

Τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας, Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Κατηγορία μουσικής σύνθεσης, αναφορά στην
αλγοριθμική σύνθεση και ηχητικό κομμάτι στο Sonic Pi

Γιώργος Σεραλίδης (TX2014051)

Κ.Ζάννος

Κέρκυρα, Ιούλιος, 2020

ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΗΧΗΤΙΚΟ ΚΟΜΜΑΤΙ ΠΟΥ ΕΦΤΙΑΞΑ

Το κομμάτι το έφτιαξα, δημιουργήθηκε στο Sonic Pi. Αρχικά έχω βάλει μια σειρά/λούπα με τέσσερις διαφορετικές συχνότητες ο οποίος ακούγεται για τέσσερις φορές. Όταν τελειώσει και η τέταρτη φορά και μόλις πάει να ξεκινήσει η πέμπτη φορά στην αρχή όταν θα ακουστεί η πρώτη συχνότητα($Fs3$) μαζί με την συχνότητα θα ακουστεί και ένας ήχος από ντραμς και αυτό θα παίζει για τέσσερις φορές. Όταν θα τελειώσει αυτή η σειρά, η επόμενη θα συνεχίσει να έχει τις ίδιες συχνότητες που είχα στις δύο προηγούμενες σειρές αλλά θα έχει και χτύπο από

ντραμς(Drum_heavy_kick.flac) μαζί με άλλους ήχους από ντραμς όπως για παράδειγμα drums_snare_hard.flac, πάλι drum_heavy_kick_flac, drum_cymbal_pedal.flat, και drum_snare_soft-flac. Αυτή η σειρά θα παίζει δύο φορές. Όταν τελειώσει θα ξαναπαίζει η πρώτη σειρά για 8 φορές και όχι τέσσερις για να δοθεί έμφαση στην επόμενη. Η οποία θα έχει χαμηλή συχνότητα η οποία θα παίζει για 4 φορές και αμέσως μετά θα παίζει άλλη σειρά με πιο χαμηλή και έντονη συχνότητα αλλά αυτή την φορά για 8 φορές. Στην συνέχεια θα παίζει πάλι η πρώτη σειρά που έβαλα στο κομμάτι αλλά για 16 φορές. Μετά θα παίζει η σειρά με την χαμηλή συχνότητα για τέσσερις φορές και αμέσως μετά θα παίζει η πιο χαμηλή και έντονη συχνότητα για 8 φορές. Αυτό θα επαναλαμβάνεται συνεχώς και εδώ τελειώνει το κομμάτι μου.

ΟΡΙΣΜΟΣ

Η λέξη “αλγόριθμος” αποδίδεται φωνητικά στο όνομα του Πέρση μαθηματικού Muhammad ibn Musa al-Khwarizmi¹, ο οποίος, παρουσίασε για πρώτη φορά την συστηματική λύση της γραμμικής και δευτεροβάθμιας εξίσωσης και θεωρείτο ως ο “πατέρας” της άλγεβρας. Ο όρος “Αλγοριθμική Σύνθεση” που σε μερικές περιπτώσεις εμφανίζεται και ως “Σύνθεση Αυτομάτων” ουσιαστικά αναφέρεται σε μια τυπική, φορμαλιστική διαδικασία που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μουσικής, με ελάχιστη ανθρώπινη συμμετοχή. Αυτές οι διαδικασίες όπως θα δούμε, συμβάδιζαν με τη μουσική από την αρχαιότητα. Ο ίδιος ο τίτλος ωστόσο, είναι σχετικά νέος. Ο όρος Αλγόριθμος έχει εγκριθεί από την επιστημονική κοινότητα, τόσο στα πεδία της πληροφορικής όσο και των υπολογιστών από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα. Οι υπολογιστές συνέβαλαν σε νέες ευκαιρίες αυτοματισμού που βοήθησαν την διαδικασία της σύνθεσης. Επιπλέον, πολλές διαφορετικές μέθοδοι αυτοματισμού έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία περίπου 40 χρόνια. Αλγόριθμος ορίζεται μια πεπερασμένη σειρά οδηγιών, αυστηρά καθορισμένων και εκτελέσιμων σε πεπερασμένο χρόνο που στοχεύουν στην επίλυση ενός προβλήματος. Το πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι συνθέτες είναι φυσικά η δημιουργία μουσικής. Οι οδηγίες για την δημιουργία της μουσικής σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό είναι προκαθορισμένες, πράγμα που σημαίνει πως η παρέμβαση του ανθρώπου-συνθέτη ελαττώνεται δραματικά καθώς οι οδηγίες αυτές τίθενται σε εφαρμογή.

¹ Ο όρος Αλγόριθμος προέρχεται από το Algoritmi (Αλγορίτμι), το Λατινικό του όνομα του Αλ Χουαρίζμι

ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΙΚΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ

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

-ΠΥΘΑΓΟΡΑΣ

Ιστορικά ο 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 παρατήρησε ότι ακριβείς μαθηματικές σχέσεις παρήγαγαν αρμονικούς ήχους.

-GUIDO DAREZZO

Η πρώτη προσπάθεια μουσικής σημειογραφίας από τον Ιταλό συνθέτη και θεωρητικό μουσικό Guido Darezso² θεωρείτο ως το αρχαιότερο γνωστό παράδειγμα εφαρμοσμένης αλγοριθμικής μεθόδου για την παραγωγή μουσικής σύνθεσης. Η

² Ο Γκουίντο Ντ Αρέτσο ήταν θεωρητικός της μουσικής κατά τον Μεσαίωνα. Επινόησε το σύγχρονο σύστημα μουσικής σημειογραφίας, το μουσικό πεντάγραμμο, που αντικατέστησε τη νευματική σημειογραφία.

μέθοδος αυτή, χρονολογούμενη τον 11^ο αιώνα, δημιουργεί μια αντιστοιχία μεταξύ των φωνήεντων ενός κειμένου και μιας σειράς από τόνους. Αυτή η μέθοδος περιγράφεται από τον ίδιο στο σύγγραμμα του Micrologus. 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. Με βάση το ισορρυθμικό μοτέτο, ένα μελωδικό σχήμα και ένα ρυθμικό επαναλαμβάνονται συνεχώς χωρίς να συμπίπτουν. 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.

-ATHANASIUS KIRCHER

Γύρο στο 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 άποψή 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. Μεταξύ όλων ο Kircher ανέπτυξε στο βιβλίο του ένα σύστημα αλγοριθμικής σύνθεσης. 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>>.

-WOLFGANG AMADEUS MOZART

Κατά την κλασική περίοδο μια εφαρμοσμένη μαθηματική διαδικασία στην μουσική σύνθεση, κυρίως ως μια πρώιμη μορφή της πιθανοκρατούμενης μουσικής εμφανίζεται με την σύνθεση. Εν ολίγοις οι νότες αυτής της σύνθεσης γράφτηκαν από τον Μότσαρτ ανάλογα με το αποτέλεσμα της ρίψεως ενός ή δύο ζαριών. 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 προκειμένου να δημιουργηθεί ένα εκ νέου μινουέτο και τρίο. Η τεχνική <<Ars Inveniendi>> συνδέεται και πιο συγκεκριμένα αποτελεί απόρροια της προαναφερθείσας τεχνικής του Μότσαρτ.

-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 περιλαμβάνουν 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 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 η μία μπορεί να προχωρήσει σε οποιαδήποτε από τις τρεις κινήσεις

-ΙΩΑΝΝΗΣ ΞΕΝΑΚΗΣ :

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. Συνέχισε κατά κάποιο τρόπο την μουσική πρωτοπορία που εισήγαγε η σειρική μουσική ξεφεύγοντας όμως από το αδιέξοδο που είχε δημιουργήσει η ίδια δηλαδή η σειρική και μετασειρική μουσική. Επιπλέον η γραμμική πολυφωνία αυτοκαταστρέφεται από την ίδια την πολυπλοκότητα 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.

ΕΠΙΔΡΑΣΗ Η/Υ ΣΤΗΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΙΚΗ ΜΟΥΣΙΚΗ:

Οι πρώτοι που πειραματίστηκαν κάνοντας χρήση Η/Υ για τη σύνθεση ενός μουσικού κομματιού ήταν οι Lejaren Hiller και Leonard Isaacson, 2 καθηγητές του πανεπιστημίου του Ιλινόις το 1956. Το έργο που παρουσίασαν ονομάζονταν *iliac suite*, γραμμένο για κουαρτέτο εγχόρδων και το οποίο πήρε το όνομά του από τον υπολογιστή *iliac*, οποίος χρησιμοποιήθηκε για τη σύνθεση, αλλά και για την εκτέλεση του κομματιού. Στην ουσία ο αλγόριθμος ξεκινούσε από την παραγωγή πολλών τυχαίων αριθμών, οι οποίοι αντιστοιχούσαν σε κάποια νότα μιας μουσικής σκάλας, μέσω μιας αντιστοίχισης που είχε γίνει προηγουμένως, αλλά αργότερα και σε ρυθμικά μοτίβα, δυναμικές και πολλές άλλες παραμέτρους. Στη συνέχεια αυτοί οι

αριθμοί περνούσαν από διάφορους ελέγχους, χρησιμοποιώντας κανόνες μουσικής θεωρίας, στην ουσία φιλτράροντας τα τυχαία αρχικά αποτελέσματα.

Τα χνάρια τους ακολούθησε κι ένας σπουδαίος Έλληνας συνθέτης, ο Ιωάννης Ξενάκης, παρουσιάζοντας τα έργα ST/4 και ST/10 το 1962. Αξίζει να γίνει ιδιαίτερη μνεία στον John Cage ,ο οποίος ήταν ένας από τους πρώτους που κατάλαβαν την αξία της βοήθειας που προσέφεραν οι υπολογιστές. Συνεργάστηκε μάλιστα με τον Lejaren Hiller, έναν από τους δημιουργούς του illiac suite για να φτιάξουν μια σύνθεση ονόματι HPSCHD , η οποία ουσιαστικά αποτελούσε κολλάζ διάφορων αποσπασμάτων από Μότσαρτ και άλλους καταξιωμένους παλαιότερους συνθέτες. Οι αποφάσεις για τη σειρά εκτέλεσης των αποσπασμάτων παίρνονταν από τον υπολογιστή με παραγωγή τυχαίων αριθμών.

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΗΧΟΥ:

Ως Σύνθεση Ήχου προσδιορίζεται το σύνολο των τεχνικών και των αλγορίθμων οι οποίοι ως σκοπό έχουν την αλγοριθμική ηχοχρωματική σύνθεση. Η ανάγκη αυτή προέκυψε ήδη από τα πρώτα χρόνια παραγωγής ηλεκτρονικής μουσικής στα studio της ραδιοφωνίας της Κολωνίας, όπου οι συνθέτες είχαν στη διάθεση τους ένα πλήθος από γεννήτριες ήχου προκειμένου να παράγουν ηλεκτρονικά έργα. Ο Karlheinz Stockhausen στις δύο πρώτες του σπουδές ηλεκτρονικής μουσικής <<Studie I>> (1952) και <<Studie II>>(1953) κάνει εκτεταμένη χρήση άθροισης ενός πλήθους ημιτονοειδών γεννητριών προκειμένου να παράγει φάσμα σύνθετων κυματομορφών. Σε άλλα του έργα ανέπτυξε μια τεχνική διαμόρφωσης η οποία χρησιμοποιεί το γινόμενο δύο απλών ημιτονοειδών για την αναπαραγωγή σύνθετου φάσματος. Οι δύο αυτές τεχνικές αποτελούν αντίστοιχα την Αθροιστική ή Προσθετική Σύνθεση(Additive Synthesis) και την τεχνική Διαμόρφωσης Δακτυλίου(Ring Modulation), μια ειδική εφαρμογή της Διαμόρφωσης Πλάτους(Amplitude Modulation). Όπως και άλλοι συνθέτες της εποχής του πειραματίστηκε επίσης με τη χρήση φίλτρων προοιωνίζοντας έτσι την Αφαιρετική Σύνθεση(Subtractive Synthesis)

ΣΥΝΘΕΣΤΕΡΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΙΚΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ:

-Θεωρία του Χάους

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

-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

-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

ΑΛΛΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΙΚΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ:

Οι γενετικοί αλγόριθμοι , ο θόρυβος (I/f noise, pink noise) η θεωρία των αριθμών (αριθμητικές σειρές, οι ακολουθίες Morse-Thue) 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.

Μεταγενέστερες υπολογιστικές τεχνικές αλγοριθμικής σύνθεσης

Μια προσέγγιση που έγινε εφικτή μέσω των τεράστιων δυνατοτήτων των Η/Υ είναι τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης. Αυτά μοιάζουν με συστήματα που έχουν κάποιους προκαθορισμένους κανόνες, δηλαδή μια “γραμματική” με τη διαφορά πως μπορούν να διαμορφώσουν τους κανόνες αυτόνομα, η αλλιώς να προσαρμοστούν “μαθαίνοντας”. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το Experiments in Musical Intelligence (EMI), του David Cope. Αυτό το σύστημα διαθέτει μια ευρεία βάση δεδομένων από κανόνες, περιγραφές μουσικών ειδών και στρατηγικές σύνθεσης, όμως μπορεί επιπρόσθετα, με χρήση παρτιτούρες ενός συγκεκριμένου δημιουργού ως είσοδο, να φτιάξει δικούς του κανόνες και γραμματική. Έχει γίνει επιτυχημένη χρήση του για παραγωγή μουσικής που να προσομοιώνει συνθέσεις των Bach, Brahms, Mozart, Bartok.

ΜΙΑ ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΖΟΝΤΑΙ ΣΤΗ ΜΟΥΣΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ:

Ο έλληνας φιλόσοφος, μαθηματικός και καθηγητής μουσικής θεωρίας, ο Πυθαγόρας κατέγραψε τη σχέση μουσικής και μαθηματικών που έθεσαν τις βάσεις για τη σύγχρονη μελέτη της μουσικής θεωρίας και ακουστικής. Οι έλληνες πίστευαν ότι η κατανόηση της λογικής των αριθμών ήταν το κλειδί της κατανόησης του σύμπαντος. Το εκπαιδευτικό τους σύστημα, το quadrivium βασιζόταν στη μουσική θεωρία που έχει απαρχές από την ελληνική αρχαιότητα, οι έλληνες δεν μας έδωσαν στοιχεία σχετικά με τις μαθηματικές διαδικασίες που χρησιμοποιούσαν για τη σύνθεση μουσικής. Χιλιάδες χρόνια αργότερα με την εργασία των καθηγητών μουσικής θεωρίας όπως ο Guido d Arezzo καθιέρωσαν το πλαίσιο εργασίας για το συμβατικό σύστημα μουσικής σημειολογίας. Το σύστημα του καθιστά στο συνθέτη δυνατή τη δημιουργία μουσικής σημειολογίας, αλλά και σε ένα χρήστη που έχει φτωχές μουσικές γνώσεις.

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ/ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ:

<https://users.ionio.gr/~t07elou/data/Algorithmic.pdf>

<https://docplayer.gr/23912618-Tmima-tehnologias-ihoy-kai-moysikon-organon-algorithmiki-synthesi-ergoy-me-hrisi-glossas-programmatismoy-anoihtoy-kodika-ptyhiaki-ergasia.html>

<http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/bitstream/123456789/16898/1/DT2014-0134.pdf>

<https://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/12321/1/%ce%9a%ce%b1%cf%81%ce%b1%ce%bc%cf%80%ce%ad%cf%81%ce%b7%20%ce%a7%cf%81%ce%b9%cf%83%cf%84%ce%af%ce%bd%ce%b1.pdf>

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

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

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

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