν ένας από τους πρώτους που υλοποίησε πρακτικά την ιδέα αυτή. Στα τέλη της δεκαετίας του 1950, ο Ξενάκης συνδύασε τη μαθηματική θεωρία των πιθανοτήτων με τη μουσική σύνθεση, δημιουργώντας στοχαστικές διαδικασίες που οδήγησαν σε πολυδιάστατα ηχητικά τοπία. Το έργο του 'Analogique A-B' (1959) αποτελεί ένα από τα πρώτα παραδείγματα κοκκώδους ήχου στην ηλεκτρονική μουσική (Harley, 2004, σ.112).

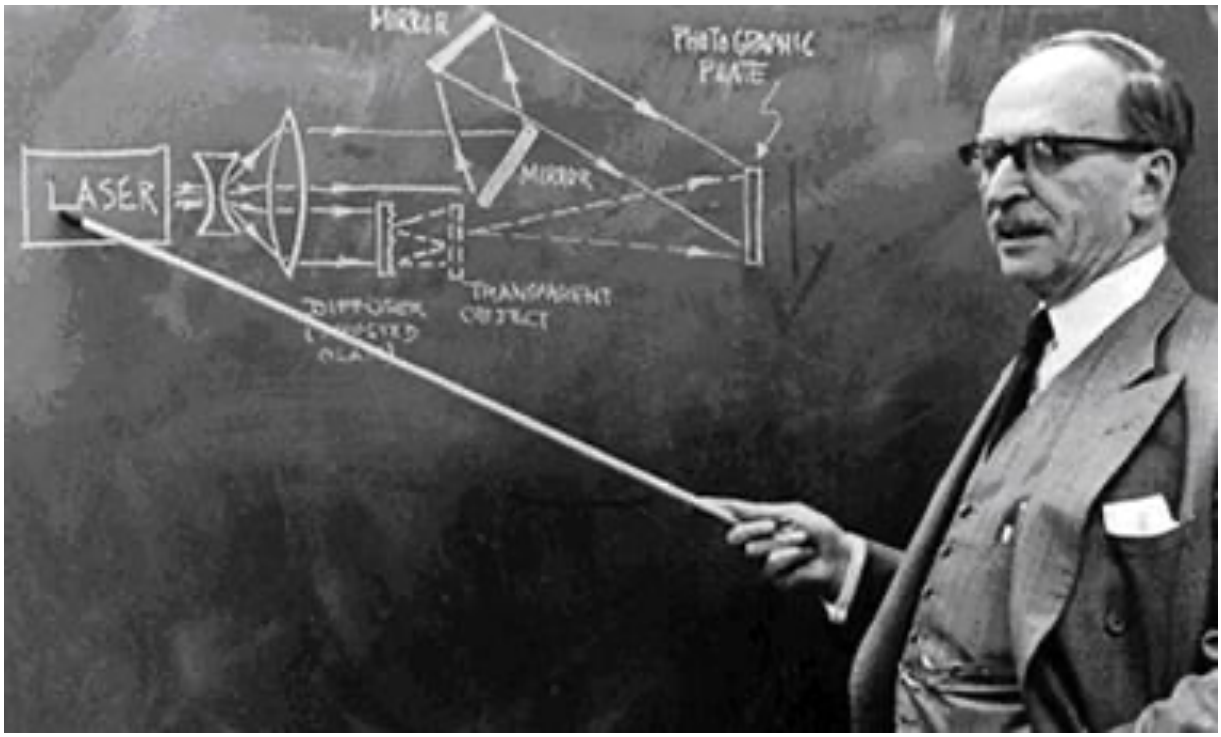


Εικόνα 1 Ο Ιάννης Ξενάκης

Η Granular Synthesis εξελίχθηκε περαιτέρω τις δεκαετίες του 1970 και 1980, με την πρόοδο των υπολογιστών και των ψηφιακών τεχνολογιών. Ο Curtis Roads ήταν από τους πρώτους που πειραματίστηκε εκτενώς με ψηφιακούς κόκκους ήχου, ενώ παράλληλα ανέπτυξε θεωρητικές έννοιες για την επεξεργασία τους (Roads, 2004, σ. 85). Οι ερευνητές Barry Truax και Horacio Vaggione συνέβαλαν επίσης σημαντικά στην ανάπτυξη της Granular Synthesis, εστιάζοντας σε πραγματικού χρόνου εφαρμογές και στην αισθητική διάσταση του κοκκώδους ήχου.

Σήμερα, η Granular Synthesis είναι μια καθιερωμένη τεχνική στη σύνθεση ήχου και στον ηχητικό σχεδιασμό, με εφαρμογές σε μουσικά έργα, sound design, και ψηφιακά όργανα. Η ευελιξία της στην τροποποίηση ηχητικών παραμέτρων προσφέρει ατελείωτες δημιουργικές δυνατότητες, καθιστώντας την μία από τις πιο καινοτόμες και εξερευνητικές μορφές ψηφιακής σύνθεσης.

Η Granular Synthesis είναι μια πρωτοποριακή μέθοδος σύνθεσης ήχου που βασίζεται στην υπόθεση ότι οποιοσδήποτε ήχος μπορεί να αναλυθεί σε μια σειρά από στοιχειώδεις "κόκκους" (grains). Αυτοί οι κόκκοι είναι σύντομοι παλμοί διάρκειας από 1 έως 100 ms, οι οποίοι περιέχουν πληροφορίες τόσο χρονικές όσο και φασματικές.



Εικόνα 2 Ο Dennis Gabor

Η Granular Synthesis προσφέρει ένα ευρύ φάσμα ηχητικών δυνατοτήτων μέσω της τροποποίησης παραμέτρων όπως το μέγεθος του κόκκου, η πυκνότητα, η φάση και η χωρική τοποθέτηση. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους σύνθεσης, η Granular Synthesis δεν βασίζεται σε συνεχείς κυματομορφές, αλλά σε διακριτά ηχητικά γεγονότα, επιτρέποντας την αναδιοργάνωση του ήχου σε μικροχρονική κλίμακα (Roads, 2004, σ. 85).

Η Granular Synthesis είναι μια μέθοδος σύνθεσης ήχου που λειτουργεί σε μικροχρονική κλίμακα, βασιζόμενη στην ιδέα ότι οποιοσδήποτε ήχος μπορεί να αναλυθεί σε μια σειρά από στοιχειώδεις "κόκκους" (grains), καθένας από τους οποίους είναι ένας σύντομος παλμός που περιέχει πληροφορίες τόσο χρονικές όσο και συχνοτικές.

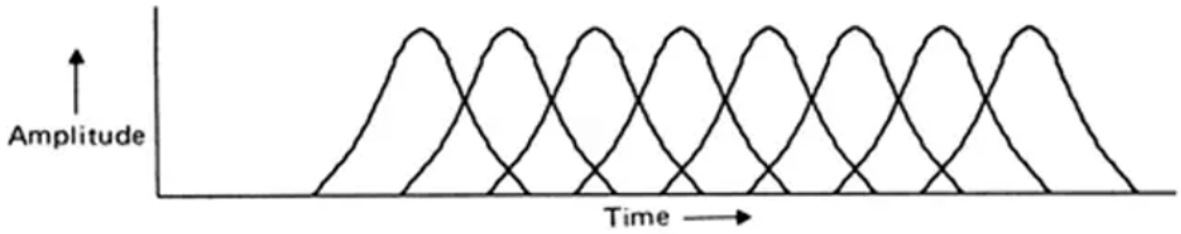
Ο Ιάννης Ξενάκης, ένας από τους πρωτοπόρους αυτής της τεχνικής, συνδύασε τη μαθηματική θεωρία των πιθανοτήτων με τη μουσική σύνθεση, δημιουργώντας έργα που βασίζονται σε στοχαστικές διαδικασίες. Ο ίδιος επέκτεινε αυτή τη θεωρητική βάση και θεωρείται ο εφευρέτης της τεχνικής της granular synthesis. Ο Ξενάκης δημιούργησε κοκκώδεις ήχους χρησιμοποιώντας αναλογικές γεννήτριες τόνων και κοπή ταινιών, όπως φαίνεται στη σύνθεση "Analogique A-B" για ορχήστρα εγχόρδων και ταινία (1959) (Harley, 2004, σ. 112). Η προσέγγιση του Ξενάκη συνδύαζε μαθηματικές θεωρίες και στοχαστικές διαδικασίες, παρέχοντας έναν καινοτόμο τρόπο δημιουργίας ήχου.

Η Granular Synthesis βασίζεται στην ίδια αρχή με τη δειγματοληψία, αλλά τα δείγματα χωρίζονται σε μικρά κομμάτια διάρκειας περίπου 1 έως 100 ms, τα οποία ονομάζονται "κόκκοι". Πολλαπλοί κόκκοι μπορούν να τοποθετηθούν ο ένας πάνω στον άλλο και να αναπαραχθούν σε διαφορετικές ταχύτητες, φάσεις, εντάσεις και συχνότητες, μεταξύ άλλων παραμέτρων (Roads, 2004, σ. 91). Με την αλλαγή του κυματομορφής, του περιβλήματος, της διάρκειας, της χωρικής θέσης και της πυκνότητας των κόκκων, μπορούν να παραχθούν πολλοί διαφορετικοί ήχοι.

1.2 Θεωρητικό Πλαίσιο της Granular Synthesis

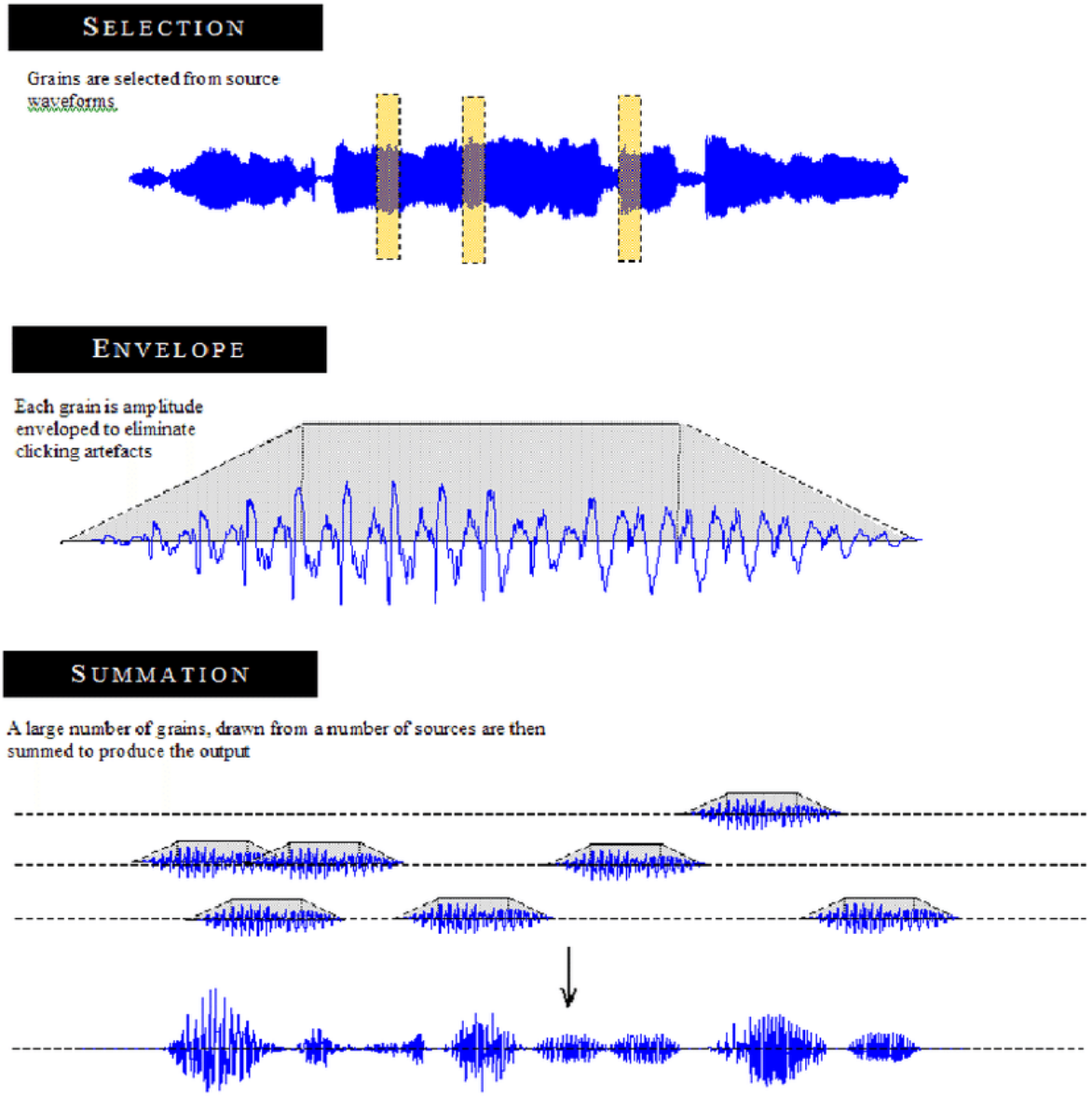
Η Granular Synthesis περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές που επιτρέπουν τη δημιουργία και τον έλεγχο ήχων μέσω της διχαχείρισης των κόκκων. Μερικές από τις βασικές τεχνικές περιλαμβάνουν:

- Σύγχρονη (Synchronous) Granular Synthesis: Σε αυτήν την τεχνική, οι κόκκοι παράγονται με σταθερό ρυθμό, και η συχνότητα του ρυθμού παραγωγής των κόκκων είναι συγχρονισμένη με τη συχνότητα του κυματομορφής του κόκκου. Αυτό οδηγεί σε έναν πιο αρμονικό ήχο, καθώς οι κόκκοι ευθυγραμμίζονται με τις περιόδους του κυματομορφής (Roads, 2004, σ. 95).



Εικόνα 3. Σύγχρονη Granular synthesis

- Ασύγχρονη (Asynchronous) Granular Synthesis: Σε αυτήν την προσέγγιση, οι κόκκοι παράγονται με τυχαίο ή μη σταθερό ρυθμό, χωρίς συγχρονισμό με τη συχνότητα της κυματομορφής. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πιο περίπλοκους και πλούσιους ηχητικούς υφές, καθώς οι κόκκοι δεν ευθυγραμμίζονται τακτικά (Roads, 2004, σ. 98).
- Pitch-Synchronous Granular Synthesis: Σε αυτήν την τεχνική, ο ρυθμός παραγωγής των κόκκων ρυθμίζεται έτσι ώστε να ταιριάζει ακριβώς με τη συχνότητα του κυματομορφής του κόκκου, δημιουργώντας έναν ήχο που είναι συγχρονισμένος με το τονικό ύψος (Roads, 2004, σ. 102).



Εικόνα 4. Παράδειγμα εφαρμογής granular synthesis.

Οι κύριες παράμετροι που επηρεάζουν τον ήχο στην Granular Synthesis περιλαμβάνουν:

- Μέγεθος κόκκου (Grain Size): Η διάρκεια κάθε κόκκου, η οποία μπορεί να κυμαίνεται από 1 έως 100 ms. Το μέγεθος του κόκκου επηρεάζει την αντίληψη του ήχου, με μικρότερους κόκκους να παράγουν πιο τραχείς ήχους και μεγαλύτερους κόκκους να δημιουργούν πιο ομαλούς ήχους (Roads, 2004, σ. 105).
- Πυκνότητα (Density): Ο αριθμός των κόκκων που παράγονται ανά μονάδα χρόνου. Η αύξηση της πυκνότητας μπορεί να οδηγήσει σε πιο πλούσιες ηχητικές υφές, ενώ η μείωση της πυκνότητας μπορεί να δημιουργήσει πιο αραιούς ήχους (Roads, 2004, σ. 110).
- Περιβάλλουσα έντασης (Envelope): Το σχήμα του περιβλήματος κάθε κόκκου, το οποίο καθορίζει την κατανομή της ενέργειας του κόκκου στον χρόνο. Διαφορετικά περιβλήματα μπορούν να επηρεάσουν την αντίληψη της επίθεσης και της απόσβεσης του ήχου (Roads, 2004, σ. 115).
- Διάρκεια (Duration): Ο συνολικός χρόνος που διαρκεί η παραγωγή των κόκκων. Η διάρκεια μπορεί να επηρεάσει την εξέλιξη του ήχου και την αντίληψη της μορφής του (Roads, 2004, σ. 120).
- Συχνότητα και Φάση (Frequency and Phase): Οι συχνότητες και οι φάσεις των κόκκων μπορούν να μεταβάλλονται για να παραχθούν διαφορετικές ηχητικές υφές και φασματικές ιδιότητες (Roads, 2004, σ. 125).

1.3 Τεχνικές Προσεγγίσεις στην Κοκκώδη Σύνθεση

Η κοκκώδης σύνθεση παρέχει στους συνθέτες τη δυνατότητα να δημιουργήσουν νέες, μοναδικές ηχητικές υφές, κάτω από το επίπεδο της νότας. Με την ψηφιακή τεχνολογία, είναι πλέον εφικτός ο χειρισμός του ήχου στο μικροακουστικό επίπεδο, επιτρέποντας όχι μόνο την αναδόμηση, αλλά και την αποδόμηση του ήχου σε πραγματικό χρόνο. Ο τομέας συνεχίζει να εξελίσσεται, προσφέροντας πλήθος δημιουργικών δυνατοτήτων (Roads, 2001)

1.3.1 Ανεξάρτητη Αλλαγή Ταχύτητας και Ύψους (Pitch Bend)

Η κοκκώδης σύνθεση επιτρέπει την επιμήκυνση ή συμπίεση του ήχου χωρίς να επηρεάζεται το τονικό του ύψος. Σε αντίθεση με τα αναλογικά μαγνητόφωνα, τα οποία κατά την επιτάχυνση ή επιβράδυνση μεταβάλλουν και τη συχνότητα του ήχου, οι σύγχρονες ψηφιακές τεχνικές δίνουν τη δυνατότητα ανεξάρτητου χειρισμού ταχύτητας και ύψους. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διάσπαση του ήχου σε μικροσκοπικούς κόκκους και την αναδιοργάνωσή τους, γεμίζοντας τα ενδιάμεσα κενά με επανάληψη όμοιων κόκκων (Roads, 2001).

Ο Stockhausen είχε προβλέψει αυτή τη διαδικασία ήδη από το 1972, πολύ πριν καταστεί τεχνικά εφικτή (Stockhausen, 1972).

Αντίστοιχα, η κοκκώδης σύνθεση επιτρέπει την αλλαγή του τονικού ύψους χωρίς να επηρεάζεται η διάρκεια του ήχου.

1.3.2 Σύνθεση Παλμών (Pulsar Synthesis)

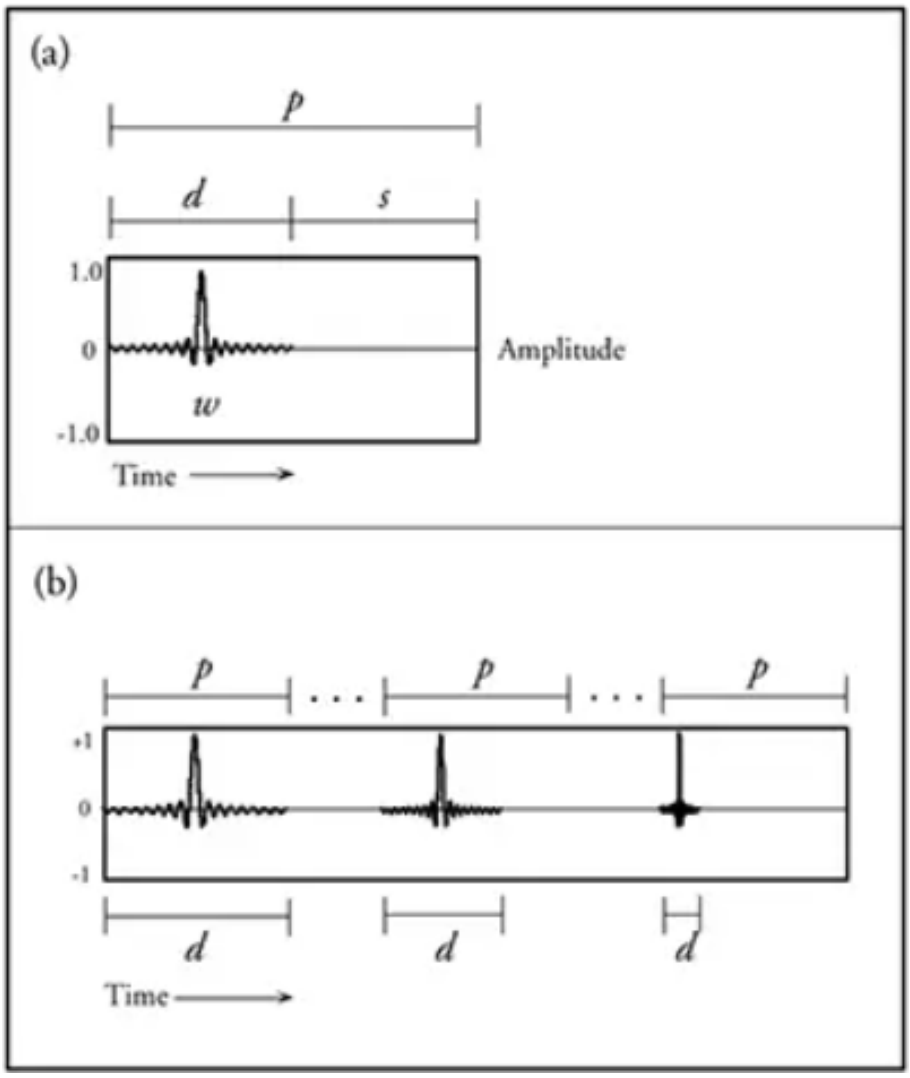
Η σύνθεση παλμών βασίζεται στη δημιουργία ηλεκτρονικών παλμών και τονικών συχνοτήτων. Θεμελιωτές της ήταν οι Karlheinz Stockhausen και Gottfried Michael Koenig (Koenig, 1971). Αυτή η τεχνική γεφυρώνει την ακουστική αντίληψη του ρυθμού και του τονικού ύψους, ανάλογα με την ταχύτητα και την περιοδικότητα των παλμών.

Ο Hermann von Helmholtz (1885) παρατήρησε ότι η αντίληψη του ύψους γίνεται δυνατή περίπου στα 40 Hz. Ο Stockhausen θεωρητικοποίησε τη συνέχεια μεταξύ ρυθμού και τόνου, αναγνωρίζοντας είκοσι μία χρονικές οκτάβες από 1/16 του δευτερολέπτου έως και μία ώρα (Stockhausen, 1972). Ο Roads (2001) επεκτείνει αυτή την ιδέα, δείχνοντας τη σημασία της για τη σύγχρονη μικροσύνθεση.

1.3.3 Σύνθεση Μικροσειρών (Trainlet Synthesis) και σύννεφα ακολουθιών

Η σύνθεση trainlet αφορά μια σειρά από ηχητικούς κόκκους και εστιάζει στην οργάνωση του ήχου σε χρονική κλίμακα φράσεων. Οι κόκκοι ακολουθούνται από διαστήματα σιωπής, τα οποία καθορίζουν την περιοδικότητα. Αυτή η τεχνική επιτρέπει τη δημιουργία τόσο τονικών όσο και θορυβωδών υφών (Roads, 2001). Όταν οι κόκκοι έχουν παρόμοιες συχνότητες, προκύπτει μουσικό ύψος, ενώ η διαφοροποίηση οδηγεί σε ζώνες συχνοτήτων ήχους, όπως

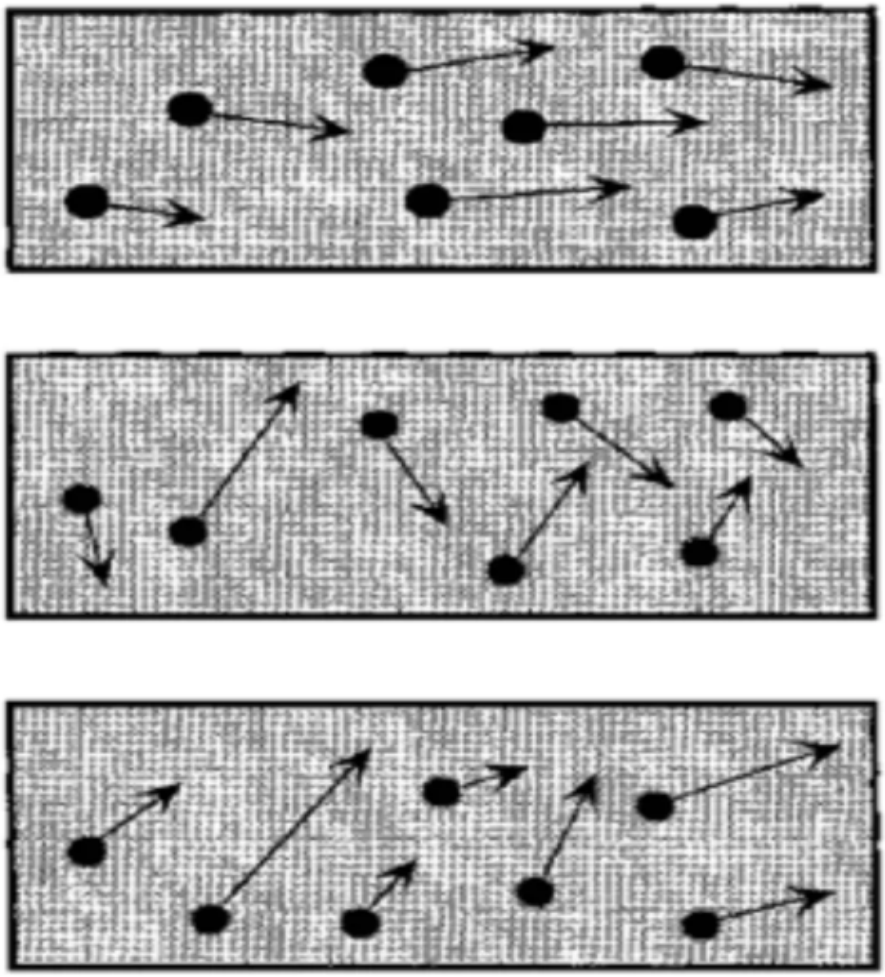
στα φυσικά περιβάλλοντα (Roads, 2001). Η διαφοροποίηση της διάρκειας και της καθυστέρησης μεταξύ των κόκκων επιτρέπει την ανάδυση ρυθμικών σχέσεων. Η προσθήκη χωρικών παραμέτρων και καμπυλών πλάτους οδηγεί σε σύνθετες ηχητικές δομές με πλούσια ακουστικά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 5 Pulse train synthesis.

1.3.4 Σύνθεση Glisson

Η τεχνική Glisson, εμπνευσμένη από τον Ξενάκη, προσεγγίζει κάθε κόκκο ως διάνυσμα με ανεξάρτητη πορεία συχνότητας. Οι κόκκοι τοποθετούνται στο πεδίο χρόνου-συχνότητας είτε συγχρονισμένα είτε ασύγχρονα. Η τεχνική αυτή δίνει δυνατότητες για ηχητικά τοπία με μεγάλη πολυπλοκότητα και δυναμική (Xenakis, 1992).



Εικόνα 6 Σύνθεση Glisson

1.3.5 Φασματική Σύνθεση Κόκκων (Spectral Grain Synthesis)

Η φασματική σύνθεση κόκκων (spectral grain synthesis) είναι μια μέθοδος που μεταμορφώνει το ηχητικό χρώμα (timbre), προσθέτοντας μικρούς ημιτονοειδείς παλμούς («κόκκους»). Αυτοί οι κόκκοι μπορούν να ενισχύσουν, να μετατοπίσουν ή να διαστρέψουν

συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων στον ήχο. Παράλληλα, οι αρμονικές συχνότητες μπορούν να τροποποιηθούν — είτε να «κολλήσουν» σε μια αρμονική σειρά, είτε να τεντωθούν εκτός αυτής — με αποτέλεσμα οι μουσικοί ήχοι να χάνουν σταδιακά την καθαρότητα τους και να μετατρέπονται σε ένα θορυβώδες τοπίο (Wishart, 1996).

1.4 Πεδία Εφαρμογής της Granular Synthesis

Η Granular Synthesis έχει βρει εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα μουσικών ειδών και καλλιτεχνικών έργων, καθώς προσφέρει μοναδικές ηχητικές υφές και δυνατότητες ηχητικού πειραματισμού. Ορισμένες από τις κύριες εφαρμογές της περιλαμβάνουν:

1.4.1 Σχεδιασμός ήχου Sound design

Η Granular Synthesis χρησιμοποιείται εκτενώς στον σχεδιασμό ήχου για κινηματογράφο, τηλεόραση και video games, όπου απαιτούνται σύνθετες και ατμοσφαιρικές ηχητικές υφές (Collins, 2013, σ. 87). Η δυνατότητα δημιουργίας ηχοτοπίων μέσω της αναδιάταξης και μετατροπής υπαρχόντων ήχων επιτρέπει στους sound designers να δημιουργούν νέους, καινοτόμους ήχους.

1.4.2 Μουσική σύνθεση

Πολλοί σύγχρονοι συνθέτες χρησιμοποιούν τη Granular Synthesis για να δημιουργήσουν πολυδιάστατες αρμονικές και ηχοχρωματικές υφές. Ένα παράδειγμα είναι το έργο "Sculpture" του Curtis Roads, στο οποίο χρησιμοποιούνται χιλιάδες κόκκοι για τη δημιουργία πυκνών ηχητικών μαζών (Roads, 2004, σ. 210). Άλλοι συνθέτες όπως οι Trevor Wishart και Horacio Vaggione έχουν επίσης χρησιμοποιήσει την τεχνική για την εξερεύνηση νέων ηχητικών μορφών και αφηρημένων δομών.

1.4.3 Ηχητική τέχνη (sound art)

Καλλιτέχνες όπως ο Trevor Wishart έχουν χρησιμοποιήσει τη Granular Synthesis για τη δημιουργία ηχητικών εγκαταστάσεων που αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον και το κοινό (Wishart, 1996, σ. 56). Αυτές οι εγκαταστάσεις συχνά εστιάζουν στην αντίληψη του χώρου και του χρόνου μέσω της διάσπασης και της ανασύνθεσης των ηχητικών κόκκων.

1.4.4 Live performance

Στην ηλεκτροακουστική μουσική, η Granular Synthesis χρησιμοποιείται για αυτοσχεδιασμούς σε πραγματικό χρόνο μέσω λογισμικών όπως τη Max MSP και το Super Collider. Οι καλλιτέχνες μπορούν να ελέγχουν δυναμικά παραμέτρους όπως το μέγεθος του κόκκου, την πυκνότητα και την τοποθέτηση στον χώρο, δημιουργώντας μοναδικές και αυθόρμητες ηχητικές εμπειρίες.

1.4.5 Ψηφιακά όργανα και Plugins

Πολλά ψηφιακά όργανα και plugins χρησιμοποιούν Granular Synthesis, όπως τα Absynth, Omnisphere και Padshop, προσφέροντας δυνατότητες δημιουργίας μοναδικών patches και ηχητικών τοπίων (Collins, 2013, σ. 92). Η ευελιξία αυτών των εργαλείων επιτρέπει στους μουσικούς να εξερευνήσουν νέες ηχητικές δυνατότητες πέρα από τους περιορισμούς των παραδοσιακών οργάνων.

1.5 Ακουστική Αντίληψη της Granular Synthesis

Η Granular Synthesis δεν είναι απλώς μια τεχνική σύνθεσης ήχου, αλλά επηρεάζει σημαντικά και τον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε τον ήχο και τη μουσική. Η φύση της κοκκώδους δομής του ήχου δημιουργεί μοναδικές ακουστικές εμπειρίες που δεν μπορούν να παραχθούν με παραδοσιακές μεθόδους σύνθεσης.

1.5.1 Αντίληψη του Ήχου και του Χρόνου

Η Granular Synthesis προκαλεί την ακουστική αντίληψη, καθώς ο χρόνος και η συχνότητα αλληλεπιδρούν σε μικροχρονική κλίμακα. Οι κόκκοι ήχου, όταν αναπαράγονται σε υψηλές πυκνότητες, γίνονται αντιληπτοί ως συνεχείς ήχοι, ενώ σε χαμηλότερες πυκνότητες μπορεί να ακουστούν ως ξεχωριστά ηχητικά γεγονότα (Roads, 2001, σ. 62). Αυτή η μετάβαση από το μικροσκοπικό στο μακροσκοπικό επίπεδο του ήχου οδηγεί σε νέες αισθητικές εμπειρίες, όπου ο χρόνος και η συχνότητα γίνονται αντιληπτά ως ενιαία οντότητα.

1.5.2 Επίδραση στην ακουστική αντίληψη

Οι κόκκοι ήχου μπορούν να διασκορπιστούν στον ακουστικό χώρο, δημιουργώντας πολυδιάστατα ηχοτοπία. Αυτή η διάσταση του ήχου σχετίζεται με την τοποθέτηση των κόκκων στον χώρο και την αντιληπτική επίδραση της ηχητικής πυκνότητας και κατεύθυνσης. Η Granular Synthesis επιτρέπει την ακριβή τοποθέτηση των κόκκων στον ακουστικό χώρο, προσφέροντας νέες δυνατότητες στον τομέα της χωρικής σύνθεσης (Wishart, 1996, σ. 84).

1.5.3 Αισθητικές Προεκτάσεις

Η Granular Synthesis παρέχει τη δυνατότητα εξερεύνησης νέων αισθητικών προσεγγίσεων στη μουσική σύνθεση. Η χρήση ακανόνιστων και μη προβλέψιμων κόκκων ήχου μπορεί να προκαλέσει αίσθηση τυχαιότητας και αβεβαιότητας, δημιουργώντας αφηρημένες ηχητικές φόρμες (Xenakis, 1992, σ. 34).

1.5.4 Συγκριτική Ανάλυση με Παραδοσιακές Τεχνικές

Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές τεχνικές σύνθεσης, όπου ο ήχος αντιμετωπίζεται ως συνεχές κύμα, η Granular Synthesis αντιλαμβάνεται τον ήχο ως σειρά από διακριτά γεγονότα. Αυτό αλλάζει ριζικά την αισθητική αντίληψη της μουσικής, καθώς οι συνθέτες μπορούν να ελέγχουν τις μικροχρονικές λεπτομέρειες του ήχου με πρωτόγνωρο τρόπο (Roads, 2004, σ. 182).

2 Υλοποίηση του Αλγόριθμου Granoudi Project

2.1 Εισαγωγή

Η υλοποίηση του αλγορίθμου Granoudi Project βασίζεται σε μια καινοτόμο προσέγγιση granular σύνθεσης που συνδυάζει παραδοσιακές τεχνικές με πρωτότυπες λύσεις. Το σύστημα αποτελείται από τρία βασικά συστατικά στοιχεία: ένα σύστημα κυκλικής ηχογράφησης, μια αρχιτεκτονική πολλαπλών μηχανών αναπαραγωγής και έναν μηχανισμό χωρικής κατανομής.

Το σύστημα κυκλικής ηχογράφησης χρησιμοποιεί ένα buffer διάρκειας 1 δευτερολέπτου, όπου κάθε νέα ηχογράφηση αντικαθιστά την προηγούμενη, διατηρώντας πάντα την πιο πρόσφατη ηχητική πληροφορία. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει τη συνεχή ανανέωση του ηχητικού υλικού στο buffer και όταν ο αλγόριθμος παραμένει σε κατάσταση εγγραφής έχει ως αποτέλεσμα την επαναλαμβανόμενη κυκλική εγγραφή του. Οι μηχανές αναπαραγωγής οργανώνονται ως ανεξάρτητες διεργασίες που μπορούν να ενεργοποιηθούν ταυτόχρονα μέσω MIDI πρωτοκόλλου, με κάθε μηχανή να διαθέτει εικονικό δείκτη ανάγνωσης που κινείται στον κυκλικό buffer με ρυθμιζόμενη ταχύτητα.

Ο έλεγχος του τονικού ύψους πραγματοποιείται μέσω MIDI controller τεσσάρων οκτάβων, με την τεχνική pitch shifting να βασίζεται στην ολίσθηση του δείκτη ανάγνωσης. Η ταχύτητα ανάγνωσης καθορίζει απευθείας το τονικό ύψος, όπου διπλάσια ταχύτητα οδηγεί σε υποδιπλασιασμό του ύψους. Οι μεταβολές προσαρμόζονται με ακρίβεια στα δυτικά μουσικά διαστήματα, εξασφαλίζοντας μουσικά ορθά αποτελέσματα. Στην πολυφωνική αναπαραγωγή, κάθε πάτημα πλήκτρου ενεργοποιεί πολλαπλές ανεξάρτητες μηχανές αναπαραγωγής που λειτουργούν ταυτόχρονα και κυκλικά, με τη χρονική καθυστέρηση (~20 msec) μεταξύ μηχανών να καθορίζει τον βαθμό κοκκώδους υφής του παραγόμενου ήχου.

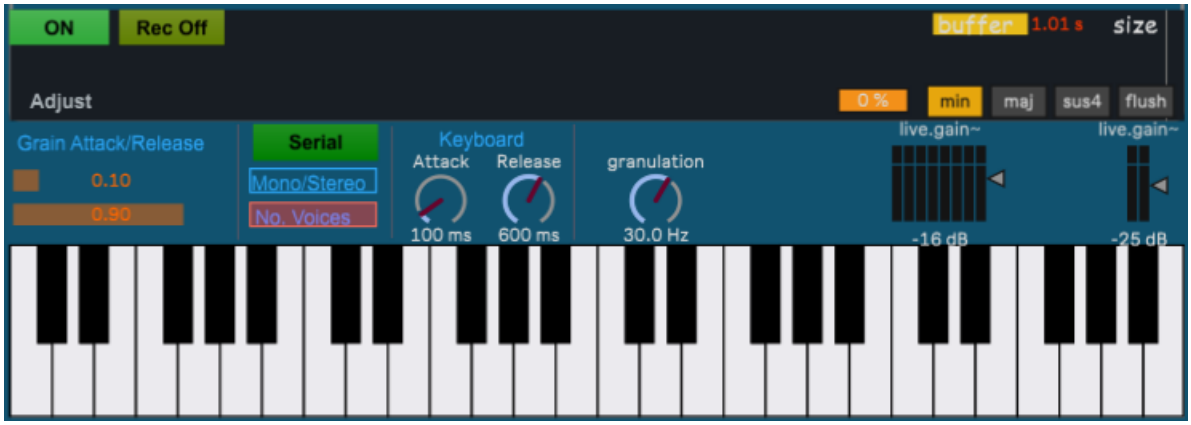
Η χωρική κατανομή υλοποιείται με δύο βασικούς τρόπους: για οκταφωνικά συστήματα, κάθε μηχανή ανατίθεται σε διαφορετικό κανάλι με κυκλική ή τυχαία σειρά, ενώ για στερεοφωνικές διατάξεις, οι κόκκοι αναπαράγονται εναλλάξ στα αριστερά/δεξιά ηχεία με ελαφριά καθυστέρηση, δημιουργώντας την ψευδαίσθηση χωρικής κίνησης και εμβάθυνσης.

Σε πρακτικό επίπεδο, ο αλγόριθμος μπορεί να λειτουργήσει ως ευέλικτος granular sampler, επιτρέποντας ηχογράφηση και αναπαραγωγή οποιουδήποτε τύπου ήχου με δυνατότητα

επιλογής συγκεκριμένων τμημάτων του δείγματος και ρύθμισης της περιβάλλουσας έντασης. Για παράδειγμα, η αναπαραγωγή μόνο του sustain μέρους ενός χτυπήματος ποτηριού δημιουργεί πλούσια μελωδική βάση. Σε εφαρμογές εγκαταστάσεων τέχνης, το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει ως αυτόνομη ηχητική βάση με συνεχή κυκλική ηχογράφηση και αναπαραγωγή προκαθορισμένων συγχορδιών, ενώ ως διαδραστικό μουσικό όργανο συνδυάζει δυναμικό μικρόφωνο, πεντάλ και MIDI controller για πραγματικό χρόνο μετατροπής της φωνής του μουσικού.

Η σημασία του αλγορίθμου έγκειται στην ικανότητά του να συνδυάζει εκτεταμένη granular σύνθεση, προηγμένη χωρική διάταξη και διαδραστικότητα, ανοίγοντας νέους δρόμους τόσο για μουσική δημιουργία όσο και για ερευνητικές εφαρμογές στον τομέα της ψυχοακουστικής και της σχεδίασης ηχητικών περιβαλλόντων. Μελλοντικές επεκτάσεις θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση τεχνικών machine learning για αυτόματη δημιουργία συγχορδιών και εφαρμογές σε VR/AR περιβάλλοντα.

2.2 Οδηγίες Χρήσης



Εικόνα 7. Οθόνη υποδοχής Presentation mode

2.2.1 Γενικές Οδηγίες και Επεξήγηση του Presentation Mode

Όταν ο χρήστης ανοίγει το αρχείο Granoudi MAIN.maxpat, εμφανίζεται ένα πληκτρολόγιο (keyboard) με έναν buffer τοποθετημένο ακριβώς από πάνω. Ο αλγόριθμος ενεργοποιείται σε λειτουργία On και είναι έτοιμος να ξεκινήσει ηχογράφηση μόλις πατηθεί το κουμπί REC.

- **Κατάσταση Εγγραφής (Recording State):**

  Όταν ο αλγόριθμος βρίσκεται σε λειτουργία εγγραφής, ο buffer γεμίζει και ανανεώνεται με νέα δείγματα ήχου κάθε 1 δευτερόλεπτο (default ρύθμιση). Ο χρήστης μπορεί να προσαρμόσει το μέγεθος του buffer σε λιγότερο από 1 δευτερόλεπτο ανάλογα με τις ανάγκες του.

- **Επιλογή και Αναπαραγωγή Τμήματος του Buffer:**
  Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα συγκεκριμένο τμήμα του buffer για αναπαραγωγή, προσφέροντας δυνατότητες δημιουργικής επεξεργασίας.

- **Έλεγχος REC μέσω Πεντάλ (Pedal Control):**
  Η λειτουργία Rec On/Off μπορεί να ελεγχθεί και μέσω πεντάλ, ιδανικό όταν το Granoudi χρησιμοποιείται ως ζωντανό μουσικό όργανο.

- **Αναπαραγωγή και Παραμέτροι Ήχου:**
  Η αναπαραγωγή ξεκινά μόνο όταν πατιούνται νότες στο πληκτρολόγιο. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ρυθμίσει:
  - Attack & Release των κόκκων (grains) καθώς και των νοτών που παίζονται.
  - Σειρά Αναπαραγωγής (Serial/Random) σε οκταφωνικό σύστημα:
    - Serial: Οι κόκκοι αναπαράγονται με τη σειρά σε κάθε ηχείο.
    - Random: Οι κόκκοι αναπαράγονται τυχαία στα ηχεία.
  - Στερεοφωνική/Μονοφωνική Αναπαραγωγή: Σε στερεοφωνική διάταξη, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μεταξύ μονοφωνικού ή ψευδο-στερεοφωνικού (pseudostereo) ήχου.

- **Ρυθμός Granulation (Trigger Rate):**

  Ο χρήστης ελέγχει τον χρόνο αναπαραγωγής των κόκκων μέσω του knob granulation, το οποίο καθορίζει τη συχνότητα αναπαραγωγής σε Hz (πόσες φορές αναπαράγεται ο κόκκος ανά δευτερόλεπτο).

- **Έλεγχος Έντασης (Volume Control):**

  Υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης της έντασης τόσο για οκταφωνικό όσο και για στερεοφωνικό σύστημα.

- **Πρόσθετες Λειτουργίες:**
  - Templates Συγχορδιών: 3 προκαθορισμένα κουμπιά για γρήγορη πρόσβαση σε συγχορδίες.
  - Flush: Κουμπί που μηδενίζει τον buffer και καθαρίζει όλες τις ενεργές νότες στο πληκτρολόγιο.

- **Προστασία Ήχου (Safety Limiter):**
  Ένας ενσωματωμένος limiter αυτόματα μειώνει την ένταση κατά 20dB σε περίπτωση υπερβολικής ενίσχυσης, προστατεύοντας τα ηχεία και την ακοή του χρήστη.

2.2.2 Οδηγίες για τη Λειτουργία ως Sound Installation

Για τη χρήση του Granoudi ως διαδραστικής ηχητικής εγκατάστασης, απαιτούνται:

- Ένα (1) πυκνωτικό μικρόφωνο υψηλής ευαισθησίας, τοποθετημένο σε απόσταση από τον χώρο ακρόασης.
- Οκτώ (8) ηχεία τοποθετημένα κυκλικά γύρω από το χώρο για οκταφωνική διάταξη.

Βήματα Λειτουργίας:

1. Με το άνοιγμα του patch, ο χρήστης πατάει το Rec για να ξεκινήσει η κυκλική εγγραφή στον buffer.
2. Μπορεί να κρατήσει πατημένες επιλεγμένες νότες στο πληκτρολόγιο, δημιουργώντας αυτόματες χαοτικές ηχητικές δομές μέσω granular synthesis.

3. Το σύστημα λειτουργεί αυτόνομα, δημιουργώντας μια δυναμική ηχητική ατμόσφαιρα που ανταποκρίνεται στους ήχους του περιβάλλοντος.

2.2.3 Οδηγίες για τη Λειτουργία ως Μουσικό Όργανο

Για τη χρήση του Granoudi ως πραγματικού χρόνου μουσικού οργάνου, απαιτούνται:

- MIDI Keyboard (αναγνωρίσιμο από τη Max/MSP).
- Πεντάλ (συνδεδεμένο στο keyboard) για έλεγχο της εγγραφής (Rec On/Off).
- 1 πυκνωτικό μικρόφωνο (ιδανικό για ζωντανή ηχογράφηση).
- 8 ηχεία (οκταφωνικό setup) ή 2 ηχεία (στερεοφωνικό) ή ακουστικά.

Βήματα Λειτουργίας:

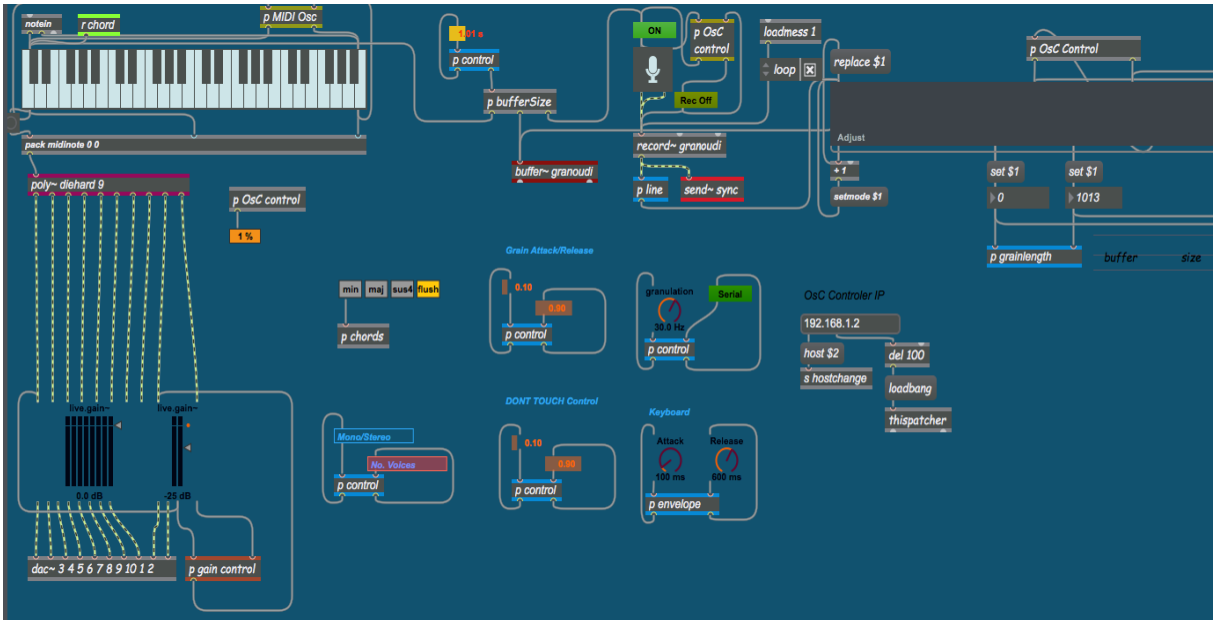
1. Ο χρήστης κρατά πατημένο το πεντάλ για να ξεκινήσει η εγγραφή στον buffer.
2. Ταυτόχρονα, μπορεί να παίζει συγχορδίες ή μελωδίες στο πληκτρολόγιο.
3. Αφήνοντας το πεντάλ, η εγγραφή σταματά και ο χρήστης μπορεί να συνεχίσει να παίζει με βάση το τελευταίο ηχογραφημένο buffer.
4. Μέσω των ρυθμίσεων granulation, attack/release, και σειράς αναπαραγωγής, δημιουργείται ένας δυναμικός και εξπρεσιονιστικός ήχος.

2.3 Τεχνική ανάλυση του Αλγόριθμου

Σε αυτήν την ενότητα γίνεται τεχνική ανάλυση του αλγόριθμου όπως εκτελείται από το περιβάλλον της Max/MSP

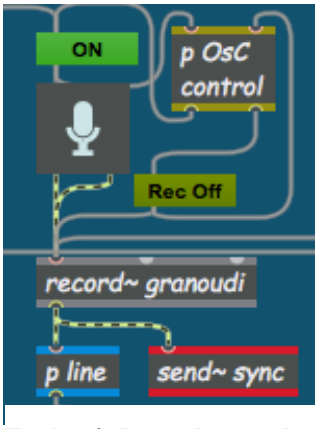
2.3.1 Κεντρικός αλγόριθμος

Ο κεντρικός αλγόριθμος συγκροτεί όλους τους υποαλγόριθμους και τις παραμέτρους σε ένα παράθυρο. Ο αλγόριθμος φορτώνεται ως πηγαίος κώδικας από το αρχείο liveG.maxpat και ταυτόχρονα φορτώνονται και οι υποαλγόριθμοι diehard.maxpat και panida.maxpat.



Εικόνα 8 Patching mode

Στον κεντρικό αλγόριθμο το μοναδικό μονοφωνικό [buffer~] ονομάζεται granoudi και αρχικοποιείται στο χρόνο 1000 msec. Υπάρχει δυνατότητα αλλαγής του χρόνου του buffer από το χρήστη.



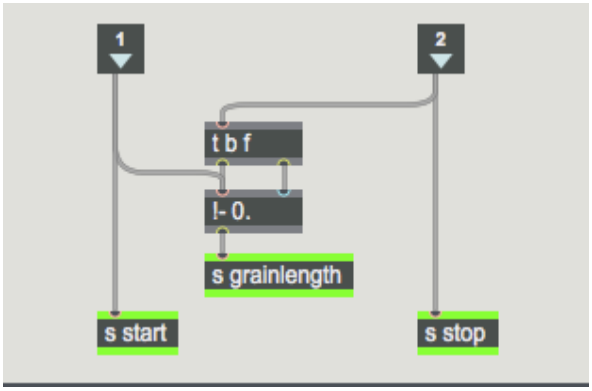
Εικόνα 9 Record control.

Η εγγραφή γίνεται μέσω του αντικειμένου record~ και αποθηκεύει ηχητική πληροφορία στο [buffer~] granoudi. Η εγγραφή γίνεται στα 44100 samples και η διάρκειά της ορίζεται από το buffer στα 1000 msec. Όσο ο αλγόριθμος βρίσκεται σε κατάσταση εγγραφής (rec On), το [record~] θα τοποθετεί δείγματα ένα προς ένα στο [buffer~] granoudi και όταν αυτό γεμίσει, η εγγραφή συνεχίζει αντικαθιστώντας τα πρώτα δείγματα έως ότου γεμίσει πάλι το [buffer~] κ.ο.κ. Με αυτόν τον τρόπο η εγγραφή γίνεται κυκλικά. Ταυτόχρονα το αντικείμενο [record~] στέλνει και ένα σήμα με τιμές από μηδέν έως ένα, παράλληλα με την πρόοδο της εγγραφής, το οποίο χρησιμοποιείται για συγχρονισμό στις μηχανές αναπαραγωγής όπως θα αναφερθεί και παρακάτω

Η κυματομορφή όπως επίσης και η γραμμή προόδου της εγγραφής γίνονται ορατά στο αντικείμενο [waveform~]. Στον άξονα x φαίνεται ο χρόνος του buffer και στον άξονα y η ένταση. Ο χρήστης μπορεί να διαλέξει και μέρος της κυματομορφής που θα αναπαραχθεί. Έχει τη δυνατότητα επίσης να το κάνει την στιγμή που ο αλγόριθμος βρίσκεται σε κατάσταση αναπαραγωγής, χωρίς να δημιουργείται κανένα πρόβλημα στο ακουστικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 11 Αντικείμενο waveform με περιεχόμενο Buffer

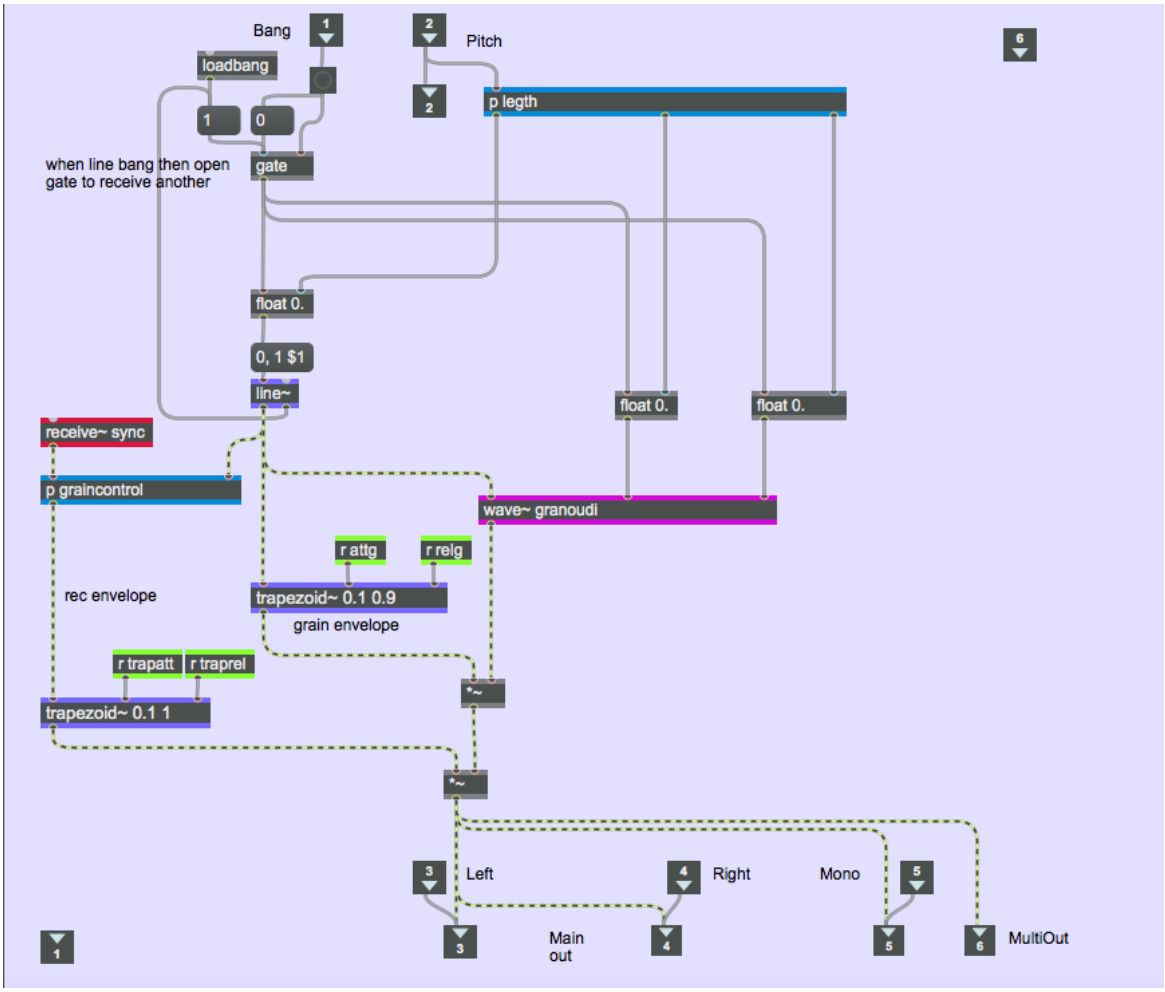


Εικόνα 10 Ελεγχός τιμών waveform

Το αντικείμενο [waveform~] στέλνει επίσης τις τιμές του χρόνου έναρξης και λήξης του επιλεγμένου μέρους του ηχογραφημένου ήχου μέσα στο buffer. Με μια απλή αφαίρεση υπολογίζεται η διάρκειά του. Οι τιμές αυτές είναι απαραίτητες για τον αλγόριθμο αναπαραγωγής

2.3.2 Υποαλγόριθμος αναπαραγωγής [panida~]

Ο υποαλγόριθμος [panida~] είναι υπεύθυνος για την αναπαραγωγή του αποθηκευμένου, στην προσωρινή μνήμη, ήχου (κόκκου)

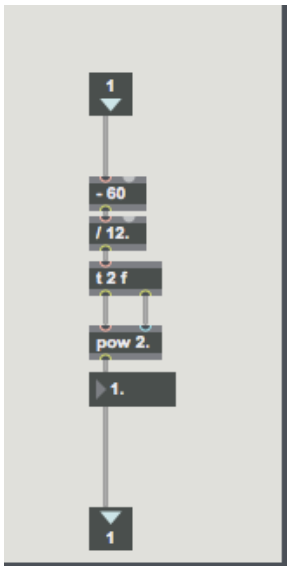


Εικόνα 12 Υποαλγόριθμος Panida

Το αντικείμενο [wave~] είναι αυτό που αναπαράγει τον ήχο σύμφωνα με κάποιες παραμέτρους. Από τον κεντρικό αλγόριθμο φορτώνονται οι τιμές της έναρξης και λήξης του μέρους του ήχου που θα αναπαραχθεί από το buffer. Οι τιμές αυτές φορτώνονται στα αντικείμενα float πρώτα περιμένοντας την εντολή έναρξης με τη μορφή bang.

Ο κεντρικός αλγόριθμος στέλνει επίσης και το τονικό ύψος με το οποίο θα αναπαραχθεί ο αποθηκευμένος ήχος. Ο αλγόριθμος αναπαραγωγής, για να διαφοροποιήσει το τονικό ύψος του ήχου, θα αλλάξει την ταχύτητα που θα αναπαραχθεί. Αυτό μεταφράζεται στον αλγόριθμο ως αλλαγή του χρόνου που θα διαβαστεί το buffer.

Το αντικείμενο [wave~] για να δουλέψει χρειάζεται ένα άλλο αντικείμενο [line~] το οποίο στέλνει σήμα με τιμές ανάμεσα σε μηδέν και ένα. Αυτό μεταφράζεται στο αντικείμενο [wave~] ως εξής: Η τιμή μηδέν αντιπροσωπεύει την αρχή και η τιμή ένα, το τέλος του buffer. Αρχή και τέλος εννοώντας τις τιμές έναρξης και λήξης του αποθηκευμένου ήχου. Το αντικείμενο [line~] δέχεται επίσης την τιμή που ορίζει το χρόνο που θα πραγματοποιηθεί η μετάβαση από μηδέν έως ένα. Με αυτόν τον τρόπο ορίζεται το τονικό ύψος που θα αναπαραχθεί ο αποθηκευμένος ήχος. Για παράδειγμα, διπλάσιος χρόνος αναπαραγωγής σημαίνει υποδιπλάσιο τονικό ύψος.



Εικόνα 13 Υποαλγόριθμος αλλαγής κλίμακας.

Οι τιμές τονικού ύψους δίνονται από το keyboard οι οποίες μετατρέπονται κατάλληλα ώστε σε συνάρτηση με το χρόνο να δίνεται το σωστό τονικό ύψος. Αρχικά η τονική θεωρείται η

νότα Ντο στην τρίτη οκτάβα η οποία στο MIDI πρωτόκολλο δίνει την τιμή 60. Αφαιρώντας 60 η τιμή αρχικοποιείται στο μηδέν. Αν πατηθεί η νότα Ντο στην τέταρτη οκτάβα τότε η τιμή μετά την αφαίρεση θα είναι 12, μια οκτάβα πάνω. Οι τιμές του keyboard διαιρούνται με το δώδεκα ώστε να χωριστεί η οκτάβα σε δώδεκα ημιτόνια. Συνεπώς ως έξοδος θα είναι οι τιμές 1 για τονική 2 για οκτάβα πάνω, 0,5 για οκτάβα κάτω όπως επίσης και τιμές για όλα τα ενδιάμεσα διαστήματα.

$$Τιμήγιατονικούύψος = 2^{(midinote-60)/12}$$

Αν διαιρεθεί ο χρόνος του κόκκου με την τιμή που προέκυψε από την παραπάνω συνάρτηση τότε προκύπτει η διάρκεια που θα πρέπει να αναπαραχθεί ο κόκκος ώστε να ταιριάξει με το συγκεκριμένο τονικό ύψος.

$$Διάρκειααναπαραγωγήςστοεπιθυμητότονικούύψος = \frac{διάρκειατουκόκκουστηντονική}{τιμήτονικούύψους}$$

Παράδειγμα: Υποθέτουμε ότι έχει ηχογραφηθεί ένας ήχος 500 msec και θέλουμε να αναπαραχθεί μία οκτάβα παραπάνω. Από το keyboard θα πρέπει να δοθεί η νότα Ντο στην τέταρτη οκτάβα, δηλαδή ο αριθμός 72. Εφαρμόζοντας τις παραπάνω συναρτήσεις έχουμε:

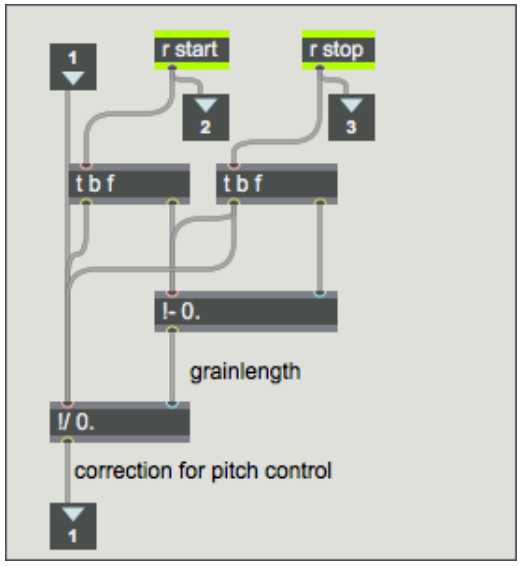
$$Τιμήγιατονικούύψος = 2^{(72-60)/12}$$

$$Τιμήγιατονικούύψος = 2$$

$$Διάρκειααναπαραγωγήςστοεπιθυμητότονικούύψος = \frac{500}{2}$$

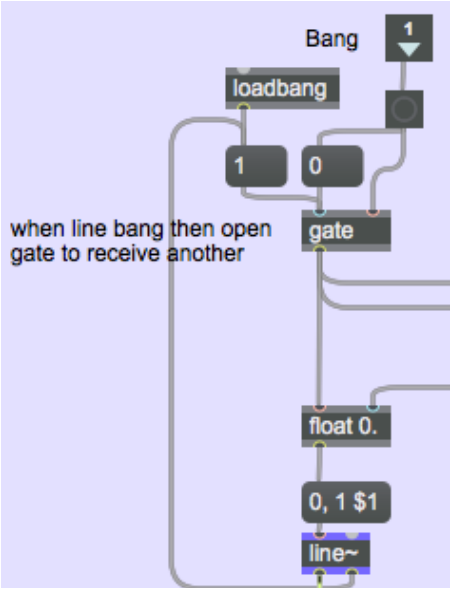
$$Διάρκειααναπαραγωγήςστοεπιθυμητότονικούύψος = 250msec$$

Συνεπώς η αναπαραγωγή πρέπει να γίνει στο μισό χρόνο ώστε να διπλασιαστεί το τονικό ύψος.



Εικόνα 14 Υποαλγόριθμος υπολογισμού διάρκειας

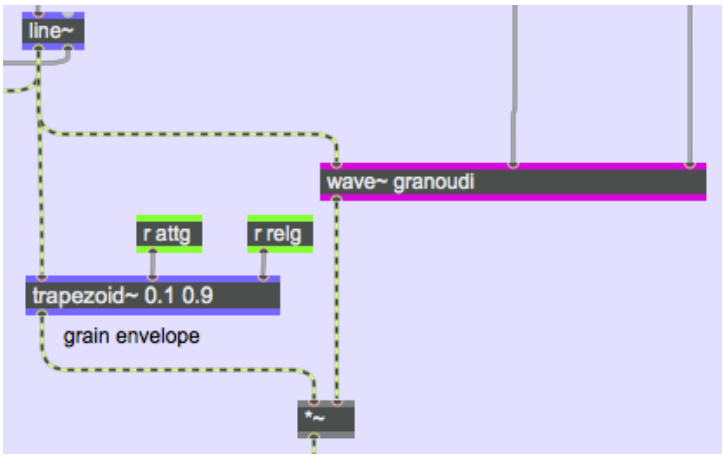
Οι τιμές αρχής, τέλους και διάρκειας του κόκκου αποθηκεύονται προσωρινά στα αντικείμενα float και περιμένουν ένα bang να για να σταλθούν. Στο αντικείμενο [wave~] φορτώνονται έτσι οι τιμές αρχής και τέλους και στο αντικείμενο [line~] η τιμή διάρκειας του κόκκου. Τελευταίο έρχεται ένα bang το οποίο θα ενεργοποιήσει το αντικείμενο [line~] και θα ξεκινήσει η αναπαραγωγή στο επιθυμητό τονικό ύψος. Σε περίπτωση που έρθει άλλο ένα bang για ενεργοποίηση της αναπαραγωγής πρέπει πρώτα να έχει εξασφαλισθεί οτί το αντικείμενο [wave~] θα έχει τελειώσει την πρώτη αναπαραγωγή.



Εικόνα 15 Μηχανισμός ενεργοποίησης.

Διαφορετικά, η αναπαραγωγή θα διακοπεί για να ξεκινήσει απο την αρχή. Το αντικείμενο [gate~] είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο αυτό. Με το που περάσει το bang ενεργοποίησης ταυτόχρονα κλείνει η διέλευση ώστε αν έρθει άλλο ένα bang δεν θα μπορέσει να ενεργοποιήσει τη μηχανή αναπαραγωγής. Όταν τελειώσει η αναπαραγωγή το αντικείμενο [line~] στέλνει ένα δευτερεύον bang το οποίο ανοίγει πάλι τη διέλευση για να δεχτεί ένα επόμενο σήμα ενεργοποίησης. Δεδομένου πως τα σήματα της MaxMSP ενεργοποιούνται από δεξιά προς αριστερά, ένας τέτοιος μηχανισμός υλοποιείται πολύ απλά. Δεξιά φορτώνονται πρώτα οι τιμές αρχής και τέλους στο [wave~]. Στη συνέχεια η τιμή διάρκειας φορτώνεται στη [line~]. Το bang ενεργοποίησης περνάει από το αντικείμενο [gate~] το οποίο κλείνει τη διέλευση αμέσως μετά επειδή η εντολή διακοπής είναι πιο αριστερά στο patch.

Η [line~] στέλνει σήμα όχι μόνο στο [wave~] αλλά και στο [trapezoid~]. Το συγκεκριμένο αντικείμενο μπορεί να λειτουργήσει ως περιβάλλουσα έντασης ως εξής:



Εικόνα 16 Περιβάλλουσα έντασης με ~trapezoid

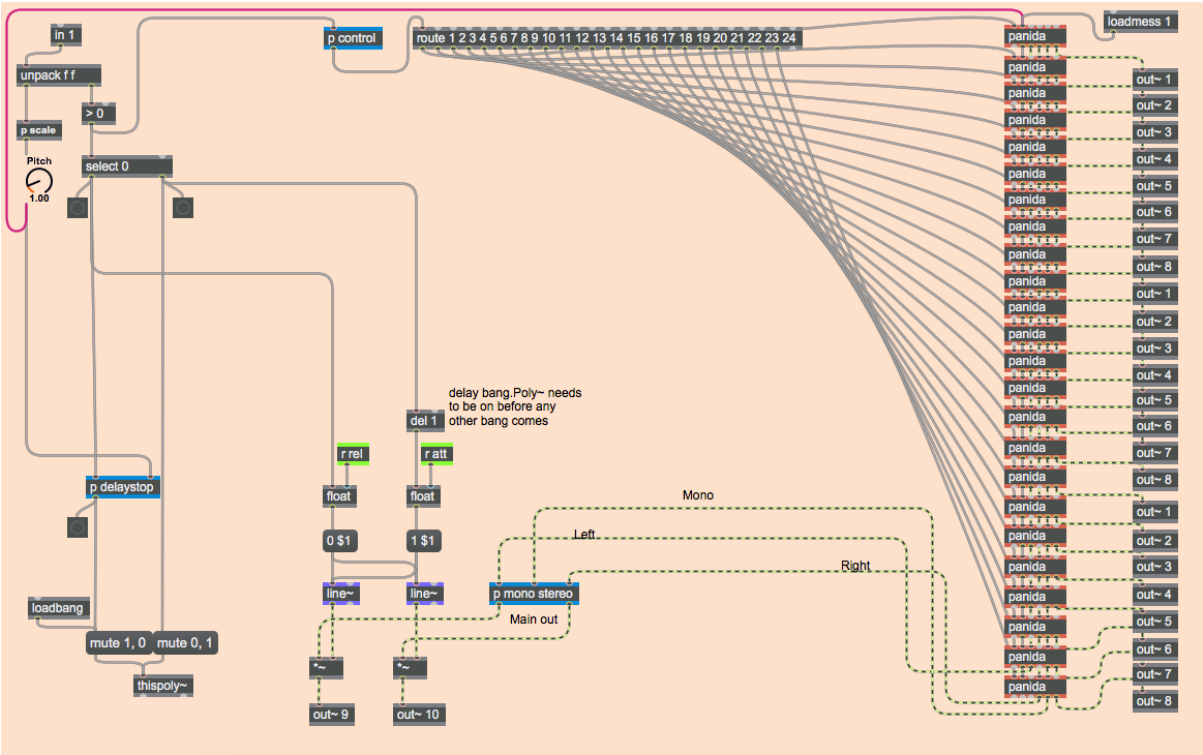
Λαμβάνει ως σήμα, τιμές αυτές που εξάγει η [line~], δηλαδή τιμές φάσης από 0 ως 1 και εξάγει στον ίδιο χρόνο αντίστοιχο σήμα φάσης αλλά σύμφωνα με κάποιες παραμέτρους οι οποίες ορίζουν το attack και το release της περιβάλλουσας. Με ένα απλό πολλαπλασιασμό στο ηχητικό σήμα λαμβάνεται η περιβάλλουσα έντασης.



Εικόνα 17 Περιβάλλουσα έντασης στον κόκκο.

2.3.3 Υποαλγόριθμος πολυφωνίας [poly~ diehard 9]

Για να μπορέσει να λειτουργήσει ο αλγόριθμος σε πολλαπλές τονικές μετατοπίσεις θα πρέπει ο υποαλγόριθμος [diehard~] να φορτωθεί ως πολυφωνικός. Αυτό επιτυγχάνεται με το αντικείμενο [poly~] στη μορφή [poly~ diehard 9]. Ο αριθμός εννέα υποδηλώνει τον αριθμό των φωνών που θα φορτώσει το [poly~]. Πρακτικά αυτό μεταφράζεται ως ο αριθμός των πλήκτρων που μπορούν να πατηθούν ταυτόχρονα στο keyboard.



Εικόνα 18 2.3.3 Υποαλγόριθμος πολυφωνίας [poly~ diehard 9]

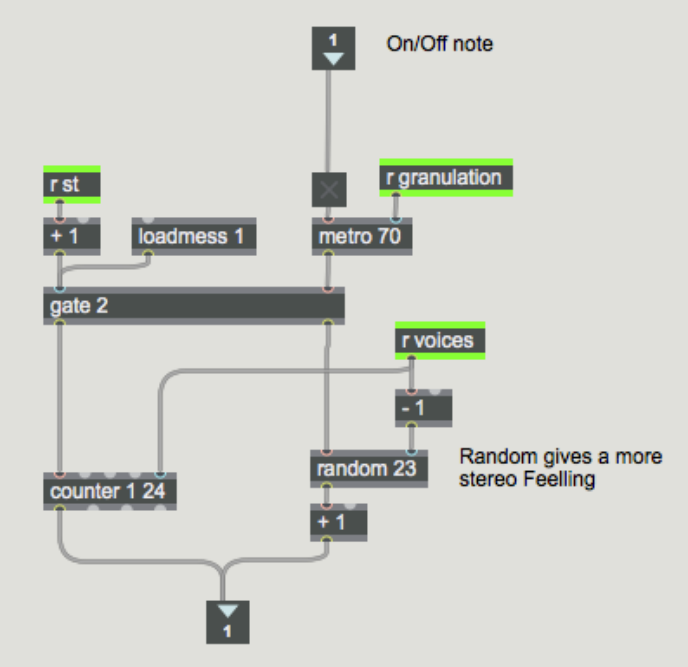
Για να δουλέψει το [poly~] πρέπει να ενεργοποιηθεί πρώτα με συγκεκριμένο μήνυμα έναρξης (mute 1, 0). Το μήνυμα αυτό λαμβάνεται ανιχνεύοντας velocity μεγαλύτερο του μηδενός με το που πατηθεί μία νότα στο πληκτρολόγιο. Αυτός είναι ο μοναδικός ρόλος του velocity στο πληκτρολόγιο το οποίο μεν στέλνει τιμές από μηδέν έως 127 αλλά αυτό μετατρέπεται σε τιμές μηδέν και ένα οι οποίες ενεργοποιούν ή απενεργοποιούν το [poly~] αντίστοιχα.

Εκτός από το velocity, το πληκτρολόγιο στέλνει και τιμές τονικής μετατόπισης στο [poly~] οι οποίες λαμβάνονται από τις μηχανές αναπαραγωγής [panida~], όπου σε συνδυασμό με τις τιμές έναρξης και λήξης του κόκκου θα αναπαραχθεί ο συγκεκριμένος ήχος στην επιθυμητή τονική μετατόπιση.

Συνολικά φορτώνονται σε κάθε [poly~] 24 μηχανές αναπαραγωγής [panida~], οι οποίες ενεργοποιούνται με τη βοήθεια bangs, με συγκεκριμένο ρυθμό που ελέγχει ο χρήστης από το κεντρικό patch. Οι μηχανές αναπαραγωγής ενεργοποιούνται με τη σειρά και κάθε μία στέλνει σε διαφορετική έξοδο τον ήχο που έχει επιλεχθεί για την αναπαραγωγή. Υπάρχουν 8 έξοδοι οι οποίες στέλνουν με τη σειρά τους σε 8 διαφορετικά ηχεία τα οποία είναι τοποθετημένα

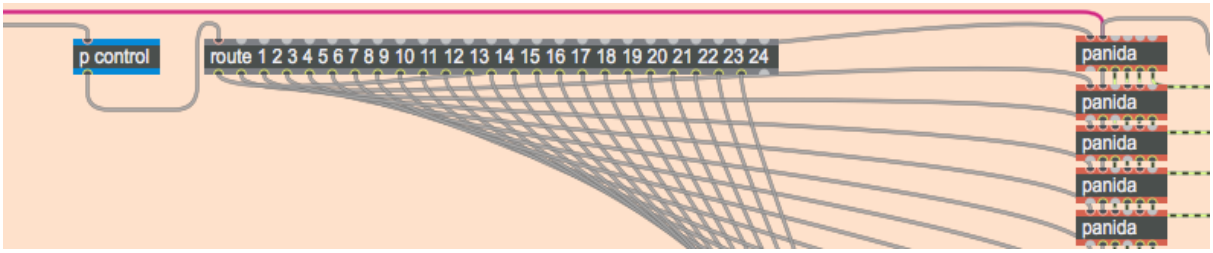
γύρω από το χρήστη – μουσικό. Εφόσον υπάρχουν 24 μηχανές αναπαραγωγής, αυτό σημαίνει πως με 8 εξόδους ο ήχος μπορεί να αναπαραχθεί 3 φορές σε κάθε ηχείο.

Ο λόγος που υπάρχουν περισσότερες μηχανές αναπαραγωγής από τις εξόδους είναι ο εξής: Ο κόκκος μπορεί να είναι αρκετά μεγάλος και ταυτόχρονα ο ρυθμός αναπαραγωγής υψηλός. Αν δεν έχει τελειώσει η αναπαραγωγή μίας μηχανής, τότε το νέο bang ενεργοποίησης της, θα αγνοηθεί. Ως αποτέλεσμα είναι ένας τρόπος να δοθεί περισσότερος χρόνος στη μηχανή αναπαραγωγής να τελειώσει την αναπαραγωγή της. Συνεπώς αν δοθούν bangs στις 24 μηχανές αναπαραγωγής σε δύο δευτερόλεπτα, είναι πολύ πιθανό να ενεργοποιηθούν στην πραγματικότητα λιγότερο από τις μισές.



Εικόνα 19 Υποαλγόριθμος control

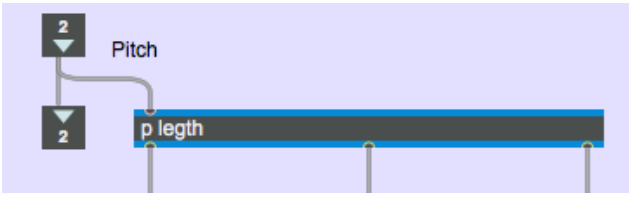
Η ενεργοποίηση των μηχανών αναπαραγωγής γίνεται από τον υποαλγόριθμο [control] σε συνδυασμό με το αντικείμενο [route] στέλνοντας bangs σε κάθε μία από αυτές.



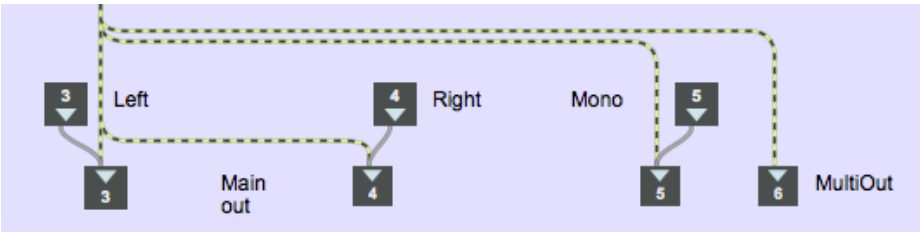
Εικόνα 20 Bang routing

Ο κεντρικός αλγόριθμος στέλνει εντολές έναρξης και λήξης στο αντικείμενο [metro] το οποίο στέλνει bangs είτε στο [counter], είτε στο [random], ανάλογα με το πως το έχει επιλέξει ο χρήστης. Η έξοδος του υποαλγόριθμου [control] είναι οι αριθμοί από 1 έως 24 είτε με τη σειρά είτε τυχαία. Το [route] έξω από τον υποαλγόριθμο είναι υπεύθυνο να στείλει bangs ξεχωριστά σε κάθε μηχανή αναπαραγωγής ανάλογα με τον αριθμό που δέχεται από το [control].

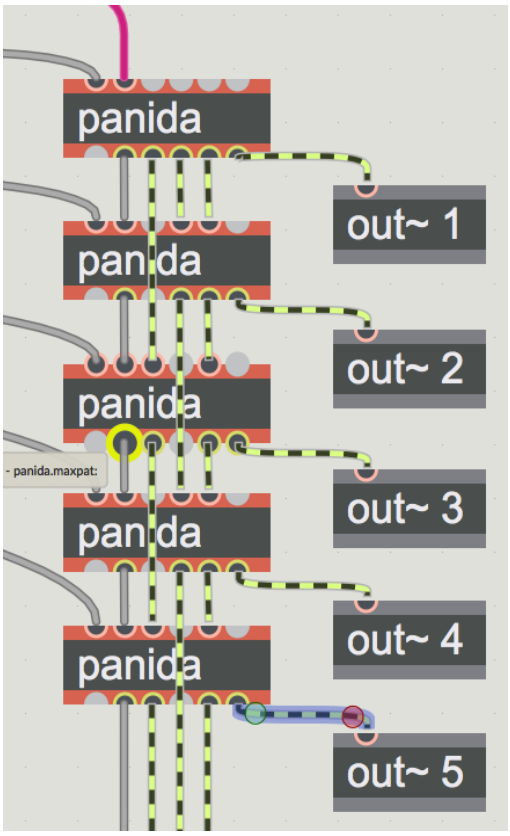
Η μηχανή αναπαραγωγής [panida~] έχει έξι [inlets] και αντίστοιχα έξι [outlets]. Το [inlet] νούμερο έξι και το [outlet] νούμερο ένα δεν χρησιμεύουν σε τίποτα. Ο λόγος που υπάρχουν είναι καθαρά σχεδιαστικός ώστε οι μηχανές αναπαραγωγής να συνδέονται πρακτικά πιο εύκολα μεταξύ τους. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 23) το [inlet] νούμερο δύο συνδέεται με το [outlet] νούμερο δύο κατευθείαν και ταυτόχρονα δίνεται το ύψος της τονικής μετατόπισης στον υποαλγόριθμο αναπαραγωγής. Στα [outlets] νούμερο τρία, τέσσερα, πέντε και έξι λαμβάνεται το ηχητικό σήμα της αναπαραγωγής.



Εικόνα 21 Inlet και Outlet για pitch control



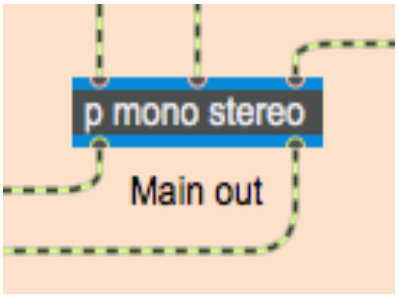
Εικόνα 22 Audio Inlets και Outlets



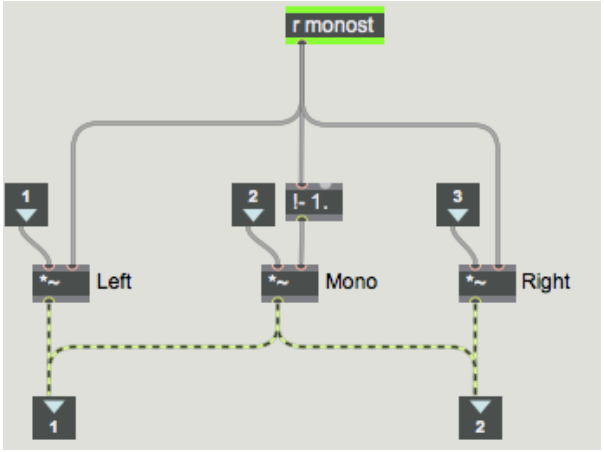
Εικόνα 23 Inlets και Outlets του υποαλγόριθμου ~Panida

Το [outlet] νούμερο έξι χρησιμοποιείται ως έξοδος για το οκταφωνικό σύστημα. Το [outlet] νουμερο πέντε χρησιμοποιείται για τη μονοφωνική έξοδο και είναι συνδεδεμένο σε κάθε μηχανή αναπαραγωγής. Τα [outlets] νούμερο τρία και τέσσερα συνδέονται εναλλάξ στις μηχανές αναπαραγωγής, όπως φαίνεται και στο διπλανό σχήμα. Με αυτόν τον τρόπο η διαφορά χρόνου ενδιάμεσα στις ενεργοποιήσεις των μηχανών αναπαραγωγής δίνει την αίσθηση της στερεοφωνίας. Αυτό συμβαίνει μόνο στις εξόδους τρία και τέσσερα διότι η έννοια της στερεοφωνίας δεν υφίσταται αν υπάρχουν οκτώ ηχεία. Το σήμα για την οκταφωνία εξάγεται άμεσα από κάθε μηχανή αναπαραγωγής και δεν υφίσταται καμία μίξη πριν την έξοδό του.

Στη συνέχεια το σήμα δρομολογείται στον κεντρικό αλγόριθμο όπου με κατάλληλη μίξη προκύπτει η μονοφωνία ή η στερεοφωνία σύμφωνα με τις ρυθμίσεις του χρήστη. Το σήμα όταν περάσει από όλες τις μηχανές αναπαραγωγής περνάει σε ένα υποαλγόριθμο [mono stereo] στον οποίο γίνεται η μίξη των [outlets] νούμερο τρία και τέσσερα από τις μηχανές αναπαραγωγής σε συνδυασμό με το πέμπτο [outlet] του. Η μίξη γίνεται με την πραγματοποίηση ενός πολλαπλασιασμού σήματος σύμφωνα με control του χρήστη από τον κεντρικό αλγόριθμο.



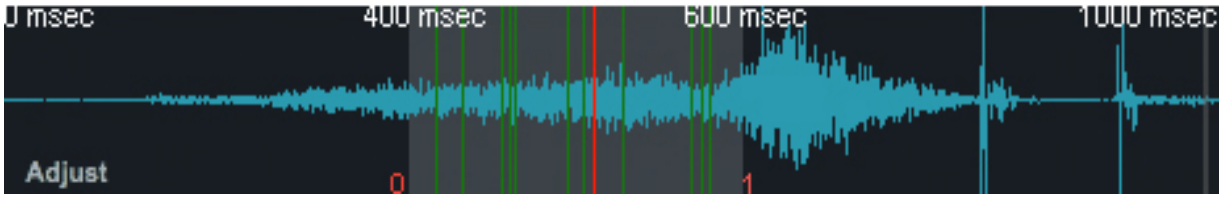
Εικόνα 24 Υποαλγόριθμος mono stereo



Εικόνα 25 Υποαλγόριθμος Ψευδοστέρεο.

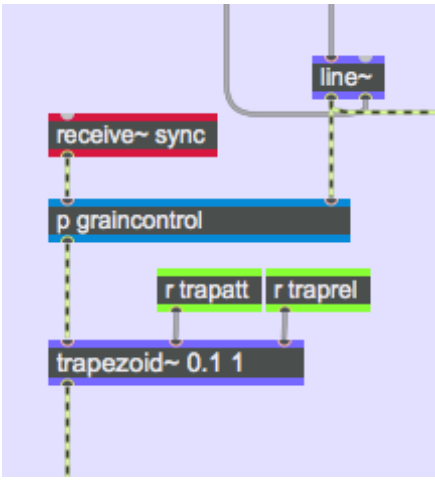
2.3.4 Ο υποαλγόριθμος [graincontrol]

Μία από τις βασικές δυσκολίες λειτουργίας του αλγόριθμου ήταν αυτή της κυκλικής εγγραφής στον ίδιο χρόνο με την ανάγνωση. Η κάθε μηχανή αναπαραγωγής καλείται να αναγνώσει ένα [buffer~] το οποίο γεμίζει και σβήνει ταυτόχρονα. Ο δείκτης εγγραφής σβήνει το περιεχόμενο που βρίσκεται σε εκείνο το σημείο αντικαθιστώντας νέα δείγματα ήχου στο [buffer~]. Αυτό σημαίνει πως στο σημείο εκείνο υπάρχει ασυνέχεια της κυματομορφής



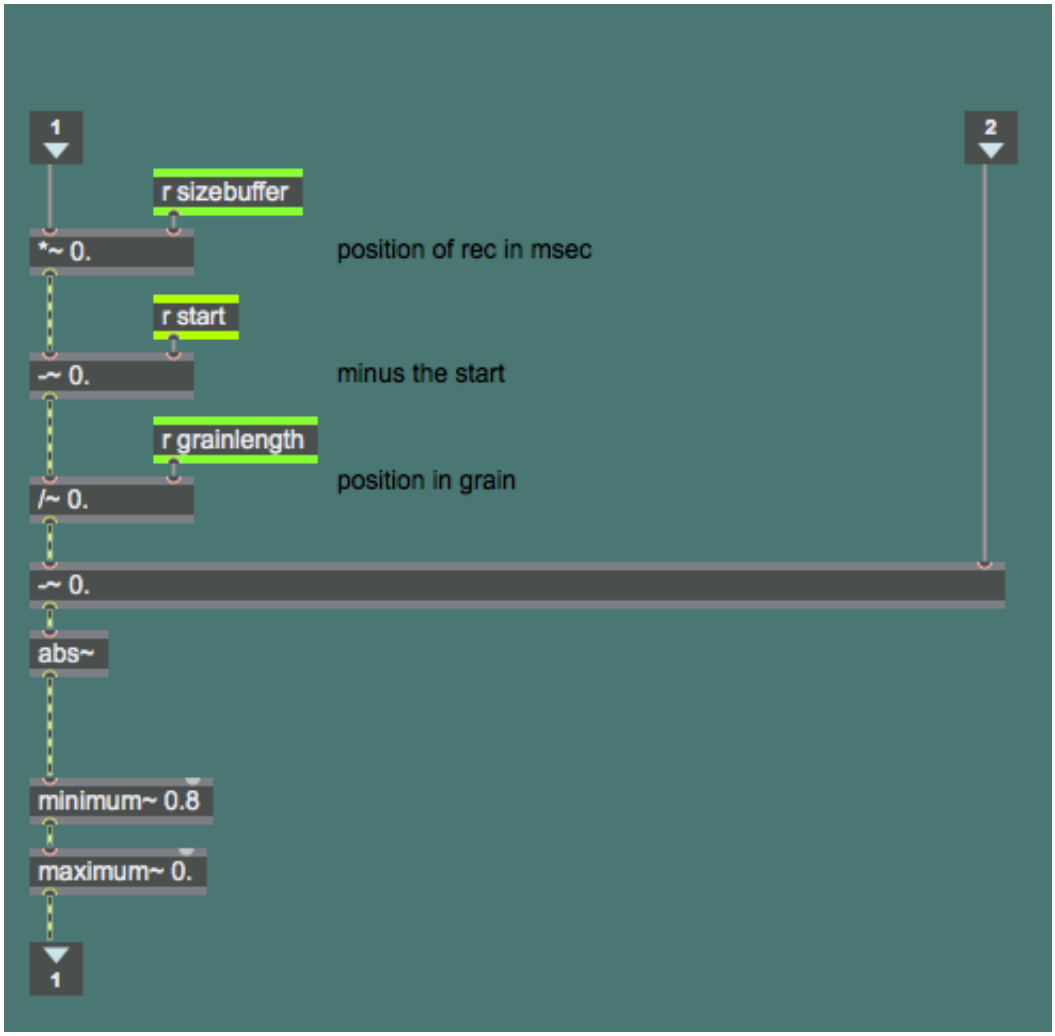
Εικόνα 26 Σημεία ανάγνωσης - εγγραφής στο buffer

Δεδομένου πως για κάθε νότα που πατιέται στο keyboard ενεργοποιούνται 24 μηχανές αναπαραγωγής, ο αριθμός των δεικτών ανάγνωσης στο [buffer~] μπορεί να είναι ιδιαίτερα υψηλός. Επιπλέον λόγω της τονικής μετατόπισης το [buffer~] διαβάζεται σε διαφορετικές ταχύτητες, σε αντίθεση με την εγγραφή η οποία γίνεται σε σταθερό και πραγματικό χρόνο. Σχεδόν όλες οι μηχανές αναπαραγωγής θα διαβάσουν δείγματα ήχου τα οποία έχουν ένα τουλάχιστον σημείο ασυνέχειας στην κυματομορφή. Ως εκ τούτου στην έξοδο θα ακουστεί ψηφιακή παραμόρφωση με τη μορφή click σε κάθε μηχανή αναπαραγωγής.



Εικόνα 27 Περιβάλλουσα έντασης ελεγχόμενη απο το graincontrol

Για να αποφευχθεί αυτό χρησιμοποιείται ο υποαλγόριθμος [graincontrol ο οποίος λειτουργεί σε κάθε μηχανή αναπαραγωγής [panida~]. Η λειτουργία του στηρίζεται στην αναγνώριση της χρονικής απόστασης του δείκτη ανάγνωσης από το δείκτη εγγραφής στο [buffer~].

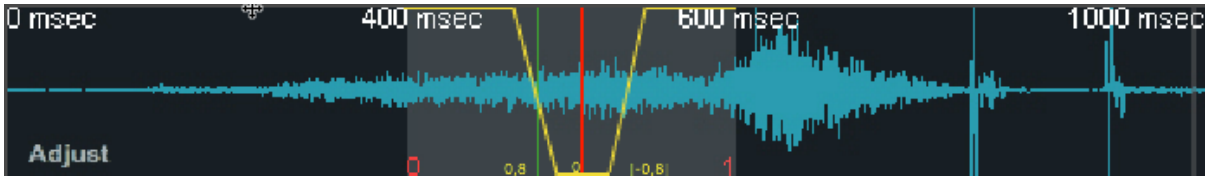


Εικόνα 28 Υποαλγόριθμος graincontrol

Ο υποαλγόριθμος [graincontrol] έχει δύο [inlets] και ένα [outlet]. Ως είσοδο δέχεται τις τιμές φάσης, από μηδέν έως ένα, της εγγραφής όπως επίσης και τις αντίστοιχες τιμές της αναπαραγωγής. Η έξοδος του υποαλγόριθμου καταλήγει στο αντικείμενο [trapezoid~] το οποίο θα λειτουργήσει ως περιβάλλουσα μηδενίζοντας την ένταση στο σημείο που γίνεται η συνάντηση του δείκτη εγγραφής με το δείκτη ανάγνωσης.

Η εγγραφή γίνεται πάντα σε όλο το μέγεθος του [buffer~] οπότε οι τιμές φάσης μεταφράζονται ως μηδέν για την αρχή του και ένα για το τέλος. Η ανάγνωση όμως δεν γίνεται αναγκαστικά σε όλο το [buffer~] αλλά εξαρτάται το μέρος που θα διαλέξει ο χρήστης. Συνεπώς οι τιμές φάσης ανάγνωσης και εγγραφής δεν συμπίπτουν. Συνεπώς ο υποαλγόριθμος [graincontrol] κάνει απλές πράξεις μετατροπής της φάσης σε χρόνο στο [buffer] ώστε να υπολογιστεί η χρονική διαφορά μεταξύ των δεικτών. Δεδομένου ότι θα υπάρξουν και αρνητικές τιμές, αφού ο δείκτης εγγραφής μπορεί να είναι πριν το δείκτη ανάγνωσης και αντίστροφα, το αποτέλεσμα των πράξεων λαμβάνεται σε απόλυτη τιμή με το αντικείμενο [abs~]

Η ενεργοποίηση του αλγόριθμου γίνεται όταν η φάση προσέγγισης των δεικτών λάβει τιμή μικρότερη του 0,8. Ο αριθμός αυτός προέκυψε πειραματικά. Θεωρητικά, το [trapezoid~] θα μπορούσε να ενεργοποιείται και με μικρότερες τιμές προσέγγισης των δεικτών ανάγνωσης και εγγραφής, αλλά αυτό απαιτεί ιδιαίτερα υψηλή επεξεργαστική ισχύ. Συνέπεια αυτού είναι η ενεργοποίηση της περιβάλλουσας πιο νωρίς από ότι χρειάζεται για να μην περάσει το click στο ηχητικό σήμα.



Εικόνα 29 Εφαρμογή περιβάλλουσας έντασης

3 Συμπεράσματα

Granular Synthesis

Η Granular Synthesis αποτελεί έναν ισχυρό και ευέλικτο τρόπο σύνθεσης ήχου που συνεχίζει να επηρεάζει τη σύγχρονη μουσική και τις τέχνες του ήχου. Μέσω των προηγμένων τεχνικών και της ευρείας εφαρμογής της, προσφέρει μοναδικές δυνατότητες εξερεύνησης ηχητικών τοπίων και δημιουργίας πολυδιάστατων ακουστικών εμπειριών.

Η ανάπτυξη της ψηφιακής τεχνολογίας και των εργαλείων όπως η MaxMSP, επιτρέπει πλέον την υλοποίηση πολύπλοκων αλγορίθμων Granular Synthesis με υψηλή απόδοση σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η πρόοδος ανοίγει νέους δρόμους για ζωντανές εκτελέσεις και διαδραστικές εγκαταστάσεις ήχου, επιτρέποντας τη δημιουργία προσαρμοσμένων ηχητικών εμπειριών.

Στο πλαίσιο της σύγχρονης μουσικής σύνθεσης και του sound design, η Granular Synthesis συνεχίζει να εμπνέει συνθέτες και καλλιτέχνες να πειραματίζονται με νέες μορφές και αισθητικές προσεγγίσεις. Καθώς οι τεχνολογικές εξελίξεις προχωρούν, αναμένονται νέες καινοτομίες που θα επεκτείνουν περαιτέρω τις δυνατότητες αυτής της τεχνικής.

Η μελλοντική έρευνα μπορεί να επικεντρωθεί στην ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης για τη δημιουργία πιο εξελιγμένων αλγορίθμων Granular Synthesis. Επιπλέον, η ανάπτυξη διαδραστικών συστημάτων και η σύνδεση με εικονικούς και επαυξημένους χώρους θα μπορούσε να οδηγήσει σε νέες μορφές ακουστικής εμπειρίας και ηχητικού πειραματισμού.

Συνολικά, η Granular Synthesis παραμένει μια από τις πιο καινοτόμες και εξελισσόμενες τεχνικές στον τομέα της σύνθεσης ήχου, επηρεάζοντας καθοριστικά την αισθητική και τη φιλοσοφία του ήχου στη σύγχρονη μουσική και τις ηχητικές τέχνες.

Η Granular Synthesis αποτελεί έναν ισχυρό και ευέλικτο τρόπο σύνθεσης ήχου που συνεχίζει να επηρεάζει τη σύγχρονη μουσική και τις τέχνες του ήχου. Μέσω της χρήσης κόκκων ήχου και της δυνατότητας ελέγχου μικροχρονικών παραμέτρων, προσφέρει νέες δυνατότητες ηχητικού σχεδιασμού και σύνθεσης που δεν μπορούν να επιτευχθούν με παραδοσιακές μεθόδους.

Από τη θεμελίωσή της από τον Dennis Gabor και την εξερεύνηση της από τον Ιάννη Ξενάκη, η Granular Synthesis έχει εξελιχθεί σε μια πολύπλευρη τεχνική με ευρεία εφαρμογή σε μουσική σύνθεση, sound design, και ψηφιακή τέχνη. Οι εξελίξεις στην υπολογιστική ισχύ και στις τεχνολογίες ψηφιακού ήχου έχουν επιτρέψει τη ραγδαία ανάπτυξη εργαλείων που διευκολύνουν την υλοποίηση σύνθετων κοκκωδών αλγορίθμων, όπως το Max MSP και άλλα περιβάλλοντα προγραμματισμού ήχου.

Η Granular Synthesis, επομένως, δεν είναι απλώς μια τεχνική σύνθεσης ήχου αλλά μια πλατφόρμα δημιουργικής εξερεύνησης που συνεχίζει να επαναπροσδιορίζει τα όρια της μουσικής σύνθεσης και του ηχητικού σχεδιασμού. Ο πειραματισμός με τις παραμέτρους των κόκκων και η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών υπόσχονται να ανοίξουν νέους ορίζοντες στη σύγχρονη ηχητική τέχνη και μουσική δημιουργία.

Granoudi Project

Το Granoudi Project είναι αποτέλεσμα ενός αλγόριθμου που βασίστηκε στις αρχές της granular syntesis και λειτουργεί ώς αυτόνομη ηχητική εγκατάσταση και ως δυναμικό μουσικό όργανο. Η διεπαφή του είναι σχεδιασμένη για άμεση δημιουργικότητα, καθιστώντας το ένα ιδανικό εργαλείο για ηχητικούς καλλιτέχνες, μουσικούς και ερευνητές.

Ο αλγόριθμος αν και ιδιαίτερα πρωτότυπος αντιμετωπίζει αρκετές δυσκολίες κυρίως όσον αφορά την επεξεργαστική ισχύ. Πατώντας περισσότερο από 6-8 νότες ταυτόχρονα ξεκινούν οι δυσκολίες όσον αφορά τη λειτουργία του επεξεργαστή. Συνεπώς ένας υπολογιστής με αδύναμη κάρτα ήχου δεν μπορεί να σηκώσει το project. Μελλοντικά η επόμενη έκδοση οφείλει να λειτουργεί χρησιμοποιώντας λιγότερη επεξεργαστική ισχύ.

Η τιμή του velocity από το πληκτρολόγιο στην παρούσα έκδοση αγνοείται. Σε κάποια μελλοντική έκδοση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ώστε η χρήση του να έχει ακουστικό αποτέλεσμα.

Μια άλλη σημαντική βελτίωση είναι θα ήταν η επικοινωνία με OSC (Open Sound Control) ώστε να μπορεί να ελέγχεται ο αλγόριθμος απομακρυσμένα. Αυτό θα χρησίμευε ιδιαίτερα στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ως sound installation.

Η έννοια της δυναμικής δημιουργίας και διαχείρισης κόκκων με τη βοήθεια τεχνητής νοημοσύνης, είναι κάτι που θα ταίριαζε ιδιαίτερα στο Granoudi αλλά αυτό απαιτεί διαφορετική φιλοσοφία στον αλγόριθμο κάτι που θα ήταν εφικτό να γίνει σε επόμενη έκδοσή

του. Με την ίδια λογική θα ήταν εφικτή και η ενσωμάτωση του αλγορίθμου σε εφαρμογές εικονικής η επαυξημένης πραγματικότητας (VR/AR).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Collins, N. (2013), *Electronic music*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 87, 92.

Helmholtz, H. (1885), *On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music*, Longmans, Green & Co., London, UK.

Koenig, G.M. (1971), *Project 1: Software for sound synthesis*, Institute of Sonology, Utrecht, Netherlands.

Roads, C. (2001), *Microsound*, MIT Press, Cambridge, USA, p. 62.

Roads, C. (2004), *Computer music tutorial*, MIT Press, Cambridge, USA, pp. 95, 98, 102, 105, 110, 115, 120, 125, 182, 210.

Stockhausen, K. (1972), *Four criteria of electronic music*, In: C. Cardew (Ed.), *Stockhausen serves imperialism*, Latimer New Dimensions, London, UK, pp. 52-60.

Wishart, T. (1996), *On sonic art*, Routledge, London, UK, pp. 56, 84.

Xenakis, I. (1992), *Formalized music: Thought and mathematics in composition*, Pendragon Press, New York, USA, p. 34.

ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ

Logic Pro X, Διαθέσιμο στο: https://www.apple.com/logic-pro/

Cycling MaxMSP – Διαθέσιμο στο: https://cycling74.com/products/max

SuperCollider – Διαθέσιμο στο: https://supercollider.github.io/