



Τμήμα Εθνομουσικολογίας  
Σχολή Μουσικής & Οπτικοακουστικών Τεχνών  
Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Θεωρητική Εργασία:

Ανάλυση τεχνικών σύνθεσης ήχου με ιστορικά στοιχεία και συνθέσεις.  
Γεροντίδη Μαρίλια/A.M.:1836

Στόχος αυτής της εργασίας είναι η αναφορά και ανάλυση των τεχνικών αλγοριθμικής σύνθεσης μουσικής με ιστορικά στοιχεία και παραδείγματα συνθέσεων. Μέσα στην ιστορία της μουσικής μπορεί κανείς να βρει πληθώρα παραδειγμάτων αλγοριθμικών τρόπων σύνθεσης πριν και την εμφάνιση των υπολογιστικών μηχανών. Αρχικά αλγόριθμος μπορεί να θεωρηθεί ένα σύνολο πεπερασμένων κανόνων και πράξεων που διέπονται με σαφήνεια και απλότητα δημιουργώντας μια πιο σύνθετη και πολύπλοκη μέθοδο με σκοπό την επίλυση ενός προβλήματος ή τη κατάληξη σε κάποιο συμπέρασμα με βάση κάποιων δοσμένων δεδομένων.

Το πρώτο ιστορικό πρόσωπο που παρουσίασε τον αλγοριθμικό τρόπο κατάληξης σε συμπεράσματα ήταν ο Πυθαγόρας με το <<Η σχέση δύο αριθμών προς αλλήλους>>, ο οποίος ανακάλυψε την αριθμητική αναλογία των μουσικών διαστημάτων και τη σχέση ανάμεσα στο μήκος των χορδών και τη συχνότητα που παράγουν, χρησιμοποιώντας το μονόχορδο και παρατηρώντας πως ακριβείς μαθηματικές σχέσεις παρήγαγαν αρμονικούς ήχους. Σήμερα είναι γνωστό ως αλγόριθμος του Ευκλείδη με τον οποίο βρίσκουμε το μέγιστο κοινό διαιρέτη δύο αριθμών. Από τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε ο Πυθαγόρας μέσω της αλγοριθμικής εξήγησης της μουσικής θεωρίας επηρεάστηκαν πολλοί μεταγενέστεροι θεωρητικοί της μουσικής από την εποχή του Βυζάντιου μέχρι της πρώιμης αλλά και μεταγενέστερης δυτικής Ευρώπης, με πραγματείες όπως *Traite de l'harmonie* (Raumeau 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), οι οποίες είναι εμφανώς επηρεασμένες από το θεωρητικό σκεπτικό του Πυθαγόρα και εμπεριέχουν μαθηματικές ερμηνείες των κανόνων που διέπουν τη μουσική, εξελίσσοντας την αρχική θεωρητική βάση στο πλήρες δυναμικό της.

Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το μουσικό Μοτέτο του οποίου η δημιουργία βασίζεται στα μοτίβα και το συνδυασμό τους μέσα από διάφορους κανόνες και εξαιρέσεις (14ος-15ος αι.). Καλλιτέχνες που ασχολήθηκαν με αυτό το είδος έχουν προσφέρει ιστορικής σημασίας πραγματείες όπως *Libellus Cantus mensurabilis* (Jehan des Murs), *Tractatus prattice de musica mensurabili* (Prosdocius de Bedelmantis), με πληθώρα και στην ενασχόληση με το ισορυθμικό μοτέτο με τους Philippe de Virty, Ciconia, Machaut, Dunstable και Dufay. Χαρακτηριστικό ακόμα παράδειγμα είναι οι μέθοδοι της Φούγκας και της Αντίστιξης που χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς από τον Bach (στη φούγκα Β' Υφεση-Σι' Υφεση, Λα, Ντο, Σι) και από τον Schumann η παράλληλη ABEGG για πιάνο (Λα, Σι, Μι, Σολ, Σολ) και στην αντιστιτική σύνθεση μελωδιών με αυτοματισμούς βασισμένους σε αλγόριθμους από τον Kircher (με την ονομασία *Musarithmica* ή *Arca Musurgia*) ή και στο σχηματισμό φωνητικών συνθέσεων μέσω αλγοριθμικής μεθόδου με τον <<μουσικό τροχό>> στο βιβλίο *New Method of Composing Four Voices* από τον Giovanni Andrea Bontempi (1624-1705). Επίσης πρώιμα παραδείγματα θεωρούνται τα <<μουσικά ζάρια>> που πρώτο-εμφανίστηκαν από τον Wolfgang Amadeus Mozart, ο οποίος όμως τα χρησιμοποίησε στο επίπεδο του προσχεδιασμού των μουσικών του έργων και μόνο, ενώ ολοκληρώθηκαν με τον Johann Philipp Kirnberger το 1757, ο οποίος το αναλύει στο <<Der allezeit fertige Polonoisen und Menuettencomponist>>, όπως και το <<μουσικό σκάκι>> από τον John Cage με το έργο του *Reunion* το οποίο σύμφωνα με αναλυτές θυμίζει το έργο *Musikalisches Würfelspiel* του Μότσαρτ. Συνθέτες όπως ο Bach, ο Mozart, ο Beethoven και πολλοί άλλοι αναφέρουν τον Fux, ο οποίος φαίνεται ότι επηρέασε με το έργο του τους περισσότερους. Στη θεωρία του περιλάμβανε 3 βασικούς κανόνες οι οποίοι λειτουργούσαν ως βάση για την διάνθηση συνδυασμών άρρηκτα συνδεδεμένων με τη διαδικασία της

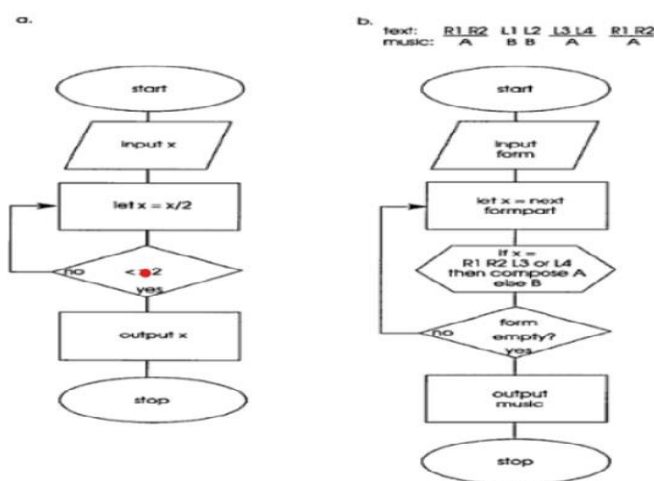
αλγοριθμικής σύνθεσης [ **Κανόνας Πρώτος:** από μια τέλεια συνήχηση σε μια άλλη τέλεια συνήχηση μια πρέπει να προχωρήσει σε αντίθετη ή πλάγια κίνηση. **Κανόνας Δεύτερος:** από μια τέλεια συνήχηση σε μια ατελή συνήχηση, η μία μπορεί να προχωρήσει σε οποιαδήποτε από τις τρεις κινήσεις. **Τρίτος Κανόνας:** από μια ατελή συνήχηση σε μία τέλεια συνήχηση, η μία πρέπει να προχωρήσει σε αντίθετη ή πλάγια κίνηση. **Τέταρτος Κανόνας:** από μια ατελή συνήχηση σε μια ατελή συνήχηση ή μια μπορεί να προχωρήσει σε οποιαδήποτε από τις τρεις κινήσεις.]



Παράδειγμα 4: μουσικός τροχός για την αλγοριθμική κατασκευή σύνθεσης.

Με τη τεχνολογική εξέλιξη των σύγχρονων εργαλείων που δημιουργήθηκαν τόσο από τις νέες θεωρίες όσο και από την εξελικτική τους εφαρμογή έχουμε καταλήξει εξετάζοντας το ίδιο θέμα'' από διάφορες και διαφορετικές οπτικές ότι η μουσική-μουσική σύνθεση συνδέεται με πληθώρα άλλων επιστημονικών κλάδων όπως τα μαθηματικά, η φυσική, η βιολογία, η ψυχολογία, η κοινωνιολογία και πολλές ακόμα άλλες. Σ' αυτό το 'πλαίσιο σκέψης' εντάσσεται και η έννοια της Χρυσής Τομής(φ) , η οποία έχει εφαρμογή σε διάφορες τέχνες των οποίων η θεωρία σχετίζεται με εξηγήσεις μέσω της φυσικής επιστήμης καθώς και της μαθηματικής(επιστήμης), στη συγκεκριμένη έννοια, με την αναπαράσταση της ακολουθίας Fibonacci, με παραδείγματα από τους Thomas Tallis, Claude Debussy και Bela Bartok. Ο Schillinger επίσης χρησιμοποίησε των συνδυασμό των επιστημών αλλά είναι αμφιλεγόμενης αποδοχής οι θεωρίες που ανέπτυξε, παρόλα αυτά μαζί με του Varese(που συνέδεσε τη μουσική σύνθεση με τη γεωμετρία) δημιούργησαν τις βάσεις για την εξελικτική πορεία της αλγοριθμικής σύνθεσης. Ένας Έλληνας ο οποίος συνέδεσε άλλη μαθηματική επιστήμη με τη μουσική σύνθεση ήταν ο Ιωάννης Ξενάκης που την συνέδεσε με τη στατιστική και πιο συγκεκριμένα με τη στοχαστική μεταφέροντας θεωρίες από τους νόμους των πιθανοτήτων. <<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>>. Με το Metastasis ο Ξενάκης έκανε την παγκόσμια πρεμιέρα

του στο Donaueschinger Musiktage και με το <<Formalized Music>> στο κεφάλαιο <<New Proposals in Microsound Structure>> μπορούμε να εντοπίσουμε, στην ουσία, το ‘‘μανιφέστο’’ του. Τελειώνοντας την αναφορά παραδειγμάτων ως προς τη σύνδεση της μουσικής σύνθεσης με τις άλλες επιστήμες θα ήθελα να αναφέρω τις επιρροές που είχε το έργο του Shannon στο πεδίο της <<Θεωρίας της Πληροφορίας>>, η οποία αναπτύχθηκε από το ‘40 και μετά όπου η πληροφορία αναδείχθηκε ως μετρήσιμο μέγεθος κι εφόσον και στη μουσική υπάρχει ένα ‘‘επικοινωνιακό σύστημα’’ λόγο του πομπού/μουσικού/αποστολέα, καναλιού/αέρας/μέσο μεταφοράς, δέκτης/ακροατής. Αυτό περιγράφεται αναλυτικότερα στα συγγράμματα *Emotion and Meaning in Music* από τον Meyers και *Information Theory and Esthetic Perception* από τον Moles, επηρεάζοντας τον Hiller στην εξέλιξη των θεωριών του. Με την εμφάνιση του ηλεκτρονικού υπολογιστή άξιος αναφοράς είναι ο Lejaren Hiller ο οποίος είναι-αν όχι ο πρώτος- από τους πρώτους που εφάρμοσαν τον αλγοριθμικό τρόπο σύνθεσης σε υπολογιστική ισχύ. Μαζί με τον Leonard Isaacson και τον Robert Baker με τη συμβολή του <<The University of Illinois>> και τον υπολογιστή Illiac έγραψαν το <<The Illiac (Suite)String Quartet No.4>>. Λίγα χρόνια αργότερα(1963) με τη βοήθεια του Robert A. Baker, ο Hiller, δημιούργησαν τη γλώσσα (σύνθεσης) προγραμματισμού Musicomp, την οποία χρησιμοποίησε για τη δημιουργία των μεταγενέστερων συνθέσεων του Computer Cantata, Algorithms I, II, III.



Παράδειγμα 3: αλγοριθμική διαδικασία για την παραγωγή μουσικής φόρμας.

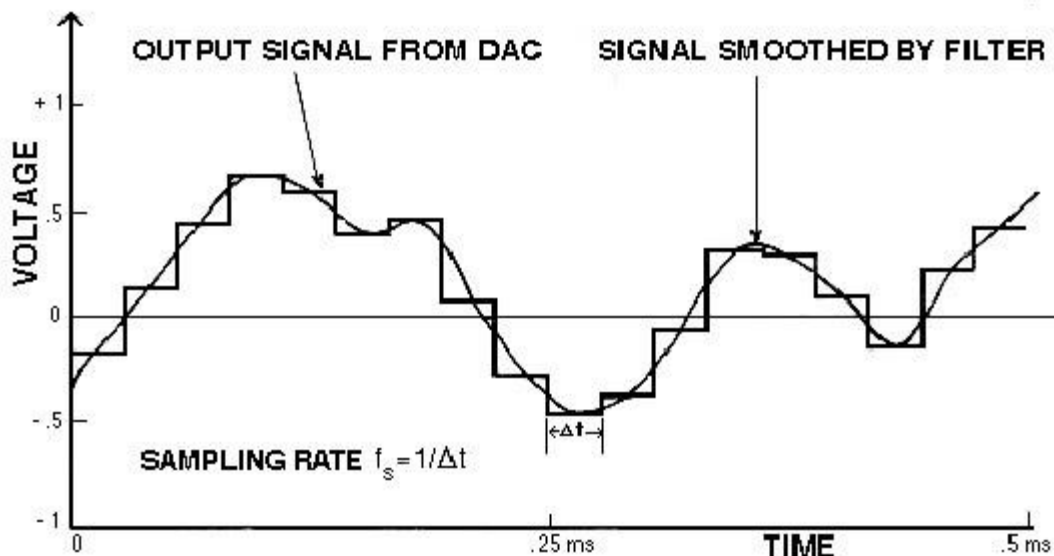
Καθώς η εξελικτική πορεία των τεχνολογικών ευρημάτων συνεχίζει ραγδαία, έχουμε φτάσει πλέον στο σημείο του ‘‘live coding’’ όπου η σύνθεση ενός μουσικού αλγορίθμου γίνεται σε πραγματικό χρόνο. Οι πρώτες προσπάθειες ξεκίνησαν το ‘70 από τον Gottfried Michael Koenig με το S(ound) S(ynthesis) P(rogram) και ολοκληρώθηκαν από τον Pual Berg, ο οποίος χρησιμοποίησε τη γλώσσα προγραμματισμού Macro-15 για τη δημιουργία ενός τέτοιου προγράμματος/δυνατότητας. Έργα που δημιουργήθηκαν μέσα από αυτό ήταν τα *Mandolin* του Berg, *Blue Flute* του Robert Rowe και *One Room to Another* του David Cope.

Μαζί με τα τεχνολογικά ευρήματα εξελίσσονται και οι θεωρητικές πλευρές των επιστημών. Σε αυτή τη κατηγορία εντάσσουμε και τη θεωρία του χάους όπου διάνθησε τη ποικιλομορφία σε όποιον τομέα κι αν χρησιμοποιήθηκε, συνδυαστικά. <<Οι μαθηματικές εξισώσεις που παράγουν χαοτικές συμπεριφορές

χαρκτηρίζονται για την απλότητα 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 όλα αυτά τα μαθηματικά συστήματα να παράγουν χαοτικές συμπεριφορές>> (Diaz-Jerez, 2000: 41). Συνεχίζοντας, ο Eduardo R. Miranda ανέπτυξε ένα υπολογιστικό πρόγραμμα με την ονομασία Campus το οποίο σχεδίαζε δισδιάστατα κυτταρικά αυτόματα, σε μουσικές παραμέτρους, με συνθέσεις του όπως το κομμάτι Entre l' Absurde et le Mystere. Άλλες πηγές έμπνευσης τεχνικών σύνθεσης αποτέλεσαν οι γενετικοί αλγόριθμοι, η θεωρία των αριθμών (αριθμητικές σειρές και ακολουθίες όπως Morse) και τα φράκταλς. Άξια αναφοράς είναι και τα L-Systems όπου χυλο-χρησιμοποιήθηκαν σαν τεχνική σύνθεσης με τρανό παράδειγμα τον Kevin Jones ο οποίος με τη δημιουργία ενός συγκεκριμένου L-System κατάφερε να κατασκευάσει μία από τις μεγαλύτερες κατηγορίες παραδοσιακών τραγουδιών της Αγγλίας(limericks).

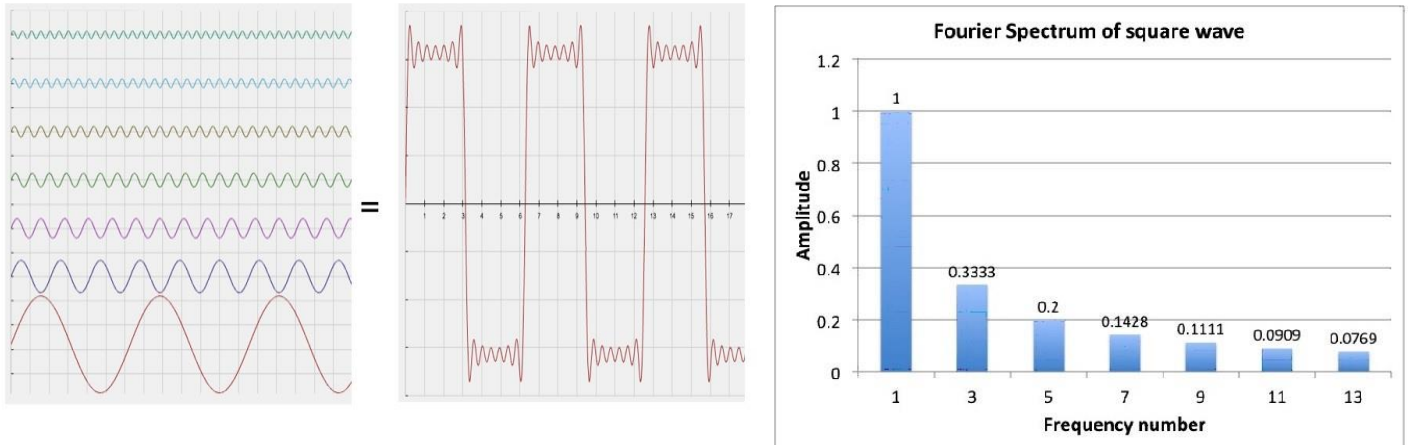
Ο συνδυασμός όλων των προαναφερθέντων θεωριών και ο συσχετισμός μεταξύ τους καθώς και ο συνεχής επιστημονικός πειραματισμός διαμόρφωσαν νέες εννοιολογικές βάσεις για τις τεχνικές αλγοριθμικής σύνθεσης και πόσο μάλλον όταν αποσκοπούν στη δημιουργία συνόλων ηχητικών σημάτων. Έτσι έχουμε ένα σύγχρονο τρόπο κατανομής με τον εξής τρόπο:

Στη κατηγορία των φασματικών συναντάμε την Προσθετική Σύνθεση όπου για τη δημιουργία ήχου συνδυάζονται αθροιστικά ημιτονοειδής κυματομορφές των οποίων οι παράμετροι ελέγχου είναι η συχνότητα, η φάση και το πλάτος ή αλλιώς ένταση. Στις περισσότερες περιπτώσεις η φάση δεν χρησιμοποιείται εκτός αν διαχειριζόμαστε δύο ίδια σήματα, όπου είναι και η πιο συνηθισμένη περίπτωση που θα δούμε να χρησιμοποιείται



Στη συνέχεια έχουμε τη Σύνθεση με Phase Vocoder. Γνωρίζοντας ότι οι κωδικοποιητές παρουσιάζουν το σήμα με λιγότερα δεδομένα απλοποιώντας τη φασματική τους πληροφορία στο συγκεκριμένο τρόπο σύνθεσης παρατηρούμε ότι αποτέλεσμα του σήματος βρίσκεται σε συγκεκριμένα πλαίσια συχνότητας. Σαν μέθοδος αναπτύχθηκε στο εργαστήρια Bell και παρουσιάστηκε το 1996 από τους Golden και Flanagan. Τέλος στη φασματική κατηγορία συναντάμε τη μέθοδο Fast Fourier Transform (FFT) με την οποία στην ουσία μπορούμε να αναλύσουμε οποιοδήποτε πολύπλοκο σήμα στα επιμέρους του(σήματα) και τη συνέχεια να

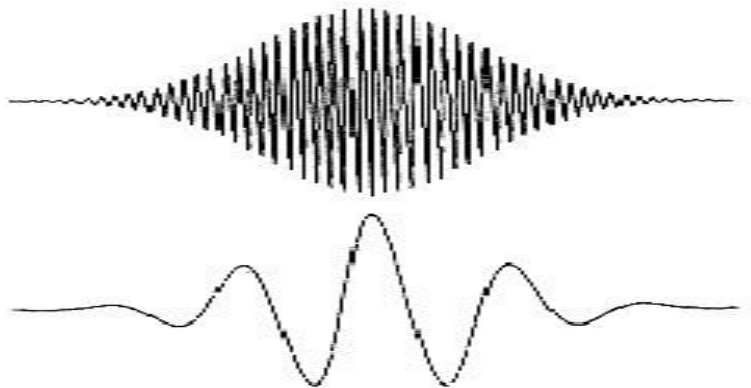
κατασκευάσουμε το ίδιο σήμα χρησιμοποιώντας μόνο ημιτονοειδής ταλαντωτές. Η χρήση αυτή προέρχεται από τον Γάλλο μαθηματικό Joseph Fourier ο οποίος συνέλαβε την ιδέα της Ανάλυσης και Σύνθεσης Fourier. Βασική προϋπόθεση για τη σωστή χρήση είναι τα ψηφιακά μέσα υλοποίησης έχοντας υπόψιν το μέγεθος των παραμέτρων που προκύπτουν από τη χρήση κάθε ημίτονου, αλλά και το γεγονός ότι όσο περισσότερα ημίτονα χρησιμοποιούνται για το αναδιαμορφωμένο τελικό σήμα, τόσο πιο πιστό "αντίγραφο" θα είναι του αρχικού σήματος.



Στη κατηγορία της Αφηρημένης ή Αφαιρετικής(Abstract) μεθόδου συναντάμε αρχικά τη Σύνθεση με Frequency Modulation(FM), τεχνική που καθιερώθηκε στα τέλη της δεκαετίας του '60-αρχές '70- από τον John Chowning με διεξοδικές μελέτες στο πανεπιστήμιο του Στάνφορντ. Το σήμα διαμορφωτή ρυθμίζει τη συχνότητα φορέα. Το βήμα του φορέα τροποποιείται σύμφωνα με τη μορφή κύματος του διαμορφωτή. Αυτό είναι σαν το vibrato και μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις ιδιότητες του διαμορφωτή ως μοναδικό τρόπο ελέγχου του φορέα(superColider Tutorial Chapter 6 by Celeste Hutchins).Μια υποκατηγορία εδώ είναι η Σύνθεση με Phase Modulation όπου ο ημιτονοειδής ταλαντωτής(φορέας) λαμβάνει το σήμα του διαμορφωτή στη τιμή που ορίζεται η φάση του. Μαζί με αυτή την υποκατηγορία μπορούμε να βρούμε αρκετές παρόμοιες τροποποιώντας κάθε φορά διαφορετικό πεδίο τιμών του φορέα, έτσι έχουμε Ring Modulation, Amplitude Modulation και Pulse Width Modulation. Η δεύτερη κατηγορία στις abstract μεθόδους είναι η Σύνθεση με Waveshaping όπου χρησιμοποιείται μία μη γραμμική συνάρτηση μεταφοράς για τη διαμόρφωση του σήματος εισόδου έχοντας έτσι τη δυνατότητα να μετατρέψουμε ένα ημιτονοειδές σήμα σε οποιουδήποτε άλλου σχήματος σήμα. Η συνάρτηση μεταφοράς είναι μία καμπύλη στον άξονα x,y της οποίας οι τιμές δίνονται από εμάς με τη μορφή πίνακα.

Η επόμενη κατηγορία μεθόδων εμφανίζεται μέσω των αρχών της δειγματοληψίας όπου θα βρούμε την ομώνυμη έννοια της Σύνθεσης Sampling. Σε αυτή τη κατηγορία << τα ψηφιακά όργανα δειγματοληψίας, που ονομάζονται επίσης δειγματοληπτικά, χρησιμοποιούνται συνήθως για την πραγματοποίηση αλλαγής βήματος, βρόχου ή άλλης τροποποίησης του αρχικού ηχητικού σήματος>> (Borin et al. 1997b) (Tolonen et al. 1998). Στη συνέχεια συναντάμε τη μέθοδο Granual Synthesis η οποία <<προήλθε από τις μελέτες του Gabor στα τέλη της δεκαετίας του '40>> (Cavaliere και Piccialli 1997; Roads 1995). <<Στην κοκκώδη σύνθεση, ο ήχος του κόκκου μπορεί να έχει διάρκεια που κυμαίνεται από ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου έως πάνω από εκατό χιλιοστά του δευτερολέπτου και η κυματομορφή του κόκκου μπορεί να είναι ένα ημιτονοειδές παράθυρο, ένα σήμα δειγματοληψίας ή να ληφθεί από ένα μοντέλο βασισμένο στη φυσική ενός

μηχανισμού παραγωγής ήχου>> (Cavaliere και Piccialli 1997) (Tolonen et al. 1998). Σε αντίθεση με την Σύνθεση Fourier που βασίζεται σε συστατικά ημιτονοειδών κυμάτων με αργά μεταβαλλόμενα πλάτη, η κοκκώδης σύνθεση βασίζεται σε τυλιγμένους κόκκους, που συνήθως αναπτύσσονται σε υψηλές πυκνότητες εκατοντάδων ή χιλιάδων κόκκων ανά δευτερόλεπτο. Η μορφή του κύματος αυτών των κόκκων μπορεί να είναι συνθετική (π.χ. ημιτονοειδή κύματα) ή να προέρχεται από περιβαλλοντικούς ήχους. Στην τελευταία περίπτωση, η τεχνική ονομάζεται κοκκοποίηση(Granulation).



Στην επόμενη κατηγορία συναντάμε τις "Φυσικές" Μεθόδους. Εκ πρώτης, συναντάμε τη Μοντελοποίηση-Σύνθεση με Τρόπους(Modal Synthesis) με την οποία μπορούμε να δώσουμε την αίσθηση του φυσικών χαρακτηριστικών της ηχητικής πηγής ή των ηχητικών μέσων που θα παρήγαγαν το ηχητικό σήμα στο φυσικό χώρο μέσω του καθοδηγητή σήματος(Waveguide).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως σ' αυτή την εργασία αναφέρθηκαν μόνο οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες των σύγχρονων μεθόδων σύνθεσης καθώς και κάποιων προγενέστερων καθοριστικής σημασίας που συνεχίζεται η πρακτική τους χρήση μέχρι τις μέρες μας, παρ' όλα αυτά σε κάθε μέθοδο συναντάμε αρκετές ακόμα κατηγορίες, τις οποίες παραθέτω στον παρακάτω πίνακα:

Processed Recording	Spectral Model	Physical Model	Abstract Algorithm
Concrète Wavetable T Sampling Vector Granular Prin. Comp. T Wavelet T	Wavetable F Additive Phase Vocoder PARSHL Sines+Noise (Serra) Prin. Comp. F Chant VOSIM Risset FM Brass Chowning FM Voice Subtractive LPC Inverse FFT Xenakis Line Clusters	Ruiz Strings Karplus-Strong Ext. Waveguide Modal Cordis-Anima Mosaic	VCO,VCA,VCF Some Music V Original FM Feedback FM Waveshaping Phase Distortion Karplus-Strong

### Βιβλιογραφία:

- + <https://vasileios.github.io/ac-sc/introduction/references/>
- + [https://www.sfu.ca/sonic-studio-webdav/handbook/Sound\\_Synthesis.html](https://www.sfu.ca/sonic-studio-webdav/handbook/Sound_Synthesis.html)
- + <https://www.sfu.ca/sonic-studio-webdav/handbook/Grain.html#gs>
- + <https://www.compadre.org/osp/EJSS/4487/272.htm>
- + [https://books.google.gr/books?id=7XBGDwAAQBAJ&pg=PA252&lpg=PA252&dq=what+the+symbol+%23+does+in+a+Pseq\(%23+%5B1,2,3,4%5D,1\)+supercollider&source=bl&ots=e89NDCaAVv&sig=ACfU3U08b0FyxiaZaFQoz6z2jvt40XCUrW&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwifgfDGs9voAhU8gnIEHQy1A4QQ6AEwAHoECAwQKQ#v=onepage&q&f=false](https://books.google.gr/books?id=7XBGDwAAQBAJ&pg=PA252&lpg=PA252&dq=what+the+symbol+%23+does+in+a+Pseq(%23+%5B1,2,3,4%5D,1)+supercollider&source=bl&ots=e89NDCaAVv&sig=ACfU3U08b0FyxiaZaFQoz6z2jvt40XCUrW&hl=en&sa=X&ved=2ahUKEwifgfDGs9voAhU8gnIEHQy1A4QQ6AEwAHoECAwQKQ#v=onepage&q&f=false)
- + <https://github.com/Vasileios?tab=repositories>
- + <https://users.ionio.gr/~t07elou/data/Algorithmic.pdf>
- + [https://ccrma.stanford.edu/~jos/kna/Taxonomy\\_Digital\\_Synthesis\\_Techniques.html](https://ccrma.stanford.edu/~jos/kna/Taxonomy_Digital_Synthesis_Techniques.html)