



ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΛΓΟΡΙΘΜΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΗΧΟΥ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ
WAVE TERRAIN SYNTHESIS

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

ΠΟΛΙΤΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ

A.M. 260

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΒΑΛΣΑΜΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΣ

ΡΕΘΥΜΝΟ 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται και περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας της τεχνικής σύνθεσης ήχου Wave Terrain μέσω της δημιουργίας και ανάλυσης αντίστοιχου αλγορίθμου στο περιβάλλον προγραμματισμού Max / MSP / Jitter. Το εν λόγω πακέτο λογισμικού, εφοδιασμένο με δομικά στοιχεία προγραμματισμού ήχου, εικόνας και βίντεο, αποτέλεσε βάση για την ανάπτυξη και εξέταση του αλγορίθμου σε πραγματικό χρόνο, μέσω του σχεδιασμού μουσικής διεπαφής η οποία εξασφαλίζει την αποδοτικότητα και μουσικότητα της χρήσης του. Συγκεκριμένος στόχος της πτυχιακής, ήταν η δημιουργία ενός δομημένου Wave Terrain συνθετητή (synthesizer) ο οποίος αποτελείται από τα περιβάλλοντα σύνθεσης και ελέγχου, δίνοντας τη δυνατότητα στον χρήστη να αξιοποιεί της δυνατότητες της τεχνικής σε βάθος, παράγοντας δυναμικά αποτελέσματα.

Η τεχνική Wave Terrain λειτουργεί ως επέκταση της αρκετά γνωστής μεθόδου ηχοχρωματικής σύνθεσης μέσω πίνακα κυματομορφής (Wavetable Synthesis) και παράγει αποτελέσματα μοναδικά, λόγω της ιδιαίτερης λειτουργίας της, η οποία βασίζεται στην ιδέα συσχετισμού των τοπογραφικών στοιχείων μιας περιοχής με τα χαρακτηριστικά απεικόνισης κυματομορφών ήχου και οδηγεί στον σχηματισμό διαφόρων ειδών κατευθυντικών ή κινούμενων ήχων, η δημιουργία των οποίων μπορεί να ελεγχθεί μέσω χειρονομιών (gestures) του χρήστη. Ο τομέας της Wave Terrain synthesis δεν έχει αξιοποιηθεί εμπορικά μέχρι σήμερα, ενώ διάφορα τμήματα κώδικα έχουν δημοσιευθεί και χρησιμοποιούνται σε περιβάλλοντα σύνθεσης ήχου σαν βοηθητικές μονάδες.

Με την πτυχιακή αυτή εργασία αποκτήθηκε επιπλέον γνώση στο πλαίσιο των τεχνικών σύνθεσης ήχου γενικότερα αλλά και της τεχνικής Wave Terrain ειδικότερα, διευρύνθηκε η γνώση στο περιβάλλον μουσικού προγραμματισμού MaxMSP, και αποκτήθηκε εμπειρία στο σχεδιασμό κατάλληλης διεπαφής χρήστη (user interface).

ABSTRACT

This essay is concerned with the historical background and the function of Wave Terrain synthesis, through the creation and analysis of a respective algorithm. Max/MSP/Jitter, is the visual programming language for music and multimedia which was used as the core of this project. The jitter libraries alongside other programming objects of the aforementioned software package, were the perfect raw material for the design and further examination of a Wave Terrain algorithm in real time, through the conception and development of an intuitive musical interface.

The basic purpose of current thesis was the creation of a Wave Terrain synthesizer, composed of synthesis and control sections by utilizing in depth the features of the specific synthesis technique and producing dynamic results.

Wave Terrain synthesis, functions much like an expanded version of the well known Wavetable synthesis. It is able to produce some unique results, because of its concept, which is based around the idea of a correlation between topographic elements of an area and visual characteristics of sound waves. Wave Terrain synthesis also allows users to control the construction of various directional and moving sounds with gestures.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ πολύ τον καθηγητή μου, κ. Βαλσαμάκη Νικόλα και την οικογένειά μου για την υπομονή και την υποστήριξή τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. Εισαγωγή	7
1.1. Εισαγωγικά στοιχεία	7
1.2. Wave Terrain synthesis	7
1.2.1 Βασικά Χαρακτηριστικά.....	7
1.2.2 Wavetable Synthesis.....	9
2. Θεωρητική Προσέγγιση	10
2.1 Trajectory (Τροχιά Ανάγνωσης)	10
2.1.1 Η τροχιά ανάγνωσης ως βασικό στοιχείο ελέγχου.....	11
2.1.2 Καμπύλες Lissajoux.....	13
2.1.3 Γεωμετρικός μετασχηματισμός τροχιάς.....	14
2.2 Terrain (Πεδίο Τιμών)	14
2.2.1 Σχηματισμός πεδίου τιμών μέσω μαθηματικών συναρτήσεων...	14
2.2.2 Σχηματισμός πεδίου τιμών μέσω πίνακα κυματομορφής.....	16
2.2.3 Σχηματισμός πεδίου τιμών μέσω ηχοποίησης δεδομένων.....	16
2.2.4 Στατικά και μεταβαλλόμενα πεδία τιμών.....	17
3. Πρακτική Προσέγγιση	18
3.1 Εφαρμογή της Wave Terrain synthesis χρησιμοποιώντας το Max/MSP/Jitter	18
3.1.1 Σύντομη περιγραφή της Max/MSP.....	18
3.1.2 Βασικά χαρακτηριστικά του Jitter: Η ειδική μνήμη “matrix”.....	20
3.1.3 Στοιχεία ανάγνωσης και αποθήκευσης δεδομένων στο matrix.	21
3.2 Δομικά στοιχεία της εφαρμογής	22
3.2.1 Τροχιά ανάγνωσης.....	22
3.2.2 Πεδίο τιμών.....	24
3.2.3 Μέσα διαμόρφωσης.....	26

3.3 Ανάλυση στελεχών της πρακτικής διάταξης.....	28
3.3.1 Η δομή υλοποίησης της τροχιάς ανάγνωσης.....	28
3.3.2 Η δομή υλοποίησης του πεδίου τιμών μέσω αλγοριθμικής προ- σέγγισης.....	30
3.3.3 Διατάξεις σάρωσης του πεδίου τιμών.....	32
3.3.3.1 Σάρωση αλγοριθμικού πεδίου τιμών.....	32
3.3.3.2 Σάρωση πίνακα κυματομορφής.....	32
4. Παράρτημα Α (Οδηγίες Χρήσης).....	34
4.1 Προετοιμασία / Επιλογή πεδίου τιμών.....	34
4.2 Ρυθμίσεις τροχιάς ανάγνωσης.....	35
4.3 Τομείς διαμόρφωσης.....	36
4.4 Κεντρική οθόνη ελέγχου.....	37
4.5 Προεπιλογές.....	38
5. Παράρτημα Β (Εικόνες της εφαρμογής).....	39
6. Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	47

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Στην παρούσα εργασία, γίνεται εφαρμογή και ανάλυση της τεχνικής σύνθεσης ήχου με την ονομασία “Wave Terrain”, η οποία παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από τον Rich Gold¹ το 1978. Για την υλοποίηση της τεχνικής, σχεδιάστηκε ειδικός αλγόριθμος ο οποίος βασίζεται σε τρεις μεθόδους, που είναι απαραίτητες για τη βαθύτερη σπουδή και την περαιτέρω χρήση της. Συγκεκριμένα, μελετάται η χρήση της Wave Terrain synthesis μέσω:

- μαθηματικής συνάρτησης η οποία υπολογίζεται αλγοριθμικά σε πραγματικό χρόνο,
- συστατικών στοιχείων κυματομορφών ήχου
- δεδομένων που μπορεί κάποιος να αντλήσει από αρχεία εικόνας (διαδικασία ηχοποίησης).

Η γνώση η οποία αποκτάται από τη συγκεκριμένη μελέτη, μπορεί να αξιοποιηθεί κυρίως στους τομείς μουσικής δημιουργίας και έρευνας, γύρω από την εξέλιξη των ηλεκτρονικών μουσικών οργάνων και διαδραστικών συστημάτων ζωντανής εκτέλεσης.

1.2 Wave Terrain synthesis

1.2.1 Βασικά χαρακτηριστικά

Η Wave Terrain synthesis είναι μια ασυνήθιστη τεχνική σύνθεσης ήχου, με την οποία μπορούν να παραχθούν σύνθετες κυματομορφές μέσω της ιχνηλάτησης μιας κλειστής διαδρομής, πάνω σε ένα τρισδιάστατο τοπογραφικό πεδίο. Πιο απλά, ο Nelson (University of North Texas) αναφέρθηκε στην αναλογία μιας σφαίρας που κυλάει πάνω

¹ Bischoff, J., R. Gold, and J. Horton. 1978. “A Microcomputer-based network for live performance.” / “Music for an interactive network of microcomputers”

σε ένα λοφώδες τοπίο². Η διαδρομή που ακολουθεί η σφαίρα, έχει χαρακτηριστικά τροχιάς, και – αν και ανεξάρτητη από τον χώρο πάνω στον οποίο κινείται – επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα συνδυαστικά με τη μορφολογία του τοπίου. Με αυτόν τον τρόπο, μιλάμε για δύο βασικές συνιστώσες, οι οποίες παράγονται ανεξάρτητα η μια από την άλλη, σχηματίζοντας τον βασικό διπλό πυρήνα λειτουργίας της Wave Terrain synthesis:

- την τροχιά ανάγνωσης (trajectory)
- το τρισδιάστατο πεδίο τιμών (terrain).

Η ποικιλομορφία του πεδίου τιμών είναι ανάλογη με την φασματική πολυπλοκότητα του παραγόμενου ηχητικού σήματος ενώ η διαφορά μεταξύ ανώτερων και κατώτερων σημείων πάνω στο πεδίο καθορίζει το ποσοστό ενέργειας του ηχητικού σήματος. Με βάση αυτή την τελευταία αναλογία, μπορεί κάποιος να φανταστεί την εικόνα ενός σχεδόν επίπεδου πεδίου τιμών το οποίο οδηγεί σε απλά ηχητικά σήματα χαμηλής δυναμικής καθώς σαρώνεται μέσω της τροχιάς ανάγνωσης και το αντίθετο αποτέλεσμα στην περίπτωση ενός πεδίου τιμών γεμάτο κοιλότητες και υψώματα που έχουν μεγάλη διαφορά μεταξύ τους. Αυτή η διαδικασία μπορεί περισσότερο να περιγραφεί ως άμεση δημιουργία κινούμενων ηχητικών συμβάντων μέσω ψηφιακής σύνθεσης ήχου και είναι αρκετά διαφορετική από την συνηθισμένη επεξεργασία ηχογραφημένου ηχητικού υλικού στην οποία βασίζονται οι τεχνικές της Musique Concrete για να δώσουν την αίσθηση κίνησης στον χώρο. Ο Smalley (Smalley 1986), έδωσε μεγάλη σημασία στον μορφολογικό σχεδιασμό φάσματος ως μέσο ελέγχου του συχνοτικού και δυναμικού περιεχομένου του ήχου με σκοπό τη δημιουργία ηχητικών νευμάτων³, κάτι που επίσης περιγράφει και τον βασικό χαρακτήρα της Wave Terrain synthesis.

² Nelson, J. C. 2000. "Understanding and Using Csound's GEN Routines." R. Boulanger, ed. The Csound Book: perspectives in software synthesis, sound design, signal processing, and programming. Cambridge, Massachusetts: MIT Press:65-97

³ Spectromorphology – Wikipedia, the free encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Spectromorphology>

1.2.2 Wavetable synthesis

Η Wave Terrain synthesis θεωρείται τεχνικά, μια από τις επεκτάσεις της “σύνθεσης μέσω πίνακα κυματομορφής” (Table-lookup / Wavetable synthesis)⁴. Αυτή η τεχνική πρωτοεμφανίστηκε στην πλήρη της μορφή στα τέλη της δεκαετίας του '70 σε συνθετητές της εταιρείας PPG, ενώ δημοσιεύτηκε για πρώτη φορά το 1979⁵. Βασική αρχή της λειτουργίας της είναι η περιοδική σάρωση μιας λίστας, σε μνήμη που περιέχει τιμές οι οποίες αντιστοιχούν στα δείγματα πολλαπλών κυματομορφών με έκταση μιας περιόδου η κάθε μια. Ένας ή περισσότεροι μηχανισμοί ανάγνωσης του πίνακα χρησιμοποιούνται για τη μετάβαση μεταξύ των κυματομορφών, αλλάζοντας δυναμικά τα χαρακτηριστικά του παραγόμενου σήματος, δίνοντάς του έναν ημι-περιοδικό χαρακτήρα⁶. Οι επικρατέστερες μορφές της τεχνικής κάνουν χρήση πολλών wavetables τα οποία, αναπαράγονται σε σειρά, μέσω της μεταξύ τους ανάμειξης και ονομάζονται:

- Compound synthesis, (Roads, 1985),
- Vector synthesis, (Sequential Circuits/Korg/Yamaha),
- Linear Arithmetic synthesis (Roland),

είτε χρησιμοποιούνται ως στοιχεία προσθετικής σύνθεσης ήχου, με την ονομασία:

- Wavestacking synthesis⁷

Λόγω της περιοδικότητας των κυματομορφών στη Wavetable synthesis, οι παράμετροι για τον χρόνο και τη συχνότητα αντιστοιχούν πλήρως μεταξύ τους και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα για να ορίσουν τις κυματομορφές και τους πίνακες αυτών⁸.

⁴ Roads, C., 1996. The Computer Music Tutorial. Cambridge, Massachusetts: MIT Press: 163

⁵ Andresen, Uwe 1979. A New Way In Sound Synthesis. 62nd AES Convention (Brussels, Belgium), Audio Engineering Society (AES)

⁶ Bristow-Johnson, Robert (1996), Wavetable Synthesis 101, A Fundamental Perspective, 101st AES Convention (Los Angeles, California), Audio Engineering Society (AES)

⁷ Roads, C., 1996. The Computer Music Tutorial. Cambridge, Massachusetts: MIT Press: 159

⁸ Wavetable Synthesis, Wikipedia the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Wavetable_synthesis

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

2.1 Trajectory (Τροχιά ανάγνωσης)

Παρατηρούμε, ότι η Wavetable synthesis, για τη λειτουργία της τροχιάς ανάγνωσης, χρησιμοποιεί συνάρτηση με μία μόνο μεταβλητή, το:

$$x=f(t)$$

Δηλαδή, μία μόνο σειρά από τιμές που θέτουν τη θέση του δείκτη στον πίνακα. Η Wave Terrain synthesis χρησιμοποιεί πολλαπλές σειρές δεδομένων, οι οποίες προσδιορίζουν την τροχιά ανάγνωσης, ώστε να μπορεί να πραγματοποιήσει σάρωση σε τρισδιάστατο πεδίο τιμών, προσθέτοντας συνήθως στη συνάρτηση τροχιάς, μια δεύτερη μεταβλητή:

$$y=g(t)$$

Για τον συγκεκριμένο λόγο, η τεχνική ονομάζεται και “two-variable function synthesis”⁹, όπως αυτή ορίστηκε από τον Mitsuhashi το 1982 και εφαρμόστηκε για πρώτη φορά σε μορφή λογισμικού από τον Borgonovo (Borgonovo, Haus 1984)¹⁰.

Για τον σχηματισμό της τροχιάς ανάγνωσης, χρησιμοποιούνται συνήθως απλές γραμμικές μαθηματικές συναρτήσεις περιοδικού χαρακτήρα, (συνήθως ελλειπτικές τροχιές), οι οποίες, κατά το πρότυπο του Mitsuhashi και του Borgonovo, εξασφαλίζουν την μουσικότητα και την προβλεψιμότητα του αποτελέσματος. Με τη χρήση αυτών των συναρτήσεων παράγονται τονικά διακριτοί ήχοι με στάσιμα φασματικά χαρακτηριστικά, ενώ, μικρές αλλαγές στην τροχιά ανάγνωσης μπορούν να επηρεάσουν το φάσμα σε σχέση με τον χρόνο. Η περιοδικότητα της τροχιάς ανάγνωσης είναι ανάλογη με την περιοδικότητα του σήματος στην έξοδο του συστήματος. Όπως είναι φυσικό, η τροχιά ανάγνωσης, μπορεί να σχηματιστεί και από οποιουδήποτε άλλου (συνθετότερου) είδους συνάρτηση, οδηγώντας όμως έτσι συχνότερα σε μη διακριτά τονικά αποτελέσματα,

⁹ Mitsuhashi, Y. 1982. “Audio Synthesis by Functions of Two Variables.” *Journal of the Audio Engineering Society* 30(10): 701-706.

¹⁰ Borgonovo, A., and G. Haus. 1984. “Musical Sound Synthesis by means of Two-Variable Functions: experimental criteria and results.” In D. Wessel, ed. *Proceedings of the 1984 International Computer Music Conference*: 35-42.

ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου το πεδίο τιμών χαρακτηρίζεται και αυτό από ανάλογη πολυπλοκότητα.

Οι χρονικά μεταβαλλόμενες τροχιές ανάγνωσης, έχουν ως αποτέλεσμα ήχους με δυναμικό φασματικό περιεχόμενο και μεταβάσεις μεταξύ τονικής σαφήνειας και θορύβου. Ένα παράδειγμα αυτού του είδους τροχιάς είναι οι σπειροειδείς σχηματισμοί.¹¹ Η μεταβολή της τροχιάς ανάγνωσης σε σχέση με το χρόνο, μπορεί να επιτευχθεί και μέσω συχνοτικής διαμόρφωσης / παραμόρφωσης του ηχητικού σήματος που προκύπτει από τη συνάρτηση, εφόσον αυτό υποστηρίζεται από την εκάστοτε υλοποίηση της Wave Terrain synthesis, παράγοντας σύνθετα, μη γραμμικά αποτελέσματα. Παρόμοιες τεχνικές μπορούν να εφαρμοστούν και για την διαμόρφωση του πεδίου τιμών το οποίο σαρώνεται βάσει μιας σταθερής τροχιάς, ανιχνεύοντας κατ' αυτόν τον τρόπο τις καμπύλες μιας μεταβαλλόμενης κυματοειδούς επιφάνειας.

2.1.1 Η τροχιά ανάγνωσης ως βασικό στοιχείο ελέγχου

Κατά κανόνα, το trajectory ελέγχει τις βασικότερες παραμέτρους σε ένα σύστημα Wave Terrain σύνθεσης ήχου. Είναι εκείνο το στοιχείο που ορίζει την θεμελιώδη συχνότητα του παραγόμενου ήχου και επιδρά άμεσα στη χροιά του, επιτυγχάνοντας ραγδαίες μεταβολές, καθορίζοντας παράλληλα τη μικροδομή του και δίνοντάς του τα ποιοτικά χαρακτηριστικά για τα οποία διακρίνονται οι φυσικοί ήχοι γύρω μας.

Ο αριθμός των καμπύλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι τεράστιος και είναι αναγκαίο να παρθούν οι κατάλληλες αποφάσεις σε σχέση με τη μεθοδολογία που ακολουθείται στην εκάστοτε υλοποίηση της τροχιάς ανάγνωσης.

¹¹ Roads, C., 1996. The Computer Music Tutorial. Cambridge, Massachusetts: MIT Press: 166

Με αυτή τη λογική, τα συστήματα σάρωσης του πεδίου τιμών, ανάλογα με τη συνάρτηση που χρησιμοποιείται, θα μπορούσαν να χωριστούν σε:

- Περιοδικά, τα οποία διατηρούνται σταθερά σε σχέση με τον χρόνο
- Ημιπεριοδικά, που χαρακτηρίζονται από περιοχές του χώρου των φάσεων (phase space), οι οποίες δεν παραμένουν σταθερές και κινούνται σε ισχυρές τροχιές έλξης.
- Χαοτικά, στα οποία ιδιαίτερα μικρές μεταβολές σε μη γραμμικές εξισώσεις οδηγούν σε εξαιρετικά πολύπλοκα αποτελέσματα
- Στοχαστικά, όπου οδηγούνται από εξισώσεις που περιέχουν κάποιες απροσδιόριστες παραμέτρους, οι οποίες καθορίζονται βάσει τυχαιότητας και πιθανοτήτων.

Οι παράμετροι που επιτρέπουν τον γεωμετρικό μετασχηματισμό είναι επίσης εφικτές και πολύ χρήσιμες, ειδικά όταν ο έλεγχός τους μπορεί να λειτουργήσει ως μέσο έκφρασης. Αυτές είναι οι:

- Κλίμακα, η οποία με την αυξομείωση του χώρου που καταλαμβάνει η τροχιά ανάγνωσης πάνω στο πεδίο τιμών, ελέγχει αντίστοιχα το πλάτος του σήματος στην έξοδο του συστήματος.
- Περιστροφή, με την οποία γίνεται ομαλή μετάβαση μεταξύ των σημάτων που συνιστούν την τροχιά ανάγνωσης.

Είναι σημαντικό επίσης να γνωρίζουμε ότι, περιοχές από σήματα υψηλής πολυπλοκότητας που παράγονται από τη συνάρτηση της τροχιάς ανάγνωσης, πολλές φορές χάνονται λόγω του ανασχηματισμού τους μέσω της σάρωσης του Terrain.

Είναι φυσικό λοιπόν, με την ύπαρξη πολλαπλών παραγόντων που δρούν καθοριστικά για το σήμα μέσω της τροχιάς ανάγνωσης, να μπορεί εύκολα να προκληθεί θόρυβος και αυτό είναι κάτι που γενικά ελέγχεται όταν το terrain έχει μια αρμονικά απλούστερη δομή¹².

¹² James, S.G. 2005. "Developing a flexible and expressive realtime polyphonic wave terrain synthesis instrument based on a visual and multidimensional methodology." Edith Cowan University: 89

2.1.2 Καμπύλες Lissajoux

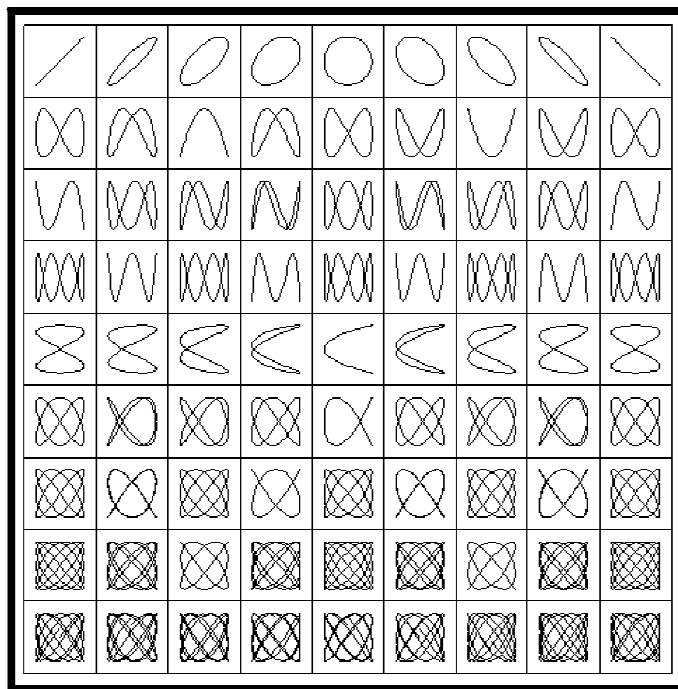
Η εφαρμογή της τροχιάς ανάγνωσης στο πρακτικό μέρος της παρούσας μελέτης, χρησιμοποιεί σε έναν μεγάλο βαθμό τους σχηματισμούς (ή αλλιώς καμπύλες) Lissajoux. Οι καμπύλες Lissajoux μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κλειστού τύπου περιοδικές τροχιές ανάγνωσης. Πρόκειται για μια ειδική περίπτωση παραμετρικών εξισώσεων της μορφής:

$$x = A\sin(\alpha t + \delta)$$

$$y = B\sin(\beta t + \gamma)$$

Οι εξισώσεις αυτές περιγράφουν περίπλοκες αρμονικές κινήσεις και είναι το αποτέλεσμα συνδυασμού δύο τριγωνομετρικών σχημάτων σε συγκεκριμένες γωνίες. Αυτοί οι σχηματισμοί ερευνήθηκαν αρχικά από τον Nathaniel Bowditch το 1815 και στη συνέχεια εκτενέστερα από τον Jules Antoine Lissajoux το 1857¹³. Οι καμπύλες αυτές, αλλάζουν σχήμα ανάλογα με τις τιμές των μεταβλητών στις εξισώσεις, όπως οι τιμές για τη φάση και τη συχνότητα του κάθε σήματος.

Εικόνα 2. Καμπύλες Lissajoux



¹³ Lissajoux Curve, Wikipedia the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Lissajoux_curve

2.1.3 Γεωμετρικός Μετασχηματισμός Τροχιάς

Η τροχιά μπορεί να διαφοροποιηθεί σε σχέση με τον χρόνο μέσω αλλαγής της κλίμακας και της φάσης, ή, την περιστροφή της καμπύλης που σχηματίζει την τροχιά ανάγνωσης. Είναι εμφανές, ότι η κλίμακα της καμπύλης επηρεάζει το πλάτος έντασης του ήχου, ενώ μέσω της περιστροφής της, επιτυγχάνεται ομαλή μετάβαση μεταξύ των σημάτων που συνιστούν την τροχιά ανάγνωσης. Επίσης, μια από τις πιο χαρακτηριστικές παραμέτρους της Wave Terrain synthesis είναι η αλλαγή της φάσης του σήματος ανάγνωσης. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται εφικτή η δημιουργία περίπλοκων αρμονικών διαμορφώσεων, κάτι το οποίο εξαρτάται επίσης και από τις σχετικές εντάσεις των x και y σημάτων τα οποία δομούν την τροχιά ανάγνωσης.

2.2 Terrain (Πεδίο Τιμών)

Το «terrain» στην Wave Terrain synthesis, είναι ένα τρισδιάστατο πεδίο τιμών, το οποίο σαρώνεται μέσω μιας τροχιάς ανάγνωσης. Αυτό το πεδίο τιμών μπορεί να οριστεί αξιοποιώντας διάφορες μεθόδους όπως:

- Μαθηματικές συναρτήσεις
- Πίνακες κυματομορφών
- Ηχοποίηση δεδομένων (Sonification¹⁴)

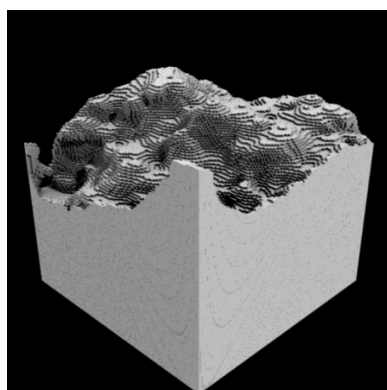
2.2.1 Σχηματισμός πεδίου τιμών μέσω μαθηματικών συναρτήσεων

Η περίπτωση της δημιουργίας ενός πεδίου τιμών μέσω απλών μαθηματικών συναρτήσεων είναι από τις πιο ευρέως διαδεδομένες, λόγω της ισχυρής δυνατότητας πρόβλεψης του αποτελέσματος και της ικανότητας τροφοδοσίας του πεδίου με τιμές οι οποίες είναι συνεχείς στα άκρα του. Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται από την υψηλή ακρίβειά της και από τις απείρως εκτεινόμενες περιοχές με αρνητικές και θετικές τιμές

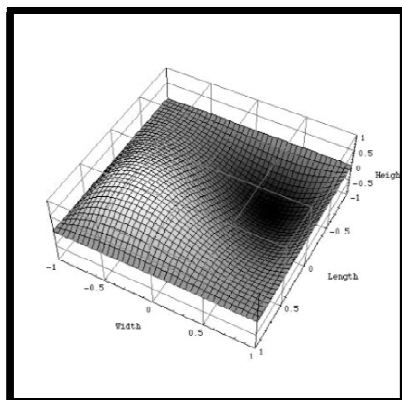
¹⁴ Sonification, Wikipedia the free encyclopedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Sonification>

για όλες τις παραμέτρους που σχετίζονται με τις διαστάσεις του πεδίου¹⁵. Επίσης, χρησιμοποιείται συχνά, παρά τις μεγάλες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ. Μέχρι σήμερα, έχουν αξιοποιηθεί διάφοροι τύποι υπολογιστικά παραγόμενων συναρτήσεων με αυτή τη μέθοδο, όπως:

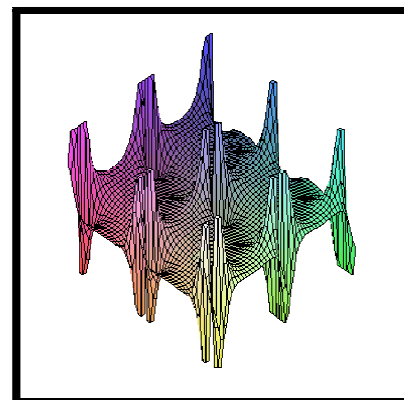
- Πολυωνυμικές (Borgonono και Haus 1984,1986)
- Fractals
- Επαναληπτικές (James 2003, Di Scipio 2003)
- Ελλειπτικές (Catagna και Vicinanza 2002)



Εικόνα 3. Πεδίο Τιμών που παράγεται από Fractals



Εικόνα 4. Πεδίο Τιμών που παράγεται από απλή πολυωνυμική συνάρτηση.



Εικόνα 5. Πεδίο Τιμών που παράγεται από ελλειπτική συνάρτηση

¹⁵ Mitsuhashi, Y. 1982. "Audio Synthesis by Functions of Two Variables." Journal of the Audio Engineering Society 30(10): 701-706.

2.2.2 Σχηματισμός πεδίου τιμών μέσω πίνακα κυματομορφής (Wavetables)

Μια διαφορετική μέθοδος κατασκευής του terrain είναι η χρήση ενός συνόλου διακριτών τιμών οι οποίες αποθηκεύονται σε έναν πίνακα κυματομορφής. Σε αυτή την περίπτωση, το πεδίο τιμών μπορεί να δημιουργηθεί μέσω του πολλαπλασιασμού μεταξύ δύο πινάκων κυματομορφής οι οποίοι συνίστανται από απλά ημιτονοειδή σήματα ή πολυώνυμα Chebyshev¹⁶. Μία άλλη περίπτωση, εξετάζει τη δημιουργία του πεδίου μέσω γραμμικής παράθεσης μιας σειράς τιμών που προκύπτουν από τον τεμαχισμό μιας κυματομορφής σε χρονικά πλαίσια εντός του πίνακα. Ο πίνακας μπορεί να γεμίσει με τιμές προηχογραφημένου σήματος ή τιμές που προκύπτουν από διάφορες μαθηματικές εξισώσεις όπως πολυώνυμα, τμήματα από εκθετικές καμπύλες, κατανομές πιθανοτήτων και διάφορες άλλες πηγές μαθηματικών δεδομένων. Επίσης, μέσω της επανάληψης του πίνακα (wavetable) στα όρια του, μπορεί να προσομοιωθεί ένα άπειρο πεδίο τιμών το οποίο μπορεί να σαρωθεί από την τροχιά ανάγνωσης χωρίς να παρουσιάσει χαρακτηριστικά ασυνέχειας τα οποία θα οδηγούσαν σε ηχητικό σήμα μηδενικής στάθμης.

2.2.3 Σχηματισμός πεδίου τιμών μέσω ηχοποίησης δεδομένων (Sonification)

Στη Wave Terrain synthesis, δεδομένα με τη μορφή εικόνας βίντεο και ήχου, συχνά αποτελούν συντελεστές ηχοποίησης σχηματίζοντας πεδία τιμών. Η ηχοποίηση δεδομένων είναι μια μέθοδος μη λεκτικής ηχητικής απεικόνισης διαφόρων πληροφοριών από το τεχνητό και φυσικό περιβάλλον του ανθρώπου. Το πιο απλό παράδειγμα αυτής της μεθόδου είναι ο μετρητής Geiger, ένας μηχανισμός που μεταφράζει τις πληροφορίες που δέχεται από την ατμόσφαιρα, σε ηχητικό σήμα, του οποίου η συχνότητα επανάληψης συνδέεται άμεσα με το επίπεδο ραδιενεργούς ακτινοβολίας. Συνηθισμένες πηγές δεδομένων αποτελούν πληροφορίες που σχετίζονται με κλιματικές συνθήκες, αποτελέσματα επιστημονικών ερευνών, ιατρικά δεδομένα ή ακόμα και στοιχεία από τους χώρους της τέχνης και της καθημερινότητας.

¹⁶ James, S.G. 2005. "Developing a flexible and expressive realtime polyphonic wave terrain synthesis instrument based on a visual and multidimensional methodology." Edith Cowan University: 62

Για λόγους καλύτερης εκμετάλλευσης της υπολογιστικής ισχύος, συνηθίζεται ο συνδυασμός των πρώτων δύο μεθόδων κατασκευής πεδίου τιμών, κατά τον οποίο, ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών παράγεται αλγοριθμικά βάσει κάποιας συνάρτησης ενώ στη συνέχεια αποθηκεύεται σε έναν πίνακα, ώστε να σαρωθεί από την τροχιά ανάγνωσης.

2.2.4 Στατικά και μεταβαλλόμενα πεδία τιμών

Τα πεδία τιμών, ανάλογα με τις αλλαγές που αυτά υφίστανται σε σχέση με τον χρόνο, μπορούν να χαρακτηριστούν ως

- Στατικά
- Μεταβαλλόμενα

Οι τιμές σε ένα στατικό πεδίο παραμένουν σταθερές σε κάθε του σημείο για κάθε χρονική στιγμή. Αυτό το είδος πεδίου οδηγεί γενικότερα σε ένα σταθερό φασματικό αποτέλεσμα και μπορεί επίσης να αποτρέψει την δημιουργία θορύβου στην περίπτωση σάρωσης του από μια περίπλοκη καμπύλη ανάγνωσης.

Τα μεταβαλλόμενα πεδία τιμών περιέχουν τιμές που αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου σχηματίζοντας συνεχώς εξελισσόμενα μορφολογικά χαρακτηριστικά στην επιφάνεια που συντίθεται από το πεδίο τιμών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ήχων με δυναμικό φασματικό περιεχόμενο.

Οι τιμές στα μεταβαλλόμενα πεδία προκύπτουν είτε μέσω της μαθηματικής επεξεργασίας των παραμέτρων της συνάρτησης του πεδίου, είτε με την διαμόρφωση του ηχητικού σήματος μέσω της τροχιάς ανάγνωσης. Σε αυτή την περίπτωση, το πεδίο τιμών, σχηματίζεται από ηχογραφούμενο ηχητικό σήμα και βρίσκεται σε σχετική κίνηση με την τροχιά ανάγνωσης προκαλώντας φαινόμενα συχνοτικής διαμόρφωσης λόγω αλληλεπίδρασης μεταξύ των σημάτων.

3. ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

3.1 Εφαρμογή της Wave Terrain synthesis χρησιμοποιώντας το Max/MSP/Jitter.

3.1.1 Σύντομη περιγραφή της Max/MSP

Το Max ήταν ένα γραφικό περιβάλλον προγραμματισμού για τον έλεγχο μουσικών εφαρμογών το οποίο δημιουργήθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 80 από τον Miller Puckette στο IRCAM¹⁷. Το λογισμικό επανασχεδιάστηκε για εμπορική χρήση από τον David Zicarelli και έγινε διαθέσιμο στην αγορά μέσω της Orcode Systems το 1990. Αρχικά είχε σχεδιαστεί για τον ψηφιακό έλεγχο συσκευών παραγωγής και επεξεργασίας ήχου και εικόνας, ενώ το 1997 προστέθηκε σε αυτό η επέκταση MSP, που επέτρεπε την επεξεργασία audio σημάτων σε πραγματικό χρόνο. Από το 1999 ανέλαβε τη διάθεσή του στην αγορά η εταιρεία του Zicarelli, Cycling '74. Το 2003, προστέθηκε άλλη μια επέκταση, το Jitter, μέσω του οποίου κάποιος μπορεί να επεξεργαστεί σε πραγματικό χρόνο δεδομένα εικόνας¹⁸. Το Jitter πρόσθεσε καινούρια δομικά στοιχεία προγραμματισμού (programming objects) στο περιβάλλον της Max/MSP, τα οποία μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους αλλά και με τα υπόλοιπα, παλαιότερα αντικείμενα, μέσω εικονικών διασυνδέσεων των διαθέσιμων θυρών τους. Η αρχή λειτουργίας τους είναι κοινή. Κάθε αντικείμενο εκτελεί μια ή περισσότερες εντολές ανάλογα με την ιδιότητά του και τα δεδομένα που λαμβάνει στις εισόδους του. Το αποτέλεσμα εξάγεται από τις θύρες εξόδου του κάθε αντικειμένου με σειρά προτεραιότητας, από την τελευταία δεξιά θύρα εξόδου, στην πρώτη αριστερή.

Στο πρακτικό μέρος της μελέτης η Max/MSP και η επέκτασή της μέσω του Jitter αποτελούν το βασικό περιβάλλον υλοποίησης της Wave Terrain synthesis. Απώτερος

¹⁷ Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique

¹⁸ Max software, Wikipedia the free encyclopedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Max_\(software\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Max_(software))

σκοπός της συγκεκριμένης υλοποίησης ήταν η δημιουργία ενός ψηφιακού μουσικού οργάνου μέσω του οποίου ο χρήστης θα μπορέσει να μελετήσει και να αξιολογήσει την επίδραση των διαφόρων παραμέτρων γύρω από το βασικό μοντέλο της Wave Terrain synthesis, μέσω ενός εύκολου στη χρήση γραφικού περιβάλλοντος. Επιπλέον, πάνω στον ίδιο θεματικό άξονα, υλοποιήθηκαν κάποιες εναλλακτικές εφαρμογές για τη δημιουργία του πεδίου τιμών και εξετάστηκαν τα σημεία ενδιαφέροντος τα οποία παρουσιάζουν.

Η εφαρμογή αποτελείται από τους εξής βασικούς τομείς:

- τροχιά ανάγνωσης
- πεδίο τιμών
- μονάδα διαμόρφωσης παραμέτρων (ταλαντωτής χαμηλών συχνοτήτων)
- γεννήτρια περιβάλλουσας (ADSR)
- μονάδα διαμόρφωσης κίνησης της τροχιάς ανάγνωσης
- κεντρική επιφάνεια οπτικού ελέγχου της διάταξης, για την προβολή της καμπύλης της τροχιάς ανάγνωσης και του πεδίου τιμών σε πραγματικό χρόνο.

Επίσης, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να ελέγχει τη θέση της τροχιάς ανάγνωσης πάνω στο πεδίο τιμών μέσω οποιασδήποτε διαθέσιμης συσκευής εισόδου του ηλεκτρονικού υπολογιστή ή εξειδικευμένων μονάδων ελέγχου ψηφιακών μουσικών οργάνων με τη χρήση του πρωτοκόλλου MIDI. Τέλος, ο χρήστης μπορεί να καθορίζει την κεντρική συχνότητα του οργάνου μέσω ελεγκτή MIDI και να αλλάζει τα χαρακτηριστικά της τροχιάς ανάγνωσης μέσω γραφικών ελέγχου των παραμέτρων.

3.1.2 Βασικά χαρακτηριστικά του Jitter : Η ειδική μνήμη matrix

Το Jitter κάνει εφικτή την επεξεργασία εικόνας μέσω του γραφικού περιβάλλοντος προγραμματισμού της Max / MSP. Χρησιμοποιεί έναν αποκλειστικό τύπο σημάτων για την επικοινωνία των διαφόρων γραφικών αντικειμένων επεξεργασίας εικόνας και όπως είναι φυσικό, ειδικά αντικείμενα. Το πιο βασικό από αυτά τα αντικείμενα είναι το jit.matrix. Το jit.matrix, ή αλλιώς matrix, είναι ένας εξειδικευμένος τύπος μνήμης για αρχεία εικόνας και βίντεο. Αποτελείται από ένα πλέγμα πληροφοριών, αποθηκευμένες σε τομείς που ονομάζονται cells, των οποίων η θέση προσδιορίζεται από αριθμημένες στήλες και γραμμές, με τρόπο όμοιο με αυτόν των καρτεσιανών συντεταγμένων. Ο τρόπος που αποθηκεύονται οι πληροφορίες θυμίζει επίσης τους πίνακες δεδομένων στην πληροφορική. Ένα matrix μπορεί να αποτελείται από πολλά παράλληλα πλέγματα αποθηκευμένων πληροφοριών, τα οποία συνήθως αποκαλούνται διαστάσεις ενώ στην παρούσα μελέτη αναφέρονται ως επίπεδα για την καλύτερη κατανόηση τους. Σε αυτή την περίπτωση μιλάμε για πολυεπίπεδα matrices και ο μέγιστος αριθμός των επιπέδων αυτών δεν μπορεί να ξεπερνάει το 32. Κάποιος θα μπορούσε να φανταστεί ένα matrix τριών επιπέδων σαν έναν κύβο με πλάτος, ύψος και βάθος. Αν αυτό το πολυεπίπεδο matrix είχε πλάτος 3 cells, ύψος 3 cells και βάθος 3 cells, τότε το σύνολο των θέσεων μνήμης που θα είχε θα ήταν $3 \times 3 \times 3 = 27$.

Το matrix λειτουργεί παρόμοια με μια οθόνη υπολογιστή. Σε μια οθόνη, η ανάλυση προσδιορίζεται από τον πολλαπλασιασμό των μέγιστων pixels στο οριζόντιο και κάθετο επίπεδο. Δηλαδή, όταν η ανάλυση είναι 640x480, τότε ο μέγιστος αριθμός των pixels για μια μονο εικόνα, θα είναι $640 \times 480 = 307.200$ pixels. Κάθε pixel έχει ένα συγκεκριμένο χρώμα και ο κύριος τρόπος περιγραφής του χρώματος στα ψηφιακά συστήματα είναι μέσω των τριών βασικών συνιστωσών του, δηλαδή των τριών τιμών που αναπαριστούν το κόκκινο το πράσινο και το μπλέ χρώμα, καθώς επίσης και μιας τέταρτης για την διαφάνεια. Σύμφωνα με αυτόν τον τρόπο σκέψης υπάρχουν τα γνωστά συστήματα χρωματικής αναπαράστασης RGBA και ARGB, ανάλογα με τον τρόπο διάταξης των τιμών στη μνήμη. Το matrix, λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο, αποθηκεύοντας αυτές τις τέσσερις συνολικά τιμές που αναπαριστούν το χρώμα για κάθε pixel, σε κάθε θέση μνήμης (cell). Όταν γίνεται ο υπολογισμός της μνήμης για τους

αριθμούς ενός matrix, το Jitter χρειάζεται το μέγεθος του κάθε επιπέδου και τον αριθμό των τιμών οι οποίες καταχωρούνται σε κάθε θέση μνήμης (cell). Λόγω λοιπόν της περιπλοκότητας των απαιτούμενων στοιχείων, το Jitter χρησιμοποιεί πρόσθετα εικονικά υποεπίπεδα πληροφοριών τα οποία ονομάζονται planes, ώστε να προσδιορίσει τις τέσσερις διαφορετικές τιμές σε κάθε θέση μνήμης (cell). Ο χρήστης, χρησιμοποιώντας αυτή τη διάταξη μπορεί να χειριστεί ξεχωριστά κάθε εικονικό υποεπίπεδο πληροφορίας (εν προκειμένω, το κάθε κανάλι χρωματικής πληροφορίας) όταν αυτό χρειάζεται. Κατ' αυτόν τον τρόπο, μια τυπική αναπαράσταση βίντεο με την χρήση του matrix, λειτουργεί χρησιμοποιώντας ένα matrix δύο επιπέδων με τέσσερα υποεπίπεδα πληροφορίας που περιέχουν τιμές από 0 έως το 255 σε κάθε θέση μνήμης (cell).

3.1.3 Στοιχεία ανάγνωσης και αποθήκευσης δεδομένων στο matrix

Το Jitter παρέχει τα αντικείμενα `jit.poke~` και `jit.peek~` για την αποθήκευση και ανάγνωση δεδομένων στο στοιχείο μνήμης `jit.matrix`. Το `jit.peek~` διαβάζει την τιμή ενός υποεπίπεδου πληροφορίας χρώματος (plane) σε μία θέση μνήμης (cell) του matrix, η οποία ορίζεται από το σήμα που εισάγεται σε κάθε είσοδο του αντικειμένου. Το σήμα που εισέρχεται στην αριστερή είσοδο προσδιορίζει την στήλη (column), ενώ το σήμα που εισέρχεται από την δεξιά είσοδο προσδιορίζει την γραμμή (row). Στην έξοδο το αποτέλεσμα έχει τη μορφή audio σήματος. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται ο υπολογισμός της θέσης του δείκτη ανάγνωσης και η γραμμική μετάβαση μεταξύ των τιμών. Το αντικείμενο `jit.poke~` εκτελεί την αντίστροφη διαδικασία από το `jit.peek~`, δηλαδή, αποθηκεύει τις τιμές που εισάγονται από την αριστερή του είσοδο, στις θέσεις μνήμης (cells) του `jit.matrix`, οι οποίες προσδιορίζονται από τα audio σήματα που λαμβάνει στις υπόλοιπες δύο εισόδους του. Οι καμπύλες που είναι αποθηκευμένες σε κάθε matrix ερμηνεύονται με μεγαλύτερη ευκολία σε μια διάταξη σύνθεσης ήχου, επειδή δεν περιέχουν την πολύπλοκη μαθηματική δομή των δεδομένων από τα οποία προέρχονται.

3.2 Δομικά στοιχεία της εφαρμογής

3.2.1 Τροχιά ανάγνωσης

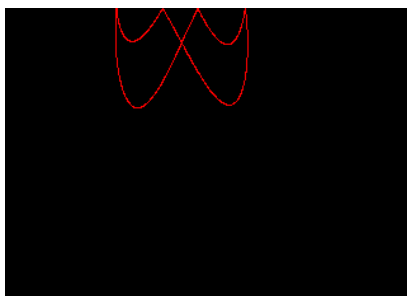
Οι θεωρητικές προσεγγίσεις για τον προσδιορισμό της τροχιάς ανάγνωσης, συχνά χρησιμοποιούν απλά μαθηματικά μοντέλα ή περίπλοκες συναρτήσεις, οι οποίες είναι δύσκολο να ελεγχθούν σε πλήρες επίπεδο. Η συγκεκριμένη εφαρμογή βασίζεται σε ένα ενδιάμεσο στάδιο ελέγχου δίνοντας ένα ικανοποιητικό εύρος αποτελεσμάτων, από απλές καμπύλες και βασικά σχήματα, έως περίπλοκα διαμορφωμένες τροχιές. Η βάση της διάταξης αποτελείται από τον συνδυασμό δύο ημιτονοειδών σημάτων, των οποίων τα χαρακτηριστικά ελέγχονται από τον χρήστη κάνοντας εφικτή τη δημιουργία σχηματισμών Lissajoux¹⁹. Επιπλέον στη διάταξη έχει προστεθεί η δυνατότητα διαμόρφωσης συχνότητας και φάσης σαν μέσο επεξεργασίας της τροχιάς ανάγνωσης. Με αυτόν τον τρόπο εμπλουτίζεται το συχνοτικό περιεχόμενο του προκύπτοντος σήματος τροχιάς ανάγνωσης, δίνοντας σύνθετα ηχητικά αποτελέσματα όταν σαρώνεται ένα σχετικά απλό πεδίο τιμών, και θόρυβο όταν η σάρωση γίνεται σε περίπλοκες περιοχές του πεδίου. Τα χαρακτηριστικά που μπορεί να αλλάξει ο χρήστης μέσω γραφικών στοιχείων ελέγχου είναι η κεντρική συχνότητα, η φάση, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κλίμακας και της περιστροφής της καμπύλης, καθώς επίσης και τον βαθμό διαμόρφωσης για τη φάση και τη συχνότητα της κάθε μιας από τις δύο γεννήτριες ημιτόνων.

Στο Jitter όταν το σήμα της τροχιάς ανάγνωσης περάσει εκτός της περιοχής που ορίζεται από το πεδίο τιμών, τότε παρουσιάζονται προβλήματα ασυνέχειας της κυματομορφής που παράγεται, λόγω του μηδενισμού των τιμών που βρίσκονται έξω από τα όρια του matrix. Αυτό είναι ένα φαινόμενο που γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτό στην περίπτωση μεταβολής της κλίμακας της καμπύλης ή μετακίνησής της κοντά στα όρια του πεδίου τιμών. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αποφυγή αυτού φαινομένου είναι η αναδίπλωση (folding) (εικόνα 1) των τμημάτων της τροχιάς ανάγνωσης που βγαίνουν έξω από τα όρια του πεδίου τιμών. Αυτό θα μπορούσε να ερμηνευτεί και σαν

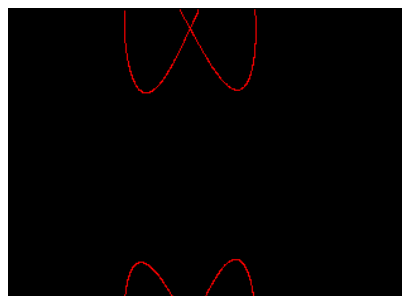
¹⁹ Περιοδικοί σχηματισμοί που προκύπτουν από τον συνδυασμό δύο τριγωνομετρικών σχημάτων σε συγκεκριμένες γωνίες.

συμμετρική επανάληψη του πεδίου τιμών ως προς τα όρια των διαστάσεών του. Με αυτόν τον τρόπο διατηρείται η συνέχεια του σήματος για τα πεδία τιμών τα οποία δεν έχουν τις ίδιες τιμές κατά μήκος των αντιθέτων άκρων τους²⁰.

Το αντικείμενο με το οποίο εφαρμόζεται αυτή η τεχνική στο Max/MSP, είναι το *rough~*, το οποίο αναδιπλώνει το σήμα στην είσοδό του μεταξύ ενός εύρους που καθορίζεται από τον χρήστη με τη δήλωση της κατώτερης και ανώτερης τιμής του. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιούνται δύο από αυτά τα αντικείμενα, με το κάθε ένα να λειτουργεί σαν μηχανισμός αναδίπλωσης (*folding*) τιμών για το κάθε επίπεδο του *matrix* με μέγιστη τιμή του το μέγεθος του επιπέδου. Το αντικείμενο υποστηρίζει και έναν δεύτερο τρόπο λειτουργίας (*wrapping*) (εικόνα 2), ο οποίος ερμηνεύεται και ως επανάληψη του πεδίου τιμών στα όριά του, ξεκινώντας με τις τιμές της αντίθετης πλευράς. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας παρουσιάζει προβλήματα ασυνέχειας τιμών όταν χρησιμοποιούνται μη συμμετρικά πεδία, γι' αυτόν τον λόγο προτείνεται το *folding* σαν καλύτερη μέθοδος.



Εικόνα 6. “Folding”



Εικόνα 7. “Wrapping”

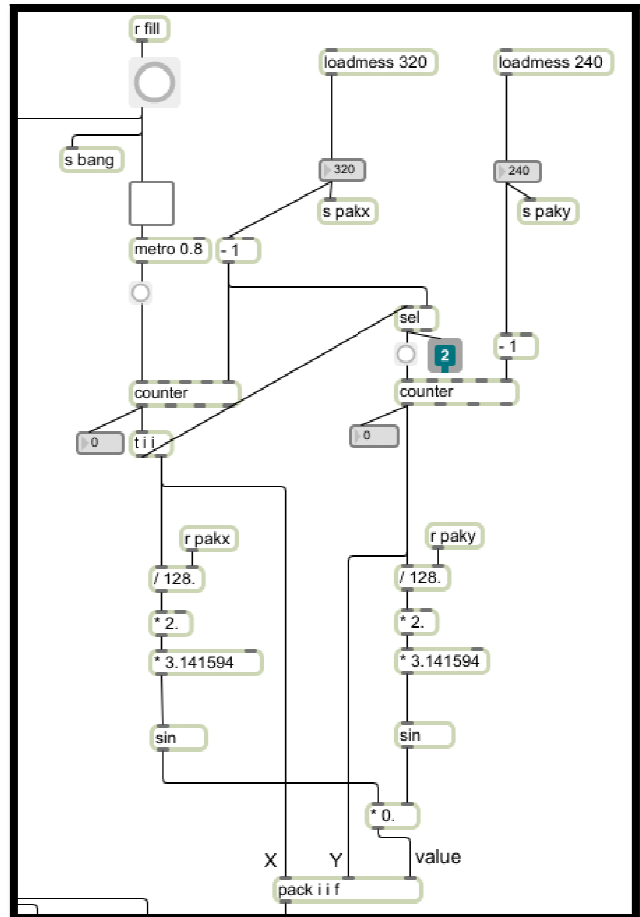
²⁰ James, S.G. 2005. “Developing a flexible and expressive realtime polyphonic wave terrain synthesis instrument based on a visual and multidimensional methodology.” Edith Cowan University: 130

3.2.2 Πεδίο τιμών

Για την επίτευξη ενός προβλέψιμου αποτελέσματος οι περισσότερες υλοποιήσεις της Wave Terrain synthesis βασίζονται σε απλές μαθηματικές εξισώσεις με τιμές μέσα στο εύρος $(-1 < x < 1, -1 < y < 1)$ (Mitsuhashi 1982, Borgonono and Haus 1986)²¹. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιούνται επιπλέον δύο εναλλακτικές μέθοδοι υλοποίησης του πεδίου τιμών, οι οποίες εξετάζουν διαφορετικές εκδοχές γεμίσματος του matrix με τιμές. Στην κύρια μέθοδο γίνεται χρήση της συνάρτησης

$$z = \sin(2\pi*(x/320)) * \sin(2\pi*(y/240))$$

η οποία παράγει ένα ομαλό και συνεχές πεδίο τιμών. Στην προσπάθεια εναλλακτικού εμπλουτισμού του ηχητικού αποτελέσματος σε σχέση με την εκτέλεση του μουσικού οργάνου, ένας μηχανισμός μίξης σημάτων Jitter, εισάγει πρόσθετες τιμές στο matrix από μια γεννήτρια που παράγει fractal, ανάλογα με την θέση της τροχιάς ανάγνωσης στον οριζόντιο άξονα του πεδίου τιμών. Επιπλέον επηρεάζεται και η πυκνότητα του fractal στον χώρο (Lacunarity)²², οδηγώντας από σύνθετες κυματομορφές σε αποτελέσματα θορύβου, ανάλογα με τη θέση της τροχιάς ανάγνωσης στον κάθετο άξονα του πεδίου τιμών. Αυτό δίνει στον χρήστη την δυνατότητα εκφραστικότερης εκτέλεσης, μέσω της τροποποίησης του πεδίου_τιμών. (Εικόνα 8. Πεδίο τιμών με χρήση μαθηματικής συνάρτησης)

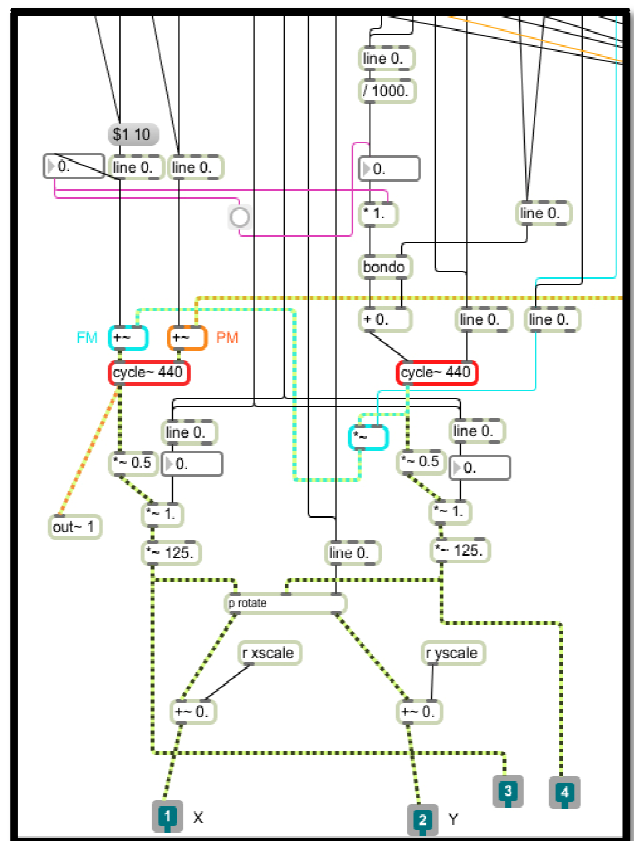
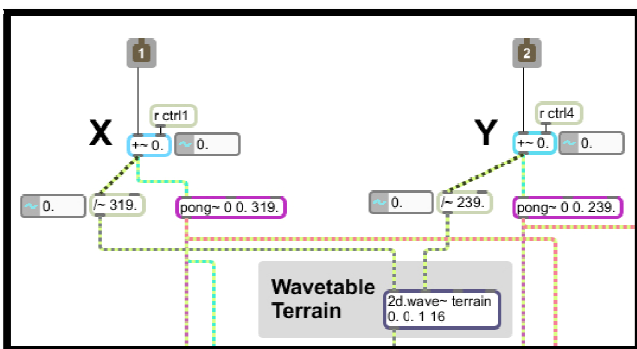


²¹ James, S.G. 2005. "Developing a flexible and expressive realtime polyphonic wave terrain synthesis instrument based on a visual and multidimensional methodology." Edith Cowan University: 60

²² Mandelbrot B. 1982, "The Fractal Geometry Of Nature" W.H. Freeman & Co

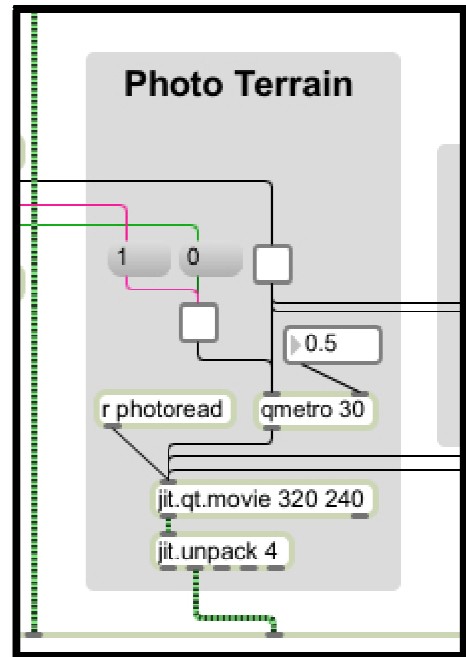
Η πρώτη εναλλακτική μέθοδος υλοποίησης του πεδίου τιμών (εικόνα 8), χρησιμοποιεί το αντικείμενο 2d.wave~ για την κατασκευή ενός πεδίου τιμών μέσω κυματομορφής ήχου.. Το αντικείμενο αυτό χωρίζει την κυματομορφή σε μια σειρά από διακριτά χρονικά πλαίσια (frames) τα οποία παρατίθενται γραμμικά για τη δημιουργία μιας επιφάνειας δύο διαστάσεων. Αυτή η μέθοδος παρέχει τις περισσότερες δυνατότητες επεξεργασίας μεταξύ της τροχιάς ανάγνωσης και του πεδίου τιμών, επειδή καταργεί την υποχρεωτική χρήση αντικειμένων επεξεργασίας εικόνας, λειτουργώντας αποκλειστικά με τη χρήση audio σημάτων, τα οποία μπορούν να τροποποιηθούν ευκολότερα και με περισσότερους τρόπους σε όλα τα συστήματα μουσικού προγραμματισμού. Παραδείγματα επεξεργασίας των audio σημάτων που συνιστούν το πεδίο τιμών, αποτελούν οι σειρές καθυστέρησης, η τεχνητή αντήχηση, η γραμμική παραμόρφωση αλλά ακόμα και οι γνωστές μέθοδοι προσθαιρειτικής σύνθεσης, διαμόρφωσης συχνότητας, φάσης και πλάτους.

Εικόνα 9a. Το patch για την τροχιά ανάγνωσης.



Εικόνα 9. Πεδίο τιμών με την χρήση wavetables

Η δεύτερη εναλλακτική μέθοδος χρησιμοποιεί αρχεία εικόνας και συνίσταται από τα αντικείμενα `jit.qt.movie` και `jit.peek~`, μέσω των οποίων γίνεται η εισαγωγή αρχείων εικόνας και η καταχώρηση των τιμών τους σε αντίστοιχο matrix για την κατασκευή του terrain. Μέσω αυτής της μεθόδου, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να χρησιμοποιήσει οποιαδήποτε εικόνα σαν πεδίο τιμών, κάτι που σχετίζεται άμεσα και με παλαιότερες θεωρητικές εφαρμογές οι οποίες χρησιμοποιούσαν μεθόδους ηχοποίησης (sonification). Ως μέσο διαμόρφωσης των εικόνων που σχηματίζουν το terrain, μπορεί να λειτουργήσει οποιοδήποτε πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας.



Εικόνα 10. Πεδίο τιμών με τη χρήση εικόνας

3.2.3 Μέσα διαμόρφωσης

Για τον εμπλουτισμό του ηχητικού αποτελέσματος και της μουσικής έκφρασης χρησιμοποιήθηκαν δύο τομείς διαμόρφωσης των παραμέτρων της τροχιάς ανάγνωσης, και μια γεννήτρια (ADSR)²³ η οποία λειτουργεί σαν περιβάλλουσα έντασης. Ο πρώτος τομέας διαμόρφωσης περιλαμβάνει έναν ταλαντωτή χαμηλών συχνοτήτων (LFO)²⁴ με δυνατότητα επιλογής μεταξύ τεσσάρων κυματομορφών και μιας πηγής θορύβου για ψευδοτυχαία αποτελέσματα. Η ταχύτητα διαμόρφωσης, όπως και ο βαθμός επίδρασης της μπορεί να αλλάξει από τα αντίστοιχα σημεία ελέγχου για όλες τις παραμέτρους της τροχιάς ανάγνωσης, όπως η κεντρική συχνότητα, η φάση, η μεταβολή της φάσης, η συχνότητα μορφοποίησης, αλλά και ο βαθμός επίδρασης της συχνοτικής διαμόρφωσης μεταξύ των δύο σημάτων που σχηματίζουν την τροχιά ανάγνωσης. Μέσω αυτής της

²³ Attack, Decay, Sustain, Release

²⁴ Low Frequency Oscillator

δυνατότητας, το παραγόμενο φάσμα αποκτά δυναμικό χαρακτήρα με συνεχείς μεταβολές στο περιεχόμενό του, χωρίς όμως να χάνει τα βασικά του χαρακτηριστικά, οδηγώντας από μικρές τονικές διακυμάνσεις σε μεγάλα glissandos και φασματικές εξάρσεις.

Ο δεύτερος τομέας διαμόρφωσης αφορά στην αυτοματοποίηση της κίνησης της τροχιάς ανάγνωσης μέσω της χρήσης ενός αντιγράφου της γεννήτριας από την οποία παράγεται. Αυτό σημαίνει ότι οι καμπύλες οι οποίες σχηματίζουν την τροχιά ανάγνωσης, μπορούν να αναπαραχθούν ώστε να δημιουργήσουν μια τροχιά πάνω στην οποία κινείται ολόκληρος ο μηχανισμός ανάγνωσης, προκαλώντας μία ακόμα πιο σύνθετη κίνηση πάνω στο πεδίο τιμών. Η απλούστερη εφαρμογή αυτής της διαμόρφωσης θα μπορούσε να παρομοιαστεί με την κίνηση ενός πλανήτη όπως η Γη, γύρω από τον Ήλιο. Η ταχύτητα της κίνησης της τροχιάς ανάγνωσης, ελέγχεται από τον χρήστη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δώσει την αίσθηση μικρών ή μεγάλων ηχητικών μεταβολών που πλαισιώνουν το γενικότερο αποτέλεσμα, όπως αυτό συμβαίνει στα ακουστικά όργανα κατά τη διάρκεια της μουσικής εκτέλεσης. Όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος και η ταχύτητα της κίνησης της τροχιάς ανάγνωσης, τόσο πιο δραματικό είναι το ηχητικό αποτέλεσμα. Αυτή η μέθοδος διαμόρφωσης στηρίζεται περισσότερο στα χαρακτηριστικά του πεδίου τιμών επειδή επηρεάζει την γενικότερη κίνηση της τροχιάς ανάγνωσης πάνω σε αυτό και όχι συγκεκριμένες παραμέτρους οι οποίες ελέγχουν την παραγόμενη καμπύλη ανάγνωσης.

Η γεννήτρια ADSR λειτουργεί ως περιβάλλουσα έντασης, ελέγχοντας σε τέσσερα χρονικά επίπεδα το πλάτος του παραγόμενου ήχου. Με αυτόν τρόπο, ο ήχος αποκτά χαρακτηριστικά από τις δυναμικές διαφορών ακουστικών οργάνων.

Στην περίπτωση της χρήσης εικόνας, ο χρήστης μπορεί μέσω εξειδικευμένου λογισμικού επεξεργασίας εικόνας να προδιαγράψει τις ηχητικές μεταβολές, τροποποιώντας την εικόνα πριν αυτή χρησιμοποιηθεί σαν πεδίο τιμών. Αυτή είναι μια μέθοδος στατικού πεδίου, η οποία συνιστάται για λόγους εξοικονόμησης επεξεργαστικής ισχύος.

3.3 Ανάλυση στελεχών της πρακτικής διάταξης

3.3.1 Η δομή υλοποίησης της τροχιάς ανάγνωσης

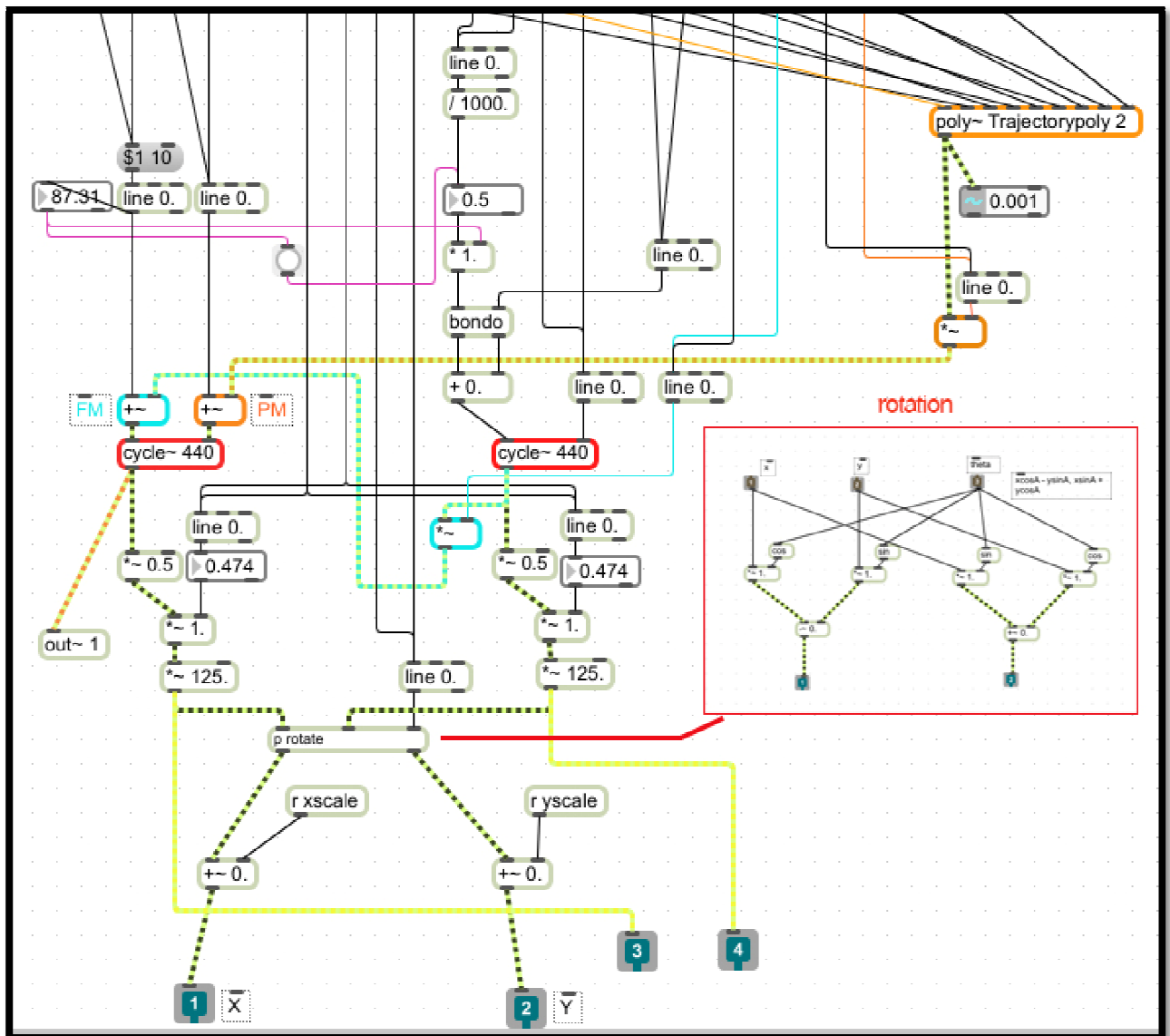
Το σήμα της τροχιάς ανάγνωσης βασίζεται στα δύο κεντρικά αντικείμενα “cycle~” τα οποία λειτουργούν σαν δύο κοινοί ταλαντωτές και παράγουν συνημιτονοειδή σήματα, διαβάζοντας επαναλαμβανόμενα τις 512 τιμές από έναν πίνακα κυματομορφής. Αυτοί οι ταλαντωτές, όπως φαίνεται και στην εικόνα 11, λαμβάνουν τιμές στην αριστερή και τη δεξιά τους είσοδο, για τον αντίστοιχο έλεγχο της συχνότητας και της φάσης των σημάτων τα οποία παράγουν. Η τιμή για την κεντρική συχνότητα του οργάνου, η οποία επίσης αντιστοιχεί στην ταχύτητα σάρωσης του πεδίου τιμών, εισάγεται στην αριστερή είσοδο του πρώτου “cycle~” ενώ παράλληλα, διαμορφώνει μέσω πολλαπλασιασμού τη συχνότητα του δεύτερου. Με αυτόν τον τρόπο, η συχνότητα στον δεύτερο ταλαντωτή είναι πάντα πολλαπλάσια του πρώτου, ενώ ο λόγος μεταξύ των συχνοτήτων είναι υπεύθυνος για τους σχηματισμούς Lissajoux, οι οποίοι αλλάζουν με την διαφοροποίηση της συχνότητας στον δεύτερο ταλαντωτή. Επίσης, μέρος της διάταξης αποτελεί η δυνατότητα απλής διαμόρφωσης της φάσης και της συχνότητας μεταξύ των δύο ταλαντωτών. Αυτό, για τη συχνοτική διαμόρφωση, επιτυγχάνεται με την πρόσθεση ενός ποσοστού του σήματος που εκρέει από τον δεύτερο ταλαντωτή, στην τιμή που ορίζει την συχνότητα του πρώτου. Παρομοίως λειτουργεί και η διάταξη για τη διαμόρφωση φάσης, με μόνη διαφορά, του ότι το σήμα που προστίθεται στην τιμή ορισμού της φάσης, είναι αποτέλεσμα ανατροφοδότησης του σήματος που προκύπτει από τον πρώτο ταλαντωτή. Ο μηχανισμός ανατροφοδότησης, στηρίζεται στη λειτουργία του αντικειμένου “poly~”, το οποίο περιέχει ένα εικονικό αντίγραφο της διάταξης σε παράλληλη λειτουργία.

Το σήμα που προκύπτει από τους ταλαντωτές, υφίσταται αλλαγή κλίμακας μέσω πολλαπλασιασμού της κάθε διάστασης (x,y) με μια σταθερή και με μια μεταβλητή τιμή η οποία ελέγχεται από τον χρήστη. Η σταθερή τιμή ορίζει τον λόγο των διαστάσεων, ενώ η μεταβλητή τιμή επηρεάζει το μέγεθος της σχηματιζόμενης καμπύλης ανάγνωσης.

Τέλος, ένας μηχανισμός περιστροφής του σήματος στις δύο διαστάσεις, κάνει χρήση της σχέσης:

$$X = x \cos A - y \sin A \text{ και } Y = x \sin A + y \cos A$$

δίνοντας με αυτόν τον τρόπο στον χρήστη τη δυνατότητα ορισμού της γωνίας περιστροφής «A»²⁵.



Εικόνα 11. Η διάταξη δημιουργίας της τροχιάς ανάγνωσης

²⁵ Penna M. 2005, "Rotation Of Coordinate Axis" Indiana University – Purdue University, Indianapolis, Brooks/Cole

3.3.2 Η δομή υλοποίησης του πεδίου τιμών

3.3.2.1 Εφαρμογή πεδίου τιμών μέσω αλγοριθμικής προσέγγισης

Η μέθοδος κατασκευής του πεδίου τιμών μέσω αλγορίθμου που υπολογίζει τις τιμές του πεδίου, θεωρητικά, χωρίζεται σε δύο μέρη:

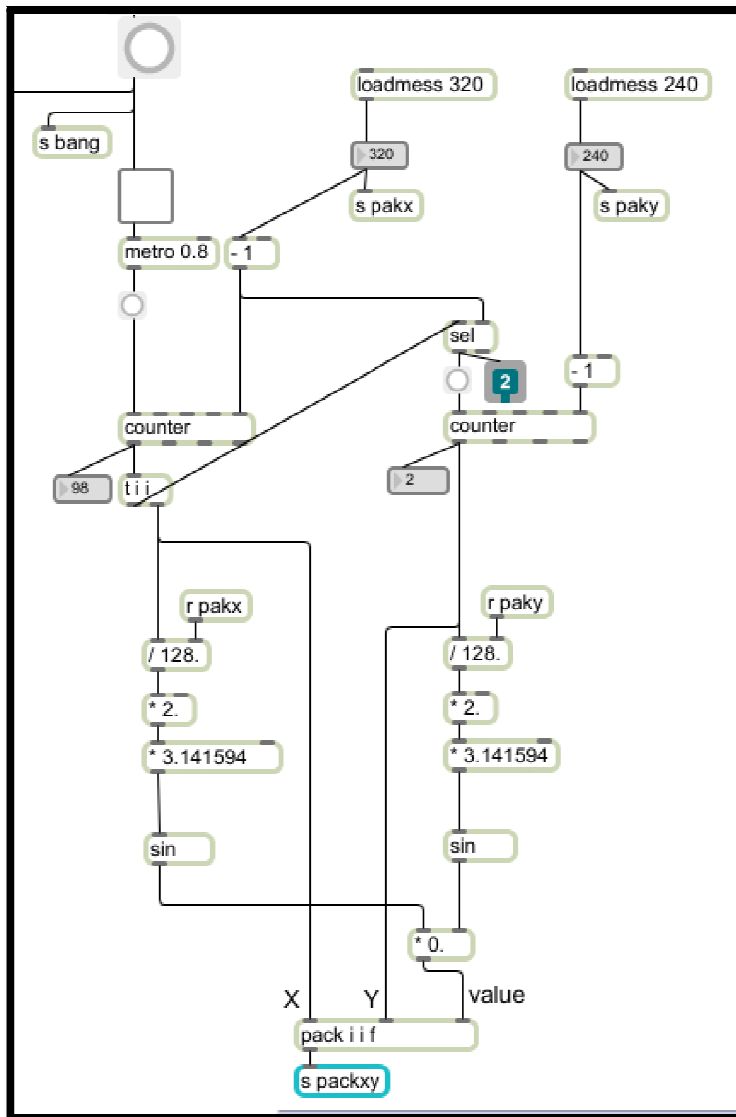
- Υπολογισμός των τιμών
- Καταχώρηση τιμών στο matrix

Η δομή υπολογισμού των τιμών του πεδίου είναι ουσιαστικά η υλοποίηση της σχέσης:

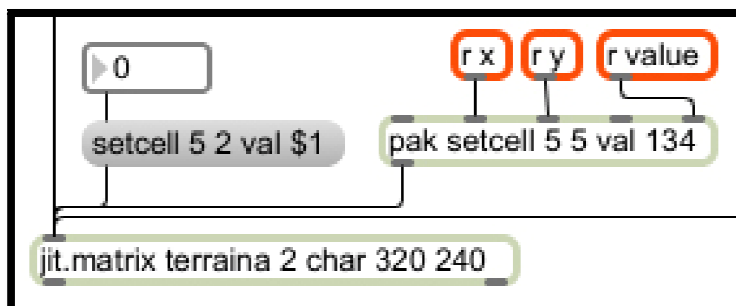
$$z = \sin(2\pi*(x/320)) * \sin(2\pi*(y/240)) \text{ (σχέση 1)}$$

Αρχικά γίνεται η εισαγωγή των διαστάσεων του πεδίου στο επάνω μέρος της διάταξης, ορίζοντας τον χώρο τον οποίο αυτό καταλαμβάνει. Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι διαστάσεις είναι 320x240 pixels. Αυτά τα δύο νούμερα για την οριζόντια και την κάθετη διάσταση, εισάγονται ξεχωριστά σε δύο αντικείμενα “counter”, τα οποία, με ρυθμό που ορίζεται από το αντικείμενο “metro”, τοποθετούν τις τιμές στις αντίστοιχες θέσεις αποθήκευσης μιας μνήμης matrix. Το πρώτο αντικείμενο “counter” μετράει τιμές από το 0 μέχρι και το νούμερο 319 επαναλαμβανόμενα ορίζοντας τον αριθμό της στήλης για τη θέση καταχώρησης, ενώ όταν φτάσει στο τέλος της κάθε μέτρησης, στέλνει το μήνυμα “bang” στο δεύτερο αντικείμενο «counter” το οποίο λειτουργεί αντίστοιχα για τον ορισμό της σειράς καταχώρησης, αλλάζοντας γραμμή κάθε φορά που γεμίζει η προηγούμενη. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται η δρομολόγηση των τιμών στις θέσεις μνήμης του matrix.

Στη συνέχεια, όπως φαίνεται περίπου στη μέση της εικόνας 12, γίνεται ο υπολογισμός των τιμών του πεδίου από την παραπάνω σχέση «1», αφού πρώτα υπολογιστεί το εύρος (0 έως 1) των μεταβλητών x και y βάσει των διαστάσεων του πεδίου και της τρέχουσας τιμής για την κάθε θέση μνήμης. Οι τιμές που προκύπτουν μαζί με τους αριθμούς που ορίζουν τη θέση μνήμης, δρομολογούνται σε μια μνήμη matrix και μέσω του αντικειμένου “pak” με την εντολή “setcell”, καταχωρούνται στα αντίστοιχα κελιά.



Εικόνα 12. Αλγοριθμική προσέγγιση κατασκευής του Terrain.



Εικόνα 13. Αλγοριθμική μέθοδος εισαγωγής τιμών στο matrix.

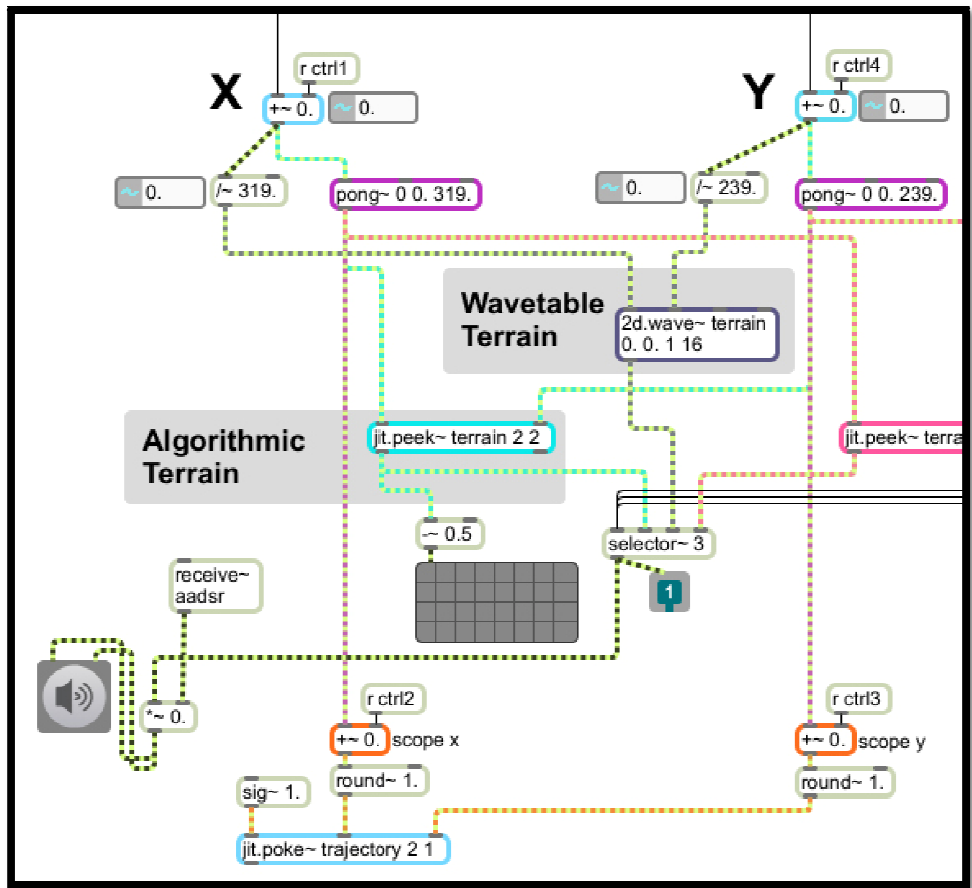
3.3.3 Διατάξεις σάρωσης του πεδίου τιμών

3.3.3.1 Σάρωση αλγοριθμικού πεδίου τιμών

Μία ειδική διάταξη είναι απαραίτητη, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το σήμα της τροχιάς ανάγνωσης για τη σάρωση του αλγοριθμικού πεδίου τιμών με αποτέλεσμα το τελικό ψηφιακό ηχητικό σήμα στην έξοδο της εφαρμογής. Αυτή η διάταξη φαίνεται στην Εικόνα 14 και αποτελείται κυρίως από τα αντικείμενα “rong~” “jit.peek~” και “ezdac~”. Οι τιμές από τη μονάδα διαμόρφωσης της τροχιάς προστίθενται στα σήματα της τροχιάς ανάγνωσης, πριν αυτά χρησιμοποιηθούν για τη σάρωση του πεδίου τιμών. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η γενική μετακίνηση της τροχιάς πάνω στο πεδίο τιμών από τον μηχανισμό που περιγράφεται στην ενότητα 3.2.3 της παρούσας μελέτης. Μετά από αυτό το στάδιο, το κάθε σήμα διέρχεται από το αντικείμενο “rong~”, το οποίο εκτελεί τη διαδικασία αναδίπλωσης (folding) (εικόνα 1) των τμημάτων της τροχιάς ανάγνωσης που βγαίνουν έξω από τα όρια του πεδίου τιμών. Το σήμα στη συνέχεια καταλήγει στο “jit.peek~”, βάσει του οποίου λειτουργεί το βασικότερο στάδιο της σάρωσης του πεδίου τιμών, πραγματοποιώντας ανάγνωση των θέσεων μνήμης στο matrix, ανάλογα με τα σήματα ανάγνωσης που αυτό δέχεται. Το πρώτο σήμα καθορίζει την στήλη (διάσταση x), ενώ το δεύτερο σήμα καθορίζει τη σειρά (διάσταση y). Τελική βαθμίδα αποτελεί το αντικείμενο “ezdac~”, το οποίο οδηγεί το σήμα στους hardware μετατροπείς του συστήματος για την αναπαραγωγή του από τα ηχεία.

3.3.3.2 Σάρωση πίνακα κυματομορφής

Η χρήση πίνακα κυματομορφής για την κατασκευή πεδίου τιμών στη συγκεκριμένη πρακτική εφαρμογή γίνεται αποκλειστικά μέσω του αντικειμένου “2d.wave~”, το οποίο λειτουργεί σε συνδυασμό με το αντικείμενο μνήμης “buffer~”. Στη μνήμη “buffer~” αποθηκεύεται μια κυματομορφή την οποία επιλέγει ο χρήστης, ενώ στην συνέχεια, αυτή η κυματομορφή σαρώνεται από το αντικείμενο “2d.wave~”, το οποίο χρησιμοποιεί τις δύο πρώτες αριστερές εισόδους του για την εισαγωγή του σήματος τροχιάς ανάγνωσης. Η τροχιά ανάγνωσης σε αυτήν την περίπτωση, καθορίζει τη θέση μνήμης από την οποία διαβάζονται οι τιμές.



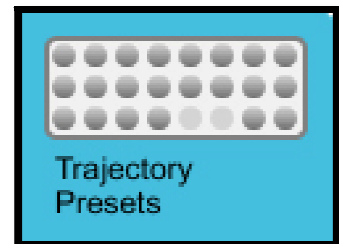
Εικόνα 14. Διατάξεις Σάρωσης

4. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α (Οδηγίες Χρήσης)

4.1 Προετοιμασία / Επιλογή πεδίου τιμών

Η προετοιμασία της εφαρμογής είναι απλή και αποτελείται από τρία βήματα:

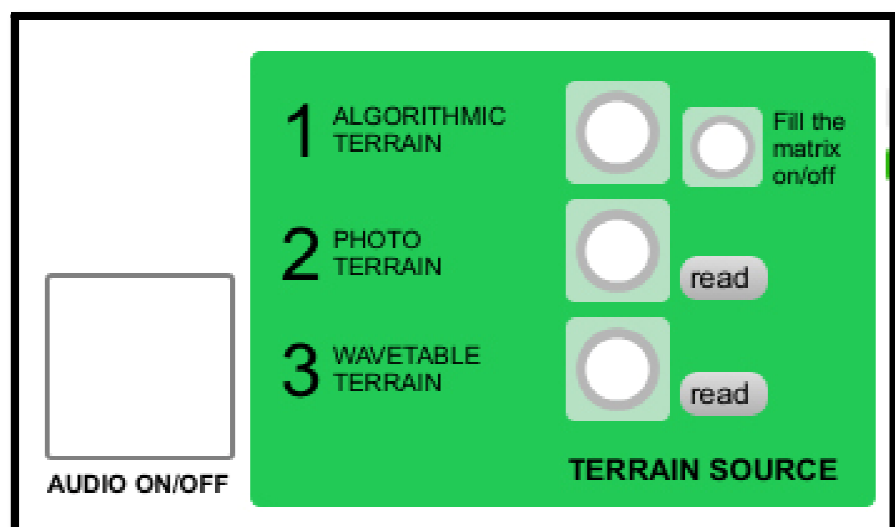
- Επιλογή του επιθυμητού είδους πεδίου τιμών. Υπάρχουν τρία είδη πεδίων, με το κάθε ένα να αντιστοιχεί σε διαφορετική υλοποίηση.
- Ενεργοποίηση προεπιλογής
- Εκκίνηση Audio



Εικόνα 15. Προεπιλογή ρυθμίσεων

Τά είδη πεδίων επιλέγονται μέσω των μεγάλων κουμπιών στο πράσινο πλαίσιο (εικόνα 15). Το πρώτο είδος (αλγοριθμικό πεδίο) χρειάζεται αρχικά εκκίνηση της διαδικασίας καταχώρησης τιμών (μέσω του μικρότερου κουμπιού με τίτλο “fill the matrix”) , την οποία πρέπει ο χρήστης να πραγματοποιήσει πρώτη και να περιμένει μέχρι να ολοκληρωθεί. Μετά, αφού κλείσει τον μηχανισμό γεμίσματος μπορεί να συνεχίσει με το επόμενο βήμα. Το δεύτερο και το τρίτο είδος πεδίου ζητάνε τα δεδομένα γεμίσματος κατά την πρώτη επιλογή τους, δηλαδή ένα αρχείο εικόνας και ένα αρχείο ήχου αντίστοιχα. (Εάν χρειαστεί, υπάρχει πάντα η δυνατότητα μη αυτόματης εισαγωγής αρχείων, μέσω των κουμπιών με τον τίτλο “read”).

Εικόνα 16. Επιλογή Πεδίου Τιμών

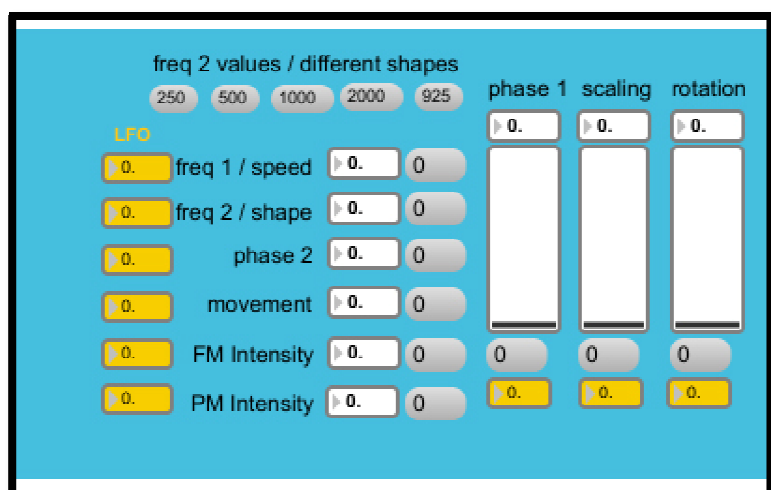


4.2 Ρυθμίσεις Τροχιάς Ανάγνωσης

Η τροχιά ανάγνωσης ελέγχεται από τα χειριστήρια μέσα στο μπλέ πλαίσιο. Οι λειτουργίες των χειριστηρίων είναι οι εξής:

- Freq 1 / Speed: Κεντρική συχνότητα συστήματος και ταχύτητα σάρωσης. Ελέγχεται και από το εικονικό πληκτρολόγιο ή μέσω midi συσκευής.
- Freq 2 / Shape: Συχνότητα μετασχηματισμού. Χρησιμοποιείται για να την αλλαγή του σχήματος της τροχιάς ανάγνωσης
- Phase 1 / Phase 2: Η φάση για κάθε έναν από τους ταλαντωτές που συνιστούν την τροχιά ανάγνωσης.
- Movement: Διαμορφώνει την συχνότητα μετασχηματισμού, προκαλώντας μια κυκλική κίνηση μεταξύ διαφόρων σχημάτων της τροχιάς ανάγνωσης.
- FM Intensity: Ρυθμίζει την επίδραση της συχνοτικής διαμόρφωσης μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου ταλαντωτή.
- PM Intensity: Ρυθμίζει την επίδραση της διαμόρφωσης φάσης, μέσω ανατροφοδότησης του πρώτου ταλαντωτή.
- Scaling: Ρυθμίζει το μέγεθος της τροχιάς ανάγνωσης
- Rotation: Ρυθμίζει την γωνία περιστροφής

Τα κίτρινα πλαίσια τιμών αφορούν στον βαθμό διαμόρφωσης της κάθε παραμέτρου από τον ταλαντωτή χαμηλής συχνότητας στο πλαίσιο του ίδιου χρώματος ενώ τα κουμπιά με το «0», μηδενίζουν την κάθε μεταβλητή.



Εικόνα 17. Χειριστήρια ελέγχου τροχιάς

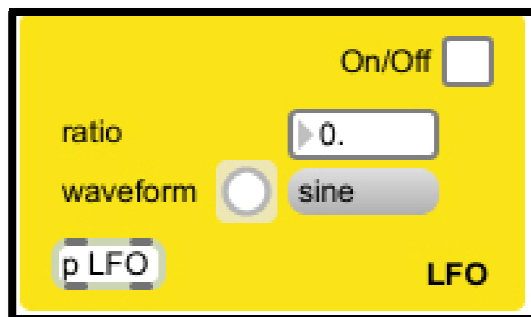
4.3 Τομείς Διαμόρφωσης

Οι βασικοί τομείς διαμόρφωσης της εφαρμογής είναι δύο:

- Διαμόρφωση τιμών μέσω Ταλαντωτή Χαμηλής Συχνότητας (LFO)
- Διαμόρφωση κίνησης της τροχιάς ανάγνωσης

Ο ταλαντωτής χαμηλής συχνότητας μπορεί να επηρεάσει όλες τις παραμέτρους της τροχιάς ανάγνωσης σε βαθμό που ο χρήστης ορίζει μέσω των κίτρινων πλαισίων εισαγωγής τιμών. Οι παράμετροι αυτής της μονάδας της:

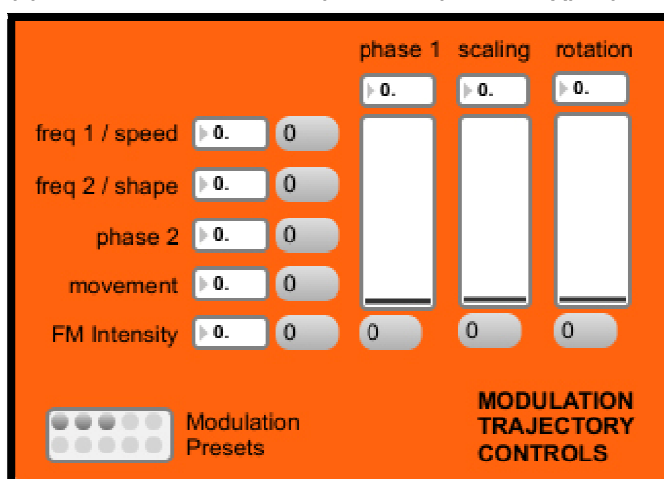
- Ratio: Ορίζει την συχνότητα του ταλαντωτή, άρα και την ταχύτητα διαμόρφωσης
- Waveform: Κουμπί που επιλέγει το είδος της κυματομορφής. Βάσει αυτού μπορούμε να κανονίσουμε τον ρυθμό μετάβασης από τιμή σε τιμή, πραγματοποιώντας από μικρές τονικές μεταβολές μέχρι και ηχητικά εφέ.



Εικόνα 18. Μονάδα LFO

Ένας διαφορετικός τομέας διαμόρφωσης βρίσκεται στο πλαίσιο με το πορτοκαλί χρώμα.

Πρόκειται γενικά για την ίδια γεννήτρια σχηματισμών Lissajoux που χρησιμοποιείται για την τροχιά ανάγνωσης, χωρίς όμως τις πρόσθετες δυνατότητες διαμόρφωσης. Οι παράμετροι είναι ίδιες με αυτές που περιγράφονται στην ενότητα 4.2 όμως το αποτέλεσμα έχει να κάνει με την αυτοματοποίηση της κίνησης για



ολόκληρη την τροχιά. Η μονάδα διαθέτει αντικείμενο καταγραφής προεπιλογών ώστε να μπορεί ο χρήστης να αποθηκεύσει τις ρυθμίσεις (πατώντας το πλήκτρο shift μαζί με το αριστερό κουμπί του ποντικιού πάνω από μια κενή θέση μνήμης).

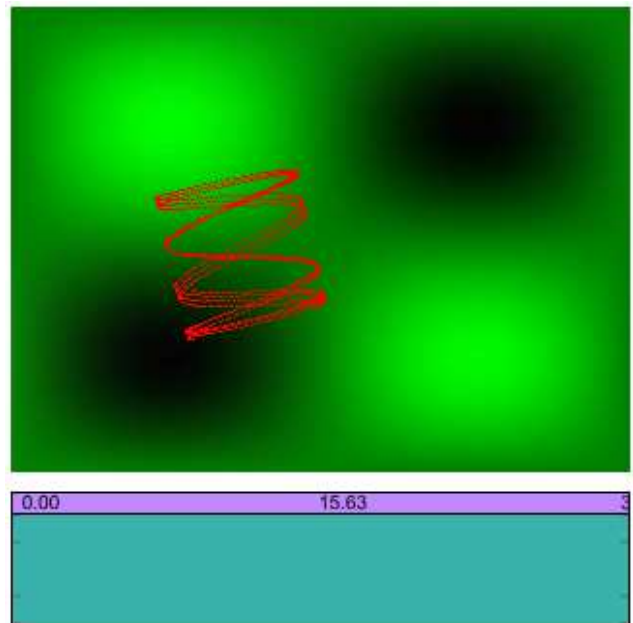
4.4 Κεντρική οθόνη ελέγχου

Η κεντρική οθόνη ελέγχου παρέχει τις περισσότερες από της πληροφορίες που χρειάζονται για την κατανόηση και την χρήση ενός συνθετητή Wave Terrain. Απεικονίζει σε πραγματικό χρόνο:

- την καμπύλη και της κινήσεις της τροχιάς ανάγνωσης
- τον χώρο που καταλαμβάνει η τροχιά ανάγνωσης επάνω στο πεδίο τιμών
- το πεδίο τιμών (στατικό ή μεταβαλλόμενο)

της, δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη, να μπορεί να μετακινεί την τροχιά ανάγνωσης πάνω στο πεδίο τιμών χρησιμοποιώντας συσκευές κατάδειξης όπως γραφίδες ψηφιοποίησης, οθόνες αφής και εξειδικευμένα χειριστήρια ελέγχου ηλεκτρονικών παιχνιδιών.

Μια επιπλέον δυνατότητα που παρέχει η οθόνη ελέγχου στον χρήστη, είναι ο χειρισμός της για την μεταβολή του πεδίου τιμών. Συγκεκριμένα, όταν μετακινείται η τροχιά μέσω μιας συσκευής κατάδειξης της τη δεξιά πλευρά της οθόνης, γίνεται μετάβαση σε ένα σύνθετο πεδίο που έχει ως βάση του μια γεννήτρια fractal. Επίσης, όταν η τροχιά μετακινείται προς το κάτω μέρος της οθόνης, το παραγόμενο fractal γίνεται συνθετότερο κάνοντας δυνατή τη δημιουργία πολυπλοκότερων ήχων.



Εικόνα 20. Οθόνη ελέγχου

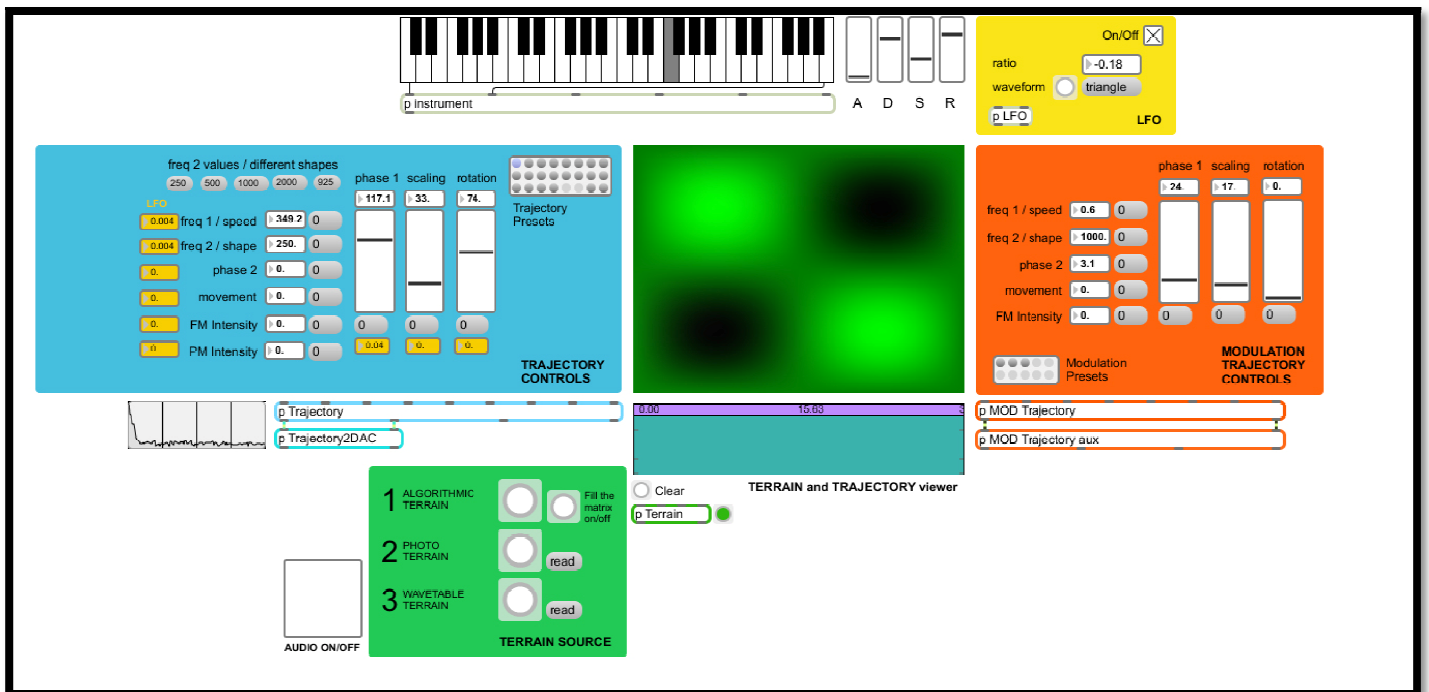
Στο κάτω μέρος της οθόνης βρίσκεται μια μικρότερη η οποία χρησιμεύει στην απεικόνιση του πεδίου τιμών όταν αυτό βασίζεται στη χρήση πίνακα κυματομορφής.

4.5 Προεπιλογές και περιγραφή

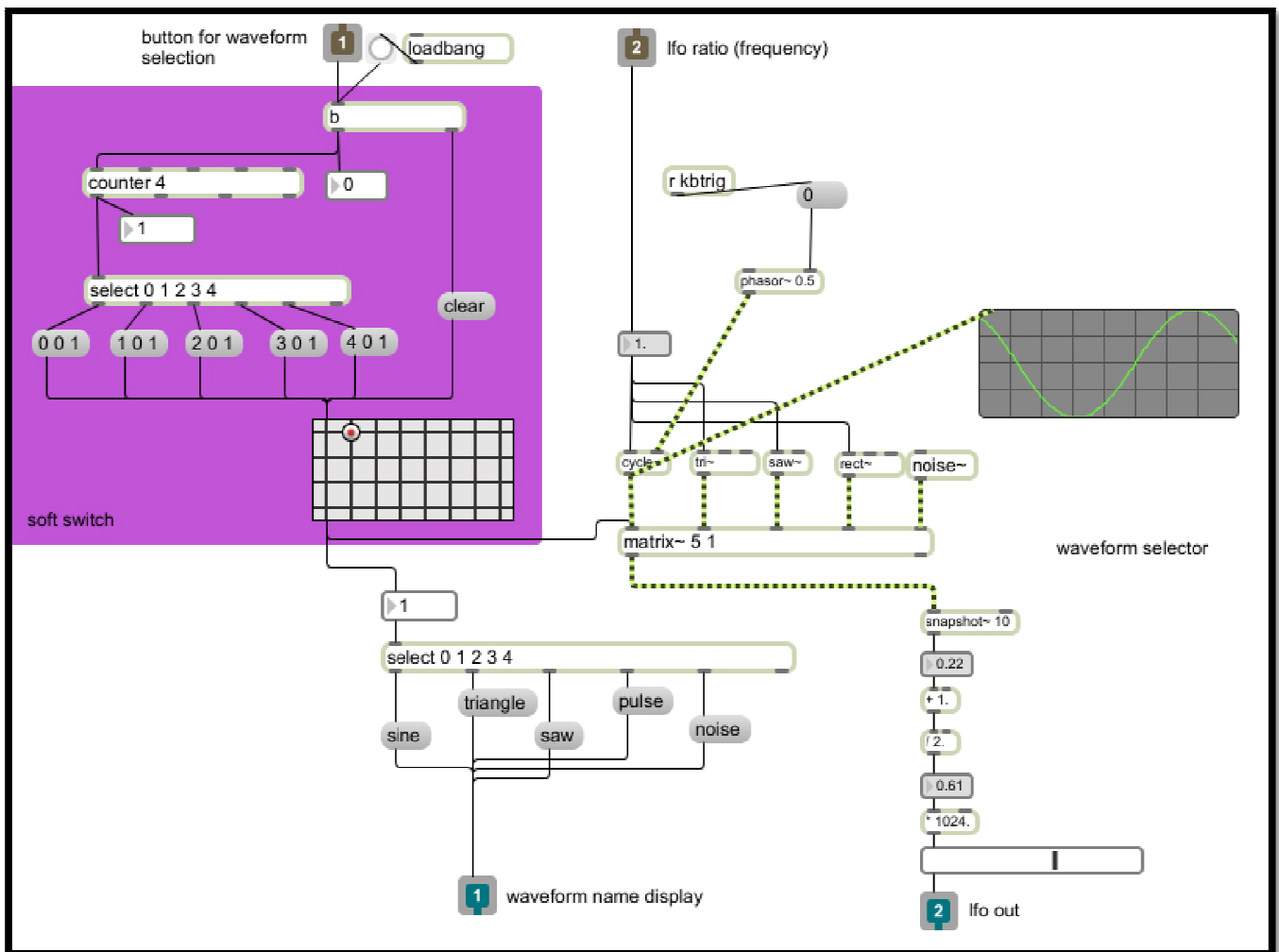
Στην εφαρμογή περιέχεται και ένα αντικείμενο εγγραφής προεπιλογών (presets). Οι ρυθμίσεις που αντιστοιχούν στις θέσεις της πρώτης γραμμής έχουν γίνει για την επίδειξη των δυνατοτήτων του οργάνου και αυτή είναι η περιγραφή των τριών πρώτων:

- Θέση 1: Έχει γίνει χρήση του ταλαντωτή χαμηλών συχνοτήτων, ο οποίος μεταβάλλει αργά την κεντρική συχνότητα και την συχνότητα μετασχηματισμού. Της έχει γίνει χρήση του και στην φάση του πρώτου ταλαντωτή, προκαλώντας μια πρόσθετη κυκλική κίνηση. Ο τομέας διαμόρφωσης της κίνησης της τροχιάς είναι και αυτός ενεργός, μετακινώντας ολόκληρη την τροχιά ελλειπτικά διαγώνια, καλύπτοντας περίπου το πρώτο μισό του αλγοριθμικού πεδίου τιμών. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένας απαλός και ατμοσφαιρικός τόνος που θυμίζει κατά κάποιο τρόπο παλαιό ηλεκτρικό όργανο.
- Θέση 2: Έχει γίνει χρήση του ταλαντωτή χαμηλών συχνοτήτων, ο οποίος μεταβάλλει αργά ένα πολύ μικρό ποσό της διαμόρφωσης φάσης. Επίσης, η τροχιά έχει τεθεί σε ζωηρή κίνηση πάνω σε αλγοριθμικό πεδίο τιμών ενώ η συχνότητα μετασχηματισμού οδηγεί σε λόγο ίσο σχεδόν με 0.5 δημιουργώντας συνολικά έναν ήχο που θυμίζει κλασική FM synthesis.
- Θέση 3: Εδώ κυριαρχεί η συχνοτική διαμόρφωση και ο μεγάλος χρόνος κορύφωσης του πλάτους του σήματος. Επίσης, το κεντρικό σημείο της τροχιάς έχει μετακινηθεί προς τη δεξιά πλευρά του πεδίου τιμών, σαρώνοντας εν μέρει και κάποιες από τις τιμές που σχηματίζει η γεννήτρια fractal, δίνοντας ένα σύνθετο αποτέλεσμα μακρόσυρτου βόμβου στις χαμηλές νότες.

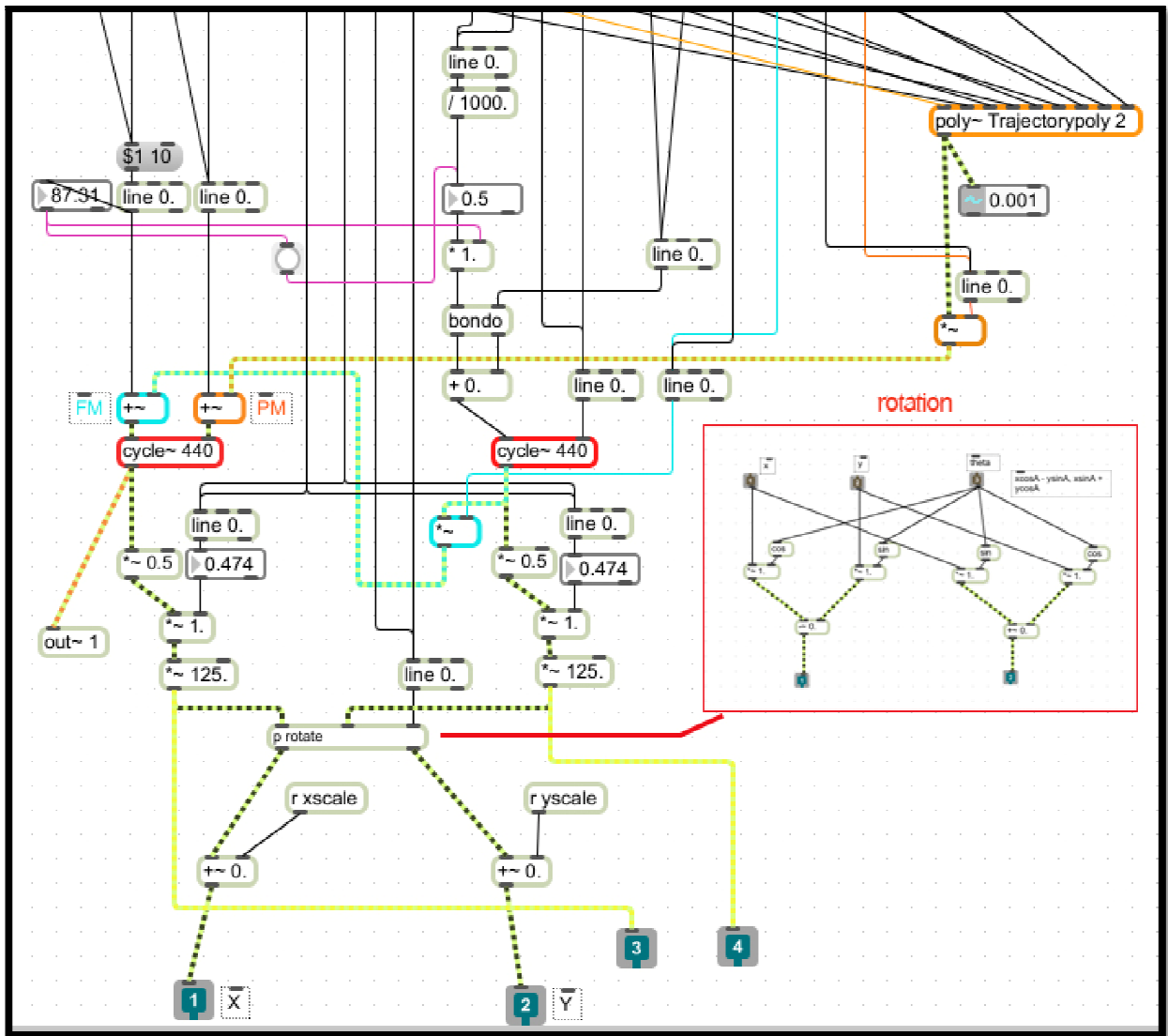
5. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β (Εικόνες της εφαρμογής)



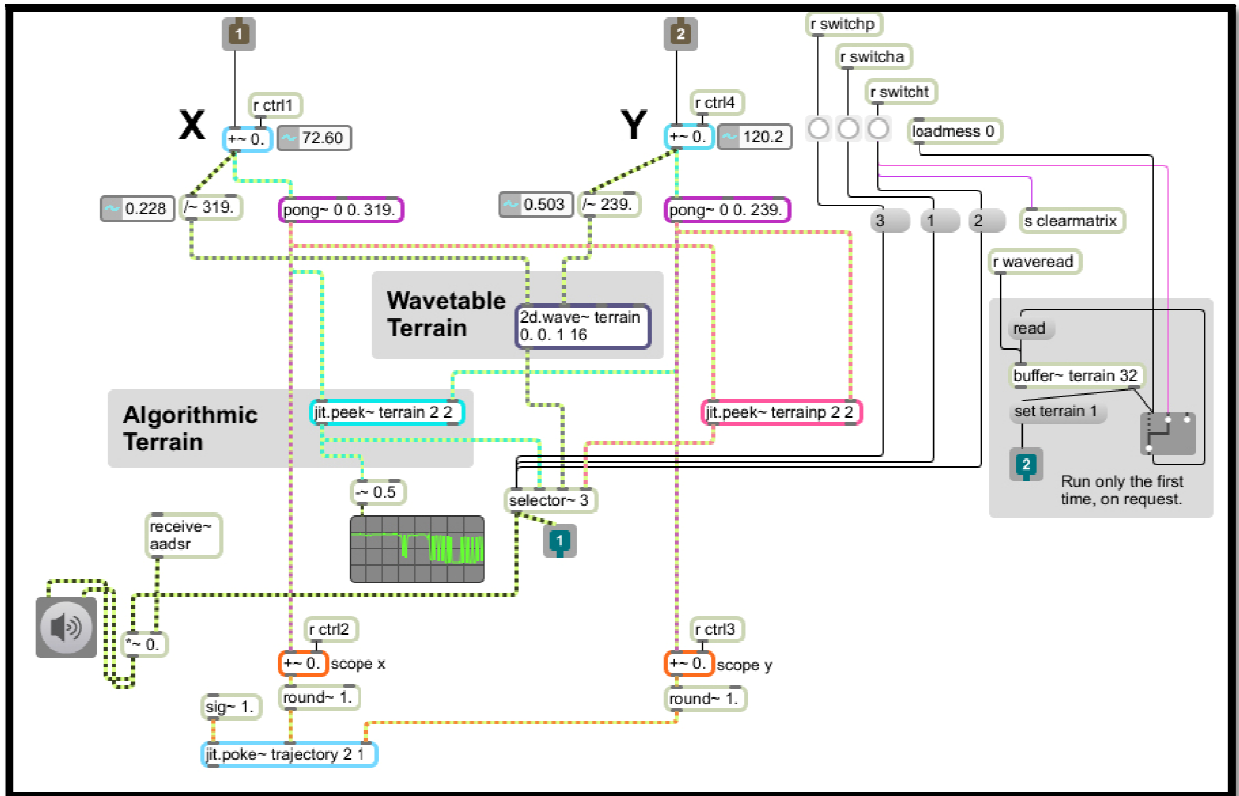
Εικόνα 21. Γενική όψη της εφαρμογής



Εικόνα 22. Ταλαντωτής χαμηλών συχνοτήτων

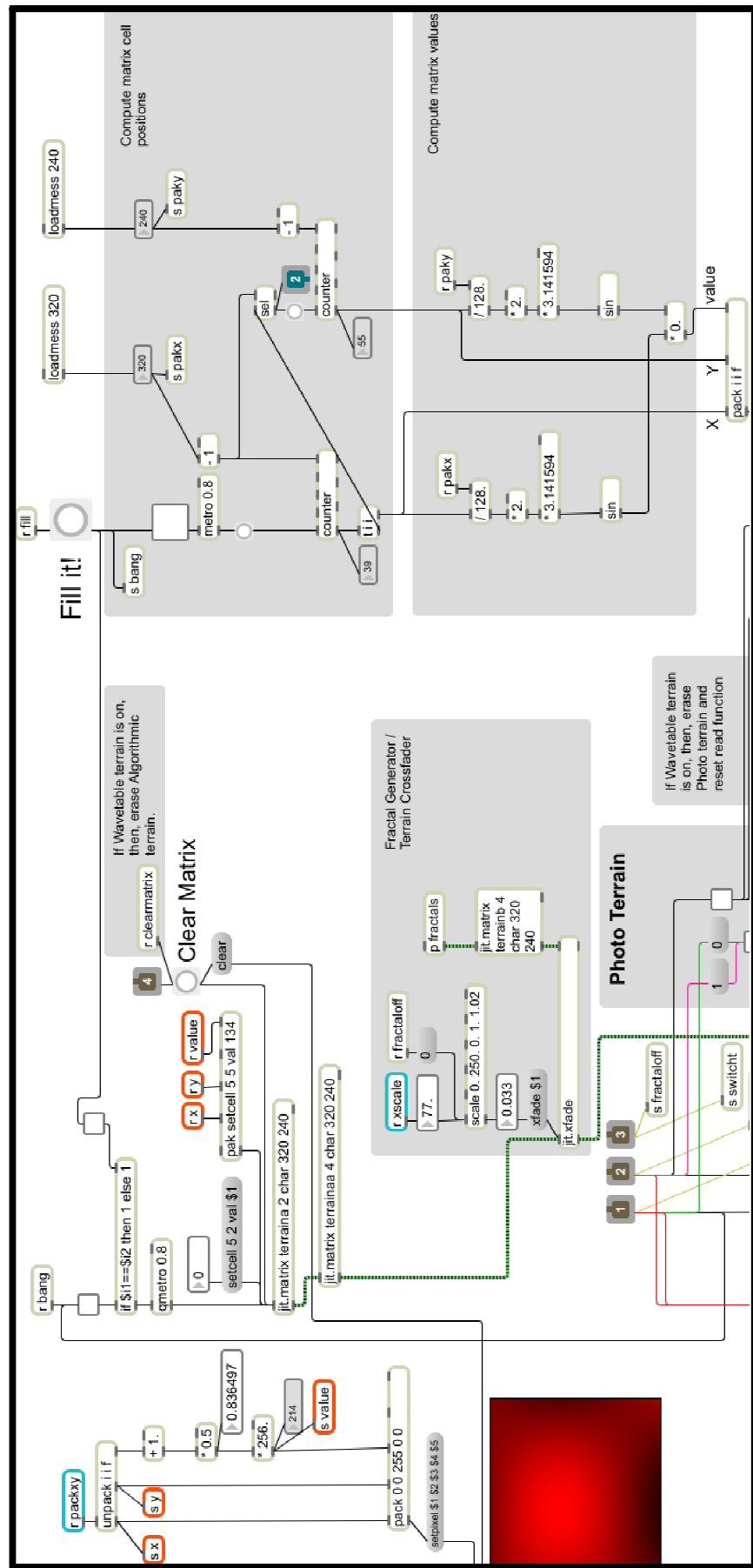


Εικόνα 23.Γεννήτρια Τροχιάς Ανάγνωσης

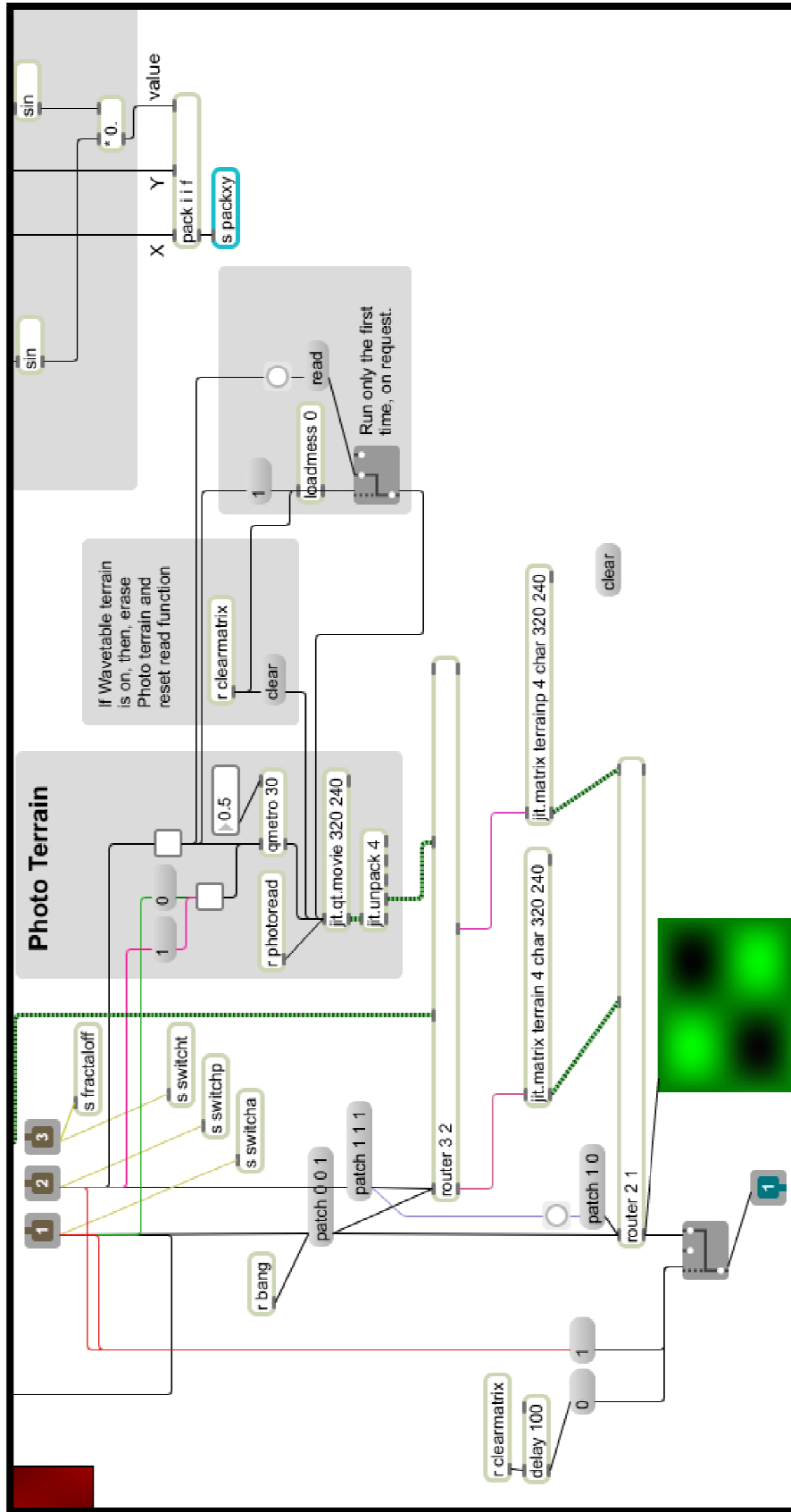


Εικόνα 24. Στοιχεία σάρωσης

Εικόνα 25. Πεδίο τιμών 1



Εικόνα 26.
τιμών 2



Πεδίο

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Andresen, U. "A New Way In Sound Synthesis. 62nd AES Convention (Brussels, Belgium)", Audio Engineering Society (AES), 1979.

Bischoff, J., R. Gold, and J. Horton. "A Microcomputer-based network for live performance." / "Music for an interactive network of microcomputers", 1978.

Borgonovo, A., and G. Haus. "Musical Sound Synthesis by means of Two-Variable Functions: experimental criteria and results", In D. Wessel, ed. Proceedings of the 1984 International Computer Music Conference, 1984.

Boulanger, R. and Lazzarini, V. "The Audio Programming Book", Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2011.

Boulanger, R. "The CSound Book", Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2000.

Bristow-Johnson, R. "Wavetable Synthesis 101, A Fundamental Perspective", 101st AES Convention (Los Angeles, California), Audio Engineering Society (AES), 1996.

James, S.G. "Developing a flexible and expressive realtime polyphonic wave terrain synthesis instrument based on a visual and multidimensional methodology", Edith Cowan University, 2005.

Layton, Z. "Sonic Topology", Master's Thesis, Interactive Telecommunications Program, Tisch School of the Arts, New York University, 2007

Lissajous Curve – Wikipedia, the free encyclopedia,
http://en.wikipedia.org/wiki/Lissajous_curve
(τελευταία πρόσβαση: 15 Μαΐου 2012)

Mandelbrot, B. “The Fractal Geometry Of Nature”, W.H. Freeman & Co, 1982.

Mills, A. and De Souza R. C. “Gestural Sounds by Means Of Wave Terrain Synthesis”,
The University of Texas at Austin, 1999
Διαθέσιμο στο: <http://academic.konfuzo.net/publications/phd/Mills-Souza-1999-SBC.pdf>

Mitsuhashi, Y. “Audio Synthesis by Functions of Two Variables”, Journal of the Audio
Engineering Society 30(10), 1982.

Roads, C. “The Computer Music Tutorial”, Cambridge, Massachusetts: MIT Press,
1996.

Spectromorphology – Wikipedia, the free encyclopedia,
<http://en.wikipedia.org/wiki/Spectromorphology>
(τελευταία πρόσβαση: 10 Μαΐου 2012)

Wavetable Synthesis – Wikipedia, the free encyclopedia,
http://en.wikipedia.org/wiki/Wavetable_synthesis
(τελευταία πρόσβαση: 10 Μαΐου 2012)

Wilson, S. “Information Arts: Intersections of Art, Science and Technology” MIT
Press/Leonardo Books, 2002.

