



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Πληροφορική»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	Σύγκριση διαφορετικών ερμηνειών από το ίδιο έργο για κιθάρα με τη χρήση αλγορίθμων Ανάκτησης Πληροφοριών από τη Μουσική (MIR) και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από τη σκοπιά της Μουσικολογίας.
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Τάσος Κολυδάς
Πατρώνυμο	Δημήτριος
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΠΛ / 06051
Επιβλέπων	Άγγελος Πικράκης, Λέκτωρ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

Άγγελος Πικράκης
Λέκτωρ

Ιωάννης Θεοδωρίδης
Αναπληρωτής Καθηγητής

Χαράλαμπος Κωνσταντόπουλος
Λέκτωρ

Περιεχόμενα

1. Σύνοψη (abstract)	4
2. Πρόλογος	5
3. Εισαγωγή	6
3.1. Σκοπός	6
3.2. Κριτήρια επιλογής έργου	6
3.3. Ιστορική διάσταση του έργου	6
3.4. Τα ηχογραφήματα	7
3.5. Μέσα - υλικά	8
3.6. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας	8
3.6.1. Από τη σκοπιά της Μουσικολογίας	8
3.6.2. Από τη σκοπιά της Πληροφορικής	10
3.7. Πίνακας συντομογραφιών - ορολογία	11
4. Γενική περιγραφή του λογισμικού	12
4.1. Γενικές λειτουργίες του λογισμικού	12
4.2. Διάγραμμα	13
4.3. Περιορισμοί	13
4.4. Παραδοχές και εξαρτήσεις	14
5. Εξαγωγή Χαρακτηριστικών Χαμηλού Επιπέδου	14
5.1. Ενέργεια Βραχέως Χρόνου	15
5.2. Φασματική Ροή	16
5.3. Άλλες υποψηφιότητες	16
5.4. Παραμετροποίηση	17
6. Αντιπαραβολή	18
6.1. Συνδυασμός στοιχείων του Συνόλου	18
6.2. Δυναμική Στρέβλωση Πεδίου Χρόνου	18
6.3. Παραμετροποίηση	21
7. Εκτίμηση κόστους	22
8. Υλοποίηση	22
8.1. audio_read()	22
8.2. audio_display_update_hairline()	22
8.3. audio_display()	23
8.4. audio_play()	23
8.5. stereo2mono()	24
8.6. vector_length_equate()	24
8.7. path_length_ratio()	24
8.8. saveFigures()	25
8.9. main()	25
8.10. read_results()	26
9. Αξιολόγηση	26
9.1. από τη σκοπιά της Πληροφορικής	26
9.2. από τη σκοπιά της Μουσικολογίας	28
10. Βιβλιογραφία	30
11. Παραρτήματα	32
11.1. Ηχογραφήματα	32
11.2. Πίνακες Κόστους	32
11.3. Παριτούρα	35
11.3.1. Πρωτότυπη έκδοση (1821)	36
11.3.2. Κριτική έκδοση (1978)	42
11.4. Γραφήματα Δυναμικής Στρέβλωσης Πεδίου Χρόνου	53

1. Σύνοψη (abstract)

Μια από τις πιο βασικές δραστηριότητες κατά τη μελέτη της μουσικής ερμηνείας αποτελεί η σύγκριση διαφορετικών ερμηνειών από το ίδιο μουσικό έργο. Σημαντική απαίτηση στο πλαίσιο αυτό αποτελεί η αντικειμενικότητα κατά την διαδικασία αντιπαραβολής, η οποία συχνά διακυβεύεται όταν μεσολαβεί ο ανθρώπινος παράγοντας. Σκοπός της έρευνας είναι η σύγκριση διαφορετικών ερμηνειών από το ίδιο μουσικό έργο με τη χρήση μεθόδων από την επιστήμη της Πληροφορικής: πιο συγκεκριμένα, η διερεύνηση των δυνατοτήτων που παρέχονται από το γνωστικό αντικείμενο της Εξαγωγής Πληροφοριών από τη Μουσική (MIR) πάνω στη σύγκριση ηχογραφήματων, σε συσχετισμό με διαπιστώσεις που παρέχει η μεθοδολογία της Ιστορικής Μουσικολογίας. Το έργο που επιλέχθηκε είναι το «Θέμα και Παραλλαγές» του Fernando Sor γραμμένο για σόλο κιθάρα, από το οποίο συγκεντρώθηκαν ηχογραφήματα από έντεκα καθαριστές διαφορετικών εποχών. Μετά από την εξαγωγή χαρακτηριστικών χαμηλού επιπέδου από τα ηχογραφήματα, τα στοιχεία του συνόλου αντιπαραβάλλονται με αλγόριθμο δυναμικής στρέβλωσης πεδίου χρόνου. Ακολούθως εκτιμάται το κόστος της σύγκρισης και τα ηχογραφήματα ταξινομούνται ανάλογα με το κόστος σύγκρισης. Τέλος, τα αποτελέσματα σχολιάζονται από την σκοπιά της Πληροφορικής και συσχετίζονται με ευρήματα από την πλευρά της Μουσικολογίας.

One of the most basic activities during the study of musical interpretation is to compare different interpretations of the same musical work. Important requirement in this context is the objectivity during the process, which is often compromised when mediated by the human factor. This survey aims to compare different interpretations of the same musical work using methods from Computer Science; more specifically, to explore the possibilities offered by the discipline of Music Information Retrieval (MIR) on the comparison of recordings, related to findings provided by Historical Musicology. The chosen musical work is the "Theme and Variations" by Fernando Sor written for solo guitar, for which eleven recordings from different guitarists were collected. After extracting low level features, the data set is compared with Dynamic Time Warping algorithm. After that, the cost of the comparison is estimated and the recordings are sorted according to that cost. Finally, the results are discussed from the perspective of Computer Science and correlated with findings from the science of Musicology.

2. Πρόλογος

Η χρήση εργαλείων από την Πληροφορική αποτελεί πλέον σημαντικό παράγοντα για την έρευνα στον τομέα των ανθρωπιστικών επιστημών. Σε αυτήν την (κοινότοπη) διαπίστωση κατέληξα κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διδακτορικής μου διατριβής στο γνωστικό αντικείμενο της Ιστορικής Μουσικολογίας. Συνειδητοποίησα τότε ότι η συγκέντρωση και μελέτη των πηγών απαιτούσε από τον ιστορικό, υψηλού επιπέδου δεξιότητες διαχείρισης της πληροφορίας από την επιστήμη της Πληροφορικής.

Αργότερα, αναζητώντας τρόπους βελτίωσης των δεξιοτήτων αυτών, ξεκίνησα τις σπουδές μου στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιά. Η παρακολούθηση των μαθημάτων στο πλαίσιο του ΠΜΣ, απέφερε εξαιρετικά οφέλη· δημιούργησε το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο στις τεχνικές γνώσεις που είχα ήδη κατακτήσει, συνέβαλλε στην συγκρότηση των γνώσεών μου σε ένα ενιαίο πλαίσιο, έδωσε τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης με αξιόλογους επιστήμονες από άλλα γνωστικά αντικείμενα κ.τ.ό. Κυρίως, όμως, παρείχε πολυάριθμα ερεθίσματα που κέντρισαν το ερευνητικό μου ενδιαφέρον.

Μία από τις πιο σημαντικές στιγμές κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, αποτέλεσε η παρακολούθηση του μαθήματος επιλογής "Μουσική Πληροφορική" με διδάσκοντα τον κ. Άγγελο Πικράκη. Η συνάφεια του μαθήματος με την μουσικολογική μου ιδιότητα από τη μια, αλλά και το περιεχόμενο της διδασκαλίας από την άλλη προκάλεσαν το ζωνρό μου ενδιαφέρον. Στην περαιτέρω τόνωση του ενδιαφέροντος αυτού, συνέβαλε η προσωπικότητα και η συγκρότηση του διδάσκοντα.

Ο συνδυασμός των γνώσεων από τις σπουδές μου στην Μουσικολογία, την Κιθάρα και την Πληροφορική αποτέλεσε θεμελιώδες κριτήριο κατά την επιλογή του θέματος της διατριβής. Ο αρχικός σχεδιασμός για ένα θέμα στις Βάσεις Δεδομένων, μετά από συζητήσεις με τους διδάσκοντες, έδωσε τη θέση του στο παρόν θέμα πάνω στο αντικείμενο της Εξαγωγής Πληροφοριών από τη Μουσική (MIR).

Μία από τις σημαντικότερες δυσκολίες στις οποίες κλήθηκα να αντεπεξέλθω κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής, αποτέλεσε η ανάγκη διαχείρισης πολύπλοκων μαθηματικών εννοιών, δεδομένου πως το θέμα απαιτούσε καλή γνώση στη διαχείριση ηχητικού σήματος. Η υποστήριξη από την πλευρά του επιβλέποντα, αποτέλεσε σημαντικό στήριγμα προς την κατεύθυνση αυτή.

Θα ήθελα και από τη θέση αυτή να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τον κ. Άγγελο Πικράκη για την αμέριστη συμπαράσταση και τις υψηλού επιπέδου συμβουλές που παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου, Κατερίνα, για την κατανόηση και την έμπρακτη υποστήριξη που δείχνει στις προσπάθειές μου και στη θυγατέρα μας, Ισαβέλλα, που ήρθε στα μισά της διαδρομής και έφερε την ευτυχία στη ζωή μας.

3. Εισαγωγή

3.1. Σκοπός

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η σύγκριση διαφορετικών ερμηνειών από το ίδιο μουσικό έργο με τη χρήση μεθόδων από την επιστήμη της Πληροφορικής. Πιο συγκεκριμένα αποσκοπείται η διερεύνηση των δυνατοτήτων που παρέχονται από το γνωστικό αντικείμενο της Εξαγωγής Πληροφοριών από τη Μουσική (MIR) πάνω στη σύγκριση ηχογραφήματων, σε συσχετισμό με διαπιστώσεις που παρέχει η μεθοδολογία της Ιστορικής Μουσικολογίας.

Το ερώτημα στο οποίο καλείται να απαντήσει η εργασία είναι το αν είναι εφικτό να εξεταστούν με αντικειμενικό τρόπο οι διαφορές μεταξύ διαφορετικών ερμηνευτικών προσεγγίσεων από το ίδιο έργο. Για τους μουσικολόγους, η εξέταση των διαφορών και ομοιοτήτων μεταξύ διαφορετικών ερμηνειών από το ίδιο έργο συνιστά βασικό τμήμα της εργασίας τους. Όμως, οι αδυναμίες χρήσης μιας ενιαίας και αντικειμενικής μεθόδου από όλους, σε συνδυασμό με τους περιορισμούς που απορρέουν από την υποκειμενικότητα της ανθρώπινης αντίληψης, συχνά ορθώνουν ανυπέρβλητα εμπόδια. Τέλος, ένα αίτημα που καλείται να ικανοποιήσει η εργασία, πέρα από την πρωτοτυπία του θέματος, είναι η διεπιστημονικότητα. Η χρήση, δηλαδή μεθόδων και υλικών από διαφορετικές επιστήμες, στη συγκεκριμένη περίπτωση τις επιστήμες της Πληροφορικής και της Μουσικολογίας.

3.2. Κριτήρια επιλογής έργου

Κατά την επιλογή του έργου ελήφθησαν υπόψη παράγοντες που σχετίζονται με την ιδιαιτερότητα του εγχειρήματος, την ιστορική σημασία του έργου, τις διαθέσιμες πηγές, όπως και τα ερεθίσματα και τα ενδιαφέροντα του συγγραφέα. Πιο συγκεκριμένα, βασικές προϋποθέσεις αποτέλεσαν η διαθεσιμότητα πολυάριθμων ερμηνειών από διαφορετικές εποχές, η παροχή μουσικολογικών αναλύσεων ώστε να καθίσταται δυνατή η αντιπαραβολή συμπερασμάτων από τον χώρο της Μουσικολογίας, και η προέλευση του έργου από τον χώρο των ενδιαφερόντων του συγγραφέα. Το έργο που επιλέχθηκε είναι το «Θέμα και Παραλλαγές» του Fernando Sor γραμμένο για σόλο κιθάρα πάνω σε ένα θέμα του Mozart.

3.3. Ιστορική διάσταση του έργου

Το έργο «Θέμα και Παραλλαγές πάνω σ' ένα θέμα του Μότσαρτ» (*Variations on a Theme by Mozart, op. 9*) είναι ένα από τα πιο γνωστά έργα για κιθάρα. Αν και γράφτηκε από τον Fernando Sor, σε κάποιες περιπτώσεις στο παρελθόν αποδόθηκε στον Mozart.¹ Παρότι για τις ανάγκες του έργου χρησιμοποιείται μια μελωδία από την όπερα του Mozart, *Μαγικός Αυλός* (Φινάλε, πρώτη Πράξη, «Das Klinget So Herrlich»), η διαμόρφωση του θέματος, η εισαγωγή που προηγείται, όπως και οι πέντε παραλλαγές που ακολουθούν, προήλθαν από την «γραφήδα» του Sor. Σχετίζονταν, δε, με τις συνήθειες της εποχής και ιδιαίτερα με το βιεννέζικο ύφος των αρχών του 19ου αιώνα που ακολουθεί το έργο.

Η επεξεργασία γνωστών μελωδιών και οι παραλλαγές πάνω σε δημοφιλή οπερατικά θέματα, αποτελούσαν προσφιλή ενασχόληση των συνθετών. Σύμφωνα με τον Harold Schonberg, «μέχρι τα μέσα του αιώνα τέτοια έργα δεν έλειψαν από κανένα ρεσιτάλ πιάνου».² Το κοινό απολάμβανε να παρακολουθεί συνθέτες - πιανίστες όπως οι Liszt, Herz, Thalberg, Moscheles κ.ά. να αναδεικνύουν τη δεξιοτεχνία και το συνθετικό τους οίστρο πάνω σε τέτοια έργα. Με τον τρόπο αυτό, η μουσική παράδοση συνδεόταν ομαλά με την τρέχουσα εκτελεστική πρακτική μέσα από την επεξεργασία γνωστών μελωδιών και τον «προετοιμασμένο αυτοσχεδιασμό». Ασφαλώς, όμως, το αποτέλεσμα της επεξεργασίας δεν λογαριάζεται πλέον ως έργο αυτού που προσέφερε την πρώτη ύλη, αλλά αυτού που την μετέπλασε σε μια νέα, πρωτότυπη πλέον, αλλά αναγνωρίσιμη σύνθεση.

¹ Graham Wade – Gerard Garno, *A New Look at Segovia: His Life and his Music*, Μιζούρι, 2000, εκδ. Mel Bay, 2η έκδοση, τ. 1.

² Harold C. Schonberg, *The Great Pianists from Mozart to the Present*, εκδ. Simon and Schuster, Νέα Υόρκη 1963, σσ. 124

Το «Θέμα και Παραλλαγές πάνω σ' ένα θέμα του Μότσαρτ» αποτέλεσε πολύ δημοφιλές έργο μεταξύ των κιθαριστών και σίγουρα αποτέλεσε το πιο δημοφιλές κομμάτι του Sor. Στο χώρο της δισκογραφίας, ήταν το πρώτο έργο που γράφτηκε από τον Andrés Segovia σε δίσκο 78 στροφών, το 1927. Στην Ελλάδα η εκτέλεσή του μαρτυρείται από το 1938 σε ρεσιτάλ του Χαράλαμπου Εκμεκτσόγλου.³ Ο Δημήτρης Φάμπας του επιφύλαξε ιδιαίτερη μεταχείριση. Το παρουσίασε για πρώτη φορά το 1946⁴ και το συμπεριέλαβε στα 2/3 των προγραμμάτων από τα ατομικά του ρεσιτάλ. Τέλος, το έγραψε σε δίσκο 33 στροφών, για πρώτη φορά στην Ελλάδα, το 1969.⁵ Ας σημειωθεί πως ο πρώτος δίσκος με μουσική για σόλο κιθάρα κυκλοφόρησε στην Ελλάδα από τον ίδιο, το 1965. Κατά συνέπεια, βρίσκουμε το έργο στις παλαιότερες ηχογραφήσεις για κιθάρα, τόσο στην Ελλάδα, όσο και στο εξωτερικό. Το γεγονός αυτό εξασφαλίζει το μεγαλύτερο δυνατό εύρος στις χρονολογίες ηχογράφησης ώστε να ικανοποιούνται τα κριτήρια που τέθηκαν πιο πάνω.

3.4. Τα ηχογραφήματα

Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν συνολικά έντεκα ηχογραφήματα από δίσκους κιθαριστών. Τα ηχογραφήματα αποθηκεύτηκαν σε μορφή wav, με Ρυθμό Δειγματοληψίας 44100 Hz και Βάθος 16 bit.

Μεταξύ των δυσχερειών που έπρεπε να αντιμετωπιστούν, η κυριότερη ήταν η διαφορά στη διάρκεια των ηχογραφήσεων. Η διαφορά αυτή οφειλόταν τόσο στο διαφορετικό ρυθμό (*tempo*) που ακολούθησε κατά την ηχογράφηση κάθε κιθαριστή, όσο –κυρίως– στο γεγονός πως στις παλαιότερες ηχογραφήσεις παραλείπονταν κάποιες επαναλήψεις που υποδείκνυε η παρτιτούρα. Για παράδειγμα, ο Andrés Segovia, τόσο στην έκδοση της παρτιτούρας που επιμελήθηκε,⁶ όσο και στην ηχογράφηση που πραγματοποίησε το 1935 προχώρησε σε αρκετά ριζικές παρεμβάσεις πάνω στην δομή του έργου: αγνόησε την εισαγωγή και ξεκινούσε το έργο με το θέμα· επίσης πολύ σπάνια έπαιξε τις επαναλήψεις στις παραλλαγές του έργου. Είναι σχεδόν βέβαιο πως στην μικρότερη διάρκεια της ηχογράφησης έπαιξε ρόλο η περιορισμένη διάρκεια του δίσκου 78 στροφών: κάθε πλευρά χωρούσε 3:30". Η ερμηνεία του Segovia φτάνει τα 3:27", στην οποία παραλείπεται η εισαγωγή, οι επαναλήψεις, ενώ ο ρυθμός είναι αρκετά πιο γρήγορος από μετέπειτα δικές του ηχογραφήσεις. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως η διάρκεια των ηχογραφήσεων σε δίσκο ακτίνας (CD) στον οποίο δεν υφίστανται οι ίδιοι περιορισμοί ξεπερνούν σε κάθε περίπτωση τα 7:30" με μέγιστον την ηχογράφηση του Diego Blanco που φτάνει τα 9:14".

Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε ως εξής. Κάθε μέρος του έργου εξετάστηκε χωριστά και κατά την εξέταση χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα ηχογραφήματα που περιέχουν το συγκεκριμένο μέρος. Πιο συγκεκριμένα, κατά την εξέταση της εισαγωγής χρησιμοποιήθηκαν επτά από τα έντεκα ηχογραφήματα, ενώ για τα υπόλοιπα μέρη (το θέμα και τις πέντε παραλλαγές) υπήρχαν διαθέσιμα τμήματα προς εξέταση και από τα έντεκα ηχογραφήματα.

Μια άλλη δυσχέρεια που προέκυψε, ήταν το γεγονός πως οι παλαιότερες ηχογραφήσεις ήταν λιγότερο «ενημερωμένες» σε σχέση με τις νεότερες. Δηλαδή, περιέχουν περισσότερες ανακρίβειες σχετικά με τους φθόγγους που αποδίδονται σε σχέση με την πρώτη έκδοση του έργου. Και είναι φυσικό, διότι η μουσικολογική έρευνα απέφερε σημαντικά ευρήματα με την πάροδο του χρόνου, με αποτέλεσμα οι διαφορετικές ηχογραφήσεις να διαφέρουν σε κάποιους φθόγγους. Οι διαφορές αυτές, ωστόσο, αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό σε σχέση με το σύνολο, ώστε να μπορούμε με σχετική ευκολία να τις αγνοήσουμε. Πέραν τούτου, η μέθοδος που ακολουθήθηκε αποκόμισε πολύ ενδιαφέροντα ευρήματα στο ζήτημα αυτό και συνέβαλε στην αποκάλυψη των διαφορών.⁷

Με σκοπό τον έλεγχο αξιοπιστίας της μεθόδου που προτείνεται, κατασκευάστηκε ένα αρχείο ελέγχου. Πρόκειται για ένα από τα υπάρχοντα ηχογραφήματα, τροποποιημένο με τέτοιο τρόπο ώστε να έχει διαφορετική διάρκεια και διαφορετική ένταση σε κάποια σημεία του ώστε να διαπιστωθεί εάν ο

³ Πρόγραμμα ρεσιτάλ, «Παρνασσός», 30 Μαΐου 1938

⁴ Πρόγραμμα ρεσιτάλ, «Παρνασσός», 29 Ιουνίου 1946

⁵ Τάσος Κολυδάς, *Δημήτρης Φάμπας: ο κιθαριστής, ο συνθέτης, ο μουσικοπαιδαγωγός* (Διδακτορική Διατριβή – Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Πανεπιστήμιο Αθηνών), Αθήνα, 2006

⁶ Fernando Sor, *Variations sur le thème "O cara armonia" de l'opera "La Flute enchantée" de W. A. Mozart* (GA 130), διασκ. Andrés Segovia, 1931, εκδ. Schott

⁷ Βλ. σ. 21

προτεινόμενος αλγόριθμος είναι ικανός να βρει τις ομοιότητες και να κατατάξει το αρχείο ελέγχου ψηλά στον πίνακα ομοιότητας που καταρτίστηκε.

Τα ηχογραφήματα που εξετάστηκαν είναι τα εξής:

Κωδ.	Εκτελεστής	Τίτλος Δίσκου	Έτος
1	Ευάγγελος Ασημακόπουλος	Requerdos de la Alhambra	1993
2	Diego Blanco	Popular Guitar Music	2000
3	Julian Bream	Guitar Recital	2005
4	Εύα Φάμπα	Κιθάρα	2000
5	Δημήτρης Φάμπας	Dimitri Fampas plays...	1969
6	Γεράσιμος Μηλιαρέσης	The Magnificent Guitar of Gerasimos Miliarsis	1971
7	Nigel North	Classical Guitar Magazine / Legends of Guitar	1991
8	Pepe Romero	Jeux Interdits and other Guitar Favourites	1985
9	David Russel	Art of the Guitar	2007
10	Andres Segovia	Recordings 1927-1939 (I)	1935
11	John Williams	The virtuoso guitar	1958
12	Ευάγγελος Ασημακόπουλος	Test [αρχείο ελέγχου]	-

3.5. Μέσα - υλικά

Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα εξής μέσα και υλικά:

- Μαθηματικό λογισμικό πακέτο MATLAB
- Διακομιστής Διαδικτύου (για την ανάρτηση υλικού σε ιστοσελίδες)
- Σύστημα διαχείρισης περιεχομένου για την αποθήκευση πολυμεσικού υλικού
- Εφαρμογές επεξεργασίας αρχείων ήχου
- Σύστημα Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων
- Φύλλο υπολογισμού

3.6. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

3.6.1. Από τη σκοπιά της Μουσικολογίας

Σύμφωνα με τον Robert Donington, όταν μιλάμε για ερμηνεία στη μουσική, εννοούμε «το στοιχείο αυτό που κατέστη αναγκαίο από τη διαφορά μεταξύ σημειογραφίας (που αποτυπώνει τη μουσική) και της εκτέλεσης (που φέρνει στη ζωή τη μουσική εμπειρία). Το θέατρο και ο χορός μοιράζονται την ίδια αναγκαιότητα· η ζωγραφική, η γλυπτική και η αρχιτεκτονική, όχι. Η λογοτεχνία ως πνευματική εμπειρία είναι πιο αυτόρκτη από τη μουσική· αλλά από τη στιγμή που η λογοτεχνία μπορεί να διαβαστεί δυνατά (παρότι δεν είναι απαραίτητο), απαιτείται ένας ερμηνευτής».⁸

Ο τρόπος με τον οποίο οι εκτελεστές ερμηνεύουν τη μουσική είναι διαφορετικός σε κάθε εποχή. Δεν υφίσταται η έννοια της «σωστής» ή «λανθασμένης» ερμηνείας, παρά μόνο της ερμηνείας όπως αυτή εκφράζει κάθε κοινωνία. Κατά συνέπεια η μελέτη της ερμηνείας συνδέεται άμεσα με τη μελέτη της ιστορίας. Ο Θρασύβουλος Γεωργιάδης διατυπώνει την άποψή του πάνω στο ζήτημα υπό τη μορφή αποφθέγματος αναφέροντας πως:

⁸ Robert Donington, «Interpretation», *The New Grove Dictionary of Music and Musicians* (επιμ. Stanley Sadie, 1980), Λονδίνο, 1994, εκδ. Macmillan, τ. 9, σ. 276

«Το ερώτημα της μουσικής ερμηνείας δεν είναι όμως μόνο αυτό που αφορά τον ιστορικά σωστό ήχο, αλλά ταυτόχρονα εκείνον που κάθε φορά είναι έγκυρος για μας· πιο καλά: αυτό που αφορά τον ιστορικά σωστό ήχο εφόσον μπορεί να γίνει κατανοητός ως κάτι το έγκυρο για μας».⁹

Σημαντικό ρόλο στην ιστορία της κιθάρας έπαιξε η κυκλοφορία του έργου σε δίσκο από τον Segovia για την οποία έγινε λόγος και πιο πάνω. Παρότι πρόκειται για ένα ανάλαφρο, χαρούμενο και ντελικάτο κομμάτι, η ερμηνεία του Segovia ήταν βαριά και δραματική. Κυρίως, όμως, διακρινόταν από έντονο *rubato*.¹⁰ Το *rubato*, δηλαδή η ελευθερία στην παράμετρο του ρυθμού και οι αποκλίσεις στην απόδοση των φθόγγων σε σχέση με όσα αποτυπωνόταν στην παρτιτούρα, συνιστούσαν θεμελιώδη γνωρίσματα των σολίστ του όψιμου ρομαντισμού:

«Η περίοδος από τα μέσα του 19ου αιώνα έως τις αρχές του 20ού, χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό ελευθερίας εκ μέρους του ερμηνευτή. Οι πιανίστες και οι μαέστροι κατά κύριο λόγο –κατ' ουσίαν, όμως, γενικά το σύνολο των ερμηνευτών– ένιωθαν ότι είχαν το δικαίωμα, αν όχι την υποχρέωση, να εφαρμόσουν κάθε είδους απόκλιση, ακόμη και να παρέμβουν κατά περίπτωση στο έργο, ώστε να υλοποιήσουν το προσωπικό ερμηνευτικό τους όραμα».¹¹

Η ιταλική λέξη *rubato* προέρχεται από το ρήμα *rubare* που θα πει *κλέβω, ληστεύω· tempo rubato*, είναι ο κλεμμένος χρόνος. Η χρήση του όψιμου τύπου *rubato* κορυφώθηκε στη δυτική Ευρώπη περίπου το 1930, ενώ εφαρμόστηκε και σε μικρότερης έκτασης υλικό: σε μοτίβα, ακόμη και σε ξεχωριστές νότες. Οι φθόγγοι μικρής διάρκειας αποδίδονταν πιο γρήγορα ενώ αντίθετα οι φθόγγοι μεγαλύτερης διάρκειας πιο αργά, ώστε να δίνεται η εντύπωση μιας κίνησης προς τα εμπρός.¹² Επιπλέον, οι εκτελεστές της περιόδου χρησιμοποίησαν μια σειρά άλλων τεχνασμάτων που σχετίζονταν με το ρυθμό, όπως π.χ. τη χρήση παύσεων για τον τονισμό φθόγγων ή το διαχωρισμό μοτιβικών στοιχείων. Συχνότερα, όμως, οι καθυστερήσεις στην απόδοση της μελωδίας οφείλονταν στο ότι, φθόγγοι που απεικονίζονταν στην παρτιτούρα ευθυγραμμισμένοι κάθετα, δεν εκτελούνταν ταυτόχρονα. Επικράτησε μια ερμηνευτική μανιέρα σύμφωνα με την οποία οι συνηγήσεις αποδίδονταν με ασύγχρονο τρόπο, ιδιαίτερα όταν περιείχαν διάφωνους φθόγγους. Στο πιάνο, λόγου χάριν, το αριστερό χέρι προηγείτο του δεξιού κατά την απόδοση κάθε συνηχητικού συμπλέγματος.¹³

Αν και το *tempo rubato* εγκαταλείφθηκε γρήγορα από τους εκτελεστές των περισσότερων σολιστικών οργάνων,¹⁴ στην κιθάρα παρέμεινε ως κύριο ερμηνευτικό μέσο για πολλά χρόνια ακόμη. Ακόμη και κατά το δεύτερο μισό του 20ού αιώνα, πολλοί σολίστ συνέχισαν να εφαρμόζουν παρόμοια ερμηνευτική πρακτική, ακολουθώντας πιστά τη στάση των παλαιότερων κιθαριστών. Ο John Williams, ένας από τους διαπρεπέστερους κιθαριστές της επόμενης γενιάς και ταυτόχρονα ο πιο προικισμένος μαθητής του Segovia, περιγράφει το σοκ που υπέστη όταν ήλθε σε επαφή με εκτελεστές άλλων οργάνων, ενώ ήταν επηρεασμένος από το ύφος που επικρατούσε στην κιθάρα:

«Το 1959 άφησα το κολέγιο και ξεκίνησα να κάνω μουσική δωματίου –ερχόμενος σε επαφή με άλλους μουσικούς, ακούγοντας πολλή μουσική από άλλα κουαρτέτα, βιολιστές, τσεμπαλίστες– και ένιωσα ασυναίσθητα ένα χάσμα μεταξύ του δικού μου τρόπου παιξίματος, που ήταν υπό την επιρροή του Segovia, και της προσέγγισης που ακολουθούσαν οι υπόλοιποι εκτελεστές. [...] Συνειδητοποίησα ότι η κυρίαρχη τάση γενικά στη μουσική απείχε από τον τρόπο παιξίματος στην κιθάρα. Είναι μια ενδιαφέρουσα αντίφαση, διότι ολόκληρη η ζωή του Segovia είχε ως σκοπό την αναγνώριση της κιθάρας στο ίδιο επίπεδο με τα άλλα όργανα· και όμως το στυλ του την τοποθετούσε σε διαφορετική θέση, ιδιαίτερα όταν συνεργαζόταν με άλλα όργανα.»¹⁵

Μεταξύ των συμμαθητών του Williams στις τάξεις της Ακαδημίας *Chigiana*, στη Σιένα, ήταν και ο Έλληνας Δημήτρης Φάμπας. Η επίδραση, όμως, του εν λόγω ερμηνευτικού ύφους στον Έλληνα κιθαριστή, εντοπίζεται πολύ πριν την έναρξη της μαθητείας του στο εξωτερικό, το 1955. Από τα πρώτα

⁹ Θρασύβουλος Γ. Γεωργιάδης, *Μουσική και Γλώσσα / το ιστορικό γίνεσθαι της δυτικής μουσικής στη μελοποίηση της λειτουργίας* (Musik und Sprache / Das Weden der abendländischen Musik dargestellt an der Vertonung der Messe, 1954, μτφρ. Δημήτρης Θέμελης), Αθήνα, 1994, εκδ. Νεφέλη

¹⁰ Ο.π. Graham Wade – Gerard Gamou, *A New Look at Segovia*

¹¹ Richard Hudson, *Stolen Time/ The History of Tempo Rubato*, εκδ. Clarendon Press, Οξφόρδη, 1997, σ. 300.

¹² Ibid. σ. 381. Πρβλ. *Performance Practice: Music after 1600*, (επιμ. Howard Mayer Brown – Stanley Sadie), εκδ. Norton, 1989, σσ. 379, 453

¹³ Hudson, ό.π. σσ. 330-338.

¹⁴ Alan Kozinn, *Mischa Elman and the Romantic Style*, εκδ. Harwood Academic Publishers, Λονδίνο, 1990, σ. ix

¹⁵ John Williams, «Segovia», *Andrés Segovia / An Appreciation*, εκδ. Musical New Services, Λονδίνο, 1978, σ. 70

του βήματα στην κιθάρα, ο Φάμπας είχε την ευκαιρία να ακούσει τον τρόπο ερμηνείας έργων για κιθάρα από δυσεύρετες ηχογραφήσεις σε δίσκους 78 στροφών. Αυτός που του παρείχε την ευκαιρία δεν ήταν άλλος από τον πρώτο του δάσκαλο.¹⁶

Η καθιέρωση ερμηνευτικών προτύπων στην κιθάρα επηρεάστηκε καθοριστικά από την ανάπτυξη των μέσων αναπαραγωγής της μουσικής και ιδιαίτερα την εξάπλωση του δίσκου 78 στροφών. Η διάδοση της κιθάρας στο ευρύ κοινό και η είσοδός της στις αίθουσες συναυλιών με την ιδιότητα του σολιστικού οργάνου, συνέπεσε με την ανάπτυξη της δισκογραφίας κατά το πρώτο μισό του 20ού αιώνα. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο παραγόντων έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην ιστορία της κιθάρας.

Όσα αναφέρθηκαν πιο πάνω υπογραμμίζουν την σημασία του θέματος με το οποίο καταπιάνεται η παρούσα εργασία. Η παρουσία rubato στην ερμηνεία ενός κιθαριστή είναι δυνατό να μελετηθεί εάν εξεταστεί ο ρυθμός (*tempo*), η ένταση και το φραζάρισμα της μουσικής.

3.6.2. Από τη σκοπιά της Πληροφορικής

Η Ανάκτηση Πληροφοριών από τη Μουσική συνιστά έναν ταχύτατα αναπτυσσόμενο τομέα στην επιστήμη της Πληροφορικής. Από τη φύση του συνιστά ένα διεπιστημονικό πεδίο έρευνας που περιλαμβάνει επιστημονικούς κλάδους όπως: ακουστική, ψυχοακουστική, επεξεργασία σήματος, πληροφορική, μουσικολογία, βιβλιοθηκονομία, μηχανική μάθηση, κλπ. Ο κύριος στόχος είναι η παροχή ενός επιπέδου πρόσβασης στο παγκόσμιο μουσικό απόθεμα σε επίπεδο ίσο ή ανώτερο, από αυτό που σήμερα παρέχεται με τη μορφή κειμένου από τις μηχανές αναζήτησης.¹⁷

Σήμερα, η απόδοση των υπολογιστών επιτρέπει στην ερευνητική κοινότητα να ασχοληθεί με εργασίες που ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθούν στο παρελθόν. Η αναζήτηση και αναγνώριση προτύπων από ένα μεγάλο αριθμό ηχογραφήματων συνιστά ένα σημαντικό εργαλείο στα χέρια του ερευνητή. Μερικά από τα αντικείμενα στα οποία έχει κατευθυνθεί η έρευνα είναι τα εξής: Audio Artist Identification, Audio Beat Tracking, Audio Classical Composer Identification, Audio Cover Song Identification, Audio Drum Detection, Audio Genre Classification, Audio Key Finding, Audio Melody Extraction, Audio Mood Classification, Audio Music Similarity and Retrieval, Audio Onset Detection, Audio Tempo Extraction, Multiple F0 Estimation, Multiple F0 Note Tracking, Query-by-Singing/Humming, Score Following, Symbolic Genre Classification, Symbolic Key Finding, Symbolic Melodic Similarity¹⁸

Ιδιαίτερα η έννοια της ομοιότητας (*similarity*) έχει απασχολήσει τους ερευνητές στην προσπάθειά τους να δημιουργήσουν μια αυτόματη μέθοδο εντοπισμού ηχογραφήματων με παρόμοια χαρακτηριστικά. Κάποιες έρευνες έχουν κινηθεί προς την κατεύθυνση δημιουργίας μιας μουσικής ταξινόμησης που στηρίζεται άλλοτε στα διαφορετικά μουσικά είδη (*genre classification*), άλλοτε σε διαφορετικές μουσικές υφές (*mood classification*). Σε πειράματα σύγκρισης μεταξύ ανθρώπινων και αυτοματοποιημένων ταξινομήσεων μουσικών ειδών, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι υπάρχει σημαντική υποκειμενικότητα όταν η ταξινόμηση γίνεται από τον άνθρωπο.¹⁹

Μεγάλο μέρος των προσπαθειών κινούνται προς την κατεύθυνση εντοπισμού του ρυθμού που διέπει ένα ηχογράφημα. Σε μελέτη που δημοσιεύτηκε το 2006 με θέμα την σύγκριση αλγορίθμων πάνω στον εντοπισμό του ρυθμού, συγκεντρώθηκαν δώδεκα διαφορετικοί αλγόριθμοι,²⁰ ενώ έως σήμερα έχουν προταθεί και άλλες προσεγγίσεις.²¹ Οι περισσότερες εξετάζουν τα τοπικά μέγιστα στο πλάτος του σήματος και στη συνέχεια αναζητούν περιοδικότητα ώστε να βρεθεί ο ρυθμός του ηχογραφήματος. Νεότερες μελέτες έχουν επικεντρώσει το ενδιαφέρον και στη χρήση της φασματικής ροής ως μέσου για

¹⁶ Γεράσιμος Μηλιαρέσης, *Ήχοι και Απόηχοι / Απομνημονεύματα*, εκδ. Κέδρος, Αθήνα, 2002, σ. 109

¹⁷ J. Stephen Downie, «The Music Information Retrieval Evaluation Exchange (2005-2007): A window into music information retrieval / research», *Acoustical Science and Technology*, 2008, τ. 29/4, σ. 247-255

¹⁸ Ο.π. J. Stephen Downie, «The Music Information Retrieval Evaluation Exchange (2005-2007) [...]»

¹⁹ Stephan Lippens – George Tzanetakis – κ.ά., «A Comparison of Human and Automatic Musical Genre Classification», *Proc. IEEE Int. Conf. on Audio, Speech and Signal Processing*, Μόντρεαλ, 2004

²⁰ Fabien Gouyon – Anssi Klapuri – Simon Dixon – Miguel Alonso – George Tzanetakis – Christian Uhle, «An Experimental Comparison of Audio Tempo Induction Algorithms», *IEEE Trans. on Audio, Speech and Language Processing*, 2006, τ. 14

²¹ M.E.P. Davies – N. Degara – M.D. Plumbley, «Measuring the Performance of Beat Tracking Algorithms Using a Beat Error Histogram», περ. *Signal Processing Letters, IEEE*, 3.2011, τ. 18/3, σ. 157 - 160

τον εντοπισμό του ρυθμού.²² Πέρα από τον εντοπισμό του ρυθμού, κάποιες μελέτες προτείνουν μεθόδους εντοπισμού των επαναλαμβανόμενων μοντέλων που διέπουν τον ρυθμό (rhythmic patterns). Σε μία από αυτές η διάκριση των ρυθμικών μοντέλων γίνεται με τη χρήση Κρυμμένων Μοντέλων Markov (Hidden Markov Models).²³

Τέλος, η πιο συγγενής μελέτη σε σχέση με το θέμα της εργασίας έχει δημοσιευτεί από τον Simon Dixon.²⁴ Η εφαρμογή που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της μελέτης, χρησιμοποιεί αλγόριθμο Δυναμικής Στρέβλωσης Πεδίου Χρόνου για την ευθυγράμμιση διαφορετικών ηχογραφημάτων από την ίδια μουσική. Ωστόσο, τα χαμηλού επιπέδου χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται, στηρίζονται κυρίως στα συχνοτικά (spectral) χαρακτηριστικά του σήματος και είναι διαφορετικά από αυτά που προτείνονται εδώ.

3.7. Πίνακας συντομογραφιών - ορολογία

[...]	παράλειψη κειμένου
αρ.	αριθμός
βλ.	όρα
εισ.	εισαγωγή
εκδ.	εκδόσεις, εκδοτικός οίκος
έκδ.	έκδοση
επιμ.	επιμέλεια, επιμελητής
κ.ά.	και άλλα
κ.τ.ό.	και τα όμοια
μτφρ.	μετάφραση
ό.π.	όπου παραπέμψαμε
π.χ.	παραδείγματος χάριν
περ.	περιοδικό
πίν.	πίνακας
πρβλ.	παράβαλε
σ.	σελίδα
τ.	τόμος
ibid.	αυτόθι

Αν και το σύνολο της βιβλιογραφίας σχετικά με το αντικείμενο είναι στην αγγλική γλώσσα, προτιμήθηκε, όπου είναι δυνατό, η χρήση ορολογίας από την ελληνική γλώσσα. Παρατίθεται εδώ η αντιστοίχιση όρων μεταξύ ελληνικής και αγγλικής γλώσσας.

Ανάκτηση Πληροφοριών από τη Μουσική	Music Information Retrieval (MIR)
Βάθος bit	bit Depth
Διακομιστής Διαδικτύου	Web Server
Δυναμική Στρέβλωση Πεδίου Χρόνου	Dynamic Time Warping
Ενέργεια Βραχέως Χρόνου	Short Term Energy
Ρυθμός Δειγματοληψίας	Frequency Sampling
Ρυθμός Διέλευσης από το Μηδέν	Zero Crossing Rate
Σύστημα Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων	Data Base Management System (DBMS)

²² Simon Dixon, «Evaluation of the Audio Beat Tracking System BeatRoot», *Journal of New Music Research*, 2007, τ. 36, σ. 4

²³ Ιάσωνας Αντωνόπουλος – Άγγελος Πικράκης – Σέργιος Θεοδορίδης, «Locating Rhythmic Patterns In Music Recordings Using Hidden Markov Models», περ. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 2007. Επίσης: Σέργιος Θεοδορίδης – Άγγελος Πικράκης – Κωνσταντίνος Κουτρούμπας – Διονύσης Κάβουρας, *Introduction to Pattern Recognition: A Matlab Approach*, 2010, εκδ. Elsevier, σ. 147-158

²⁴ Simon Dixon, «Match: A Music Alignment Tool Chest», *6th International Conference on Music Information Retrieval*, Λονδίνο, 2005

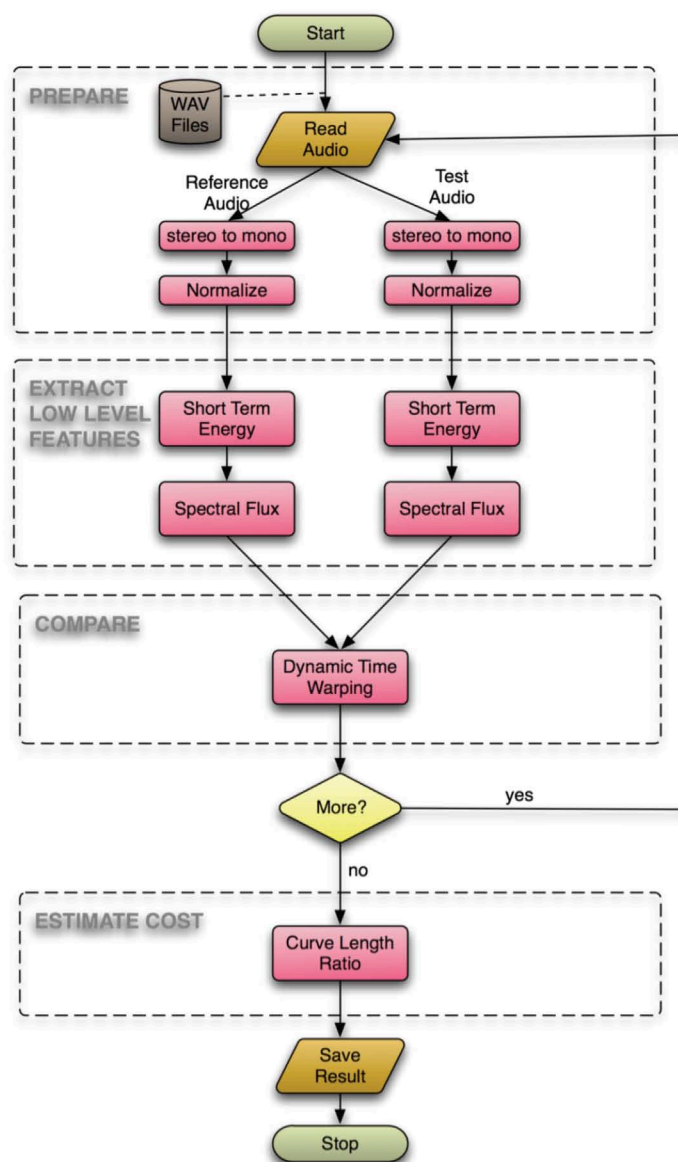
4. Γενική περιγραφή του λογισμικού

4.1. Γενικές λειτουργίες του λογισμικού

Τα ηχογραφήματα με διαφορετικές ερμηνείας από το ίδιο έργο φυλάσσονται σε αρχεία τύπου wav. Από αυτά, το λογισμικό επιλέγει για αντιπαραβολή δύο ηχογραφήματα κάθε φορά. Ακολουθεί το στάδιο της προετοιμασίας των δεδομένων, το οποίο περιλαμβάνει την ανάγνωση του αρχείου και την αποθήκευση του ηχογραφήματος σε ένα διάνυσμα $1 \times N$ ή $2 \times N$ ανάλογα με τον αριθμό των καναλιών του ηχογραφήματος. Εάν το σήμα είναι στερεοφωνικό ($2 \times N$), μετατρέπεται σε μονοφωνικό ($1 \times N$) παίρνοντας το ημίθροισμα των δύο τιμών που αντιστοιχούν στην ίδια χρονική στιγμή. Το τελικό στάδιο της προετοιμασίας περιλαμβάνει την κανονικοποίηση του διανύσματος.

Ακολουθούν τρία στάδια επεξεργασίας των πληροφοριών. Στο πρώτο στάδιο εξάγονται χαρακτηριστικά χαμηλού επιπέδου από το ηχητικό σήμα. Τα χαρακτηριστικά χαμηλού επιπέδου περιλαμβάνουν την Ενέργεια Βραχέως Χρόνου και τη Φασματική Ροή. Στο δεύτερο στάδιο, αντιπαραβάλλονται τα χαρακτηριστικά μεταξύ των δύο αρχείων με τη χρήση αλγορίθμου Δυναμικής Στρέβλωσης Πεδίου Χρόνου. Αφότου εξεταστούν όλα τα ηχογραφήματα ανά δύο, στο τρίτο και τελευταίο στάδιο αποτιμάται το «κόστος» κάθε αντιπαραβολής, δηλαδή η απόκλιση από το ιδεατό ταίριασμα. Τέλος, τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στον δίσκο.

4.2. Διάγραμμα



Εικόνα 1. Διάγραμμα Ροής Προγράμματος

4.3. Περιορισμοί

Εξαιτίας της φύσης του ηχητικού σήματος, από το οποίο τα χαρακτηριστικά που εξάγονται είναι χαμηλού και όχι υψηλού επιπέδου (σχετικά με τη μορφή του μουσικού έργου), δεν είναι εφικτό να αντιμετωπιστούν οι δομικές διαφορές μεταξύ των ηχογραφημάτων που αντιπαραβάλλονται. Ο περιορισμός αυτός έχει επισημανθεί και από άλλους ερευνητές που έχουν εμπλακεί σε παρόμοια εγχειρήματα:

«Ένα θέμα που δεν έχει αντιμετωπιστεί είναι το πρόβλημα των δομικών διαφορών μεταξύ των ερμηνειών. Για παράδειγμα, αν ένας εκτελεστής επαναλάβει το πρώτο τμήμα ενός μέρους και ένας άλλος όχι, δεν υπάρχει τρόπος για τον αλγόριθμο Δυναμικής Στρέβλωσης Πεδίου Χρόνου να ανακάμψει, δεδομένου ότι το εύρος της ζώνης αναζήτησης είναι μόνο πέντε ή δέκα δευτερόλεπτα. Για να βρεθούν οι δομικές διαφορές και να εκτελεστούν τμηματικά ταιριάσματα, θα πρέπει να

υπολογισθεί ο πλήρης πίνακας αυτοομοιότητας, γεγονός που θα περιορίσει στη συνέχεια το μέγεθος των κομματιών που θα μπορούσαν να αντιστοιχηθούν, λόγω του περιορισμού σε μνήμη και χρόνο.»²⁵

Κατά συνέπεια ήταν απαραίτητη η επιμέλεια των ηχογραφήματων πριν δοθούν προς επεξεργασία στο λογισμικό. Η επιμέλεια περιλαμβάνει τις επεμβάσεις που αναφέρθηκαν και πιο πάνω σχετικά με τις επαναλήψεις που παραλείπουν οι μουσικοί.²⁶

Κατά τη διάρκεια της επιμέλειας αφαιρέθηκε η σιωπή που σε μερικές περιπτώσεις υπήρχε στην αρχή του ηχογραφήματος, ούτως ώστε το πρώτο δείγμα του σήματος να συμπίπτει με την αφετηρία της μουσικής.

4.4. Παραδοχές και εξαρτήσεις

Οι περισσότεροι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται και δεν έχουν συνταχθεί από τον γράφοντα, προέρχονται από την πρόσφατη έκδοση με τίτλο *Introduction to Pattern Recognition: A Matlab Approach*.²⁷ Ένας ακόμη αλγόριθμος (stSpectralFlux) παραχωρήθηκε από τον επιβλέποντα, Λέκτορα κ. Άγγελο Πικράκη στον οποίο θα ο συγγραφέας θα ήθελε και από τη θέση αυτή να εκφράσει τις ευχαριστίες του.

Στο πλαίσιο της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν ηχογραφήματα, για τα οποία υπό διαφορετικές συνθήκες θα χρειαζόταν ειδική άδεια από τους κατόχους των πνευματικών δικαιωμάτων. Ωστόσο, στην παρούσα περίπτωση για τη χρήση του υλικού, δεν είναι απαραίτητη η άδεια του δημιουργού, εφόσον γίνεται αποκλειστικά για τις εξετάσεις στο Πανεπιστήμιο Πειραιά, σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία:

«Άρθρο 21, Αναπαραγωγή για διδασκαλία.

Επιτρέπεται, χωρίς την άδεια του δημιουργού και χωρίς αμοιβή, η αναπαραγωγή άρθρων νομίμως δημοσιευμένων σε εφημερίδα ή σε περιοδικό, συντόμων αποσπασμάτων έργου ή τμημάτων σύντομου έργου, ή έργου των εικαστικών τεχνών νομίμως δημοσιευμένου, εφόσον γίνεται αποκλειστικά για τη διδασκαλία ή τις εξετάσεις σε εκπαιδευτικό ίδρυμα, στο μέτρο που δικαιολογείται από τον επιδιωκόμενο σκοπό, είναι σύμφωνη με τα χρηστά ήθη και δεν εμποδίζει την κανονική εκμετάλλευση. Η αναπαραγωγή πρέπει να συνοδεύεται από την ένδειξη της πηγής και των ονομάτων του δημιουργού και του εκδότη, εφόσον τα ονόματα αυτά εμφανίζονται στην πηγή.»²⁸

5. Εξαγωγή Χαρακτηριστικών Χαμηλού Επιπέδου

Σκοπός της εξαγωγής Χαρακτηριστικών Χαμηλού Επιπέδου αποτελεί ο μετασχηματισμός της κυματομορφής σε μια απλούστερη αναπαράσταση, ώστε στη συνέχεια να καταστεί εφικτή η περαιτέρω επεξεργασία.

«Τα χαρακτηριστικά που προέρχονται από την επεξεργασία του ηχητικού σήματος συχνά κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες: χαμηλού επιπέδου και υψηλού επιπέδου. Παραδείγματα από την πρώτη κατηγορία είναι η ενέργεια σε διαφορετικές φασματικές περιοχές, ο Ρυθμός Διέλευσης από το Μηδέν της κυματομορφής, το Φασματικό Κεντροειδές, η Φασματική Ροή κ.ά. Αντιθέτως, τα χαρακτηριστικά υψηλού επιπέδου περιγράφουν ιδιότητες όπως ο ρυθμός, η μελωδία, η αρμονία ή η τονικότητα. Σε γενικές γραμμές, τα χαμηλού επιπέδου χαρακτηριστικά συνδέονται στενά με το ηχητικό σήμα, ενώ σε υψηλό επίπεδο τα χαρακτηριστικά αντιπροσωπεύουν περισσότερο αφηρημένες ιδιότητες της μουσικής.»²⁹

Θεμελιώδες εργαλείο για την εξαγωγή Χαρακτηριστικών Χαμηλού Επιπέδου, είναι η έννοια του «παραθύρου», δηλαδή του πλαισίου στο ηχητικό σήμα, το οποίο κομματιάζει το σήμα σε τεμάχια και εξάγει από κάθε τεμάχιο την σύνοψη κάποιου Χαρακτηριστικού. Με σκοπό την αποφυγή επίδρασης στο αποτέλεσμα ανάλογα με το μήκος του παραθύρου, ακολουθείται η τεχνική του «επικαλυπτόμενου

²⁵ Ο.π. Simon Dixon, «Match: A Music Alignment Tool Chest», [...] σ. 6

²⁶ Βλ. ενότητα «Τα ηχογραφήματα», στη σ. 7.

²⁷ Σέργιος Θεοδωρίδης – Άγγελος Πικράκης – Κωνσταντίνος Κουτρούμπας – Διονύσης Κάβουρας, *Introduction to Pattern Recognition: A Matlab Approach*, 2010, εκδ. Elsevier

²⁸ Υπουργείο Πολιτισμού, *Νόμος 2121 περί πνευματικής ιδιοκτησίας*, Αθήνα, 4.3.1993

²⁹ Markus Schedl, *Automatically Extracting, Analyzing, and Visualizing Information on Music Artists from the World Wide Web* (Ph.D. diss., Johannes Kepler Universität, Linz, 2008

παραθύρου», δηλαδή η μετακίνηση του παραθύρου, όχι κατά ένα ολόκληρο πλαίσιο, αλλά κατά ένα μέρος του.

Στη παρούσα περίπτωση, η χρονική διάρκεια του παραθύρου ορίστηκε στα 100 msec με 50 msec επικάλυψη μεταξύ διαδοχικών παραθύρων. Η απόφαση στηρίχτηκε στο γεγονός πως οι πιο σύντομοι μουσικοί φθόγγοι που αναμένεται να εμφανιστούν στο κομμάτι είναι δέκατα έκτα σε ρυθμό 80 bpm (beats per minute) και οι οποίοι αναμένεται να έχουν ελάχιστη διάρκεια 180 msec.

Κατασκευή τρόπου απεικόνισης (hairline)

Για τις ανάγκες διερεύνησης του βέλτιστου αλγόριθμου, κατασκευάστηκε μια λειτουργία σε επίπεδο διεπαφής του MATLAB, η οποία συνέδραμε στην εξέταση της αποτελεσματικότητας των αλγορίθμων. Πρόκειται για μια «λεπτή κόκκινη γραμμή» η οποία διατρέχει το γράφημα, κατά τη διάρκεια αναπαραγωγής του ηχογραφήματος.

5.1. Ενέργεια Βραχέως Χρόνου

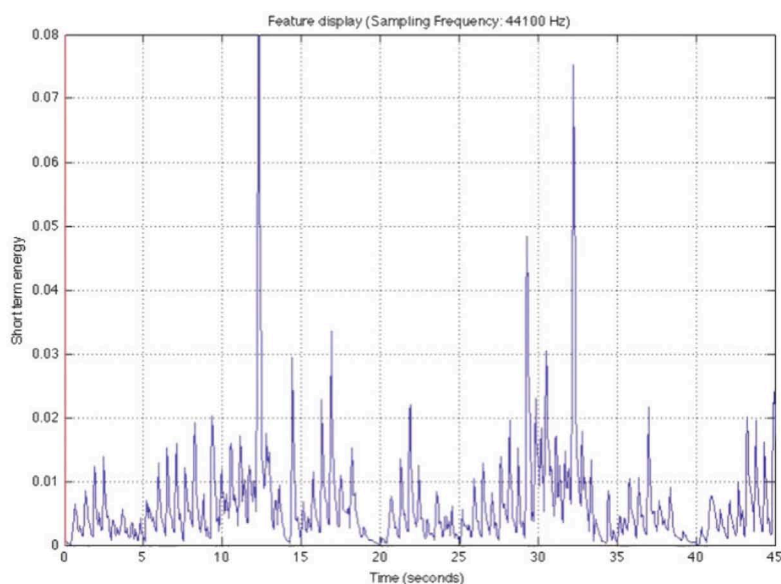
Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν είναι η Ενέργεια Βραχέως Χρόνου, η οποία συνοψίζει την κυματομορφή σε παράθυρα τιμών ενέργειας. Περιγράφει τις αυξομειώσεις στην ένταση του σήματος και ως εκ τούτου αποτυπώνει τα ηχητικά πλάνα και τις διαβαθμίσεις της έντασης που αποδίδει ο καθαριστής σε επίπεδο ερμηνείας. Επίσης, είναι πολύ χρήσιμο για τον εντοπισμό του σημείου έναρξης ενός φθόγγου (της «ατάκας» όπως την ονομάζουν οι μουσικοί) σε κατηγορίες μουσικών οργάνων όπως τα νυκτά έγχορδα και τα κρουστά. Για κάθε παράθυρο (L) η ενέργεια (E) εξάγεται ως εξής:

$$E = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L x^2(k)$$

Για το σύνολο των παραθύρων, ο τύπος έχει ως εξής:

$$E(i) = \frac{1}{L} \sum_{k=(i-1) \cdot L+1}^{i \cdot L} x^2(k)$$

Για παράδειγμα, παρατίθεται εδώ από στιγμιότυπο οθόνης η απεικόνιση της Ενέργειας Βραχέως Χρόνου από το Θέμα του έργου, σε ερμηνεία του Ευάγγελου Ασημακόπουλου:



Εικόνα 2. Ενέργεια Βραχέως Χρόνου: Θέμα (Ασημακόπουλος)³⁰

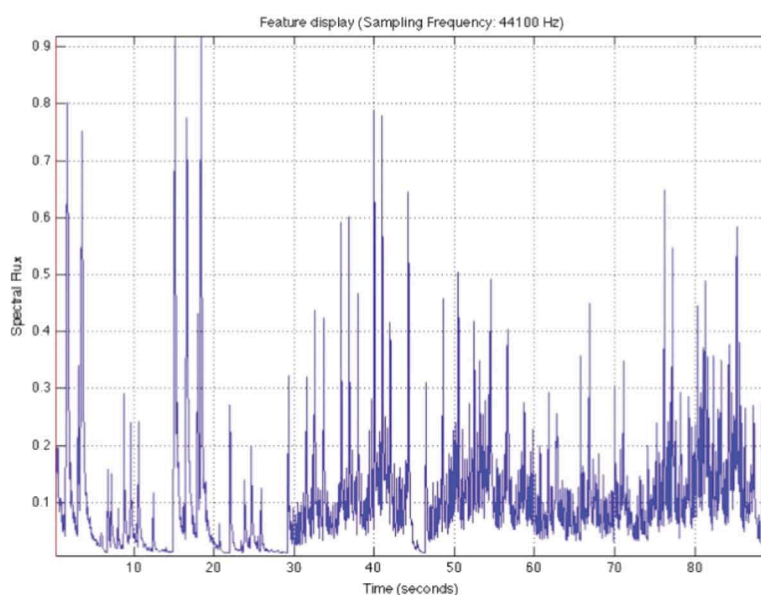
³⁰ Το διάγραμμα μαζί με την αναπαραγωγή ήχου παρατίθεται εδώ: <http://www.kolydart.gr/mir/107.html>

5.2. Φασματική Ροή

Πέρα από την Ενέργεια Βραχέως Χρόνου, ο συντελεστής που περιέγραψε με περισσότερη επιτυχία το χαρακτήρα των ηχογραφήμάτων ήταν ο συντελεστής Φασματικής Ροής. Ο συντελεστής αυτός περιγράφει την εκροή του συχνοτικού φάσματος, δηλαδή την διαφοροποίηση του συχνοτικού φάσματος από παράθυρο σε παράθυρο. Χρησιμοποιείται συχνά για τον εντοπισμό της χρονικής στιγμής ενός ρυθμικού γεγονότος (beat onset) και συνιστά το άθροισμα των τετραγώνων των διαφορών διά τον αριθμό των συντελεστών, δηλαδή:

$$S_f(i) = \frac{1}{2L+1} \sum_{k=0}^L \left(|X_{i+1}(k) - X_i(k)| \right)^2$$

Ένα παράδειγμα από την εισαγωγή του έργου σε ερμηνεία του Blanco είναι το εξής:



Εικόνα 3. Φασματική Ροή: Εισαγωγή (Blanco)³¹

5.3. Άλλες υποψηφιότητες

Παρατίθενται εδώ οι αλγόριθμοι που παρότι δοκιμάστηκαν, δεν στάθηκε δυνατό να χρησιμοποιηθούν. Ένας από αυτούς ήταν ο συντελεστής Ρυθμού Διέλευσης από το Μηδέν. Ο κύριος λόγος ήταν το γεγονός πως ο εν λόγω συντελεστής επηρεάζεται από το ποσοστό θορύβου που περιέχεται στο σήμα. Μάλιστα μερικές φορές χρησιμοποιείται ακριβώς για το σκοπό αυτό: για να εντοπίζει, δηλαδή, το ποσοστό θορύβου στο ηχητικό σήμα.³² Εφόσον τα ηχογραφήματα περιείχαν διαφορετικό ποσοστό θορύβου, ήταν φυσικό να τροποποιούνται σχετικά και οι τιμές από τον συντελεστή. Ο τύπος που περιγράφει τον συντελεστή είναι ο εξής:

$$zcr = \frac{1}{2L} \sum_{k=(i-1)L+2}^{iL} \left| \text{sgn}(x(k)) - \text{sgn}(x(k-1)) \right|$$

Αντίστοιχα, ο συντελεστής Φασματικού Κεντροειδούς φάνηκε πως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης. Ο συντελεστής αυτός περιγράφει το «κέντρο βάρους» του φάσματος,

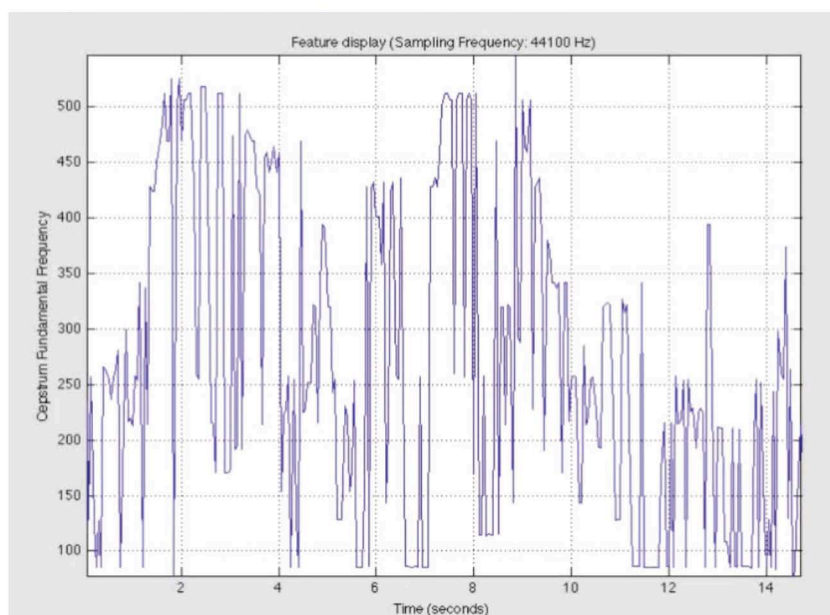
³¹ Το διάγραμμα μαζί με την αναπαραγωγή ήχου παρατίθεται εδώ: <http://www.kolydart.gr/mir/108.html>

³² George Tzanetakis – George Essl – Perry Cook, «Automatic Musical Genre Classification of Audio Signals», *Proc. Int. Symposium on Music Information Retrieval (ISMIR)*, Ινδιανάπολη, 2001

ή πιο απλά την λαμπρότητα του ήχου και ως εκ τούτου επηρεάζεται πολύ από την ποιότητα της ηχογράφησης και από το διαφορετικό όργανο που χρησιμοποιεί κάθε κιθαριστής. Από τις δοκιμές φάνηκε πως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί με μεγάλη επιτυχία για να φανεί σε ποιο σημείο της χορδής νύσσει την κιθάρα ο κιθαριστής (dolce, ronticello κ.λπ.). Περιγράφεται, δε ως εξής:

$$N(k) = \sum_{k=0}^{Fk \leq \frac{Fs}{2}} N(k) F_k$$

Ένας ακόμη υποψήφιος αλγόριθμος ήταν ο Cepstrum-based Fundamental Frequency Tracking. Παρότι σε κάποιες περιπτώσεις είχε καλή απόδοση, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων δεν φάνηκε χρήσιμος για τις ανάγκες της μελέτης. Παρατίθεται εδώ ένα τμήμα από την ερμηνεία του Segovia:



Εικόνα 4. Cepstrum-based Fundamental Frequency Tracking: Παραλλαγή αρ. 3 (Segovia)³³

5.4. Παραμετροποίηση

Ρυθμός δειγματοληψίας: 44100 Hz

Βάθος σήματος (bit depth): 16 bit

Μήκος παραθύρου: 4410 δείγματα (100 msec)

Βήμα παραθύρου: 2205 δείγματα (50 msec)

³³ Το διάγραμμα μαζί με την αναπαραγωγή ήχου παρατίθεται εδώ: <http://www.kolydart.gr/mir/109.html>

6. Αντιπαραβολή

6.1. Συνδυασμός στοιχείων του Συνόλου

Επόμενο στάδιο μετά από την εξαγωγή των Χαρακτηριστικών Χαμηλού Επιπέδου, αποτέλεσε η αντιπαραβολή των ηχογραφήματων. Τα ηχογραφήματα αντιπαραβάλλονται σε ζεύγη με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε ηχογράφημα να συγκριθεί με όλα τα υπόλοιπα (all against all). Οι πιθανοί συνδυασμοί των στοιχείων του συνόλου ανά δύο παρέχεται από τον δυωνυμικό συντελεστή:

$$\binom{n}{r} = \frac{n!}{(n-r)!r!}$$

Στη συγκεκριμένη περίπτωση υπήρχε διαφορετικός αριθμός διαθέσιμων εκτελέσεων, για κάθε μέρος του μουσικού έργου εφόσον κάποιοι κιθαριστές επέλεξαν να παραλείψουν κάποια μέρη. Έτσι, για την εισαγωγή του έργου όπου υπήρχαν διαθέσιμες 7 ερμηνείες, έγιναν 21 αντιπαραβολές, για το θέμα και τέσσερις από τις πέντε παραλλαγές υπήρχαν διαθέσιμες 11 ερμηνείες και έγιναν 55 αντιπαραβολές, ενώ σε μία παραλλαγή υπήρχε επιπλέον και ένα αρχείο ελέγχου³⁴ με αποτέλεσμα να πραγματοποιηθούν 66 αντιπαραβολές.

$$\binom{7}{2} = 21, \binom{11}{2} = 55, \binom{12}{2} = 66$$

Η αντιπαραβολή έγινε με τη χρήση αλγορίθμου Δυναμικής Στρέβλωσης Πεδίου Χρόνου.

6.2. Δυναμική Στρέβλωση Πεδίου Χρόνου

Η κατηγορία των αλγορίθμων με την πρωτότυπη ονομασία Δυναμική Στρέβλωση Πεδίου Χρόνου ασχολείται με τη μέτρηση της ομοιότητας μεταξύ δύο ακολουθιών που μπορεί να διαφέρουν σε χρόνο ή σε ταχύτητα. Έχει εφαρμοστεί σε βίντεο, ήχο και γραφικά, δηλαδή, όλες τις μορφές δεδομένων που μπορούν να αναπαρασταθούν με γραμμική απεικόνιση. Το πεδίο στο οποίο έχει εφαρμοστεί με μεγάλη επιτυχία αποτελεί η αυτόματη αναγνώριση ομιλίας, διότι είναι σε θέση να εντοπίζει πρότυπα με διαφορετική ταχύτητα. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της εργασίας προτάθηκε από τους Sakoe – Chiba³⁵ υλοποιημένος σε περιβάλλον MATLAB.³⁶

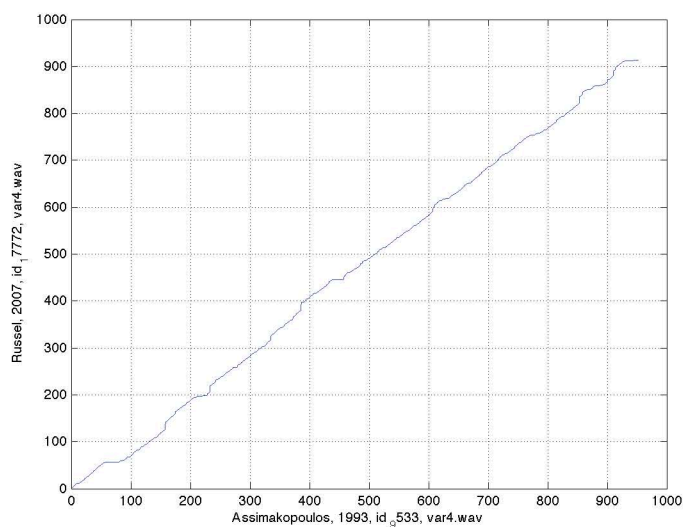
Το αποτέλεσμα από τη λειτουργία του αλγορίθμου είναι ένα διάνυσμα $1 \times N$ μιγαδικών αριθμών όπου N ο αριθμός των «παραθύρων». Τα δύο τμήματα του μιγαδικού (το πραγματικό και το φανταστικό) όταν απεικονιστούν σε σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων ορίζουν ένα σημείο στο επίπεδο. Κάθε σημείο αποτελεί τον κόμβο ενός «μονοπατιού», το οποίο απεικονίζει κατά πόσο οι εκάστοτε δύο ερμηνείες παρουσιάζουν ομοιότητες. Όσο πιο ευθύγραμμο είναι το μονοπάτι, τόσο περισσότερες ομοιότητες έχουν εντοπιστεί στο ζεύγος των ηχογραφήματων.

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων το μονοπάτι του γραφήματος έχει ομαλή διαδρομή. Δεν λείπουν, όμως, και οι εξαιρέσεις όπου ο αλγόριθμος αποτυγχάνει να ευθυγραμμίζει τα δύο ηχογραφήματα και παρουσιάζει ανωμαλίες. Ωστόσο το ποσοστό των αποτυχιών είναι πολύ μικρό σε σχέση με το σύνολο και μπορεί με σχετική ευκολία να αγνοηθεί. Ένα παράδειγμα μονοπατιού με ομαλή διαδρομή αποτελεί η αντιπαραβολή της Παραλλαγής αρ. 4 από τις ερμηνεία του Ευάγγελου Ασημακόπουλου και του David Russel:

³⁴ Βλ. σ. 7

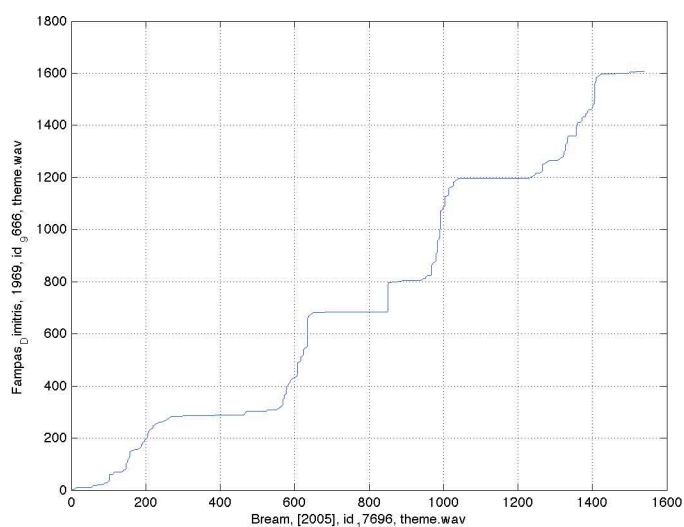
³⁵ Hiroaki Sakoe – Seibi Chiba, «Dynamic Programming Algorithm Optimization for Spoken Word Recognition», *IEEE Transactions On Acoustics, Speech, And Signal Processing*, 1978, τ. 26

³⁶ Ο.π. Θεοδωρίδης – Πικράκης κ.ά., *Introduction to Pattern Recognition* [...]



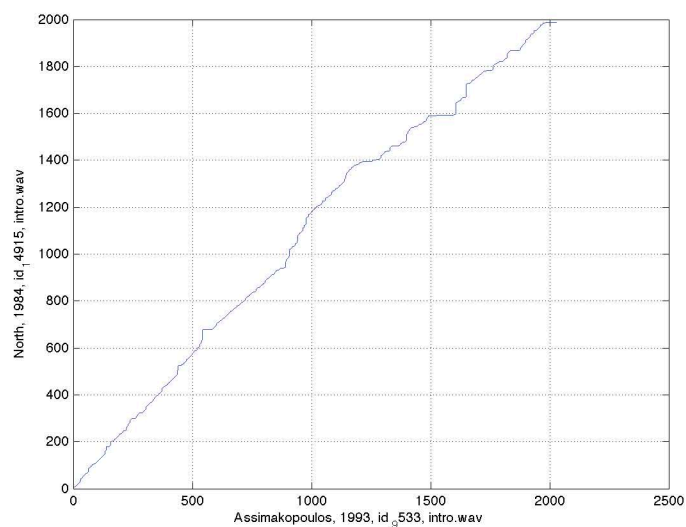
Εικόνα 5. Δυναμική Στρέβλωση Πεδίου Χρόνου: Παραλλαγή αρ. 4, (Ασημακόπουλος – Russel)

Όλα τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρατίθενται χάριν οικονομίας στην εξής ιστοσελίδα: <http://www.kolydart.gr/mir/110.html>. Ένα παράδειγμα μονοπατιού με ανώμαλη διαδρομή αποτελεί η αντιπαραβολή του Θέματος από την ερμηνεία του Δημήτρη Φάμπα και του Julian Bream:



Εικόνα 6. Δυναμική Στρέβλωση Πεδίου Χρόνου: Θέμα, (Φάμπας – Bream)

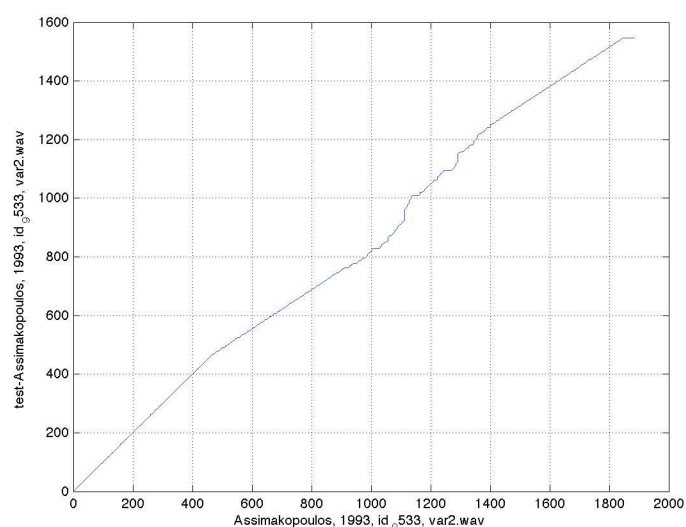
Στο πλαίσιο της αποσφαλμάτωσης επιδιώχθηκε η επαλήθευση της επιτυχούς ευθυγράμμισης μεταξύ των δύο ηχογραφήματων από τον αλγόριθμο. Για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκε μια λειτουργία στο περιβάλλον MATLAB, οι οποία δεχόταν ως είσοδο δύο σημεία του «μονοπατιού» και στη συνέχεια προχωρούσε στην αναπαραγωγή των αντίστοιχων τμημάτων από τα δύο ηχογραφήματα, ώστε να φανεί αν αντιστοιχούν στην ίδια μουσική. Παρατίθεται εδώ ένα παράδειγμα από την Εισαγωγή:



Εικόνα 7. Δυναμική Στρέβλωση Πεδίου Χρόνου: Εισαγωγή (Ασημακόπουλος – North)³⁷

Εξαιτίας των διαφορετικών συνθηκών υπό τις οποίες πραγματοποιήθηκε κάθε ηχογράφιση, πολλές φορές το τελικό αποτέλεσμα ακούγεται σε διαφορετικό τόνο σαν να έχουν τα όργανα διαφορετικό χόρδισμα. Ιδιαίτερα σε παλαιότερες ηχογραφήσεις όπου επενέβαιναν στην ταχύτητα περιστροφής του δίσκου κατά τη δημιουργία της μήτρας, οι διαφορές είναι αρκετά εντυπωσιακές. Η επέμβαση γινόταν εξαιτίας των περιορισμών στη διάρκεια του δίσκου, ώστε να χωρέσει ολόκληρο το έργο σε μια πλευρά του δίσκου. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, ο αλγόριθμος σημειώνει ικανοποιητικό ποσοστό επιτυχίας.

Η σύγκριση του αρχείου ελέγχου με το πρωτότυπο επιβεβαίωσε την επιτυχή λειτουργία του αλγορίθμου. Για το λόγο δημιουργίας του έγινε λόγος πιο πάνω (βλ. σ. 7). Στα σημεία όπου είχε πραγματοποιηθεί τροποποίηση είτε στην ταχύτητα, είτε στην ένταση, είτε στη συχνότητα, το μονοπάτι παρουσιάζει αποκλίσεις, ενώ στα σημεία που δεν υπάρχουν τροποποιήσεις, εμφανίζεται στο γράφημα μια ευθεία γραμμή.

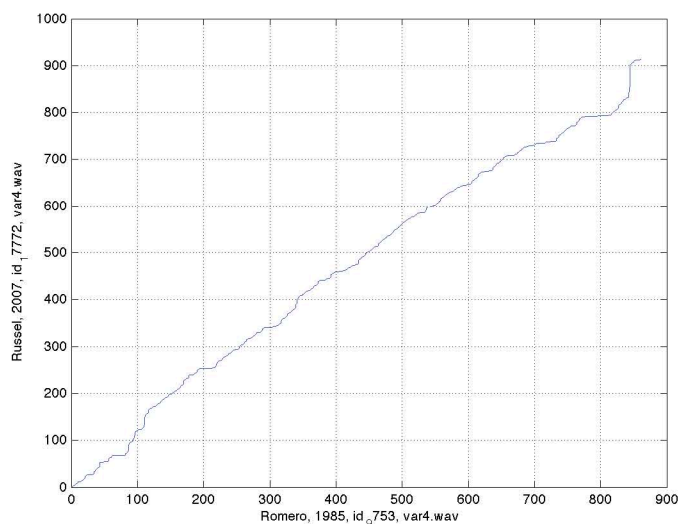


Εικόνα 8. Αρχείο ελέγχου σε αντιπαραβολή με το πρωτότυπο (Ασημακόπουλος)

³⁷ Το διάγραμμα μαζί με την αναπαραγωγή ήχου παρατίθεται εδώ: <http://www.kolydart.gr/mir/111.html>

Παρατηρώντας την Εικόνα 8 καθίσταται προφανές πως οι μετατροπές έχουν πραγματοποιηθεί στο κεντρικό τμήμα του ηχογραφήματος, ενώ η διάρκεια του αρχείου ελέγχου είναι μεγαλύτερη από το πρωτότυπο.

Ένα εύρημα που παρουσιάζει ενδιαφέρον, τέλος, αποτελεί ο εντοπισμός μέσω του γραφήματος σημείων που οι δύο κιθαριστές παίζουν διαφορετική μουσική, αλλά η διαφορά αυτή δεν έγινε αντιληπτή κατά το στάδιο προετοιμασίας του υλικού. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί το τέλος της Παραλλαγής αρ. 4 από την ερμηνεία του Romero, όπου ο κιθαριστής παίζει κάτι αρκετά διαφορετικό από την παρτιτούρα: το γράφημα από την αντιπαραβολή του με έναν πιο «πιστό στο πρωτότυπο» κιθαριστή αποκάλυψε τη διαφοροποίηση στη μουσική.



Εικόνα 9. Παραλλαγή αρ. 4 (Romero – Russel). Στο τέλος ο πρώτος κιθαριστής παίζει διαφορετικές νότες.

6.3. Παραμετροποίηση

Οι δύο αλγόριθμοι εξαγωγής Χαρακτηριστικών Χαμηλού Επιπέδου (Ενέργεια Βραχέως Χρόνου και Φασματική Ροή) παράγουν μονοδιάστατα διανύσματα με μήκος τον αριθμό των δειγμάτων του σήματος διά το μήκος του παραθύρου. Μερικές φορές, εξαιτίας του τρόπου με τον οποίο λειτουργούν το μήκος τους διαφέρει κατά μία τιμή (ένα παράθυρο). Επειδή τα διανύσματα αυτά στη συνέχεια ενώνονται σε ένα πολυδιάστατο για να οδηγηθούν στο επόμενο στάδιο είναι απαραίτητη η εξίσωση του μήκους τους. Αυτό επιτυγχάνεται προσθέτοντας μια μηδενική τιμή στο τέλος του μικρότερου διανύσματος με τη συνάρτηση `vector_length_equate()`.

7. Εκτίμηση κόστους

Ο μεγάλος αριθμός των παραγόμενων γραφημάτων από το στάδιο της αντιπαραβολής μεταξύ των ερμηνειών, κατέστησε απαραίτητη τη δημιουργία μιας μεθόδου για την εκτίμηση του «κόστους» της σύγκρισης. Μιας τιμής, δηλαδή, που να εκφράζει πόσο σύντομο είναι το μονοπάτι· σε ποιο βαθμό οι δύο ερμηνείες παρουσιάζουν ομοιότητες. Όσο πιο ίσιο είναι το μονοπάτι, τόσο μεγαλύτερη συνάφεια υπάρχει μεταξύ των δύο ερμηνειών. Αντίθετα, όσο πιο πολλές αποκλίσεις παρουσιάζει από την διαγώνιο, τόσο πιο μακριά είναι οι δύο ερμηνείες μεταξύ τους. Η προσέγγιση που επιλέχθηκε είναι απλή και στηρίζεται στο δεδομένο πως ο συντομότερος δρόμος μεταξύ δύο σημείων είναι η ευθεία. Αν μεταξύ της αφετηρίας και του τέλους κάθε μονοπατιού μετρηθεί η απόσταση της ευθείας που τα συνδέει και το μήκος αυτό διααιρεθεί με το μήκος του μονοπατιού, τότε ο λόγος που προκύπτει παρέχει μια αντικειμενική τιμή της απόκλισης του μονοπατιού από το «ιδεατό», δηλαδή την ευθεία. Αν ορίσουμε ως x_j και y_j τη θέση κάθε κόμβου του μονοπατιού στο επίπεδο, τότε ο λόγος της καμπύλης (Curve Ratio) προς την ιδεατή ευθεία δίνεται από τον τύπο:

$$CR = \frac{\sqrt{x_n^2 + y_n^2}}{\sum_{j=1}^n \sqrt{(x_j - x_{j-1})^2 + (y_j - y_{j-1})^2}}$$

Όσο ο λόγος πλησιάζει προς τη μονάδα, τόσο πιο ευθύγραμμη είναι η διαδρομή του μονοπατιού. Όσο πλησιάζει προς το μηδέν, τόσο περισσότερες ανωμαλίες εμφανίζονται στο μονοπάτι. Τα αποτελέσματα από όλες τις συγκρίσεις τοποθετήθηκαν σε πίνακες από τους οποίους εξάγεται ποιες ερμηνείες βρίσκονται κοντά και ποιες μακριά μεταξύ τους.

8. Υλοποίηση

Παρατίθενται εδώ τα σενάρια εντολών που δημιουργήθηκαν από το συγγραφέα σε περιβάλλον matlab, στο πλαίσιο της μελέτης. Στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι από άλλες πηγές, παρατίθεται μόνο η παραπομπή στην πηγή.

8.1. audio_read()

```
function [x,Fs,bits] = audio_read(file_path)
if nargin == 0
    cd (readDir);
    [filename, pathname] = uigetfile({'*.mp3'; '*.wav'; '*.*'}, 'File Selector');
    file_path=[pathname filename];
end
if (max(strfind(file_path, '.mp3'))==length(file_path)-3)
    [x,Fs,bits]=mp3read(file_path);
elseif (max(strfind(file_path, '.wav'))==length(file_path)-3)
    [x,Fs,bits]=wavread(file_path);
end
x=stereo2mono(x); % two channels to one
x= x ./ max(abs(x)); % normalize
```

8.2. audio_display_update_hairline()

```
function audio_display_update_hairline(sound,event,Fs)
curr_pos= (get(sound, 'CurrentSample')/Fs);
h_line = get(sound, 'UserData');
set(h_line, 'XData', [curr_pos, curr_pos]);
set(sound, 'UserData', h_line);
return
```


8.3. audio_display()

```
function [h_line]=audio_display(x,Fs,winstep,feature)
%% initialize
if ~exist('Fs','var')
    Fs = 44100; % (default Fs)
end
if ~exist('winstep','var')
    winstep = 1; % (default winstep = full signal)
end
%% figure
h_figure = figure(1);
if ~exist('feature','var') %default (Frequency)
    plot( ((0:length(x)-1)/Fs) , x);
    title(['Waveform (Sampling Frequency: ', num2str(Fs), ' Hz)']);
    xlabel('Time (seconds)');
    ylabel('Amplitude');
else %specific Feature
    plot( ((0:length(feature)-1)*winstep/Fs), feature);
    title(['Feature display (Sampling Frequency: ', num2str(Fs), ' Hz)']);
    xlabel('Time (seconds)');
    ylabel('Feature');
end
grid on;
%% plot axes
h_axe = get(h_figure, 'CurrentAxes');
curr_pos = 0;
axes(h_axe);
v_lim_y = get(h_axe, 'YLim');
h_line = line([curr_pos, curr_pos], [v_lim_y(1), v_lim_y(2)]);
set(h_line, 'Color', [1 0 0], 'EraseMode' , 'normal');
end
```

8.4. audio_play()

```
function sound=audio_play(x,Fs,action,sound,from,to,winstep,feature)
% 2010.03 www.kolydart.gr
% play sound. Object is returned so that you can call the function again
% x = signal
% Fs = Sample Frequency. Defaults to 44100Hz. If Fs=1, no Fs is calculated
% from-to = start from and stop before. Must define action (usually play).
% sound = object that already exists to interact with
% action = play / stop / playpause /partial (pause & resume are guessed
% based on current state)
% line handle is stored in UserData sound object

updatePeriod = 0.1;
if (~exist('Fs','var'))
    Fs = 44100;
end
if (exist('winstep','var'))
    h_line=audio_display(x,Fs,winstep,feature);
else
    h_line=audio_display(x,Fs);
end
if (~exist('sound','var'))
    sound=audioplayer(x,Fs);
end
%% main call
set (sound, 'TimerFcn', 'audio_display_update_hairline(sound,[],Fs)') ;
set (sound, 'TimerPeriod', updatePeriod);
```

```

    set (sound, 'UserData', h_line);
%% set default var
if ~exist('action', 'var')
    action = 'playpause';
end
%% perform action
if (strcmp (action, 'playpause') && strcmp (sound.Running, 'off'))
    resume(sound);
elseif (strcmp (action, 'playpause') && strcmp (sound.Running, 'on'))
    pause(sound);
elseif strcmp (action, 'stop')
    stop(sound);
elseif (strcmp (action, 'play') && strcmp (sound.Running, 'on'))
    stop(sound); % you cannot have two sounds at the same time
elseif (strcmp (action, 'play') && strcmp (sound.Running, 'off'))
    play(sound);
elseif (strcmp (action, 'partial') && strcmp (sound.Running, 'off'))
    play(sound, [from*Fs to*Fs]);
end
end

```

8.5. stereo2mono()

```

function [ x ] = stereo2mono( x )
% average stereo to mono if needed
[x_axis, y_axis]=size(x);
if y_axis == 2
    x=0.5*(x(:,1)+x(:,2));
end

```

8.6. vector_length_equate()

```

% function which compares the length of two vectors
% and in case one of them is smaller, zero it's last value
% so that both have the same length
% could use function "samplealign" instead
function [x,y]=vector_length_equate(x,y)
    if length(x)~=length(y)
        if length(x)<length(y)
            x(length(y))=0;
        else
            y(length(x))=0;
        end
    end
end

```

8.7. path_length_ratio()

```

function [ result ] = path_length_ratio( vector )
%path_length_ratio
% determine path length in relation to optimum path length (straight line)
% input is a 1xN imaginatry number vector, like:
% vector=[0+0i;2+2i;3+4i;3+5i;4+6i;6+5i;7+5i;8+6i;9+8i;10+10i]
path_length=sum(sqrt(diff(real(vector)).^2 + diff(imag(vector)).^2));
optimum_length=sqrt(real(vector(length(vector)))^2 + imag(vector(length(vector)))^2);
result=optimum_length/path_length;
end

```

8.8. saveFigures()

```
function [ ] = saveFigures( readDirectory, subDir, saveDir )
dirContents=dir([readDirectory subDir '/' '*.*mat']);

for k=1:length(dirContents)
    %%
    load ([readDirectory subDir '/' dirContents(k).name]);
    plot(result.BestPath);
    xlabel (result.filename_ref);
    ylabel (result.filename_test);
    grid on;
    h=figure(1);
    saveas(h,[saveDir subDir '-' dirContents(k).name '.png']);
end
end
```

8.9. main()

```
function main(readDir, saveDir)

wlength = 0.1; % length of window length as ratio over second 0.1= 100 msec
wstep = 0.05; % length of window step 50 msec
dirContents= [dir([readDir '*.*mp3']);dir([readDir '*.*wav'])]; % select every audio file
for k=1:length(dirContents)
    [x_ref,Fs_ref,bits_ref] = audio_read([readDir dirContents(k).name]);
    winstep=floor(wstep*Fs_ref);
    winlength=winstep*(wlength/wstep);
    [E_ref,T_ref]=stEnergy(x_ref,Fs_ref,winlength,winstep);38 % Short Term Energy
    E_ref=E_ref/max(E_ref); % normalize
    [Sf_ref,T_ref]=stSpectralFlux(x_ref,Fs_ref,winlength,winstep,'hamming');39 % Spectral
    Flux
    Sf_ref=Sf_ref/max(Sf_ref); % normalize

    [E_ref,Sf_ref]=vector_length_equate(E_ref,Sf_ref);
    ref=[E_ref;Sf_ref];

    for l=1:length(dirContents)
        if (k<l)
            [x_test,Fs_test,bits_test] = audio_read([readDir dirContents(l).name]);
            [E_test,T_test]=stEnergy(x_test,Fs_ref,winlength,winstep);% Short Term Energy
            E_test=E_test/max(E_test);
            [Sf_test,T_test]=stSpectralFlux(x_test,Fs_test,winlength,winstep,'hamming');
            %Spectral Flux
            Sf_test=Sf_test/max(Sf_test);

            [E_test,Sf_test]=vector_length_equate(E_test,Sf_test);
            test=[E_test;Sf_test];
            [MatchingCost,BestPath,D,Pred]=DTWSakoe(ref,test,0);40 %Dynamic Time Warping
            (Sakoe)

            result=struct (...
                'filedir',readDir,...
                'filename_ref',dirContents(k).name, 'filename_test',dirContents(l).name, ...
```

³⁸ Ο.π. Θεοδωρίδης – Πικράκης κ.ά., *Introduction to Pattern Recognition* [...]

³⁹ Ibid.

⁴⁰ Ibid.

```

        'MatchingCost', MatchingCost, ...
        'BestPath', BestPath, ...
        'E_ref', E_ref, ...
        'Sf_ref', Sf_ref, ...
        'E_test', E_test, ...
        'Sf_test', Sf_test);

    save ([saveDir,'result_', num2str(k), '_', num2str(l), '.mat'], 'result');
    cost = path_length_ratio(result.BestPath);
    clear result;
end
end
end
end
end

```

8.10. read_results()

```

function read_results(readDirectory)
dirContents=dir([readDirectory '*.mat']);
tabtext=strcat('k','\t','path_length','\t','filename_ref','\t','filename_test','\t',...
'filename_result','\n'); %initialize (header)
%%
for k=1:ceil(length(dirContents))
%%
filename = dirContents(k).name;
load ([readDirectory filename]);
%%
%%
tabtext=strcat(tabtext,...
num2str(k),'\t', ...
num2str(path_length_ratio(result.BestPath)),'\t',...
num2str(result.filename_ref), '\t', ...
num2str(result.filename_test), '\t', ...
num2str(dirContents(k).name), ...
'\n');
%%
end
%%
fprintf(tabtext)
end

```

9. Αξιολόγηση

9.1. από τη σκοπιά της Πληροφορικής

Δεδομένου πως οι αντιπαραβολές πραγματοποιήθηκαν σε κάθε ένα από τα επτά μέρη του έργου χωριστά, ένα πρώτο αίτημα αποτέλεσε η παράθεση συγκεντρωτικών στοιχείων σχετικά με το κόστος της αντιπαραβολής. Υπενθυμίζεται πως το κόστος εκφράζεται ως λόγος με μέγιστη τιμή τη μονάδα (απόλυτη ταύτιση) και ελάχιστη τιμή το μηδέν (καθόλου ταύτιση).

	μ	σ	min	max
intro	0.8500	0.0201	0.7982	0.8728
theme	0.8579	0.0284	0.7767	0.9041
var1	0.8630	0.0219	0.7955	0.8952
var2	0.8628	0.0185	0.8104	0.9170
var3	0.8533	0.0192	0.8019	0.8810
var4	0.8620	0.0377	0.7626	0.9210
var5	0.8334	0.0263	0.7680	0.8766

Πίνακας 1. Κόστος σύγκρισης ανά μέρος του έργου

Από τις τιμές του πίνακα εξάγεται το συμπέρασμα πως σε επίπεδο μέσων τιμών, τα καλύτερα ποσοστά ταιριάσματος επιτεύχθηκαν στις παραλλαγές αρ. 1, 2 και 4. Η μικρότερη επιτυχία σημειώνεται στην παραλλαγή αρ. 5. Η μεγαλύτερη ομοιογένεια παρουσιάζεται στις παραλλαγές αρ. 2 και 3 όπου η τυπική απόκλιση βρίσκεται κάτω από το 0.02. Αντιθέτως, η μεγαλύτερη ανομοιογένεια παρουσιάζεται στην παραλλαγή αρ. 4. Έτσι εξηγείται το ότι στην παραλλαγή αυτή εμφανίζεται τόσο η ελάχιστη (0.7626) όσο και η μέγιστη τιμή (0.9210).

Ακολούθως, εξετάστηκαν οι ερμηνείες από τα διάφορα μέρη του έργου, παιγμένα από το ίδιο ζεύγος μουσικών, ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο τα κόστη στους πίνακες αντιπαραβολής παρουσιάζουν ομοιογένεια. Δηλαδή, σε ποιο βαθμό το κόστος σύγκρισης από το εκάστοτε ζεύγος κιθαριστών παρουσιάζει παρόμοια αποτελέσματα για όλα τα μέρη του έργου που εξετάστηκαν. Το στοιχείο που αναζητήθηκε, κυρίως, ήταν η θέση (rank) στον πίνακα κατάταξης που καταλαμβάνει το κάθε ζεύγος. Για το λόγο αυτό, ως βασικό δεδομένο δεν χρησιμοποιήθηκε το κόστος σύγκρισης, αλλά η θέση στον πίνακα κατάταξης. Επειδή ο πίνακας κατάταξης για κάποια μέρη του έργου περιείχε διαφορετικό αριθμό αποτελεσμάτων απ' ότι σε άλλα,⁴¹ τα αποτελέσματα κανονικοποιήθηκαν σε τιμές μεταξύ του μηδέν και της μονάδας. Επιπλέον, παρατίθεται και ο αριθμός των συγκρίσεων που πραγματοποιήθηκαν: 6 στην περίπτωση που ένας από τους δύο παρέλειψε την εισαγωγή ή 7 στην περίπτωση που και οι δύο περιέλαβαν την εισαγωγή.

	μ	σ	min	max	count
Fampas-Miliaressis	0.8657	0.1707	0.53	1.00	6
Assimakopoulos-North	0.8114	0.1773	0.51	0.97	7
Fampa-North	0.7722	0.0846	0.65	0.91	7
Assimakopoulos-Williams	0.7646	0.3053	0.16	0.98	6
Blanco-Williams	0.7525	0.2553	0.33	1.00	6
Assimakopoulos-Russel	0.7236	0.3211	0.10	0.98	7
Fampa-Romero	0.7223	0.1213	0.56	0.95	7
Blanco-Fampa	0.7063	0.2876	0.31	1.00	7
Assimakopoulos-Bream	0.6899	0.3120	0.24	0.98	7
Assimakopoulos-Miliaressis	0.6778	0.1727	0.40	0.89	6
Fampa-Russel	0.6510	0.2002	0.35	0.96	7
Blanco-North	0.6446	0.2230	0.24	1.00	7
Assimakopoulos-Fampa	0.6330	0.1986	0.29	0.85	7
Blanco-Russel	0.6199	0.3366	0.07	0.98	7
Fampa-Williams	0.6167	0.1710	0.45	0.86	6
Bream-North	0.6160	0.2900	0.24	1.00	7
North-Williams	0.6106	0.2260	0.38	0.95	6
Blanco-Romero	0.6053	0.0944	0.48	0.76	7
Segovia-Williams	0.6010	0.2780	0.16	0.91	6
Miliaressis-Romero	0.5813	0.2677	0.20	0.96	6
Romero-Russel	0.5784	0.1464	0.40	0.81	7
Assimakopoulos-Blanco	0.5732	0.3767	0.14	0.93	7
North-Russel	0.5519	0.2607	0.25	0.98	7
North-Romero	0.5458	0.2472	0.19	0.87	7
Miliaressis-Russel	0.5328	0.2206	0.27	0.83	6
Bream-Fampa	0.5278	0.2919	0.20	0.95	7
Assimakopoulos-Romero	0.5224	0.3323	0.05	0.95	7
Fampa-Segovia	0.5192	0.3268	0.18	1.00	6
Romero-Williams	0.5177	0.2429	0.18	0.82	6
Bream-Williams	0.5131	0.3245	0.11	0.85	6
Russel-Williams	0.4960	0.3213	0.07	0.85	6
North-Segovia	0.4854	0.2514	0.20	0.93	6
Blanco-Miliaressis	0.4818	0.3350	0.04	0.93	6
Assimakopoulos-Segovia	0.4616	0.2994	0.13	0.89	6
Fampas-Russel	0.4591	0.2526	0.14	0.84	6
Fampa-Miliaressis	0.4293	0.2760	0.16	0.85	6
Fampa-Fampas	0.4207	0.2255	0.11	0.75	6
Bream-Russel	0.4054	0.2243	0.11	0.84	7
Assimakopoulos-Fampas	0.4020	0.2610	0.03	0.71	6

⁴¹ Σχετικά με την απαλειφή κάποιων μερών από κιθαριστές έγινε λόγος πιο πάνω, (βλ. σ. 18)

Miliaressis-North	0.3909	0.2601	0.13	0.85	6
Fampas-Romero	0.3899	0.1842	0.12	0.64	6
Blanco-Bream	0.3868	0.2251	0.02	0.62	7
Bream-Romero	0.3583	0.2285	0.11	0.82	7
Romero-Segovia	0.3515	0.2428	0.15	0.80	6
Blanco-Segovia	0.3429	0.2293	0.05	0.62	6
Blanco-Fampas	0.3374	0.2901	0.06	0.71	6
Russel-Segovia	0.3273	0.3201	0.04	0.82	6
Bream-Segovia	0.3192	0.1273	0.15	0.45	6
Fampas-North	0.2823	0.2117	0.08	0.56	6
Bream-Miliaressis	0.2601	0.2574	0.05	0.67	6
Miliaressis-Segovia	0.2571	0.3377	0.02	0.92	6
Fampas-Segovia	0.2051	0.2847	0.02	0.75	6
Miliaressis-Williams	0.1793	0.1651	0.04	0.47	6
Bream-Fampas	0.1298	0.1656	0.02	0.45	6
Fampas-Williams	0.1136	0.1031	0.02	0.29	6

Πίνακας 2. Κατάταξη ανά ζεύγος κιθαριστών (ταξινόμηση κατά μέση τιμή)

Από τον πίνακα που προηγήθηκε, εξάγεται το συμπέρασμα πως το ζεύγος με την υψηλότερη θέση στον πίνακα κατάταξης είναι οι Δημήτρης Φάμπας και Γεράσιμος Μηλιαρέσης, ενώ στη χαμηλότερη θέση βρίσκονται το ζεύγος Δημήτρης Φάμπας και John Williams. Τη μεγαλύτερη ομοιογένεια, δηλαδή την μικρότερη τυπική απόκλιση, παρουσιάζουν τα ζεύγη Εύας Φάμπας και Nigel North, ενώ η μεγαλύτερη απόκλιση εμφανίστηκε στις ερμηνείες των Ευάγγελου Ασημακόπουλου και Diego Blanco.

Τέλος, εξετάστηκαν τα αποτελέσματα από κάθε κιθαριστή χωριστά, δηλαδή οι τιμές που εξήχθησαν από την αντιπαραβολή σε κάθε ζεύγος που συμμετείχε. Στον πίνακα με τα αποτελέσματα του κόστους σύγκρισης που παρατίθεται εδώ, έχει προστεθεί ένα επιπλέον πεδίο που θα σχολιαστεί πιο κάτω: το έτος γέννησης.

	birth	μ	σ	min	max
Assimakopoulos	1940	0.8658	0.0265	0.7982	0.9195
Fampa	1964	0.8628	0.0185	0.8024	0.9041
North	1954	0.8602	0.0215	0.7905	0.8952
Romero	1944	0.8583	0.0202	0.7982	0.9086
Russel	1953	0.8583	0.0258	0.7800	0.9195
Blanco	1950	0.8582	0.0305	0.7680	0.9041
Williams	1941	0.8557	0.0301	0.7722	0.9099
Miliaressis	1918	0.8510	0.0326	0.7690	0.9210
Bream	1933	0.8496	0.0272	0.7680	0.9074
Segovia	1899	0.8437	0.0265	0.7626	0.8832
Fampas	1921	0.8406	0.0306	0.7626	0.9210

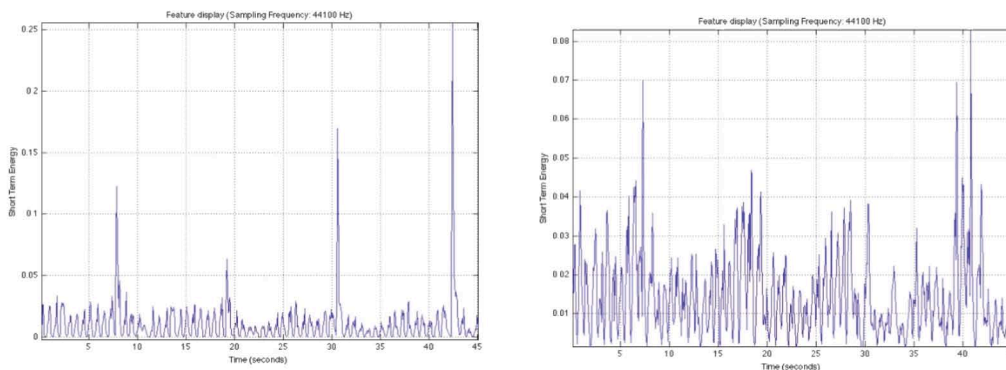
Πίνακας 3. Κόστος σύγκρισης ανά κιθαριστή (ταξινόμηση κατά μέση τιμή)

9.2. από τη σκοπιά της Μουσικολογίας

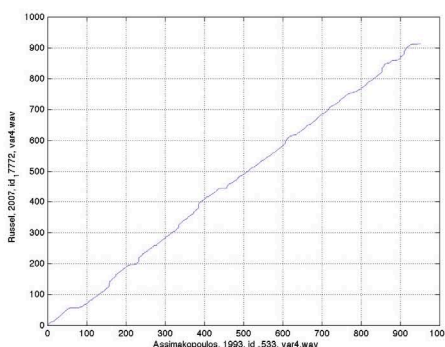
Η επεξεργασία του υλικού απέφερε πολλά και ενδιαφέροντα ευρήματα. Κατ' αρχάς φάνηκε μέσα από ένα πολύ μεγάλο αριθμό εκτελέσεων, ποιες ερμηνείες συγγενεύουν περισσότερο από άλλες. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 362 αντιπαραβολές ζευγών ηχογραφήματων, για ένα και μόνο έργο: μια δραστηριότητα που θα απαιτούσε τεράστια αποθέματα χρόνου και δυνάμεων για να πραγματοποιηθεί με τον ίδιο τρόπο από τον άνθρωπο.

Καθοριστικό στοιχείο στην ερμηνεία των κιθαριστών αποτέλεσε η σταθερότητα του ρυθμού με τον οποία ερμήνευσαν τη μουσική. Θα μπορούσε κανείς να διακρίνει δύο ερμηνευτικές σχολές: την παλαιότερη που χρησιμοποιεί πολύ έντονο *rubato* και τη νεότερη που ακολουθεί πιο σταθερό ρυθμό. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται και στο βαθμό ενημέρωσης των μουσικών σχετικά με το ύφος του συνθέτη και της εποχής στην οποία γράφτηκε το έργο. Οι πρώτες γενιές κιθαριστών ακολούθησαν μια ερμηνευτική προσέγγιση ρομαντικού τύπου με μεγαλύτερες αντιθέσεις στον τομέα της έντασης και αστάθεια στον τομέα του ρυθμού. Την προσέγγιση αυτή την εφάρμοσαν σε όλα τα είδη μουσικής που έπαιξαν από όποια εποχή και αν προέρχονταν. Με την πάροδο του χρόνου, όμως, η ιστορική έρευνα και μελέτη πάνω στο ρεπερτόριο της κιθάρας κατέδειξε πως αυτό δεν είναι εφικτό για όλα τα είδη μουσικής και πως κάθε διαφορετική εποχή συνδυάζεται με διαφορετικό ερμηνευτικό ύφος. Κατά συνέπεια, όσο πιο

σύγχρονες είναι οι εκτελέσεις, τόσο πιο κοντά βρίσκονται στο κλασικό ύφος της εποχής του Sor. Όμως, η «απαλειφή» του ερμηνευτικού σφάλματος είχε αρνητικές συνέπειες στην ποικιλομορφία της μουσικής: όλο και περισσότεροι μουσικοί παίζουν την μουσική με τον ίδιο σχεδόν τρόπο, εφόσον αποσκοπούν στο ίδιο –αντικειμενικά– αποτέλεσμα. Έτσι, παρότι στις ηχογραφήσεις παλαιότερων κιθαριστών περιέχουν περισσότερα ερμηνευτικά «σφάλματα», παρουσιάζουν περισσότερη πρωτοτυπία, ενώ οι ηχογραφήσεις νεότερων κιθαριστών που έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια στην απόδοση του ύφους, παρουσιάζουν μικρή πρωτοτυπία. Για παράδειγμα, οι ερμηνείες της Παραλλαγής αρ. 4 από τον Ευάγγελο Ασημακόπουλο και τον David Russel παρουσιάζουν μεγάλες ομοιότητες:



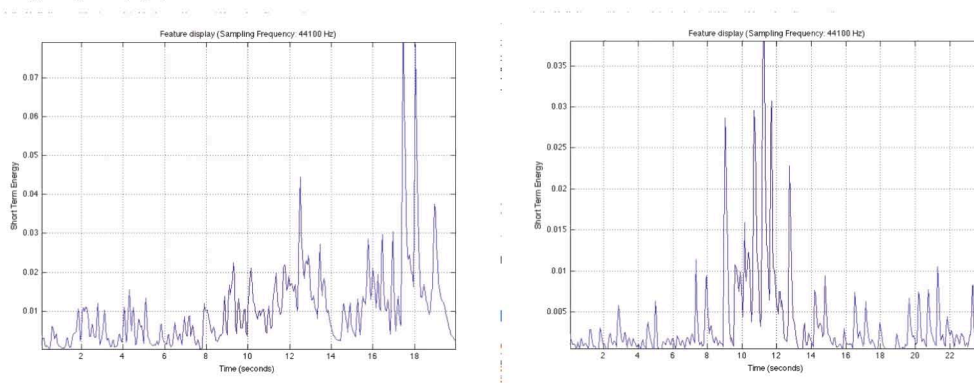
Εικόνα 10. Ενέργεια Βραχέως Χρόνου από την Παραλλαγή αρ. 4 (Ασημακόπουλος – Russel)



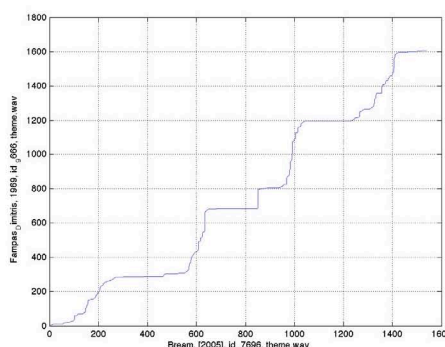
Εικόνα 11. Αντιπαραβολή χαρακτηριστικών από Εικόνα 10 (Ασημακόπουλος – Russel)⁴²

Στην περίπτωση του πίνακα με την εκτίμηση κόστους, τα συμπεράσματα αυτά εξάγονται από το γεγονός πως τα παλαιότερα ηχογραφήματα βρίσκονται συνήθως σε χαμηλές θέσεις στον πίνακα, δηλαδή παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές με τα υπόλοιπα. Μάλιστα στα ηχογραφήματα αυτά, παρουσιάστηκαν και οι ολιγάριθμες αστοχίες του αλγόριθμου σύγκρισης. Ένα παράδειγμα με μεγάλες διαφορές αποτελεί η ερμηνεία πάνω στο Θέμα από τους Φάμπια και Bream:

⁴² Το διάγραμμα μαζί με την αναπαραγωγή ήχου παρατίθεται εδώ: <http://www.kolydart.gr/mir/112.html>



Εικόνα 12. Ενέργεια Βραχέως Χρόνου από το Θέμα (Φάμπας – Bream)

Εικόνα 13. Αντιπαραβολή χαρακτηριστικών από Εικόνα 12 (Φάμπας – Bream)⁴³

Από την ακρόαση του ηχογραφήματος φανερώνεται πως ο Δημήτρης Φάμπας χρησιμοποιεί tubato στην ερμηνεία του, ενώ ο Julian Bream παίζει χωρίς να αποκλίνει στον ρυθμό.

Το εγχείρημα, πέρα από την επιβεβαίωση (ή απόρριψη) των υποθέσεων που είχαν τεθεί εξ' αρχής, οφέλησε διότι αποκάλυψε απρόσμενα στοιχεία που δεν περιλαμβάνονταν στις αρχικές προβλέψεις. Ο αρχικός στόχος ήταν η διερεύνηση της συγγένειας μεταξύ των ερμηνειών δασκάλου και μαθητή, δηλαδή μια κάθετη αναζήτηση ομοιότητας. Τα πιο ενδιαφέροντα αποτελέσματα, ωστόσο φάνηκαν από την οριζόντια αναζήτηση ομοιότητας, δηλαδή την όλο και μεγαλύτερη ομοιότητα που παρουσιάζουν οι ερμηνείες των νεότερων γενιών καθαριστών.

10. Βιβλιογραφία

[ταξινόμηση κατά χρονολογία]

- M.E.P. Davies – N. Degara – M.D. Plumbley, «Measuring the Performance of Beat Tracking Algorithms Using a Beat Error Histogram», περ. *Signal Processing Letters, IEEE*, 3.2011, τ. 18/3, σ. 157 - 160
- Σέργιος Θεοδωρίδης – Άγγελος Πικράκης – Κωνσταντίνος Κουτρούμπας – Διονύσης Κάβουρας, *Introduction to Pattern Recognition: A Matlab Approach*, 2010, εκδ. Elsevier
- J. Stephen Downie, «The Music Information Retrieval Evaluation / Exchange (2005-2007): A window into music information retrieval / research», *Acoustical Science and Technology*, 2008, τ. 29/4, σ. 247-255
- Markus Schedl, *Automatically Extracting, Analyzing, and Visualizing Information on Music Artists from the World Wide Web* (Ph.D. diss., Johannes Kepler Universität), Linz, 2008
- Ιάσωνας Αντωνόπουλος – Άγγελος Πικράκης – Σέργιος Θεοδωρίδης, «Locating Rhythmic Patterns In Music Recordings Using Hidden Markov Models», περ. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 2007

⁴³ Το διάγραμμα μαζί με την αναπαραγωγή ήχου παρατίθεται εδώ: <http://www.kolydart.gr/mir/113.html>

- Simon Dixon, «Evaluation of the Audio Beat Tracking System BeatRoot», *Journal of New Music Research*, 2007, τ. 36
- Τάσος Κολυδάς, *Δημήτρης Φάμπας: ο κιθαριστής, ο μουσικοπαιδαγωγός, ο συνθέτης* (διδασκαρική διατριβή, Τμήμα Μουσικών Σπουδών - Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2006)
- Simon Dixon, «Match: A Music Alignment Tool Chest», *6th International Conference on Music Information Retrieval*, Λονδίνο, 2005
- Stephan Lippens – George Tzanetakis – κ.ά., «A Comparison of Human and Automatic Musical Genre Classification», *Proc. IEEE Int. Conf. on Audio, Speech and Signal Processing*, Μόντρεαλ, 2004
- Γεράσιμος Μηλιαρέσης, *Ήχοι και Απόηχοι / Απομνημονεύματα*, Αθήνα, 2002, εκδ. Κέδρος
- George Tzanetakis – George Essl – Perry Cook, «Automatic Musical Genre Classification of Audio Signals», *Proc. Int. Symposium on Music Information Retrieval (ISMIR)*, Ινδιανάπολη, 2001
- Graham Wade – Gerard Garno, *A New Look at Segovia: His Life and his Music*, Μιζούρι, 2000, εκδ. Mel Bay, 2η έκδοση, τ. 1
- Richard Hudson, *Stolen Time / The History of Tempo Rubato* (1994), Οξφόρδη, 1997, εκδ. Clarendon Press
- Robert Donington, «Interpretation», *The New Grove Dictionary of Music and Musicians* (επιμ. Stanley Sadie, 1980), Λονδίνο, 1994, εκδ. Macmillan, τ. 9, σ. 276
- Θρασύβουλος Γ. Γεωργιάδης, *Μουσική και Γλώσσα / το ιστορικό γίνεσθαι της δυτικής μουσικής στη μελοποίηση της λειτουργίας* (*Musik und Sprache / Das Weden der abendlädischen Musik dargestellt an der Vertonung der Messe*, 1954, μτφρ. Δημήτρης Θέμελης), Αθήνα, 1994, εκδ. Νεφέλη
- Υπουργείο Πολιτισμού, *Νόμος 2121 περί πνευματικής ιδιοκτησίας*, Αθήνα, 4.3.1993
- Alan Kozinn, *Mischa Elman and the Romantic Style*, Λονδίνο, 1990, εκδ. Harwood Academic Publishers
- Performance Practice: Music after 1600* (επιμ. Howard Mayer Brown – Stanley Sadie), 1989, εκδ. Norton
- John Williams, «Segovia», *Andrés Segovia / An Appreciation*, Λονδίνο, 1978, εκδ. Musical New Services, σ. 69-70
- Hiroaki Sakoe – Seibi Chiba, «Dynamic Programming Algorithm Optimization for Spoken Word Recognition», *IEEE Transactions On Acoustics, Speech, And Signal Processing*, 1978, τ. 26
- Fernando Sor, *Variations on a Theme by Mozart, op. 9*, διασκ. Ruggero Chiesa, Μιλάνο, 1978, εκδ. Suvini - Zerboni
- Harold C. Schonberg, *The Great Pianists from Mozart to the Present*, Νέα Υόρκη, 1963, εκδ. Simon and Schuster
- Πρόγραμμα ρεσιτάλ, «Αίθουσα Φ. Σ. Παρνασσός», Αθήνα, 29.6.1946
- Πρόγραμμα ρεσιτάλ, «Αίθουσα Φ. Σ. Παρνασσός», Αθήνα, 30.5.1938
- Fernando Sor, *Variations sur le thème "O cara armonia" de l' opera "La Flute enchantée" de W. A. Mozart* (GA 130), διασκ. Andrés Segovia, 1931, εκδ. Schott
- Fernando Sor, *Variations on a Theme by Mozart, op. 9*, Λονδίνο, 1821, εκδ. Royal Harmonic Institution

11. Παραρτήματα

11.1. Ηχογραφήματα

Σπάραγματα διάρκειας 30 δευτερολέπτων από όλα τα ηχογραφήματα παρατίθενται στην εξής ιστοσελίδα:

<http://www.kolydart.gr/el/mir/121-split-recordings.html>

Σχετικά με τους κωδικό που αντιστοιχεί σε κάθε ηχογράφημα βλ. σ. 7

11.2. Πίνακες Κόστους

Πίνακας 4: Εισαγωγή (κόστος αντιπαραβολής)

0.8728	Bream-North	0.8696	Fampa-Williams
0.8706	Bream-Fampa	0.8694	North-Russel
0.8699	Blanco-Fampa	0.8688	Fampa-Segovia
0.8687	Blanco-Russel	0.8673	Blanco-Romero
0.8663	Romero-Russel	0.8643	Fampas-Romero
0.8654	Fampa-Romero	0.8581	Blanco-Miliaressis
0.8619	Fampa-North	0.8568	Miliaressis-Russel
0.8610	Blanco-North	0.8565	North-Romero
0.8609	Assimakopoulos-North	0.8554	Bream-Segovia
0.8590	Blanco-Bream	0.8552	Romero-Russel
0.8571	Fampa-Russel	0.8545	North-Segovia
0.8523	Blanco-Romero	0.8543	Assimakopoulos-Miliaressis
0.8440	Bream-Russel	0.8539	Fampa-Fampas
0.8439	Bream-Romero	0.8538	Russel-Segovia
0.8402	North-Russel	0.8499	Bream-Russel
0.8397	Assimakopoulos-Fampa	0.8486	Fampas-Russel
0.8379	Assimakopoulos-Bream	0.8475	Miliaressis-North
0.8378	North-Romero	0.8460	Assimakopoulos-Romero
0.8370	Assimakopoulos-Blanco	0.8445	Blanco-Bream
0.8062	Assimakopoulos-Russel	0.8427	Bream-North
0.7982	Assimakopoulos-Romero	0.8354	Blanco-Fampas
		0.8336	Romero-Segovia
		0.8327	Bream-Fampa
		0.8278	Romero-Williams
		0.8274	Fampas-North
		0.8255	Assimakopoulos-Fampas
		0.8240	Miliaressis-Segovia
		0.8152	Bream-Romero
		0.8087	Miliaressis-Williams
		0.8070	Fampas-Segovia
		0.8063	Bream-Miliaressis
		0.8005	Fampas-Williams
		0.7767	Bream-Fampas

Πίνακας 5: Θέμα (κόστος αντιπαραβολής)

0.9041	Blanco-Fampa
0.8996	Assimakopoulos-Williams
0.8977	Miliaressis-Romero
0.8974	Fampas-Miliaressis
0.8964	Assimakopoulos-Blanco
0.8948	Blanco-Williams
0.8878	Assimakopoulos-North
0.8846	Assimakopoulos-Bream
0.8827	Bream-Williams
0.8810	Segovia-Williams
0.8809	Assimakopoulos-Russel
0.8807	Fampa-North
0.8787	Fampa-Russel
0.8787	Assimakopoulos-Fampa
0.8785	Fampa-Romero
0.8774	Assimakopoulos-Segovia
0.8767	Russel-Williams
0.8755	Blanco-North
0.8752	Fampa-Miliaressis
0.8736	North-Williams
0.8725	Blanco-Russel
0.8719	Blanco-Segovia

Πίνακας 6. Παραλλαγή αρ. 1 (κόστος αντιπαραβολής)

0.8952	Blanco-North
0.8932	Blanco-Russel
0.8903	Fampa-Russel
0.8900	Blanco-Fampa
0.8888	Blanco-Miliaressis
0.8881	Assimakopoulos-Blanco
0.8875	Fampas-Miliaressis
0.8847	Assimakopoulos-North
0.8826	Miliaressis-North
0.8813	Fampa-North
0.8811	Romero-Williams

0.8806	Assimakopoulos-Miliaressis	0.8742	Fampa-Segovia
0.8785	Fampa-Williams	0.8740	Assimakopoulos-Bream
0.8781	Assimakopoulos-Williams	0.8739	Russel-Williams
0.8780	Fampa-Fampas	0.8738	Fampa-Russel
0.8763	Fampa-Romero	0.8736	Fampa-North
0.8762	Blanco-Fampas	0.8709	Romero-Russel
0.8759	Miliaressis-Romero	0.8706	Assimakopoulos-Russel
0.8750	Blanco-Williams	0.8697	Blanco-North
0.8736	Bream-North	0.8696	Williams-test
0.8734	Assimakopoulos-Romero	0.8695	Blanco-Romero
0.8729	Assimakopoulos-Fampa	0.8694	Fampa-test
0.8721	Blanco-Romero	0.8687	Fampa-Romero
0.8714	Miliaressis-Russel	0.8686	Romero-test
0.8701	Fampas-North	0.8678	Blanco-Russel
0.8699	Assimakopoulos-Russel	0.8674	Assimakopoulos-Miliaressis
0.8697	North-Williams	0.8668	Romero-Williams
0.8693	North-Romero	0.8664	Assimakopoulos-Fampa
0.8673	North-Russel	0.8658	North-Segovia
0.8671	Assimakopoulos-Fampas	0.8657	Segovia-Williams
0.8662	Segovia-Williams	0.8652	Blanco-Bream
0.8625	Bream-Segovia	0.8650	North-Romero
0.8618	Fampa-Miliaressis	0.8650	Miliaressis-Romero
0.8602	Romero-Russel	0.8632	Romero-Segovia
0.8600	Fampas-Russel	0.8627	Russel-test
0.8597	Russel-Williams	0.8626	Assimakopoulos-Segovia
0.8574	Fampas-Romero	0.8625	Assimakopoulos-Romero
0.8558	Bream-Williams	0.8624	Segovia-test
0.8538	North-Segovia	0.8613	Bream-Fampa
0.8528	Bream-Fampa	0.8593	Miliaressis-North
0.8527	Bream-Romero	0.8592	Miliaressis-test
0.8526	Assimakopoulos-Bream	0.8581	Blanco-Williams
0.8519	Romero-Segovia	0.8578	Bream-Russel
0.8476	Blanco-Segovia	0.8572	Fampas-Segovia
0.8461	Blanco-Bream	0.8567	Fampa-Fampas
0.8431	Fampa-Segovia	0.8563	Blanco-Miliaressis
0.8412	Miliaressis-Williams	0.8546	Miliaressis-Williams
0.8389	Fampas-Williams	0.8533	Bream-Williams
0.8342	Assimakopoulos-Segovia	0.8525	Blanco-test
0.8323	Bream-Russel	0.8514	Bream-test
0.8316	Bream-Miliaressis	0.8501	Assimakopoulos-Blanco
0.8289	Russel-Segovia	0.8491	Bream-Romero
0.8153	Bream-Fampas	0.8481	Blanco-Segovia
0.8056	Fampas-Segovia	0.8469	Bream-Segovia
0.7955	Miliaressis-Segovia	0.8432	Fampas-Russel
		0.8370	Fampas-Romero
		0.8365	Bream-Miliaressis
		0.8363	Fampas-test
		0.8333	Fampas-North
		0.8214	Blanco-Fampas
		0.8200	Fampas-Williams
		0.8188	Assimakopoulos-Fampas
		0.8104	Bream-Fampas

Πίνακας 7. Παραλλαγή αρ. 2 (κόστος αντιπαραβολής)

0.9170	Assimakopoulos-test
0.8949	North-Russel
0.8936	Assimakopoulos-North
0.8857	North-Williams
0.8852	Fampas-Miliaressis
0.8832	Miliaressis-Segovia
0.8820	North-test
0.8802	Bream-North
0.8799	Assimakopoulos-Williams
0.8783	Fampa-Williams
0.8767	Fampa-Miliaressis
0.8765	Miliaressis-Russel
0.8760	Russel-Segovia
0.8752	Blanco-Fampa

Πίνακας 8. Παραλλαγή αρ. 3 (κόστος αντιπαραβολής)

0.8810	Blanco-Williams
0.8776	Assimakopoulos-Bream
0.8763	Assimakopoulos-North
0.8762	Assimakopoulos-Russel
0.8754	Assimakopoulos-Romero
0.8744	Segovia-Williams

0.8735	Fampas-Miliaressis	0.9008	Bream-Russel
0.8725	North-Romero	0.8970	Bream-Romero
0.8714	Assimakopoulos-Fampa	0.8943	Blanco-Miliaressis
0.8710	Assimakopoulos-Williams	0.8925	Bream-Fampa
0.8702	Bream-Williams	0.8909	Blanco-Romero
0.8698	North-Russel	0.8878	Romero-Williams
0.8681	Assimakopoulos-Blanco	0.8868	Bream-Williams
0.8677	Fampa-North	0.8851	Miliaressis-Russel
0.8663	Bream-Fampa	0.8819	Blanco-Fampas
0.8656	Miliaressis-Romero	0.8805	Bream-North
0.8655	Assimakopoulos-Miliaressis	0.8791	Fampa-North
0.8644	Fampa-Romero	0.8772	Blanco-Williams
0.8637	Fampas-Russel	0.8766	Blanco-Bream
0.8636	Blanco-Fampa	0.8765	Romero-Russel
0.8636	Fampa-Russel	0.8761	Assimakopoulos-Fampas
0.8632	Blanco-North	0.8745	Fampa-Romero
0.8622	Bream-North	0.8739	Assimakopoulos-Fampa
0.8622	Romero-Russel	0.8719	North-Segovia
0.8604	Blanco-Segovia	0.8682	Assimakopoulos-North
0.8596	Blanco-Romero	0.8671	Bream-Miliaressis
0.8588	Blanco-Bream	0.8669	Miliaressis-Williams
0.8587	Fampas-North	0.8660	Fampa-Williams
0.8583	Miliaressis-North	0.8659	Miliaressis-Romero
0.8553	Assimakopoulos-Fampas	0.8599	North-Romero
0.8553	Fampa-Williams	0.8581	Fampas-Russel
0.8550	Fampas-Romero	0.8556	North-Williams
0.8549	Assimakopoulos-Segovia	0.8547	Fampa-Segovia
0.8547	Fampa-Fampas	0.8533	Fampa-Russel
0.8531	North-Williams	0.8503	Bream-Segovia
0.8485	Bream-Romero	0.8486	Blanco-Fampa
0.8470	Blanco-Miliaressis	0.8461	Fampas-Williams
0.8469	Romero-Williams	0.8445	Fampas-Romero
0.8460	Bream-Russel	0.8444	North-Russel
0.8447	Blanco-Russel	0.8362	Blanco-North
0.8443	Miliaressis-Russel	0.8340	Fampa-Miliaressis
0.8430	Romero-Segovia	0.8246	Miliaressis-North
0.8390	Blanco-Fampas	0.8233	Assimakopoulos-Segovia
0.8380	Fampa-Segovia	0.8182	Segovia-Williams
0.8377	North-Segovia	0.8166	Romero-Segovia
0.8350	Bream-Segovia	0.8144	Bream-Fampas
0.8335	Fampa-Miliaressis	0.8024	Fampa-Fampas
0.8278	Bream-Miliaressis	0.7905	Fampas-North
0.8265	Miliaressis-Segovia	0.7902	Miliaressis-Segovia
0.8255	Bream-Fampas	0.7870	Blanco-Segovia
0.8181	Russel-Segovia	0.7848	Russel-Segovia
0.8169	Russel-Williams	0.7626	Fampas-Segovia
0.8119	Fampas-Segovia		
0.8097	Miliaressis-Williams		
0.8019	Fampas-Williams		

Πίνακας 9. Παραλλαγή αρ. 4 (κόστος αντιπαραβολής)

0.9210	Fampas-Miliaressis
0.9195	Assimakopoulos-Russel
0.9099	Assimakopoulos-Williams
0.9086	Assimakopoulos-Romero
0.9074	Assimakopoulos-Bream
0.9035	Blanco-Russel
0.9023	Assimakopoulos-Miliaressis
0.9016	Assimakopoulos-Blanco
0.9012	Russel-Williams

Πίνακας 10. Παραλλαγή αρ. 5 (κόστος αντιπαραβολής)

0.8766	Fampa-Segovia
0.8692	Assimakopoulos-Russel
0.8688	Blanco-Williams
0.8653	Fampa-Romero
0.8607	North-Segovia
0.8607	Fampa-North
0.8601	Assimakopoulos-Segovia
0.8590	North-Romero
0.8566	Assimakopoulos-North
0.8562	Fampas-Russel
0.8554	Assimakopoulos-Fampa
0.8551	Romero-Segovia

0.8532	Assimakopoulos-Bream	0.8316	Bream-Romero
0.8510	North-Williams	0.8316	Bream-Segovia
0.8495	Fampas-Segovia	0.8314	Bream-Fampa
0.8490	Segovia-Williams	0.8310	Blanco-Fampa
0.8475	Assimakopoulos-Fampas	0.8250	Miliaressis-Russel
0.8474	Assimakopoulos-Miliaressis	0.8225	Fampas-North
0.8464	Bream-Miliaressis	0.8203	Miliaressis-Segovia
0.8445	Blanco-Romero	0.8162	Fampa-Miliaressis
0.8444	Fampas-Romero	0.8155	Bream-North
0.8441	Blanco-North	0.8140	Russel-Williams
0.8429	Fampa-Fampas	0.8139	Miliaressis-Romero
0.8427	Russel-Segovia	0.8139	Assimakopoulos-Blanco
0.8421	Fampa-Russel	0.8090	Assimakopoulos-Williams
0.8414	Fampa-Williams	0.8012	Fampas-Williams
0.8414	Fampas-Miliaressis	0.7938	Miliaressis-North
0.8412	Romero-Russel	0.7923	Bream-Williams
0.8410	Bream-Russel	0.7856	Blanco-Fampas
0.8408	Romero-Williams	0.7800	Blanco-Russel
0.8375	Bream-Fampas	0.7722	Miliaressis-Williams
0.8371	Blanco-Segovia	0.7690	Blanco-Miliaressis
0.8357	North-Russel	0.7680	Blanco-Bream
0.8352	Assimakopoulos-Romero		

11.3. Παρτιτούρα

Ακολουθεί η παράθεση της παρτιτούρας του έργου σε δύο εκδόσεις: στην πρώτη έκδοση που κυκλοφόρησε το 1821⁴⁴ και στην πιο έγκυρη κριτική έκδοση από τον Ruggero Chiesa, το 1978.⁴⁵

⁴⁴ Fernando Sor, *Variations on a Theme by Mozart, op. 9*, Λονδίνο, 1821, εκδ. Royal Harmonic Institution.

⁴⁵ Fernando Sor, *Variations on a Theme by Mozart, op. 9*, διασκ. Ruggero Chiesa, Μιλάνο, 1978, εκδ. Suvini - Zerboni.

11.3.1. Πρωτότυπη έκδοση (1821)

[Opus 9]

The Favorite Air.
"Oh Cara armonia",
from Mozart's Opera
Il Flauto Magico,
Arranged
with an Introduction and Variations for the
GUITAR.
As Performed by the Author at the
Nobilities Concerts.
Dedicated to his Brother,
by
F. SOR.

Ent. Sta. Hall.

Price 2^s/₆.

London, Printed by the Royal Harmonic Institution, Lower Saloon, Argyll Rooms.

Andante Largo .

INTRODUCTION. *dolce*

σοφοκλίο σοφοκλίο σοφοκλίο

harm: nat: harm: nat: harm: nat: harm: nat: harm: nat: harm: nat:

2

Andante Moderato

THEME.

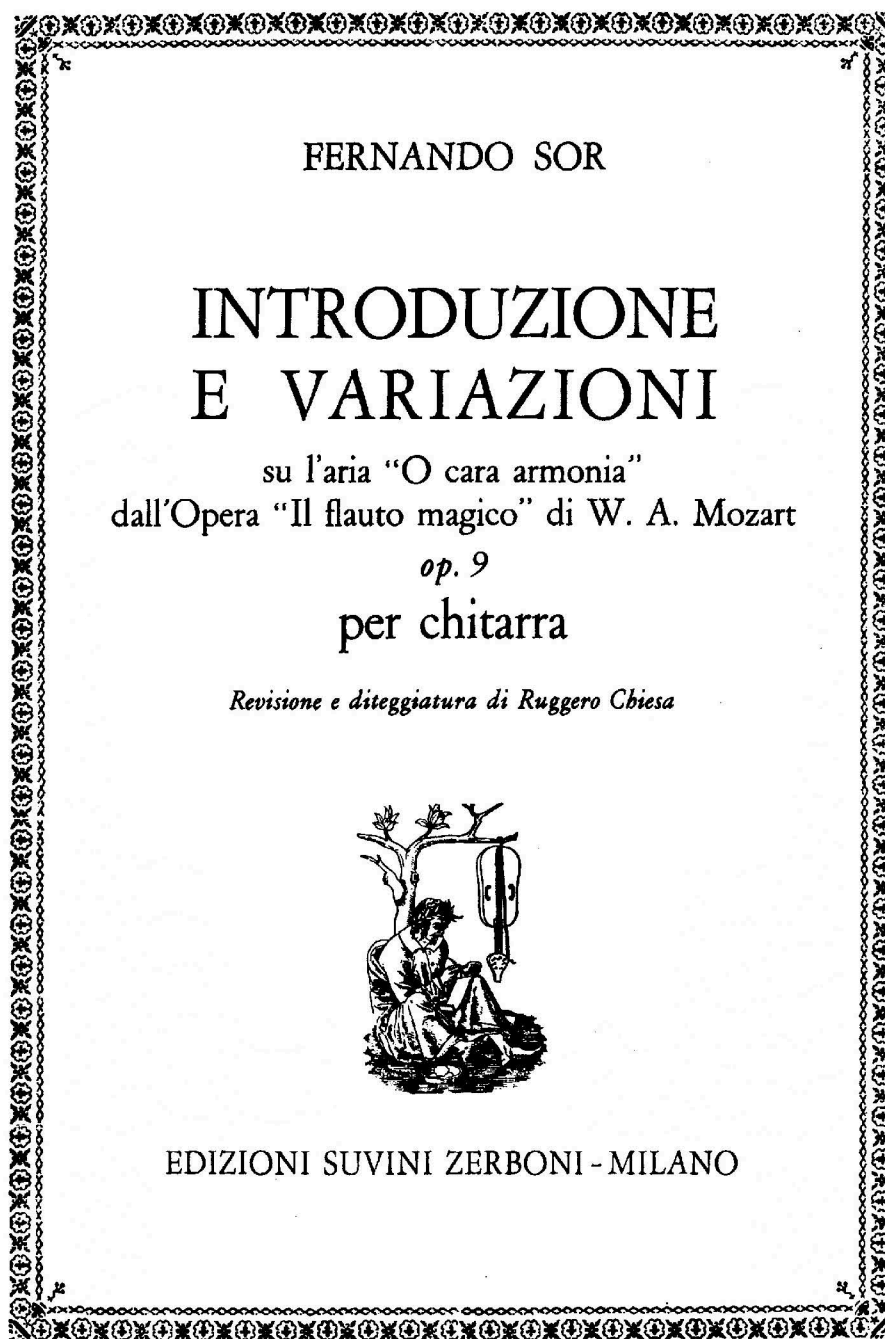
for the 2^d time

VAR. I.

The image displays a musical score for guitar, consisting of three variations. The first variation is labeled 'Mineur' and is written in a minor key. The second variation is labeled 'VAR: 2.' and the third is labeled 'VAR: 3.'. Each variation is presented on a single staff with a treble clef and a key signature of two sharps (F# and C#). The music is written in a 4/4 time signature and features a complex, rhythmic melody with many sixteenth and thirty-second notes. The score includes various musical notations such as slurs, ties, and dynamic markings. The page number '602' is centered at the bottom of the score area.

1.
2.
Coda
6
3
3
3

11.3.2. Κριτική έκδοση (1978)



PREFACE

Fernando Sor (Barcelona 1778 - Paris 1839) wrote 63 numbered compositions for guitar, in addition, he left several pieces for voice with guitar, piano or other instrumental accompaniment, pieces for one or two pianos, an opera entitled Telemaco (and others that have been lost), a concerto for violin and orchestra and twelve ballets including Cendrillon, which enjoyed particular popularity in Sor's lifetime.

Today Sor is considered primarily a leading composer of works for the guitar. In fact, a good part of his efforts and talent were centred on that instrument, either solo or in duo. He wrote sonatas, variations, fantasies, studies, dances and other pieces of various kinds, and in all of them, in addition to their musical excellence, we recognize the intense desire to investigate and experiment with the timbre and polyphonic potential of the guitar. Unlike many of his contemporaries, Sor never yielded to the temptation of facile effects, but was always guided by his own creative impulses, which never failed to provide him with new and original ideas. Like Mauro Giuliani, Sor was not only an important figure in the history of the guitar; he was also a great artist in his own right with a place among the leading musicians of Europe.

Sor's Variations, Opus 9 are based on the theme "Das klinget so herrlich", from Mozart's Magic Flute. Some elements of a passage from the second act are inserted at the beginning of the Introduction. On the title-page of the first edition of Opus 9, published in London around 1821, the theme and title of the opera were quoted in Italian: «The Favorite Air / "Oh Cara armonia" / From Mozart's Opera / Il Flauto Magico...». We may therefore reasonably suppose that the differences between the original theme and that of the guitar version are due to the fact that Sor worked from an adaptation of the opera, in which the salient passages were altered and embellished by the arrangers, and the text freely translated into several languages.

Our edition is based on a reprint by the publisher Meissonnier, brought out in about 1826. (Meissonnier had published Opus 9 earlier, omitting the first variation and part of the Coda). The title reads:

INTRODUCTION / et Variations / sur un Thème de Mozart / Composées et dédiées / À CH. SOR / Par son Frère / FERDINANDO SOR. / Oeuv. 9. Prix 3.^{fr} / A PARIS / Au Bureau du Journal de Guitare, Chez MEISSONNIER, Rue Montmartre, N.º 182. / ... N. 119 [the number given inside is 460].

Our revision is faithful to the original. Except for certain changes in notation which at times prove necessary in order to bring out the polyphonic voice leadings, each piece is rendered, in all respects, exactly as in the original. Our personal interpretation of accidentals and expression marks appears in parentheses, and slurs missing in the original edition, or suggested by us, are given as dotted lines. The fingerings, almost always absent in the original, or limited to negligible episodes, are entirely of our own devising.

Ruggero Chiesa

INTRODUZIONE E VARIAZIONI

su l'aria "O cara armonia" dall'Opera "Il flauto magico" di W. A. Mozart

op. 9

per chitarra

Revisione e disteggiatura di Ruggero Chiesa

FERNANDO SOR
(1778-1839)

Introduzione

Andante largo

The musical score for the Introduction is written on a single staff in G major (one sharp) and 3/4 time. It begins with a forte (f) dynamic and a 'dolce' marking. The tempo is 'Andante largo'. The score includes various musical notations such as accents, slurs, and fingering instructions (m, i, a). There are also dynamic markings like [f] and [p]. The score is divided into sections labeled C. II and C. VII. The piece concludes with a [p] dynamic marking and a fermata.

2

a)

Musical staff with notes and fingerings (a, m, i). The staff is in treble clef with a key signature of one sharp (F#). It contains a sequence of notes with various fingerings indicated by letters 'a', 'm', and 'i'.

Musical staff with notes, fingerings, and fret numbers (XII, VII). The staff continues the sequence from the previous one, with fret numbers XII and VII indicated above the staff. Fingerings 'a', 'm', and 'i' are also present.

Musical staff with notes and fingerings. The staff continues the sequence with various notes and fingerings.

Musical staff with notes and fingerings. The staff continues the sequence with various notes and fingerings.

Musical staff with notes, fingerings, and dynamics (diviso, p). The staff includes dynamic markings [diviso] and [p].

Tema

Andante moderato

Musical staff with notes and fingerings. The staff continues the sequence with various notes and fingerings.

Orig. a) Musical staff showing the original notation for the first part of the sequence.

Orig. b) Musical staff showing the original notation for the second part of the sequence.

Orig. c) Musical staff showing the original notation for the third part of the sequence.

S. 8424 Z.

The image displays a musical score for guitar, consisting of ten staves of notation. The music is written in treble clef with a key signature of two sharps (F# and C#). The notation includes various chords, such as m, i, a, and m, and includes fingerings (1, 2, 3, 4) and accents (γ). The score is a complex arrangement of notes and rests, typical of a guitar piece. At the bottom left, there is a small section labeled "Orig." with a musical staff. At the bottom center, the text "S. 8424 Z." is present.

6

Variatione III

C. IV

C. II

C. VIII

C. IX

C. VII

Variatione IV
Piú mosso

Orig. a)

S. 8424 Z.

Orig. 2)

8 Variazione V

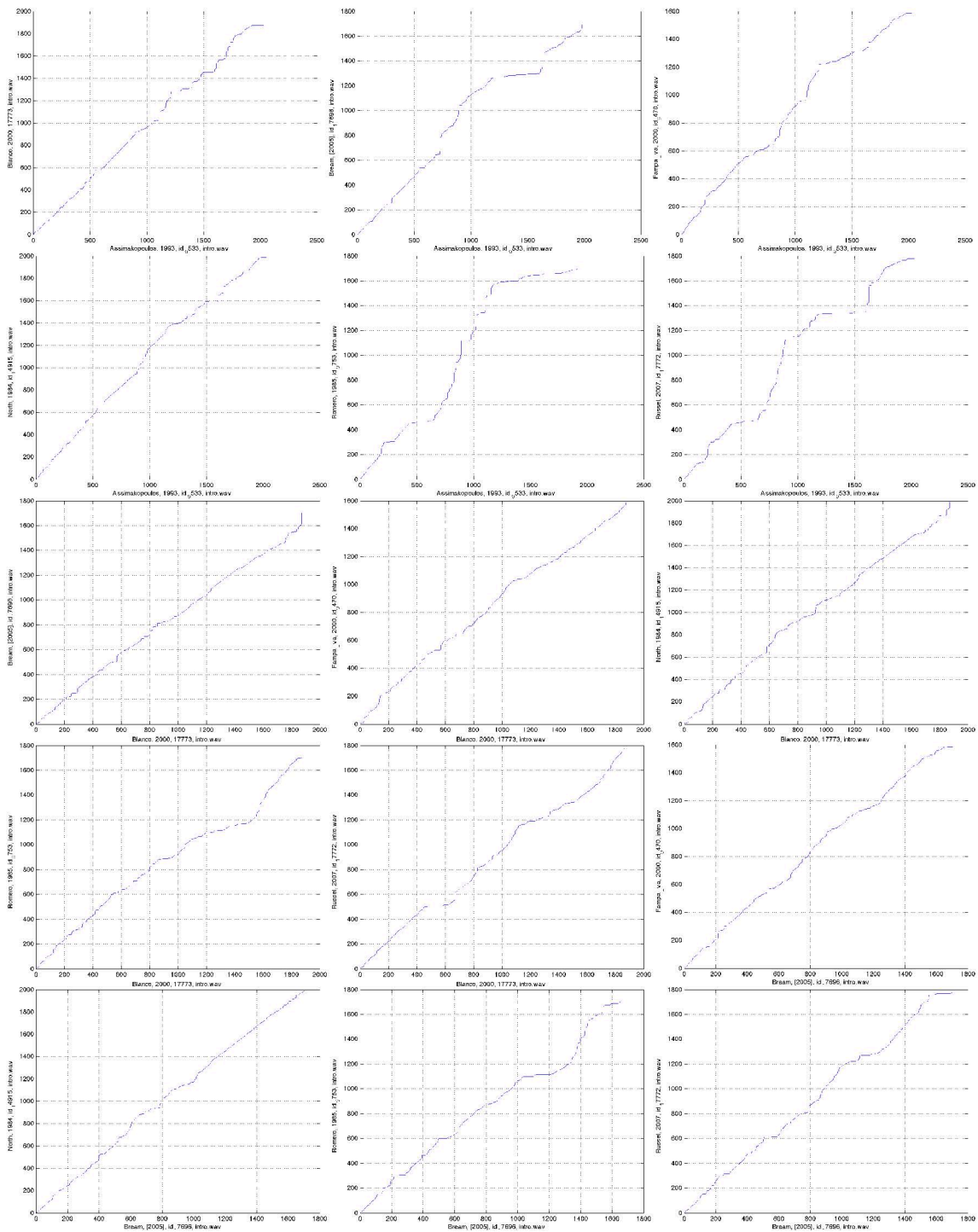
Più mosso

The image displays a musical score for guitar, consisting of eight staves of music. The notation is complex, featuring various rhythmic patterns, slurs, and dynamic markings. Key elements include:

- Staff 1:** Starts with a treble clef and a key signature of two sharps (F# and C#). It features a triplet of eighth notes, a slur over a series of eighth notes, and a dynamic marking of *p*. A $\frac{1}{2}$ V marking is present above the staff.
- Staff 2:** Continues the melodic line with slurs and dynamic markings.
- Staff 3:** Includes a $\frac{1}{2}$ V marking and a $\frac{1}{2}$ II marking.
- Staff 4:** Features a slur over a series of notes and dynamic markings like *p* and *m*.
- Staff 5:** Contains a slur and dynamic markings.
- Staff 6:** Labeled with "C. IX" and "[cresc.]", indicating a crescendo section.
- Staff 7:** Labeled with "C. II" and "[f]", indicating a fortissimo section.
- Staff 8:** Ends with a double bar line and dynamic markings.

S. 8424 Z.

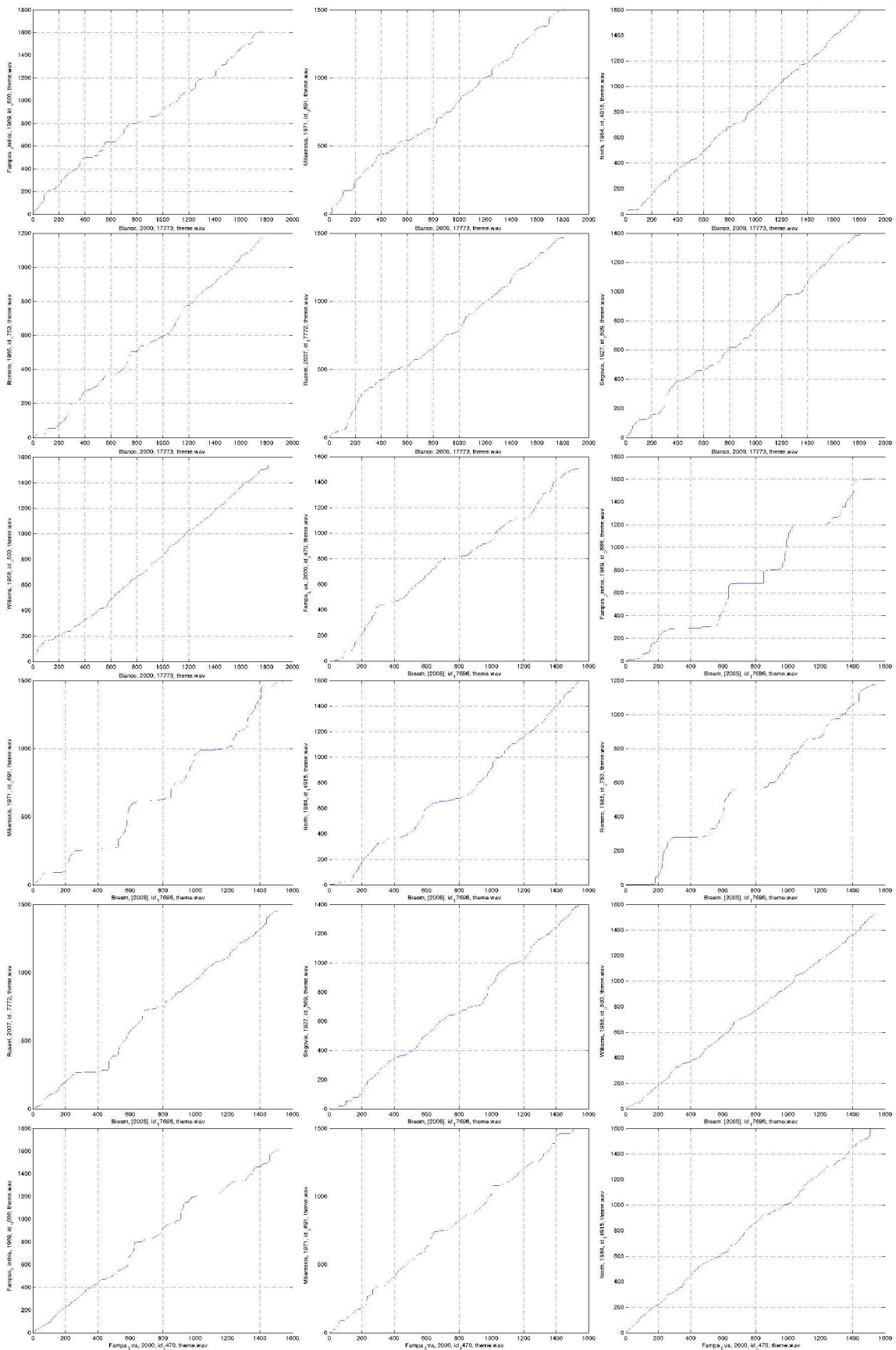
11.4. Γραφήματα Δυναμικής Στρέβλωσης Πεδίου Χρόνου⁴⁶



⁴⁶ Τα γραφήματα είναι επίσης διαθέσιμα μέσω Διαδικτύου από την εξής ιστοσελίδα:
<http://www.kolydart.gr/el/mir/110-dtw.html>

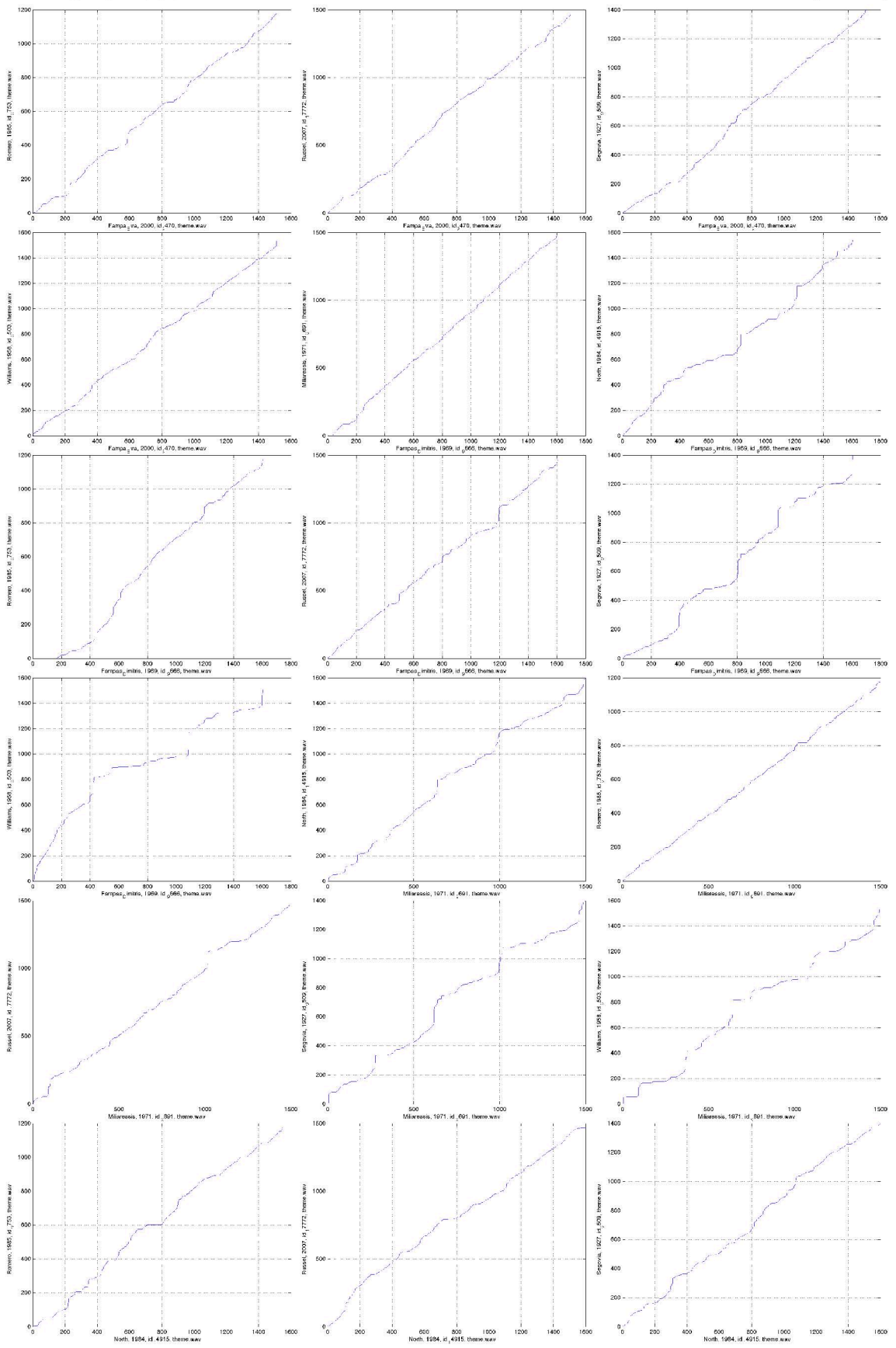
Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τάσος Κολυδάς



Μεταπτυχιακή Διατριβή

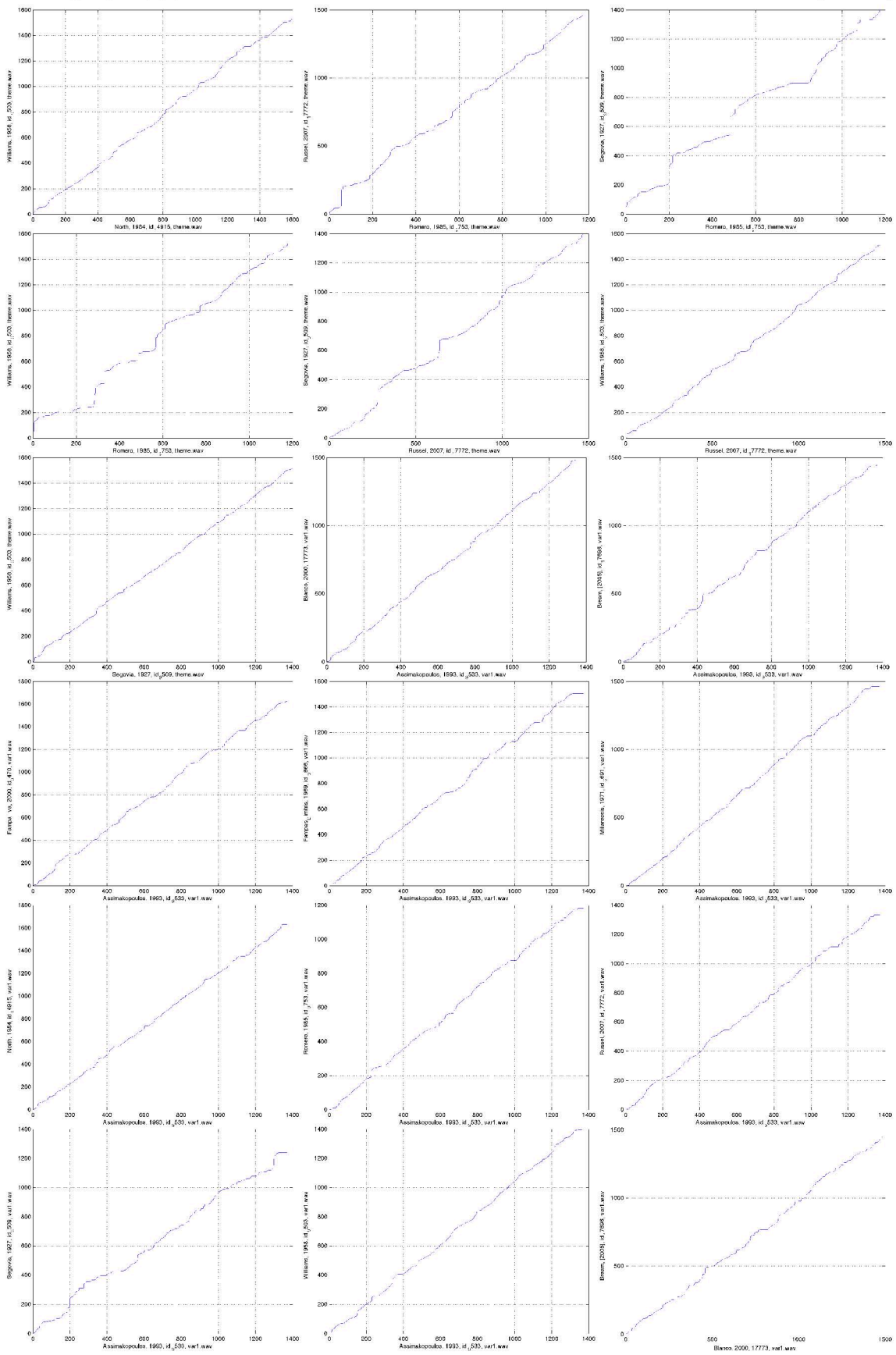
Τάσος Κολυδάς

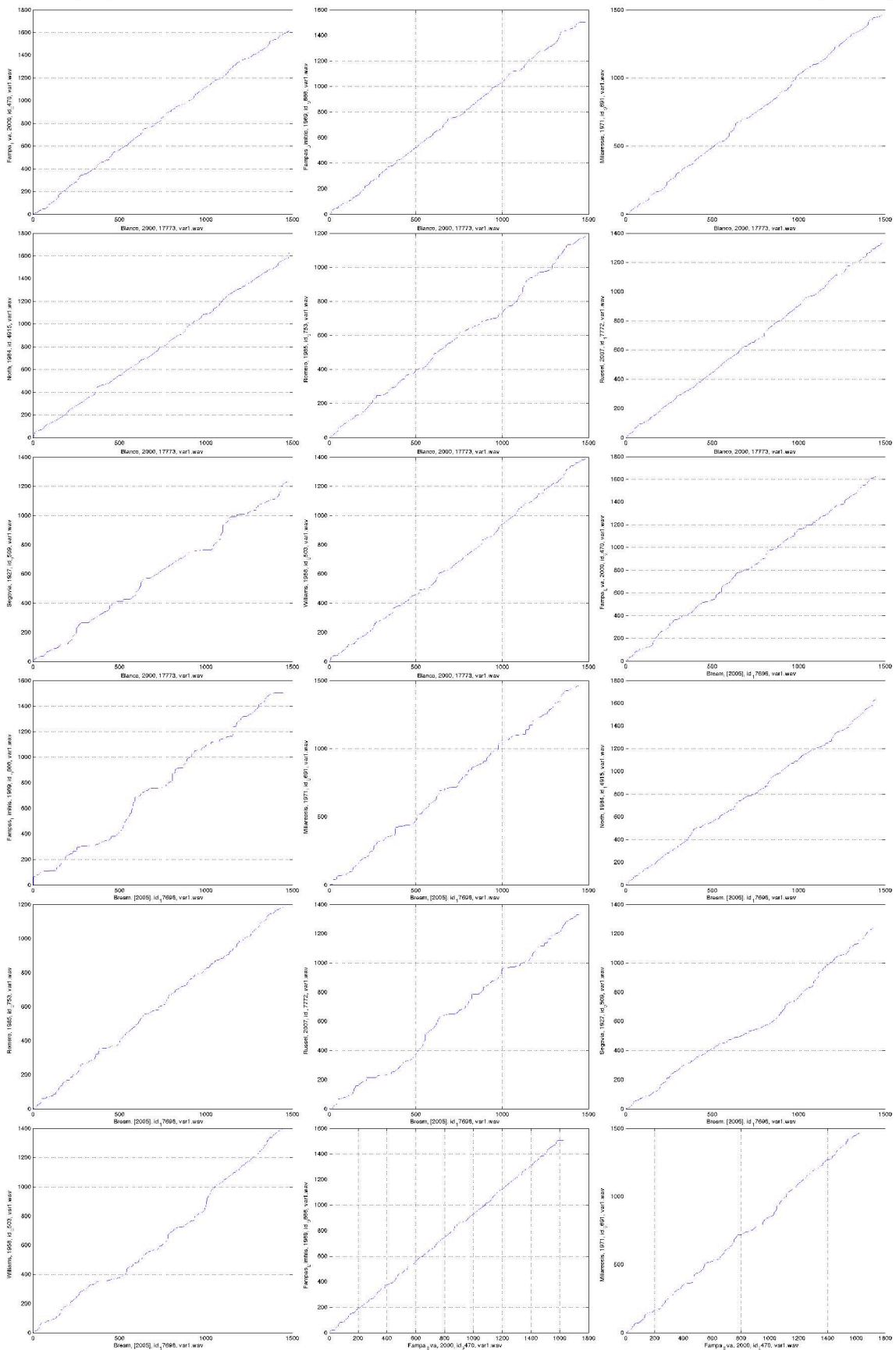


Σύγκριση διαφορετικών ερμηνειών από το ίδιο έργο για κιθάρα με τη χρήση αλγορίθμων MIR [...]

Μεταπτυχιακή Διατριβή

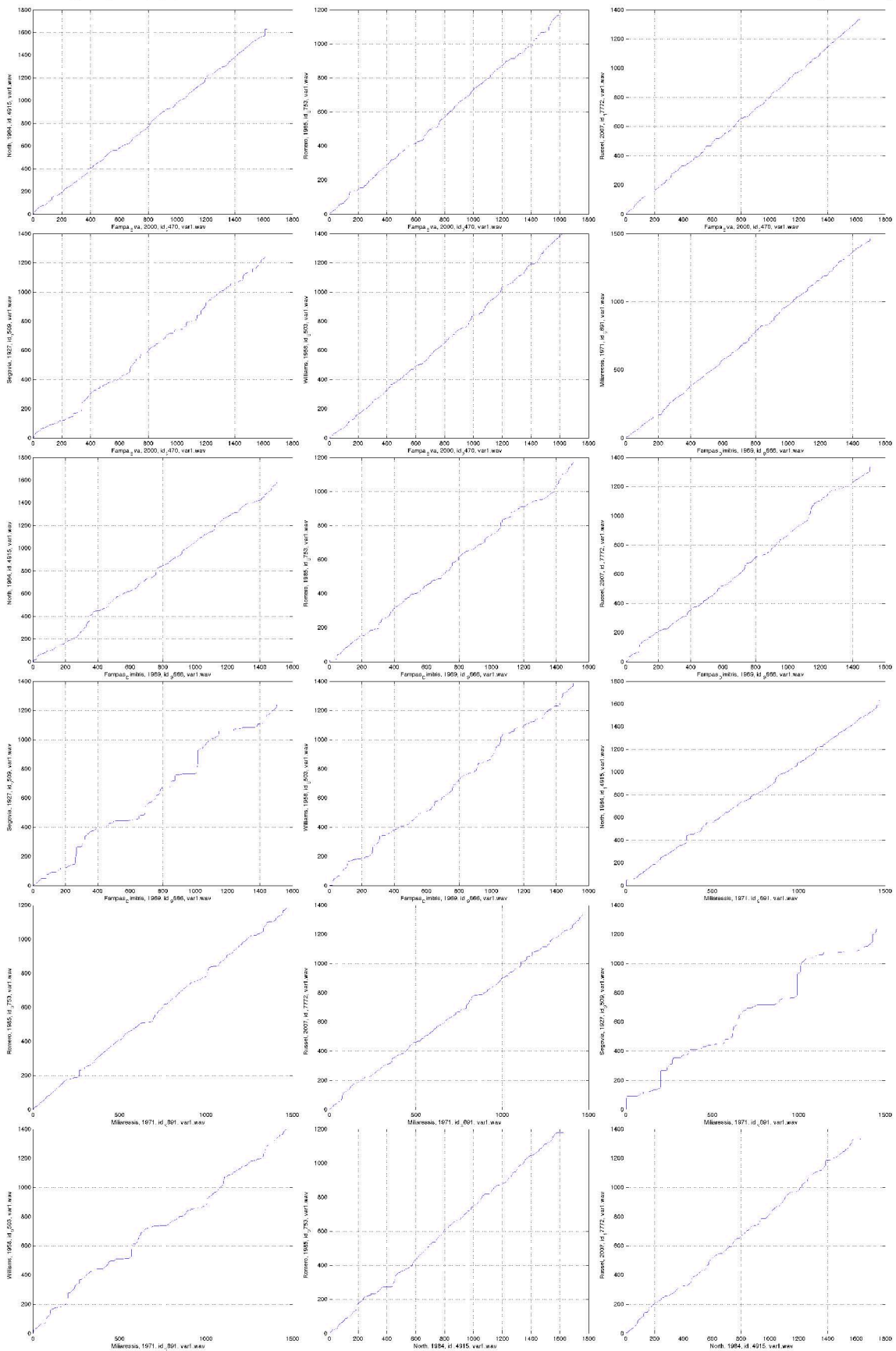
Τάσος Κολυδάς





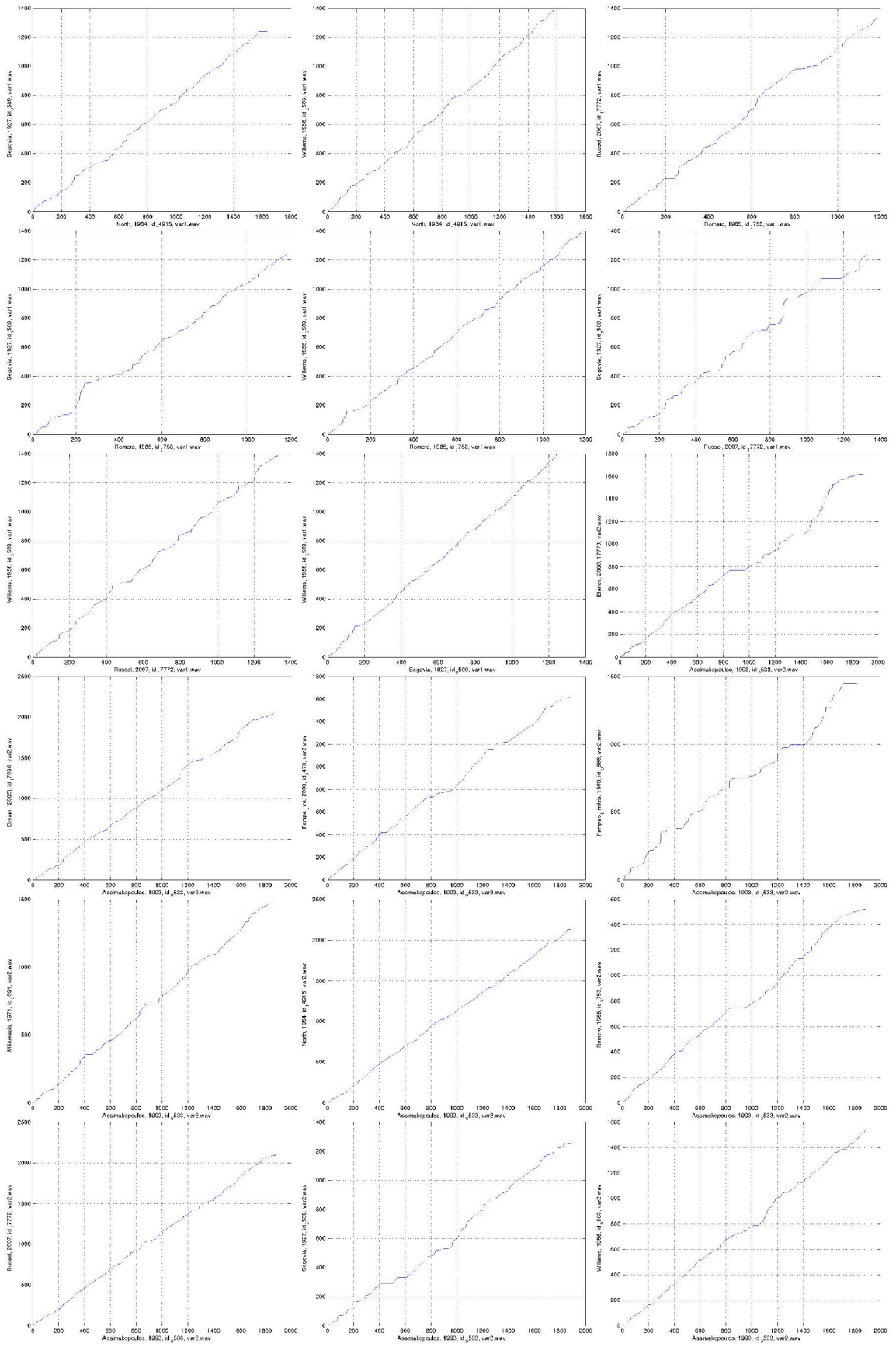
Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τάσος Κολυδάς



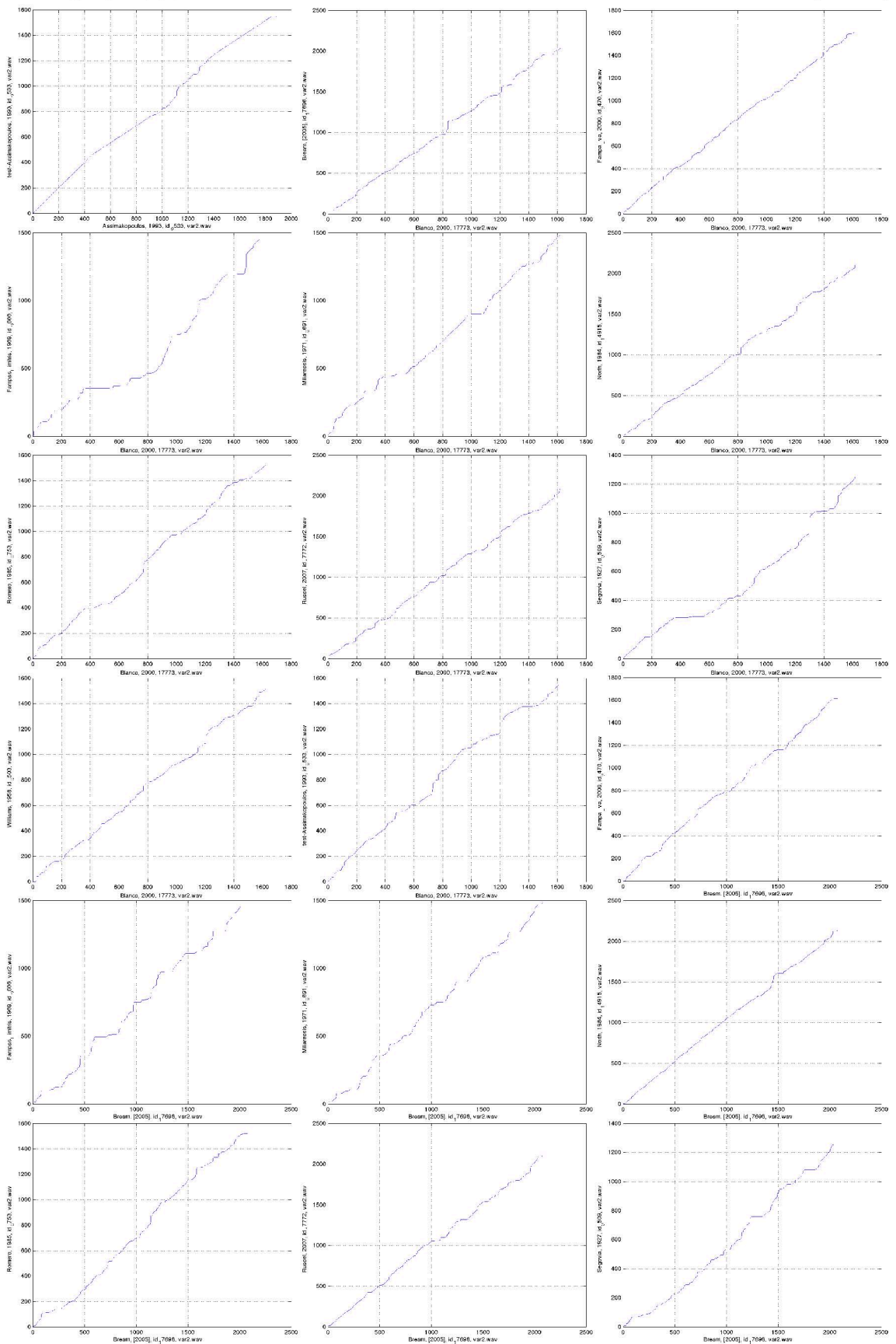
Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τάσος Κολυδάς



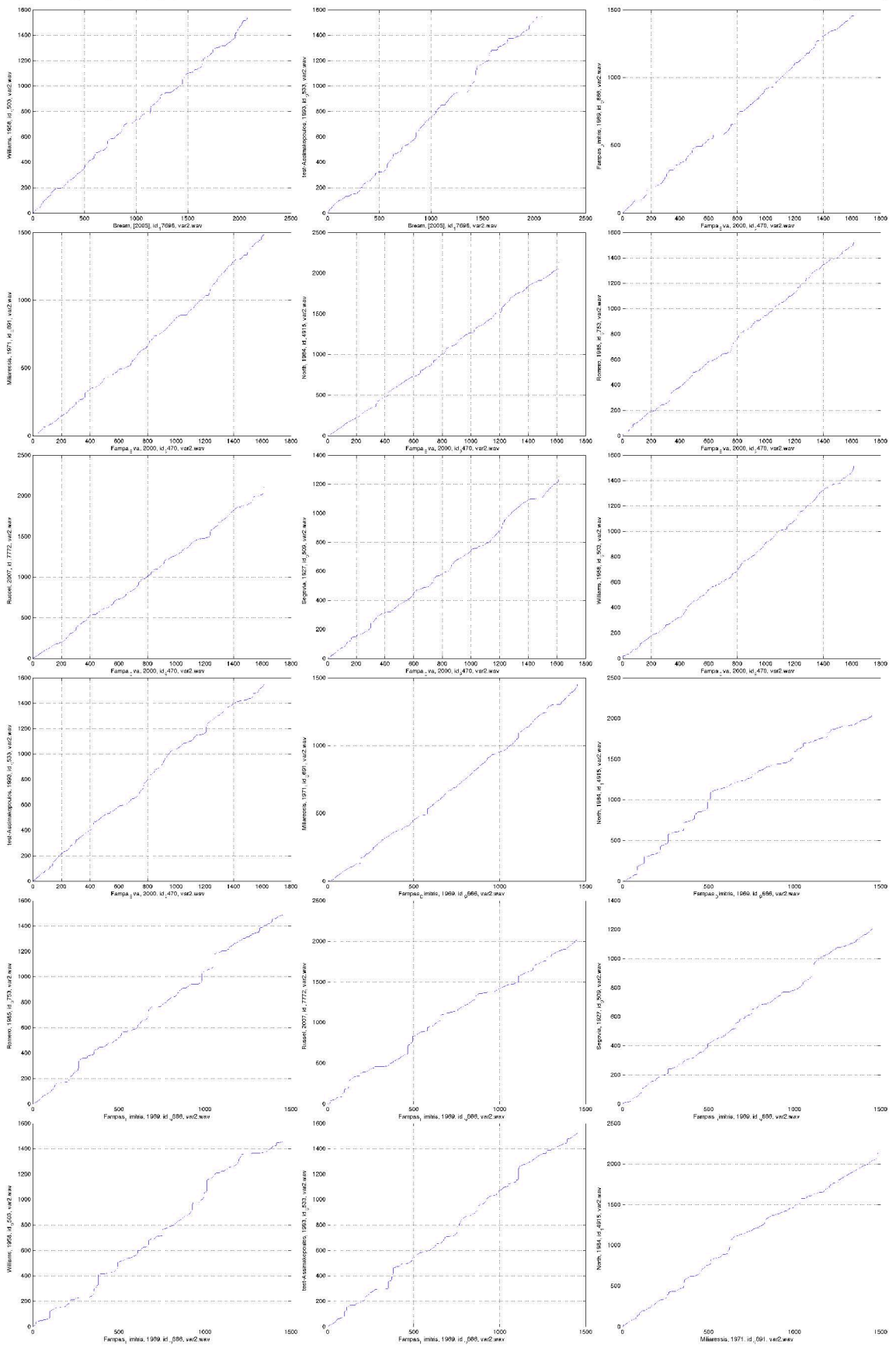
Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τάσος Κολυδάς



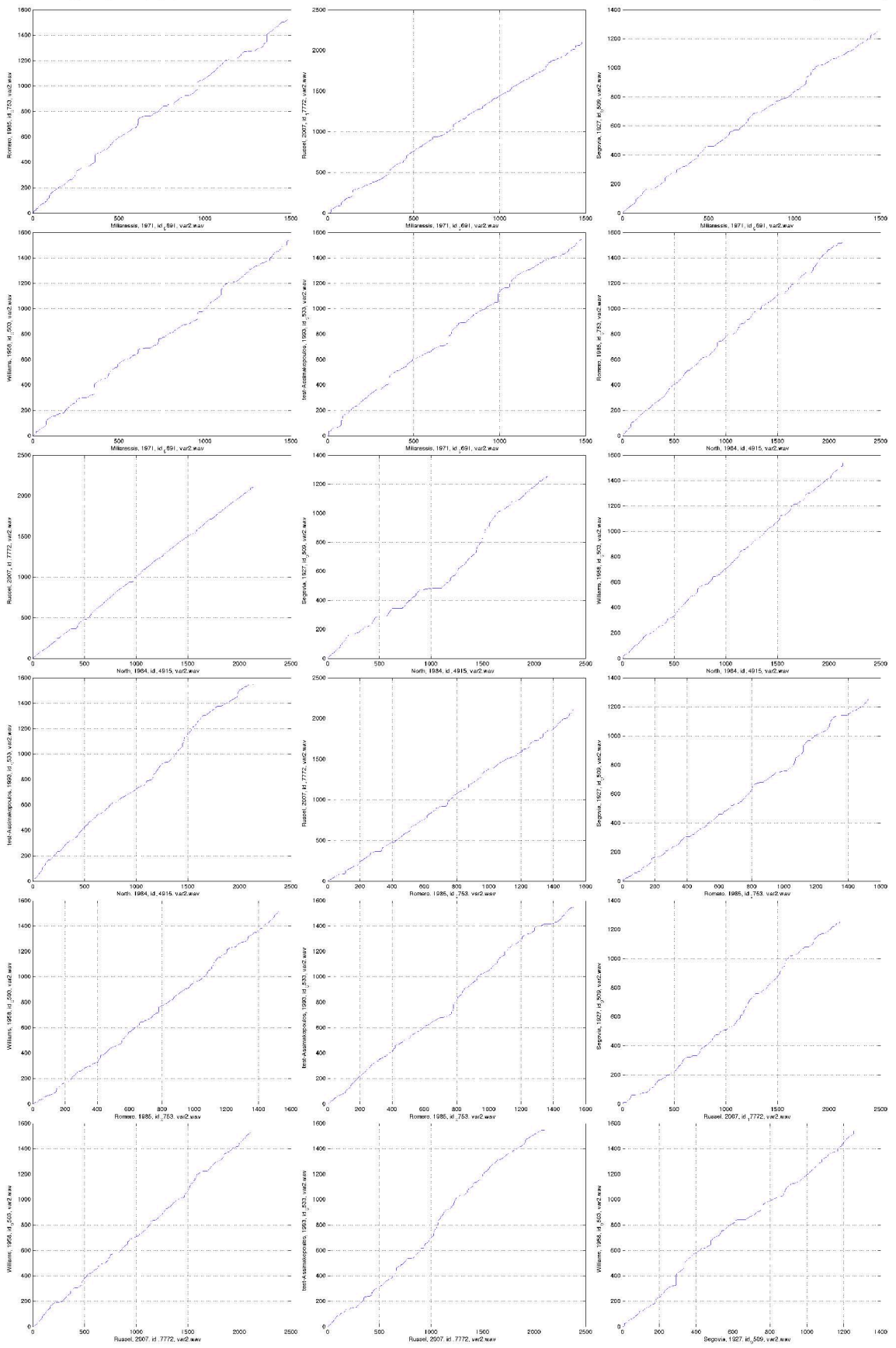
Μεταπτυχιακή Διατριβή

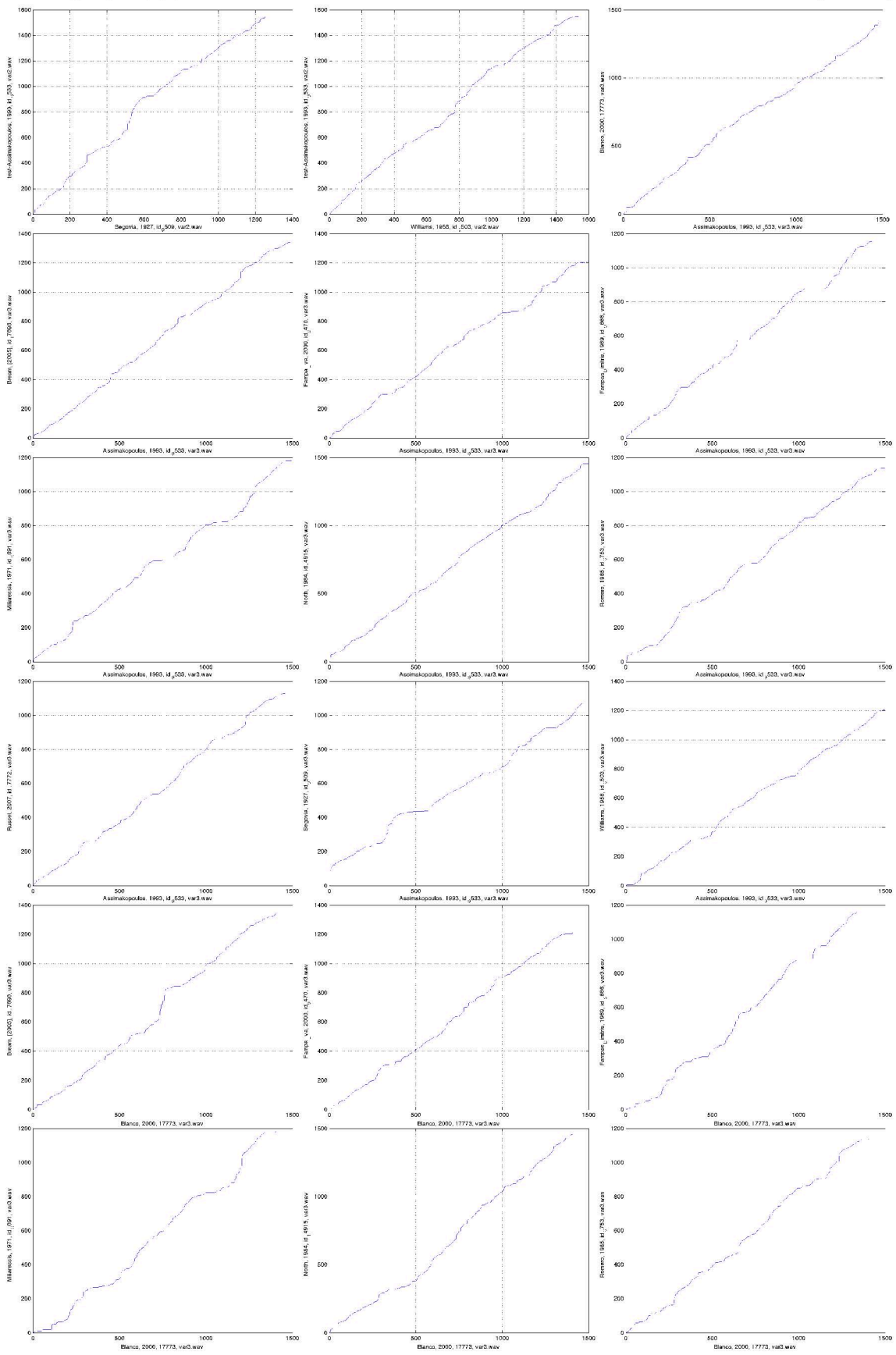
Τάσος Κολυδάς

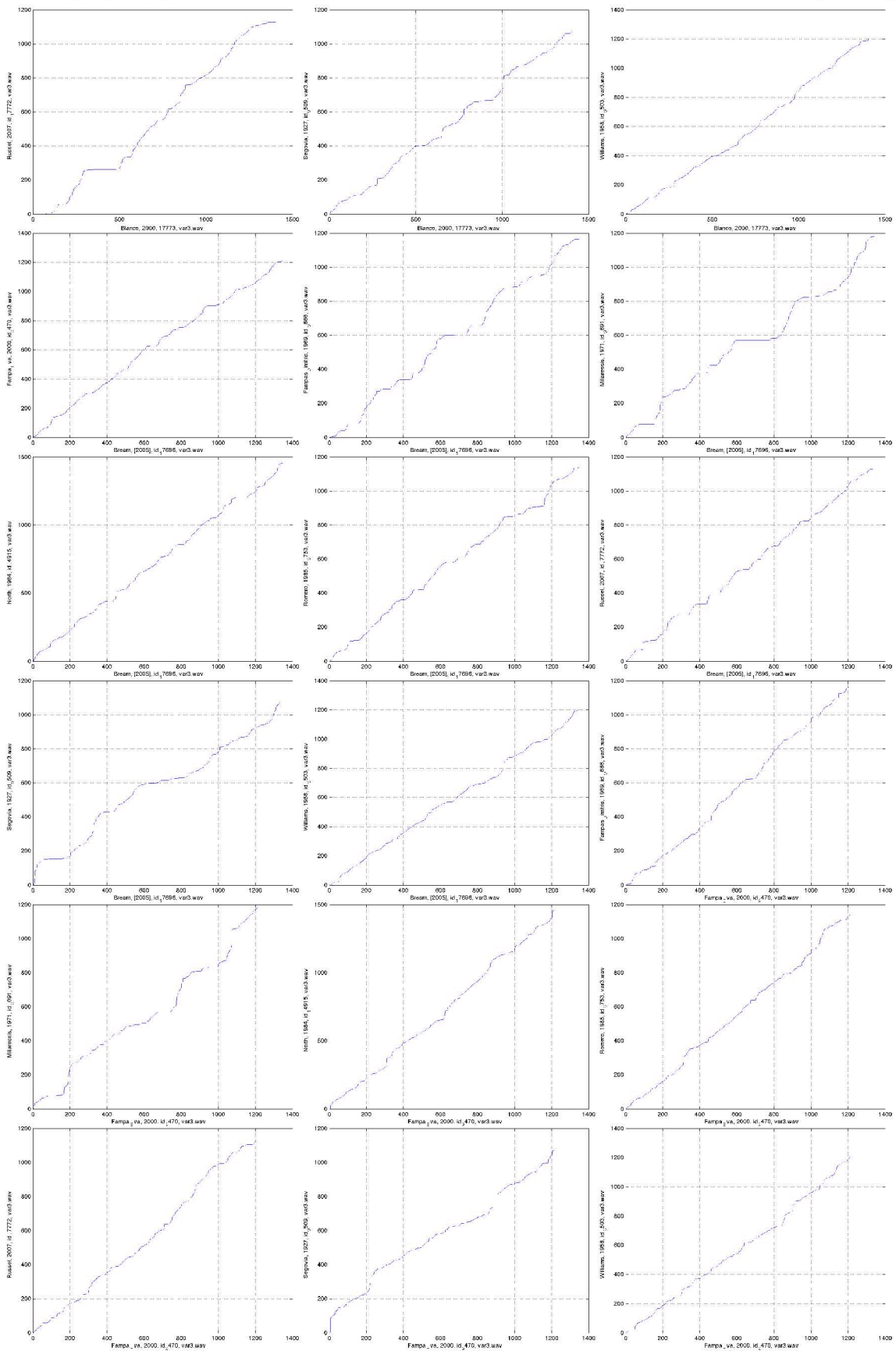


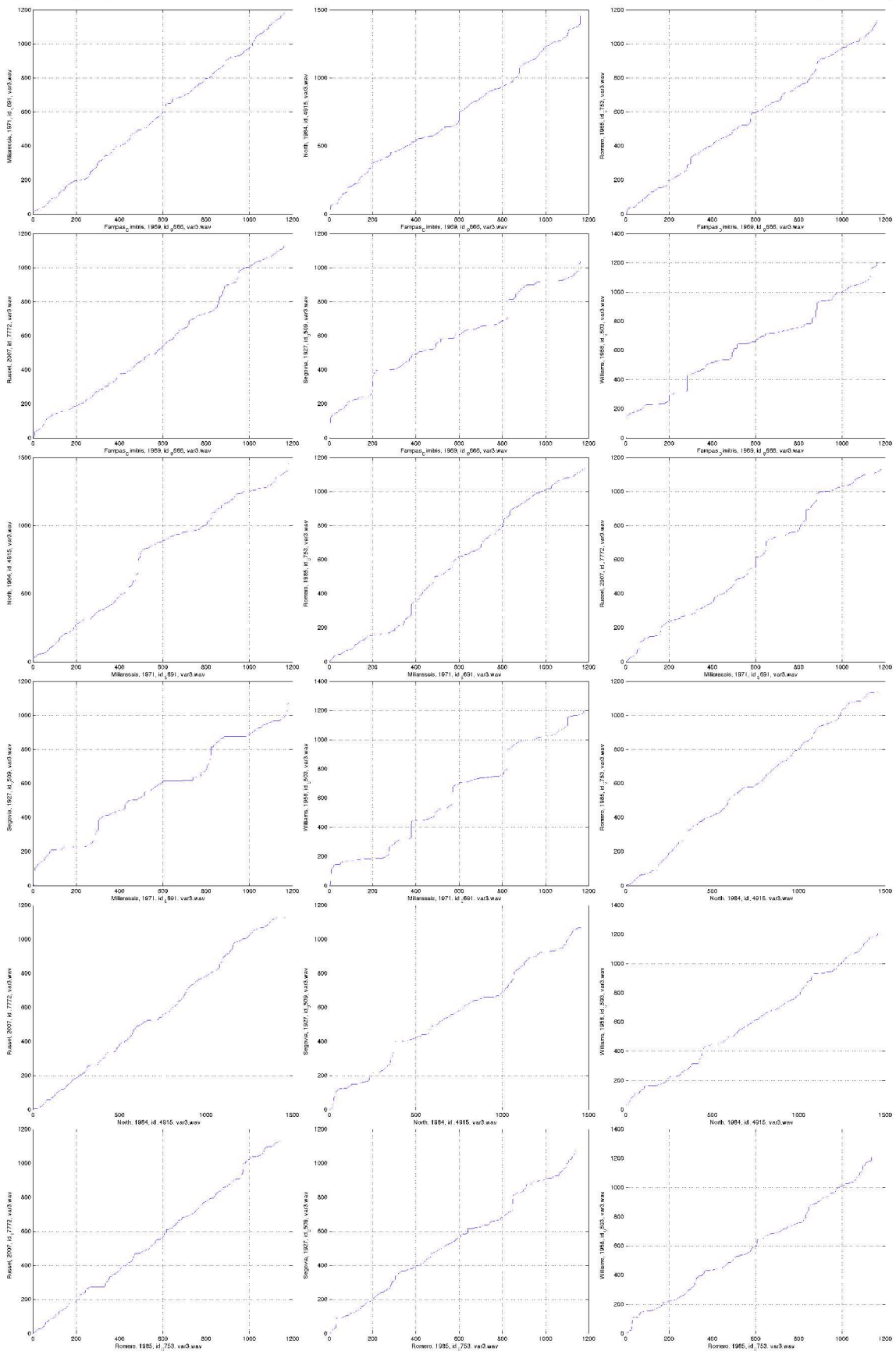
Μεταπτυχιακή Διατριβή

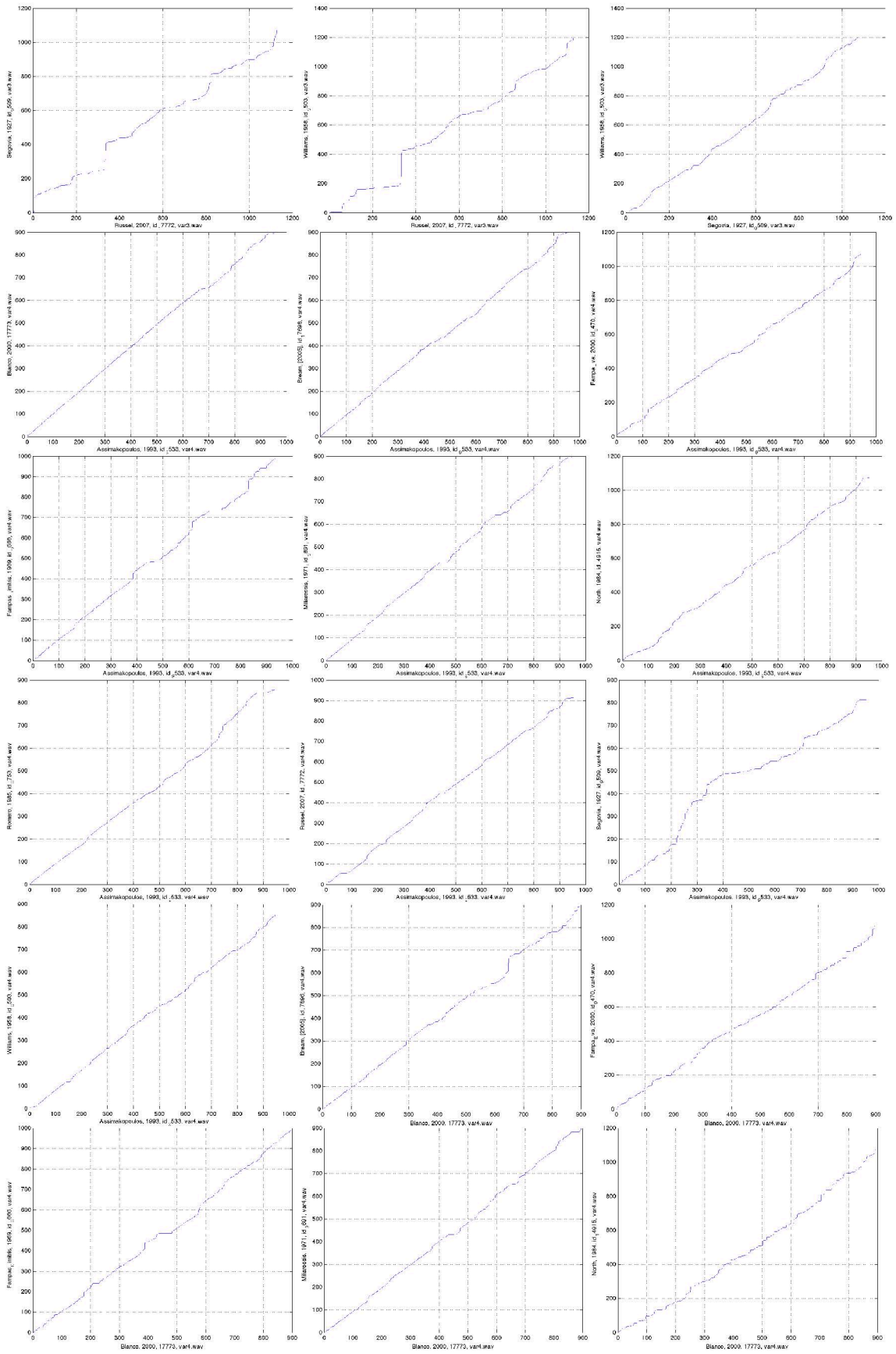
Τάσος Κολυδάς

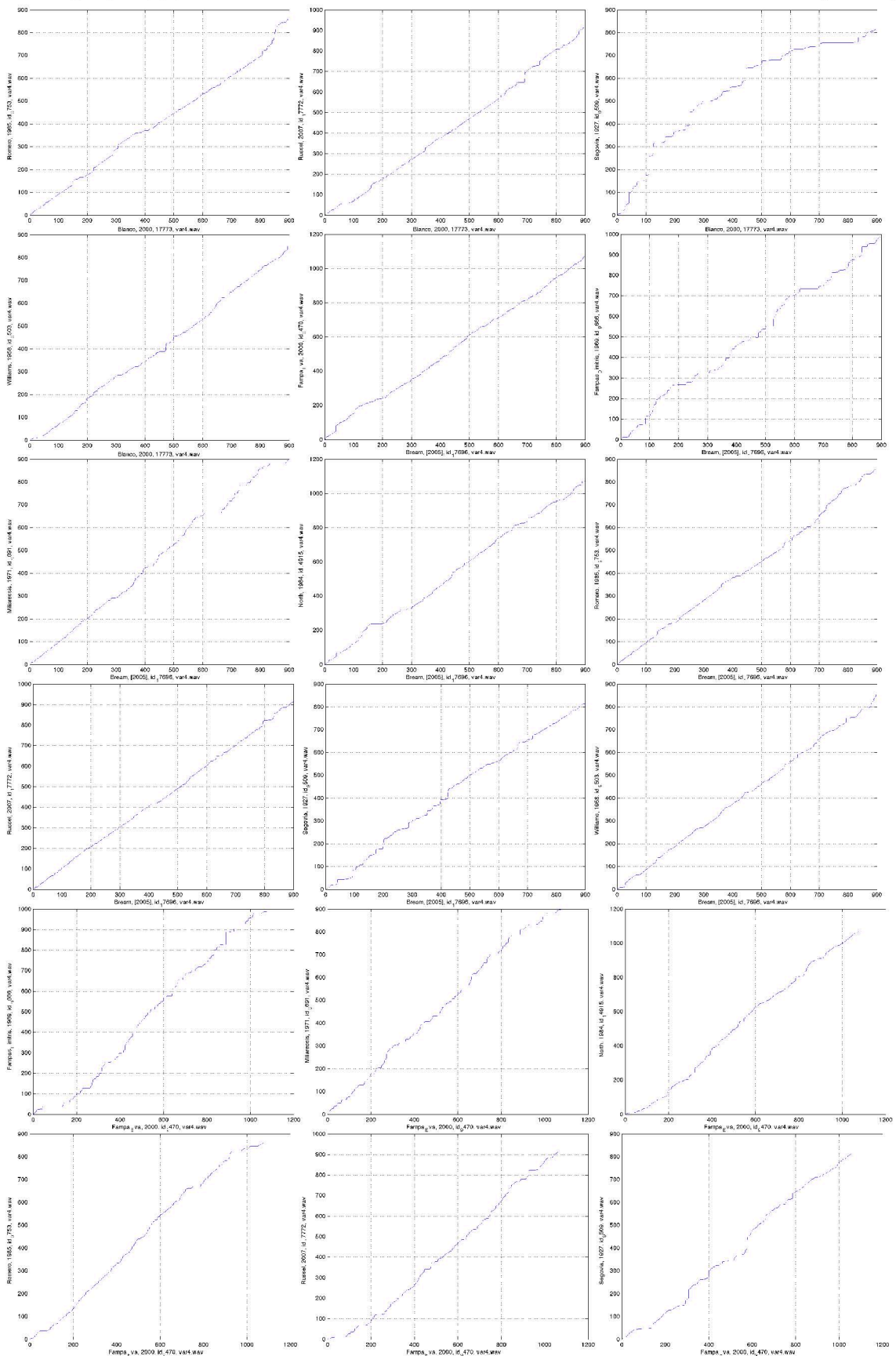


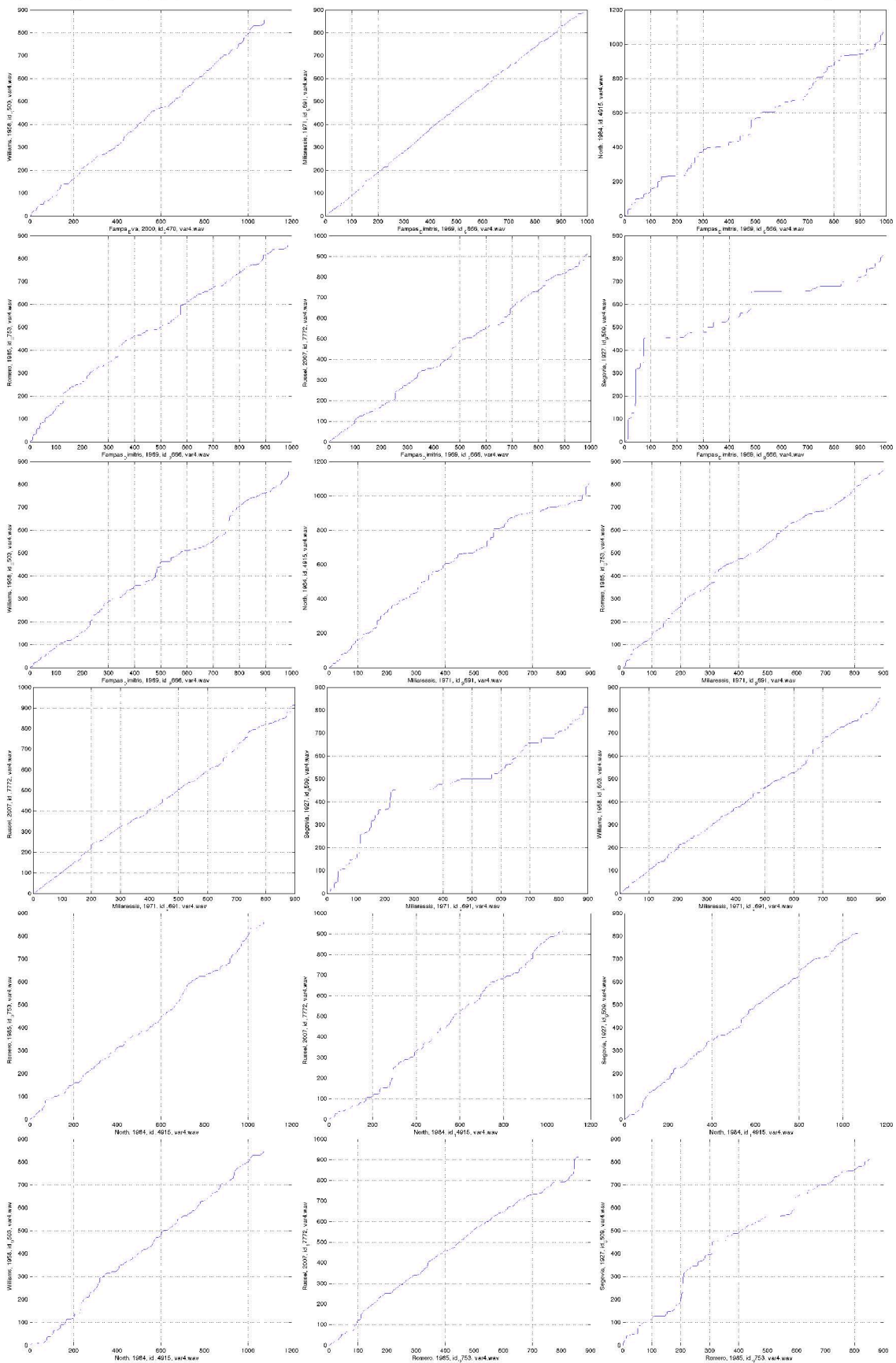


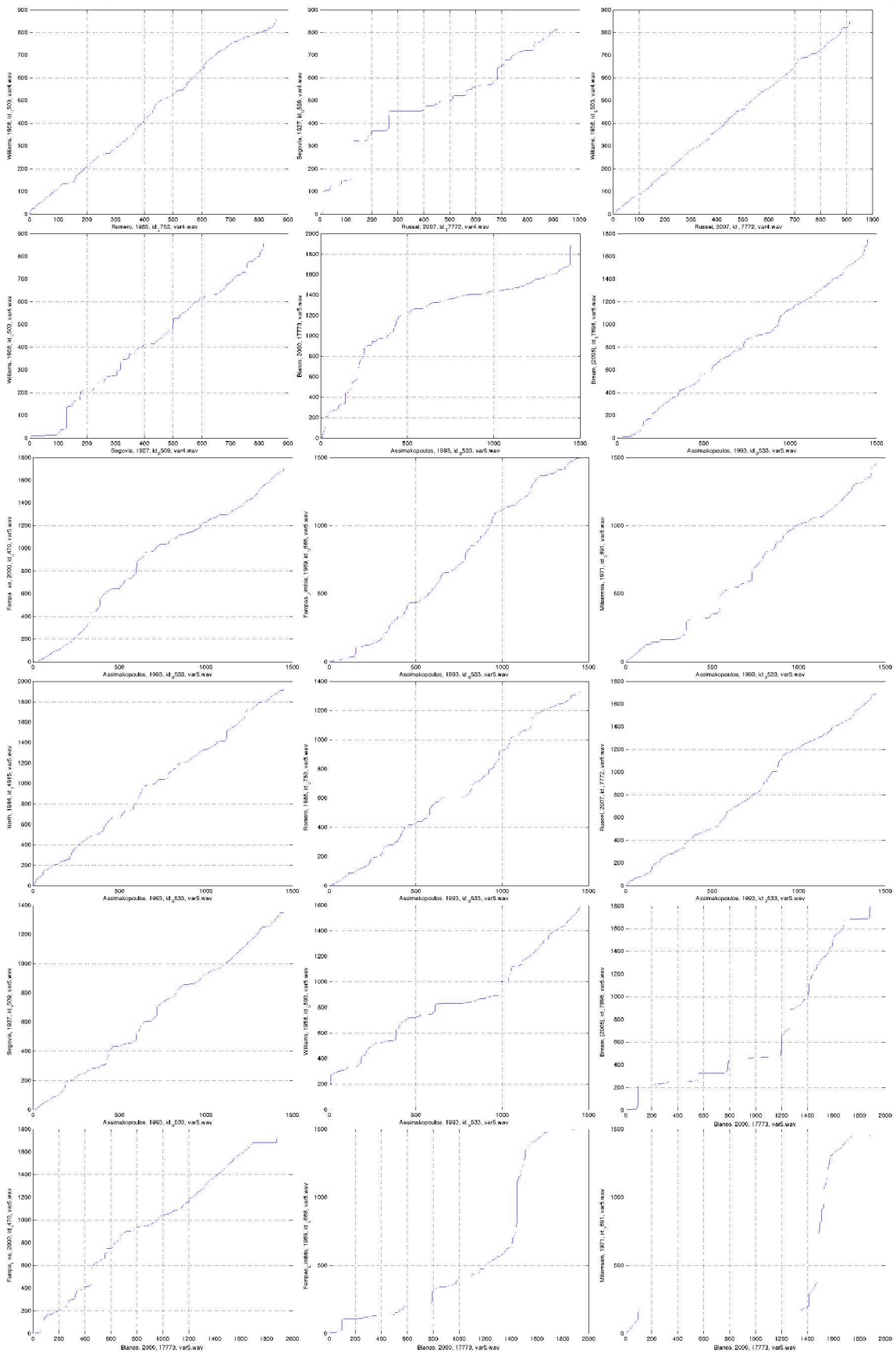






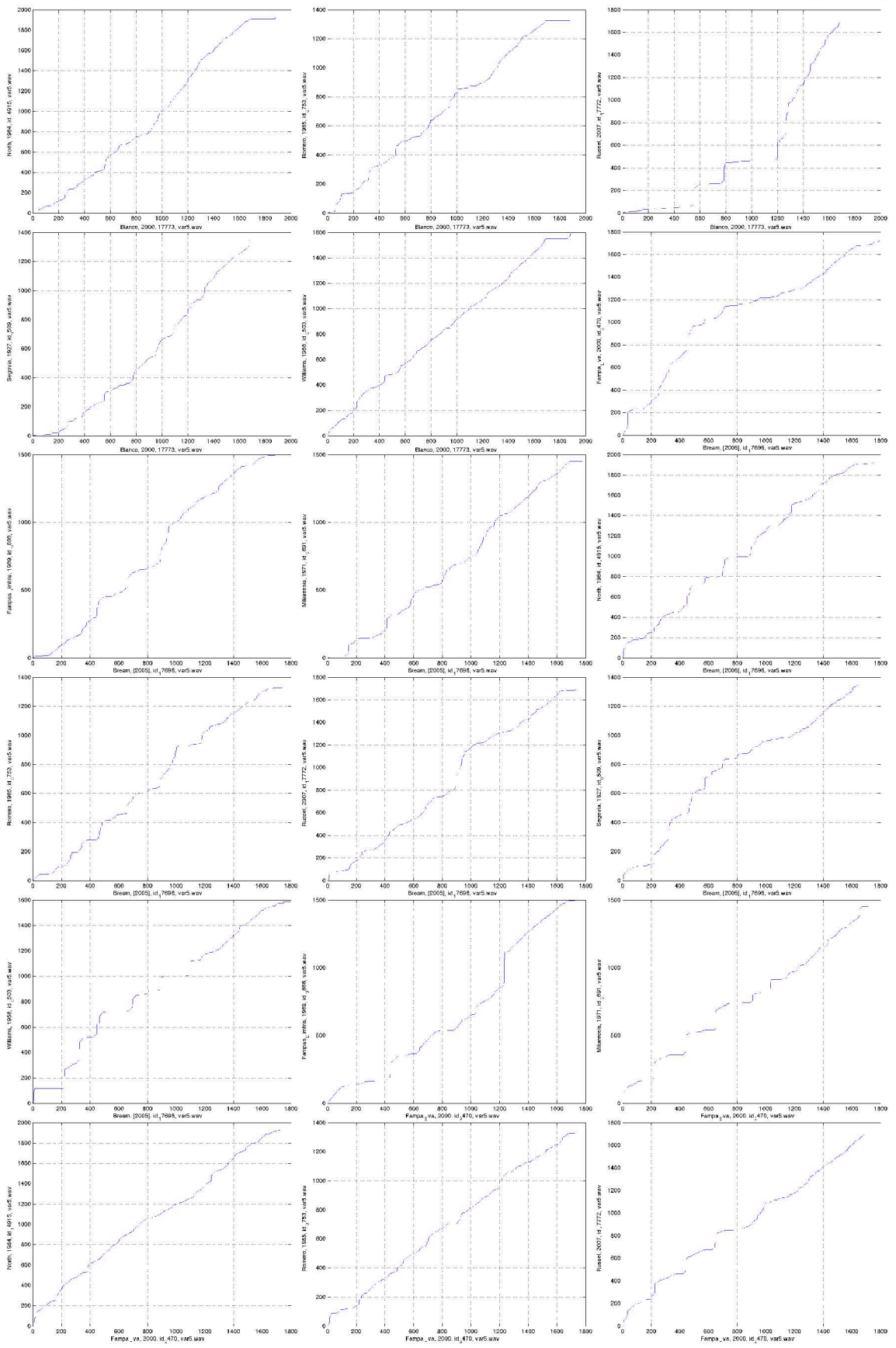






Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τάσος Κολυδάς



Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τάσος Κολυδάς

