

Εισαγωγή στην Υπολογιστική Μουσικολογία

Αιμίλιος Καμπουρόπουλος
Τμήμα Μουσικών Σπουδών
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
emilios@mus.auth.gr

Εισαγωγή

Κατά την διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών ένας συνεχώς αυξανόμενος αριθμός ερευνητών της μουσικής έχουν τονίσει την ανάγκη ανάπτυξης μουσικών θεωριών που να στηρίζονται σε επιστημονικές μεθοδολογίες προερχόμενες από τομείς όπως η γνωστική ψυχολογία, η σημειολογία, η γλωσσολογία, η τεχνητή νοημοσύνη, η ψυχοακουστική, η νευροφυσιολογία. Η πληροφορική αποτελεί, κατά την άποψη κάποιων, το μεθοδολογικό υπόβαθρο το οποίο μπορεί να καταστήσει δυνατή τη σύγκλιση και ίσως την ενοποίηση διαφόρων μουσικολογικών προσεγγίσεων. Για παράδειγμα ο Leman υποστηρίζει ότι «οι δυνάμεις οι οποίες σήμερα καθοδηγούν την ενοποίηση των μουσικών επιστημών στηρίζονται σε μία υπολογιστικού τύπου μεθοδολογία.» (Leman et al. 1997:19)

Μέχρι τον 19^ο αιώνα, η συστηματική μελέτη της μουσικής στηρίχτηκε σχεδόν αποκλειστικά στην μέθοδο της ενδοσκόπησης (introspection), δηλαδή της οργάνωσης και συστηματοποίησης της διαισθητικής μουσικής γνώσης - π.χ. Αριστόξενος, Zarlino, Rameau, Fux, Riemann, Schenker, κ.λπ. Βέβαια υπάρχουν, κατ' εξαίρεσιν, και προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν την πειραματική μέθοδο, κυρίως όμως για θέματα μουσικής ακουστικής και ψυχοακουστικής, όπως για παράδειγμα η προσέγγιση του Πυθαγόρα (μονόχορδο, μαθηματικές σχέσεις αρμονικών) ή του Helmholtz (ακουστική και φυσιολογία ακοής).

Κατά την διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, και κυρίως τα τελευταία σαράντα χρόνια, υπήρξε μεγάλη αναζωπύρωση του ενδιαφέροντος για την συστηματική μελέτη της μουσικής, λόγω της ανάπτυξης και εδραίωσης νέων επιστημονικών μεθοδολογιών και εργαλείων σε χώρους όπως η *γνωστική ψυχολογία*, η *γλωσσολογία* και η *πληροφορική*. Δύο μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται συστηματικά τα τελευταία χρόνια για τη μελέτη μουσικών φαινομένων είναι η εμπειρική και η υπολογιστική μεθοδολογία (βλ. παρακάτω).

Φυσικά η μέθοδος της ενδοσκόπησης (εκ μέρους του ίδιου του ερευνητή ή μέσω της χρήσης θεωριών που έχουν προέλθει μέσα από τέτοιες διεργασίες) εξακολουθεί να είναι χρήσιμη ως προπαρασκευαστικό στάδιο στις ανωτέρω μεθοδολογίες. Ειδικότερα, σχετικά με υπολογιστικά συστήματα, ο Laske υποστηρίζει ότι «αν και μια πλήρης θεωρία που να περιγράφει κάποια διεργασία δεν είναι προαπαιτούμενο για την κατασκευή ενός αντίστοιχου ευφυούς μουσικού συστήματος, είναι σίγουρα πιο αποτελεσματικό να σχεδιαστεί ένα τέτοιο σύστημα με την υποστήριξη όσον το δυνατό περισσότερης θεωρίας.» (Laske, 1988:45)

Γιατί είναι χρήσιμη η υπολογιστική προσέγγιση;

Η υπολογιστική μεθοδολογία χρησιμοποιείται για την μελέτη πολλών διαφορετικών πτυχών της ανθρώπινης νοητικής λειτουργίας και συμπεριφοράς, όπως, για παράδειγμα, στην κατανόηση λειτουργιών της οπτικής αντίληψης, της γλωσσικής ικανότητας και επικοινωνίας, της μνήμης, της κίνησης στο χώρο, της νοητικής επίλυσης προβλημάτων, της συναισθηματικής αντίδρασης σε ερεθίσματα. Η υπολογιστική προσέγγιση έχει διεισδύσει και στον δημιουργικό χώρο των τεχνών (π.χ., χορός, εικαστικές τέχνες,

μουσική) όπου χρησιμοποιείται για τη διερεύνηση δημιουργικών εκφάνσεων της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Ειδικότερα για την μουσική, ίσως το πιο ενδιαφέρον στοιχείο που παρουσιάζει η εισαγωγή και χρήση υπολογιστικών μοντέλων είναι ότι τέτοιες μέθοδοι υποχρεώνουν τον ερευνητή να διατυπώσει με απόλυτα συστηματικό τρόπο μουσικές θεωρίες οι οποίες στην συνέχεια μπορούν να διερευνηθούν με την χρήση υπολογιστών. Οι παραδοσιακές μουσικές θεωρίες προϋποθέτουν μουσικά έμπειρους χρήστες (π.χ. δεν μπορεί ένας μη-μουσικός απλώς με τη χρήση ενός εγχειριδίου αρμονίας να κάνει αρμονική ανάλυση ή εναρμόνιση σε στυλ Bach chorale).¹ Για πλήρη συστηματοποίηση απαιτείται παραμέριση κάθε ίχνους διαισθητικής γνώσης (πράγμα ανθρωπίνως αδύνατον). Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής είναι ένα κατάλληλο εργαλείο για την επίτευξη αυτού του στόχου.

Η υπολογιστική μεθοδολογία επιτρέπει τον ερευνητή να διατυπώσει με σαφήνεια και συστηματικότητα μια θεωρία/υπόθεση για κάποιο μουσικολογικό ζήτημα, στη συνέχεια να υλοποιήσει την προτεινόμενη θεωρία ως υπολογιστικό πρόγραμμα, και τέλος να αξιολογήσει τα αποτελέσματα εφαρμογής του προγράμματος σε επιλεγμένο σύνολο από μουσικά δεδομένα για τα οποία διαθέτει τις «σωστές» απαντήσεις (δοσμένες από ειδικούς μουσικολόγους ή από εμπειρικά δεδομένα προερχόμενα από ψυχολογικά πειράματα) και να αποφανθεί πόσο καλή είναι η αρχική θεωρία/υπόθεση και με ποιο τρόπο ίσως να μπορεί να βελτιωθεί.

Η συστηματικότητα, η ακρίβεια, η συνέπεια που χαρακτηρίζουν την υπολογιστική μουσικολογία, συχνά συγχέονται με έννοιες όπως αντικειμενικότητα, καθολικότητα ή αλήθεια (αυτή η σύγχυση συναντάται τόσο εκτός του πεδίου της υπολογιστικής μουσικολογίας όσο και εντός). Πρέπει να τονιστεί ότι η εισαγωγή υπολογιστικής μεθοδολογίας στη μουσικολογία δεν έχει στόχο την αντικειμενικότητα ή την εύρεση καθολικών αληθειών. Αν μη τι άλλο, δεν υπάρχει καθολική αλήθεια ή αντικειμενικότητα για ένα φαινόμενο (συγκεκριμένα τη μουσική) που είναι πρωταρχικά προϊόν κοινωνικό και πολιτισμικό. Η υπολογιστική μεθοδολογία το μόνο που κάνει είναι να διατυπώνει υποθέσεις για ένα συγκεκριμένο μουσικό πλαίσιο, να τις υλοποιεί προγραμματιστικά και να τις αξιολογεί στο συγκεκριμένο πλαίσιο, και να αποφαινεται αν το προτεινόμενο μοντέλο περιγράφει επαρκώς το υπό εξέταση πρόβλημα στο συγκεκριμένο πλαίσιο. Τα όποια αποτελέσματα εξάγονται μέσω υπολογιστικής έρευνας είναι σχετικές «αλήθειες» που ισχύουν στις συγκεκριμένες συνθήκες της έρευνας και μπορούν να συνυπάρχουν με άλλες «αλήθειες» που διαφωτίζουν διαφορετικές πτυχές του συγκεκριμένου μουσικού φαινομένου (βλ., επίσης, συζήτηση περί μηχανικής μάθησης, επίδρασης περιβάλλοντος και σχετικότητας στην τελευταία παράγραφο).

Ο κύριος στόχος δημιουργίας υπολογιστικών μοντέλων δεν είναι τόσο να δοθούν λύσεις σε μουσικά προβλήματα αλλά πολύ περισσότερο να οδηγήσουν σε μια λεπτομερέστερη και πιο συστηματική εξέταση και κατανόηση των μουσικών φαινομένων. «Η ηλεκτρονική μουσικολογία αναμένεται να συνεχίσει την διερεύνηση των παραδοσιακών θεμάτων που μελετά η ιστορική και η συστηματική μουσικολογία, αλλά επιπλέον αναμένεται ότι θα εγείρει προσδοκίες για ακρίβεια, πληρότητα και συνέπεια, ότι θα εισάγει νέες ερευνητικές μεθόδους και ότι, τελικά, θα οδηγήσει στη δημιουργία νέων θεωριών που θα οργανώνουν τις πηγές πληροφορίας.» (Selfridge-Field 1990:305)

Ένας δεύτερος σημαντικός λόγος είναι ότι οι υπολογιστές καθιστούν δυνατή την επεξεργασία και ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων σε ελάχιστο χρόνο. Η υπολογιστική ισχύς των ηλεκτρονικών υπολογιστών μπορεί να αξιοποιηθεί θετικά για την διερεύνηση

¹ Ο Ebcioğlu (1992) μετά από πολυετή έρευνα κατάφερε να φτιάξει ένα έμπειρο σύστημα (expert system) που εναρμόνιζε επιτυχώς μελωδίες στο στυλ των χορικών του Bach. Για να το καταφέρει αυτό χρειάστηκε να ενσωματώσει στο πρόγραμμά του περισσότερους από 350 κανόνες! Ένας σπουδαστής αρμονίας χρειάζεται πολύ λιγότερους κανόνες γιατί διαθέτει γενικότερη μουσική διαίσθηση και γνώση.

μουσικολογικών ερωτημάτων και υποθέσεων που θα απαιτούσαν τεράστιο χρόνο και κόπο για να απαντηθούν με χειρωνακτικό τρόπο. Ο David Huxton έχει μελετήσει πολλά μουσικολογικά ζητήματα σε σχετικά μεγάλο αριθμό μουσικών έργων μέσω του υπολογιστικού περιβάλλοντος *Humdrum*. Για παράδειγμα, εξετάζει το ισχυρισμό ότι οι μελωδίες και μελωδικές φράσεις συνήθως ακολουθούν ανοδική πορεία στην αρχή προς μια κορύφωση και μετά πτωτική πορεία προς το τέλος (melodic arch), αναλύοντας χιλιάδες παραδοσιακές ευρωπαϊκές μελωδίες από την βάση δεδομένων *Essen folksong collection* (Huxton 1996) ή μελετά την αποφυγή διαστημάτων που ενισχύουν την τονική συγχώνευση (οκτάβα, πέμπτη καθαρή) ή την αποφυγή διασταύρωσης φωνών σε μεγάλο αριθμό πολυφωνικών έργων του J.S.Bach (Huxton 1991a,b).

Η ταχύτητα ανάλυσης δεδομένων από έναν υπολογιστή είναι χρήσιμη, όχι μόνο για την εξαγωγή πληροφορίας από μεγάλο αριθμό μουσικών έργων, αλλά και για την ανάλυση ενός έργου (ή έστω μια μελωδίας) όταν υπάρχει θεωρητικά τεράστιος αριθμός δυνατών αναλυτικών δομών. Για παράδειγμα, για μια σχετικά σύντομη μελωδία (ακολουθία τονικών υψών) μπορεί να υπάρχουν χιλιάδες επαναλαμβανόμενα μελωδικά σχήματα (από τα μικρότερα με δύο νότες ως τα μεγαλύτερα δυνατά), τα οποία μπορεί να εντοπίσει πολύ γρήγορα ένα υπολογιστικό σύστημα (pattern extraction), και μετά να τα 'φιλτράρει' κρατώντας τα πιο αξιόλογα. Ή, για μια μόνο τετράμετρη μουσική φράση υπάρχουν χιλιάδες δυνατές Σενκεριανές αναλύσεις τις οποίες ένας υπολογιστής μπορεί αυτόματα να δημιουργήσει, και κατόπιν να επιλέξει την καλύτερη σύμφωνα με κάποια κριτήρια (Marsden, 2010). Φυσικά η απαρίθμηση όλων των δυνατών λύσεων για ένα πρόβλημα μπορεί να οδηγήσει σε τεράστιους (εκθετικούς) αριθμούς που δεν μπορούν ούτε οι υπολογιστές να τους διαχειριστούν, οπότε έχουν αναπτυχθεί στον χώρο της τεχνητής νοημοσύνης πολλές τεχνικές οι οποίες επιτρέπουν την εύρεση μιας καλής λύσης σε εύλογο χρονικό διάστημα (χωρίς κατ' ανάγκην να είναι η βέλτιστη λύση).

Σε πιο πρακτικό επίπεδο, η διατύπωση υπολογιστικών μουσικών θεωριών, κυρίως σε σχέση με την περιγραφή της μουσικής δομής, είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη 'ευφυέστερου' μουσικού λογισμικού. Αν θέλει κανείς ένα μουσικό πρόγραμμα να ανταποκρίνεται με 'μουσικό' τρόπο σε ένα μουσικό-χρήστη, τότε θα πρέπει και ο υπολογιστής να 'αντιλαμβάνεται' όσο το δυνατό περισσότερα δομικά στοιχεία. Υπολογιστικά μοντέλα διαφόρων μουσικών διεργασιών είναι αναγκαία για την ανάπτυξη εξελιγμένων μουσικών συστημάτων, π.χ. για λογισμικό μουσικής σημειογραφίας, εκπαιδευτικών προγραμμάτων, διαδραστικών συστημάτων για μουσικές παραστάσεις, συστημάτων αποθήκευσης και ανάσυρσης πληροφοριών από βάσεις μουσικών δεδομένων, προγραμμάτων που επιχειρούν να εκτελέσουν μουσική εκφραστικά, συστημάτων που διευκολύνουν την μουσική δημιουργία για άτομα με ειδικές κινησιακές ανάγκες, κ.ο.κ.

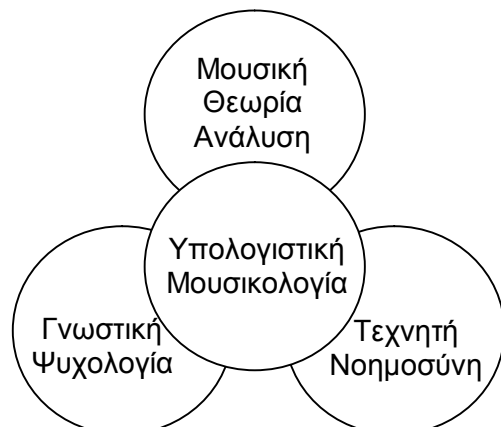
Διεπιστημονικότητα

Η υπολογιστική μουσικολογία σχετίζεται κατεξοχήν με τους εξής τρεις επιστημονικούς κλάδους:

- μουσική θεωρία και ανάλυση
- γνωστική ψυχολογία
- τεχνητή νοημοσύνη

Άλλοι κλάδοι, όπως η σημειολογία, η γλωσσολογία, η ακουστική, η ψυχοακουστική, η νευροφυσιολογία, συνεισφέρουν επίσης στην υπολογιστική μουσικολογία, όμως σ' αυτή την εισαγωγή θα περιοριστούμε σε μια σύντομη αναφορά στους τρεις ανωτέρω κλάδους.

Η *μουσική θεωρία* έχει ως αντικείμενό της τον καθορισμό του εννοιολογικού πλαισίου μέσα στο οποίο γίνεται κατανοητή κυρίως η



μουσική δομή. «Η θεωρία σήμερα είναι κατανοητή κυρίως ως μελέτη της μουσικής δομής.» (Palisca, 1980). Η *μουσική ανάλυση*, η οποία έχει τις ρίζες της σε κάποια μουσική θεωρία, έχει στόχο της τον καθορισμό της μουσικής δομής για κάποιο συγκεκριμένο μουσικό έργο. «Μουσική ανάλυση είναι η αναγωγή της μουσικής δομής σε απλούστερα συνιστώμενα στοιχεία και η εξέταση των στοιχείων αυτών στο πλαίσιο της συγκεκριμένης δομής.» (Bent 1980).

Η «κατανόηση» ενός μουσικού έργου εξυπακούεται, σε ένα πρώτο επίπεδο, την ικανότητα (συνειδητή ή ασυνειδητή) ενός ακροατή να το ανάγει σε στοιχειώδη μέρη και να κάνει συσχετισμούς μεταξύ αυτών των επιμέρους μουσικών υπομονάδων (Minsky 1993). Η οργάνωση της μουσικής, όσον αφορά συστατικά της μέρη και σχέσεις μεταξύ τους, αποτελεί την μουσική δομή ενός έργου. Η μουσική ανάλυση, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, επιχειρεί να καθορίσει την μουσική δομή ενός έργου, ακολουθώντας κάποιες φορές προσεγγίσεις που προέρχονται από τον χώρο της μουσικής αντίληψης και της γνωστικής ψυχολογίας. Ο Bent αναφέρει ότι «το θεμελιώδες θέμα της επικοινωνίας του νου με τον μουσικό ήχο, δηλαδή η μουσική αντίληψη, αποτελεί την βάση για κάθε πλευρά της αναλυτικής δραστηριότητας.» (Bent 1980).

Η Γνωστική Ψυχολογία έχει αντικείμενο της την μελέτη του τρόπου απόκτησης, επεξεργασίας και χρήσης της γνώσης. Η γνώση πηγάζει από τον ανθρώπινο νου και αποτελεί προϊόν της αλληλεπίδρασης εξωτερικών ερεθισμάτων και εσωτερικών νοητικών λειτουργιών (Κωσταρίδου-Ευκλείδη 1992, Eysenck & Keane 1995, Stillings et al. 2004). Ειδικότερα θέματα με τα οποία ασχολείται η γνωστική ψυχολογία περιλαμβάνουν: αντίληψη, προσοχή, μνήμη, νοητική αναπαράσταση, μάθηση, κατηγοριοποίηση, λύση προβλημάτων, λήψη αποφάσεων, διαλογιστική, γλώσσα, κ.ά.

Δύο είναι οι κυρίως μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια των γνωστικών επιστημών για την μελέτη των μουσικών φαινομένων:

- εμπειρική μεθοδολογία (πρόταση μοντέλου/υπόθεσης για κάποια μουσική διεργασία, πραγματοποίηση πειραμάτων με την χρήση δείγματος ακροατών, και, τέλος, στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων)
- υπολογιστική μεθοδολογία (ανάπτυξη προγράμματος σε ηλεκτρονικό υπολογιστή που να πραγματοποιεί συγκεκριμένη μουσική διεργασία και μελέτη/σύγκριση των αποτελεσμάτων του προγράμματος).

Χρήσιμη για την κατανόηση εσωτερικών νοητικών διεργασιών είναι η διάκριση ανάμεσα στην *ικανότητα* (competence) και στην *επιτέλεση* (performance). Η σύγχρονη γνωστική ψυχολογία μελέτα την *επιτέλεση* με πειραματικές μεθόδους και αναπτύσσει μοντέλα² που να περιγράφουν την *ικανότητα*.

Μια κοινή παραδοχή είναι ότι μια γνωστική λειτουργία μπορεί να περιγραφεί ως ένας αριθμός διαδοχικών σταδίων επεξεργασίας δεδομένων (information processing). Πίσω από αυτή την παραδοχή βρίσκεται η υπόθεση ότι ο ανθρώπινος νους λειτουργεί με τρόπο «ανάλογο» με τον τρόπο που επεξεργάζεται πληροφορίες ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής. Έτσι, υπολογιστικά πρότυπα ή μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μελέτη νοητικών διεργασιών. Η ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων για αυτό το σκοπό εντάσσονται στο επιστημονικό πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης.

Η τεχνητή νοημοσύνη είναι «ένας κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών που στοχεύει στην αυτοματοποίηση ευφυούς συμπεριφοράς.» (Luger and Stubblefield, 1993:1) Σύμφωνα με τον Minsky (1968) τεχνητή νοημοσύνη είναι η επιστήμη που στοχεύει στην κατασκευή μηχανών οι οποίες μπορούν να κάνουν πράγματα τα οποία θα χρειαζόνταν ευφυΐα αν τα έκαναν άνθρωποι.

Τι είναι όμως ευφυΐα; Προϊόν μάθησης ή έμφυτη λειτουργία; Πώς ακριβώς λειτουργεί η διαδικασία της μάθησης; Τι είναι δημιουργικότητα; Τι είναι διαίσθηση; Αρκεί η εξέταση της

² Μοντέλο είναι ένα σύστημα ιδεών και εννοιών που αποσκοπεί στην σύνδεση δεδομένων, προτείνοντας ένα ερμηνευτικό πλαίσιο.

συμπεριφοράς ή χρειάζεται μελέτη των εσωτερικών μηχανισμών της νόησης; Τι είναι η (αυτο)συνείδηση; Χρειάζεται μελέτη γνωστικών λειτουργιών ή αρκεί μία πρακτική 'μηχανιστική' προσέγγιση; Είναι δυνατόν να είναι ευφυής μία μηχανή; Πολλά και δύσκολα είναι τα ερωτήματα σχετικά με την έννοια της ευφυΐας (τα οποία είναι αδύνατον να συζητηθούν στο παρόν άρθρο). Ο όρος σχετίζεται με έννοιες όπως νόηση, εξυπνάδα και ικανότητα για επίλυση προβλημάτων, καθώς και με την δημιουργικότητα και την ικανότητα προβλέψεων για το μέλλον. Στα πλαίσια του παρόντος άρθρου μας αρκεί η διαπίστωση ότι η κατανόηση της μουσικής, και ειδικότερα της μουσικής δομής, προϋποθέτει ευφυείς νοητικές διεργασίες.

Στόχοι και Μεθοδολογία

Ο κλάδος της υπολογιστικής μουσικολογίας επιδιώκει την συστηματική ανάλυση και περιγραφή μουσικών διεργασιών και φαινομένων μέσω της ανάπτυξης μουσικών υπολογιστικών προγραμμάτων. Μοντέλα για την λειτουργία του ανθρώπινου νου, και ειδικότερα του μουσικού νου, καθώς και συστηματικές μουσικές θεωρίες, συνδέονται άμεσα με την ανάπτυξη τέτοιων προγραμμάτων.

Η υπολογιστική μουσικολογία δίνει έμφαση στην ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων τα οποία αξιοποιούν ευρήματα προερχόμενα από τον χώρο της γνωστικής ψυχολογίας της μουσικής και επιδιώκουν να περιγράψουν μουσικές γνωστικές διεργασίες.³ Ο David Temperley (2001) ανέπτυξε ένα σύστημα το οποίο προτυποποιεί βασικές γνωστικές διεργασίες κατά τη μουσική ακρόαση που αφορούν στη μουσική δομή. Στην ίδια λογική κινούνται και πολλά από τα υπολογιστικά μοντέλα τα οποία ανέπτυξε ο γράφων την ίδια περίοδο (Cambouropoulos 1998; άρθρα στην ιστοσελίδα <http://users.auth.gr/~emilios/>).

Υπολογιστικά πρότυπα επιτρέπουν την μελέτη και διερεύνηση ερωτημάτων όπως:

- Πώς μπορεί να εξαχθεί η μουσική επιφάνεια (π.χ. παρτιτούρα) από το ηχητικό συνεχές (αρχείο ήχου);
- Πώς μπορεί να διαχωριστεί η μουσική επιφάνεια σε διακριτές φωνές;
- Με ποιο τρόπο γίνεται να προσδιοριστούν τοπικά όρια τα οποία να επιτρέπουν την κατάτμηση μιας μελωδικής επιφάνειας σε στοιχειώδη μέρη;
- Πώς επηρεάζει η μουσική 'ομοιότητα' την κατάτμηση μιας μελωδίας;
- Πώς μπορεί να οριστεί η μετρική δομή μιας μελωδίας;
- Με ποιο τρόπο μπορούν να οργανωθούν στοιχειώδη όμοια μελωδικά τμήματα σε κατηγορίες όπως μοτίβα, θέματα, κλπ.;
- Πως μπορεί να περιγραφεί η τονική και αρμονική δομή ενός έργου;
- Πώς μπορεί να αναπαρασταθεί η χρονική εξέλιξη και η ιεραρχική δομή ενός μουσικού έργου;
- Ποια συστατικά της μουσικής δομής σχετίζονται με τη μουσική έκφραση και το μουσικό συναίσθημα;

Το ότι ένα υπολογιστικό πρότυπο εκτελεί επιτυχώς κάποια μουσική διεργασία δεν αποδεικνύει ότι η εν λόγω διεργασία εκτελείται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο από τον ανθρώπινο νου. Το υπολογιστικό πρότυπο απλώς αποτελεί ένα πιθανό μοντέλο, μια

³ Η Υπολογιστική Μουσικολογία έχει συγγένεια με την αποκαλούμενη Γνωστική Μουσικολογία. Η Γνωστική Μουσικολογία έχει αντικείμενό της την μελέτη των γνωστικών διεργασιών που αφορούν κυρίως στη αντίληψη και κατανόηση της μουσικής από έναν ακροατή. Για την μελέτη του μουσικού νου επιστρατεύεται η εμπειρική μεθοδολογία (πειράματα με ακροατές και στατιστική ανάλυση αποτελεσμάτων), και, επιπλέον, η υπολογιστική μεθοδολογία (ανάπτυξη γνωστικού υπολογιστικού μοντέλου και διερεύνηση των δυνατοτήτων του). Η υπολογιστική πτυχή της Γνωστικής Μουσικολογίας αποτελεί κοινό έδαφος με την Υπολογιστική Μουσικολογία.

ένδειξη, μία υπόθεση του πώς ίσως εκτελείται η συγκεκριμένη γνωστική διεργασία. Στο πιο αφηρημένο επίπεδο (computational level κατά τον D.Marr⁴), το οποίο περιγράφει τους στόχους ενός (γνωστικού) υπολογισμού και πιθανές στρατηγικές για τη επεξεργασία και μετατροπή των εισερχομένων δεδομένων στα επιθυμητά αποτελέσματα/ενέργειες, ένα υπολογιστικό μοντέλο αποτελεί αξιόπιστη περιγραφή ενός γνωστικού συστήματος.

Παρότι συχνά υπολογιστικές θεωρίες λαμβάνουν υπόψη τους γνωστικές πτυχές της μουσικής αντίληψης, δεν είναι καθόλου αναγκαίο κάτι τέτοιο. Υπολογιστικά μοντέλα μπορούν να αναπτυχθούν για τη διερεύνηση πολλών μουσικών ζητημάτων που εντάσσονται στο γενικότερο πλαίσιο της συστηματικής μουσικολογίας, και ειδικότερα στην μουσική θεωρία και ανάλυση. Για παράδειγμα, υπολογιστικά μοντέλα μπορούν να αναπτυχθούν για την διερεύνηση μουσικών θεωριών, όπως η Σενκεριανή ανάλυση, η θεωρία συνόλων τονικών υψών του Forte (1973), η *Γενετική Θεωρία της Τονικής Μουσικής* των Lerdahl & Jackendoff (1983), η παραδειγματική ανάλυση κατά Nattiez (1975, 1990), και άλλες συστηματικές μουσικές θεωρίες. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο στόχος είναι η μελέτη των συγκεκριμένων μουσικών θεωριών, και όχι των επί μέρους λανθανόντων γνωστικών πτυχών και τυχόν αντιληπτικών προεκτάσεων.

Ο D. Temperley αναφέρει ότι ο στόχος της μουσικής ανάλυσης δεν είναι πάντα περιγραφικός (descriptive), αλλά συχνά είναι υπαινικτικός (suggestive). Συχνά η μουσική θεωρία «ασχολείται με την εκλέπτυνση της ακρόασης, με την εύρεση νέων δομών οι οποίες μπορεί να εμπλουτίσουν την εμπειρία μας κατά την ακρόαση των μουσικών έργων» (Temperley, 2001:8). Η μουσική ανάλυση δεν στοχεύει μόνο να αναδείξει τα θεμελιώδη συστατικά στοιχεία που απαρτίζουν ένα έργο, αλλά κυρίως να φέρει στην επιφάνεια νέες 'ιδιαιτερές' πτυχές του έργου οι οποίες μπορεί να εμπλουτίσουν την διαδικασία της ακρόασης.

Τα γνωστικά υπολογιστικά μοντέλα εστιάζουν συχνά σε θέματα μουσικής δομής ή μουσικών διεργασιών τα οποία θεωρούνται βασικά, θεμελιώδη ή, ακόμη, τετριμμένα (ως αυτονόητα) από έναν θεωρητικό της μουσικής. Για παράδειγμα, ένα υπολογιστικό μοντέλο beat-tracking⁵ μπορεί να εντοπίσει τον δεσπόζοντα παλμό⁶ σε ένα έργο. Για τον μουσικολόγο/αναλυτή αυτό συνήθως είναι τετριμμένο ζήτημα. Ο αναλυτής, θεωρώντας δεδομένα ζητήματα όπως ο δεσπόζων παλμός, το τέμπο, το μέτρο, θα προχωρήσει στην ανάδειξη τυχόν εξαιρετικών ρυθμικών στοιχείων που αναδεικνύουν την μοναδικότητα και ιδιαιτερότητα του έργου. Ίσως αυτή η διάκριση σε σχέση με τους στόχους (descriptive vs suggestive) ανάμεσα στην υπολογιστική μουσικολογία και στην μουσική θεωρία/ανάλυση να είναι υπεύθυνη για την σχετικά μικρή αλληλεπίδραση και, μερικές φορές, ίσως και την αμοιβαία καχυποψία ανάμεσα στους δύο τομείς.

Η υπολογιστική μεθοδολογία εφαρμόζεται, όχι μόνο για την συστηματική μελέτη της μουσικής από την σκοπιά της μουσικής αντίληψης και της μουσικής ανάλυσης, αλλά και από τη σκοπιά της σύνθεσης και της εκτέλεσης. Ενδεικτικά αναφέρουμε τη δουλειά του D.Cope (2004) στο χώρο της μουσικής σύνθεσης (ανάλυση και σύνθεση σε συγκεκριμένα μουσικά στυλ), τις έρευνες του G. Widmer στη μουσική εκτέλεση (Widmer and Goebel, 2004) ή τις εργασίες του R. Rowe (2001) στη διαδραστική μουσική δημιουργία. Επίσης, η εφαρμογή της υπολογιστικής μεθοδολογίας δεν περιορίζεται στο Δυτικό τονικό μουσικό ιδίωμα, αλλά μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε είδος μουσικής (παλαιάς ή σύγχρονης) και σε μουσική από διάφορες γωνιές του πλανήτη. Συγκεκριμένα, ένας αναπτυσσόμενος και πολλά υποσχόμενος τομέας της υπολογιστικής μουσικολογίας είναι η *υπολογιστική εθνομουσικολογία*, για την οποία η «ουδετερότητα» του υπολογιστή

⁴ Ο D.Marr προτείνει τρία επίπεδα στα οποία μπορούν να μελετηθούν και να περιγραφούν οι γνωστικές διεργασίες: το υπολογιστικό επίπεδο (computational level), το αλγοριθμικό επίπεδο (algorithmic level) και το υλικό επίπεδο (hardware level). (Marr, 1982)

⁵ Τέτοια μοντέλα είναι πολύπλοκα και έχουν αναπτυχθεί μετά από πολυετείς έρευνες και ακόμη δεν φτάνουν στην επίδοση έναν άνθρωπο. Για παράδειγμα, αναφέρουμε το *BeatRoot* του Simon Dixon (2001)

⁶ Δεσπόζων παλμός (beat) είναι το ρυθμικό επίπεδο στο οποίο ένα ακροατής κρατάει το ρυθμό κτυπώντας τα χέρια ή πόδια του.

είναι ένα επιπλέον προσόν στην προσπάθεια του εθνομουσικολόγου να προσεγγίσει και να κατανοήσει ένα διαφορετικό μουσικό πολιτισμό (Tzanetakis et al., 2007).

Σχετικά με τις μεθοδολογίες που ακολουθούνται από την υπολογιστική μουσικολογία, θα αρκεστούμε σε μια μόνο μεγάλη διάκριση στα πλαίσια αυτής της εισαγωγής. Μια τάση στο χώρο της υπολογιστικής μουσικολογίας δίνει έμφαση στην κωδικοποίηση κεκτημένης μουσική γνώσης σε ένα σύστημα κανόνων οι οποίοι ενσωματώνονται άμεσα σε ένα υπολογιστικό πρόγραμμα. Η προσέγγιση αυτή ακολουθεί την πορεία από-πάνω-προς-τα-κάτω (top-down), δηλαδή ξεκινάει από ένα ήδη γνωστό εννοιολογικό πλαίσιο και μετά ελέγχει την αποδοτικότητα και επάρκεια του εννοιολογικού αυτού πλαισίου μέσω της εφαρμογής και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων του υπολογιστικού συστήματος. Μια άλλη τάση, η οποία αποκτάει όλο και ευρύτερη αποδοχή, δίνει έμφαση στην εξαγωγή γενικεύσεων μέσω διαδικασιών μηχανικής μάθησης. Η προσέγγιση αυτή ακολουθεί την πορεία από κάτω-προς-τα-πάνω (bottom-up), ξεκινάει δηλαδή από τα επί μέρους δεδομένα της παρατήρησης και προσπαθεί να εντοπίσει κανονικότητες οι οποίες μπορούν να διατυπωθούν ως κανόνες κι έτσι να δημιουργηθούν γενικεύσεις οι οποίες να εξηγούν τα δεδομένα.⁷

Ας δούμε ένα παράδειγμα. Η κατάτμηση μιας μελωδίας σε μικρότερα τεμάχια ή φράσεις, δηλαδή ο εντοπισμός σημείων της μελωδίας στα οποία γίνονται αντιληπτά τοπικά όρια, είναι ένα πρόβλημα για το οποίο έχουν δημιουργηθεί αρκετά υπολογιστικά συστήματα. Κάποια μοντέλα ακολουθούν την από-πάνω-προς-τα-κάτω προσέγγιση ενσωματώνοντας σε ένα υπολογιστικό σύστημα ένα προϋπαρχον σύνολο κανόνων που έχουν διατυπωθεί στα πλαίσια μιας μουσικής θεωρίας, όπως, για παράδειγμα, τους κανόνες ομαδοποίησης (grouping rules) των Lerdahl & Jackendoff (1983). Κάποιες άλλες προσπάθειες έχουν ακολουθήσει την από-κάτω-προς-τα-πάνω προσέγγιση, όπου, δίνοντας ένα σύνολο από μελωδίες οι οποίες έχουν ήδη κατατμηθεί (π.χ. υποσύνολο από μελωδίες από το Essen folksong collection), και αναπτύσσοντας ένα σύστημα βασισμένο σε κάποια τεχνική μηχανικής μάθησης (π.χ. Hidden Markov Models), το σύστημα εντοπίζει μόνο του τα βασικά μελωδικά και ρυθμικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν τα όρια των δοσμένων τεμαχίων (π.χ., η τελευταία νότα μιας φράσης είναι μεγαλύτερης διάρκειας από τις προηγούμενες), και στη συνέχεια χρησιμοποιεί τις εξαχθείσες κανονικότητες για την πρόβλεψη νέων ορίων κατάτμησης σε νέες μελωδίες. Ένα τέτοιο σύστημα μαθαίνει μόνο του τους «κανόνες» μελωδικής κατάτμησης (τέτοιο σύστημα έχει αναπτύξει, για παράδειγμα, ο Rens Bod, 2001)

Το πεδίο μηχανικής μάθησης (machine learning) ή εξόρυξης δεδομένων (data mining) που υπάγονται στο ευρύτερο πλαίσιο της πληροφορικής και της στατιστικής έχουν να προσφέρουν μεγάλη ποικιλία εξειδικευμένων τεχνικών και αλγορίθμων που μπορούν να προσαρμοστούν σε μουσικολογικά προβλήματα. Τεχνικές μηχανικής μάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για παράδειγμα, από την εξαγωγή χαρακτηριστικών μελωδικών διαδοχών από μελωδίες του Charlie Parker έτσι ώστε να μπορούν να κατασκευαστούν νέες μελωδίες στο ίδιο ιδίωμα (Rolland, 2001), ή, γενικότερα, ανακάλυψη μελωδικών σχημάτων σε οιαδήποτε μελωδική γραμμή (π.χ. Conklin & Anagnostopoulou, 2001), μέχρι εξαγωγή κανονικοτήτων στις χρονικές και δυναμικές μικροαποκλίσεις κατά την εκτέλεση έργων πιάνου από πιανίστες έτσι ώστε να μπορεί ένα μουσικό πρόγραμμα να εκτελεί έργα για πιάνο με 'μουσικό' τρόπο (Widmer & Goebel, 2004).

Η εισαγωγή τεχνικών μηχανικής μάθησης στην υπολογιστική μουσικολογία είναι ιδιαίτερα ελκυστική καθώς συνάδει με την πεποίθηση πολλών ερευνητών/μουσικολόγων ότι οι διάφορες μουσικές δεξιότητες είναι περισσότερο προϊόν έκθεσης σε περιβαλλοντικά μουσικά ερεθίσματα και αποτέλεσμα μάθησης παρά ενδογενείς λειτουργίες που είναι γενετικά ενσωματωμένες στον ανθρώπινο οργανισμό. Όπως ένα παιδί μαθαίνει την μητρική του γλώσσα μέσω έκθεσης στο περιβάλλον του, έτσι κι ένας ακροατής μαθαίνει κάποιο μουσικό ιδίωμα μεγαλώνοντας εκτιθέμενος στο συγκεκριμένο μουσικό

⁷ Οι Witten and Conklin (1995) κάνουν αυτή την διάκριση χρησιμοποιώντας τους όρους *knowledge engineering* και *inductive learning*.

περιβάλλον. Φυσικά, η συζήτηση ανάμεσα στο τι είναι ενδογενές (innate) και στο τι είναι προϊόν μάθησης είναι πάντα επίκαιρη και συνήθως 'καυτή', δεν είναι όμως του παρόντος να επεκταθούμε στα πλαίσια αυτού του άρθρου. Το σίγουρο είναι ότι η μάθηση είναι υπεύθυνη για μεγάλο μέρος της μουσικής γνώσης που αποκτά ένας ακροατής, και γι αυτό θεωρείται ότι μέθοδοι μηχανικής μάθησης μπορούν να είναι χρήσιμες στα πλαίσια της υπολογιστικής μουσικολογίας.

Προτού κλείσουμε αυτή την ενότητα, θα ήταν χρήσιμο να αναφέρουμε κάποιες διευκρινίσεις σχετικά με τη σχέση των όρων υπολογιστική μουσικολογία και μουσική πληροφορική⁸. Η υπολογιστική μουσικολογία έχει μεγάλη αλληλοεπικάλυψη με τον τομέα της μουσικής πληροφορικής (κάποιοι δε, την θεωρούν υποπεδίο της μουσικής πληροφορικής). Η μουσική πληροφορική αποτελεί ένα ευρύ διεπιστημονικό πεδίο που σχετίζεται κυρίως με την Μουσική και την Πληροφορική. Η κυριότερη διαφορά με την υπολογιστική μουσικολογία είναι ότι το ερευνητικό επίκεντρο της μουσικής πληροφορικής είναι σχετικά μετατοπισμένο προς την πληροφορική παρά προς την μουσικολογία. Κινητήρια δύναμη πίσω από μεγάλο κομμάτι της μουσικής πληροφορικής (με επίκεντρο τον ραγδαία αναπτυσσόμενο τομέα της Ανάσυρσης Μουσικής Πληροφορίας - Music Information Retrieval) είναι μουσικές εταιρίες οι οποίες ενδιαφέρονται να αναπτύξουν εμπορικά μουσικά προγράμματα ή να διαχειρίζονται μουσικό περιεχόμενο με στόχο την παροχή επιθυμητών υπηρεσιών σε μία συνεχώς διευρυνόμενη ψηφιακή μουσική αγορά. Αντίθετα η υπολογιστική μουσικολογία πραγματοποιεί κυρίως βασική έρευνα στον τομέα της συστηματικής μουσικολογίας, τα ερευνητικά ευρήματα της οποίας βρίσκουν συχνά εφαρμογή ή αποτελούν έναυσμα για την ανάπτυξη συγκεκριμένων μουσικών εφαρμογών στα ευρύτερα πλαίσια της μουσικής πληροφορικής.⁹

Επίλογος

Με το παρόν κείμενο επιχειρήθηκε μια συνοπτική παρουσίαση των στόχων, μεθοδολογιών, προβλημάτων και δυνατοτήτων που παρέχει η έρευνα στον τομέα της υπολογιστικής μουσικολογίας. Στόχος της υπολογιστικής μουσικολογίας, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι η μελέτη μουσικών φαινομένων όπως η μουσική σύνθεση/δημιουργία, ανάλυση, ακρόαση και εκτέλεση μέσω ανάπτυξης και αξιολόγησης υπολογιστικών μοντέλων. Ένα υπολογιστικό πρότυπο υλοποιείται ως ένα πρόγραμμα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, και, στη συνέχεια, το πρότυπο μπορεί να μελετηθεί και να βελτιωθεί βάσει των αποτελεσμάτων που δίνει το πρόγραμμα.

Η υπολογιστική μουσικολογία είναι ένας σύγχρονος κλάδος της μουσικολογίας (της συστηματικής μουσικολογίας) που επιτρέπει την συστηματική μελέτη των μουσικών φαινομένων με τη χρήση υπολογιστικών προτύπων. Η υπολογιστική μουσικολογία προσφέρει, αφενός, μια νέα μεθοδολογία για την λεπτομερέστερη διερεύνηση μουσικολογικών θεμάτων που αφορούν στην μουσική ακρόαση, εκτέλεση και σύνθεση, και, αφετέρου, πρακτικά μοντέλα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μουσικές υπολογιστικές εφαρμογές.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

Bent, I.D. (1980) Analysis. In *The New Grove Dictionary of Music and Musicians, Vol.1*. Macmillan, London.

Bod, R. (2001). Memory-Based Models of Melodic Analysis: Challenging the Gestalt Principles. *Journal of New Music Research*, 30(3).

⁸ Ο όρος *μουσική πληροφορική* αποδίδει αρκετά πιστά τον αγγλικό όρο *music informatics*.

⁹ Παρόλο που η μουσική πληροφορική έχει την τάση να εστιάζει περισσότερο σε χρηστικές μουσικές εφαρμογές, συχνά διενεργείται εμπνευσμένη και καινοτόμος έρευνα που έχει ενδιαφέρουσες προεκτάσεις για τη μουσικολογία.

- Cambouropoulos, E. (1998) *Towards a General Computational Theory of Musical Structure*. PhD Thesis, Faculty of Music and Department of Artificial Intelligence, University of Edinburgh. Διατίθεται στην ιστοσελίδα: <http://users.auth.gr/~emilios>
- Conklin, D. and Anagnostopoulou, C. (2001) Representation and discovery of multiple viewpoint patterns In *Proceedings of the International Computer Music Conference*: 479-485.
- Conklin, D. and Witten, I. H. (1995) Multiple Viewpoint Systems for Music Prediction. *Journal of New Music Research*, 24:51-73.
- Cope, D. (2004) *Virtual Music: Computer Synthesis of Musical Style*. MIT Press, Cambridge (Ma).
- Dixon, S. (2001). Automatic extraction of tempo and beat from expressive performances. *Journal of New Music Research*, 30 (1), 39–58.
- Ebcioğlu, K. (1993) An Expert System for Harmonising Four-part Chorales. In *Machine Models of Music*, S.M. Schwanauer and D.A. Levitt (eds), The MIT Press, Cambridge (Ma).
- Eysenck, M.W. and Keane, M.T. (1995) *Cognitive Psychology* (3rd edition). Lawrence Erlbaum Associates, Hove, U.K.
- Forte, A. (1973) *The Structure of Atonal Music*. Yale University Press, New Haven.
- Handel, S. (1989) *Listening. An Introduction to the Perception of Auditory Events*. The MIT Press, Cambridge (Ma).
- Huron, D. (1996) The melodic Arch in Western Folksongs. *Computing in Musicology* 10: 2-23.
- Huron, D. (1991a). The avoidance of part-crossing in polyphonic music: perceptual evidence and musical practice. *Music Perception*, 9(1), 93–104.
- Huron, D. (1991b). Tonal consonance versus tonal fusion in polyphonic sonorities. *Music Perception*, 9(2), 135–154.
- Jackendoff, R. (1987) *Consciousness and the Computational Mind*. The MIT Press, Cambridge (Ma).
- Κωσταρίδου-Ευκλείδη, Α. (1992). *Γνωστική Ψυχολογία*. Θεσσαλονίκη: Art of Text.
- Laske, O. (1988) Introduction to Cognitive Musicology. *Computer Music Journal*, 12(1):43-57.
- Leman, M. (ed.) (1997) *Music, Gestalt and Computing*. Springer-Verlag, Berlin.
- Lerdahl, F. and Jackendoff, R. (1983) *A Generative Theory of Tonal Music*. The MIT Press, Cambridge (Ma).
- Luger, G.F. and Stubblefield, W.A. (1993) *Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving* (2nd edition). The Benjamin/Cummings Publishing Company, New York.
- Marr, D. (1982) *Vision: a Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. W.H. Freeman and Company, New York.
- Marsden, A. (2010) Schenkerian Analysis by Computer: A Proof of Concept. *Journal of New Music Research*, 39(3), forthcoming.
- Minsky, M. (1968) *Semantic Information Processing*. MIT Press, Cambridge (MA).
- Minsky, M. (1993) Music, Mind and Meaning. Reprint in *Machine Models of Music*, S.M. Schwanauer and D.A. Levitt (eds), The MIT Press, Cambridge (Ma).

- Nattiez, J.-J. (1975) *Fondements d'une Sémiologie de la Musique*. Union Générale d'Éditions, Paris.
- Nattiez, J.-J. (1990) *Music and Discourse: Towards a Semiology of Music*. Princeton University Press, Princeton.
- Palisca, C.V. (1980) *Theory*. In *The New Grove Dictionary of Music and Musicians, Vol.18*. Macmillan, London.
- Rolland, P.-Y. (2001) FIEXPath: Flexible Extraction of Sequential Patterns. *Proceedings of the IEEE International Conference on Data Mining*: 481-488
- Rowe, R. (2001) *Machine Musicianship*. The MIT Press, Cambridge (Ma).
- Selfridge-Field, E. (1990) Reflection on Technology and Musicology. *Acta Musicologica*, 62:302-315.
- Stillings, N.A., Weisler, S.E., Chase, C.H., Feinstein, M.H., Garfield, J.L. and Rissland, E.L. (2003) *Εισαγωγή στη Γνωσιοεπιστήμη*. Μετάφραση: Γ. Μαραγκός. Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης, Αθήνα.
- Temperley, D. (2001) *The Cognition of Basic Musical Structures*. The MIT Press, Cambridge (Ma).
- Tzanetakis, G., Kapur, A., Schloss, W. A., & M. Wright, (2007) "Computational Ethnomusicology", *Journal of Interdisciplinary Music Studies*. 1(2), pp. 1-24, 2007.
- Widmer, G. and Goebel, W. (2004). Computational Models of Expressive Music Performance: The State of the Art. *Journal of New Music Research* 33(3), 203-216.