

ΙΟΝΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΩΝ ΗΧΟΥ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΑΣ

Εξάμηνο Η΄

Εργασία στο Μάθημα
Αλγοριθμική Δόμηση του Ήχου

Αλγοριθμική Σύνθεση
Ιστορική Αναδρομή και Βασικές Τεχνικές

Ιουστίνη Ελούλ
ΤΧ2007027

ΚΕΡΚΥΡΑ
Ιούνιος 2011

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

| | |
|---|----|
| Εισαγωγή | 3 |
| 1. Σύντομη Ιστορική Αναδρομή της Μουσικής Σύνθεσης | 4 |
| 1.1 Ο Πυθαγόρας | 4 |
| 1.2 Guido D'Arezzo | 6 |
| 1.3 Παράδειγμα Αλγοριθμικής Διαδικασίας (virelai) | 8 |
| 1.4 Athanasius Kircher | 8 |
| 1.5 Wolfgang Amadeus Mozart..... | 10 |
| 1.6 Johann Joseph Fux..... | 11 |
| 1.7 Χρυσή Τομή | 12 |
| 1.8 John Cage..... | 14 |
| 1.9 Joseph Schillinger | 15 |
| 1.10 Edgard Varèse | 15 |
| 1.11 Ιάnnης Ξενάκης | 16 |
| 1.12 Lejaren Hiller | 18 |
| 1.13 Herbert Brün. SAWDUST..... | 19 |
| 1.14 Gottfried Michael Koenig. SSP..... | 19 |
| 2. Συνηθέστερες Τεχνικές Αλγοριθμικής Σύνθεσης | 20 |
| 2.1 Θεωρία του Χάους-Chaos Theory..... | 21 |
| 2.2 Κυτταρικά Αυτόματα-Cellular Automata | 21 |
| 2.3 L-Systems | 22 |
| 2.4 Άλλες Τεχνικές Αλγοριθμικής Σύνθεσης..... | 23 |
| Συμπεράσματα | 24 |
| Βιβλιογραφία | 25 |
| Αρθρογραφία | 26 |
| Ιστογραφία | 26 |

Αλγοριθμική Σύνθεση

Ιστορική Αναδρομή και Βασικές Τεχνικές

Εισαγωγή

Το θέμα της εργασίας είναι, όπως δηλώνεται και από τον τίτλο της, η αλγοριθμική σύνθεση και συγκεκριμένα η ιστορική αναδρομή της. Εν συντομία, με την αλγοριθμική σύνθεση επιτυγχάνεται η μουσική ή ηχητική σύνθεση με την χρήση κάποιου αλγορίθμου. Έτσι λοιπόν διαπιστώνεται πως η αλγοριθμική σύνθεση έχει να κάνει με δύο σκέλη, όπου στο μεν πρώτο εντοπίζεται ο σκοπός, δηλαδή η μουσική σύνθεση, και στο δε δεύτερο ο τρόπος, δηλαδή η χρήση αλγορίθμου. Εξετάζοντας το πρώτο σκέλος της αλγοριθμικής σύνθεσης, δηλαδή τη μουσική σύνθεση αυτή καθ' αυτή, μπορεί να αναφερθεί πως εντοπίζεται μια δυσκολία στο να χαρακτηριστεί με ακρίβεια. Εν μέρει αυτή η δυσκολία αποτελεί απόρροια της σημαντικής συμμετοχής ασυνείδητων στοιχείων από τον ίδιο τον συνθέτη, τα οποία καθιστούν δύσκολη τόσο την πλήρη αντίληψη όσο και περιγραφή (Harley, 1995: 221). Ωστόσο όμως υπάρχουν δύο κύριες προσεγγίσεις για την κατανόηση της σύνθεσης, όπου η μεν πρώτη έχει να κάνει με την ψυχολογία της δημιουργικότητας, και η δε δεύτερη με την γνωστική μέσω των διανοητικών διαδικασιών κατά την λήψη αποφάσεων. «Και στις δύο αυτές προσεγγίσεις η σύνθεση θεωρείται, σε κάποιο βαθμό, ως μια διαδικασία επίλυσης προβλημάτων, και στο βαθμό που οι λεπτομέρειες της διαδικασίας αυτής μπορούν να διατυπωθούν, μπορούν να μοντελοποιηθούν ως αλγόριθμοι και να εφαρμοστούν σε ένα υπολογιστή» (Harley, 1995: 221). Τι είναι όμως ένας αλγόριθμος; Εξετάζοντας, λοιπόν, το δεύτερο σκέλος της αλγοριθμικής σύνθεσης, δηλαδή τον τρόπο και κατ' επέκταση τη χρήση του αλγορίθμου, μπορεί να αναφερθεί πως αλγόριθμος είναι «μια συνταγή, μια μέθοδος ή μια τεχνική για να γίνει κάτι» (Wilson και Keil, 1999: 11). Συγκεκριμένα είναι μια μέθοδος αποτελούμενη από ένα πεπερασμένο σύνολο κανόνων ή πράξεων. Το σύνολο αυτό των κανόνων ή πράξεων χαρακτηρίζεται από σαφήνεια και απλότητα. Με βάση τον Christopher Strachey, βρετανός επιστήμονας πληροφορικής, ένας αλγόριθμος ορίζεται ως «μια διαδικασία για την εκτέλεση μιας περίπλοκης λειτουργίας μέσω της διενέργειας μιας προκαθορισμένης ακριβώς ακολουθίας από απλούστερες» (Alsop, 1999: 89).

Στόχος της εργασίας αυτής είναι να παρουσιαστεί όσο πιο σύντομα και καταληπτά γίνεται το ιστορικό πλαίσιο της αλγοριθμικής σύνθεσης. Έτσι η εργασία ξεκινάει από τα χρόνια της Πυθαγόρειας σκέψης και καταλήγει στην σύγχρονη εποχή, όπου δεσπόζει ο ηλεκτρονικός υπολογιστής.

1. Σύντομη Ιστορική Αναδρομή της Αλγοριθμικής Σύνθεσης.

Η ιστορία της μουσικής σύνθεσης έχει αρκετά παραδείγματα όπου συνθέτες ακόμα και μουσικοί θεωρητικοί έχουν χρησιμοποιήσει διάφορους τύπους αλγορίθμων κατά τη διαδικασία μουσικής σύνθεσης (Core, 2000: 3). Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική ανασκόπηση, όπου διάφορα σύνολα κανόνων έχοντας ένα πεπερασμένο αριθμό βημάτων επιδιώκουν την δημιουργία μιας μουσικής σύνθεσης.

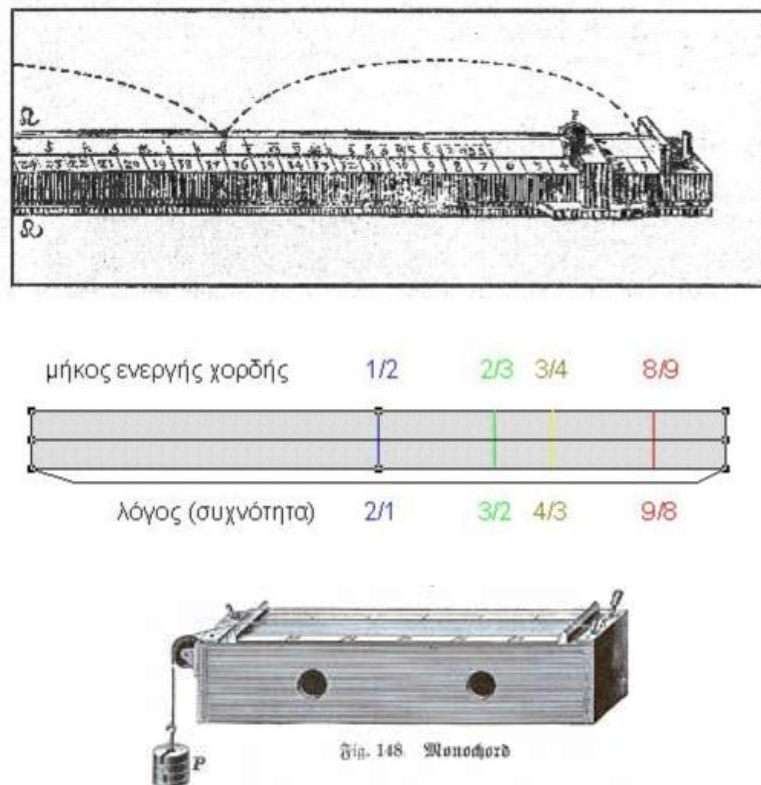
1.1 Ο Πυθαγόρας

Εν γένει ο κύριος ισχυρισμός της Πυθαγόρειας σκέψης έχει τρεις πτυχές: ότι όλα τα πράγματα είναι αριθμοί, ή ότι όλα τα πράγματα περικλείονται από αριθμούς, ή ότι όλα τα πράγματα συμπεριφέρονται σαν αριθμούς (Díaz-Jerez, 2000: 12). Ως απόρροια αυτής της σκέψης είναι διάφοροι επιστημονικοί τομείς, συμπεριλαμβανομένου του τομέα της Αλγοριθμικής Σύνθεσης, να εδράζονται πάνω σε αυτή.

Ιστορικά, λοιπόν, πρώτος που έθεσε μια μαθηματική ερμηνεία, επιστημονικά θεμελιωμένη, στην τέχνη της μουσικής ήταν ο Έλληνας φιλόσοφος, μαθηματικός, γεωμέτρης και θεωρητικός μουσικός Πυθαγόρας. Συγκεκριμένα στη μαθηματική θεωρία της μουσικής του Πυθαγόρα «η σχέση δύο αριθμών προς αλλήλους» ονομάζεται διάστημα. Σε αντιστοιχία με την σημερινή αριθμητική και γεωμετρία η σχέση αυτή μεταξύ δύο αριθμών ονομάζεται λόγος.

Ανακάλυψε τη σχέση ανάμεσα στο μήκος των χορδών και το τονικό ύψος που παράγουν, δηλαδή την αριθμητική αναλογία των μουσικών διαστημάτων. Χρησιμοποιώντας ένα έγχορδο όργανο, το μονόχορδο (βλ. εικόνα 1), παρατήρησε ότι ακριβείς μαθηματικές σχέσεις παρήγαγαν αρμονικούς ήχους. Συγκεκριμένα ο λόγος 1, συχνότητα 1, παράγεται όταν όλο το μήκος μιας χορδής ταλαντωθεί. Ο λόγος 1/2, συχνότητα 2/1, παράγεται όταν ταλαντωθεί το μισό μήκος της χορδής και αντιστοιχεί στην οκτάβα, ή αλλιώς διαπασών. Κατ' επέκταση οι λόγοι 1 και 1/2 ορίζουν τα άκρα μιας οκτάβας, δηλαδή την ύπατη και την νήτη. Ο λόγος 3/4, συχνότητα 4/3, παράγει την μέση, δηλαδή τη τέταρτη νότα, και ο λόγος 2/3, συχνότητα 3/2, παράγει την παραμέση, δηλαδή τη πέμπτη νότα. Οι υπόλοιπες νότες παράγονται ύστερα από μια μαθηματική πράξη έχοντας ως βάση τον λόγο 9/8. Συγκεκριμένα πολλαπλασιάζοντας τον λόγο της πρώτης νότας με τον λόγο 9/8 προκύπτει η δεύτερη νότα ($1 \times 9/8 = 9/8$). Στην συνέχεια πολλαπλασιάζοντας τον λόγο της δεύτερης νότας με τον λόγο 9/8 προκύπτει η τρίτη νότα ($9/8 \times 9/8 = 81/64$). Αναλόγως βρίσκονται και οι υπόλοιπες νότες

μιας κλίμακας, δηλαδή από την μαθηματική σχέση λόγος μιας νότας × λόγος $9/8 =$ λόγος επόμενης κατά σειρά νότας (Fauvel, Flood, Wilson, 2006: 21).



Εικόνα 1: το μονόχορδο του Πυθαγόρα.

Η διαδικασία συνεχούς αφαίρεσης, δηλαδή η αναταναίρεση, ήταν ίσως η κύρια μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό διαφόρων διαστημάτων, με βάση την Πυθαγόρεια σκάλα (Diaz-Jerez, 2000: 13). Με βάση την αντανάιρεση, παίρνονται οι αριθμητικές αναλογίες των δύο χρονικών διαστημάτων αφαιρείται το μικρότερο από το μεγαλύτερο, αφήνοντας ένα ακόμα πιο μικρότερο ποσοστό. Στην συνέχεια το μικρότερο αυτό ποσοστό αφαιρείται από την προηγούμενη αναλογία, αφήνοντας ένα ακόμα πιο μικρότερο ποσοστό, εκ ούτω καθεξής (βλ. πίνακας 1). Από την αντανάιρεση προκύπτουν τα μικρότερα τονικά διαστήματα τα οποία είναι το λήμμα ή η διαίρεση με $243:256$, η αποτομή με $2187:2048$ και το Πυθαγόρειο κόμμα με $531441:524288$, το οποίο είναι και η μικρότερη υποδιαίρεση της Πυθαγόρειας κλίμακας με 23,46 cents (Diaz-Jerez, 2000: 14). Σήμερα η μέθοδος αυτή είναι γνωστή ως Αλγόριθμος του Ευκλείδη με τον οποίο βρίσκουμε το μέγιστο κοινό διαιρέτη δύο αριθμών.

| | | | | |
|---|---|---|---|--------|
| $\frac{2}{1} - \frac{3}{2} = \frac{4}{3}$ | $\frac{2}{2} - \frac{4}{3} = \frac{9}{8}$ | $\frac{4}{3} - \frac{9}{8} = \frac{32}{27}$ | $\frac{9}{8} - \frac{32}{27} = \frac{243}{256}$ | K.O.K. |
|---|---|---|---|--------|

Πίνακας 1: η αντανάφρηση ως μέθοδος καθορισμού τονικών διαστημάτων.

Οι Πυθαγόρειες σκέψεις απέκτησαν μεγάλο εύρος. Συγκεκριμένα ο Πύθαγορισμός επεκτάθηκε και στην Βυζαντινή, όπου μεταδόθηκε στους Άραβες και στην Δυτική Ευρώπη (Diaz-Jerez, 2000: 12). Επιπλέον διάφοροι μουσικοί θεωρητικοί, από τον Αριστόξενο στον Hucbald και από τον Zarlino στον Rameau, γυρίζουν γύρω από την ίδια σκέψη, ότι οι τέχνες, και πιθανά όλη η πνευματική δραστηριότητα, είναι βυθισμένη στον κόσμο τον αριθμών. Οι μουσικές πραγματείες όπως *Traité de l'harmonie* (Rameau, 1722), *Harmonic Introduction* (Gaudentius, 1652), *De musica* (Quintilianus, 1882), *Harmonics* (Ptolemy), *De Institutione musica* (Boethius, 1867), *De harmonica institutione* (Hucbald, 880), *Institutioni harmoniche* (Zarlino, 1965), *Gradus ad Parnassum* (Fux, 1965) είναι μερικές μόνο που εμπεριέχουν μαθηματικές ερμηνείες της μουσικής επηρεαζόμενες φυσικά από τις σκέψεις του Πυθαγόρα.

1.2 Guido D'Arezzo

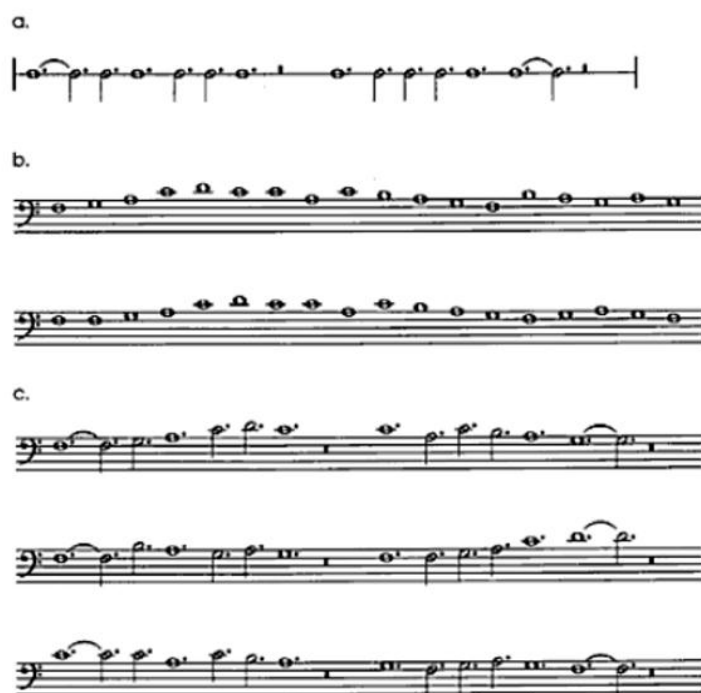
Η πρώτη προσπάθεια μουσικής σημειογραφίας από τον Ιταλό συνθέτη και θεωρητικό μουσικό Guido D'Arezzo θεωρείται ως το αρχαιότερο γνωστό παράδειγμα εφαρμοσμένης αλγοριθμικής μεθόδου για την παραγωγή μουσικής σύνθεσης. Η μέθοδος αυτή, χρονολογούμενη τον 11^ο αιώνα, δημιουργεί μια αντιστοιχία μεταξύ των φωνήεντων ενός κειμένου και μιας σειράς από τόνους (βλ. παράδειγμα 1), (Nierhaus, 2009: 23). Αυτή η μέθοδος περιγράφεται από τον ίδιο στο σύγγραμμά του *Micrologus* (Ariza, 2005: 6).

A B C D E F G
a e i o u a e i
o u a e i o u a

a b c d e f g a
e u a e i o u a
u i o u a e i o

Παράδειγμα 1: το solmization του Guido D'Arezzo

Μια άλλη μέθοδος εφαρμοσμένης μαθηματικής διαδικασίας για την παραγωγή μουσικής σύνθεσης είναι το ισορρυθμικό μοτέτο, όπου ο όρος επινοήθηκε το 1904 από τον Friedrich Ludwig. Η διαδικασία αυτή αναπτύχθηκε κυρίως το 14^ο και 15^ο αιώνα από τους συνθέτες Philippe de Vitry και Guillaume de Machaut (Cope, 2000: 3). Με βάση το ισορρυθμικό μοτέτο ένα μελωδικό σχήμα (color) και ένα ρυθμικό (Talea) επαναλαμβάνονται συνεχώς χωρίς να συμπίπτουν (βλ. παράδειγμα 2), (Nierhaus, 2009: 23). Για παράδειγμα αν η Talea αποτελείται από 10 διάρκειες και το μελωδικό σχήμα από 6 τόνους, τότε οι πιθανοί συνδυασμοί τους θα είναι 30 μέχρι να επαναληφθούν ξανά (5×3×2 καθώς και τα δύο, 10 και 6 έχουν κοινό παράγοντα το 2) (Diaz-Jerez, 2000:29).



Παράδειγμα 2: ισορρυθμικό μοτέτο.

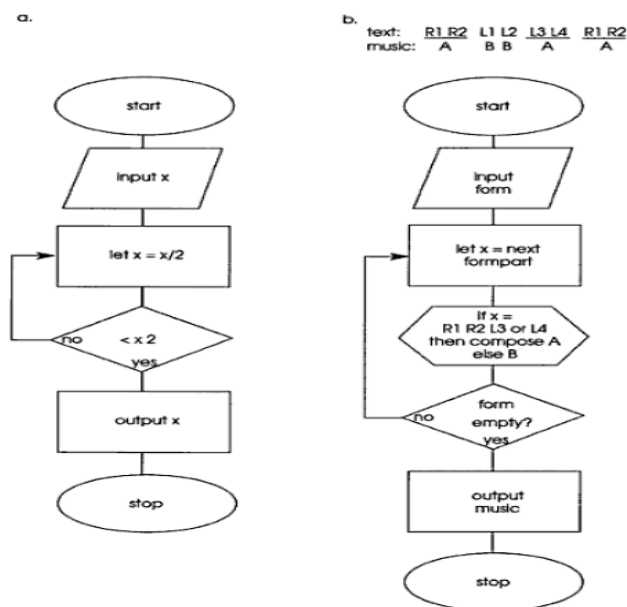
Μουσικές πραγματείες όπως του Jehan des Murs (*Libellus cantus mensurabilis*,) και του Prosdocimus de Bedelmantis (*Tractatus practice de musica mensurabili*.) και συνθέτες όπως Philippe de Vitry, Ciconia, Machaut, Dunstable, Dufay έχουν ως θέμα το ισορρυθμικό μοτέτο (Diaz-Jerez, 2000:29).

Άλλη μια τεχνική που χρησιμοποιεί τις συλλαβές από το solmization του Guido D'Arezzo ως ένα μουσικό κρυπτογράφημα ήταν το *soggetto cavato*. Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε από τον Josquin des Prez ενώ ο όρος επινοήθηκε από τον Zarlino. Υπάρχουν αρκετά ιστορικά μουσικά παραδείγματα από συνθέτες που έχουν χρησιμοποιήσει την τεχνική αυτή, όπως για παράδειγμα στη Τέχνη της Φούγκας του Bach (BACH: Β ύφεση-Σι

ύφεση, A-Λα, C-Ντο, Β-Σι) και η παραλλαγή ABEGG για πιάνο του Schumann (ABEGG: A-Λα ύφεση, Β-Σι, Ε-Μι, Γ-Σολ, Γ-Σολ) (Diaz-Jerez, 2000:30).

1.3 Παράδειγμα αλγοριθμικής διαδικασίας για την παραγωγή της μουσικής φόρμας ενός αναγεννησιακού τραγουδιού, το *virelai*.

Ένα άλλο μουσικό παράδειγμα που ακολουθεί μια αλγοριθμική συνθετική διαδικασία είναι όταν «μια αυστηρή τήρηση οδηγεί σε μια μόνιμη μουσική φόρμα» (Core, 2000: 3). Για παράδειγμα στο δεξί τμήμα του παραδείγματος 3b αναπαριστάται αλγοριθμικά και σε μορφή διαγράμματος ροής η φόρμα ενός τραγουδιού της αναγεννησιακής περιόδου, το *virelai*. Σε αντιστοιχία στο αριστερό τμήμα του παραδείγματος 3a φαίνεται το διάγραμμα ροής μιας μαθηματικής αλγοριθμικής διαδικασίας που δίνει αποτέλεσμα ένα αριθμό. Εν ολίγοις στο παράδειγμα αυτό φαίνεται πως ένα ιδιαίτερο πρόβλημα μπορεί να λυθεί αλγοριθμικά με ένα πεπερασμένο αριθμό βημάτων.

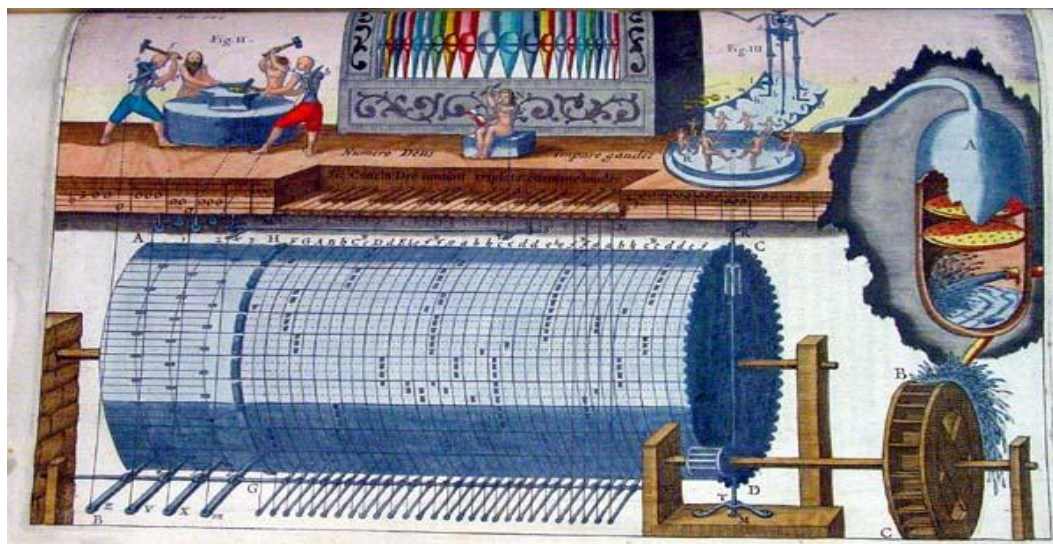


Παράδειγμα 3: αλγοριθμική διαδικασία για την παραγωγή μουσικής φόρμας.

1.4 Athanasius Kircher

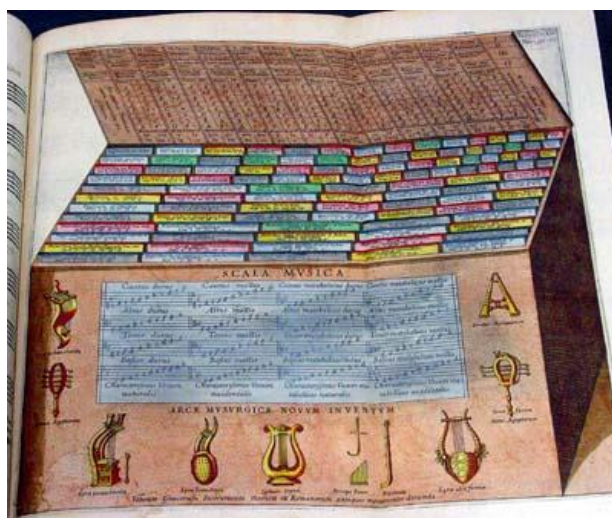
Γύρο στα 1650 ο Athanasius Kircher (1602-1680), ο οποίος είχε ασχοληθεί με διάφορους τομείς όπως την αστρονομία, τα μαθηματικά, την ιατρική, την γλωσσολογία, την φυσική και την μουσική, συγγράφει ένα βιβλίο μουσικολογίας, το «Musurgia Universalis». Στο βιβλίο αυτό στηρίζει την

άποψη του για την μουσική διατυπώνοντας ότι η αρμονία της μουσικής αντανακλούσε τις αναλογίες του σύμπαντος. Επιπλέον στο βιβλίο του απεικονίζονται διάφορα σχέδια για την κατασκευή αυτόματων οργάνων υδροκίνητων, διαγράμματα μουσικών οργάνων και διάφορες μουσικές κατασκευές όπως για παράδειγμα το Katzenklavier (βλ. εικόνα 2, Christensen, 2002: 35).



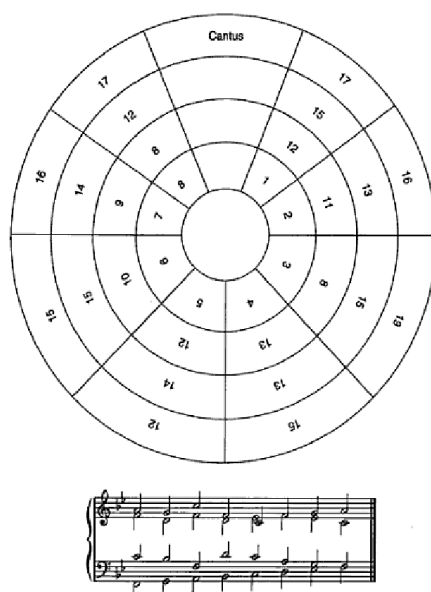
Εικόνας 2: απεικονιζόμενη μουσική κατασκευή στο βιβλίο του Kircher.

Μεταξύ όλων των προαναφερθέντων ο Kircher ανέπτυξε στο βιβλίο του ένα σύστημα αλγοριθμικής σύνθεσης (βλ. εικόνα 3). Στόχος του συστήματος αυτού είναι η αυτόματη παραγωγή αντιστικτικών συνθέσεων ακόμα και από ένα μη μουσικό. Τα συστήματα αυτά αναφέρονται στο βιβλίο ως «Arca Musarithmica» και «Arca Musurgia» (Nierhaus, 2009: 25).



Εικόνα 3: απεικονιζόμενο σύστημα αλγοριθμικής σύνθεσης στο βιβλίο του Kircher.

Άλλη μια πρώιμη προσπάθεια αλγοριθμικής σύνθεσης του 17^{ου} αιώνα σημειώνεται από τον Giovanni Andrea Bontempi (1624-1705). Ο Bontempi ανέπτυξε στο βιβλίο του «New Method of Composing Four Voices» ένα τροχό με διάφορα στρώματα όπου δίνει τη δυνατότητα σε ένα μη-μουσικό να κατασκευάσει μια σύνθεση τεσσάρων φωνών με χρήση ενός μυχολύδιου τρόπου (Core, 2000: 6). Στο παράδειγμα 4 φαίνεται ο τροχός αυτός και κάτω από τον τροχό φαίνεται μια μουσική φράση τεσσάρων φωνών που προκύπτει από τον τροχό. Συγκεκριμένα η πρώτη σειρά αριθμών από τον τροχό (1, 12, 15, 17) δημιουργούν την συγχορδία φα-αριθμός 1, ντο-αριθμός 12, φα-αριθμός 15, λα- αριθμός 17. Αναλόγως κτίζεται και το υπόλοιπο κομμάτι.



Παράδειγμα 4: μουσικός τροχός για την αλγοριθμική κατασκευή σύνθεσης.

1.5 Wolfgang Amadeus Mozart

Κατά την κλασική περίοδο μια εφαρμοσμένη μαθηματική διαδικασία στην μουσική σύνθεση, κυρίως ως μια πρώιμη μορφή της πιθανοκρατούμενης μουσικής (θεωρία των Πιθανοτήτων), εμφανίζεται με την σύνθεση *Musikalisches Würfelspiel*, K 516f του Μότσαρτ (δες εικόνα 4). Εν ολίγοις οι νότες αυτής της σύνθεσης γράφτηκαν από τον Μότσαρτ ανάλογα με το αποτέλεσμα της ρίψεως ενός ή δύο ζαριών (ενός για το τρίο και δύο για το μινουέτο). Η τεχνική αυτή γνωστή και ως ένα μουσικό παιχνίδι ζαριών (a musical dice game) έχει ως βασική ιδέα την αποκοπή και επικόλληση ήδη γραμμένων μουσικών μέτρων τυχαία (ανάλογα με το αποτέλεσμα της ρίψεως των ζαριών) προκειμένου να δημιουργηθεί ένα εκ νέου μινουέτο και τρίο (Díaz-Jerez, 2000: 21). Η τεχνική «*Ars Inveniendi*» συνδέεται και πιο

συγκεκριμένα αποτελεί απόρροια της προαναφερθείσας τεχνικής του Μότσαρτ.

Το πρώτο όμως μουσικό παιχνίδι ζαριών καταγράφεται από τον Johann Philipp Kirnberger το 1757, στο σύγγραμμά του *Der allezeit fertige Polonoisen und Menuettencomponist* (Ariza, 2005: 6 και Nierhaus, 2009: 36).

Η *ars inveniendi* (Λατινικά, «η τέχνη της εφεύρεσης») του Leibniz, η τέχνη της επινόησης νέων συνδυασμών από ποιητικές μονάδες, θα είχε, έτσι, ως αποτέλεσμα την παραγωγή (πεπερασμένων, αλλά) πολυάριθμων ποιητικών συνδυασμών.



Εικόνα 4: απόσπασμα του *Musikalisches Würfelspiel*, K 516f του Μότσαρτ.

1.6 Johann Joseph Fux

Μια άλλη αλγοριθμική διαδικασία για την παραγωγή μουσικής καθιερώθηκε από τον Johann Joseph Fux. Ο Fux κωδικοποίησε κάποιους κανόνες, οι οποίοι περιγράφουν βασικές αντιστικτικές τεχνικές της τονικής μουσικής. Οι κανόνες αυτοί περικλείουν τα ακόλουθα:

Πρώτος κανόνας: από μια τέλεια συνήχηση σε μια άλλη τέλεια συνήχηση μια πρέπει να προχωρήσει σε αντίθετη ή πλάγια κίνηση.

Δεύτερος κανόνας: από μια τέλεια συνήχηση σε μια ατελή συνήχηση η μία μπορεί να προχωρήσει σε οποιαδήποτε από τους τρεις κινήσεις.

Τρίτος κανόνας: από μια ατελή συνήχηση σε μία τέλεια συνήχηση η μια πρέπει να προχωρήσει σε αντίθετη ή πλάγια κίνηση.

Τέταρτος κανόνας: από μια ατελή συνήχηση σε μια ατελή συνήχηση η μια μπορεί να προχωρήσει σε οποιαδήποτε από τους τρεις κινήσεις(Core, 2000: 6).

Πολλοί συνθέτες, τους οι Μπαχ, Μότσαρτ, Μπετόβεν κα, αναφέρουν τον Fux σε γράμματά τους, σε έγγραφά τους, ή σε ημερολόγια τους. Τους τους συνθέσεις τους παρουσιάζουν ομοιότητες με εκείνες του Fux (δες παράδειγμα 5).

Παράδειγμα 5: μουσική σύνθεση με βάση τους κανόνες του Fux.

1.7 Χρυσή Τομή

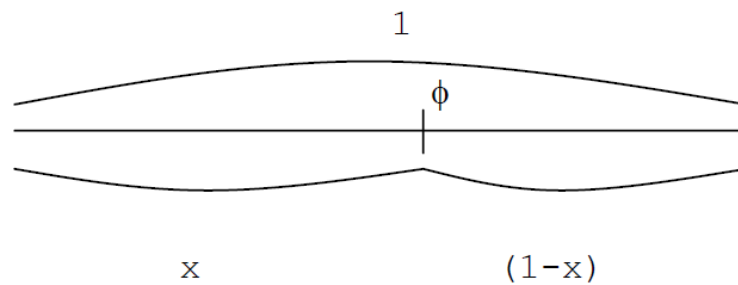
Η Χρυσή Τομή αποτελεί ένα μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ευρέως στην τέχνη. Η Χρυσή Τομή ορίζεται «ως το σημείο που χωρίζει κάθε τμήμα σε δύο τμήματα, έτσι ώστε η αναλογία μεταξύ του μεγαλύτερου τμήματος με το μικρότερο είναι ισοδύναμο με την αναλογία μεταξύ του ολόκληρου τμήματος με το μεγαλύτερο τμήμα» (Diaz-Jerez, 2000: 24). Τέλος ο ελληνικός χαρακτήρας φ αποτελεί το μαθηματικό σύμβολο της Χρυσής Τομής.

Από μια μαθηματική σκοπιά, η Χρυσή Τομή αναπαριστάται με την ακόλουθη εξίσωση:

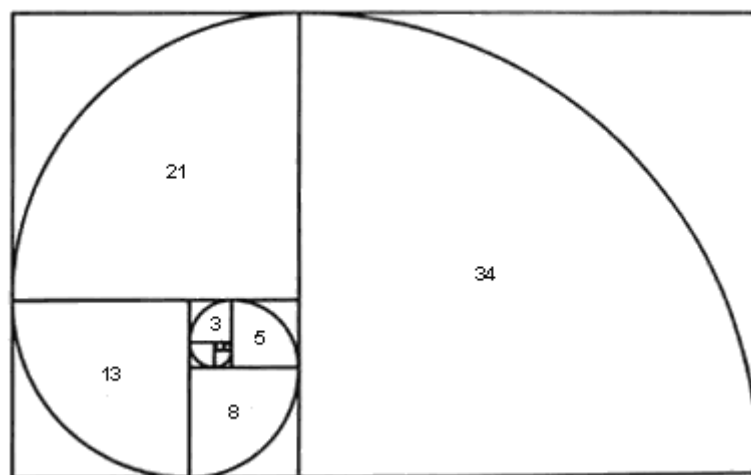
$$1/\phi = \phi/(1-\phi) \text{ ή } \phi^2 - \phi - 1 = 0.$$

Αν πάρουμε ένα τμήμα μήκους 1.

Από γραφική σκοπιά η χρυσή τομή αναπαριστάται με την ακόλουθη μορφή:



Η Χρυσή Τομή συνδέεται στενά με την ακολουθία Fibonacci (δες παράδειγμα 6). Συγκεκριμένα η ακολουθία Fibonacci σχηματίζεται ως εξής: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987, 1597,, όπου ο κάθε αριθμός είναι ίσος με το άθροισμα των δύο προηγούμενων (Diaz-Jerez, 2000: 25).



Παράδειγμα 6: ακολουθία Fibonacci.

Επιπλέον ο λόγος δύο διαδοχικών αριθμών της ακολουθίας τείνει προς την Χρυσή Τομή.

- $F(1)/F(2) = 1/1 = 1$
- $F(2)/F(3) = 1/2 = 0.5$
- $F(3)/F(4) = 2/3 = 0.666666666$
- $F(4)/F(5) = 3/5 = 0.6$
- $F(5)/F(6) = 5/8 = 0.625$
- $F(6)/F(7) = 8/13 = 0.6153846153846$
- $F(7)/F(8) = 13/21 = 0.6190476190476$
- $F(8)/F(9) = 21/34 = 0.6176470588235$

Τόσο η Χρυσή Τομή όσο και η ακολουθία Fibonacci έχουν χρησιμοποιηθεί από μουσικούς συνθέτες όπως για παράδειγμα τους Thomas Tallis, Claude Debussy και Béla Bartók (Diaz-Jerez, 2000: 26).

1.8 John Cage

Ο John Cage σε ένα μουσικό έργο του, το Reunion, εφαρμόζει αλγοριθμικές διαδικασίες για την παραγωγή σύνθεσης, χωρίς χρήση κάποιου υπολογιστή. Συγκεκριμένα στο Reunion εντοπίζονται κάποια κοινά στοιχεία με την σύνθεση Musikalisches Würfelspiel, K 516f του Μότσαρτ, όπως η τυχαιότητα. Σε αυτό το έργο του ο Cage αντί για τα ζάρια του Μότσαρτ υπάρχει ένα σκάκι όπου καθορίζει τη μουσική σύνθεση (δες εικόνα 5).

Επίσης άλλο ένα έργο του Cage που συγκαταλέγεται στην ιστορική αναδρομή της αλγοριθμικής σύνθεσης είναι το Music of Changes το 1958 όπου εντοπίζονται ελεατορικές τεχνικές (Ariza, 2005: 6).



Εικόνα 5: το έργο Reunion του John Cage.

1.9 Joseph Schillinger

Ο Joseph Schillinger, Ουκρανός συνθέτης και θεωρητικός της μουσικής, ασχολήθηκε κατά κόρων με την εφαρμοσμένη μαθηματική διαδικασία για την παραγωγή μουσικής σύνθεσης. Κατά τη δεκαετία του 1920-30 συνέγραψε δύο θεωρητικά βιβλία, το «The Mathematical Basis of the Arts» και το «The Schillinger System of Musical Composition» (δες εικόνα 6). Στο πρώτο του σύγγραμμα υποστηρίζει μια τυποποιημένη θεωρία της αισθητικής δημιουργίας. Ωστόσο, όμως, αυτή του η προσπάθεια χαρακτηρίζεται από πολλούς ως άκαρπη, καθώς η ανθρώπινη δημιουργικότητα έχει ξεφύγει από κάθε είδους τυποποίηση (Díaz-Jerez, 2000: 38).

Το δεύτερο σύγγραμμά του είναι, εν ολίγοις, μια μέθοδος μουσικής σύνθεσης βασισμένη σε μαθηματικές διαδικασίες. Η μέθοδος αυτή καλύπτει όλες τις βασικές πτυχές της μουσικής σύνθεσης όπως την αντίστιξη, την αρμονία, τον ρυθμό κλπ. Για παράδειγμα αναφέρεται η διαδικασία με την οποία απλά τακτικά ρυθμικά σχήματα μέσω παρεμβολής παράγουν πιο πολύπλοκα και ακανόνιστα ρυθμικά σχήματα (δες παράδειγμα 6).



Παράδειγμα 6: απλά τακτικά ρυθμικά σχήματα μέσω παρεμβολής παράγουν πιο πολύπλοκα και ακανόνιστα ρυθμικά σχήματα.

Το πολύπλοκο ρυθμικό σχήμα μπορεί να παρασταθεί ως την ένωση των εξής δύο απλούστερων ρυθμικών μορφών.

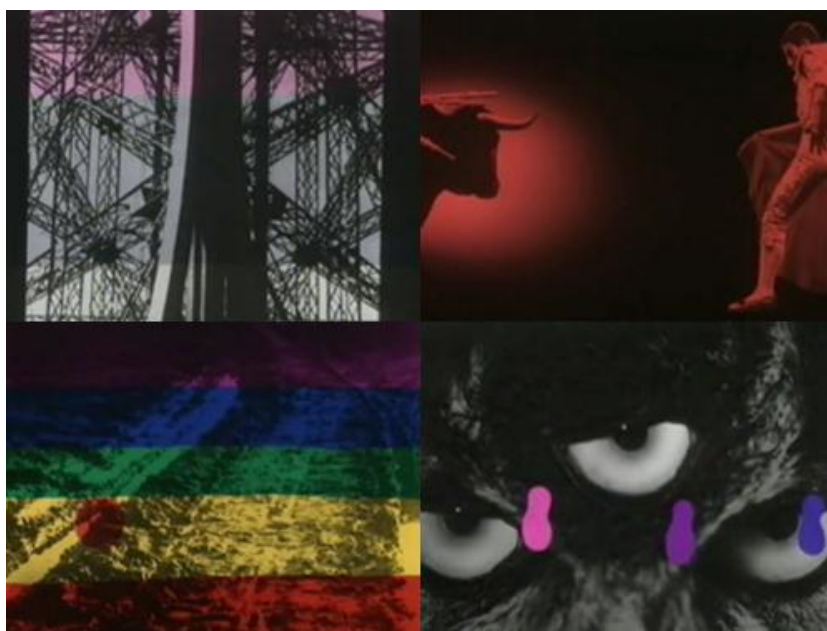
Οι θεωρίες του Schillinger έχουν κριθεί από ορισμένους ως μη απόλυτα επιστημονικά ή μαθηματικά θεμελιωμένες. Ωστόσο όμως προανήγγειλε πολλές εξελίξεις της αλγοριθμικής σύνθεσης.

1.10 Edgard Varèse

Ο Edgard Varèse ήταν ακόμα ένας συνθέτης που συνέβαλε στην εδραίωση της άποψης ότι η μουσική συνδέεται άρρηκτα με την επιστήμη των μαθηματικών και της γεωμετρίας (Díaz-Jerez, 2000: 40). Ωστόσο όμως είχε πλήρη επίγνωση ότι η μουσική δεν είναι μόνο επιστήμη. Ο ίδιος ασχολήθηκε όχι τόσο με την μουσική συνθετική διαδικασία αυτή κάθε αυτή, όσο με την νέα ματιά του ήχο ως απόρροια της πρωτοεμφανιζόμενης τότε ηλεκτρονικής μουσικής (Varese, 1966: 19). Με άλλα λόγια η εφαρμογή ειδικών

μαθηματικών διαδικασιών, είτε πραγματοποιούταν με ηλεκτρονικά μέσα είτε όχι, είχε ως επίκεντρο τον ήχο και όχι τόσο την μουσική συνθετική διαδικασία.

Το 1958 στο Philips Pavilion στην παγκόσμια έκθεση των Βρυξελλών, ο Varèse, μεταξύ άλλων, παρουσίασε το ηλεκτρονικό μουσικό έργο του «Poème électronique» το οποίο συνόδευε μια ταινία από φωτογραφίες του Corbusier που θίγουν ασαφή θέματα της ανθρώπινης ύπαρξης (δες εικόνα 7), (Nierhaus, 2009: 64).



Εικόνα 7: στιγμιότυπο από το έργο «Poème électronique».

Ο Varèse θεωρείται πατέρας της ηλεκτρονικής σύνθεσης και αποτέλεσε μια τεράστια επίδραση σε μεταγενέστερους συνθέτες, όπως τον Stockhausen, τον Ligeti, τον Boulez και τον Ξενάκη, μεταξύ άλλων.

1.11 Ιωάννης Ξενάκης

Ο Ιωάννης Ξενάκης θεωρείται ο πρώτος μουσικός συνθέτης που υιοθέτησε μια καθαρά μαθηματική προσέγγιση στην μουσική σύνθεση, είτε ως εργαλείο είτε ως μια φιλοσοφία της σύνθεσης (Diaz-Jerez, 2000: 32). Συνέχισε κατά κάποιο τρόπο την μουσική πρωτοπορία που εισήγαγε η σειραϊκή μουσική ξεφεύγοντας όμως από το αδιέξοδο που είχε δημιουργήσει η ίδια, δηλαδή η σειραϊκή και μετασειραϊκή μουσική. «Επιπλέον, η γραμμική πολυφωνία αυτοκαταστρέφεται από την ίδια την πολυπλοκότητάς της. Ό, τι ακούει κανείς δεν είναι στην πραγματικότητα τίποτα από μια μάζα φθογγόσημων σε διάφορες κατατάξεις της φωνής. Η τεράστια πολυπλοκότητα εμποδίζει το κοινό να ακολουθήσει την διαπλοκή των γραμμών και έχει ως

μακροσκοπικό αποτέλεσμα μια παράλογη και τυχαία διασπορά των ήχων σε όλη την έκταση του ηχητικού φάσματος» (Diaz-Jerez, 2000: 32).

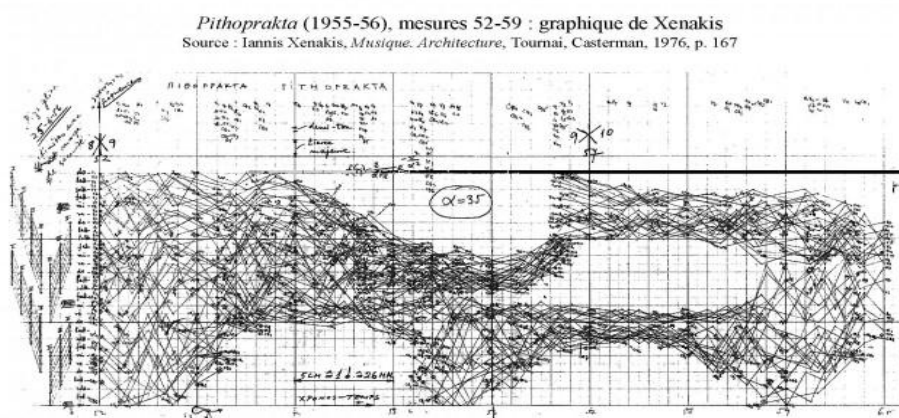
Έτσι το ίδιο έτος όπου ο Hiller και ο Isaacson εργάζονταν για την «Illiad Suite», το 1955, ο Ξενάκης έκανε την παγκόσμια πρεμιέρα του στο Donaueschinger Musiktage με το έργο «Metastasis». Το έργο αυτό «χαρακτηρίζεται από ένα σύνθετο πλέγμα glissandi κινούμενων με διαφορετικές ταχύτητες» (Nierhaus, 2009: 64).

Ο Ξενάκης εισήγαγε στην μουσική την στοχαστική, η οποία μεταφέρει μαθηματικές θεωρίες σχετιζόμενες στους νόμους των πιθανοτήτων. Την πρωτοπορία αυτή την ονόμασε ο ίδιος «στοχαστική μουσική», η οποία βασίζεται στην ανάπτυξη του ηχητικού υλικού με στατικούς μέσους όρους και ασχολείται με τις μάζες των ήχων και όχι με την γραμμική διαδοχή των τόνων, χαρακτηριστικό της σειραϊκής μουσικής (Diaz-Jerez, 2000: 33). Τις στοχαστικές θεωρίες του για την παραγωγή μουσικής σύνθεσης της ανέπτυξε αρχικά στο σύγγραμμά του «Formalized Music» και ιδιαιτέρως στο κεφάλαιο, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί και ως το μανιφέστο, «New Proposals in Microsound Structure» (Xenakis, 1992: 242 και Luque, 2006: 10).

Επιπλέον σε ένα άρθρο του ίδιου με τίτλο «Στοιχεία πιθανοτικών μεθόδων μουσικής σύνθεσης», το 1962, αναφέρει ότι:

...ήχος είναι κβαντικής φύσης, κοκκώδης. Κάθε ήχος αποτελείται από γαλαξίες στοιχειωδών κόκκων που ορίζονται από μια καθαρή συχνότητα, μian ένταση και μια πολύ μικρή διάρκεια οι οποίες εμφανίζονται και χάνονται στιγμιαία. Αυτή η υπόθεση ενισχύεται από τη θεωρία του βασικού ακουστικού σήματος που εισήγαγε ο Γκαμπόρ στη θεωρία της πληροφορίας. Εισάγει στο τρίεδρο χρόνος-συχνότητα-ένταση μια περιβάλλουσα που έχει ως σχήμα την καμπύλη σε μορφή κώδωνα του Γκάους. Εάν σε μια δεδομένη στιγμή έκανε κανείς μια τομή παράλληλη στο επίπεδο των συχνοτήτων και των εντάσεων, η εικόνα του ήχου, σε εκείνη ακριβώς τη στιγμή, θα παρουσιαζόταν ως ένα σύνολο νεφών σημείων, όπου τα σημεία θα έδειχνα τους βασικούς κόκκους. Οποιοσδήποτε ήχος μπορεί επομένως να περιγραφεί με τη βοήθεια ενός κατάλληλου πλήθους έτσι ορισμένων τομών που θα ονομάσουμε νημάτα. Ένα σύνολο νημάτων αφηγείται τη ζωή ενός ήχου και μάλιστα τη ζωή οποιασδήποτε μουσικής. Η γεωγραφική κατανομή αυτών των νεφών ηχητικών κόκκων και οι τοπικές επιφανειακές πυκνότητες χαρακτηρίζουν τον ήχο σε μια δεδομένη στιγμή. Οι λογικές σχέσεις εισάγουν εκεί τη θεωρία των συνόλων. Οι σχέσεις τάξης και αταξίας εισάγουν ως μέτρο την εντροπία διότι η κατανομή στη μικροσκοπική κλίμακα είναι στοχαστική. Οι σχέσεις ανάμεσα στις περιοχές συχνοτήτων εντάσεων και πυκνοτήτων πλάθονται με τη βοήθεια που παρέχουν μήτρες μεταβατικών πιθανοτήτων. Ομοίως και στο επίπεδο της διαδοχής των νημάτων. Αυτές οι μήτρες ορίζουν με τη σειρά τους μια στοχαστική αλυσιδωτή ανελίξη η οποία μπορεί να ακολουθεί ποικίλους νόμους. Μία από αυτές τις απλούστερες ανελίξεις είναι εκείνη της οποίας κάθε κατάσταση εξαρτάται κατά κάποιον τρόπο από την προηγούμενη. Είναι γνωστή με το όνομα «ανελίξη του Μάρκοβ». Μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν και άλλες ανελίξεις, από την πλέον αιτιατή ως την πλέον τυχαία, πράγμα που δίνει σε αυτή τη θεωρία της γενικής σύνθεσης μεγάλο πλούτο προς εκμετάλλευση. Ορισμένες απόπειρες έχουν γίνει ήδη, το βασικό όμως παραμένει ακόμη να αποκρυπτογραφηθεί (Ξενάκης, 1962).

Η στοχαστική μουσική του Ξενάκη έχει επικριθεί από ορισμένους για τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να περιορίσει τους υφολογικούς στόχους του συνθέτη. «Στη στοχαστική μουσική ο συνθέτης έχει μεν τον έλεγχο του τρόπου πιθανοτικών κατανομών πάνω σε όλη την εργασία αλλά όχι πάνω από τη λεπτομέρεια των ηχητικών συνόλων» (Diaz-Jerez, 2000: 46).



Εικόνα 7: σχέδιο του ηλεκτρονικού έργου Pithoprakta του Ξενάκη.

1.12 Lejaren Hiller

Ο Lejaren Hiller θεωρείται από τους πρώτους συνθέτες που υιοθέτησε μια συστηματική αλγοριθμική προσέγγιση στις συνθέσεις του. Επίσης, θεωρείται από τους πρώτους που συνέθεσε ένα μουσικό κομμάτι με την χρήση και συνάμα βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Ως επί το πλείστον στην δουλειά του Hiller εντοπίζονται αρκετές επιρροές από την Θεωρία της Πληροφορίας του Shannon που αφορά το πεδίο των επικοινωνιών (Harley, 1995: 221).

Εν ολίγοις η Θεωρία της Πληροφορίας, η οποία αναπτύχθηκε στην δεκαετία του '40 από τον Claude Elwood Shannon, ανέδειξε την πληροφορίας ως μετρήσιμο μέγεθος. Η Θεωρία της Πληροφορίας είχε επιδράσεις και στην μουσική καθώς «η μουσική αντιμετωπίζεται ως ένα σύστημα επικοινωνίας (αποστολέας-κανάλι-δέκτης) με το περιεχόμενο του μηνύματος να είναι περιγράψιμο όσον αφορά την πληροφορία ή το βαθμό προβλεψιμότητας» (Harley, 1995: 221). Αυτή η πληροφοριακή ματιά της μουσικής, εκτός από την επιρροή που άσκησε στον Hiller, επηρέασε επίσης και μεγάλες θεωρίες της μουσικής αισθητικής, όπως φαίνεται στα συγγράμματα «Emotion and Meaning in Music» και «Information Theory and Esthetic Perception» από τους Meyer και Moles, αντίστοιχα.

Το 1955-56 ο Hiller έγραψε με τη βοήθεια του Leonard Isaacson και τον Robert Baker και με την χρήση του υπολογιστή Illiac στο πανεπιστήμιο της Ίλιον (The University of Illinois) την σύνθεση «Illiac Suite», γνωστή και ως «The Illiac String Quartet» ή ως «String Quartet No.4» (Nierhaus, 2009: 63 και Ariza, 2005: 37).

Λίγα χρόνια αργότερα, το 1963, ο Hiller με την βοήθεια του Robert A. Baker δημιούργησε μια γλώσσα προγραμματισμού σύνθεσης γνωστή ως MUSICOMP (Nierhaus, 2009: 63). Την γλώσσα αυτή την χρησιμοποίησε για την δημιουργία της «Computer Cantata», καθώς και για τις συνθέσεις Algorithms I, II, III (Diaz-Jerez, 2000: 38).

1.13 Herbert Brün. SAWDUST

Ο Herbert Brün ανέπτυξε στα μέσα της δεκαετίας του 1970 ένα υπολογιστικό πρόγραμμα για την σύνθεση κυματομορφών, το SAWDUST. Η πρώτη έκδοση του προγράμματος ολοκληρώθηκε το 1976 από τον Gary Grossman με την γλώσσα προγραμματισμού C στο λειτουργικό σύστημα UNIX. Με αυτή την έκδοση ο Brün έγραψε τα *Dust* (1976), *More Dust* (1977), *Dustiny* (1978) και *A Mere Ripple* (1979). Αργότερα πραγματοποιήθηκαν νέες εκδόσεις του προγράμματος SAWDUST, με τις οποίες γράφτηκαν από τον ίδιο τα *U-TURN-TO* (1980), *i toLD You so!* (1981), *Aufhören!* (1989), *on stilts among ducks* (1997) (Luque, 2006: 14).

Όπως αναφέρει και ο ίδιος ο Brün «το υπολογιστικό πρόγραμμα το οποίο ονομάζεται SAWDUST μου επιτρέπει να δουλεύω με τα μικρότερα τμήματα των κυματομορφών». Το SAWDUST είναι μια ντετερμινιστική και ιεραρχική προσέγγιση της μεν ηχητικής και κατ' επέκταση μουσικής σύνθεσης (Luque, 2006: 14).

1.14 Gottfried Michael Koenig. SSP (Sound Synthesis Program)

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 ο Gottfried Michael Koenig ανέπτυξε ένα άλλο υπολογιστικό πρόγραμμα για την ηχητική σύνθεση, το SSP από την ακροστιχίδα Sound Synthesis Program. Το πρόγραμμα αυτό ξεκίνησε με τις εργασίες του Koenig και ολοκληρώθηκε με τις εργασίες του Paul Berg. Η γλώσσα που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξή του ήταν η MACRO-15 και χαρακτηριστικό είναι ότι σύνθετε ήχο σε πραγματικό χρόνο. Τα *Mandolin* από τον Paul Berg, *Blue Flute* από τον Robert Rowe και *One Room to Another* από τον David, είναι μερικά από τα έργα που δημιουργήθηκαν με το συγκεκριμένο πρόγραμμα (Luque, 2006: 16).

2. Συνηθέστερες Τεχνικές Αλγοριθμικής Σύνθεσης.

Έχουν αναπτυχθεί αρκετές τεχνικές αλγοριθμικής σύνθεσης εξαιτίας κυρίως της σταδιακής ανάπτυξης διαφόρων επιστημονικών κλάδων που σχετίζονται λόγω χάρη με τα κυτταρικά αυτόματα, την θεωρία του χάους, την γεωμετρία φράκταλ κλπ. Στο κεφάλαιο αυτό λοιπόν παρουσιάζονται εν συντομία ορισμένες από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται κατά την αλγοριθμική σύνθεση.

2.1 Θεωρία του Χάους - Chaos Theory

Η θεωρία του χάους μελετά την απρόβλεπτη συμπεριφορά των μη γραμμικών δυναμικών συστημάτων, όταν επηρεάζονται από μια κοινή συνθήκη ή ένα σύνολο συνθηκών. Πρωτοπόρος της θεωρίας αυτής είναι ο Γάλλος μαθηματικός Henri Poincare, και αναπτύχθηκε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Ο επιστημονικός κλάδος που ασχολείται με τη θεωρία του χάους πίστευε ότι οι τυχαίες επιρροές από τα συστήματα συμπεριφέρονται απρόβλεπτα. Αν λοιπόν εξαλειφθούν οι τυχαίες επιρροές, τότε θα μπορούσε να προβλεφθεί η συμπεριφορά τους. Σήμερα είναι γνωστό πως πολλά συστήματα μπορούν να παρουσιάζουν μακροπρόθεσμη προβλεψιμότητα χωρίς τυχαίες επιρροές και αυτά τα συστήματα είναι τα χαοτικά (Diaz-Jerez, 2000: 39).

Τα χαοτικά συστήματα είναι απρόβλεπτα, καθώς χαρακτηρίζονται από την ευαίσθητη εξάρτησή από τις αρχικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα την θέση και την ταχύτητα. Αυτά τα συστήματα απεικονίζουν τόσες σύνθετες και απρόβλεπτες συμπεριφορές που δίκαια έχουν ως τίτλο την περιγραφή «τυχαία-random» (Diaz-Jerez, 2000: 40).

Οι μαθηματικές εξισώσεις που παράγουν χαοτικές συμπεριφορές χαρακτηρίζονται, παραδόξως, για την απλότητά τους. Είναι μη-γραμμικές εξισώσεις και σε αντίθεση με τις γραμμικές εξισώσεις έχουν άπειρες λύσεις. Η έννοια-κλειδί της θεωρίας του χάους είναι η επανάληψη, η οποία επιτρέπει σε αυτά τα απλά μαθηματικά συστήματα να παράγουν χαοτικές συμπεριφορές. Μουσικοί όπως οι Charles Wuorinen, Gary Lee Nelson, David Clark Little είναι μόνο μερικοί που χρησιμοποιούν στην μουσική τους την θεωρία του χάους (Diaz-Jerez, 2000: 41).

2.2 Κυτταρικά/Κυψελικά Αυτόματα - Cellular Automata

Άλλη μια τεχνική που χρησιμοποιείται στην αλγοριθμική σύνθεση είναι τα κυτταρικά ή αλλιώς κυψελικά αυτόματα. Τα κυτταρικά αυτόματα

επινοήθηκαν από τον John von Neumann στα μέσα της δεκαετίας του 1960 και εν ολίγοις περιγράφουν τις σύνθετες μορφές οργάνωσης της πληροφορίας που μπορούν να αυτοαναπαράγονται και να αυτοοργανώνονται στον υπολογιστή βάσει μερικών απλούστατων αρχικών κανόνων. Αφορούσε την τυπική περιγραφή των λειτουργιών του βιολογικού κυττάρου. Σε ένα ορισμό που δίνει ο Konrad Zuse το 1967 αναφέρει ότι:

...ένα πεπερασμένο αυτόματο λειτουργεί με έναν διακριτό αριθμό διακριτών καταστάσεων. Είναι περίπου ισοδύναμο με μια ψηφιακή μηχανή επεξεργασίας δεδομένων, που απαρτίζεται από έναν περιορισμένο αριθμό στοιχείων, κάθε ένα από τα οποία έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει ένα περιορισμένο αριθμό καταστάσεων με αποτέλεσμα ολόκληρο το αυτόματο να μπορεί να δεχτεί μόνο έναν περιορισμένο αριθμό καταστάσεων. Το αυτόνομο αυτόματο δεν μπορεί να δεχτεί εισόδους και μπορεί έτσι να θεωρηθεί ως μια μηχανή που λειτουργεί ανεξάρτητα από τη στιγμή που θα ξεκινήσει. Το κυτταρικό αυτόματο αντιπροσωπεύει μια ειδική μορφή αυτόματου που είναι κατασκευασμένη από αλληλοσχετιζόμενα, περιοδικά αναδημιουργούμενα κελιά. Με τον όρο θεωρητικός τρόπος σκέψης μέσω των αυτομάτων αντιλαμβανόμαστε έναν τρόπο παρατήρησης σύμφωνα με τον οποίο, ένα τεχνικό, μαθηματικό ή φυσικό μοντέλο θεάται από την οπτική μιας αλληλουχίας καταστάσεων, που ακολουθούν η μια την άλλη σύμφωνα με προκαθορισμένους κανόνες.

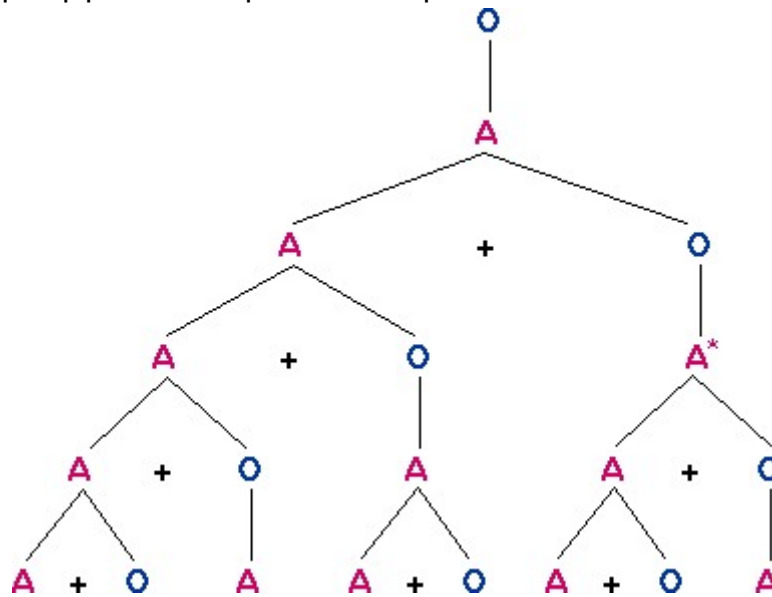
Ο συνθέτης Eduardo R. Miranda ανέπτυξε ένα υπολογιστικό πρόγραμμα, το CAMUS, το οποίο σχεδιάζει δισδιάστατα κυτταρικά αυτόματα σε μουσικές παραμέτρους (Miranda, 2002: 197). Το κομμάτι *Entre l' Absurde et le Mystere* έχει δημιουργηθεί με το συγκεκριμένο πρόγραμμα (Diaz-Jerez, 2000: 43).

2.3 L-Systems

Τα L-Systems αναπτύχθηκαν από τον Aristid Lindenmayer το 1968 από τον οποίο μάλιστα πήραν και το όνομα τους, Lindenmayer-Systems. Αποτελούνται από ένα σύνολο *κανόνων αντικατάστασης* (substitution rules), ή αλλιώς από ένα σύνολο *κανόνων επανεγγραφής* (re-write rules), όπου το σύμβολο στο αριστερό σκέλος τους αντικαθίσταται με το σύμβολο στο δεξί σκέλος του. Οι κανόνες αντικατάστασης καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο κάθε σύμβολο στη τρέχουσα γενιά θα πρέπει να αντικατασταθεί (Diaz-Jerez, 2000: 44).

Για παράδειγμα σε μια διαδικασία βιολογικής αναπαραγωγής ένα ζευγάρι ενηλίκων θα γίνει ένα νέο σύνολο το οποίο θα περιλαμβάνει τους ίδιους αλλά και τους απογόνους τους. Ωστόσο όμως και τα παιδιά γίνονται και αυτή ενήλικες. Έτσι έχουμε ένα κανόνα που λέει Ενήλικας -> Ενήλικας + Παιδι,

και ένα δεύτερο κανόνα που λέει Παιδί -> Ενήλικας. Από αυτούς τους δύο κανόνες δημιουργείται το παρακάτω δέντρο:



Παράδειγμα 7: Δέντρο ενός L-System με δύο κανόνες.

Τα L-Systems χρησιμοποιήθηκαν από ως μια σπουδαία τεχνική αλγοριθμικής σύνθεσης. Ως παράδειγμα αναφέρεται η καινοτομία του Kevin Jones ο οποίος κατάφερε να αναπτύξει ένα L-system το οποίο δημιουργεί μόνο του μια μεγάλη κατηγορία παραδοσιακών τραγουδιών της Αγγλίας, τα limericks. Επίσης ο Gary Lee Nelson σύνθεσε ένα σόλο για φλάουτο με τίτλο *Summer* (Diaz-Jerez, 2000: 44).

2.4 Άλλες Τεχνικές Αλγοριθμικής Σύνθεσης

Τέλος οι Γενετικοί Αλγόριθμοι, ο θόρυβος (1/f noise, pink noise, κλπ), η θεωρία των αριθμών (αριθμητικές σειρές, οι ακολουθίες Morse-Thue, κλπ) και τα φράκταλς – fractals είναι μερικές ακόμη τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην αλγοριθμική σύνθεση. Ωστόσο οι Γενετικοί Αλγόριθμοι, τα L-Systems, τα Κυτταρικά Αυτόματα και η Θεωρία του Χάους χρησιμοποιούνται περισσότερο ως τεχνικές σήμερα. Βέβαια όσο αναπτύσσεται η υπολογιστική ισχύς οι σχετικοί επιστημονικοί κλάδοι αναπτύσσονται, και κατά συνέπεια οι υπάρχουσες αλγοριθμικές διαδικασίες εξελίσσονται ή ενσωματώνονται νέες. Κλείνοντας θα πρέπει να ειπωθεί πως οι τεχνικές αλγοριθμικής σύνθεσης θα πρέπει να αντιμετωπίζονται από τον συνθέτη περισσότερο ως πηγή έμπνευσης και όχι ως ένα βήμα μουσικής λύσης (Diaz-Jerez, 2000: 45-48).

Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, στην συγκεκριμένη εργασία παρουσιάσθηκαν όσο πιο συνοπτικά γινόταν η ιστορική αναδρομή της αλγοριθμικής σύνθεσης καθώς και μερικές βασικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται κατά την σύνθεση μουσικής-ήχου και που εμπειρικλείουν αλγοριθμικές διαδικασίες. Συμπερασματικά, διαπιστώνεται μέσω της μικρής αυτής ιστορικής αναδρομής ότι τα μαθηματικά και η μουσική είναι μεν δύο ξεχωριστοί κλάδοι άλλα άμεσα συσχετιζόμενοι. Στην ουσία είναι δύο τέχνες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους παράγοντας εξαιρετικά αποτελέσματα. Και βέβαια όταν δύο τέχνες ενώνονται για ένα κοινό σκοπό το αποτέλεσμα θα είναι σαφώς πιο πλούσιο από τι θα ήταν αν το παράγαγε από μόνη της η μια τέχνη. Ποσό μάλιστα όταν γίνεται λόγος για δύο τέχνες τόσο αρμονικά συνδεδεμένες, καθώς τόσο η μουσική θεωρία, όσο και η μουσική πράξη, ερμηνεύονται με φυσικούς νόμους, που με τη σειρά τους διατυπώνονται με μαθηματικές σχέσεις. Όσον αφορά τις υπάρχουσες αλγοριθμικές τεχνικές αυτό που θα πρέπει να λάβει σοβαρά υπόψη του ο συνθέτης είναι να τις χρησιμοποιήσει περισσότερο ως πηγή έμπνευσης και λιγότερος ή ως και καθόλου ως ένα χρήσιμο εργαλείο μουσικής επίλυσης προβλημάτων.

Βιβλιογραφία

Ariza, Christopher. 2005. *An Open Design for Computer-Aided Algorithmic Music Composition: athenaCL*. Florida: Boca Raton.

Boethius. 1867. *Anicii Manlii Torquati Severini Boetii De institutione arithmetica libri duo: De institutione musica libri quinque. Accedit geometria quae fertur Boetii. in aedibus B.G. Teubneri*.

Burt, Warren. (χωρίς έτος). *Some Parenthesis around algorithmic composition*. Melbourne.

Cope, David. 2000. *The Algorithmic Composer*. USA: A-R Edition.

Diaz-Jerez , Gustavo. 2000. *Algorithmic Music: Using Mathematical Models in Music Composition*.

Doornbusch, Paul. (χωρίς έτος). *A Brief Survey of Mapping in Algorithmic Composition*. RMIT University.

Dzjaparidze, Michael. 2010. *Composing Music with Algorithms. Mapping the Schrodinger Equation to Obtain Musical Form and Function*. EMMA.

Fux, Johann J. 1965. *Gradus Ad Parnassum*. Broude Brothers, Limited.

Gaudentius. 1652. *Gaudentiu ... Harmonikē eisagōgē: Gaudentii, philosophi, harmonica introductio*.

Giomi, Francesco. (χωρίς έτος). *An Early Case of Algorithmic Composition in Italy*. Florence.

Jacob, Bruce L. (χωρίς έτος). *Algorithmic Composition as a Model of Creativity*. Michigan.

Langston, Peter S. 1988. *Six Techniques for Algorithmic Music Composition*. New Jersey: Bellcore.

Luque, Sergio. 2006. *Stochastic Synthesis. Origins and Extensions*.

Miranda, Eduardo Reck. 2001. *Composing Music with Computers*. xx: Focal Press.

Nierhaus, Gerhard. 2009. *Algorithmic Composition. Paradigms of Automated Music Generation*. New York: SpringerWienNewYork.

Papadopoulos, George and Wiggins, Geraint. (χωρίς έτος). *IA Methods for Algorithmic Composition: A Survey, a Critical View and Future Prospects*. Edinburgh.

Quintilianus, Aristides. 1882. *De musica: Nunc primum separatim edidit, e codicibus MSS. recensuit, emendavit, annotavit et commentatus est Albertus Jahnius. Pars i. De musica libri III. Cum brevi annotatione de diagrammatis proprie sic dictis, figuris, scholiis cet. codicum MSS.*

Rameau, Jean-Philippe. 1722. *Traité de l'harmonie*. Broude Brothers.

Sturm, Bob L. (χωρίς έτος). *Synthesis and Algorithmic Composition Techniques Derived from Particle Physics*. San Diego.

Wilson, Robert A. and Keil, Frank C. 1999. *The MIT Encyclopaedia of the Cognitive Sciences*. London: The MIT Press.

Xenakis, Iannis. 1992. *Formalized Music. Thought and Mathematics in Music*. xx: Pendragon Revised Edition,.

Zarlino, Gioseffo. 1965. *Le institutioni harmoniche*. Broude.

Αρθρογραφία

Alsop, Roger (1999). *Leonardo Music Journal*. Exploring the Self Through algorithmic Composition. Vol. 9, pp. 89-94.

Harley, James (1995). *Leonardo*. Generative Processes in Algorithmic: Chaos and Music. Vol. 28, No.3, pp. 221-224.

Leach, Jeremy and Fitch John (Summer, 1995). *Computer Music Journal*. Nature, Music, and Algorithmic Composition. Vol. 19, No. 2, pp. 23-33.

Moroni, Artemis and Manzolli, Jonatas and Zuben, Fernando and Gudwin, Ricardo (2000). *Leonardo Music Journal*. Vox Populi: An Interactive Evolutionary System for algorithmic Music Composition. Vol. 10, pp. 49-54.

Varese, Edgard and Wen-chung, Chou (Autumn-Winter, 1966). *Perspectives of New Music*. The Liberation of Sound. Vol. 5, No. 1, pp. 11-19.

Ιστογραφία

<https://ccrma.stanford.edu/~blackrse/algorithm.html>