



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΚΑΙ ΜΑΘΗΣΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

The Real-Book of Jazz Key Detection Dataset

DIPLOMA THESIS

by

Ioannis Psarras

Επιβλέπων: Γεώργιος Στάμου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2024



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Τεχνολογίας Πληροφορικής και Υπολογιστών
Εργαστήριο Συστημάτων Τεχνητής Νοημοσύνης και Μάθησης

The Real-Book of Jazz Key Detection Dataset

DIPLOMA THESIS

by

Ioannis Psarras

Επιβλέπων: Γεώργιος Στάμου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 18^η Ιουλίου, 2024.

.....
Γεώργιος Στάμου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Αθανάσιος Βουλόδημος
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ανδρέας-Γεώργιος Σταφυλοπάτης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2024

Copyright © – All rights reserved Ioannis Psarras, 2024.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

.....

ΙΩΑΝΝΗΣ ΨΑΡΡΑΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός
και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Περίληψη

Πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνητή νοημοσύνη έχουν επιτρέψει την ενσωμάτωση εξαιρετικά καινοτόμων συστημάτων σε διάφορους τομείς. Ένα από τα πεδία που παρουσιάζει ιδιαίτερη άνοδο, είναι αυτό της ανάκτησης μουσικής πληροφορίας. Αποτέλεσμα, είναι η σημαντική βελτίωση, τόσο της μουσικής παραγωγικής διαδικασίας, όσο και της εμπειρίας της ακρόασης. Ένα συγκεκριμένο ζήτημα το οποίο χρήζει περεταίρω εξέτασης, είναι αυτό της ανίχνευσης της τονικότητας ενός κομματιού. Στην παρούσα εργασία, προτείνουμε ένα σύνολο δεδομένων για χρήση στην ανάπτυξη αλγορίθμων ανίχνευσης τονικότητας. Ξεκινήσαμε ερευνώντας διάφορα σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιούνται για σκοπούς εκπαίδευσης και testing αλγορίθμων ανίχνευσης τονικότητας. Παρά την αφθονία τους, διαπιστώσαμε ότι τα διαθέσιμα δεδομένα δεν χαρακτηρίζονται από αρμονική ποικιλομορφία. Στοιχεία όπως αλλαγές τονικότητας ή αρμονικά σύνθετα είδη όπως η τζαζ, δεν βρέθηκαν συχνά σε αυτούς τους πόρους. Αυτό σημαίνει πως υπάρχει ένα μεγάλο μέρος αρμονικής πληροφορίας το οποίο οι τρέχουσες πρακτικές μας πιθανώς δεν λαμβάνουν υπόψη. Σε μια προσπάθεια να αντιμετωπίσουμε αυτό το πρόβλημα, αποφασίσαμε να αντλήσουμε το περιεχόμενο αυτού του συνόλου δεδομένων από το βιβλίο που αντιπροσωπεύει καλύτερα το είδος της τζαζ μουσικής, το *The Real-Book of Jazz*, μια συλλογή από τα πιο χαρακτηριστικά κομμάτια του τζαζ ρεπερτορίου. Αφού εξετάσαμε το θεωρητικό μουσικό υπόβαθρο που προκύπτει από αυτά τα κομμάτια, τα αναλύσαμε ως προς την τονικότητά τους. Έτσι, δημιουργήσαμε μία λίστα των τραγουδιών αυτών, όπου για κάθε ένα από αυτά επισημάνουμε όλες τις τονικότητες από τις οποίες περνάει, μαζί με το ακριβές σημείο στο οποίο αυτό συμβαίνει. Συμπεριλάβαμε επίσης μια απλή εκτέλεση του κομματιού, σύμφωνα με τις παρτιτούρες που βρίσκονται στο Real-Book. Για την περαιτέρω εδραίωση των αρμονικών κανόνων που προσπαθούμε να αναδείξουμε μέσω αυτού του συνόλου δεδομένων, προχωρήσαμε στην έκφρασή τους σε μορφή γλώσσας περιγραφικής λογικής, προκειμένου να τους ενσωματώσουμε σε μια οντολογία που σχετίζεται με την αρμονική ανάλυση. Για να αξιολογήσουμε το έργο μας, αρχικά, αναπτύξαμε μια διαδικασία για αρμονική ανάλυση κομματιών μέσω λογικής με τη χρήση ερωτημάτων SPARQL. Σε αυτά τα αποτελέσματα είδαμε ότι η τελική οντολογία ήταν πράγματι σε αρκετές περιπτώσεις ικανή να περιγράψει επαρκώς το αρμονικό περιεχόμενο. Για την αξιολόγηση του συνόλου δεδομένων, επιλέξαμε μια σειρά αλγορίθμων ανίχνευσης τονικότητας. Έπειτα, συγκρίναμε την απόδοσή τους έχοντας ως είσοδο το δικό μας σύνολο δεδομένων, με την απόδοσή τους έχοντας ως είσοδο κάποια άλλα ευρέως χρησιμοποιούμενα σύνολα. Στα αποτελέσματα ήταν ξανά εμφανές πως ορισμένες από αυτές τις πρακτικές υστερούν από την έλλειψη ενός πλούσιου αρμονικού λεξιλογίου στα αντίστοιχα δεδομένα με τα οποία εκπαιδεύονται. Αυτό ήρθε να επιβεβαιώσει τα αρχικά ερωτήματα που αποτέλεσαν το κύριο κίνητρο για την παρούσα εργασία, και ανοίγει το δρόμο για μια, όσο το δυνατόν πιο περιεκτική, προσέγγιση στη συγκέντρωση πόρων για όλες τις εργασίες ανάκτησης μουσικής πληροφορίας.

Λέξεις-κλειδιά — Ανίχνευση Τονικότητας, Περιγραφική Λογική, Οντολογία, Σύνολο Δεδομένων, Μουσική Αρμονία, Real-Book of Jazz

Abstract

Advances in artificial intelligence have enabled the integration of extremely innovative systems in many fields. One of the fields that has been particularly on the rise, is music information retrieval. This has significantly enhanced both the production of music and the listening experience. One specific task that is really worth focusing on, is the task of audio key detection, examine the current state of resources and practices, and try to build on that existing foundation. In this work, we propose a dataset for use in audio key detection tasks.

We started off by taking a look at the datasets that are currently being used for training and testing purposes of key detection algorithms. Despite the abundance of resources, we found that the current data pool is not heavily characterized by harmonic diversity. Elements like key changes, or harmonically advanced genres like jazz, were not to be found in these resources. This ultimately means that there is a great part of harmonic information that remains uncaptured by our current practices. In an effort to mitigate this, we decided to draw the content of this dataset from the book that best represents the genre of jazz music, *The Real-Book of Jazz*. The Real-Book of Jazz is a collection of jazz music's most characteristic songs, and the ones that ultimately created what we now consider as modern harmony. After going over the theoretical musical background that derived from these songs, we used it to analyze each song in terms of its tonality. After that, we created list of these songs, where for each one we wrote down all the different keys it passes through, along with the exact point of the song that this happens. We also included a simple performance of the song, according to the lead sheets found in the Real-Book. To further consolidate the harmonic rules we are trying to highlight through that dataset, we proceeded by expressing them in descriptive logic language format, in order to incorporate them into a music related ontology. After going through some of the available options, we found that the one that matches the structure of our theoretical background the best, is the *Functional Harmony Ontology*. To evaluate our work on the ontology side, we developed a process for harmonically analyzing songs via reasoning using SPARQL queries. In these results we saw that the final ontology was really able to capture the nuances of the harmonic context, despite its complexity, and deliver a really strong prediction for the keys of the songs we analyzed. For the evaluation of the dataset, we used a series of key detection algorithms, to compare their performance when having our dataset as input, with their performance when tested upon some other commonly used datasets. What was evident in the results of both the ontology and the dataset experiments, was that some of these practices suffer from the lack of a diverse harmonic vocabulary in the respective data. This came to confirm the initial questions that served as the main motivation for this work, and opens the way for an, as inclusive as possible, approach to the gathering of resources for all music information retrieval tasks.

Keywords — Audio Key Detection, Descriptive Logic, Ontology, Dataset, Music Harmony, Real-Book of Jazz

Ευχαριστίες

Το έργο αυτό δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς την υποστήριξη και βοήθεια πολλών ανθρώπων. Πρώτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Στάμου Γεώργιο, για την πολύτιμη βοήθεια και κατανόηση του κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας. Ευχαριστώ πολύ επίσης τους Βασίλη Λυμπεράτο και Σπύρο Κανταρέλη για την διαρκή καθοδήγησή τους και διαμοιρασμό των ιδεών τους.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένεια και τους φίλους μου, που με στήριζαν καθημερινά με την αγάπη και το ενδιαφέρον τους. Ευχαριστώ πολύ την Μαριάνθη, για την στήριξη και τη βοήθειά της. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστώ ιδιαίτερα την Ελένη για την αγάπη, την υπομονή και την δύναμη που μου έδωσε καθ' όλη αυτή την περίοδο.

Ψαρράς Ιωάννης, Ιούλιος 2024

Contents

Contents	13
List of Figures	16
Εκτεταμένη Περίληψη στα Ελληνικά	21
0.1 Τεχνολογικό υπόβαθρο	22
0.1.1 Υπόβαθρο Οντολογίας	22
0.1.2 Πειραματική διαδικασία dataset	24
0.2 Μουσικό Θεωρητικό υπόβαθρο	26
0.2.1 Κλίμακες και Τρόποι	26
0.2.2 Συγχορδίες και Τονικά Κέντρα	28
0.2.3 Δανεισμός Συγχορδιών	31
0.3 Το Dataset	35
0.3.1 Επισκόπηση του Dataset	35
0.3.2 Περιπτώσεις Ανάλυσης	36
0.4 Η οντολογία	50
0.4.1 Functional Harmony Ontology	51
0.4.2 Προσθήκες και Αλλαγές	53
0.4.3 Ανάλυση με χρήση οντολογίας	57
0.5 Μέθοδοι Αξιολόγησης	60
0.5.1 Αποτελέσματα και συγκρίσεις	61
0.6 Συμπεράσματα	67
0.6.1 Συζήτηση	67
0.6.2 Μελλοντικές Κατευθύνσεις	68
Introduction	71
Technological Background	73
0.7 Ontology background	74
0.7.1 Ontology	74
0.7.2 OWL 2	74
0.7.3 Related Ontologies	75
0.7.4 owlready2	75
0.7.5 GraphDB	76

0.7.6	SPARQL	76
0.8	Dataset Experiments Background	76
0.8.1	Relevant datasets	76
0.8.2	Key detection Algorithms	77
Musical Background		79
0.9	Scales and Modes	80
0.9.1	Scales	80
0.9.2	Modes	81
0.10	Key and Chord Set	82
0.10.1	Key	82
0.10.2	Chord set	82
0.11	Modal Interchange	84
0.11.1	Diatonic Modal Interchange	84
0.11.2	Non-Diatonic Modal Interchange	85
0.12	Other non-diatonic chords and rules	86
0.12.1	The Secondary Dominant	86
0.12.2	The Substitute Dominant	86
0.12.3	The Relevant Two	87
0.12.4	Non-Diatonic Diminished Chords	87
The Dataset		89
0.13	Dataset Overview	89
0.13.1	The Real Book of Jazz	89
0.13.2	The Criteria	89
0.14	Test Cases	90
0.14.1	Song Case: There will never be another you	90
0.14.2	Song Case: Triste	94
0.14.3	Song Case: Have you met miss Jones	99
0.14.4	Song Case: Recordame	102
The Ontology		105
0.15	The Functional Harmony Ontology	105
0.16	Additions and modifications	108
0.17	Test Cases	111
0.17.1	Case 1: There will never be another you	112
0.17.2	Case 2: Triste	113
Dataset Experiments		115
0.18	Evaluation methods	116
0.19	Results	116
0.19.1	justkeydding	116
0.19.2	madmom	120
0.19.3	KeyFinder	121

Conclusion	123
0.20 Discussion	123
0.21 Future Work	123
Bibliography	125

List of Figures

0.3.1 Οδηγός για το κομμάτι "There will never be another you"	38
0.3.2 "There will never be another you": Τονικά κέντρα	40
0.3.3 Οδηγός για το κομμάτι "Triste"	42
0.3.4 "Triste": Τονικά κέντρα	45
0.3.5 Οδηγός για το κομμάτι "Have you met miss Jones"	46
0.3.6 Have you met miss Jones tonic centers	48
0.3.7 Οδηγός για το κομμάτι "Recordame"	49
0.3.8 "Recordame": Τονικά κέντρα	50
0.4.1 Η κλάση "Chord" στη Functional Harmony Ontology	51
0.4.2 Μέρος της κλάσης Major ChordType στη Functional Harmony Ontology	52
0.4.3 Όλες οι περιπτώσεις εμφάνισης της συγχορδίας Cmaj7 στη Functional Harmony Ontology	52
0.4.4 Η κλάση chord functions	53
0.4.5 Η κλάση subdominant chord function	53
0.4.6 Η κλάση dominant chord function.	54
0.4.7 Diminished chords as presented in the functional harmony ontology.	56
0.5.1 Recordame justkeydding: τονικά κέντρα	65
0.14.1 There will never be another you lead sheet	91
0.14.2 There will never be another you tonic centers	94
0.14.3 Triste lead sheet	95
0.14.4 Triste tonic centers	98
0.14.5 Have you met miss Jones lead sheet	100
0.14.6 Have you met miss Jones tonic centers	101
0.14.7 Recordame lead sheet	102
0.14.8 Recordame tonic centers	104
0.15.1 The Chord class in the Functional Harmony Ontology.	106
0.15.2 Part of the Major ChordType class in the Functional Harmony Ontology.	107
0.15.4 The chord functions class.	107
0.15.5 The subdominant chord function class.	107
0.15.6 The dominant chord function class.	107
0.15.3 All the instances of the Cmaj7 chord in Tonal and Modal Harmony, listed in the Functional Harmony Ontology	108

0.16. Diminished chords as presented in the functional harmony ontology.	110
0.19. Recordame justkeydding tonic centers	119

Εκτεταμένη Περίληψη στα Ελληνικά

Τα τελευταία χρόνια, σημειώνεται σημαντική πρόοδος στον τομέα της ανάκτησης μουσικής πληροφορίας. Η είσοδος της τεχνητής νοημοσύνης έχει προσφέρει ένα πλήθος εργαλείων που βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση των βασικών μουσικών εννοιών και βελτιώνουν τη διαδικασία της σύνθεσης. Έτσι, είναι σημαντική η πλήρης αξιοποίηση του μουσικού λεξιλογίου, προκειμένου τα εργαλεία αυτά να βελτιστοποιηθούν όσο το δυνατό περισσότερο.

Ένα από τα θεμελιώδη στοιχεία της μουσικής, είναι η τονικότητα του μουσικού κομματιού. Ο προσδιορισμός της τονικότητας είναι μια διαδικασία που διαφέρει σε δυσκολία ανάλογα με το είδος, ή ακόμη και τους καλλιτέχνες του ίδιου είδους. Για τον σωστό εντοπισμό και καταγραφή της τονικότητας ενός κομματιού, απαιτείται επαρκής κατανόηση των κανόνων της αρμονίας. Το είδος που χρησιμοποιείται συνηθέστερα ως σημείο αναφοράς κατά τη μελέτη της σύγχρονης αρμονίας, είναι η μουσική τζαζ. Στην παρακάτω εργασία, προτείνουμε ένα σύνολο δεδομένων που εστιάζει στην μελέτη και αποτύπωση της τζαζ ή μοντέρνας αρμονίας, με στόχο την χρήση από αλγόριθμους ανίχνευσης τονικότητας. Θα αντλήσουμε τα κομμάτια του συνόλου αυτού από το Real-book of Jazz. Το Real-book of Jazz αποτελεί ένα πλήρες εγχειρίδιο με παρτιτούρες για πολλά από τα πιο χαρακτηριστικά κομμάτια του τζαζ ρεπερτορίου. Θα μελετήσουμε κάθε ένα από τα κομμάτια ως προς την τονικότητά τους. Μαζί με τον προσδιορισμό και την καταγραφή των τονικών τους κέντρων, θα συμπεριλάβουμε και ένα αρχείο ήχου με μια απλή εκτέλεση του κομματιού. Στη συνέχεια, θα χρησιμοποιήσουμε κάποιους γνωστούς αλγόριθμους ανίχνευσης τονικότητας, για να αξιολογήσουμε το σύνολο δεδομένων αυτό.

Μαζί με τη δημιουργία του συνόλου δεδομένων, θα παραθέσουμε και τους αρμονικούς κανόνες που χρησιμοποιήσαμε στην ανάλυσή μας. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε αυτό το σύνολο κανόνων χρησιμοποιώντας γλώσσες περιγραφικής λογικής, προκειμένου να τους ενσωματώσουμε σε μια μουσική οντολογία.

0.1 Τεχνολογικό υπόβαθρο

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί, θα δώσουμε μια εκτεταμένη επισκόπηση των διαφόρων τεχνολογιών που θα χρησιμοποιηθούν και θα αναφερθούν σε όλη την παρούσα εργασία. Οι τεχνολογίες αυτές χωρίζονται σε ομάδες. Πρώτα θα παρουσιάσουμε τις τεχνολογίες που αφορούν το μέρος της οντολογίας, πριν προχωρήσουμε στις τεχνολογίες που χρησιμοποιήσαμε για σκοπούς δοκιμής συνόλων δεδομένων.

0.1.1 Υπόβαθρο Οντολογίας

Για να ξεκινήσουμε το θεωρητικό μας υπόβαθρο, θα ρίξουμε μια ματιά στις διάφορες τεχνολογίες που χρησιμοποιήσαμε, προκειμένου να πραγματοποιήσουμε αρμονική ανάλυση χρησιμοποιώντας μια οντολογία που σχετίζεται με τη μουσική. Θα εργαστούμε χρονολογικά προς την επίτευξη αυτού του στόχου, ξεκινώντας με μια επισκόπηση ορισμένων σχετικών οντολογιών που σχετίζονται με τη μουσική. Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε τα εργαλεία που χρησιμοποιήσαμε για να τροποποιήσουμε την οντολογία που καταλήξαμε να υλοποιήσουμε. Τέλος, θα ολοκληρώσουμε αυτή την ενότητα, παρουσιάζοντας τις τεχνολογίες που μας βοήθησαν να χρησιμοποιήσουμε την τελική οντολογία για να αναλύσουμε αρμονικά ορισμένα τραγούδια που περιλαμβάνονται στο σύνολο δεδομένων μας. Αλλά πρώτα, θα εξετάσουμε το τι ορίζουμε ως οντολογία και ποια είναι τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της.

Οντολογία

Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούμε κατηγορίες αντικειμένων έτσι ώστε να αναπαραστήσουμε ένα πεδίο γνώσης. Για να αποδόσουμε ονόματα να κατηγοριοποιήσουμε στις έννοιες που επιχειρούμε να περιγράψουμε, πρέπει να μελετήσουμε τις ιδιότητές τους και να διευκρινήσουμε τον τρόπο με τον οποίο σχετίζονται μεταξύ τους. Τα χαρακτηριστικά αυτά, τα οποία καθορίζουν και τη γνώση, πρέπει να ορίζονται με τρόπο που να ικανοποιεί γενικότερες έννοιες του ατόμου, των κατηγοριών και των σχέσεων που τα συνδέουν. Περιγραφές που διατυπώνουν πληροφορίες αυτού του τύπου για ένα συγκεκριμένο πεδίο γνώσης ονομάζονται ορολογικές, ενώ οι αντίστοιχες γνώσεις που αναπτύσσονται ονομάζονται ορολογίες ή οντολογίες. Μέσω της σημασιολογικής ερμηνείας και λογικής ανάλυσης των οντολογιών, μπορούμε να απαντήσουμε σε ερωτήματα όπως το αν κάποια κατηγορία είναι γενικότερη από κάποια άλλη, ή αν κάποιο συγκεκριμένο αντικείμενο ανήκει σε μια κατηγορία [24].

Το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη οντολογικών περιγραφών είναι η θεμελίωση των ατόμων (individuals), των στοιχείων, δηλαδή, του κόσμου που περιγράφουμε. Τα άτομα αποτελούν συμβολοσειρές (ονόματα), οι οποίες τα προσδριάζουν συντακτικά και δίνουν τη δυνατότητα τυπικής, μονοσήμαντης αναφοράς σε αυτά [24].

Τα άτομα έχουν συγκεκριμένες ιδιότητες και με βάση αυτές κατατάσσονται σε κατηγορίες ή κλάσεις, με κάποιες κλάσεις να είναι γενικότερες από άλλες. Οι κλάσεις ονοματίζονται με τη χρήση συμβολοσειρών και αντιστοιχούν σε μια συγκεκριμένη ιδιότητα, την οποία εξετάζουμε για να δούμε αν κάποιο άτομο είναι μέλος αυτής της κλάσης ή όχι. Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να αναφερθούμε σε μια κλάση περιγραφικά, με σύνθετα ονόματα που συνήθως περιγράφουν λεκτικά τις ιδιότητές των ατόμων που την απαρτίζουν [24]. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι οντολογίες μπορούν να περιγραφούν μόνο με χρήση κλάσεων, οι οποίες στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για τον άμεσο χαρακτηρισμό των αντίστοιχων δεδομένων, χωρίς να απαιτείται χρήση ατόμων. Όπως θα δούμε στα επόμενα κεφάλαια, αυτό θα συμβεί και στη δική μας υλοποίησή [18].

Οι σχέσεις σε μια οντολογία περιγράφουν τον τρόπο με τον οποίο τα άτομα ή οι κλάσεις σχετίζονται μεταξύ τους. Μια σχέση μπορεί να είναι μεταξύ δύο ατόμων, δύο κλάσεων ή ενός ατόμου και μιας κλάσης [18]. Οι

σχέσεις ενός ατόμου με άλλα άτομα συγκεκριμένης κλάσης είναι σημαντικές για την κατάταξή τους σε κάποια κλάση.

OWL 2

Η γλώσσα OWL 2, είναι μια γλώσσα οντολογιών Σημασιολογικού Ιστού. Η χρήση της γλώσσας OWL 2 στην υλοποίηση οντολογιών παρέχει την δυνατότητα ορισμού κλάσεων, ιδιοτήτων, ατόμων και τιμών δεδομένων, τα οποία αποθηκεύονται ως οντότητες του Σημασιολογικού Ιστού. Οι οντολογίες OWL 2 αποτυπώνονται κυρίως με χρήση ενός εγγράφου RDF. Θα χρησιμοποιήσουμε τη γλώσσα OWL 2 για να ορίσουμε τα αρμονικά στοιχεία που στοχεύουμε να περιγράψουμε.

Σχετικές Οντολογίες

Υπάρχει μεγάλος αριθμός διαφορετικών προσεγγίσεων όσον αφορά τη λογική αναπαράσταση μουσικού περιεχομένου. Έχουμε στη διάθεση μας πολυάριθμες τέτοιες αναπαραστάσεις σε μορφή οντολογίας, οι οποίες διαφέρουν ως προς την πτυχή της μουσικής πληροφορίας που επιδιώκουν να περιγράψουν. Υπάρχουν περιπτώσεις που αναφέρονται κυρίως στο κομμάτι της μουσικής παραγωγής. Η *Studio Ontology Framework* (Fazekas et al.[8]), στοχεύει στην παροχή μιας ευρείας επισκόπησης της διαδικασίας μουσικής παραγωγής, δίνοντας μια εννοιολογική περιγραφή των στοιχείων που βρίσκονται σε ένα μουσικό στούντιο. Οι Fields et al.[9] πρότειναν την *Segment Ontology* που επικεντρώνεται σε tasks επεξεργασίας μουσικού σήματος. Οι Turchet et al.[23] παρουσίασαν την *Internet of Musical Things Ontology*, η οποία επικεντρώνεται στα μέσα κατανάλωσης μουσικής, μαζί με όρους που σχετίζονται με την μουσική παραγωγή. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις σχετικές με τη σημειογραφία και τη σημασιολογία της παρτιτούρας. Η *MusicOWL* είναι μια οντολογία η οποία εισήχθη από τους Jones et al.[11], και αποσκοπεί στην περιγραφή των παρτιτούρων της Δυτικής Μουσικής, καλύπτοντας πληροφορίες όπως οι μελωδίες, δυναμικές και τονικότητες. Μια άλλη οντολογία μουσικής σημειογραφίας είναι η [MUSICNOTE](#), των Cherfi et al.[5], η οποία αποσκοπεί στην ενσωμάτωση σημασιολογικών μουσικών στοιχείων για την επέκταση της κωδικοποίησης των παρτιτούρων. Οι Charbel et al.[7] ανέπτυξαν την *MusicPatternOWL*, μια οντολογία που δομεί τα αποτελέσματα ενός αλγορίθμου ανάλυσης μουσικών μοτίβων, για την υποστήριξη της διαδικασίας ανάλυσης παρτιτούρων. Μια προσέγγιση που βασίζεται περισσότερο στα μουσικά όργανα έχει γίνει από τους Kolozali et al.[15], οι οποίοι πρότειναν μια οντολογία μουσικών οργάνων βασιζόμενοι στο σύστημα ταξινόμησης των Hornbostel και Sachs. Χρησιμοποιώντας το ίδιο σύστημα ταξινόμησης, ο Ayorinde[2] πρότεινε μια οντολογία που παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις οικογένειες, τις ομάδες και τα χαρακτηριστικά των μουσικών οργάνων. Οι Kaur και Aggarwal[13] ανέπτυξαν μια οντολογία μουσικών οργάνων με έμφαση στα βασικά χαρακτηριστικά των εγχόρδων, την *string_οντολογία*. Εξετάζοντας την συναισθηματική προσέγγιση της μουσικής, οι Song et al.[22] πρότειναν την οντολογία *Context-based Music Recommendation (COMUS)*, συσχετίζοντας την συναισθηματική κατάσταση του ακροατή με βάση πληροφορίες μουσικών προτιμήσεων. Από θεωρητικής πλευράς, οι Sabbir et al.[20] πρότειναν την *Music Theory Ontology*, η οποία εξετάζει έννοιες όπως η μουσική σημειογραφία, η διάρκεια, οι συγχορδίες, οι αλυσίδες συγχορδιών και οι βαθμίδες.

Παρά το γεγονός ότι ορισμένες από αυτές τις οντολογίες προσφέρουν μια πολύ χρήσιμη αναπαράσταση των μουσικών εννοιών, καταλήξαμε να επιλέξουμε μια άλλη επιλογή για να βασίσουμε την υλοποίησή μας. Αυτή η οντολογία, η *Functional Harmony Ontology* [12], θα εξεταστεί διεξοδικά σε επόμενα κεφάλαια.

owlready2

Το Owlready2¹ είναι ένα πακέτο για προγραμματισμό σε Python σχετικό με τη φόρτωση, τροποποίηση και αποθήκευση οντολογιών. Χρησιμοποιούμε το πακέτο owlready2 για να τροποποιήσουμε την Functional Harmony Ontology, όπως θα δούμε διεξοδικά στο κεφάλαιο 0.14.4.

GraphDB

Το Ontotext GraphDB είναι ένα περιβάλλον υποστήριξης βάσεων δεδομένων γράφων, συμβατό με το πρότυπο RDF και την γλώσσα SPARQL². Θα χρησιμοποιήσουμε το GraphDB για να αποθηκεύσουμε σε μορφή γράφου τα δεδομένα της οντολογίας μας, πρώτου πραγματοποιήσουμε αρμονική ανάλυση μέσω σημασιολογικού λογισμού χρησιμοποιώντας SPARQL queries.

SPARQL

Η SPARQL είναι μια γλώσσα σημασιολογικού λογισμού για βάσεις δεδομένων, ικανή να ανακτά και να χειρίζεται δεδομένα αποθηκευμένα σε μορφή RDF³. Η SPARQL μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έκφραση ερωτημάτων σε διάφορες πηγές δεδομένων, είτε αυτές εγγενώς αποθηκευμένες ως RDF, είτε προβάλλονται ως RDF μέσω ενδιάμεσου λογισμικού. Η SPARQL υποστηρίζει επίσης την άθροιση, τα υποερωτήματα, την άρνηση, τη δημιουργία τιμών μέσω εκφράσεων, τον επεκτάσιμο έλεγχο τιμών και τον περιορισμό των ερωτημάτων με βάση τον αρχικό γράφο RDF. Τα αποτελέσματα των ερωτημάτων SPARQL μπορούν να είναι σύνολα αποτελεσμάτων ή γραφήματα RDF⁴. Θα χρησιμοποιήσουμε τη γλώσσα SPARQL για να εξάγουμε τις εκτιμήσεις που προκύπτουν από την αρμονική ανάλυση της οντολογίας μας, μέσω σημασιολογικού λογισμού.

0.1.2 Πειραματική διαδικασία dataset

Στην επόμενη ενότητα θα παρουσιάσουμε τις τεχνολογίες που σχετίζονται με τη δημιουργία και την αξιολόγηση του συνόλου δεδομένων μας. Αυτές περιλαμβάνουν, κάποια αντίστοιχα σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση και το testing των αλγορίθμων ανίχνευσης τονικότητας, μαζί με ορισμένους από τους διαθέσιμους αυτούς αλγορίθμους, που χρησιμοποιήσαμε στη διαδικασία αξιολόγησης του συνόλου δεδομένων μας.

Σχετικά Dataset

Υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός συνόλων δεδομένων που προσφέρονται για προβλήματα αναγνώρισης και ταυτοποίησης μουσικών στοιχείων. Παρ'όλ'αυτά, η πλειονότητα των συνόλων αυτών εστιάζει στο κομμάτι των συναισθημάτων ή στην ταυτοποίηση ηχητικής πηγής. Υπάρχουν ορισμένα σύνολα δεδομένων που επικεντρώνονται σε αλγορίθμους ανίχνευσης τονικότητας (MIREX2005Key, GianStepsDataset, Isophonics, RobbieWilliams, Billboard2012Key). Τα συγκεκριμένα σύνολα, εστιάζουν κυρίως σε περιπτώσεις κομματιών που διατηρούν μια αρχική τονικότητα. Έτσι, δεν υπάρχει αρκετή διαθέσιμη πληροφορία για κομμάτια με εναλλαγές στο τονικό τους κέντρο. Ας εξετάσουμε όμως πιο συγκεκριμένα μερικές από τις βασικές περιπτώσεις τέτοιων συνόλων.

¹<https://owlready2.readthedocs.io/en/latest/>

²<https://graphdb.ontotext.com/documentation/10.7/>

³<https://en.wikipedia.org/wiki/SPARQL>

⁴<https://www.w3.org/TR/sparql11-query/>

Ορισμένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα σύνολα δεδομένων για την εκπαίδευση και την αξιολόγηση αλγορίθμων ανίχνευσης τονικότητας προέρχονται από είδη που αποτελούν μέρος της δημοφιλούς μουσικής. Το *GiantSteps Key*[14] είναι ένα σύνολο δεδομένων που αντλεί το περιεχόμενό του κυρίως από την ηλεκτρονική μουσική, ενώ τα *Isophonics* και *Billboard2012*, είναι σύνολα δεδομένων που περιέχουν κυρίως συνθέσεις από καλλιτέχνες της ποπ μουσικής. Βλέπουμε πως υπάρχει ένας σημαντικός βαθμός μονομέρειας στο υλικό από το οποίο αντλούν περιεχόμενο οι παραπάνω περιπτώσεις. Είναι σημαντικό να έχουμε διαθέσιμη πληροφορία για όσο μεγαλύτερο μέρος του μουσικού οικοσυστήματος γίνεται. Στην προσπάθειά μας αυτή, η ενσωμάτωση του αρμονικού λεξιλογίου της τζαζ σε αυτή την πληροφορία, είναι επιτακτική. Κατά τη διάρκεια της ενότητας των αποτελεσμάτων, θα δούμε καλύτερα πώς η χρήση ενός αρμονικά πλουσιότερου λεξιλογίου θα μπορούσε να ενισχύσει σημαντικά τις υπάρχουσες πρακτικές.

Χρησιμοποιούμενοι Αλγόριθμοι

Για την αξιολόγηση του συνόλου δεδομένων χρησιμοποιήσαμε ορισμένους εκ των διαθέσιμων αλγορίθμων αναγνώρισης τονικότητας από τον ακαδημαϊκό τομέα, καθώς και μία αντίστοιχη εμπορική λύση. Θεωρήσαμε σημαντικό να συμπεριλάβουμε εφαρμογές από διαφορετικούς τομείς, για να αποκτήσουμε όσο το δυνατό πιο πλήρη αντίληψη ως προς την απόδοση των διαθέσιμων λύσεων. Από το ακαδημαϊκό πεδίο, χρησιμοποιήθηκαν οι αλγόριθμοι *madmom* και *justkeydding*, ενώ από τις διαθέσιμες εμπορικές λύσεις χρησιμοποιήθηκε η open source εφαρμογή *KeyFinder* ⁵.

Ο αλγόριθμος *justkeydding* [17] είναι ένας αλγόριθμος ανίχνευσης τονικότητας που βασίζεται στη χρήση του *nns-chroma*[19] και στα Κρυφά Μαρκοβιανά Μοντέλα [17], Θεωρώντας έναν συνολικό αριθμό 24 μείζονων και ελάσσονων τονικοτήτων, τα οποία αναπαρίστανται ως κρυφή κατάσταση στο HMM. Το μοντέλο αυτό αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας συνολικά 260 μουσικά κομμάτια, κυρίως από το ρεπερτόριο της κλασικής μουσικής. Χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό από μείζονα και ελάσσονα προφίλ τονικότητας, το μοντέλο πέτυχε ακρίβεια 84,8% στην ανίχνευση της τονικότητας τόσο αυτών των κομματιών, όσο και των κομματιών που ανήκουν στα σύνολα δεδομένων του key estimation task στο Music Information Retrieval Evaluation eXchange (MIREX).

Το *madmom* είναι μια βιβλιοθήκη Python για επεξεργασία ηχητικού σήματος, με έμφαση σε tasks ανάκτησης μουσικής πληροφορίας[4]. Το μοντέλο εκτίμησης τονικότητάς του βασίζεται στην δουλειά των Filip Korzenowski και Gerhard Widmer στο "Genre-Agnostic Key Classification With Convolutional Neural Networks" [16]. Το εν λόγω μοντέλο εκπαιδεύτηκε χρησιμοποιώντας 1077 κομμάτια από το σύνολο δεδομένων *GiantSteps MTG Key* ⁶, ένα σύνολο δεδομένων 1751 κομματιών κλασικής μουσικής, και το υποσύνολο εκπαίδευσης του συνόλου δεδομένων *McGill Billboard* ⁷. Σημειώνεται πως το σύνολο δεδομένων *GiantSteps MTG Key* διαφέρει από το σύνολο δεδομένων *GiantSteps Key* που αναφέρθηκε παραπάνω ως ένα από τα σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση στο MIREX.

Το *KeyFinder* είναι ένα open source εργαλείο εντοπισμού κλειδιών από τον I. Sha'ath [21] που στοχεύει στον εντοπισμό τονικοτήτων των ψηφιακών ηχογραφήσεων. Το *KeyFinder* είναι μια υλοποίηση που βασίζεται στον υπολογισμό του constant-Q transform μιας σειράς πλαισίων, τα οποία στη συνέχεια αντιστοιχίζονται σε ένα χρωματογράφημα μιας οκτάβας.

Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε κατά την αναζήτηση των κατάλληλων εργαλείων για το στάδιο

⁵<https://ibrahimshaath.co.uk/keyfinder/>

⁶<https://github.com/GiantSteps/giantsteps-mtg-key-dataset>

⁷[https://ddmal.music.mcgill.ca/research/The_McGill_Billboard_Project_\(Chord_Analysis_Dataset\)/](https://ddmal.music.mcgill.ca/research/The_McGill_Billboard_Project_(Chord_Analysis_Dataset)/)

των δοκιμών, είναι το γεγονός ότι μόνο μία από τις διαθέσιμες εφαρμογές (justkeydding) διαθέτει λειτουργία για αναγνώριση τοπικών τονικοτήτων, και κατά συνέπεια μετατροπών. Μάλιστα, σύμφωνα με τις οδηγίες συλλογής δεδομένων του MIREX 2021 όσον αφορά αλγόριθμους αναγνώρισης τονικότητας (πιθανός σύνδεσμος), αναφέρεται ως προϋπόθεση να λαμβάνονται υπόψη μόνο τα πρώτα 30 δευτερόλεπτα του μουσικού κομματιού, σε μια προσπάθεια να αποφευχθούν τονικές διαφοροποιήσεις που μπορεί να προκύψουν μετά από αυτό το σημείο. Έτσι, αυτό έχει ως αποτέλεσμα δύο πράγματα. Πρώτον, τα σύνολα δεδομένων τείνουν να μην εστιάζουν τόσο πολύ σε είδη μουσικής που οι αλλαγές τονικότητας είναι σύνηθες φαινόμενο. Δεύτερον, λόγω αυτής της κατεύθυνσης, οι αλγόριθμοι ανίχνευσης τονικότητας σπάνια προσφέρουν αυτή τη λειτουργικότητα. Αυτό αφήνει ανεξέταστο ένα μεγάλο κομμάτι του μουσικού ρεπερτορίου, το οποίο θα μπορούσε να συνεισφέρει σημαντικά στον εμπλουτισμό της υπάρχουσας γνώσης.

0.2 Μουσικό Θεωρητικό υπόβαθρο

0.2.1 Κλίμακες και Τρόποι

Στη θεωρία της μουσικής συναντάμε συχνά όρους που έχουν παρόμοια μορφή και ιδιότητες. Η σωστή κατανόηση των διαφορών τους είναι μεγάλης σημασίας αν θέλουμε να μεταφέρουμε αυτή τη γνώση σε ένα περιβάλλον λογισμικού. Στις επόμενες ενότητες, θα αποσαφηνίσουμε τις διαφορές μεταξύ των βασικών δομικών στοιχείων της αρμονίας, στην οποία θα βασίσουμε και την μετέπειτα ανάλυσή μας.

Κλίμακες

Οι κλίμακες καλούνται οι ανιούσες ακολουθίες 7 διαδοχικών νοτών και το όνομά τους προέρχεται από την πρώτη νότα, και την ποιότητα της κλίμακας. Υπάρχουν δύο βασικές ποιότητες ή κατηγορίες κλιμάκων στη δυτική μουσική θεωρία: η μείζων (ή ματζόρε) και η ελάσσονα (ή μινόρε) κλίμακα. Οι μείζονες και οι ελάσσονες κλίμακες έχουν συγκεκριμένες αποστάσεις μεταξύ των νοτών τους. Οι χαρακτηριστική ακολουθία των αποστάσεων μεταξύ των νοτών της μείζονας κλίμακας είναι η ακόλουθη(με T σημειώνονται οι τόνοι, ενώ με H τα ημιτόνια):

T - T - H - T - T - T - H

Κάθε νότα σε μια κλίμακα αντιστοιχεί σε μία βαθμίδα. Για παράδειγμα, στην κλίμακα *Nτο μείζονα*, η νότα *Nτο* είναι η πρώτη βαθμίδα ή η *I*, όπως συμβολίζεται. Αντίστοιχα ορίζονται και οι υπόλοιπες βαθμίδες της κλίμακας μέχρι και την έβδομη (*VII*). Για κάθε νότα υπάρχει μια μείζονα κλίμακα την οποία μπορούμε να βρούμε εφαρμόζοντας τις κατάλληλες αλλοιώσεις (διέσεις ή υφέσεις) στις νότες της έτσι ώστε να προκύπτει η παραπάνω αλληλουχία τόνων και ημιτόνων. Η *Nτο μείζονα* είναι η μοναδική μείζονα κλίμακα χωρίς αλλοιώσεις. Η μείζονα κλίμακα είναι το κύριο δομικό στοιχείο που χρησιμοποιούμε ως αναφορά για να προσδιορίσουμε όλες τις υπόλοιπες κλίμακες, με την ελάσσονα κλίμακα να είναι μία από αυτές. Πιο συγκεκριμένα, ο όρος ελάσσονα κλίμακα περιέχει 3 υποκατηγορίες κλιμάκων, την φυσική, την αρμονική και την μελωδική ελάσσονα. Η κάθε μία από αυτές έχει την δική της αλληλουχία διαστημάτων. Για την φυσική ελάσσονα έχουμε:

T - H - T - T - H - T - T

Συγκρίνοντας την παραπάνω αλληλουχία με αυτή της μείζονας κλίμακας, μπορούμε να εκφράσουμε τις βαθμίδες της ελάσσονας κλίμακας με βάση αυτές της μείζονας. Η ακολουθία που παίρνουμε είναι η:

I - II - bIII - IV - V - bVI - bVII

Αυτό σημαίνει ότι οι κλίμακες *Nτο μείζονα* και *ντο ελάσσονα* θα διαφέρουν ως εξής:

Ντο μείζονα κλίμακα: Ντο - Ρε - Μι - Φα - Σολ - Λα - Σι

Ντο ελάσσονα κλίμακα: Ντο - Ρε - Μι^b - Φα - Σολ - Λα^b - Σι^b

Στην περίπτωση της αρμονικής μινόρε κλίμακας, ακολουθούμε ακριβώς την φυσική μινόρε, εκτός από την νότα της έβδομης βαθμίδας, όπου πλέον αντί για ύφεση (bVII), δεν έχουμε καμία αλλοίωση (VII). Επομένως, για την *Ντο αρμονική μινόρε* θα έχουμε:

Ντο αρμονική μινόρε: Ντο - Ρε - Μι^b - Φα - Σολ - Λα^b - Σι

Παρόμοια, για να σχηματίσουμε την μελωδική μινόρε κλίμακα, αφαιρούμε την ύφεση και από την έκτη βαθμίδα, έχοντας πλέον, στην περίπτωση της Ντο:

Ντο μελωδική μινόρε: Ντο - Ρε - Μι^b - Φα - Σολ - Λα - Σι

Η φυσική, αρμονική και μελωδική ελάσσονα κλίμακα αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με τρόπους που θα συζητήσουμε σε επόμενες ενότητες. Προς το παρόν, θα επικεντρωθούμε στην ακόλουθη παρατήρηση. Παίρνουμε την ακολουθία διαστημάτων της μείζονας κλίμακας.. Αν ξεκινήσουμε την ακολουθία από το έκτο διάστημα, το οποίο είναι τόνος, και συνεχίσουμε μέχρι να φτάσουμε ξανά στο ίδιο σημείο, προκύπτει η ακολουθία διαστημάτων της φυσικής ελάσσονας κλίμακας. Για παράδειγμα, αν ξεκινήσουμε από την έκτη νότα της *Ντο μείζονας*, δηλαδή τη νότα *Λα*, θα σχηματίσουμε μια φυσική ελάσσονα κλίμακα, στην προκειμένη περίπτωση τη *Λα φυσική ελάσσονα* κλίμακα. Αυτή η παρατήρηση μας οδηγεί στον επόμενο όρο που καλούμαστε να επεξηγήσουμε, τους τρόπους.

Τρόποι

Στην προηγούμενη παράγραφο, κάναμε μια σύντομη εισαγωγή στην θεωρία των τρόπων, μέσω του παραδείγματος της φυσικής ελάσσονας κλίμακας, η οποία ταυτίζεται με τη μείζονα κλίμακα, ξεκινώντας από την έκτη της νότα. Με την ίδια λογική, μπορούμε να δημιουργήσουμε μια κλίμακα για κάθε μια από τις υπόλοιπες βαθμίδες της μείζονας κλίμακας. Οι κλίμακες που προκύπτουν, ονομάζονται τρόποι της μείζονας κλίμακας. Έχουμε 7 διαφορετικούς τρόπους, έναν για κάθε βαθμίδα της κλίμακας. Οι τρόποι χαρακτηρίζονται από την πρώτη τους νότα, ή βαθμίδα, και την ποιότητά τους, η οποία αντιστοιχεί σε ένα από τα επτά αποδιδόμενα αρχαία ελληνικά ονόματα για κάθε έναν από τους επτά τρόπους.

Ο πρώτος τρόπος ονομάζεται Ιωνικός, και ξεκινά από την πρώτη βαθμίδα της μείζονας κλίμακας, και επομένως ταυτίζεται με αυτή.

Ο δεύτερος τρόπος είναι ο Δωρικός, και είναι η ακολουθία που παίρνουμε ξεκινώντας από τη δεύτερη βαθμίδα της μείζονας κλίμακας. Για παράδειγμα, ο δεύτερος τρόπος της Ντο μείζονας, ονομάζεται Ρε δωρικός.

Ο τρίτος τρόπος ονομάζεται Φρύγιος, και ξεκινά από την τρίτη βαθμίδα της μείζονας κλίμακας.

Ακολουθούμε την ίδια λογική και για τις 7 βαθμίδες της μείζονας κλίμακας. Τελικά, οι τρόποι που απορρέουν από τη μείζονα κλίμακα είναι:

- Ιωνικός - Δωρικός - Φρύγιος - Λύδιος - Μιξολύδιος - Αιολικός (ή φυσική ελάσσονα) - Λόχιος

Η κύρια πρακτική χρήση των τρόπων στην τζαζ μουσική αναδεικνύεται κυρίως κατά τη διάρκεια του αυτοσχεδιασμού, αλλά ταυτόχρονα, μας παρέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το αρμονικό περιεχόμενο του κομματιού. Νωρίτερα συγκρίναμε τις βαθμίδες της Ντο μείζονας κλίμακας με αυτές της Ντο ελάσσονας, την οποία πλέον γνωρίζουμε και ως Ντο Αιολικό. Αυτό σημαίνει ότι οι βαθμίδες του Αιολικού τρόπου οι ίδιες που είδαμε και για την περίπτωση της φυσικής ελάσσονας (I - II - bIII - IV - V - bVI - bVII). Τώρα λοιπόν που

γνωρίζουμε τις βαθμίδες του Ιωνικού και του Αιολικού τρόπου, θα εφαρμόσουμε την ίδια λογική, για να βρούμε τις βαθμίδες και των υπόλοιπων τρόπων.

Για τον Δωρικό τρόπο έχουμε:

I - II - bIII - IV - V - VI - bVII

Έτσι ο Ντο Δωρικός είναι: Ντο - Ρε - Μιb - Φα - Σολ - Λα - Σιb

Για τον Φρύγιο έχουμε:

I - bII - bIII - IV - V - bVI - VII

Έτσι ο Ντο Φρύγιος είναι: Ντο - Ρεb - Μιb - Φα - Σολ - Λαb - Σι

Για τον Λύδιο έχουμε:

I - II - III - #IV - V - VI - VII

Έτσι ο Ντο Λύδιος είναι: Ντο - Ρε - Μι - Φα# - Σολ - Λα - Σι

Για τον Μιξολύδιο έχουμε:

I - II - III - IV - V - VI - bVII

Έτσι ο Ντο Μιξολύδιος είναι: Ντο - Ρε - Μι - Φα - Σολ - Λα - Σιb

Και τέλος, για τον Λόκριο έχουμε:

I - bII - bIII - IV - bV - bVI - bVII

Και έτσι, ο Ντο Λόκριος είναι: Ντο - Ρεb - Μιb - Φα - Σολb - Λαb - Σιb

0.2.2 Συγχορδίες και Τονικά Κέντρα

Με το βασικό θεωρητικό υπόβαθρο να έχει πλέον θεμελιωθεί, μπορούμε πλέον να επικεντρωθούμε στο κομμάτι της αρμονίας που θα μας απασχολήσει περισσότερο στην ανάλυσή μας. Θα μιλήσουμε για την τονικότητα στη μουσική και για τα κύρια στοιχεία που το χαρακτηρίζουν, τις συγχορδίες. Στη συνέχεια, θα χρησιμοποιήσουμε αυτές τις δύο έννοιες για να περιγράψουμε τον όρο του δανεισμού συγχορδιών, ο οποίος δίνει μια πιο ξεκάθαρη εικόνα του πως θα πραγματοποιήσουμε την ανάλυση μας.

Τονικότητα

Στη μουσική, χρησιμοποιούμε τον όρο τονικότητα για να περιγράψουμε ένα σύστημα συγχορδιών, λειτουργικά συμβατών μεταξύ τους, που προέρχονται από τη μείζονα και τη ελάσσονα κλίμακα. Κάθε τονικότητα έχει μια κεντρική νότα, που ονομάζεται τονική [6]. Ένα μουσικό κομμάτι μπορεί να είναι σε μείζονα τονικότητα, σε ελάσσονα τονικότητα ή οι να συνυπάρχουν και τα δύο είδη τονικότητας. Σε αυτή την περίπτωση, λέμε ότι το τραγούδι είναι στην τονικότητα της τονικής, για παράδειγμα, αν ένα τραγούδι έχει τονικότητα Ντο, αυτό σημαίνει ότι αντλεί από την Ντο μείζονα αλλά και τη Ντο ελάσσονα. Ένα τραγούδι μπορεί να έχει περισσότερες από μια τονικότητες. Για παράδειγμα, ένα τραγούδι μπορεί να είναι σε Ντο μείζονα, ή Ντο, για τα πρώτα 16 μέτρα, και στη συνέχεια να μεταβαίνει σε Φα μείζονα για τα τελευταία 16 μέτρα. Η εναλλαγή της τονικότητας ενός τραγουδιού ονομάζεται μετατροπία. Είναι πολύ σημαντικό να μην συνδέουμε την έννοια της τονικότητας με

κάποια συγκεκριμένη κλίμακα ή τρόπο. Μπορεί να υπάρχουν διάφορες κλίμακες και τρόποι που χρησιμοποιούνται σε ένα τραγούδι, αλλά τα κύρια συστατικά που υποδηλώνουν την τονικότητα του, είναι οι συγχορδίες.

Είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι ο προσδιορισμός της τονικότητας ενός μουσικού έργου μπορεί να περιέχει και κάποια υποκειμενικότητα. Ωστόσο, αυτή η υποκειμενικότητα παρουσιάζεται σε συγκεκριμένα ζητήματα, όπως στον εντοπισμό του ακριβές σημείου που ξεκινά μια πιθανή μετατροπή ή στον προσδιορισμό ενός κομματιού ως ματζόρε ή μινόρε, σε περίπτωση που παρουσιάζει στοιχεία και από τις δύο αρμονικές ποιότητες. Για παράδειγμα, κάποιος μπορεί να ισχυρίζεται ότι ένα τραγούδι βρίσκεται σε *Ντο μείζονα*, ενώ κάποιος άλλος μπορεί να υποστηρίξει ότι το ίδιο τραγούδι βρίσκεται σε *Λα ελάσσονα*, την σχετική ελάσσονα της *Ντο μείζονας* (έχει ακριβώς τις ίδιες αλλοιώσεις ή αλλιώς, οπλισμό). Παρόλο που το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό εισάγει έναν παράγοντα αστάθειας στην ανάλυσή μας, το γεγονός ότι μπορούμε να εκ των προτέρων να αναγνωρίσουμε αυτές τις διφορούμενες περιπτώσεις ανάλυσης μας διαβεβαιώνει ότι μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα σύνολο δεδομένων ανθεκτικό σε τέτοιου είδους ασάφεια.

Έχοντας πλέον ορίσει το τι καλούμε τονικότητα ενός τραγουδιού, θα ερευνήσουμε τα κριτήρια που πρέπει να ικανοποιεί ένα σύνολο συγχορδιών έτσι ώστε να λέμε ότι καθορίζει μία συγκεκριμένη τονικότητα.

Σετ συγχορδιών

Σε προηγούμενη παράγραφο, χρησιμοποιήσαμε την έννοια των βαθμίδων για να χαρακτηρίσουμε τις μείζονες και ελάσσονες κλίμακες. Αντίστοιχες αλληλουχίες βαθμίδων μπορούν να οριστούν και στην περίπτωση των τρόπων. Κάθε τέτοια αλληλουχία αποτελεί την ταυτότητα του κάθε τρόπου ή κλίμακας. Σε κάθε βαθμίδα μίας κλίμακας, μπορούμε να αντιστοιχίσουμε και μια συγχορδία. Πρόκειται για την συγχορδία που σχηματίζεται από την πρώτη, την τρίτη, την πέμπτη και την έβδομη νότα της κάθε βαθμίδας. Το σύνολο αυτών των συγχορδιών, όπως και οι βαθμίδες, χαρακτηρίζει την κλίμακα από την οποία προκύπτει, και αποτελεί το κύριο σύστημα συγχορδιών της τονικότητας που είναι συνυφασμένη με την κλίμακα.

Για παράδειγμα, στην κλίμακα *Ντο μείζονα*,

Ντο - Ρε - Μι - Φα - Σολ - Λα - Σι

οι αντίστοιχες βαθμίδες είναι:

I - II - III - IV - V - VI - VII

Η συγχορδία που αντιστοιχεί στην πρώτη βαθμίδα της κλίμακας είναι η *Ντο - Μι - Σολ - Σι*, ή *Cmaj7*. Το *C* υποδεικνύει πως πρόκειται για *Ντο μείζονα* συγχορδία (μείζονα τριάδα, οι δύο πρώτες νότες έχουν απόσταση δύο τόνων και η δεύτερη με την τρίτη, απόσταση ενός τόνου και ενός ημιτονίου), με μεγάλη έβδομη (*maj7*), αναφερόμενη στο διάστημα της πρώτης νότας της συγχορδίας με την τέταρτη, όπου είναι 4 τόνοι και ένα ημιτόνιο. Η συγχορδία της πρώτης βαθμίδας κάθε μείζονας κλίμακας είναι μια μείζονα συγχορδία με μια μεγάλη έβδομη.

Η συγχορδία που αντιστοιχεί στη δεύτερη βαθμίδα της κλίμακας είναι η *Ρε - Φα - Λα - Ντο*, ή *Dm7*. Το *Dm* σημαίνει ότι πρόκειται για *ρε ελάσσονα* συγχορδία (ελάσσονα τριάδα, οι δύο πρώτες νότες έχουν απόσταση ενός τόνου και ενός ημιτονίου και η δεύτερη με την τρίτη, απόσταση δύο τόνων), με μικρή έβδομη ή απλά έβδομη (7), εννοώντας το διάστημα μεταξύ της πρώτης και της τέταρτης νότας της συγχορδίας, όπου είναι 4 τόνοι. Η συγχορδία της δεύτερης βαθμίδας κάθε μείζονας κλίμακας είναι μια ελάσσονα συγχορδία με μικρή έβδομη.

Στην τρίτη βαθμίδα της μείζονας κλίμακας αντιστοιχεί επίσης ελάσσονα συγχορδία με μικρή έβδομη. Στην περίπτωση της *Ντο* αυτή είναι η *Em7* (*Μι μινόρε 7*).

Στην τέταρτη βαθμίδα της μείζονας κλίμακας έχουμε άλλη μια μείζονα συγχορδία με μεγάλη έβδομη, στην περίπτωση αυτή την Fmaj7.

Μια πολύ σημαντική βαθμίδα της μείζονας κλίμακας είναι η πέμπτη. Η συγχορδία που προκύπτει από την 5η βαθμίδα είναι μια μείζονα συγχορδία με μικρή έβδομη, ή μια δεσπόζουσα συγχορδία, ονομασία που προέρχεται από την υψηλή αρμονική της ένταση. Μια δεσπόζουσα συγχορδία συνήθως καταλήγει στην πρώτη της κλίμακας σε διάστημα δυόμισι τόνων πάνω ή τρεισήμισι τόνων κάτω, πραγματοποιώντας μία "τέλεια πτώση". Όπως θα δούμε και στη συνέχεια, το παραπάνω δεν αποτελεί κάποιον απαράβατο κανόνα στην μουσική σύνθεση. Στο παράδειγμά μας αυτή η συγχορδία είναι η Σολ - Σι - Ρε - Φα, ή G7.

Η συγχορδία της έκτης βαθμίδας είναι ακόμη μια ελάσσονα συγχορδία με μικρή έβδομη, στην περίπτωση αυτή η Am7.

Και τέλος, η συγχορδία που αντιστοιχεί στην έβδομη βαθμίδα είναι μια ελάσσονα συγχορδία, με ύφεση στην πέμπτη (δηλαδή στην τρίτη νότα της συγχορδίας) και μικρή έβδομη, ή αλλιώς, μια ελαττωμένη συγχορδία με μικρή έβδομη. Στην κλίμακα Ντο μείζονα, αυτή η συγχορδία είναι η Bm7(b5).

Έτσι, το σετ των συγχορδιών της μείζονας κλίμακας είναι το εξής:

Imaj7 - IIIm7 - IIIIm7 - IVmaj7 - V7 - VIm7 - VIIIm7(b5).

Χρησιμοποιώντας την ίδια λογική, μπορούμε να βρούμε το σετ συγχορδιών για κάθε κλίμακα ή τρόπο. Υπάρχουν και κάποια άλλα βασικά σετ συγχορδιών που θα μας φανούν πολύ χρήσιμα στην ανάλυση μας, αυτά της φυσικής, αρμονικής και μελωδικής ελάσσονας κλίμακας.

Για το σύνολο συγχορδιών της φυσικής ελάσσονας κλίμακας, παίρνουμε την περίπτωση της Ντο φυσικής ελάσσονας κλίμακας και των αντίστοιχων βαθμίδων της:

C - D - Eb - F - G - Ab - Bb

I - II - bIII - IV - V - bVI - bVII

Η εύρεση του σετ συγχορδιών της φυσικής ελάσσονας κλίμακας γίνεται απλή, αν θυμηθούμε ότι η φυσική ελάσσονα κλίμακα είναι, στην πραγματικότητα, ο Αιολικός τρόπος (ο έκτος τρόπος της μείζονας κλίμακας). Έτσι, για να βρούμε το σετ συγχορδιών της απλώς ξεκινάμε από την έκτη συγχορδία του σετ συγχορδιών της μείζονας κλίμακας. Έτσι έχουμε:

Im7 - IIIm7(b5) - bIIIImaj7 - IVm7 - Vm7 - bVImaj7 - bVII7.

Κάνοντας τις κατάλληλες προσαρμογές μπορούμε τώρα να βρούμε το σετ συγχορδιών της αρμονικής ελάσσονας:

Im(maj7) - IIIm7(b5) - bIIIImaj7(#5) - IVm7 - V7 - bVImaj7 - VIIIdim7

Βλέπουμε ότι υπάρχουν κάποιες σημαντικές διαφορές μεταξύ των σετ συγχορδιών της φυσικής και της αρμονικής ελάσσονας κλίμακας.

Αυτό είναι αποτέλεσμα της αλλαγής της 7ης βαθμίδας, όπως αναφέραμε νωρίτερα, από έβδομη με ύφεση σε φυσική έβδομη.

Πιο συγκεκριμένα, στην πρώτη βαθμίδα το Im7 μετατρέπεται σε Im(maj7), καθώς η βαθμίδα που επηρεάζεται είναι η 4η νότα της συγχορδίας, ή το 7.

Η bIII^{maj}7 μετατρέπεται σε bIII^{maj}7(#5), όπου πρόκειται για την ίδια μείζονα συγχορδία, με μια οξυμένη κατά ένα ημιτόνιο πέμπτη, καθώς η βαθμίδα που επηρεάζεται είναι η 3η νότα της συγχορδίας.

Στη συνέχεια, η bVII⁷ μετατρέπεται σε VII^{dim}7. Ο χαρακτηρισμός dim7 σημαίνει πως πρόκειται για μια ντιμι-νουίτα μεθ'εβδόμης, δηλαδή μια ελαττωμένη τριάδα ακολουθούμενη από μια μικρή έβδομη. Σε μια ελαττωμένη τριάδα, οι δύο πρώτες νότες έχουν απόσταση ενάμισι τόνου, όπως και η δεύτερη με την τρίτη, ενώ η τέταρτη νότα της συγχορδίας είναι μία έβδομη με διπλή ύφεση (bb7), απέχει δηλαδή ένα διάστημα έβδομης ελαττωμένης (4 τόνων και ενός ημιτόνου) από τη ρίζα της συγχορδίας.

Τέλος, κάνουμε τις απαραίτητες προσαρμογές για να βρούμε το σετ συγχορδιών και της μελωδικής ελάσσονας κλίμακα:

Im(^{maj}7) - II^m7 - bIII^{maj}7(#5) - IV⁷ - V⁷ - VI^m7(b5) - VII^m7(b5).

0.2.3 Δανεισμός Συγχορδιών

Τα σετ συγχορδιών που περιγράψαμε παραπάνω, συχνά λειτουργούν ως το αναγνωριστικό στοιχείο για την τονικότητα που υποδεικνύεται από την κλίμακα που προκύπτουν. Αυτό δεν σημαίνει ότι ένα τραγούδι που βρίσκεται σε αυτή την τονικότητα χρησιμοποιεί συγχορδίες μόνο από το δικό του σετ συγχορδιών. Συχνά μπορεί ένα μουσικό κομμάτι να ενσωματώνει συγχορδίες εκτός του σετ συγχορδιών της τονικότητάς του, χωρίς αυτό να σημαίνει πως έχουμε μετατροπία. Αυτό γίνεται μέσω δανεισμού συγχορδιών από σετ συγχορδιών άλλων, λειτουργικά συναφών, κλιμάκων, και επομένως τονικοτήτων, χωρίς να διαταράσσεται η λειτουργικότητα της γενικότερης αρμονίας της σύνθεσης.

Υπάρχουν δείκτες που μας βοηθούν να εντοπίσουμε αν μια συγχορδία, η σειρά συγχορδιών είναι αποτέλεσμα έγκυρου δανεισμού ή πρόκειται για αλλαγή τονικότητας. Κάθε τονικότητα μπορεί να δανείζεται συγχορδίες από σετ συγχορδιών συγκεκριμένων τονικοτήτων. Υπάρχουν δύο είδη δανεισμού συγχορδιών που ορίζουμε, ο διατονικός και ο μη διατονικός.

Διατονικός Δανεισμός Συγχορδιών

Με τον όρο *Διατονικός Δανεισμός Συγχορδιών* ορίζουμε τον δανεισμό μιας συγχορδίας από την παράλληλη τονικότητα αυτής στην οποία βρισκόμαστε. Παράλληλη είναι η τονικότητα ίδιας τονικής νότας, αλλά διαφορετικής αρμονικής ποιότητας. Για παράδειγμα, η παράλληλη τονικότητα της Ντο μείζονας, είναι η Ντο ελάσσονα, και αντίστροφα.

Βρισκόμαστε στην τονικότητα της Ντο μείζονας. Όπως γνωρίζουμε, το σετ συγχορδιών είναι C^{maj}7 - D^m7 - E^m7 - F^{maj}7 - G⁷ - A^m7 - B^m7(b5). Σε αυτή την περίπτωση, δανεισμός από την παράλληλη τονικότητα σημαίνει δανεισμός από την τονικότητα της ντο ελάσσονας. Η τονικότητα της ντο ελάσσονας περιέχει τα σετ συγχορδιών και των τριών ελασσόνων κλιμάκων (φυσικής, αρμονικής και μελωδικής). Έτσι, η συγχορδία Eb^{maj}7, το bIII^{maj}7 από το σετ συγχορδιών της Ντο φυσικής ελάσσονας, μπορεί να μην ανήκει στο σετ συγχορδιών της Ντο μείζονας, αλλά θεωρείται διατονική συγχορδία, λόγω της παραλληλίας των δύο τονικοτήτων, και επομένως μπορεί να δράσει ως δανεική σε κάποιο κομμάτι που βρίσκεται σε Ντο μείζονα. Με την ίδια λογική, μπορούμε να δανειστούμε συγχορδίες από το σύνολο συγχορδιών της ντο μείζονας, όταν βρισκόμαστε σε ντο ελάσσονα.

Στις επόμενες ενότητες, θα δώσουμε επιπλέον παραδείγματα διατονικού δανεισμού συγχορδιών. Προς το παρόν, θα αναφερθούμε στο επόμενο είδος δανεισμού συγχορδιών που συναντάμε.

Μη Διατονικός Δανεισμός Συγχορδιών

Όπως μπορούμε να δανειστούμε συγχορδίες από την παράλληλη τονικότητα αυτής στην οποία βρισκόμαστε, έτσι μπορούμε να δανειστούμε συγχορδίες και από σετ συγχορδιών άλλων κλιμάκων. Προηγουμένως μιλήσαμε για τους τρόπους, από πού προέρχονται και για τη χαρακτηριστική ακολουθία βαθμίδων του καθενός. Επίσης, παραθέσαμε το σετ συγχορδιών της φυσικής ελάσσονας, αντιστοιχώντας το στον έκτο τρόπο της μείζονας κλίμακας ή αλλιώς, τον Αιολικό. Αυτό σημαίνει πως μπορούμε να ορίσουμε σετ συγχορδιών και για κάθε έναν από τους υπόλοιπους τρόπους. Ο δανεισμός συγχορδιών από τα σετ συγχορδιών των υπόλοιπων τρόπων της μείζονας κλίμακας, είναι αυτό που καλούμε Μη Διατονικός Δανεισμός Συγχορδιών.

Θα ξεκινήσουμε δίνοντας τα σετ συγχορδιών των υπόλοιπων τρόπων της μείζονας κλίμακας. Για να βρούμε το καθένα, απλώς ξεκινάμε από τη βαθμίδα της τονικής κάθε τρόπου, προσαρμόζοντας τους αριθμούς των βαθμίδων και διατηρώντας τις ποιότητες των συγχορδιών ίδιες.

Ξεκινώντας από τον Δωρικό, τον δεύτερο τρόπο της μείζονας κλίμακας, έχουμε:

Im7 - IIIm7 - bIIImaj7 - IV7 - Vm7 - VIIm7(b5) - bVIIImaj7

Για τον Φρύγιο, έχουμε:

Im7 - bIIImaj7 - bIII7 - IVm7 - Vm7(b5) - bVIImaj7 - VIIIm7

Για τον Λύδιο τρόπο, έχουμε:

Imaj7 - II7 - IIIIm7 - #Imaj7 - II7 - IIIIm7 - #IVm7(b5) - Vmaj7 - VIIm7 - VIIIm7

Για τον Μιξολύδιο, έχουμε:

I7 - IIIm7 - IIIIm7(5) - IVmaj7 - Vm7 - VIIm7 - bVIIImaj7

Και τέλος, για τον Λόκριο, έχουμε:

Im7(b5) - bIIImaj7 - bIIIIm7 - IVm7 - bVImaj7 - bVI7 - bVIIIm7

Βλέπουμε πως ο αριθμός των συγχορδιών που μπορούμε εν δυνάμει να δανειστούμε από τα παραπάνω σύνολα είναι μεγάλος. Παρατηρούμε επίσης πως υπάρχουν αρκετές βαθμίδες με κοινή ποιότητα συγχορδίας, όπως για παράδειγμα η δεύτερη βαθμίδα στον Δωρικό και τον Μιξολύδιο τρόπο. Στην πραγματικότητα, όταν αναλύουμε αρμονικά ένα μουσικό κομμάτι, συναντάμε μόνο μερικούς από τους διαθέσιμους δανεισμούς. Αυτό προκύπτει κυρίως από τις μελωδικές ιδιότητες των τρόπων, και από τον τρόπο με τον οποίο αυτοί χρησιμοποιούνται στον αυτοσχεδιασμό. Οι δανεισμοί που απαντώνται συχνότερα, και που θα χρησιμοποιήσουμε για την αρμονική ανάλυση των κομματιών του συνόλου δεδομένων μας, είναι οι εξής:

Από τον Δωρικό: - VIIm7(b5)

Από τον Φρύγιο: - bIIImaj7 - Vm7(b5) - VIIIm7

Από τον Λύδιο: - #IVm7(b5)

Από τον Μιξολύδιο: - IIIIm7(5) - bVIIImaj7

Και από τον Λόκριο: - bIIIIm7 - bVImaj7

Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε ένα κομμάτι που βρίσκεται σε Ντο ελάσσονα. Γνωρίζουμε ότι μια μινόρε τονικότητα, αντλεί από τα σετ συγχορδιών και των τριών ελάσσονων κλιμάκων (φυσική, αρμονική και μελωδική). Έστω πως έχουμε την συγχορδία Dbmaj7, η οποία ούτε ανήκει σε κάποιο από τα προαναφερθέντα

σετ συγχορδιών, ούτε σε αυτό της παράλληλης κλίμακας/τονικότητας, δηλαδή της Ντό μείζονας. Επομένως προκειται για μια μη διατονική συγχορδία. Όμως, η συγχορδία Dbmaj7 μπορεί να βρεθεί στο σετ συγχορδιών του Ντο Φρύγιου τρόπου, ως το ύφεση δύο (bIIImaj7), και είναι πράγματι μία από τις συγχορδίες που εμφανίζονται συχνά σε περιπτώσεις μη διατονικού δανεισμού. Επομένως η Dbmaj7 αναλύεται ως bIIImaj7.

Μη διατονικές συγχορδίες και λειτουργίες

Πλησιάζοντας προς το τέλος αυτής της επισκόπησης της μουσικής θεωρίας και αρμονίας που απαιτείται για την συνέχεια, θα μιλήσουμε για μερικά ακόμη αρμονικά στοιχεία που συναντάμε κατά την ανάλυση των τραγουδιών στο προτεινόμενο σύνολο δεδομένων. Αυτά αφορούν συγχορδίες που δεν ανήκουν σε κάποιο συγκεκριμένο σετ συγχορδιών και επομένως τονικότητα, αλλά χρησιμοποιούνται, μέσω συγκεκριμένων κανόνων, για να εμπλουτίσουν περεταίρω την αρμονία κάποιου κομματιού.

Η Δευτερεύουσα Δεσπόζουσα

Το πρώτο στοιχείο στο οποίο θα αναφερθούμε είναι η Δευτερεύουσα Δεσπόζουσα συγχορδία. Νωρίτερα αναφερθήκαμε στη δεσπόζουσα συγχορδία, ως τη συγχορδία της 5ης βαθμίδας της μείζονας κλίμακας. Αναφέραμε ότι προσφέρει υψηλή αρμονική ένταση και συνήθως ακολουθείται από την συγχορδία της πρώτης βαθμίδας της κλίμακας, απόσταση δύομισι τόνων προς τα πάνω (ή 4th προς τα πάνω) ή τρειςήμισι τόνων προς τα κάτω (5th προς τα κάτω).

Δευτερεύουσα Δεσπόζουσα, είναι μια δεσπόζουσα συγχορδία που βρίσκεται ένα διάστημα πέμπτης πάνω (ή ένα διάστημα τετάρτης κάτω) από οποιαδήποτε συγχορδία. Ουσιαστικά, η συγχορδία που έπεται μιας Δευτερεύουσας Δεσπόζουσας, λειτουργεί σαν τοπική πρώτη, με τον ίδιο τρόπο που η πραγματική πρώτη έπεται συνήθως της πραγματικής πέμπτης της τονικότητας.

Έστω πως βρισκόμαστε σε Ντο μείζονα τονικότητα και συναντάμε τη συγχορδία A7 (Λα εβδόμη, ή δεσπόζουσα). Η συγχορδία αυτή δεν ανήκει στην τονικότητα όπου βρισκόμαστε, ούτε στην παράλληλη της, δηλαδή τη Ντο ελάσσονα. Η νότα Λα έχει απόσταση 3,5 τόνων πάνω (δηλαδή πέμπτης) από τη νότα Ρε, η οποία στην Ντο μείζονα είναι η δεύτερη βαθμίδα με συγχορδία την Dm7. Έτσι, η A7 μπορεί να χαρακτηριστεί δευτερεύουσα δεσπόζουσα της δεύτερης, ή αλλιώς, το "πέντε του δύο" (V/II). Για να είναι μια συγχορδία Δευτερεύουσα Δεσπόζουσα, δεν είναι απαραίτητο να αποτελεί την πέμπτη μόνο κάποιας διατονικής συγχορδίας. Πολύ συχνά, στα κομμάτια που θα εξετάσουμε, συναντάμε και Δευτερεύουσες Δεσπόζουσες συγχορδιών που προέρχονται από μη διατονικό δανεισμό. Συχνά επίσης χρησιμοποιούνται και αλυσίδες διαδοχικών Δευτερευουσών Δεσπόζουσών συγχορδιών. Στο παραπάνω παράδειγμα, μια E7 συγχορδία (μια 5η πάνω από την A7), θα αναλυόταν ως δευτερεύουσα δεσπόζουσα της A7.

Συνήθως, μια Δευτερεύουσα Δεσπόζουσα λύνεται σε συγχορδία που υπάρχει ένα διάστημα πέμπτης κάτω (ή ένα 4th πάνω) από εκείνη. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις όπου μια Δευτερεύουσα δεσπόζουσα δεν επιλύεται καθόλου, δηλαδή δεν έχει συσχέτιση με τη συγχορδία που ακολουθεί.

Sub - Αντικατάσταση Δεσπόζουσας

Ο δεύτερος και τελευταίος τύπος μη διατονικής δεσπόζουσας συγχορδίας στον οποίο θα αναφερθούμε, είναι η αντικατάσταση δεσπόζουσας. Αντικατάσταση δεσπόζουσας ορίζεται η δεσπόζουσα συγχορδία της οποίας η ρίζα βρίσκεται ένα ημιτόνιο πάνω από τη συγχορδία στην οποία λύνεται.

Επιστρέφοντας στο παράδειγμα της Ντο μείζονας, θέλουμε να βρούμε την αντικατάσταση της δεσπόζουσας της Cmaj7, δηλαδή της πρώτης. Ανεβαίνοντας 1 ημιτόνιο από τη νότα Ντο, έχουμε τη νότα Db. Αυτό σημαίνει, ότι η αντικατάσταση δεσπόζουσας της Cmaj7, είναι η Db7. Η συγχορδία που αντικαθιστά η Db7 είναι η πέμπτη της Cmaj7, δηλαδή η G7. Γι' αυτό, λοιπόν, η συγχορδία Db7 συμβολίζεται ως "sub V7/I" στην ανάλυση, δείχνοντας έτσι πως αντικαθιστά την πέμπτη της πρώτης. Με αυτή λογική, μπορούμε να έχουμε αντικατάσταση δεσπόζουσας για κάθε δεσπόζουσα συγχορδία που μπορούμε να συναντήσουμε στην αρμονία, ακόμα και για άλλες αντικαταστάσεις δεσποζουσών συγχορδιών. Για παράδειγμα, η δευτερεύουσα δεσπόζουσα της Db7 του παραδείγματος είναι η Ab7. Αν θέλουμε να βρούμε την αντικατάσταση της Ab7, απλά ανεβαίνουμε ένα ημιτόνιο από το Ρε ύφεση, στη συγχορδία D7. Όπως και στην περίπτωση της δευτερεύουσας δεσπόζουσας, μπορεί να υπάρχουν και περιπτώσεις όπου η αντικατάσταση μιας δεσπόζουσας δεν επιλύεται καθόλου.

Το Σχετικό Δύο

Σε αυτό το σημείο θα αναφερθούμε στην έννοια του σχετικού δύο, τι σημαίνει, και πότε χρησιμοποιείται. Για να κατανοήσουμε την έννοια του σχετικού δύο πρέπει να κάνουμε μια σύντομη αναφορά στις πτώσεις.

Πτώση είναι μια αλληλουχία δύο ή περισσότερων συγχορδιών που ολοκληρώνει μια φράση, ένα τμήμα ή ένα μουσικό κομμάτι [3]. Το βασικό δομικό στοιχείο της σύγχρονης μουσικής και ιδιαίτερα της τζαζ μουσικής, είναι η πτώση II-V7-I (Δύο - Πέντε - Ένα). Είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος με τον μια αλληλουχία συγχορδιών μπορεί να λυθεί στην πρώτη. Η πρώτη, μπορεί να είναι η πραγματική πρώτη συγχορδία ενός σετ συγχορδιών της τονικότητας, ή μπορεί να είναι οποιαδήποτε άλλη συγχορδία την οποία, για ένα σύντομο κομμάτι του τραγουδιού, θεωρούμε ως τοπική πρώτη (συνήθως λόγω ύπαρξης κάποιας Δευτερεύουσας ή Αντικατάστασης Δεσπόζουσας). Ένα παράδειγμα είναι αυτό που χρησιμοποιήσαμε και για να εξηγήσουμε την ίδια τη Δευτερεύουσα Δεσπόζουσα συγχορδία. Σε εκείνη την περίπτωση, είχαμε την Dm7 και τη Δευτερεύουσα Δεσπόζουσα της, την A7. Αυτές οι δύο συγχορδίες είναι ουσιαστικά το πεντε (V) και το ένα (I) της πτώσης II-V-I. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το II μπορεί να είναι οποιαδήποτε συγχορδία δεύτερης βαθμίδας των σετ συγχορδιών που έχουν ως πρώτη τη νότα Ρε. Αυτό σημαίνει, Em7 (από το σετ συγχορδιών της Ρε μείζονας) ή Em7(b5) (από το σετ συγχορδιών της Ρε ελάσσονας). Έτσι, τόσο η Em7-A7-Dm7 όσο και η Em7(b5)-A7-Dm7, αποτελούν II-V7-I πτώσεις.

Έτσι, έχοντας εισάγει την έννοια του δύο στην αρμονία, μπορούμε να μιλήσουμε για το Σχετικό Δύο. Σε πολλές περιπτώσεις, αντί του πραγματικού V7 του I, χρησιμοποιούμε την αντικατάστασή του. Αυτό σημαίνει ότι στην περίπτωση που η I είναι η συγχορδία Cmaj7, η αντικατάσταση δεσπόζουσας του (subV7/I) θα είναι η Db7. Αυτό μας παρέχει μερικές επιλογές όσον αφορά το ποια συγχορδία μπορεί να παίζει τον ρόλο του II στην πτώση. Η πρώτη επιλογή είναι να χρησιμοποιήσουμε κάποιο κανονικό II της Cmaj7, δηλαδή είτε την Dm7, είτε την Dm7(b5). Η δεύτερη επιλογή είναι να χρησιμοποιήσουμε τη συγχορδία που θα ήταν το δύο, αν η συγχορδία Db7 ήταν το πραγματικό πέντε, αντί για αντικατάσταση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση αυτή η συγχορδία είναι η Abm7 (ή Abm7(b5)) και ονομάζεται Σχετικό Δύο του Cmaj7.

Επεκτείνοντας αυτόν τον κανόνα, μπορούμε να αναλύσουμε κάθε μη διατονική συγχορδία που παίζει το ρόλο του II στις II-V-I πτώσεις, ως Σχετικό Δύο. Αυτή η συγχορδία πρέπει να είναι είτε μινόρε με μικρή έβδομη (*m7*) είτε ελαττωμένη μεθ'εβδόμης (*m7(b5)*).

Μη Διατονικές Ντιμινουίτες

Στο τελευταίο μέρος αυτής της επισκόπησης των απαραίτητων μουσικών κανόνων που θα χρειαστούμε, θα συζητήσουμε τις μη διατονικές ντιμινουίτες. Προηγουμένως, μιλώντας για το σετ συγχορδιών της αρμονικής

ελάσσοντας κλίμακας, συναντήσαμε τη συγχορδία VII^{dim}7, και την χαρακτηρίσαμε ως ντιμινουίτα, ή ντιμινουίτα μεθ'εβδόμης. Αυτή η συγχορδία είναι η μοναδική διατονική ντιμινουίτα συγχορδία που συναντάμε. Ωστόσο, όταν αναλύοντας μουσικά κομμάτια, συναντάμε αρκετά συχνά ντιμινουίτες, που δεν ορίζονται με κάποιο τρόπο στην τονικότητα που βρισκόμαστε.

Μερικές φορές, αυτό μπορεί να υποδεικνύει μια επερχόμενη αλλαγή τονικότητας. Αλλά υπάρχουν ορισμένες ντιμινουίτες που, παρόλο που δεν ανήκουν αυστηρά στην τρέχουσα τονικότητα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν παίζοντας το ρόλο κάποιας δεσπόζουσας συγχορδίας ή απλώς για να προσθέσουν κάποια ένταση στην αρμονία του κομματιού.

Οι μη διατονικές ντιμινουίτες που είναι δυνατό να εμφανιστούν σε μια τονικότητα είναι οι:

Idim7 - #Idim7 - #II^{dim}7 - bIII^{dim}7 - #IV^{dim}7 - V^{dim}7, #V^{dim}7 - bVI^{dim}7

Αν, για παράδειγμα, βρισκόμασταν στην τονικότητα της Ντο μείζονας, οι αποδεκτές μη διατονικές ντιμινουίτες συγχορδίες θα ήταν:

C^{dim}7 - C#^{dim}7 - D#^{dim}7 - Eb^{dim}7 - F#^{dim}7 - G^{dim}7, G#^{dim}7 - Ab^{dim}7.

Έτσι, ολοκληρώνουμε το βασικό μουσικό υπόβαθρο που απαιτείται για την κατανόηση του επόμενου κεφαλαίου, της διαδικασίας της αρμονικής ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε στα τραγούδια του συνόλου δεδομένων.

0.3 To Dataset

0.3.1 Επισκόπηση του Dataset

Σε αυτή την ενότητα θα εξετάσουμε πιο προσεκτικά το προτεινόμενο dataset. Θα ξεκινήσουμε μιλώντας για την πηγή από την οποία προέρχεται το περιεχόμενο που θα θέσουμε προς ανάλυση, το Real Book of Jazz, καθώς και τα κριτήρια διαλογής που εφαρμόσαμε κατά την άντληση αυτού του περιεχομένου μουσικών κομματιών. Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουμε συγκεκριμένες περιπτώσεις ανάλυσης που φανερώνουν τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόσαμε το υπόβαθρο της προηγούμενης ενότητας στην μεθοδολογία μας.

To Real Book of Jazz

Το The Real Book of Jazz είναι μια συλλογή από παρτιτούρες για τα πιο γνωστά και εκτελεσμένα κομμάτια του ρεπερτορίου της τζαζ, γνωστά και ως *jazz standards*. Έχουν υπάρξει διάφορες εκδόσεις του Real Book, κάθε μία από τις οποίες περιέχει όλα τα κομμάτια που υπήρχαν στις προηγούμενες εκδόσεις, μαζί με μερικές προσθήκες. Το πρώτο βιβλίο, που δημιουργήθηκε από δύο φοιτητές του Berklee College of Music, ήταν ένα εγχειρίδιο που δημιουργήθηκε με σκοπό να τους βοηθήσει στην μελέτη των κομματιών αυτών. Οι παρτιτούρες είναι σε μορφή "οδηγού", ή lead sheet, πράγμα που σημαίνει πως παρέχουν απλώς πληροφορίες για την αρμονία και την μελωδία του κομματιού, χωρίς να υποδεικνύουν στοιχεία όπως η ενορχήστρωση, πράγμα που βελτιστοποιεί σημαντικά την διαδικασία της μελέτης, αλλά και της ανάλυσης. Η δημοτικότητά του αυξήθηκε τόσο γρήγορα, ώστε σύντομα έγινε το βασικό βοήθημα για όλους τους τζαζ μουσικούς, προτού τελικά εκδοθεί και επίσημα[1]. Το dataset το οποίο παρουσιάζεται είναι μια ευρεία επιλογή κομματιών που υπάρχουν στο Real Book of Jazz Volume 5. Το επόμενο βήμα μας είναι να καθορίσουμε τα κριτήρια αυτής της επιλογής.

Κριτήρια και Αρμονική Ανάλυση

Για να διευκρινίσουμε τα κριτήρια για την επιλογή των κομματιών, πρέπει να γίνει ξεκάθαρο το τί ψάχνουμε όταν αναλύουμε αρμονικά μια σύνθεση. Στόχος μας είναι να διακρίνουμε τα διάφορα τονικά κέντρα που μπορεί να εμφανίζονται στο κομμάτι, με τέτοιο τρόπο ώστε το αποτέλεσμα να παρέχει ουσιαστικό αρμονικό περιεχόμενο. Είναι πολύ σημαντικό η ανάλυση μας να αποτυπώνει την αρμονική ροή του κομματιού με όσο το δυνατόν περισσότερη ακρίβεια. Η υπερευαισθησία ή μη ανταπόκριση σε τονικές αλλαγές μπορεί να εισάγει σημαντική μεροληψία στο τελικό σύνολο δεδομένων. Στόχος είναι η όσο το δυνατόν εγγύτερη προσέγγιση της ανθρώπινης αντίληψης της αρμονίας. Έτσι, βασίσαμε την επιλογή και την ανάλυση των κομματιών στα ακόλουθα κριτήρια.

Αρχικά, έπρεπε να αποκλείσουμε συνθέσεις που δεν υπάγονται στον τύπο αρμονίας που περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα. Αυτή η περίπτωση αφορά κομμάτια στα οποία δεν καθιερώνεται κάποιο συγκεκριμένο τονικό κέντρο, για ικανό διάστημα και με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να είναι ξεκάθαρο στον ακροατή. Τέτοια κομμάτια χαρακτηρίζονται από αυτή την έλλειψη σαφών τονικών κέντρων, επομένως η προσπάθεια ένταξης τους θα έφερνε σημαντική αβεβαιότητα στο τελικό αποτέλεσμα. Είναι σημαντικό να μην συγχέουμε αυτές τις περιπτώσεις με εκείνες των κομματιών που περνούν από αρκετά, αλλά διακριτά τονικά κέντρα. Στην δεύτερη περίπτωση, μπορεί να μην είμαστε σε θέση να θεωρήσουμε μια συγκεκριμένη τονικότητα ως την μοναδική του κομματιού, αλλά οι αλλαγές μεταξύ των διαφόρων τονικοτήτων είναι αντιληπτές από τον ακροατή και χρήσιμες στην ανάλυση. Αυτό μας φέρνει στη δεύτερη κατευθυντήρια γραμμή που ακολουθήσαμε κατά τη σύνταξη αυτού του συνόλου δεδομένων, την ευαισθησία της ανάλυσής μας απέναντι σε πιθανές μετατροπές ή οποιεσδήποτε αλλοιώσεις του τονικού κέντρου.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, είναι πιθανό να υπάρχουν περιπτώσεις κομματιών που η ανάλυσή τους παρουσιάζει κάποιες ασάφειες. Η αρχή στην οποία βασίσαμε την ανάλυσή μας, βασίζεται στην αντίληψη των τονικών κέντρων από την μεριά του ακροατή. Το ανθρώπινο αυτί χρειάζεται συχνά ένα ορισμένο χρονικό διάστημα για να αντιληφθεί μια αρμονική κίνηση ως αλλαγή τονικού κέντρου. Έτσι, κάποιες σύντομες διαφοροποιήσεις τονικού κέντρου κατά τη διάρκεια ενός τραγουδιού, δεν μπορούν να ταξινομηθούν ως τέτοιες, λόγω της διάρκειάς τους και του αρμονικού πλαισίου που τις περιβάλλει. Αντίστοιχα, σε κάποιες περιπτώσεις, οι ομοιότητες μεταξύ συγχορδιών γειτονικών τονικοτήτων, τείνουν να αποκρύπτουν αλλαγές στο αρμονικό περιεχόμενο, που θα έπρεπε στην πραγματικότητα να θεωρούνται μετατροπές.

Προσεγγίζοντας το αρχικό σύνολο δεδομένων με αυτή τη νοοτροπία, οδηγηθήκαμε στην τελική επιλογή των κομματιών του dataset. Αυτή η μορφή περιέχει συνολικά 260 κομμάτια, όλα τους αρμονικά αναλυμένα, κάθε ένα με υποδείξεις για την ή τις τονικότητές του, το μέτρο στο οποίο καθιερώνεται η κάθε τονικότητα και ένα αρχείο .wav, που περιέχει μια ηχογραφημένη εκτέλεση του κομματιού. Θα προχωρήσουμε στη διαδικασία αρμονικής ανάλυσης, παρουσιάζοντας μερικές χαρακτηριστικές περιπτώσεις κομματιών, που περιλαμβάνονται στο τελικό σύνολο δεδομένων.

0.3.2 Περιπτώσεις Ανάλυσης

Στην παρούσα ενότητα θα επικεντρωθούμε στην αρμονική ανάλυση τεσσάρων κομματιών του dataset. Αυτές οι περιπτώσεις ανάλυσης λειτουργούν ως σημείο αναφοράς για την μέθοδο που ακολουθήσαμε για ολόκληρο το σύνολο δεδομένων. Η δομή της ανάλυσής μας θα είναι η εξής. Αρχικά θα παραθέσουμε τον οδηγό του κομματιού, όπως αυτός βρίσκεται στο Real Book of Jazz. Στη συνέχεια θα εξηγήσουμε το σχεπτικό πίσω από την αρμονική μας ανάλυση, για κάθε μία από τις συγχορδίες του τραγουδιού. Στη συνέχεια θα χρησιμοποιώντας τον ίδιο οδηγό, θα σημειώσουμε τις διάφορες τονικές περιοχές του κομματιού, με τον ίδιο τρόπο που μπορούν

επίσης να βρεθούν στις ετικέτες του κομματιού στο dataset. Ας ξεκινήσουμε λοιπόν με την πρώτη περίπτωση.

Περίπτωση 1: "There will never be another you"

Το πρώτο κομμάτι το οποίο θα εξετάσουμε είναι το "*There will never be another you*", γραμμένο από τους Harry Warren και Mack Gordon. Ο οδηγός του κομματιού φαίνεται στο σχήμα 0.3.1.

Αρχικά, σημειώνουμε ορισμένες παρατηρήσεις σχετικά με τον οδηγό, οι οποίες μπορεί να αποδειχθούν χρήσιμες στην ανάλυσή. Το γεγονός ότι η πρώτη και η τελευταία συγχορδία του τραγουδιού είναι μια Μι ύφεση μείζονα συγχορδία (Ebmaj7), δείχνει πως η τονικότητα Μι ύφεση μείζονα ενδεχομένως παίζει κεντρικό ρόλο στο κομμάτι. Αυτό δεν ισχύει πάντα, καθώς αυτή η συγκεκριμένη συγχορδία μπορεί να υποδηλώνει έναν αριθμό αρκετών διαφορετικών τονικοτήτων, αλλά μας παρέχει ένα καλό σημείο εκκίνησης για την ανάλυση. Για λόγους ευκολίας, παραθέτουμε το σετ συγχορδιών της κλίμακας Μι ύφεση μείζονα, καθώς και αυτά της φυσικής, αρμονικής και μελωδικής ελάσσονας.

Μι ύφεση μείζονα: Ebmaj7 - Fm7 - Gm7 - Abmaj7 - Bb7 - Cm7 - Dm7(b5)

Μι ύφεση φυσική ελάσσονα: Ebm7 - Fm7(b5) - Gbmaj7 - Abm7 - Bbm7 - Cbmaj7 - Db7

Μι ύφεση αρμονική ελάσσονα: Ebm(maj7) - Fm7(b5) - Gbmaj7(#5) - Abm7 - Bbm7 - Cbmaj7 - Ddim7

Μι ύφεση μελωδική ελάσσονα: Ebm(maj7) - Fm7 - Gbmaj7(#5) - Ab7 - Bbm7 - Cm7(b5) - Dm7(b5)

Έτσι, ξεκινάμε αναλύοντας την συγχορδία Ebmaj7 των πρώτων 2 μέτρων, ως το Imaj7. Στο τρίτο μέτρο, βρίσκουμε άλλη μια, διατονική στην Μι ύφεση μείζονα τονικότητα, συγχορδία, την Dm7(b5), η οποία αναλύεται εύκολα ως το VIIIm7(b5). Η επόμενη συγχορδία πρόκειται για δεσπόζουσα, την G7b9. Εδώ αξίζει να σημειώσουμε ότι το b9 "ύφεση εννιά", είναι μία επέκταση συγχορδίας, μια επιπλέον νότα που προστίθεται στη συγχορδία, για να προσφέρει περαιτέρω αρμονική ένταση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η επέκταση αναφέρεται στην ένατη της συγχορδίας, η οποία βρίσκεται σε διάστημα μίας οκτάβας και μίας νότας πάνω από την πρώτη της συγχορδίας, τη νότα Σολ. Έτσι, στην περίπτωση της G7, το b9 είναι η νότα Λα ύφεση (η 9η του Σολ είναι το Λα, επομένως το Λα ύφεση θα είναι το b9). Οι πιθανές επεκτάσεις που μπορεί να λάβει μια συγχορδία, είναι η ένατη, η ενδέκατη και η δέκατη τρίτη νότα/βαθμίδα της. Η προσθήκη επέκτασης δεν αλλάζει την αρμονική λειτουργία της συγχορδίας. Έτσι, επιστρέφοντας στο παράδειγμά μας, θα αντιμετωπίσουμε τη συγχορδία G7b9 ακριβώς όπως θα αντιμετωπίζαμε μια συγχορδία G7. Παρατηρούμε εύκολα πως η συγκεκριμένη συγχορδία δεν βρίσκεται σε κάποιο από τα σετ διατονικών των συγχορδιών της Μι ύφεση. Ωστόσο, δεδομένου ότι πρόκειται για δεσπόζουσα συγχορδία, πρέπει να ελέγξουμε το ενδεχόμενο να είναι κάποια Δευτερεύουσα ή Αντικατάσταση Δεσπόζουσας. Αναζητώντας κάποια σχέση μεταξύ της G7 και κάποιας εκ των συγχορδιών που την διαδέχονται, βρίσκουμε τη συγχορδία Cm7, μια διατονική στην Μι ύφεση μείζονα τονικότητα συγχορδία, συγκεκριμένα το VIIm7. Η ανάλυση της Cm7 ως τη συγχορδία της έκτης βαθμίδας, μας φέρνει σε μια συνειδητοποίηση σχετικά με το G7b9 που συναντήσαμε νωρίτερα. Ως μια δεσπόζουσα συγχορδία που βρίσκεται ένα διάστημα πέμπτης πάνω από την Cm7, η G7b9 αναλύεται ως Δευτερεύουσα Δεσπόζουσα της Cm7, δηλαδή ως V7/VI κατά τα γνωστά.

Προχωρώντας στο έκτο μέτρο, βλέπουμε άλλη μία Cm7 συγχορδία, την οποία αναλύουμε πάλι ως VIIm7. Η Bbm7 στο έβδομο μέτρο αναλύεται ως VIm7, και αποτελεί διατονικό δανεισμό από το σετ συγχορδιών της Μι φυσικής μινόρε. Για τις επόμενες 2 συγχορδίες ακολουθούμε την ίδια λογική που ακολουθήσαμε στα μέτρα τέσσερα και πέντε. Δεδομένου ότι η Eb7 είναι μια μη διατονική δεσπόζουσα συγχορδία, ελέγχουμε το ενδεχόμενο να πρόκειται για Δευτερεύουσα ή Αντικατάσταση Δεσπόζουσας. Για να είναι Δευτερεύουσα

There will never be another you

Chord symbols and Roman numeral analysis for "There will never be another you":

- Staff 1: E^b_{maj7} , E^b_{maj7} , $D-7^b5$, $G7^b9$
Roman numerals: I_{maj7} , I_{maj7} , $VII-7^b5$, $V7/VI$
- Staff 2: $C-7$, $C-7$, B^b-7 , E^b7
Roman numerals: $VI-7$, $VI-7$, $V-7$, $V7/IV$
- Staff 3: A^b_{maj7} , $F-7^b5$, B^b7 , E^b_{maj7} , $C-7$
Roman numerals: IV_{maj7} , $II-7^b5$, $V7$, I_{maj7} , $VI-7$
- Staff 4: $F7$, $C-7$, $F7$, $F-7$, B^b7
Roman numerals: $V7/V$, $VI-7$, $V7/V$, $II-7$, $V7$
- Staff 5: E^b_{maj7} , E^b_{maj7} , $D-7^b5$, $G7^b9$
Roman numerals: I_{maj7} , I_{maj7} , $VII-7^b5$, $V7/VI$
- Staff 6: $C-7$, $C-7$, B^b-7 , E^b7
Roman numerals: $VI-7$, $VI-7$, $V-7$, $V7/IV$
- Staff 7: A^b_{maj7} , $F-7^b5$, B^b7 , E^b_{maj7} , $G-7$, $C7$
Roman numerals: IV_{maj7} , $II-7^b5$, $V7$, I_{maj7} , $III-7$, $V7/II$
- Staff 8: E^b_{maj7} , $D7$, $G7$, $C7$, $F-7$, B^b7 , E^b
Roman numerals: I_{maj7} , $V7$, $V7$, $V7/II$, $II-7$, $V7$, I

Figure 0.3.1: Οδηγός για το κομμάτι "There will never be another you"

Δεσπόζουσα, θα έχουμε πιθανότατα μια Λα ύφεση συγχορδία στις αμέσως επόμενες συγχορδίες, ενώ για να έχουμε αντικατάσταση θα συναντήσουμε πιθανότατα κάποια Ρε συγχορδία. Πράγματι, η επόμενη συγχορδία είναι μια Abmaj7, δηλαδή το IVmaj7 του σετ συγχορδιών της Μι ύφεση μείζονας, πράγμα που καθιστά την Eb7 το V7/IV. Οι τρεις συγχορδίες που ακολουθούν, είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μιας II-V-I πτώσης στην Μι ύφεση μείζονα τονικότητα. Έχουμε την Fm7(b5) που αναλύεται ως IIIm7(b5) από το σετ συγχορδιών της φυσικής ελάσσονας, το Bb7 ως το V7 από το σετ συγχορδιών της μείζονας και το Ebmaj7 ως το Imaj7. Η επόμενη συγχορδία που δεν έχουμε ήδη αναλύσει βρίσκεται στο μέτρο 13, και είναι μια F7. Ως μη διατονική δεσπόζουσα συγχορδία, ελέγχουμε ξανά την περίπτωση δευτερεύουσας ή αντικατάστασης. Ωστόσο, η επόμενη συγχορδία, η Cm7, δεν πληροί τα κριτήρια για να θεωρηθεί πως διαδέχεται λειτουργικά την F7 σε καμία από τις δύο περιπτώσεις. Κοιτάζοντας τα επόμενα δύο μέτρα, βλέπουμε μια Bb7 συγχορδία, η οποία βρίσκεται πράγματι ένα διάστημα τετάρτης πάνω από τη F7 του μέτρου 13. Αυτή είναι μια πολύ συνηθισμένη πρακτική, η επιβράδυνση της "λύσης" μιας δεσπόζουσας συγχορδίας κατά ένα ή δύο μέτρα. Εφόσον λοιπόν το Bb7 αναλύεται ως το V7 στην Μι ύφεση τονικότητα, το F7 είναι με τη σειρά του το V7 του Bb7, και άρα Δευτερεύουσα Δεσπόζουσα στην πέμπτη βαθμίδα (V7/V). Αυτό ισχύει και για τη συγχορδία F7 στο μέτρο 14. Όσον αφορά τη συγχορδία Fm7 στο μέτρο 15, μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε πως είναι το IIIm7 από το σετ συγχορδιών της μείζονας. Έτσι ολοκληρώνεται η ανάλυση για τα πρώτα 16 μέτρα του κομματιού.

Ξεκινώντας την ανάλυση για το δεύτερο μισό, βλέπουμε ότι τα μέτρα 17-27 είναι επανάληψη των μέτρων 1-11, επομένως δεν απαιτείται περαιτέρω ανάλυσή τους. Στο αμέσως επόμενο μέτρο (28), έχουμε μια Gm7 ακολουθούμενη από μια C7. Η συγχορδία Gm7 μπορεί εύκολα να αναλυθεί ως IIIIm7, καθώς είναι διατονική. Όσον αφορά τη C7, μπορούμε να την αναλύσουμε ως δευτερεύουσα δεσπόζουσα στη δεύτερη βαθμίδα, δηλαδή τη νότα Φα (V7/II), παρά το ότι δεν βρίσκουμε κάποια συγχορδία Φα στα επόμενα δύο μέτρα. Είναι εύκολο να επαληθεύσουμε ότι η C7 δεν ανήκει διατονικές δεσπόζουσες συγχορδίες της τρέχουσας τονικότητας. Επίσης, δύσκολα θα μπορούσε να θεωρηθεί αντικατάσταση δεσπόζουσας, καθώς τότε θα περιμέναμε την εμφάνιση κάποιας συγχορδίας από Σι, η οποία δεν εμφανίζεται στην τρέχουσα τονικότητα, ούτε ως διατονική συγχορδία ούτε ως μη διατονικός δανεισμός. Για να είναι η συγκεκριμένη συγχορδία C7 αντικατάσταση δεσπόζουσας, θα πρέπει να συμβεί κάποια μετατροπία, και αυτός ο ισχυρισμός δεν υποστηρίζεται από το γεγονός ότι η πρώτη συγχορδία του επόμενου μέτρου, είναι μια Ebmaj7, δηλαδή η πρώτη. Ταυτόχρονα, η Φα συγχορδία που θα περιμέναμε στην περίπτωση της δευτερεύουσας, βρίσκεται στο μέτρο 31. Πρόκειται για μια παρόμοια περίπτωση με τα μέτρα 13-16, όπου έχουμε ξανά καθυστέρηση στην λύση μιας δεσπόζουσας συγχορδίας. Τα δύο μέτρα που μεσολαβούν, μπορούν να θεωρηθούν μια εκτενής προσέγγιση προς τη Fm7 συγχορδία του μέτρου 31. Πιο συγκεκριμένα, στο μέτρο 28 έχουμε τις δύο πρώτες συγχορδίες μιας II-V-I πτώσης, με την Fm7 του μέτρου 31 να λειτουργεί ως τοπικό I. Επιπλέον, στα μέτρα 29 και 30 έχουμε τις συγχορδίες D7, G7 και C7, οι οποίες είναι μια σειρά από διαδοχικές δευτερεύουσες δεσπόζουσες, που λύνονται στην ίδια συγχορδία με το II-V του προηγούμενου μέτρου, τη Fm7. Έτσι, το μόνο που απομένει είναι οι συγχορδίες Bb7 και Eb στα δύο τελευταία μέτρα του κομματιού, οι οποίες μπορούν πολύ εύκολα να αναλυθούν ως το V7 και το Imaj7.

Έτσι ολοκληρώνεται η αρμονική ανάλυση για του κομματιού. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, δεν συναντήσαμε κάποια μετατροπία, οπότε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το κομμάτι βρίσκεται στην τονικότητα που θεωρήσαμε εξ αρχής, τη Μι ύφεση μείζονα. Στο σχήμα [0.3.2](#), φαίνεται ο οδηγός του κομματιού, αυτή τη φορά με υπογραμμισμένα τα διάφορα τονικά του κέντρα, που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι μόνο αυτό της Μι ύφεση μείζονας. Θα προχωρήσουμε τώρα στο επόμενο παράδειγμα.

There will never be another you

Chord progression for "There will never be another you":

- Staff 1: E^b_{maj7} (I_{maj7}), E^b_{maj7} (I_{maj7}), $D-7^{b5}$ ($VII-7^{b5}$), $G7^{b9}$ ($V7/VI$)
- Staff 2: $C-7$ ($VI-7$), $C-7$ ($VI-7$), B^b-7 ($V-7$), E^b7 ($V7/IV$)
- Staff 3: A^b_{maj7} (IV_{maj7}), $F-7^{b5}$ ($II-7^{b5}$), B^b7 ($V7$), E^b_{maj7} (I_{maj7}), $C-7$ ($VI-7$)
- Staff 4: $F7$ ($V7/V$), $C-7$ ($VI-7$), $F7$ ($V7/V$), $F-7$ ($II-7$), B^b7 ($V7$)
- Staff 5: E^b_{maj7} (I_{maj7}), E^b_{maj7} (I_{maj7}), $D-7^{b5}$ ($VII-7^{b5}$), $G7^{b9}$ ($V7/VI$)
- Staff 6: $C-7$ ($VI-7$), $C-7$ ($VI-7$), B^b-7 ($V-7$), E^b7 ($V7/IV$)
- Staff 7: A^b_{maj7} (IV_{maj7}), $F-7^{b5}$ ($II-7^{b5}$), B^b7 ($V7$), E^b_{maj7} (I_{maj7}), $G-7$ ($III-7$), $C7$ ($V7/II$)
- Staff 8: E^b_{maj7} (I_{maj7}), $D7$ ($V7$), $G7$ ($V7$), $C7$ ($V7/II$), $F-7$ ($II-7$), B^b7 ($V7$), E^b (I)

Figure 0.3.2: "There will never be another you": Τονικά κέντρα

Περίπτωση 2: "Triste"

Το δεύτερο κομμάτι που θα αναλύσουμε είναι το *Triste*, του Antônio Carlos Jobim, ο οδηγός του οποίου φαίνεται στο σχήμα 0.3.3.

Ξεκινώντας όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, παρατηρούμε ότι οι δύο πρώτες συγχορδίες του κομματιού είναι Bb και Bbmaj7. Το ίδιο ισχύει και για τις συγχορδίες των μέτρων πέντε και έξι αντίστοιχα. Αυτό αποτελεί μια ισχυρή ένδειξη πως το τραγούδι ξεκινά στην τονικότητα *Σι ύφεση μείζονα*. Με βάση αυτό, παραθέτουμε τα σετ των διατονικών συγχορδιών της τονικότητας, και προχωράμε στην ανάλυση:

Σι ύφεση μείζονα: Bbmaj7 - Cm7 - Dm7 - Ebmaj7 - F7 - Gm7 - Am7(b5)

Σι ύφεση φυσική ελάσσονα: Bbm7 - Cm7(b5) - Dbmaj7 - Ebm7 - Fm7 - Gbmaj7 - Ab7

Σι ύφεση αρμονική ελάσσονα: Bbm(maj7) - Cm7(b5) - Dbmaj7(#5) - Ebm7 - Fm7 - Gbmaj7 - Adim7

Σι ύφεση μελωδική ελάσσονα: Bbm(maj7) - Cm7 - Dbmaj7(#5) - Eb7 - Fm7 - Gm7(b5) - A7(b5)

Με βάση τα προηγούμενα, αναλύουμε τις συγχορδίες των μέτρων ένα και δύο, ως I και Imaj7 αντίστοιχα. Στη συνέχεια, εξετάζουμε τη συγχορδία Gbmaj7 στο τρίτο μέτρο, η οποία αναλύεται ως bVImaj7, δηλαδή διατικός δανεισμός από την Σι ύφεση φυσική ελάσσονα. Έπειτα, έχουμε τη συγχορδία B7, η οποία δεν ανήκει σε κάποιο διατονικό σετ συγχορδιών. Επομένως, δεδομένου ότι είναι δεσπόζουσα συγχορδία, παρατηρούμε τα επόμενα μέτρα για να διαπιστώσουμε αν μπορεί να θεωρηθεί είτε δευτερεύουσα είτε αντικατάσταση δεσπόζουσας. Όπως αναφέραμε προηγουμένως, οι συγχορδίες των μέτρων πέντε και έξι είναι Bb και Bbmaj7, οι οποίες γνωρίζουμε ήδη ότι αναλύονται ως I και Imaj7. Το γεγονός ότι η B7 πρόκειται για μια μη διατονική δεσπόζουσα συγχορδία, που λύνεται ένα ημιτόνιο κάτω, σημαίνει πως πρόκειται για αντικατάσταση δεσπόζουσας, και αναλύεται ως subV7/I, καθώς αντικαθιστά την πέμπτη της πρώτης βαθμίδας. Προχωρώντας στο έβδομο μέτρο, έχουμε μια Dm7 συγχορδία η οποία είναι διατονική, και αναλύεται ως το IIIm7. Στη συνέχεια, έχουμε ακόμη μία μη διατονική δεσπόζουσα συγχορδία, τη G7b9, που λύνεται σε μια Cm7 στο μέτρο εννιά. Η απόσταση μεταξύ του Nτο και του Σολ είναι διάστημα πέμπτης, οπότε η G7b9 είναι η δευτερεύουσα δεσπόζουσα της Cm7, δηλαδή το V7/II, με την Cm7 να αναλύεται ως το IIIm7. Μετατοπίζουμε τώρα την προσοχή μας στα επόμενα 2 μέτρα. Έχουμε την ακολουθία συγχορδιών Am7 - D7 - Gm7. Η Gm7 είναι διατονική συγχορδία (το VIm7) και η D7 είναι η πέμπτη της, καθιστώντας την δευτερεύουσα δεσπόζουσα της Gm7 (το V7/VI). Ωστόσο, η συγχορδία Am7 δεν βρίσκεται στα διατονικά σετ συγχορδιών της Σι ύφεση μείζονας. Αυτή είναι χαρακτηριστική περίπτωση χρήσης του σχετικού δύο. Αν θεωρήσουμε τη Gm7 ως I για το σύντομο διάστημα των μέτρων 10 και 11, αυτό κάνει τη D7 το V και την Am7 το II, αυτής του II-V-I πτώσης. Έτσι, η αρμονική λειτουργία αυτής της Am7 είναι πως πρόκειται για το σχετικό δύο της Gm7, και την αναλύουμε ως (II).

Στο μέτρο 12 έχουμε μια μη διατονική δεσπόζουσα συγχορδία, τη συγχορδία A7. Ακολουθούμε την ίδια πορεία σκέψης που ακολουθήσαμε σε αντίστοιχες προηγούμενες περιπτώσεις, ελέγχοντας τα επόμενα μέτρα, για να βρούμε μια πιθανή λύση αυτής της δεσπόζουσας συγχορδίας. Στο μέτρο 13, βρίσκουμε μια Ρε συγχορδία (Dmaj7), της οποίας η πέμπτη είναι πράγματι η A7, επομένως οδηγούμαστε στη σκέψη είναι ότι η A7 είναι δευτερεύουσα δεσπόζουσα και συγκεκριμένα, το V7/III, δεδομένου ότι η Ρε είναι η τρίτη βαθμίδα της Σι ύφεση μείζονας. Παρ'ολ'αυτά, η συγκεκριμένη Ρε συγχορδία (Dmaj7) δεν είναι ίδιας ποιότητας με την συγχορδία τρίτης βαθμίδας της τρέχουσας τονικότητας (Dm7), ούτε με αυτές των αντίστοιχων ελάσσονων κλιμάκων. Μάλιστα, εξετάζοντας και τις συγχορδίες που μπορούν να προέρχονται από μη διατονικό δανεισμό (0.2.3), δεν υπάρχει σε αυτές το IIIImaj7 που ψάχνουμε εν προκειμένω. Έτσι, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως στο μέτρο 13 υπάρχει μετατροπή στην τονικότητα *Ρε μείζονα*. Αυτό σημαίνει ότι η προηγούμενη συγχορδία, A7, έχει

Triste

The musical score for "Triste" is presented across eight staves, each containing a series of chords and their corresponding Roman numeral notations. The chords are as follows:

- Staff 1: B $\flat$, B $\flat$ maj7, G $\flat$ maj7, B7
- Staff 2: B $\flat$, B $\flat$ maj7, D-7, G7 $\flat^9$
- Staff 3: C-7, A-7, D7, G-7, A7
- Staff 4: Dmaj7, E-7, A7, D-7, G7, C-7, F7
- Staff 5: B $\flat$, B $\flat$ maj7, B $\flat$ -7, E $\flat$ 7
- Staff 6: B $\flat$, B $\flat$ maj7, F-7, B $\flat$ 7
- Staff 7: E $\flat$ maj7, A $\flat$ 7, D-7, G-7, C7
- Staff 8: C-7, F7, B $\flat$ -7, E $\flat$ 7, B $\flat$ -7, E $\flat$ 7

The Roman numeral notations for each chord are as follows:

- Staff 1: I, Imaj7, bVIImaj7, subV7/I
- Staff 2: I, Imaj7, III-7, V7/II
- Staff 3: II-7, (II), V7/VI, VI-7, B $\flat$: V7/III, D: V7
- Staff 4: Imaj7, II-7, V7, D: I-7, B $\flat$: III-7, D: IV7, B $\flat$: V7/II, II-7, V7
- Staff 5: I, Imaj7, I-7, IV7
- Staff 6: I, Imaj7, V-7, V7/IV
- Staff 7: IVmaj7, bVII7, III-7, VI-7, V7/V
- Staff 8: II-7, V7, I-7, IV7, I-7, IV7

The score concludes with a double bar line.

Figure 0.3.3: Οδηγός για το κομμάτι "Triste"

διπλή λειτουργία. Στην τονικότητα της Σι ύφεση μείζονας, ως το V7/III, και σε αυτή της Ρε μείζονας, ως το V7. Επομένως, συνεχίζουμε θεωρώντας, πλέον, ως πρώτη τη συγχορδία Dmaj7. Τα διατονικά στην Ρε μείζονα σετ συγχορδιών είναι τα εξής:

Ρε μείζονα: Dmaj7 - Em7 - F#m7 - Gmaj7 - A7 - Bm7 - C#m7(b5)

Ρε φυσική ελάσσονα: Dm7 - Em7(b5) - Fmaj7 - Gm7 - Am7 - Bbmaj7 - C7

Ρε αρμονική ελάσσονα: Dm(maj7) - Em7(b5) - Fmaj7(#5) - Gm7 - Am7 - Bbmaj7 - C#dim7

Ρε μελωδική ελάσσονα: Dm(maj7) - Em7 - Fmaj7(#5) - G7 - Am7 - Bm7(b5) - C#7(b5)

Προχωρώντας στο μέτρο 14, έχουμε μια συγχορδία Em7 και μια A7. Πρόκειται για το γνωστό II-V στη Ρε μείζονα, με την Em7 να αναλύεται ως IIm7 και την A7 ως V7. Στο επόμενο μέτρο έχουμε την συγχορδία Dm7 και την G7. Η πρώτη, πρόκειται για το Im7, μέσω διατονικού δανεισμού από το σετ συγχορδιών της φυσικής ελάσσονας. Η δεύτερη, αναλύεται ως το IV7, μέσω διατονικού δανεισμού από το την μελωδική ελάσσονα. Στο μέτρο 16 έχουμε τις συγχορδίες Cm7 και F7. Βλέπουμε πως η συγχορδία Cm7 δεν ανήκει στα διατονικά σε συγχορδιών για την Ρε μείζονα, πράγμα που ισχύει επίσης και για την F7. Αντίστοιχα, το bVIIIm7 (που θα ήταν το Cm7) δεν ανήκει στις συγχορδίες που προκύπτουν από μη διατονικό δανεισμό (0.2.3). Θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε το Cm7 ως σχετικό II και το F7 ως δευτερεύουσα δεσπόζουσα κάποιας επερχόμενης συγχορδίας. Βλέπουμε πως οι συγχορδίες που ακολουθούν στα μέτρα 17, 18 και 19 είναι όλες Σι ύφεση συγχορδίες, συγκεκριμένα Bb, Bbmaj7 και Bbm7. Οι δύο πρώτες συγχορδίες είναι διατονικές στη Ρε μείζονα μέσω της αρμονικής ελάσσονας, αλλά η τρίτη είναι μη διατονική. Μια εναλλακτική προσέγγιση θα ήταν η εξής.

Δεδομένου ότι το κομμάτι, αρχικά, ήταν σε Σι ύφεση μείζονα, πριν η μετατροπή το μεταφέρει σε Ρε μείζονα, είναι πολύ πιθανό οι τρεις συγχορδίες να σημαίνουν μια επαναφορά στην αρχική τονικότητα. Μάλιστα, οι συγχορδίες του μέτρου 16, αποτελούν την δεύτερη και πέμπτη βαθμίδα της αρχικής τονικότητας, και λύνονται ως συνήθως στην πρώτη αυτής, με την έλευση του επόμενου μέτρου. Προσθέτοντας και το γεγονός ότι συγχορδίες στα μέτρα 17 και 18 εισάγονται με τον ίδιο τρόπο που εισάγονται και στην αρχή του κομματιού, όπου η τονικότητα εγκαθιδρύεται για πρώτη φορά, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για ακόμη μία μετατροπή, προς την αρχική τονικότητα, τη Σι ύφεση μείζονα. Μάλιστα, το ακριβές μέτρο στο οποίο αλλάζει η τονικότητα είναι το μέτρο 16, ενώ οι συγχορδίες του μέτρου 15 έχουν διττή λειτουργία. Πράγματι, στο κλειδί της Ρε μείζονας αναλύονται ως Im7 και IV7, ενώ στο κλειδί της Σι ύφεση μείζονας ως IIIIm7 και V7/II. Ο λόγος που επιλέγουμε το μέτρο 16, έναντι των μέτρων 15 ή 17, είναι γιατί εκεί γίνεται πρώτη φορά ηχητικά αντιληπτή η μεταβολή στην τονικότητα.

Τα τρία πρώτα μέτρα μετά τη μετατροπή αναλύονται κατά τα γνωστά. Έχουμε το I, το Imaj7, ενώ το Im7 είναι από το σετ των συγχορδιών της φυσικής ελάσσονας. Στη συνέχεια, έχουμε μια Eb7 συγχορδία, που είναι το IV7, του σετ συγχορδιών της μελωδικής ελάσσονας. Στο μέτρο 23 έχουμε μια Fm7, η οποία αναλύεται ως το VIm7, από την φυσική ελάσσονα. Στη συνέχεια, έχουμε μια Bb7 που λύνεται σε μια Ebmaj7 στο επόμενο μέτρο, δηλαδή στο IV της Σι ύφεση μείζονας. Αυτό κάνει το Bb7 μια Δευτερεύουσα Δεσπόζουσα, και αναλύεται ως V7/IV. Η Ab7 του μέτρου 26 είναι το bVII7 που προέρχεται από τη φυσική ελάσσονα, ενώ στο επόμενο μέτρο έχουμε μια Dm7, δηλαδή το IIIIm7, και ένα Gm7 δηλαδή το VIm7. Το C7 στο μέτρο 28 λύνεται μια πέμπτη κάτω στο μέτρο 30, με την συγχορδία F7, ενώ μεσολαβεί μια καθυστέρηση πτώσης με το Cm7, δηλαδή το IIm7. Έτσι, το C7 αναλύεται ως V7/V, μια δευτερεύουσα δεσπόζουσα που λύνεται στην πέμπτη βαθμίδα. Ολοκληρώνονται την ανάλυσή του κομματιού, στα τελευταία 4 μέτρα έχουμε τις συγχορδίες Bbm7 και Eb7 οι οποίες έχουν ήδη προσδιοριστεί νωρίτερα (Im7 - IV7). Βλέπουμε ότι το κομμάτι δεν τελειώνει με την συγχορδία

της πρώτης βαθμίδας, αλλά αυτό δεν αλλάζει την αντίληψή μας για το τονικό κέντρο.

Έτσι ολοκληρώνεται η αρμονική ανάλυση του τραγουδιού "*Triste*". Στο σχήμα [0.3.4](#) παρέχουμε μια επισκόπηση της ανάλυσης με την επισήμανση των τονικών κέντρων. Με πράσινο έχουμε την τονικότητα της Σι ύφεση μείζονας και με κόκκινο αυτή της Ρε μείζονας.

Περίπτωση 3: "Have you met miss Jones"

Το επόμενο κομμάτι που θα αναλύσουμε είναι το "*Have you met miss Jones*" [0.3.5](#), των Richard Rodgers και Lorentz Hart.

Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, η πρώτη μας ενέργεια είναι να ελέγξουμε την πρώτη και την τελευταία συγχορδία του οδηγού [0.14.5](#). Δεδομένου ότι και οι δύο συγχορδίες είναι Fmaj7, θα ξεκινήσουμε την ανάλυσή μας θεωρώντας Φα μείζονα τονικότητα. Παραθέτουμε τις διατονικές συγχορδίες της Φα μείζονας κατά τα γνωστά:

Φα μείζονα: Fmaj7 - Gm7 - Am7 - Bbmaj7 - C7 - Dm7 - Em7(b5)

Φα φυσική ελάσσονα: Fm7 - Gm7(b5) - Abmaj7 - Bbm7 - Cm7 - Dbmaj7 - Eb7

Φα αρμονική ελάσσονα: Fm(maj7) - Gm7(b5) - Abmaj7(#5) - Bbm7 - Cm7 - Dbmaj7 - Edim7

Φα μελωδική ελάσσονα: Fm(maj7) - Gm7 - Abmaj7(#5) - Bb7 - Cm7 - Dm7(b5) - E7(b5)

Έτσι, εύκολα αναλύουμε τη συγχορδία του πρώτου μέτρου ως το Imaj7. Συνεχίζοντας στο μέτρο 2, βρίσκουμε μια ντιμινουίτα. Παρατηρώντας τις διατονικές συγχορδίες, βλέπουμε ότι η F#dim7 δεν πρόκειται για τη διατονική ελαττωμένη συγχορδία της Φα μείζονας, καθώς η εν λόγω συγχορδία είναι η Edim7. Ανατρέχοντας στον κατάλογο των μη διατονικών ντιμινουϊτών που μπορούμε να συναντήσουμε σε μια τονικότητα από το προηγούμενο κεφάλαιο [0.2.3](#), διαπιστώνουμε ότι η F#dim7 αντιστοιχεί στο #Idim7, και επομένως είναι έγκυρη μη διατονική ντιμινουίτα. Στα μέτρα 3-6 έχουμε κάποιες διατονικές στη Φα μείζονα συγχορδίες, οι οποίες σχηματίζουν μια αρκετά τυπική ακολουθία. Έχουμε το το II^m7 (Gm7), ακολουθούμενο από το V7 (C7), δίνοντας την αίσθηση μίας II-V-I πτώσης, αλλά αντί για την ολοκληρώσή της έχουμε ένα III^m7 ακολουθούμενο από το VI^m7. Στη συνέχεια, στα μέτρα 7 και 8, συναντάμε ακόμη ένα II-V, αυτή τη φορά μια Cm7, δηλαδή το V^m7 από το την φυσική ελάσσονα ακολουθούμενο από μια F7, τη δευτερεύουσα δεσπόζουσα της τέταρτης βαθμίδας (V7/IV), δηλαδή της Bbmaj7 που ακολουθεί στο επόμενο μέτρο.

Μένουμε στο μέτρο 9, καθώς αρχίζουμε να κάνουμε κάποιες παρατηρήσεις με βάση τη συνέχεια του κομματιού. Προφανώς η συγχορδία Bbmaj7 είναι διατονική συγχορδία στη Φα μείζονα (IVmaj7) και ολοκληρώνει τέλεια την πτώση II-V-I που ξεκινά στο μέτρο 7. Αλλά παρατηρώντας τη συνέχεια του κομματιού, βλέπουμε αρκετές συγχορδίες maj7 που εμφανίζονται περιοδικά, κάθε 2 μέτρα, μεταξύ των μέτρων 9 και 15. Παρά το ότι μερικές από αυτές (η Bbmaj7 και η Gbmaj7) είναι όντως διατονικές στην τρέχουσα τονικότητα, αυτό δεν ισχύει για όλες. Αρχικά, έχουμε τη συγχορδία Dmaj7, που δεν είναι ούτε διατονική, ούτε μια από τις έγκυρες συγχορδίες μη διατονικού δανεισμού [0.2.3](#). Δεύτερον, αν πραγματικά ακούσουμε το κομμάτι μαζί με τη μελωδία του, παρατηρούμε ότι κάθε φορά που καταλήγουμε σε κάποια από τις maj7 συγχορδίες, λαμβάνουμε μια αίσθηση αρμονικής σταθερότητας, η οποία υποστηρίζεται και από τον τρόπο που εξελίσσεται και η μελωδία. Αυτό είναι μια ισχυρή ένδειξη ότι στην πραγματικότητα, αυτή η παρατεταμένη ακολουθία συγχορδιών, είναι μια σειρά απο διαδοχικές μετατροπές. Αυτή η μεταπήδηση μεταξύ διαφορετικών τονικοτήτων μέσω διαδοχικών II-V-I πτώσεων, είναι μια αρκετά συνηθισμένη αρμονική κίνηση στη τζαζ. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα περνάμε από τρεις διαφορετικές τονικότητες, αυτή της Σι ύφεση μείζονας, της Σολ ύφεση μείζονας και της Ρε μείζονας.

Triste

The musical score for "Triste" consists of ten staves, each with a treble clef and a key signature of one flat (B-flat major or E-flat major). The staves are organized into two systems of five staves each. The first system (staves 1-5) is in B-flat major, and the second system (staves 6-10) is in E-flat major. Each staff contains a sequence of chords and Roman numerals. The fourth staff is highlighted in red.

Staff	Chord 1	Chord 2	Chord 3	Chord 4	Chord 5	Chord 6	Chord 7	Chord 8	Chord 9	Chord 10
1	B $\flat$	B $\flat$ maj7	G $\flat$ maj7	B7						
2	B $\flat$	B $\flat$ maj7	D-7	G7 $\flat^9$						
3	C-7	A-7	D7	G-7	A7					
4	Dmaj7	E-7	A7	D-7	G7	C-7	F7			
5	B $\flat$	B $\flat$ maj7	B $\flat$ -7	E $\flat$ 7						
6	B $\flat$	B $\flat$ maj7	F-7	B $\flat$ 7						
7	E $\flat$ maj7	A $\flat$ 7	D-7	G-7	C7					
8	C-7	F7	B $\flat$ -7	E $\flat$ 7	B $\flat$ -7	E $\flat$ 7				
9										
10										

Figure 0.3.4: "Triste": Τονικά κέντρα

Have you met miss Jones

The musical score for "Have you met miss Jones" consists of six staves, each containing a sequence of chords and their corresponding Roman numeral harmonizations. The chords are written above the staves, and the Roman numerals are written below them. Some chords are connected by curved lines, indicating a sequence or a specific harmonic relationship.

Staff 1: Fmaj7, F#o7, G-7, C7. Roman numerals: Imaj7, #Idim7, II-7, V7.

Staff 2: A-7, D-7, C-7, F7. Roman numerals: III-7, VI-7, V-7, V7/IV.

Staff 3: Bbmaj7, Ab-7, Db7, Gbmaj7, E-7, A7. Roman numerals: Imaj7, II-7, V7, Imaj7, II-7, V7.

Staff 4: Dmaj7, Ab-7, Db-7, Gbmaj7, G-7, C7. Roman numerals: Imaj7, II-7, V7, Imaj7, II-7, V7.

Staff 5: Fmaj7, F#o7, G-7, C7, Bb7. Roman numerals: Imaj7, #Idim7, II-7, V7, IV7.

Staff 6: A-7, D7, G-7, C7, Fmaj7, Fmaj7. Roman numerals: III-7, V7/II, II-7, V7, Imaj7, Imaj7.

Figure 0.3.5: Οδηγός για το κομμάτι "Have you met miss Jones"

Κάθε τονικότητα προετοιμάζεται με το χαρακτηριστικό II-V της, πριν από την λύση στο I. Η τελική ανάλυση του συγκεκριμένου τμήματος, αλλά και ολόκληρου του κομματιού, είναι διαθέσιμη από το σχήμα 0.3.6.

Περίπτωση 4: "Recordame"

Στην τελευταία περίπτωση ανάλυσης, θα εξετάσουμε την ανάλυση του τραγουδιού "Recordame" 0.3.7, του συνθέτη Joe Henderson.

Ξεκινώντας την ανάλυσή μας, το πρώτο πράγμα που παρατηρούμε όταν κοιτάμε τον οδηγό του κομματιού, είναι ότι τα πρώτα τέσσερα μέτρα χρησιμοποιούν μόνο μία συγχορδία, τη Am. Είναι ασφαλές να ξεκινήσουμε θεωρώντας τη Λα ελάσσονα ως τονικότητα του κομματιού, επομένως παρέχουμε τα διατονικά σετ συγχορδιών της τονικότητας:

Λα μείζονα: Amaj7 - Bm7 - C#m7 - Dmaj7 - E7 - F#m7 - G#m7(b5)

Λα φυσική ελάσσονα: Am7 - Bm7(b5) - Cmaj7 - Dm7 - Em7 - Fmaj7 - G7

Λα αρμονική ελάσσονα: Am(maj7) - Bm7(b5) - Cmaj7(#5) - Dm7 - Em7 - Fmaj7 - G#dim7

Λα μελωδική ελάσσονα: Am(maj7) - Bm7 - Cmaj7(#5) - D7 - Em7 - F#m7(b5) - G#7(b5)

Συνεχίζοντας στα μέτρα πέντε ως εφτά, έχουμε τη συγχορδία Cm. Στη λα ελάσσονα, αυτό θα αναλυόταν ως το bIII-7, το οποίο είναι μη διατονικός δανεισμός από τον Λα λόκριο τρόπο 0.2.3. Αλλά λόγω του ότι η συγχορδία διατηρείται για αρκετό χρονικό διάστημα, ακούγοντας το κομμάτι αντιλαμβανόμαστε αυτή τη Cm σαν νέα τονική. Αυτή η αλλαγή ενισχύεται και από την επανάληψη της μελωδίας των πρώτων μέτρων, προσαρμοσμένης αυτή τη φορά στην Ντο ελάσσονα ως το τονικό της κέντρο. Έτσι, έχουμε τα τέσσερα πρώτα μέτρα του κομματιού σε Λα ελάσσονα και τα επόμενα τρία σε Ντο ελάσσονα.

Σε αυτό το σημείο, συναντάμε μια σειρά από εναλλαγές συγχορδιών, αρκετά παρόμοιων με αυτές του προηγούμενου παραδείγματός 0.3.6. Συγκεκριμένα, ανάμεσα στα μέτρα 8 και 15, έχουμε μια σειρά από maj7 συγχορδίες που εμφανίζονται κάθε 2 μέτρα. Βλέπουμε πως οι συγχορδίες κατεβαίνουν κατά διάστημα τόνου κάθε δύο μέτρα, εκτός από την τελευταία αλλαγή (Gbmaj7, Fmaj7), η οποία είναι διάστημα ημιτονίου. Αυτό που προκύπτει από το γενικότερο αρμονικό περιβάλλον είναι πως έχουμε μια καθοδική αλληλουχία σύντομων μετατροπιών μέσω, και πάλι, διαδοχικών πτώσεων II-V-I. Στο μέτρο 8 έχουμε το II και το V της Bbmaj7 (Cm και F7), προετοιμάζοντας την άφιξή μας στην τονικότητα Σι ύφεση μείζονα στο μέτρο 9. Στο μέτρο 10 κατεβαίνουμε έναν τόνο από τη Σι ύφεση μείζονα, στη Λα ύφεση μείζονα, μέσω των δικών της II και V (Bbm7 και Eb7). Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, αφού πρώτα κάνουμε άλλη μια μετατροπία, αυτή τη φορά στη Σολ ύφεση μείζονα, φτάνουμε στην τελευταία τονικότητα αυτής της αλληλουχίας, τη Φα μείζονα στο μέτρο 15. Όπως μπορούμε να κρίνουμε από αυτά τα 2 παραδείγματα, τέτοιες, κατιούσες η ανιούσες, αρμονικές κινήσεις μεταξύ διαφόρων τονικών κέντρων είναι πολύ συνηθισμένες στο είδος που εξετάζουμε. Η ανάλυση αυτής της αρμονικής πληροφορίας με τον τρόπο αντίστοιχο ενός ανθρωπίνου ακροατή, μπορεί να αποτελέσει σημαντική πρόκληση για έναν αλγόριθμο. Γι' αυτό το λόγο η παροχή ενός συνόλου δεδομένων που στηρίζεται στην εμπειρική ανθρώπινη κατανόηση των αρμονικών κινήσεων είναι εξαιρετικά σημαντική.

Ολοκληρώνοντας την ανάλυση του κομματιού, στα 2 τελευταία μέτρα επιστρέφουμε στην τονικότητα της Λα ελάσσονας, προετοιμάζοντας αρχικά την μετατροπία με την πέμπτη (E7#9), και λύνοντας τη στην πρώτη της αρχικής τονικότητας, τη συγχορδία Am. Στην εικόνα 0.3.8 βλέπουμε την τελική ανάλυση και τα τονικά κέντρα του τραγουδιού "Recordame". Με ανοιχτό πράσινο σημειώνεται η Λα ελάσσονα τονικότητα, με κόκκινο η Ντο

Have you met miss Jones

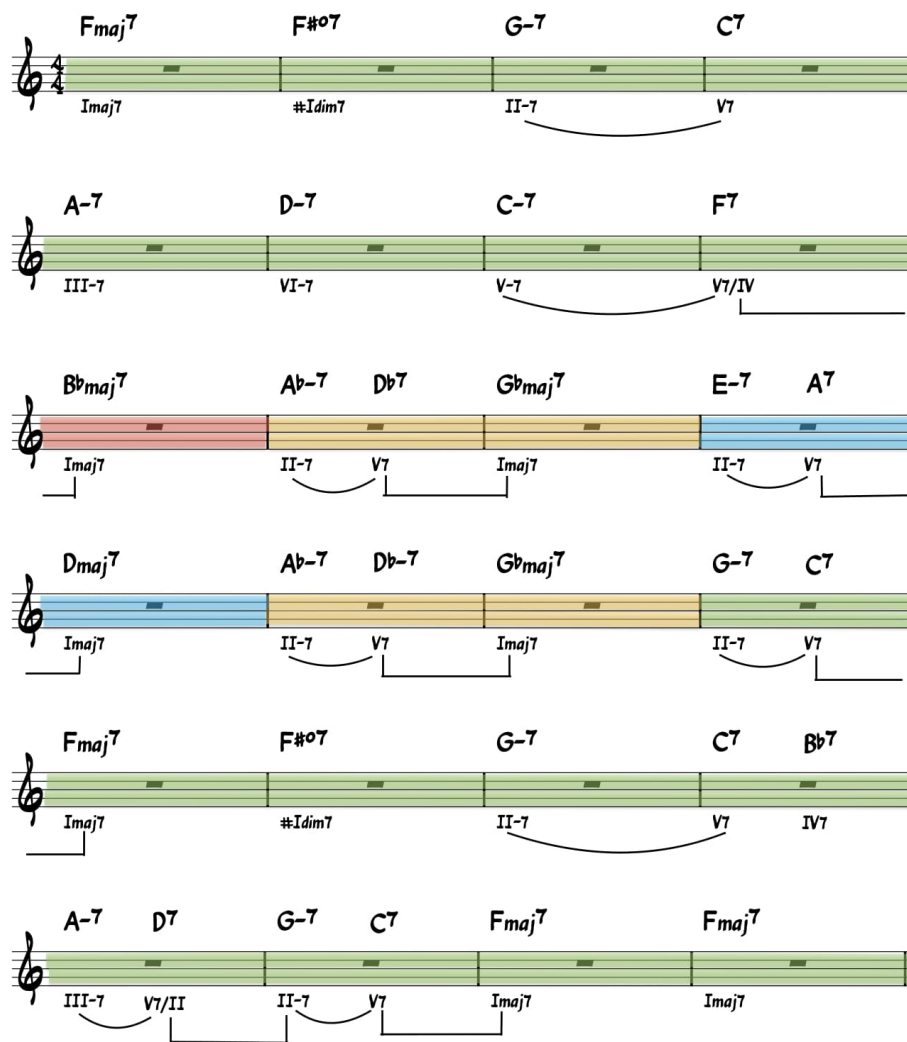


Figure 0.3.6: Have you met miss Jones tonic centers

Recordame

The musical score for "Recordame" is written in 4/4 time and consists of five systems of chords. Each system shows a sequence of chords on a single staff, with their corresponding Roman numeral notation written below. The chords are represented by horizontal lines on the staff, indicating their pitch and duration.

- System 1:** Four measures, each containing an A- chord. Roman numerals: I m, I m, I m, I m.
- System 2:** Five measures. The first four measures contain C- chords, and the fifth measure contains an F7 chord. Roman numerals: I m, I m, I m, II m, V7.
- System 3:** Five measures. The first measure contains a Bbmaj7 chord, the second and third measures contain Bb-7 and Eb7 chords, the fourth measure contains an Abmaj7 chord, and the fifth measure contains an Ab-7 chord. Roman numerals: Imaj7, II m7, V7, Imaj7, II m7.
- System 4:** Five measures. The first measure contains a Gbmaj7 chord, the second and third measures contain G-7 and C7 chords, the fourth measure contains an Fmaj7 chord, and the fifth measure contains an E7#9 chord. Roman numerals: Imaj7, II m7, V7, Imaj7, V7#9.
- System 5:** One measure containing an A- chord. Roman numeral: I m.

Figure 0.3.7: Οδηγός για το κομμάτι "Recordame"

Recordame

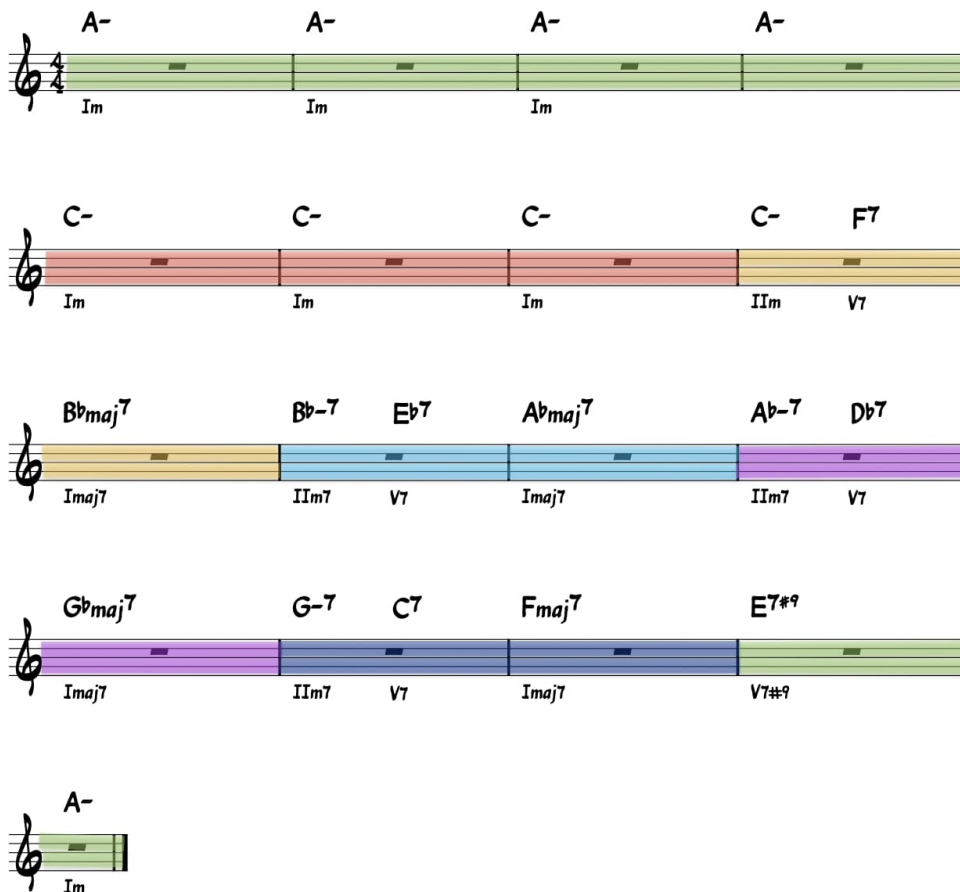


Figure 0.3.8: "Recordame": Τονικά κέντρα

ελάχιστο και με κίτρινο, γαλάζιο, μωβ και σκούρο μπλε αντίστοιχα, σημειώνονται οι Σι ύφεση μείζονα, Λα ύφεση μείζονα, Σολ ύφεση μείζονα και Φα μείζονα.

Έχουμε πλέον συναντήσει όλες τις έννοιες που περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Έχουμε επίσης παρουσιάσει κάποιες χαρακτηριστικές περιπτώσεις της διαδικασίας ανάλυσης στην οποία θέσαμε τα κομμάτια του συνόλου δεδομένων μας. Πρωτού περάσουμε στο στάδιο των δοκιμών του συνόλου δεδομένων, θα παρουσιάσουμε μια εναλλακτική θεμελίωση του ίδιου συνόλου κανόνων, αυτή τη φορά μέσω οντολογίας.

0.4 Η οντολογία

Στα προηγούμενα κεφάλαια εξετάσαμε ορισμένες από τις τεχνολογίες που μας βοήθησαν να προσεγγίσουμε την αρμονική ανάλυση μέσω μίας μουσικής οντολογίας. Επιπλέον, παρουσιάσαμε το σύνολο των αρμονικών κανόνων στους οποίους βασίζεται η ανάλυση των κομματιών που περιλαμβάνονται στο σύνολο δεδομένων μας. Συνεχίσαμε παρέχοντας μερικές χαρακτηριστικές περιπτώσεις ανάλυσης, δείχνοντας την πρακτική εφαρμογή αυ-

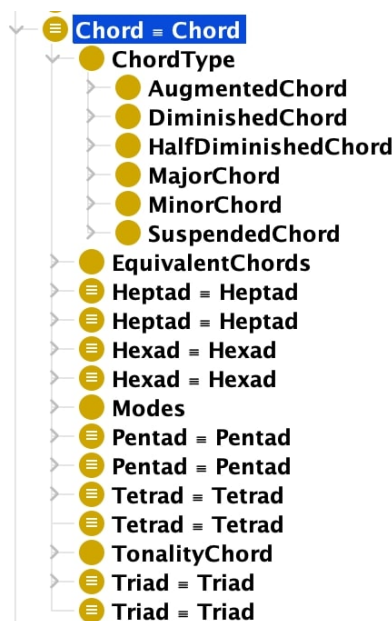


Figure 0.4.1: Η κλάση "Chord" στη Functional Harmony Ontology

τού του θεωρητικού υποβάθρου. Σε αυτό το κεφάλαιο θα προχωρήσουμε στην μεταφορά του υποβάθρου αυτού, σε μορφή εκφράσεων περιγραφικής λογικής. Θα χρησιμοποιήσουμε αυτές τις εκφράσεις για να εμπλουτίσουμε την οντολογία *Functional Harmony Ontology* [12], μια οντολογία περιγραφής αρμονικού περιεχομένου.

Θα ξεκινήσουμε με μια αναλυτική επισκόπηση της εν λόγω οντολογίας, όπου θα εξετάσουμε τη δομή της, καθώς και μερικά από τα κύρια στοιχεία της αρμονίας που περιγράφει.

0.4.1 Functional Harmony Ontology

Η *Functional Harmony Ontology* είναι μια μουσική οντολογία που προσφέρει μια περιγραφή της σύγχρονης αρμονίας, μέσω της ανάλυσης ακολουθιών συγχορδιών με χρήση λογικής. Η περιγραφή αυτή γίνεται με την υιοθέτηση του προφίλ OWL2 RL [10]. Αυτό που θα κάνουμε, είναι να εξετάσουμε τις περιγραφές των διαφόρων αρμονικών στοιχείων στην οντολογία και να δούμε πώς αυτές σχετίζονται με την δική μας προσέγγιση.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα που προσφέρει η οντολογία, είναι ο τρόπος με τον οποίο περιγράφει τις συγχορδίες μέσω της κλάσης *ChordType* 0.4.2. Η κλάση *ChordType* έχει μία υποκλάση για κάθε έναν από τους έξι βασικούς τύπους συγχορδιών: μείζονα, ελάσσονα, ντιμινουίτα, ελαττωμένη μεθ'εβδόμης, αυξημένη και suspended. Οι υποκλάσεις κάθε ενός από τους έξι τύπους συγχορδιών, είναι όλες οι συγχορδίες αυτού του τύπου, που εμφανίζονται στην αρμονία, εκφρασμένες μέσω του τρόπου που αντιστοιχεί στη βαθμίδα τους. Για παράδειγμα, στον μείζονα τύπο συγχορδίας, για τη συγχορδία Cmaj7, έχουμε τις βαθμίδες όλων των κλιμάκων των τρόπων στους οποίους συμμετέχει η συγχορδία Cmaj7. Αυτό, εκτός από την προφανή πρώτη του Ντο Ιωνικού (ή της Ντο μείζονας), περιλαμβάνει πολλές άλλες, όπως την τέταρτη του Σολ Ιωνικού ή την πρώτη του Ντο Λύδιου. Αυτό προσφέρει μεγάλη ευελιξία στην αρμονική ανάλυση, καθώς επιτρέπει την ανάλυση συγχορδιών που προκύπτουν από μη διατονικό δανεισμό. Επιπλέον, η αναφορά σε συγχορδίες μέσω της βαθμίδας τους, καθιστά εύκολο τον σωστό χαρακτηρισμό της λειτουργίας τους. Αυτό αναδεικνύεται ακόμη καλύτερα με τη χρήση της κλάσης *chord function*.



Figure 0.4.2: Μέρος της κλάσης Major ChordType στη Functional Harmony Ontology

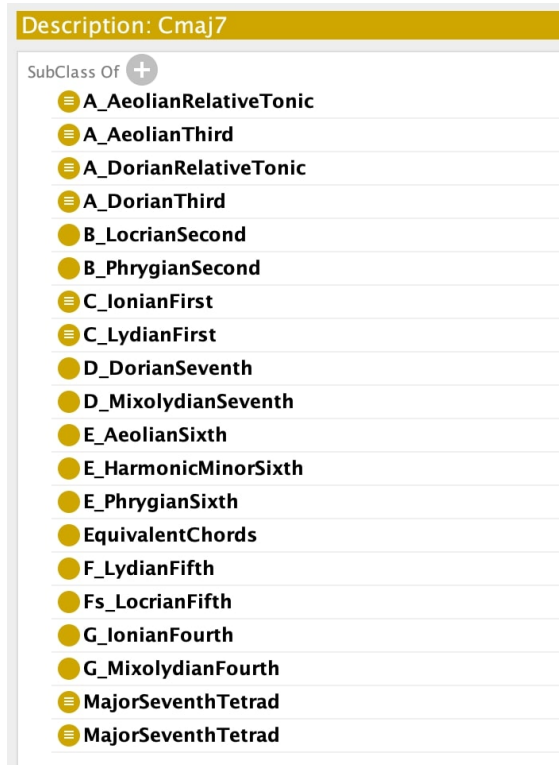


Figure 0.4.3: Όλες οι περιπτώσεις εμφάνισης της συγχορδίας Cmaj7 στη Functional Harmony Ontology

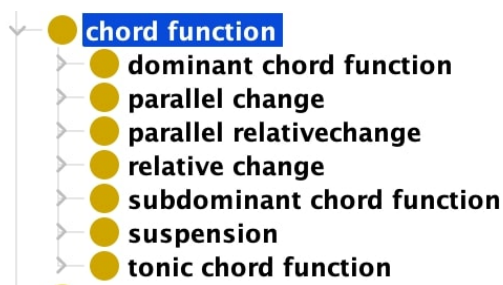


Figure 0.4.4: Η κλάση chord functions

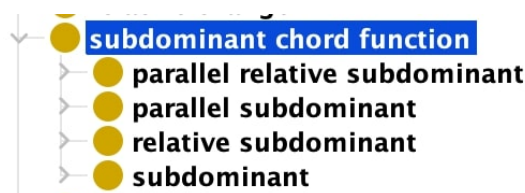


Figure 0.4.5: Η κλάση subdominant chord function

Όπως είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, ένα από τα κύρια μέρη της αρμονικής ανάλυσης είναι ο χαρακτηρισμός των συγχορδιών με βάση τη λειτουργία τους. Είδαμε μερικές από τις λειτουργίες που μπορεί να έχει μια συγχορδία με βάση την ποιότητά της και το αρμονικό πλαίσιο γύρω της. Στην περίπτωση της οντολογίας που εξετάζουμε, η έννοια αυτή περιγράφεται μέσω της κλάσης *chord function*. Οι υποκλάσεις της οι οποίες είναι διάφορες αρμονικές λειτουργίες που μπορεί να έχει μια συγχορδία. Μπορούμε να δούμε την κλάση *chord function* και τις υποκλάσεις της στο σχήμα 0.4.4. Βλέπουμε ότι καλύπτεται ένα μεγάλο μέρος του αρμονικού υποβάθρου του κεφαλαίου 0.8.2. Έχουμε τις κλάσεις *parallel*, *relative* και *parallel relative change*, οι οποίες καλύπτουν τις περιπτώσεις διατονικού και μη διατονικού δανεισμού. Έχουμε την κλάση *subdominant chord function* 0.4.5, η οποία αφορά συγχορδίες που χρησιμοποιούνται ως τέταρτη (IV) ή, όπως στην πτώση II-V-I, ως δεύτερη (II) μιας ακολουθίας συγχορδιών. Η επέκτασή της, η *local subdominant chord function*, μαζί με την κλάση *local tonic*, καλύπτει επαρκώς έννοιες όπως το σχετικό II, ή οποιαδήποτε άλλη αλλαγή στο τονικό κέντρο, αρκετά μικρή ώστε να μην μπορεί να χαρακτηριστεί ως μετατροπία.

Η πιο κρίσιμη λειτουργία που συναντάμε τόσο στην ανάλυσή μας όσο και στις παραπάνω υποκλάσεις, είναι η δεσπόζουσα ή *dominant* λειτουργία. Όπως είδαμε και σε πρακτικό επίπεδο, αποτελεί ένα από τα βασικά δομικά στοιχεία της αρμονίας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλά διαφορετικά αρμονικά περιβάλλοντα. Στην περίπτωση της οντολογίας που εξετάζουμε, έχουμε την κλάση *dominant chord function* 0.4.6 η οποία στις υποκλάσεις της περιέχει σχεδόν όλους τους τύπου δεσπόζουσας συγχορδίας που μπορεί να συναντήσουμε. Οι δύο λειτουργίες που δεν εμφανίζονται σε αυτές τις υποκλάσεις, είναι η *Δευτερεύουσα Δεσπόζουσα* και η *Αντικατάσταση Δεσπόζουσας*. Έχουμε την κλάση *local dominant*, η οποία θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως ισοδύναμη για ορισμένες περιπτώσεις δευτερεύουσας ή αντικατάστασης δεσπόζουσας, αλλά δεν καλύπτει το σύνολο των περιπτώσεων. Επίσης, είναι σημαντικό να αντιμετωπίζουμε αυτούς τους δύο τύπους δεσπόζουσας συγχορδίας ως ξεχωριστές περιπτώσεις και να μπορούμε να τις αναγνωρίζουμε κατά την ανάλυση. Έτσι, αυτό που πρόκειται να κάνουμε στη συνέχεια, είναι να εξετάσουμε τι προσθήκες μπορούμε να κάνουμε σε αυτή την οντολογία, ώστε να την κάνουμε ακόμη πιο αναλυτική όσον αφορά το αρμονικό της λεξιλόγιο.

0.4.2 Προσθήκες και Αλλαγές

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε τις προσθήκες που μπορούν να γίνουν στην *Functional Harmony Ontology*, ώστε να το αρμονικό περιεχόμενο που αναπαριστά να γίνει ακόμη πληρέστερο. Για να το πετύχουμε αυτό, θα αντλήσουμε από το μουσικό υπόβαθρο του κεφαλαίου 0.2. Θα μεταφέρουμε τους κανόνες του κεφαλαίου αυτού σε μορφή περιγραφικής γλώσσας, ακολουθώντας τη δομή της παραπάνω οντολογίας.

Η πρώτη έννοια που θα υλοποιήσουμε είναι η *Δευτερεύουσα Δεσπόζουσα* συγχορδία, την οποία εξετάσαμε στο κεφάλαιο 0.12.1. Με βάση αυτό, ορίζουμε την κλάση *SecondaryDominant chord function* και τις υποκλάσεις



Figure 0.4.6: Η κλάση dominant chord function.

της, τη Δευτερεύουσα Δεσπόζουσα κάθε διαφορετικής τονικής.

Μαζί, ορίζουμε την κλάση *SecondaryFifth*, υποκλάση της κλάσης chord type, η οποία λειτουργεί ως ενδιάμεση κλάση, και βοηθά στη διατήρηση της υπάρχουσας δομής της οντολογίας.

```
1 class SecondaryDominant(onto.DominantChordFunction): pass
```

Listing 1: The Secondary Dominant chord function class.

```
1
2 class A_SecondaryDominant(onto.SecondaryDominant):
3     equivalent_to = [A_SecondaryFifth & (onto.hasNext.some(onto.A_ParallelTonic))]
4     is_a = [onto.hasTonality.some(onto.A_AeolianTonality), onto.hasTonality.some(onto.
5         A_DorianTonality), onto.hasTonality.some(onto.A_LocrianTonality), onto.hasTonality.some(
6         onto.A_LydianTonality), onto.hasTonality.some(onto.A_MixolydianTonality), onto.
7         hasTonality.some(onto.A_PhrygianTonality)]
```

Listing 2: The A secondary dominant class.

```
1 class A_SecondaryFifth(onto.MajorChord):
2     is_a = [onto.A_Aeolian, onto.A_Dorian, onto.A_Locrian, onto.A_Lydian, onto.A_Mixolydian,
3         onto.A_Phrygian]
4     is_a = [onto.hasTonality.some(onto.A_AeolianTonality), onto.hasTonality.some(onto.
5         C_IonianTonality), onto.hasTonality.some(onto.G_IonianTonality), onto.hasTonality.some(
6         onto.Bb_IonianTonality), onto.hasTonality.some(onto.E_IonianTonality), onto.hasTonality.
7         some(onto.D_IonianTonality), onto.hasTonality.some(onto.F_IonianTonality)]
```

Listing 3: The A Secondary Fifth chord type class.

```
1 onto.E.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)
2 onto.E11.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)
3 onto.E13.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)
4 onto.E7.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)
5 onto.E7sus2.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)
6 onto.E7sus4.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)
7 onto.E9.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)
8 onto.Esus2.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)
9 onto.Esus4.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)
```

Listing 4: The that can function as an A Secondary Fifth.

Το επόμενο αρμονικό στοιχείο που θα προσδιορίσουμε είναι η Αντικατάσταση Δεσπόζουσας [0.12.2](#). Με βάση τις περιγραφές μας στα προηγούμενα κεφάλαια, ορίζουμε τις ακόλουθες κλάσεις:

```
1 class SubstituteDominant(onto.DominantChordFunction): pass
```

Listing 5: The Substitute Dominant chord function class.

```
1 class A_SubstituteDominant(onto.SubstituteDominant):
2     equivalent_to = [A_SubstituteFifth & (onto.hasNext.some(onto.A_ParallelTonic))]
3     is_a = [onto.hasTonality.some(onto.A_AeolianTonality), onto.hasTonality.some(onto.
        A_DorianTonality), onto.hasTonality.some(onto.A_LocrianTonality), onto.hasTonality.some(
        onto.A_LydianTonality), onto.hasTonality.some(onto.A_MixolydianTonality), onto.
        hasTonality.some(onto.A_PhrygianTonality)]
```

Listing 6: The A substitute dominant chord function class.

```
1 class A_SubstituteFifth(onto.MajorChord):
2     is_a = [onto.A_Aeolian, onto.A_Dorian, onto.A_Locrian, onto.A_Lydian, onto.A_Mixolydian,
        onto.A_Phrygian]
3     is_a = [onto.hasTonality.some(onto.A_AeolianTonality), onto.hasTonality.some(onto.
        C_IonianTonality), onto.hasTonality.some(onto.G_IonianTonality), onto.hasTonality.some(
        onto.Bb_IonianTonality), onto.hasTonality.some(onto.E_IonianTonality), onto.hasTonality.
        some(onto.D_IonianTonality), onto.hasTonality.some(onto.F_IonianTonality)]
```

Listing 7: The A Substitute Fifth chord type class.

```
1 onto.Bb.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)
2 onto.Bb11.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)
3 onto.Bb13.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)
4 onto.Bb7.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)
5 onto.Bb7sus2.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)
6 onto.Bb7sus4.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)
7 onto.Bb9.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)
8 onto.Bbsus2.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)
9 onto.Bbsus4.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)
```

Listing 8: The that can function as an A Substitute Fifth.

Η τελευταία προσθήκη που θα κάνουμε στην οντολογία είναι οι *Μη-Διατονικές Ντιμινουίτες* (0.12.4). Προς το παρόν, στην Functional Harmony Ontology αναφέρεται μόνο η μοναδική διατονική ντιμινουίτα που βρίσκουμε στην αρμονία. Αυτή βρίσκεται στην έβδομη βαθμίδα της αρμονικής ελάσσονας κλίμακας. Μπορούμε να δούμε πώς η συγχορδία αυτή περιγράφεται στην οντολογία στο σχήμα 0.4.7.

Για να συμπεριλάβουμε τις μη διατονικές ντιμινουίτες συγχορδίες για κάθε τονικότητα, ακολουθούμε παρόμοια διαδικασία με προηγουμένως. Πρώτα δημιουργούμε τον αντίστοιχο τύπο συγχορδίας (chord type), *NonDiatonicDiminishedChord*:

```
1 with onto:
2     class NonDiatonicDiminished(onto.DiminishedChord): pass
```

Listing 9: The Non-Diatonic Diminished chord class.

Στη συνέχεια, ορίζουμε μια υποκλάση μη διατονικής ντιμινουίτας για κάθε τονική, επισημαίνοντας τις τονικότητες στις οποίες συμμετέχει. Για παράδειγμα, για τις μη διατονικές ντιμινουίτες συγχορδίες που συμμετέχουν στις τονικότητες της Λα, έχουμε:

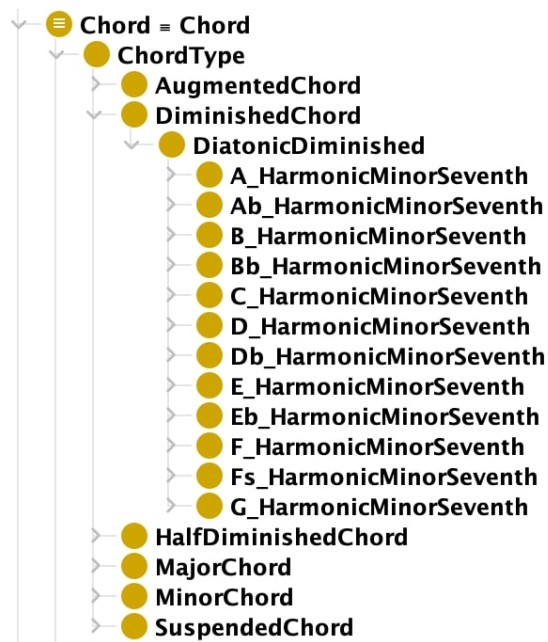


Figure 0.4.7: Diminished chords as presented in the functional harmony ontology.

```

1 class A_NonDiatonicDiminished(onto.NonDiatonicDiminished):
2     subclass_of = [hasTonality.some(A_AeolianTonality) &
3                   hasTonality.some(A_DorianTonality) &
4                   hasTonality.some(A_HarmonicMinorTonality) &
5                   hasTonality.some(A_IonianTonality) &
6                   hasTonality.some(A_LocrianTonality) &
7                   hasTonality.some(A_LydianTonality) &
8                   hasTonality.some(A_MixolydianTonality) &
9                   hasTonality.some(A_PhrygianTonality)]

```

Listing 10: The A_NonDiatonicDiminished chord type class and its tonalities.

Τέλος, χαρακτηρίζουμε τις συγχορδίες που ανήκουν στη λίστα 0.12.4 για την κάθε τονικότητα, ως μη διατονικές ντιμινουίτες της.

```

1 with onto:
2     Adimb7.is_a.append(A_NonDiatonicDiminished)
3
4     Asdimb7.is_a.append(A_NonDiatonicDiminished)
5
6     Bsdimb7.is_a.append(A_NonDiatonicDiminished)
7
8     Cdimb7.is_a.append(A_NonDiatonicDiminished)
9
10    Dsdimb7.is_a.append(A_NonDiatonicDiminished)
11
12    Edimb7.is_a.append(A_NonDiatonicDiminished)
13
14    Esdimb7.is_a.append(A_NonDiatonicDiminished)
15

```

```
16 Fdimb7.is_a.append(A_NonDiatonicDiminished)
```

Listing 11: The non-diatonic diminished chords for the keys of A.

Έτσι ολοκληρώνονται οι προσθήκες που πραγματοποιήσαμε στην Functional Harmony Ontology. Στο επόμενο κεφάλαιο θα δούμε πώς χρησιμοποιήσαμε την παραπάνω ενημερωμένη οντολογία, για να αναλύσουμε και να ανιχνεύσουμε την τονικότητα κομματιών του συνόλου δεδομένων μας.

0.4.3 Ανάλυση με χρήση οντολογίας

Σε αυτό το σημείο θα εξετάσουμε τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να αναλύσουμε ένα κομμάτι ως προς την τονικότητά του, κάνοντας χρήση της παραπάνω εκδοχής της οντολογίας. Για να το κάνουμε αυτό, θα δημιουργήσουμε μια βάση δεδομένων σε μορφή σημασιολογικού γράφου, από την οποία θα αντλήσουμε δεδομένα χρησιμοποιώντας SPARQL queries.

Αρχικά, πρέπει να μετατρέψουμε τους οδηγούς των κομματιών προς ανάλυση σε μορφή OWL. Αυτό μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τις ιδιότητες hasNext, και hasPrevious με τον ακόλουθο τρόπο:

```
1 <rdf:Description rdf:about="file://onto.owl#chord_02_Ebmaj7">
2   <rdf:type rdf:resource="file://onto.owl#Ebmaj7"/>
3   <ns1:hasPrevious rdf:resource="file://onto.owl#chord_01_Cm7"/>
4   <ns1:hasNext rdf:resource="file://onto.owl#chord_03_Dm7b5"/>
5 </rdf:Description>
```

Listing 12: Description for the Ebmaj7 chord of a Cm7-Ebmaj7-Dm7b5 chord progression using OWL

Η διαδικασία που θα ακολουθήσουμε είναι η εξής. Για κάθε συγχορδία του τραγουδιού, θα ανακτήσουμε όλες τις τονικότητες στις οποίες μπορεί να λαμβάνει μέρος. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να ταξινομήσουμε κάθε συγχορδία ανάλογα με το αν συμμετέχει σε μια συγκεκριμένη τονικότητα ή όχι. Εισάγοντας ένα επιπλέον επίπεδο ταξινόμησης, θα επισημάνουμε τις συγχορδίες που λαμβάνουν μέρος σε κάποια μείζονα ή ελάσσονα τονικότητα, δηλαδή αυτές που υπάρχουν στο σύνολο συγχορδιών είτε του Ιονικού είτε σε ένα από τα σύνολα συγχορδιών του Αιολικού, της Αρμονικής ή της Μελωδικής Ελάσσονας. Ο στόχος είναι η ανάλυση να είναι όχι μόνο η ακριβέστερη αλλά και η απλούστερη δυνατή, δίνοντας προτεραιότητα στα θεμελιώδη σύνολα συγχορδιών που χαρακτηρίζουν μια τονικότητα.

Για την ανάλυση μας θα χρησιμοποιήσουμε δύο από τα τέσσερα κομμάτια που αναλύσαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στόχος είναι να παρουσιάσουμε δύο διαφορετικές περιπτώσεις. Πρώτα θα έχουμε την περίπτωση του κομματιού *There will never be another you*[0.14.2](#), το οποίο διατηρεί την αρχική του τονικότητα καθ' όλη τη διάρκεια του. Δεύτερον, θα εξετάσουμε την περίπτωση του κομματιού *Triste*[0.14.4](#), του οποίου τονικότητα αλλάζει για ένα μικρό αριθμό μέτρων.

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων, θα υπολογίσουμε τα ακόλουθα στατιστικά για κάθε τονικότητα. Η *Βαθμολογία Τονικότητας* αναφέρεται στο συνολικό αριθμό των συγχορδιών του κομματιού που μπορούν να αναλυθούν ως μέρος οποιουδήποτε εκ των συνόλων συγχορδιών της συγκεκριμένης τονικότητας. Η *Διατονική Βαθμολογία* αναφέρεται μόνο στις συγχορδίες που είναι διατονικές στη συγκεκριμένη τονικότητα, δηλαδή σε αυτές των συνόλων συγχορδιών της μείζονας και της ελάσσονας. Ομοίως, η *Μείζονα Βαθμολογία*, θα περιλαμβάνει μόνο τις συγχορδίες που συμμετέχουν στον μείζονα τρόπο, ενώ η *Ελάσσονα Βαθμολογία* θα περιλαμβάνει μόνο τις συγχορδίες που συμμετέχουν στον ελάσσονα τρόπο. Τέλος, θα συνδυάσουμε αυτές τις μετρικές σε μια συνολική βαθμολογία, η οποία θα είναι ένας σταθμισμένος μέσος όρος, ευνοώντας ελαφρώς τις τονικότητες

με καλύτερη Διατονική βαθμολογία έναντι Βαθμολογίας Τονικότητας, για τους λόγους που αναφέραμε προηγουμένως. Ο τύπος της συνολικής βαθμολογίας είναι ο εξής:

$$\text{OverallScore} = 0.8 * \text{TonalityScore} + 1.1 * \text{DiatonicScore} + \max(\text{MajorScore}, \text{MinorScore})$$

Περίπτωση 1: There will never be another you

Το συγκεκριμένο κομμάτι βρίσκεται σε Μι ύφεση μείζονα και αποτελείται από συνολικά 39 συγχορδίες. Οι τονικότητες με τις τέσσερις καλύτερες συνολικές βαθμολογίες είναι οι ακόλουθες:

Table 1: There will never be another you ανάλυση μέσω οντολογίας

	Μείζονα	Ελάσσονα	Διατονική β.	Β. Τονικότητας	Σύνολο
Μι ύφεση μείζονα	74.36	26.21	94.87	94.87	84.87
Ντο ελάσσονα	35.9	76.92	89.74	94.87	83.85
Σι ύφεση μείζονα	69.23	35.9	79.49	94.87	77.52
Φα μείζονα	38.46	58.97	74.36	94.87	72.22

Όπως βλέπουμε, η Μι ύφεση μείζονα εντοπίζεται σωστά ως η πιθανότερη τονικότητα για το κομμάτι. Συγκρίνοντας τις βαθμολογίες της με αυτές των άλλων τονικοτήτων, βλέπουμε πως η Διατονική βαθμολογία αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα. Αυτό επιβεβαιώνει την επιδίωξη του η ανάλυση να είναι όσο το δυνατόν πιο απλή, προκειμένου η πρόβλεψη να είναι όσο το δυνατόν ακριβής. Παρά το γεγονός ότι και οι τέσσερις τονικότητες έχουν την ίδια Βαθμολογία Τονικότητας, το γεγονός ότι στην περίπτωση της Μι ύφεση μείζονας, υπάρχει πολύ μεγαλύτερη χρήση διατονικών συγχορδιών, την καθιστά τελικά το κλειδί που περιγράφει καλύτερα την αρμονία του κομματιού.

Ένα μέρος των αποτελεσμάτων που προκαλεί ενδιαφέρον, είναι το γεγονός ότι οι δύο υψηλότερες συνολικές βαθμολογίες είναι αρκετά κοντινές. Ωστόσο, αυτό είναι αναμενόμενο, λόγω του ότι οι αντίστοιχες τονικότητες είναι σχετικές μεταξύ τους. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, η σχετική ελάσσονα μιας μείζονας τονικότητας ξεκινά από την έκτη της βαθμίδα, είναι δηλαδή ισοδύναμη με τον Αιολικό τρόπο. Στην περίπτωση αυτή, τα διατονικά σύνολα συγχορδιών της Ντο ελάσσονας είναι, τα σύνολα συγχορδιών του Ντο Αιολικού, της Ντο Αρμονικής ελάσσονας, της Ντο Μελωδικής ελάσσονας και της Ντο μείζονας. Μεταξύ αυτών των τεσσάρων, υπάρχουν τρία σύνολα συγχορδιών που ταυτίζονται ή είναι παρόμοια με τα σύνολα συγχορδιών της Μι ύφεση μείζονας. Αυτά είναι, το σύνολο συγχορδιών του Ντο Αιολικού, που ταυτίζεται με τον Μι ύφεση Ιονικό ξεκινώντας από την έκτη βαθμίδα, και τα σύνολα συγχορδιών της Αρμονικής και Μελωδικής ελάσσονας, που διαφέρουν από το σύνολο του Μι ύφεση Ιονικού κατά μία και δύο συγχορδίες αντίστοιχα. Είναι φανερό πως οι δύο αυτές τονικότητες έχουν έναν σημαντικό αριθμό κοινών συγχορδιών. Αυτές οι συγχορδίες θεωρούνται διατονικές και στις δύο τονικότητες, αλλά βρίσκονται σε διαφορετικές βαθμίδες, επομένως η λειτουργία τους διαφέρει ανά περίπτωση. Παρατηρώντας τις δύο πρώτες συγχορδίες του κομματιού, διαπιστώνουμε πως στην περίπτωση της Μι ύφεση μείζονας αναλύονται ως Ima₇, ενώ στην περίπτωση της Ντο ελάσσονας ως το bIIIma₇. Αυτό το μοτίβο επαναλαμβάνεται αρκετά κατά τη διάρκεια του κομματιού. Βέβαια, αυτό είναι κάτι που η διαδικασία που ακολουθούμε αγνοεί, και θα έπρεπε να αγνοεί, καθώς δεν είναι απαραίτητο πως ένα κομμάτι θα ξεκινά πάντα με τη συγχορδία της πρώτης βαθμίδας. Λαμβάνουμε όμως μια ιδέα για το τι μπορεί να καθιστά μια συγχορδία κρίσιμη για μια τονικότητα, μια έννοια που θα αναδειχθεί ακόμη περισσότερο στην επόμενη περίπτωση.

Case 2: Triste

Το συγκεκριμένο κομμάτι βρίσκεται κυρίως σε Σι ύφεση μείζονα τονικότητα. Στα μέτρα 13-15 υπάρχει μία σύντομη μετατροπή στη Ρε μείζονα. Για αρχή, θα υπολογίσουμε τις παραπάνω μετρικές για το σύνολο των συγχορδιών του κομματιού. Οι τέσσερις υψηλότερες βαθμολογίες που προκύπτουν από το σύνολο των 39 συγχορδιών, είναι οι εξής:

Table 2: Triste ανάλυση μέσω οντολογίας

	Μείζονα	Ελάσσονα	Διατονική β.	Β. Τονικότητας	Σύνολο
Σι ύφεση μείζονα	74.36	38.46	89.74	94.87	82.99
Φα μείζονα	71.79	53.85	89.74	97.44	82.82
Ντο μείζονα	69.23	48.72	87.18	97.44	81.03
Σολ Ελάσσονα	48.72	58.97	84.62	97.44	76.67

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα, βλέπουμε πως η κύρια τονικότητα του κομματιού, δηλαδή η Σι ύφεση μείζονα, είναι και αυτή που λαμβάνει την καλύτερη συνολική βαθμολογία, παρά το ότι συγκεντρώνει ελαφρώς χειρότερη Βαθμολογία Τονικότητας από τις υπόλοιπες. Η συνολική βαθμολογία φαίνεται να μην επηρεάζεται ιδιαίτερα από την αλλαγή τονικότητας, δεδομένης της μικρής διάρκειάς της. Αυτό, αν και αναμενόμενο, σημαίνει πως δεν υπάρχει κάποια ένδειξη για αλλαγή τονικότητας που να προκύπτει από τα στατιστικά αποτελέσματα, γεγονός που εγείρει το ερώτημα του πώς θα μπορούσε κάτι τέτοιο να επιτευχθεί.

Ταυτόχρονα, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, παρατηρούμε πως οι τρεις υψηλότερες βαθμολογίες εξακολουθούν να έχουν μικρή διαφορά μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, εκτός της Σι Μείζονας, έχουμε και τις τονικότητες Φα Μείζονα και Ντο Μείζονα, οι οποίες επίσης φαίνεται να προσεγγίζουν αρκετά την τονικότητα του κομματιού. Ο κύριος λόγος, είναι πως οι συγκεκριμένες τονικότητες έχουν παρόμοιο οπλισμό με την Σι ύφεση μείζονα, δηλαδή χρησιμοποιούν παρόμοιες υφέσεις ή διέσεις. Για παράδειγμα, η Σι ύφεση μείζονα (Bb, Eb) απέχει μόλις μια ύφεση από την Φα μείζονα (Bb). Αντίστοιχα, η Σι ύφεση μείζονα απέχει δύο υφέσεις από την Ντο μείζονα, η οποία δεν έχει καμία ύφεση. Η ύπαρξη της Σολ ελάσσονας στις τέσσερις υψηλότερες συνολικές βαθμολογίες είναι ενθαρρυντική, δεδομένου ότι πρόκειται για τη σχετική ελάσσονα της Σι ύφεση μείζονας. Σε μια προσπάθεια να κατανοήσουμε καλύτερα την ακρίβεια της ανάλυσής μας, θα εξετάσουμε ξεχωριστά τα δύο μέρη του τραγουδιού με διαφορετικές τονικότητες.

Πρώτα θα εξετάσουμε στο σύνολο των 34 συγχορδιών που βρίσκονται σε Σι μείζονα:

Table 3: Triste ανάλυση με οντολογία (Περιοχή Σι ύφεση)

	Μείζονα	Ελάσσονα	Διατονική β.	Β. Τονικότητας	Σύνολο
Σι ύφεση μείζονα	76.47	44.12	94.12	100	86.67
Φα μείζονα	73.53	58.82	94.12	100	85.69
Ντο μείζονα	67.65	50	88.24	100	81.57
Σολ Ελάσσονα	47.06	64.71	85.29	97.06	78.73

Παρατηρούμε πως οι τέσσερις υψηλότερες βαθμολογίες ανήκουν στις ίδιες τονικότητες με προηγουμένως, μόνο που τώρα υπάρχει ένας ελαφρώς μεγαλύτερος διαχωρισμός. Αν και πρόκειται για ενθαρρυντική ένδειξη, αξίζει να προσπαθήσουμε να ερμηνεύσουμε το γιατί η διαφορά μεταξύ των ίδιων τονικοτήτων εξακολουθεί να είναι

μικρή. Προηγουμένως, αναφερθήκαμε στο τι σημαίνει μια συγχορδία να είναι *κρίσιμη*, δηλαδή στο ότι ορισμένες διατονικές συγχορδίες, λόγω της βαθμίδας τους, μπορεί να έχουν μεγαλύτερη βαρύτητα στον καθορισμό της τονικότητας ενός κομματιού. Στο συγκεκριμένο κομμάτι, έχουμε αρκετές συγχορδίες που θα μπορούσαν να αναλυθούν σε οποιαδήποτε από τις τέσσερις αυτές τονικότητες. Αυτό που διαφοροποιεί τις αναλύσεις αυτές, είναι ο ρόλος που παίζει η κάθε συγχορδία σε κάθε τονικότητα. Για παράδειγμα, δεν θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε πως το κομμάτι είναι σε Φα μείζονα, παρά την υψηλή βαθμολογία που συγκεντρώνει η εν λόγω τονικότητα. Κάτι τέτοιο θα αγνοούσε το γεγονός ότι έχουμε συγχορδίες με μεγάλη αρμονική βαρύτητα στη Σι ύφεση μείζονα, όπως η τονική ή η πέμπτη, οι οποίες έχουν μικρότερη ισχύ στη Φα μείζονα. Η κατανόηση αυτής της έννοιας γίνεται ακόμη πιο επιτακτική όταν στοχεύουμε στον εντοπισμό αλλαγών τονικότητας εντός κάποιου κομματιού. Συνεχίζοντας, βλέπουμε τη συνολική βαθμολογία για την περιοχή του κομματιού που βρίσκεται σε Ρε μείζονα:

Table 4: Triste ανάλυση με οντολογία (Περιοχή Ρε μείζονα)

	Μείζονα	Ελάσσονα	Διατονική β.	Β. Τονικότητας	Σύνολο
Ρε Ελάσσονα	60	80	100	100	90
Ρε Μείζονα	60	80	100	100	83.33
Λα Ελάσσονα	40	60	100	100	83.33
Ντο Μείζονα	80	0	80	80	77.33

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα, αυτό που προκαλεί αρχικά έκπληξη είναι το γεγονός ότι αντί για τη Ρε μείζονα, η υψηλότερη συνολική βαθμολογία ανήκει στην τονικότητα της Ρε Ελάσσονας. Η Ρε μείζονα συγκεντρώνει την ίδια βαθμολογία με την Λα ελάσσονα, με τις δύο τονικότητες να είναι παρόμοιες όσον αφορά τον οπλισμό, καθώς απέχουν μόλις δύο διέσεις μεταξύ τους (F#, C#). Βέβαια, μιλάμε για ένα σύνολο πέντε συγχορδιών, επομένως το δείγμα είναι αρκετά μικρό. Στην πραγματικότητα, το ερώτημα είναι και πάλι, το ποιά είναι η λειτουργία που θα πρέπει να έχει κάθε μία από αυτές τις πέντε συγχορδίες, έτσι ώστε να εγκαθιδρύεται πλήρως η νέα τονικότητα. Η πρώτη συγχορδία της αλληλουχίας, πρόκειται για την τονική της Ρε μείζονας κλίμακας, τη Dmaj7. Αυτή είναι η συγχορδία που καθιερώνει για πρώτη φορά τη νέα τονικότητα, ενώ αυτό που ακολουθεί, είναι μια σειρά από διαδοχικές II-V-I πτώσεις που, εκτός των συμφραζόμενων, μπορούν σίγουρα να αναλυθούν σε οποιαδήποτε από τις τονικότητες που είδαμε παραπάνω παραπάνω. Εξάλλου, η αρμονική πολυπλοκότητα αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό ολόκληρου του συνόλου δεδομένων. Ωστόσο, η αρμονική βαρύτητα που έχει η συγχορδία Dmaj7 ως τονική, είναι αυτό που διατηρείται όσο συνεχίζεται η υπόλοιπη ακολουθία, και αυτή η ηχητική αντίληψη των αρμονικών κέντρων είναι αυτό που πρέπει να επιδιώξουμε να προσεγγίσουμε μελλοντικά. Προς το παρόν, θα δούμε αν, και πώς, κάποιες άλλες υπάρχουσες πρακτικές αντιμετωπίζουν το εν λόγω ζήτημα.

0.5 Μέθοδοι Αξιολόγησης

Οι μέθοδοι αξιολόγησης που χρησιμοποιήσαμε είναι σύμφωνες με τις τυπικές διαδικασίες αξιολόγησης που υποδεικνύει το MIREX, για τα κομμάτια που παραμένουν σε μία μοναδική τονικότητα. Για κάθε σχέση μεταξύ του ground truth και της εκτιμώμενης τονικότητας από την έξοδο του αλγορίθμου (ίδια, διάστημα πέμπτης, σχετική ή παράλληλη) ισχύουν διαφορετικοί συντελεστές βαρύτητας, οι οποίοι συνδυάζονται για τη δημιουργία ενός σταθμισμένου μέσου όρου, που αποτελεί την τελική βαθμολογία του εκτιμητή.

Για τα κομμάτια που δεν παραμένουν σε μία μοναδική τονικότητα έχουμε δύο περιπτώσεις. Για τα εργαλεία που δεν διαθέτουν λειτουργικότητα τοπικής τονικότητας, ακολουθούμε τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω,

κρίνοντας τα με βάση την ικανότητά τους να εντοπίζουν τη πρώτη τονικότητα που εμφανίζεται στο κομμάτι. Αυτό, όπως θα δούμε, μπορεί να αποδειχθεί δύσκολη διαδικασία, δεδομένου ότι αυτή μπορεί να αλλάξει αρκετά νωρίς.

Στην περίπτωση εντοπισμού τοπικών τονικοτήτων που παρέχεται από το εργαλείο `justkeydding`, θα αξιολογήσουμε αν η έξοδος είναι αποδεκτή, συγκρίνοντας μεταξύ της εξόδου του αλγορίθμου και της αρμονικής ανάλυσης που έχουμε ήδη πραγματοποιήσει. Γενικά έχουμε κάποια ευελιξία ως προς το πόσο ακριβές περιμένουμε να είναι το σημείο αλλαγής τονικότητας. Έτσι, σε περιπτώσεις που η έξοδος εντοπίζει όλα τα τονικά κέντρα που εμφανίζονται στο κομμάτι, προσεγγιστικά κοντά στο σημείο που συμβαίνουν στην πραγματικότητα, αντιστοιχεί βάρος με τιμή 1. Αυτή η ευελιξία ισχύει επίσης για περιπτώσεις που κάποια άλλες τονικότητες, οι οποίες δεν υπάρχουν στην ανάλυσή μας, εμφανίζονται στο κομμάτι ως μεταβατικός αρμονικός θόρυβος, υπό την προϋπόθεση ότι αυτό συμβαίνει για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και δεν υπάρχει μεγάλος αριθμός τέτοιων τονικοτήτων. Εάν η ακρίβεια της πρόβλεψης ή η ποσότητα και η διάρκεια του θορύβου υπερβαίνει το αποδεκτό όριο (μεταξύ 1 ή 2 μέτρων, ανάλογα με τη διάρκεια του τραγουδιού), τότε εφαρμόζουμε βάρος με τιμή 0,5. Τέλος, εάν η έξοδος είναι τέτοια, που δεν παρέχει καμία χρήσιμη αρμονική πληροφορία συγκρίσιμη με τη δική μας αρμονική ανάλυση, λαμβάνει βάρος με τιμή 0.

0.5.1 Αποτελέσματα και συγκρίσεις

Σο παρακάτω κεφάλαιο θα διερευνήσουμε τα αποτελέσματα που παρήγαγαν οι αλγόριθμοι που αναφέρθηκαν προηγουμένως, έχοντας ως είσοδο το δικό μας σύνολο δεδομένων. Για κάθε αλγόριθμο, υπολογίζουμε πρώτα τη συνολική βαθμολογία MIREX και στη συνέχεια υπολογίζουμε ξεχωριστά τις βαθμολογίες για τραγούδια που παραμένουν σε μία μοναδική τονικότητα, και για τα τραγούδια που διέρχονται από πάνω από μία. Κάτω από αυτές τις τρεις βαθμολογίες, αναφέρουμε και τις βαθμολογίες που παρήγαγε ο εκάστοτε αλγόριθμος, με είσοδο τα τυπικά σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση του αλγορίθμου με βάση τις διαδικασίες του MIREX Audio Key Detection task. Για τους αλγόριθμους που προσφέρουν λειτουργία εντοπισμού τοπικών τονικοτήτων, θα παρέχουμε την αντίστοιχη βαθμολογία, σύμφωνα με τη λογική που περιγράφεται στην προηγούμενη παράγραφο.

justkeydding

Ο πρώτος αλγόριθμος που θα χρησιμοποιήσουμε για δοκιμές είναι ο αλγόριθμος `justkeydding` 0.1.2. Οι βαθμολογίες MIREX που επιτεύχθηκαν μέσω των πειραμάτων μας μπορούν να βρεθούν στον πίνακα 5. Με μια πρώτη ματιά, βλέπουμε ότι η συνολική βαθμολογία MIREX του αλγορίθμου που χρησιμοποιεί το δικό μας σύνολο δεδομένων είναι η χαμηλότερη μεταξύ όλων των εξετασθέντων συνόλων δεδομένων. Αυτό αποτελεί μια πρώτη ένδειξη ότι το δικό μας σύνολο αποτελεί πράγματι πρόκληση για τον αλγόριθμο σε σύγκριση με ορισμένες άλλες περιπτώσεις.

Table 5: MIREX scores για τον αλγόριθμο justkeydding

	Same	5th	Rel	Par	Other	Overall
Real book all	56.34	12.69	11.19	4.85	14.93	67.02
Real book singlekey	63.03	12.72	10.3	4.24	10.3	72.89
Real book multikey	45.63	12.62	12.62	5.83	22.33	57.45
MIREX2005Key	82.43	9.74	3.91	0.88	3.04	88.65
GiantStepsKey	59.6	8.44	10.43	4.8	16.73	67.91
Isophonics	68.05	8.51	7.82	5.29	10.35	75.7
RobbieWilliams	65.61	11.64	7.41	1.06	14.29	73.86
Billboard2012Key	69.86	10.96	6.16	6.16	6.84	78.42

Ξεκινάμε τις παρατηρήσεις μας συγκρίνοντας τις επιμέρους βαθμολογίες για τα υποσύνολα που αφορούν κομμάτια με μοναδική και πολλαπλές τονικότητες αντίστοιχα. Βλέπουμε πως υπάρχει μια, αναμενόμενη, βελτίωση στην απόδοση του αλγορίθμου, σε σχέση με την βαθμολογία για το συνολικό dataset. Παρ'όλ'αυτά, αυτή εξακολουθεί να είναι η δεύτερη χαμηλότερη ανάμεσα στα υπόλοιπα dataset. Εκεί που υπάρχει σημαντική πτώση στην απόδοση, είναι στη λειτουργία εντοπισμού και τοπικών τονικοτήτων. Για τα 102 κομμάτια που περιλαμβάνονται σε αυτό το υποσύνολο, έχουμε βαθμολογία που αποκλίνει κατά πολύ από την βαθμολογία για το πλήρες dataset. Ένας σημαντικός παράγοντας είναι ο πιθανώς μεγάλος αριθμός κομματιών με μετατροπία εντός των πρώτων 30 δευτερολέπτων τους, όπως εξηγήσαμε και προηγουμένως. Ένα άλλο ενδεχόμενο είναι η σχέση μεταξύ της τονικότητας που εντοπίζεται από τον αλγόριθμο και της πραγματικής, να μην είναι άμεση. Αυτό σημαίνει ότι θα μπορούσε να είναι κάποιος συνδυασμός των πρωτοβάθμιων σχέσεων που ήδη χρησιμοποιούμε για την ταξινόμηση, δηλαδή της γειτονικής (ή διάστημα 5ης), της σχετικής και της παράλληλης τονικότητας. Έτσι, σε μια προσπάθεια να διερευνήσουμε περεταίρω τα αποτελέσματα, θα προσδιορίσουμε τη σχέση που έχει η εκτιμώμενη με την πραγματική τονικότητα, για τις περιπτώσεις όπου η πρώτη ταξινομήθηκε στην κατηγορία "Άλλο". Η σχέση τους μπορεί να χαρακτηριστεί ως μία από τις παρακάτω:

Table 6: Κατηγορίες "άλλων" αρμονικών σχέσεων

Σχετική Γειτονικής (RoA)	Η τονικότητα που ανιχνεύεται είναι η σχετική κάποιας γειτονικής της πραγματικής
Παράλληλη Γειτονικής (PoA)	Η τονικότητα που ανιχνεύεται είναι η παράλληλη κάποιας γειτονικής της πραγματικής
Γειτονική Γειτονικής (AoA)	Η τονικότητα που ανιχνεύεται είναι γειτονική κάποιας γειτονικής της πραγματικής
Σχετική της Παράλληλης (RoP)	Η τονικότητα που ανιχνεύεται είναι η σχετική της παράλληλης της πραγματικής
Παράλληλη της Σχετικής (PoR)	Η τονικότητα που ανιχνεύεται είναι η παράλληλη της σχετικής της πραγματικής
Πρώιμες Αλλαγές (EC)	Η τονικότητα αλλάζει σημαντικά τουλάχιστον μια φορά μέσα στα πρώτα 30 δευτερόλεπτα του κομματιού
Εναρμόνιες (EH)	Η εκτιμώμενη και η πραγματική τονικότητα είναι ηχητικά ισοδύναμες, αλλά έχουν διαφορετικές αρμονικές ιδιότητες (Φα δίεση μείζονα/ Σολ ύφεση μείζονα)
Καμία	Οι δύο τονικότητες, είτε έχουν σχέση 3ου η μεγαλύτερου βαθμού, είτε δεν έχουν καμία σχέση μεταξύ τους

Με βάση αυτή τη μέθοδο χαρακτηρισμού, για τις "Άλλες" περιπτώσεις του αλγορίθμου justkeydding έχουμε:

Table 7: "Άλλες" περιπτώσεις: justkeydding

RoA	EC	PoA	PoR	AoA	None	RoP	EH
8	6	3	2	2	1	1	1

Από τα παραπάνω προκύπτουν δύο παρατηρήσεις. Αρχικά, φαίνεται να υπάρχει μια τάση προς λανθασμένο εντοπισμό τονικοτήτων που είναι σχετικές κάποιας γειτονικής της πραγματικής τονικότητας (RoA). Η δεύτερη παρατήρηση έρχεται να επιβεβαιώσει την υπόθεσή μας σχετικά με το πώς πρώιμες αλλαγές στο τονικό κέντρο, μπορούν να επηρεάσουν την έξοδο του αλγορίθμου. Ενώ η ύπαρξη ενός μεγάλου αριθμού τέτοιων περιπτώσεων είναι προβλέψιμη, αυτό που πραγματικά επισημαίνεται, είναι η ανάγκη για μια προσέγγιση που εστιάζει περισσότερο στην ανίχνευση και τον εντοπισμό των μεταβολών στο τονικό κέντρο. Αυτό γίνεται ακόμη πιο εμφανές όταν παρατηρούμε τα αποτελέσματα της λειτουργίας τοπικής τονικότητας του αλγορίθμου justkeydding.

Table 8: Βαθμολογία τοπικών τονικοτήτων: justkeydding

	Same	Adjacent	Other	Overall
Real book mulitkey	13.59	54.37	32.04	40.78

Εξετάζοντας αυτές τις βαθμολογίες, είναι εμφανές πως υπάρχει σημαντική αδυναμία στον αξιόπιστο εντοπισμό των τονικών αλλαγών. Ο κύριος λόγος για τον οποίο, στις περισσότερες περιπτώσεις, η έξοδος δεν μπορεί

να θεωρηθεί αρμονικά αξιόπιστη είναι ο υψηλός βαθμός διακυμάνσεων. Στις περισσότερες περιπτώσεις, παρατηρούμε στην έξοδο διαρκείς αλλαγές μεταξύ ενός μεγάλου αριθμού τονικοτήτων, χωρίς αυτές να χαρακτηρίζονται από κάποια αρμονική συνοχή.

Για παράδειγμα, σε προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάσαμε την αρμονική ανάλυση ορισμένων εκ των κομματιών του dataset. Μεταξύ αυτών των κομματιών, ήταν και το κομμάτι "*Recordame*", που είναι επίσης ένα από τα κομμάτια που ανήκουν στο υποσύνολο κομματιών πολλαπλών τονικοτήτων. Σε μια προσπάθεια να αποκτήσουμε κάποια εικόνα σχετικά με τα δυνατά σημεία ή τις ελλείψεις της λειτουργικότητας ανίχνευσης τοπικών κλειδιών, θα συγκρίνουμε την αρμονική ανάλυση που ο αλγόριθμος παρήγαγε για το συγκεκριμένο τραγούδι, με τη δική μας ανάλυσή από το κεφάλαιο [0.12.4](#).

Η ανάλυση του αλγορίθμου justkeydding είναι:

[', 'F', 'F', 'F', 'F', 'F', 'F', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'bb', 'bb', 'Ab', 'Ab', 'Ab', 'Ab', 'Ab', 'Ab', 'Db', 'F#', 'F#', 'F#', 'Db', 'Db', 'bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'F', 'F', 'F', 'F', 'F']

Βλέπουμε ότι αυτός ο τύπος εξόδου δεν παρέχει απαραίτητα χρήσιμες πληροφορίες για διάφορους λόγους. Αρχικά, έχουμε μια σειρά από 39 τιμές, χωρισμένες με κόμμα, με την κάθε μία να αντιστοιχεί στην τονικότητα του κομματιού τη συγκεκριμένη στιγμή. Ωστόσο, δεν είναι σαφές σε ποιο μέτρο του κομματιού αντιστοιχεί η κάθε τιμή, καθώς το αρχικό τραγούδι αποτελείται από 17 μέτρα. Για να κατανοήσουμε καλύτερα την αρμονική ανάλυση που οδήγησε σε αυτά τα αποτελέσματα, θα δώσουμε ως είσοδο τον οδηγό του κομματιού σε μορφή musicxml, όπως φαίνεται στο [0.14.7](#). Αυτό βέβαια δεν αποτελεί πλέον ανίχνευση με βάση ηχητικά μέσα, εφόσον χρησιμοποιείται συμβολική είσοδος. Ωστόσο, θα χρησιμοποιήσουμε την έξοδο για να δούμε κατά πόσο μας παρέχει χρησιμότερη πληροφορία απ' ότι αυτή που βασίζεται σε ηχητικά μέσα. Χρησιμοποιώντας τη συμβολική είσοδο έχουμε το ακόλουθο αποτέλεσμα:

['F', 'F', 'F', 'F', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Ab', 'Ab', 'eb', 'eb', 'F', 'C', 'a', 'a']

Αμέσως βλέπουμε ότι αυτή η έξοδος είναι ευκολότερο να γίνει κατανοητή. Έχουμε 17 τιμές, κάθε μία από τις οποίες αναφέρεται στην τονικότητα του κομματιού στο αντίστοιχο μέτρο.

Παρουσιάσουμε τα τονικά κέντρα αυτά στο σχήμα [0.5.1](#). Οι τονικότητες Λα ελάσσονα και Φα, Σι ύφεση και Λα ύφεση μείζονα απεικονίζονται με τα ίδια χρώματα που είχαν στην ανάλυσή μας: ανοιχτό πράσινο, σκούρο μπλε, κίτρινο και γαλάζιο. Οι τονικότητες Μι ύφεση ελάσσονα και Ντο μείζονα απεικονίζονται με πορτοκαλί και σκούρο πράσινο αντίστοιχα.

Τα μέτρα των οποίων το αποτέλεσμα είναι σύμφωνο με την ανάλυσή μας είναι τα 8-11, 14 και 16-17, δηλαδή συνολικά 7 μέτρα από τα 17 του τραγουδιού. Έτσι, έχουμε πλέον 10 μέτρα που ανιχνεύθηκαν εσφαλμένα και τα οποία θα εξετάσουμε. Ξεκινάμε με τα μέτρα 1 έως 4, όπου αντί για Λα ελάσσονα τονικότητα, στην έξοδο έχουμε Φα μείζονα. Με χρήση του αντίστοιχου πίνακα [18](#) μπορούμε να αναγνωρίσουμε αυτή την περίπτωση ως Σχετική Γειτονικής (RoA). Αυτό είναι ένα παράδοξο αποτέλεσμα λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η μόνη συγχωρδία που εμφανίζεται σε αυτά τα μέτρα είναι η συγχωρδία λα ελάσσονα. Προχωρώντας στα μέτρα 5 έως 7, όπου στην έξοδο έχουμε Σι ύφεση μείζονα αντί για Ντο ελάσσονα. Πρόκειται και πάλι για την περίπτωση Σχετικής Γειτονικής (η Ντο ελάσσονα είναι η σχετική της Μι ύφεση μείζονας που έχει πέμπτη της τη Σι ύφεση). Και πάλι, η μόνη συγχωρδία που εμφανίζεται είναι η τονική της πραγματικής τονικότητας, δηλαδή η Ντο ελάσσονα. Στο μέτρο 8 έχουμε ξανά ντο ελάσσονα συγχωρδία, μόνο που αυτή τη φορά ανήκει όντως στην τονικότητα της Σι ύφεση μείζονας, λειτουργώντας ως Πm7, γεγονός που δείχνει ότι ο αλγόριθμος αντιλαμβάνεται το II-V-I που συμβαίνει σε εκείνο το σημείο. Τα επόμενα μέτρα που πρέπει να εξετάσουμε είναι τα μέτρα 12 και 13. Εδώ

Recordame

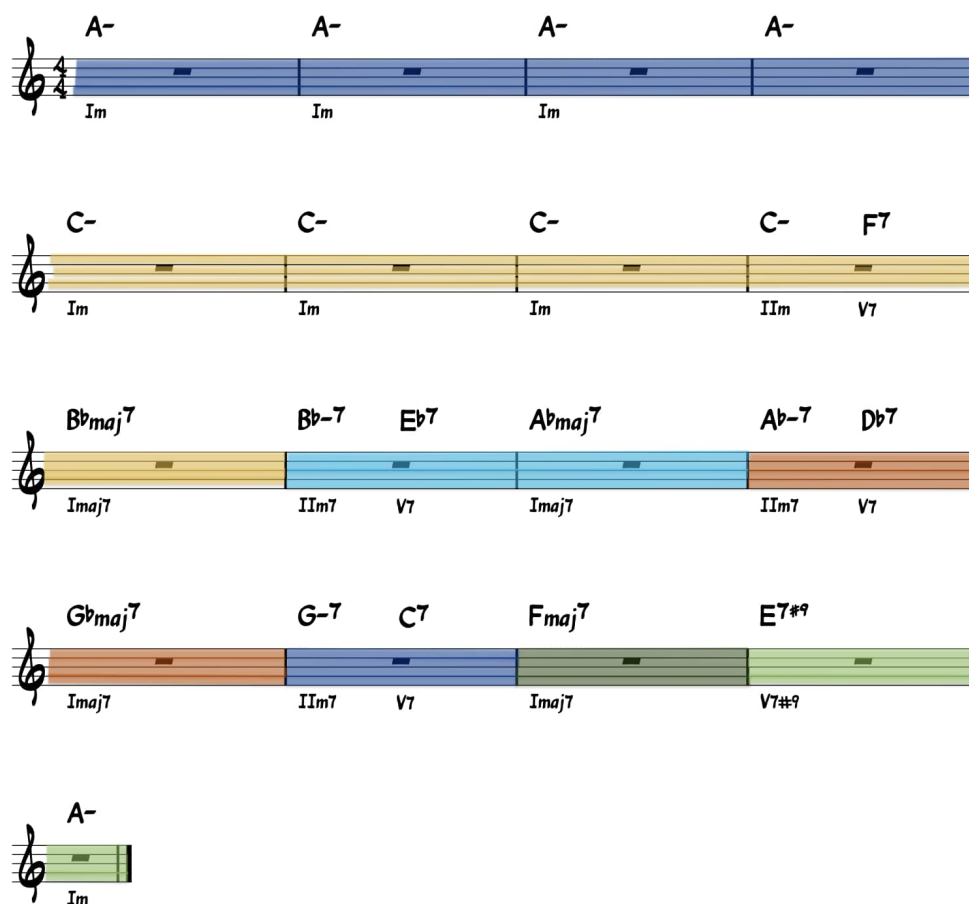


Figure 0.5.1: Recordame justkeydding: τονικά κέντρα

αντί για Σολ ύφεση μείζονα, έχουμε Μι ύφεση ελάσσονα στην έξοδο του αλγορίθμου. Από τη μία, μιλάμε για τη σχετική ελάσσονα της πραγματικής τονικότητας, η οποία δεν απέχει πολύ από τη σωστή απάντηση. Ωστόσο, το γεγονός ότι η τονική της εκτιμώμενης τονικότητας δεν εμφανίζεται καθόλου σε αυτά τα δύο μέτρα, δημιουργεί ερωτήματα σχετικά με το πως θα μπορούσε να προκύψει αυτός ο χαρακτηρισμός. Τα επόμενα δύο μέτρα είναι τα τελευταία που θα πρέπει να εξετάσουμε. Σε αυτά, σύμφωνα με την ανάλυσή μας, θα έπρεπε να έχουμε Φα μείζονα τονικότητα. Στο πρώτο μέτρο, η έξοδος ταιριάζει με την ανάλυσή μας, όμως, στο μέτρο 15, αντί για Φα μείζονα, έχουμε τη γειτονική Ντο μείζονα. Για ακόμη μια φορά, η απόσταση από την πραγματική τονικότητα δεν είναι μεγάλη, αλλά η επαναλαμβανόμενη απουσία την τονικής της εκτιμώμενης τονικότητας αναδεικνύει κάποια σταθερή ασυνέπεια στην έξοδο.

madmom

Το επόμενο εργαλείο που θα εξετάσουμε είναι το madmom. Για να αξιολογήσουμε και να συγκρίνουμε την απόδοση του αλγορίθμου με το σύνολο δεδομένων μας ως είσοδο χρησιμοποιήσαμε το KeyRecognition functionality που παρέχεται από τη βιβλιοθήκη. Τα MIREX scores που προκύπτουν είναι τα παρακάτω:

Table 9: MIREX scores για τον αλγόριθμο madmom

	Same	5th	Rel	Par	Other	Overall
Real book all	67.16	6.34	9.7	2.61	14.18	73.77
Real book singlekey	72.12	5.46	10.91	3.64	8.48	78.37
Real book multikey	59.22	7.77	7.77	0.97	23.3	66.27
MIREX2005Key	72.52	16.77	4.07	1.84	4.79	82.5
GiantStepsKey	67.88	6.95	8.11	4.14	12.91	74.62
Isophonics	76.32	7.36	5.52	3.22	7.59	82.3
RobbieWilliams	72.49	10.05	12.17	1.06	4.23	81.38
Billboard2012Key	84.25	2.74	5.48	4.79	2.74	88.22

Παρατηρώντας κατευθείαν το υποσύνολο κομματιών που διατηρούν μοναδική τονικότητα, βλέπουμε πως συγκεντρώνει το δεύτερο χαμηλότερο MIREX score, όπως και στην περίπτωση του justkeydding. Αυτό παρατηρείται και στα αποτελέσματα του υποσυνόλου πολλαπλών τονικοτήτων, όπου έχουμε και πάλι παρόμοια κατάσταση με αυτήν του προηγούμενου αλγορίθμου. Για άλλη μια φορά, παρατηρούμε σημαντική αύξηση του ποσοστού των προβλέψεων που καταλλήλουν στην κατηγορία "Άλλο". Για να κατανοήσουμε καλύτερα αυτή την επαναλαμβανόμενη τάση, θα ταξινομήσουμε ξανά τα αποτελέσματα της κατηγορίας αυτής, χρησιμοποιώντας τις σχέσεις που παραθέσαμε στον πίνακα 18. Τα αποτελέσματα που παίρνουμε από αυτή την ανάλυση είναι τα εξής:

Table 10: "Άλλες" περιπτώσεις: madmom

RoA	EC	None	EH	PoR	RoP
8	7	4	2	1	1

Το πρώτο που παρατηρούμε είναι ότι, σε αντίθεση με την περίπτωση του justkeydding, υπάρχουν ορισμένες βασικές σχέσεις που δεν εμφανίζονται στα τελικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, εμφανίζονται οι περιπτώσεις της *Παράλληλης Γειτονικής* και της *Γειτονική Γειτονικής*.

Η δεύτερη, και πιο σημαντική, παρατήρηση που προκύπτει, είναι ότι για άλλη μια φορά, έχουμε μια μεγάλη αριθμό περιπτώσεων *σχετικής της γειτονικής και πρώιμων αλλαγών*. Όπως και στην περίπτωση του justkeydding, η πιο συνηθισμένη λανθασμένη ταξινόμηση που συμβαίνει είναι αυτή της *σχετικής γειτονικής*. Αυτό ίσως αρχίζει να δίνει κάποια υπόσταση στην υπόθεση ότι υπάρχει μια τάση προς τη συγκεκριμένη αρμονική σχέση στις λανθασμένες προβλέψεις κάποιων εργαλείων. Όσο για τις περιπτώσεις *πρώιμων αλλαγών*, ο μεγάλος αριθμός εμφάνισης τέτοιων περιπτώσεων δεν αποτελεί έκληξη, για τους ίδιους λόγους που αναφέραμε και στην προηγούμενη περίπτωση.

KeyFinder

Ο τελευταίος αλγόριθμος που θα χρησιμοποιήσουμε είναι ο αλγόριθμος KeyFinder. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν έχουμε αντίστοιχες βαθμολογίες MIREX με χρήση άλλων dataset, παρ'όλ'αυτά θα χρησιμοποιήσουμε την ίδια μέθοδο, μόνο για το δικό μας σύνολο δεδομένων και θα προσπαθήσουμε να εξάγουμε όσο δυνατόν ασφαλέστερα συμπεράσματα. Οι εν λόγω βαθμολογίες μπορούν να βρεθούν στον πίνακα 23.

Table 11: MIREX scores για τον αλγόριθμο KeyFinder

	Same	5th	Rel	Par	Other	Overall
Real book all	35.45	12.31	26.87	3.73	21.64	50.41
Real book singlekey	39.4	13.94	27.88	2.42	16.97	54.88
Real book multikey	29.13	9.71	25.24	5.83	29.13	43.14

Βλέπουμε πως προκύπτουν σημαντικά χαμηλότερες βαθμολογίες σε σύγκριση με εκείνες των δύο προηγούμενων περιπτώσεων. Κατά την καταγραφή των αποτελεσμάτων, ήταν ιδιαίτερα εμφανής μία τάση σύγχυσης της πραγματικής τονικότητας με τη σχετική. Η τάση αυτή εμφανιζόταν κυρίως σε περιπτώσεις κομματιών που βρίσκονται σε μείζονα τονικότητα, με την έξοδο του KeyFinder να την εκτιμά ως τη σχετική της ελάσσονα. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με τους άλλους δύο αλγόριθμους, θα εξετάζουμε τις εκτιμήσεις που κατέληξαν στην κατηγορία "Άλλο", για το υποσύνολο πολλαπλών τονικοτήτων:

Table 12: "Άλλες" περιπτώσεις: KeyFinder

RoA	EC	PoR	PoA	AoA
11	10	3	3	1

Για ακόμη μια φορά, έχουμε δύο αρμονικές σχέσεις που ξεχωρίζουν. Ο λόγος για την *Σχετική Γειτονικής* και τις *Πρώιμες Αλλαγές*. Σε αυτό το σημείο, λόγω της συνέπειας των αποτελεσμάτων και στις τρεις περιπτώσεις, μπορούμε πραγματικά να αναρωτηθούμε για το αν μπορεί να υπάρχει κάποια προκατάληψη ως προς την συγκεκριμένη αρμονική σχέση, τουλάχιστον έναντι των υπόλοιπων σχέσεων που εξετάζουμε στον πίνακα ??.

0.6 Συμπεράσματα

0.6.1 Συζήτηση

Σε αυτή την εργασία είδαμε τη διαδικασία της αρμονικής ανάλυσης μέσω τριών διαφορετικών τρόπων. Χρησιμοποιώντας ένα αρμονικά πολύπλοκο σύνολο δεδομένων, λάβαμε αποτελέσματα που αναδεικνύουν τις ιδι-

αιτερότητες της σύγχρονης αρμονίας. Αφού παραθέσαμε το απαραίτητο μουσικό υπόβαθρο, παρουσιάσαμε με λεπτομέρεια τη διαδικασία αναγνώρησης των τονικοτήτων των κομματιών του συνόλου δεδομένων αυτού. Η επιλογή του είδους της τζαζ ήταν, φυσικά, σκόπιμη. Όπως φάνηκε και στην πράξη, υπάρχει απουσία καλά καταγεγραμμένων μουσικών δεδομένων που να παρέχουν πληροφορίες αλλαγές σε τονικά κέντρα. Σε μια προσπάθεια να αποτυπώσουμε την αντίληψη των τονικών κέντρων, συνδυάσαμε τις θεωρητικές αρχές με τη μελέτη του βασικού ρεπερτορίου, για να παραδώσουμε ένα σύνολο δεδομένων όσο το δυνατόν πιο περιγραφικό και ακριβές.

Στην προσπάθειά μας να καταγράψουμε αυτές τις αρχές και να αναδείξουμε την ανάλυσή μας πιο ολοκληρωμένα, στραφήκαμε προς τη χρήση γλωσσών περιγραφικής λογικής, ενσωματώνοντας κάποια πολύ κρίσιμα στοιχεία αρμονικά στοιχεία, στην μουσική οντολογία *Functional Harmony Ontology*. Ο τρόπος με τον οποίο η συγκεκριμένη οντολογία περιγράφει το θεωρητικό υπόβαθρο που χρησιμοποιήσαμε στην ανάλυσή μας, αποτέλεσε μεγάλο πλεονέκτημα τόσο για την προσθήκη νέων κανόνων, όσο και για τη διαδικασία της αρμονικής ανάλυσης. Σε αυτή τη διαδικασία, δείχνουμε πώς μπορούμε να προσεγγίσουμε τον εντοπισμό των τονικών κέντρων ενός κομματιού, και με χρήση της εν λόγω οντολογίας. Παράλληλα με αυτή την προσέγγιση, διερευνήσαμε την επίδοση ορισμένων αλγορίθμων που επικεντρώνονται στην ηχητική αντίληψη της αρμονίας, χρησιμοποιώντας ως είσοδο το σύνολο δεδομένων μας. Η διαδικασία αυτή έδειξε τις αδυναμίες που εμφανίζονται σε περιπτώσεις κομματιών με πολύπλοκο αρμονικό περιεχόμενο ή μετατροπές. Το δεύτερο, παρατηρήθηκε ακόμη και σε αλγορίθμους που προσέφεραν λειτουργία ανίχνευσης και αναγνώρισης τοπικών τονικοτήτων. Αφού εξετάσαμε ορισμένα από τα κομμάτια με λανθασμένη εκτιμώμενη τονικότητα, αναπτύξαμε μια στέρεα κατανόηση των ελλείψεων και των δυνατών σημείων αυτών των αλγορίθμων.

Αυτό που κυρίως ξεχώρισε από τα αποτελέσματα όλων των προαναφερθέντων προσεγγίσεων, ήταν η ανάγκη για μια πλήρη εξέταση του αρμονικού λεξιλογίου. Αυτό απαιτεί την αξιοποίηση κάθε αξιοσημείωτης διαθέσιμης μουσικής πηγής, προκειμένου να πλαισιωθεί καλύτερα η πληθώρα των γνώσεων που έχουμε ήδη αποκτήσει. Αυτό το σύνολο δεδομένων, και το σύνολο της παρούσας εργασίας, ελπίζουμε να αποτελέσει πολύτιμο πόρο, και να συμβάλει στη βελτίωση των σημερινών και μελλοντικών πρακτικών μας.

0.6.2 Μελλοντικές Κατευθύνσεις

Κλείνοντας την παρούσα μελέτη θα θέλαμε να προτείνουμε ορισμένες πιθανές μελλοντικές κατευθύνσεις. Αρχικά, είναι σημαντικό να συνεχίσουμε να προσθέτουμε στους πόρους που διαθέτουμε, προκειμένου να μεγιστοποιήσουμε τον όγκο των σχετικών δεδομένων για την ανίχνευση και αναγνώριση μουσικού περιεχομένου. Σε όλα τα μουσικά είδη, υπάρχουν πολυάριθμοι πόροι, πλούσιοι σε αρμονική πληροφορία, που βασίζονται στις ίδιες θεωρητικές αρχές στις οποίες βασίσαμε την ανάλυσή μας. Το επόμενο βήμα, είναι αυτά τα δεδομένα να ενσωματωθούν κατάλληλα στα στάδια εκπαίδευσης των αλγορίθμων. Αυτό ισχύει τόσο για τρέχουσες όσο και για μελλοντικές προσεγγίσεις, οι οποίες θα πρέπει να έχουν ως βασικό στόχο τον εντοπισμό όσο το δυνατόν περισσότερων αρμονικών πληροφοριών. Ένα πρώτο βήμα θα μπορούσε να είναι ο απλός εντοπισμός της ύπαρξης ή μή μίας δεύτερης ή τρίτης τονικότητας σε ένα συγκεκριμένο κομμάτι. Αυτό θα μπορούσε να επεκταθεί στον εντοπισμό της θέσης μιας συγκεκριμένης αλλαγής τονικότητας και τελικά να οδηγήσει στον προσδιορισμό ολόκληρης της αρμονικής ανάλυσης του κομματιού. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να έχει μεγάλη επίδραση στη μελέτη της μουσικής, τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Ένας τρόπος θα μπορούσε να είναι η ανάπτυξη λογισμικού αρμονικής ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο, το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα επίπεδα διδασκαλίας, εξάσκησης και εκτέλεσης μουσικής.

Εκτός αυτού, περιθώριο περαιτέρω εργασίας υπάρχει και σε διάφορες άλλες πτυχές της αναγνώρισης μουσικής

πληροφορίας μέσω της αρμονίας. Συνδυάζοντας αρμονικά στοιχεία με μορφολογικά και ηχητικά χαρακτηριστικά, θα μπορούσε να αναπτύχθει μια διαφοροποιημένη περιγραφή των μουσικών ειδών που χαρακτηρίζουν κάποιο τραγούδι, σύνολο τραγουδιών ή καλλιτέχνη. Αυτό θα μπορούσε να προσφέρει μια εντελώς διαφορετική προσέγγιση στους αλγόριθμους σύστασης μουσικής, οι οποίοι θα κατηγοριοποιούν και να προτείνουν τραγούδια, είδη και καλλιτέχνες λαμβάνοντας υπόψη και αρμονικά χαρακτηριστικά, μαζί με άλλους παράγοντες. Αυτό θα μπορούσε να προσφέρει μεγάλη ομαδοποίηση και σύσταση με βάση λιγότερο προφανείς ιδιότητες της μουσικής.

Introduction

In recent years, significant progress has been made in the field of music information retrieval. Advances in artificial intelligence have provided us with a multitude of tools that help us better understand core musical concepts and also enhance the process of music composition. Thus, it is imperative that we use our full musical vocabulary and knowledge in order to optimize such tools and integrate them into music production and analysis.

One of the most fundamental elements of music, is the tonality of the musical piece. Identifying the key of a song is a task that varies in difficulty depending on the genre, or even the artists of the same genre. To be able to extract information about the key of a song, an adequate understanding of the rules of music harmony is required. The genre that is most commonly used as a reference when studying modern music harmony, is jazz music. So, it is evident that in order to enhance our current key detection practices, we need to take into consideration the harmonic information provided by jazz music.

In this thesis, we provide a jazz harmony focused dataset aimed towards the task of audio key detection. We will base this dataset on the most recognized source for music sheets amongst jazz musicians, the Real-book of Jazz. The Real-book of Jazz provides lead sheets for many of the most characteristic songs of the jazz repertoire, also known as "jazz standards". We will study each one of the songs included in the book and determine whether or not a characterisation regarding the tonality of the song is of value. For the instances that a key can be appointed to the song, we will provide the tonic centers that occur in the song, the moment that they are being established, along with an audio file with a simple performance of the song. After that, we will use several audio key detection algorithms to compare our dataset with several other known ones.

Along with the creation of the dataset, we will provide the harmonic rules that we made use of in our analysis. We will then present that set of rules using description logic (DL) languages, in order to integrate them into an ontology. We will be adding on an already existing ontology that describes the rules of functional music harmony.

The outline of this thesis is as follows:

- First, we will provide all the background needed, technological and musical, in order to explain the rules on which the dataset was based on.
- Next, we will provide an overview of the dataset, examining specific cases of songs that were included into it, focusing on the information provided by the harmony of the song. We will provide explanation regarding the keys that we encounter and the exact points of the song that these keys are established.
- We will introduce the functional harmony ontology, look into the components that we will be adding,

and see how they help us analyze the key of a song using SPARQL queries.

- Lastly, we will see how some current audio key detection algorithms perform when tested upon our dataset, by comparing their scores with the ones that exist for currently used datasets.

Technological Background

In the following chapter, we will provide an extended overview of the various technologies that are going to be used and mentioned throughout this work. These technologies are divided in to groups. First we are going to present the technologies that relate to the ontology part, before moving on to the technologies that we used for dataset testing purposes.

Contents

0.7	Ontology background	74
0.7.1	Ontology	74
0.7.2	OWL 2	74
0.7.3	Related Ontologies	75
0.7.4	owlready2	75
0.7.5	GraphDB	76
0.7.6	SPARQL	76
0.8	Dataset Experiments Background	76
0.8.1	Relevant datasets	76
0.8.2	Key detection Algorithms	77

0.7 Ontology background

To begin our theoretical background, we will take a look at the various technologies that we used, in order to perform harmonic analysis using a music related ontology. We will chronologically work our way to that objective, starting off with an overview of some relevant music related ontologies. Then we are going to look into the tools that we used to modify the ontology that we ended up implementing. Finally, we are going to conclude this section, by presenting the technologies that helped us use the final ontology to harmonically analyze some songs included in our dataset. But first we will look into what an ontology is, and what are the tools are used to define one.

0.7.1 Ontology

In many cases we use object categories to represent a domain of knowledge. In order to assign names to categorize the concepts we are attempting to describe, we need to study their properties and clarify how they are related to each other. These attributes, which also define said knowledge, must be defined in a way that satisfies the notions of the individual, the categories, and the relationships that link them. Descriptions that articulate information of this type about a particular domain of knowledge are called terminological, and the corresponding knowledge developed are called terminologies or *ontologies*. Through the semantic interpretation and logical analysis of ontologies, we can answer questions such as whether some category is more general than another, or whether a particular object belongs to a certain category [24].

Individuals

The first step in developing ontological descriptions is to establish the individuals, that is, the elements of the world we are describing. Individuals are syntactically represented as strings (names), which enable the formal, unambiguous reference to them [24].

Classes

Individuals have certain attributes and based on these they are classified into categories or *classes*, with some of them being more general than others. Classes are strings that correspond to an individual's property, which we examine, to see whether or not an individual is a member of that class or not. In some cases we may refer to a class descriptively, with a phrase that usually verbally describes the properties of the individuals that make up the class [24]. In some cases, ontologies can be described using only classes, which are then used to directly characterize the corresponding data, without requiring the use of individuals. As we will see in the following chapters, this will also be the case in our implementation [18].

Relationships

Relationships in an ontology describe how individuals or classes are related to each other. A relationship can be between two individuals, two classes, or an individual and a class [18]. The relationships between an individual and other individuals of a particular class are important for their classification in a class.

0.7.2 OWL 2

The OWL 2 Web Ontology Language, informally OWL 2, is an ontology language for the Semantic Web with formally defined meaning. OWL 2 ontologies provide classes, properties, individuals, and data values

and are stored as Semantic Web documents. OWL 2 ontologies can be used along with information written in RDF, and OWL 2 ontologies themselves are primarily exchanged as RDF documents. We will be using the OWL 2 language to define the harmonic elements we aim to describe.

0.7.3 Related Ontologies

There is a number of different approaches when it comes to logical representation of music. There have been numerous music related ontologies that vary in the specific aspect of music they are aiming to describe. There is work that mainly refers to the production side of music. *The Studio Ontology Framework* introduced by Fazekas et al.[8], aims to provide a wide overview of the record production process, through a situation independent conceptualisation of the studio environment, from physical studio hardware to the personal computer based stage of the production. Fields et al.[9] have proposed a Segment Ontology focusing on MIR signal processing tasks. Turchet et al.[23] proposed the *Internet of Musical Things Ontology*, which relates to ontologies like the SOSA ontology for the representation of sensors and actuators, and includes means of music consumption in its focus, apart from production related terms. There are also proposals regarding the notation and semantics of the music score. *MusicOWL* is an ontology aimed for describing the content of Western Music music scores, introduced by Jones et al.[11] and covers music related information like melodies, dynamics and tonalities. Another music notation ontology is *MUSICNOTE*, introduced by Cherfi et al.[5], which aims to integrate semantic music elements to extend score encodings. Charbel et al.[7] developed *MusicPatternOWL*, an ontology which structures the results of a music pattern analysis algorithm, to support music score analysis processes. A more instrumentation based approach has been made by Kolozali et al.[15], who proposed an instrument ontology, examining works based on the Hornbostel and Sach's classification scheme. Also using the Hornbostel Sach's classification scheme, Ayorinde[2] proposed a formalised ontology that provides information about the families, groups and characteristics of musical instruments. Kaur and Aggarwal[13] developed an instrument ontology focusing on the key concepts of the string instruments, the *string_ontology*. On the more emotion based side of music information, Song et al.[22] proposed the *Context-based Music Recommendation (COMUS)* ontology reason desired user emotion state based on music preference information.

On the theoretical side, Sabbir et al.[20] proposed the *Music Theory Ontology*, which examines theoretical concepts like music notation, duration, chords, progressions and degrees. It uses several relevant ontologies like the *Music Ontology* and the *Chord Ontology*.

Despite the fact that some of these ontologies offer a very useful representation of musical concepts, we ended up choosing an other option to base our implementation on. This ontology, the *Functional Harmony Ontology* [12], will be thoroughly examined in later chapters.

0.7.4 owlready2

Owlready2⁸ is a package for ontology-oriented programming in Python. It can load OWL 2.0 ontologies as Python objects, modify them, save them, and perform reasoning via HermiT. Contrary to usual Java-based API, Owlready2 allows a transparent access to OWL ontologies. We use the owlready2 package to modify the Functional Harmony Ontology, a subject that will be thoroughly examined in chapter 0.14.4.

⁸<https://owlready2.readthedocs.io/en/latest/>

0.7.5 GraphDB

Ontotext GraphDB is a highly efficient, scalable and robust graph database with RDF and SPARQL support⁹. We will be using GraphDB as the data repository on which we will perform harmonic analysis via reasoning using SPARQL queries.

0.7.6 SPARQL

SPARQL is a semantic query language for databases able to retrieve and manipulate data stored in RDF format¹⁰. SPARQL can be used to express queries across diverse data sources, whether the data is stored natively as RDF or viewed as RDF via middleware. SPARQL contains capabilities for querying required and optional graph patterns along with their conjunctions and disjunctions. SPARQL also supports aggregation, subqueries, negation, creating values by expressions, extensible value testing, and constraining queries by source RDF graph. The results of SPARQL queries can be result sets or RDF graphs¹¹. We will be using the SPARQL language and logical reasoning to extract the key estimation results deriving from our ontology harmonic analysis.

0.8 Dataset Experiments Background

In the following section, we will present the technologies relevant to the creation and evaluation of our dataset. These include, some of the relevant datasets that are currently used for training and testing purposes in the field of audio key detection, along with some of the available key detection algorithms that we used in our dataset evaluation process.

0.8.1 Relevant datasets

First we will take a look at the current state of audio key detection datasets. Part of the motivation behind this project is the nature of the currently available datasets for the task of key recognition. Despite music information retrieval becoming an increasingly popular field, the majority of datasets are concentrated towards other tasks, like emotion based classification or sound source identification and separation. That is not to say that there have not been significant improvements in the task of key detection. However, the use of datasets that provide a wider context of music harmony would greatly benefit the progress and accuracy of current and future methods.

Some of the most used datasets for training and evaluating key detection algorithms draw from the spectrum of what we consider as popular music. The *GiantSteps Key*[14] dataset draws mostly from EDM and electronic music, while datasets from *Isophonics* and the *Billboard2012* datasets regard compositions mostly from pop music artists. We can see that there is a pattern in the selection of the data sources amongst key detection datasets. While these instances offer valuable information, it is important that we provide a holistic harmonic context into our key detection practices. In our efforts to do so, we are compelled to integrate the jazz harmonic vocabulary into the process. During the experiment results section we are going to better see how using a harmonically richer input could greatly enhance the level of performance that has been achieved thus far.

⁹<https://graphdb.ontotext.com/documentation/10.7/>

¹⁰<https://en.wikipedia.org/wiki/SPARQL>

¹¹<https://www.w3.org/TR/sparql11-query/>

0.8.2 Key detection Algorithms

For the evaluation of our proposed dataset we used some recent available key detection solutions from the academic field, as well as one free commercial solution. This was a big focus during our evaluation stage of the dataset. It is massively important to develop an industry wide perception of the performance level that our available tools can achieve, if we want them to become fully integrated into both the research and the commercial level. The software that was used is the *madmom* and *justkeydding* tools from the academic side and *KeyFinder* ¹², from the commercial one.

justkeydding

The *justkeydding* algorithm [17] is an Audio and Symbolic Key Detection algorithm based on nnls-chroma[19] and a Hidden Markov Model[17]. It assumes a total number of 24 major and minor keys which are represented as a hidden state in the HMM. This model was evaluated using a total of 260 pieces of music, consisting mostly of classical music pieces with examples of popular music having also been included. Using a combination of major and minor key-profiles, the model has shown an accuracy of 84.8% guessing the key of both these pieces, and the pieces of the audio key detection task of the Music Information Retrieval Evaluation eXchange (MIREX).

madmom

Madmom is an audio signal processing library written in Python with a strong focus on music information retrieval tasks[4]. Its key estimation model is based on the work of Filip Korzeniowski and Gerhard Widmer on Genre-Agnostic Key Classification With Convolutional Neural Networks [16]. This model was trained using 1077 pieces from the GiantSteps MTG Key dataset ¹³, an in-house dataset of 1751 classical music pieces, and the training subset of the McGill Billboard dataset ¹⁴. Note that the GiantSteps MTG Key dataset is distinct from the GiantSteps Key dataset that was mentioned above as one of the datasets that are used for evaluation at MIREX.

KeyFinder

KeyFinder is a free commercial key detection tool by I. Sha'ath [21] that is aimed towards identifying the keys of digital recordings. KeyFinder is an implementation based on the calculation of the constant Q of a series of analysis frames, which are then mapped into a one octave chromagram.

One major problem that we encountered when searching for tools for the testing stage of our project, is the fact that only one of the available solutions (justkeydding) offered a local key estimation functionality. If we take a look at the MIREX 2021 Audio Key Detection data collection guidelines (possible link), we gain some insight about why there are not more tools developed towards analyzing music that passes through two or more tonic centers. It is clearly stated that only the first 30 seconds of the music piece should be taken into consideration, in an effort to avoid possible modulations that may occur after that point. So that results in two things. On one hand, datasets tend to not focus that much on music that is prone to key changes, and on the other hand, key detection algorithms rarely offer that functionality. This leaves a large part of the

¹²<https://ibrahimshaath.co.uk/keyfinder/>

¹³<https://github.com/GiantSteps/giantsteps-mtg-key-dataset>

¹⁴[https://ddmal.music.mcgill.ca/research/The_McGill_Billboard_Project_\(Chord_Analysis_Dataset\)/](https://ddmal.music.mcgill.ca/research/The_McGill_Billboard_Project_(Chord_Analysis_Dataset))

musical repertoire unexplored, which could make an important contribution to the enrichment of existing knowledge.

Musical Background

The creation of jazz music is mostly attributed to the fusion of two musical worlds; the European music theory and harmony and the African and Afro-American rhythms and articulations. Although the incorporation of African rhythms to the already established European music harmony does not inflict immediate changes in the harmony, the connection between jazz music and improvisation, along with the shift towards atonality (lack of a primary key in a music piece) that occurred during the 20th century, resulted in a sonic environment that had deep roots in the practices of classical harmony, while differing vastly in execution. This sparked a continuous enrichment of the harmonic vocabulary, which was morphed into a unified set of rules. *Although we refer to this set of rules as jazz harmony, it is the exact same set of rules that the entirety of western music has been based on for the past century.* This proves that the study of them is essential for music information retrieval tasks, among many other fields.

In this chapter, we are going to look at the core principles of jazz harmony, what is the key of a musical piece, what are the functions that a chord could have in a song and what are some of the harmonic patterns that can help us analyze a musical piece.

Contents

0.9 Scales and Modes	80
0.9.1 Scales	80
0.9.2 Modes	81
0.10 Key and Chord Set	82
0.10.1 Key	82
0.10.2 Chord set	82
0.11 Modal Interchange	84
0.11.1 Diatonic Modal Interchange	84
0.11.2 Non-Diatonic Modal Interchange	85
0.12 Other non-diatonic chords and rules	86
0.12.1 The Secondary Dominant	86
0.12.2 The Substitute Dominant	86
0.12.3 The Relevant Two	87
0.12.4 Non-Diatonic Diminished Chords	87

0.9 Scales and Modes

In music theory, we come across certain terms that often seem identical, but their differences are extremely important for us to understand if we want to transfer that knowledge in a software environment. In the following section, we clarify the differences between the core building blocks of harmony, which ultimately contribute to what we consider the key of a song.

0.9.1 Scales

There are two basic scale categories in western music theory; the major scale and the minor scale. Scales are ascending 8 note sequences (7 without the top which is the same as the root) and their name derives from the first note of the scale (the root, or tonic) and the quality of the scale (i.e. major or minor). Major and minor scales have specific distances between their notes. For the major scale, notes are separated by the following sequence (T for tone and S for semitone):

T - T - S - T - T - T - S

Each note in a scale corresponds to a degree. For example in the C major scale, the note C is the first degree, or the *I*. The note D is the second, or *II* and so on. There one major scale for each note, which is defined by its *key signature*, meaning the right sharps or flats needed to create the tone and semitone sequence shown above. The C major scale, the only major scale with no sharps or flats, is used as the basis to describe all other scales and their degrees, even the minor scales. There are three types of minor scales, the natural minor, the harmonic minor and the melodic minor. The tone-semitone sequence for the natural minor scale is:

T - S - T - T - S - T - T

From the above, we can see that the degrees of the natural minor scale, fixed to the degrees of the major scale are:

I - II - bIII - IV - V - bVI - bVII

So, for example, if we take the C natural minor scale, and compare it to the C major scale we can confirm the above:

C major scale: C - D - E - F - G - A - B

C minor scale: C - D - Eb - F - G - Ab - Bb

The harmonic minor scale, follows the exact same pattern that the natural minor does, with the difference of having a natural seventh (VII), instead of a flat seventh (bVII). So in the case of the C harmonic minor scale, we have:

C harmonic minor scale: C - D - Eb - F - G - Ab - B

In the same exact way, the melodic minor scale, has the same pattern as the harmonic minor, but with natural sixth (VI) instead of a flat sixth (bVI). In that case, the C melodic minor scale would be:

C melodic minor scale: C - D - Eb - F - G - A - B

The natural, harmonic and melodic minor scales, interact with each other in ways that we will discuss later in this paper. For the time being, we will focus on the following observation. We consider the tone-semitone

sequence of the major scale. If we start the sequence from the sixth interval, which is a tone, and continue until we reach the sixth interval again, we will end up with the tone-semitone sequence of the natural minor scale. For example, this means that if we start from the sixth note of the C major scale (which is the note A), we end up with the A natural minor scale, which we also refer to as C major's *relative minor*. This observation leads us to the next section of this chapter, the modes.

0.9.2 Modes

In the section above, we made a quick introduction on modes, through the example of the natural minor scale. Our next task is to apply the same principle to every note in the major scale. This is essentially, what we refer to as modes, in modern music theory. We have 7 different modes, one for every note of the major scale. The name of a mode is determined from its first note and its quality, which corresponds to a specific attributed ancient greek name for each one of the seven modes.

The first mode, is the Ionian mode, which starts from the first degree of the major scale, and therefore the two of them are identical.

The second mode is the Dorian mode, and it is the note sequence that starts from the second degree (or note) of the major scale. For example, the second mode of the C major scale, is called D Dorian.

The third mode is called the Phrygian mode, and it is the note sequence that starts from the third degree of the major scale.

We follow the same logic for each of the major scale's degrees. The complete list of modes is the following:

- Ionian - Dorian - Phrygian - Lydian - Mixolydian - Aeolian (or natural minor) - Locrian

Modes' main practical use in jazz music is mostly highlighted through improvisation, but they also provide valuable information regarding the harmonic context. Earlier, we compared the degrees of the C major scale with the ones of the C natural minor scale, which we call C Aeolian. That means that the degree sequence of the Aeolian mode are the same with the ones that we saw before (I - II - bIII - IV - V - bVI - bVII). So now that we know the degrees of the Ionian mode and the Aeolian mode, we will apply the same logic, to find the degrees of each one of the remaining modes.

For the Dorian mode, the second mode of the major scale, we have:

I - II - bIII - IV - V - VI - bVII

So, C Dorian will be: C - D - Eb - F - G - A - Bb

For the Phrygian, the third mode of the major scale, we have:

I - bII - bIII - IV - V - bVI - VII

So, C Phrygian will be: C - Db - Eb - F - G - Ab - B

For the Lydian, the fourth mode of the major scale, we have:

I - II - III - #IV - V - VI - VII

So, C Lydian will be: C - D - E - F# - G - A - B

For the Mixolydian, the fifth mode of the major scale, we have:

I - II - III - IV - V - VI - bVII

So, C Mixolydian will be: C - D - E - F - G - A - Bb

And finally, for the Locrian, the seventh mode of the major scale, we have:

I - bII - bIII - IV - bV - bVI - bVII

So, C Locrian will be: C - Db - Eb - F - Gb - Ab - Bb

0.10 Key and Chord Set

With the basic theoretical background now established, we can focus on the part of music harmony that will be of most concern to us. We are going to talk about the key in music, and its main identifying component, its chords. Then we are going to combine the above, to introduce the concept of modal interchange, a term that will help us transition into the practical aspect of harmonic analysis.

0.10.1 Key

In music, we use the term key to describe a system of functionally related chords deriving from the major and minor scales, with a central note, called the tonic [6]. A music piece can be in a major key, a minor key, or a combination of both. In that case, we say that the song is in the key of the root. For example, if a song is in the key of C, it means that it draws equally from both the keys of C major and C minor. A song can have more than one key. For example, a song can start in the key of C major, or C, and at some point switch to the key of F major. The switch of a song's key to another is called modulation, or key change. It is important to not confuse a key and a scale or mode for the same thing. There can be a variety of scales and modes used in a key, and what really identifies it is the chords that can be used in its context.

It's important to point out that a key of a song can be up for interpretation and is sometimes a bit subjective. However that subjectiveness mostly appears on certain occasions. For example, the exact timing of a key change can be up for interpretation. Another example, is that some songs can either be considered to be in a specific major key, or in its relative minor key. This does provide some kind of volatility in a dataset that describes the keys of multiple songs, but the predictability of that subjectiveness ensures us that we can expect where and when that ambiguity occurs.

So now that we have established what we consider the key of a song, we are going to take a look at which are the chords that can be used in the context of a certain key.

0.10.2 Chord set

Previously we talked about how each type of scale type has a characteristic series of degrees, that serves like a footprint and differentiates it from the others. We also talked about how a key is defined by a functionally related chord set. We are now going to explain how that chord set occurs, making use of the degree schema of the appropriate scales and modes.

The main idea for this concept is that we attach a specific chord to each degree of a scale or mode. That chord is the tetrad that results if we start from a degree's note and move up with a step of 2. We'll take for example the C major scale,

C - D - E - F - G - A - B

and its degrees,

I - II - III - IV - V - VI - VII.

The chord that is attributed to the first degree of the scale, or the tonic chord, is C - E - G - B, or Cmaj7 (C major 7). The C means that it is a C major triad (in a major triad, the first two notes have a distance of two whole tones and the second and third have a distance of a tone and a semitone), with a major 7th (maj7), which means that the distance between the first and the fourth note of the chord is 4 tones and a semitone. While these distances between notes are not of our immediate interest, what is important to remember is that every major scales' first degree chord is a major chord with a major 7.

The chord that is attributed to the second degree of the scale is D - F - A - C, or Dm7 (D minor 7). With Dm we note that it is a D minor triad (in a minor triad, the first two notes have a distance of a tone and a semitone and the second and third have a distance of two whole tones), with a minor 7th (or just 7) which means that the distance between the first and the fourth note of the chord is 4 whole tones. Every major scales' second degree chord is a minor chord with a minor 7.

The third degree of the major scale is also a minor triad with a minor 7th, in that case Em7.

The fourth degree of the major scale is another *maj7* chord, in that case Fmaj7.

A really important degree of the major scale is the 5th degree. The chord that derives from the 5th degree is a major triad with a minor 7, or a dominant chord, a name that comes from its high sonic tension. Usually a dominant chord resolves to its tonic which exists two and a half tones up or three and a half tones down, although that is not always the case. In our example that chord is G - B - D - F, or G7.

The sixth degree's chord is another minor 7 chord, in that case Am7.

And finally the 7th and last degree's chord is a diminished triad (a minor triad with a lowered fifth), with a minor 7, or, a half diminished chord. In the C major scale, that chord is Bm7(b5).

So, an overview of the chord set of the major scale is the following:

Imaj7 - IIm7 - IIIm7 - IVmaj7 - V7 - VIm7 - VIIIm7(b5).

Using the same logic, we can find the chord set for every scale, or mode. We'll provide the basic chord sets that we are going to find very useful during the next chapters. These are the chord sets of the natural, harmonic and melodic minor scales.

First, for the natural minor scale chord set, we consider the C natural minor scale, and degree sequence:

C - D - Eb - F - G - Ab - Bb

I - II - bIII - IV - V - bVI - bVII

Figuring out the chord set of the natural minor scale is a simple task. Remembering that the natural minor scale is, in fact, the the sixth mode of the major scale (or Aeolian mode), we realise that to find its chord set we just have to start from the sixth chord of the major scale's chord set and adjust to the right degree numbers. So, we have the following result:

Im7 - IIm7(b5) - bIIImaj7 - IVm7 - Vm7 - bVImaj7 - bVII7.

Making the proper adjustments we can now figure out the chord set of the harmonic minor scale:

Im(maj7) - IIm7(b5) - bIIImaj7(#5) - IVm7 - V7 - bVImaj7 - VIIdim7

We see that there are some significant differences between the natural and harmonic minor chord sets.

These are the effect of the altering of the 7th degree, as we discussed earlier, from a flat 7 to a natural 7.

More specifically, the Im7 turns into a Im(maj7) chord, as the above mentioned degree is the chord's 4th note, or the 7.

The bIIImaj7 turns into a bIIImaj7(#5), which is the same major chord, only with a sharpened 5 instead of a natural 5, as the above mentioned degree is the chord's 3rd note, or the 5.

And finally, the bVII7 turns into a VIIdim7 chord, which is a diminished 7 chord which consists of a diminished triad plus an double flattened 7 (bb7).

So to conclude the chord set chapter, we are going to make the proper adjustments to figure out what the chord set of the melodic minor scale is:

Im(maj7) - IIm7 - bIIImaj7(#5) - IV7 - V7 - VIm7(b5) - VIIm7(b5).

0.11 Modal Interchange

The chord sets that we described above usually serve as the fingerprint of a certain key. That's not to say that a song that is in said key, can only use the chords from these chord sets. There are ways that a song can incorporate chords from chord sets of other keys, without that signifying a key change. This is achieved through the use of modal interchange, which lets us borrow chords from other chord sets, hence other keys, and use them in the key that we currently are, without them disrupting the functionality of the song's harmony.

There are rules that indicate whether a certain borrowed chord is the product of modal interchange or not. Each key can only borrow chords from specific chord sets. Depending on the chord set that the key is borrowed from, modal interchange can be characterized as diatonic or non-diatonic.

0.11.1 Diatonic Modal Interchange

Diatonic Modal Interchange is the technique that lets us borrow a chord from the parallel key of the one that we are in (minor or major scale with the same tonic).

Suppose that we are in the key of C major. As we know, the chord set of C major is Cmaj7 - Dm7 - Em7 - Fmaj7 - G7 - Am7 - Bm7(b5). Borrowing from the parallel key, in that case, means borrowing from the key of C minor, which contains all three minor chord sets (natural, harmonic and melodic). So the chord Ebmaj7, may not belong in the chord set of the C major scale, but it is considered a diatonic chord in the key of C major, because of its capability to be borrowed from the key of C minor. Using the same logic, we can borrow chords that exist in the C major chord set, when we are in the key of C minor.

0.11.2 Non-Diatonic Modal Interchange

Apart from borrowing chords from the parallel of a certain key, there are also other keys that we can borrow chords from. Previously on this paper we talked about modes, where they derive from and each one's characteristic degree sequence. We also figured out the natural minor chord set, which is essentially the chord set of the Aeolian mode. This means that we can consider a chord set for all the other modes as well. So, to tie this all up, non-diatonic modal interchange occurs when we borrow chords from the chord sets of the modes, that are parallel to the key's tonic.

Before we clarify this through an example, we will provide the chord set of each mode of the major scale. Remember that to figure them out, we just have to start from the degree that is the tonic of each mode, and adjust the degree numbers while keeping the chord qualities the same.

For the Dorian mode, we have:

Im7 - IIIm7 - bIIImaj7 - IV7 - Vm7 - VIIm7(b5) - bVIIImaj7

For the Phrygian mode we have:

Im7 - bIIImaj7 - bIII7 - IVm7 - Vm7(b5) - bVIImaj7 - VIIIm7

For the Lydian mode, we have:

Imaj7 - II7 - IIIIm7 - #IVm7(b5) - Vmaj7 - VIIm7 - VIIIm7

For the Mixolydian mode, we have:

I7 - IIIm7 - IIIIm7(5) - IVmaj7 - Vm7 - VIIm7 - bVIIImaj7

And finally, for the Locrian mode, we have:

Im7(b5) - bIIImaj7 - bIIIIm7 - IVm7 - bVImaj7 - bVI7 - bVIIIm7

From the above, we can see that there are plenty of chords that could be possibly borrowed through non-diatonic modal interchange. However, see that many chord sets have identical chords on some of their degrees. What studying songs of the jazz repertoire has shown, is that there really is a limited and specific group of these chords that can be used in non-diatonic modal interchange. This group derives from the melodic characteristics of each mode, specifically when it comes to improvisation. The group of chords that is most commonly borrowed, and that we are going to use to harmonically analyze the songs in our dataset, is:

From the Dorian mode: - VIIm7(b5)

From the Phrygian mode: - bIIImaj7 - Vm7(b5) - VIIIm7

From the Lydian mode: - #IVm7(b5)

From the Mixolydian mode: - IIIIm7(5) - bVIIImaj7

And from the Locrian mode: - bIIIIm7 - bVImaj7

For example, let's consider a song in the key of C minor. We know that a song in a minor key, draws from the chord sets of all three minor scales (natural, harmonic, melodic). We encounter the chord Dbmaj7, which belongs neither in any of the minor chord sets, nor in the C major chord set, therefore it is a non-diatonic

chord. However, the Dbmaj7 chord can be found in the chord set of the C Phrygian mode (bIIImaj7), and it actually belongs to the group of chords that we stated above, so we analyze it as bIIImaj7.

0.12 Other non-diatonic chords and rules

In the last step before completing this music theory background overview, we are going to talk about some other harmonic elements that we encounter during analyzing the songs in the proposed dataset. These elements regard chords that do not belong in a particular chord set, but can be used, through specific rules, to enrich the harmony of a certain song.

0.12.1 The Secondary Dominant

The first element we are going to discuss, is the Secondary Dominant chord. Earlier in this chapter we referred to the dominant chord, as the chord of the 5th degree of a major key's chord set. We stated that it provides high sonic tension, and it usually resolves to the I chord of the chord set, a distance of two and a half tones up (or a 4th up) or three and a half tones down (a 5th down).

A chord's Secondary Dominant, is a dominant chord that exists a 5th up (or a 4th down) from said chord.

For example, lets say that we have a song in the key of C major. At some point we find the chord A7, which does not belong in the key of C major, or C in general. We see that the note A is a fifth up from the note D. The chord that has the note D as its root and is valid in the key of C major, is Dm7. So, we can consider that A7 to be the secondary dominant of Dm7, or, the V of the II (V/II). In that way we can have the secondary dominant of every chord in the C major chord set, or any other chord set that the C major key borrows from. It is also possible for a secondary dominant to be preceded by its own secondary dominant. In the example above, an E7 chord (a 5th up) before that A7 chord we discussed, would be the A7's own Secondary dominant chord.

Generally, a Secondary Dominant will resolve a 5th down (or a 4th up), to its local tonic. However, there can be instances where a Secondary dominant does not resolve at all, meaning that it does not have an immediate correlation with the chord that follows.

There is also another type of dominant chord that does not resolve a 5th down, as it typically happens, and that is the chord that we are going to discuss next.

0.12.2 The Substitute Dominant

The second and final type of non-diatonic dominant chord we are going to discuss is the Substitute Dominant. It is used as an alternative to any dominant chord, diatonic or not. The substitute dominant is defined as the dominant chord whose root is a semitone up from the chord it resolves to. The term substitute indicates that it acts as an alternative to the V of any local tonic chord.

Returning to our usual example, lets assume we are on the key of C major, and we want to find the Substitute Dominant of Cmaj7. If we go up 1 semitone from the note C, we reach the note Db. So the Substitute Dominant of C is Db7. The chord that Db7 substitutes is the V of Cmaj7, which is G7. So, that is why the Db7 chord is symbolized as "sub V7/I" because it substitutes the V of the I. Using this logic we can consider a substitute dominant for every dominant chord we can encounter, even for other substitute dominant chords.

For example, the secondary dominant of the Db7 from the previous example is Ab7. If we want to use its substitute dominant instead of the Ab7, we simply go up a semitone from Db, to find the chord D7. We now have one instance where a dominant chord does not resolve a 5th down (or a 4th up) as it's used to, but a semitone down. However, like in the case of the secondary dominant, there can be instances where the substitute dominant does not resolve at all, as well.

0.12.3 The Relevant Two

Next we are going to talk about the Relevant Two, what it means and when its used. To understand the use of the relevant two we need to establish the concept of cadences.

A cadence is a progression of two or more chords that concludes a phrase, section, or piece of music [3]. The core building block of modern music and especially jazz music, is the II-V7-I cadence. It is the most common way that we can resolve a chord progression to the I chord, whatever that chord may be. The I chord can be the actual first chord of a scale's chord set, or it can be any other chord that we, for a brief fragment of the song, consider a I in a II-V7-I setting. An easy example is the one that we used to explain the Secondary Dominant chord. In that case, we had the Dm7 and its Secondary Dominant, the A7. These two chords are equivalent to the V (A7) and the I (Dm7) of a II-V7-I cadence. The II of that specific cadence, can be any E chord that exists in a D scale chord set. That means it can be either an Em7 or an Em7(b5). So, both the Em7-A7-Dm7 and Em7(b5)-A7-Dm7, are considered II-V7-I cadences.

So, now that we know what the two means in general, its time to talk about the Relevant Two. In many cases, instead of the actual V7 of the I chord in the cadence, we use its Substitute, as previously discussed. In the case that the I is a Cmaj7 chord, the substitute (subV7/I) is a Db7 chord. That provides us some more options as far as what the II chord of the cadence can be. The first option is to use the actual II of Cmaj7, which would be either Dm7 or Dm7(b5). The second option is to use the chord that would be the II, if the Db7 chord was the actual V, instead of a substitute. This is the chord Abm7 (or Abm7(b5)) and it is called the *Relevant Two* of Cmaj7.

By extending this rule, we can analyze any non diatonic chord that plays the part of the II in a II-V-I type cadence, as a Relevant II. That chord has to be either a *m7* chord or a *m7(b5)* chord.

0.12.4 Non-Diatonic Diminished Chords

In the last part of this music harmony overview we are going to mention the various kinds of non-diatonic diminished chords. Previously, when talking about the harmonic minor chord set, we encountered the chord VIIIdim7, which we characterized as a diminished chord. This chord is the only diatonic diminished chord that key can have. However, when analyzing songs, we come across a number of different diminished chords, that do not fit the previous analysis.

Sometimes, that might indicate an upcoming key change. But there are certain diminished chords that even though they don't strictly belong in a certain key, can be used to play the part of a dominant chord, or to just add some tension to the harmony of the piece. Below, we are going to list these chords using their degree numbers, before providing an example.

The non-diatonic diminished chords that are valid within a certain key are:

Idim7 - #Idim7 - #IIIdim7 - bIIIdim7 - #IVdim7 - Vdim7, #Vdim7 - bVIdim7

If we were in the key of C major, the valid non-diatonic diminished chords would be:

Cdim7 - C#dim7 - D#dim7 - Ebdim7 - F#dim7 - Gdim7, G#dim7 - Abdim7.

That concludes the music harmony background needed to understand the topic of the next chapter of this paper, the procedure of harmonic analysis that was used in the songs of our dataset.

The Dataset

0.13 Dataset Overview

In this section we take a closer look at the proposed dataset. We examine the source from which the songs included in the dataset come from, the Real Book of Jazz, along with providing the reasoning behind the non-inclusion of certain songs into the dataset. After that, we provide specific examples that demonstrate the harmonic analysis process.

0.13.1 The Real Book of Jazz

The Real Book of Jazz is a compilation of music sheets for the most known and performed songs of the jazz repertoire, often referred to as *jazz standards*. There have been several versions of the Real Book, each one containing all the songs that existed in the previous versions, along with some new ones. The first book, that was created by two students attending the Berklee College of Music, was a bootleg created with the purpose of helping musicians practice these standard tunes that had never been transcribed in the form of lead sheets before. Its popularity grew so rapidly, that it quickly became a staple for all jazz musicians, before finally becoming an official publication[1].

This dataset is a collection of songs that exist in the Real Book of Jazz Volume 5, which is a superset of all the other versions. It contains lead sheets for 443 jazz standards, meaning chords for each one of the songs, along with the basic melody. Our next step is to show the criteria based on which we included a certain song in our final dataset.

0.13.2 The Criteria

To clarify the criteria for the song selection, we have to establish what we are looking for when analyzing a song harmonically. Our goal is to distinguish the various tonic centers that can exist in a song, in a way that the result that we provide as an input contains valuable harmonic context. It is very important for our current practices, to try to approach the human perception of harmonic context as best as possible. Keeping that in mind, we based our song selection and analysis on the following criteria.

First of all, we had to eliminate songs that don't comply with conventional harmonic practices. In these cases, the songs that we refer to are not written in a way that gives the listener the sense of a tonic center in the first place. Trying to alter that by analyzing them with the tools that we described in the previous chapter, would introduce great ambiguity in the results during the testing stage. It is important to not confuse these cases with the ones that a song passes through a number of distinct tonic centers. In the

latter, we might not be able to consider a certain key as a global key of the song, but the transitions between the various local keys provide valuable information to our experiment. That brings us to the second guideline we followed while compiling this dataset, the sensitivity of our analysis towards possible key changes or any form of alteration to a tonic center.

As we mentioned before, the nature of harmonic analysis as a concept, makes it vulnerable to a certain amount of ambiguity. The principle we base our harmonic analysis on in the first place, is based on approaching the listener's perception of tonic centers. The human ear often needs a certain amount of time to perceive a harmonic movement as a key change, and so some key changes that happen very briefly in the course of a song, cannot be classified as such, because of their duration and the harmonic context around them. On the other hand, similarities between the chords in neighboring keys, might omit some, valuable to the harmonic context, key changes. That's why when examining each song, we made sure to apply the right amount of sensitivity on possible modulations and take into account the performative aspect of these songs as well, which is ultimately the most reliable way to showcase their harmonic context.

Approaching the initial dataset with this mindset, led us to the final, reduced, form of the Real Book of Jazz Key Estimation dataset. This form contains a total of 260 songs, all of them harmonically analyzed, with specific tags indicating the key, or keys, of the song, the measure where that key is introduced, and its own .wav file with a performed recording of the song. We will now demonstrate the harmonic analysis process described above providing four characteristic test cases, drawn from our dataset.

0.14 Test Cases

In this coming section we will be focusing on the harmonic analysis of four songs in the dataset. This demonstration of our procedure acts as a reference for the way the entire dataset was analyzed. The structure of our analysis will be the following. First we will provide a lead sheet of the song along with the scale degree numbers that derive from our analysis. These lead sheets are taken from the Real Book of Jazz that we mentioned above. Then we are going to explain the reasoning behind our harmonic analysis, for each one of the songs chords. after that, we are going to provide the same lead sheet, with the various tonic areas of the song, marked, in the way that they can also be found in our dataset tags. So, let us start with the first test case.

0.14.1 Song Case: There will never be another you

The first song we are going to take a look into is the song *There will never be another you* (0.14.1), originally written by Harry Warren and Mack Gordon.

To start off, we state some observations regarding the lead sheet, that may be proven valuable in our analysis. The fact that the song's first and last chord is an Eb major, strongly indicates that the key of Eb major plays a central role in the piece. This is not always the case, as this one specific chord can imply a number of different keys, but it is always a good starting point. For reference, we will provide the chord set of the Eb major scale as well as the Eb minor chord sets as they will prove to be useful in our analysis:

Eb major: Ebmaj7 - Fm7 - Gm7 - Abmaj7 - Bb7 - Cm7 - Dm7(b5)

Eb natural minor: Ebm7 - Fm7(b5) - Gbmaj7 - Abm7 - Bbm7 - Cbmaj7 - Db7

There will never be another you

The lead sheet for "There will never be another you" is presented in 4/4 time with a key signature of two flats (Bb and Eb). The music is organized into eight staves, each containing a melodic line and corresponding chord symbols above and below the staff. Roman numeral analysis is provided below the chord symbols.

Staff 1: Ebmaj7 (Imaj7), Ebmaj7 (Imaj7), D-7b5 (VII-7b5), G7b9 (V7/VI)

Staff 2: C-7 (VI-7), C-7 (VI-7), Bb-7 (V-7), Eb7 (V7/IV)

Staff 3: Abmaj7 (IVmaj7), F-7b5 (II-7b5), Bb7 (V7), Ebmaj7 (Imaj7), C-7 (VI-7)

Staff 4: F7 (V7/V), C-7 (VI-7), F7 (V7/V), F-7 (II-7), Bb7 (V7)

Staff 5: Ebmaj7 (Imaj7), Ebmaj7 (Imaj7), D-7b5 (VII-7b5), G7b9 (V7/VI)

Staff 6: C-7 (VI-7), C-7 (VI-7), Bb-7 (V-7), Eb7 (V7/IV)

Staff 7: Abmaj7 (IVmaj7), F-7b5 (II-7b5), Bb7 (V7), Ebmaj7 (Imaj7), G-7 (III-7), C7 (V7/II)

Staff 8: Ebmaj7 (Imaj7), D7 (V7), G7 (V7), C7 (V7/II), F-7 (II-7), Bb7 (V7), Eb (I)

Figure 0.14.1: There will never be another you lead sheet

Eb harmonic minor: Ebm(maj7) - Fm7(b5) - Gbmaj7(#5) - Abm7 - Bbm7 - Cbmaj7 - Ddim7

Eb melodic minor: Ebm(maj7) - Fm7 - Gbmaj7(#5) - Ab7 - Bbm7 - Cm7(b5) - Dm7(b5)

So, based on the previous statement, we start off by characterizing the Ebmaj7 chords in the beginning of the tune, as Imaj7. Moving on to the third bar, we find another diatonic to the key of Eb major chord, the Dm7(b5), which we can easily identify as the VIIIm7(b5). The next chord is a dominant chord, a G7b9. Note here that the b9, is called a *chord extension*, and it is an extra note added to the chord, to provide further harmonic tension. In this particular case, the extension refers to the 9th of the chord, which is located one octave and one note above the chord's root, G. So, in the case of G7, the b9 is the note Ab. The possible extensions that a chord can have, are on its 9th, its 11th and its 13th note. The addition of an extension, does not change the harmonic functionality of the chord. So, returning to our example, we treat the G7b9 chord exactly like we would treat a G7 chord. We can easily see that the G7 chord doesn't appear in any of the Eb diatonic chord sets. However, since it is a dominant chord, we suspect that it could be a Secondary or a Substitute Dominant, so we look further to figure out any relation between the G7 and one of its successor chords. Next up we encounter a Cm7 chord, a diatonic chord to the key of Eb major, more specifically the VIIm7. Analyzing the Cm7 as the VIIm7, brings us to a realization about the G7b9 we encountered earlier. Being a dominant chord that exists a 5th up of Cm7, G7b9 is identified as a Secondary Dominant to the Cm7, so it is labeled as V7/VI.

Moving further on, we see another Cm7, which we label as the VIIm7 again. The Bbm7 that exists in bar number 7 is the Vm7 from the Eb natural minor chord set. For the next 2 chords we follow the same logic that we did for bars 4 and 5. Given that Eb7 is a non diatonic chord in the key of Eb, we suspect it being a Secondary or Substitute Dominant to another chord. For it to be a secondary dominant, we would have to encounter a Ab chord after it, and for it to be a Substitute we would have to come across a D chord. We, indeed, find the next chord to be a Abmaj7 chord, the IVmaj7 of the Eb major chord set, so that makes the Eb7 the V7/IV. The three chords that follow, are a typical example of a II-V-I cadence in the key of Eb major. We have Fm7(b5) being the IIm7(b5) from the Eb natural minor chord set, the Bb7 being the V7 from the major chord set and the Ebmaj7 as the one, as we have already established. The next non identified chord that we encounter is in bar 13, and it is an F7 chord. Being a non diatonic dominant chord, we suspect it being a secondary or substitute dominant. However, the next chord, Cm7, does not meet the criteria of a successor to F7. Taking a look at the next 2 bars we see a Bb7 chord, that is in fact a 4th up from the F7 chord in bar 13. This is actually a very common practice, delaying the resolution of a dominant chord by 1 or 2 bars. So since the Bb7 is the V7 of the Eb major key, that F7 refers to the V7 through the function of a Secondary Dominant (a 5th up from Bb7). That applies to the F7 chord in bar 14 as well. As far as the Fm7 chord in bar 15, we can easily find it out to be a IIm7 from the major key chord set. That concludes the first 16 bars of the song.

Moving on the the second half of the lead sheet, we see that bars 17-27 are a repetition of bars 1-11, so no further analysis is needed in that part of the song. Moving on to bar 28, we have a Gm7 chord followed by a C7 chord. The Gm7 chord can easily be labeled as a IIIIm7, as it is diatonic. As far as the C7, we can only consider it to be a Secondary Dominant to the II, which is F (V7/II), despite the fact that its successor is not an F chord. There are several reasons to this. First of all, it is easy to verify that C7 is not one of the diatonic dominant chords of the current key. Also, it cannot be considered a substitute dominant, because that would make it a substitute dominant to a B chord, which can not occur in the key of Eb major, neither as a diatonic chord nor as a borrowed non diatonic one. For a C7 chord to be a substitute dominant, it

would have to signify a key change, and that statement is not supported from the fact that the first chord of the next bar, is an Ebmaj7 chord. So that leaves the Secondary Dominant as the only available option. The F chord that we would be looking for after the currently examined C7, can, in fact, be found in bar 31. This is a similar occasion to bars 13-16, where we have a belated resolution of a dominant chord. In fact, the entire chord progression that goes on in bars 28-30 can be considered an extended lead-up to that Fm7 chord that we find in bar 31. More specifically, in bar 28 we have the first two chords of a II-V-I cadence with Fm7 serving as the local I. Furthermore, in bars 29 and 30 we have the D7-G7-C7 progression, which is a chain of consecutive Secondary Dominants, that resolves to the same Fm7 chord. So the only thing that remains are the Bb7 and Eb chords at the end of the song, which pretty easily can be labeled as the V7 and the Imaj7.

That concludes the harmonic analysis of the song. We saw most of the concepts we described in the harmony background chapter, in a more practical way. In this particular occasion, we did not encounter any key changes, so we conclude that the entire song is in the key we assumed in the beginning, the key of Eb major. For reference we provide the same lead sheet, with the tonic centers of the song pointed out in figure [0.14.2](#). With the green color, we have the tonic center of Eb major. We will now move on to our next example.

There will never be another you

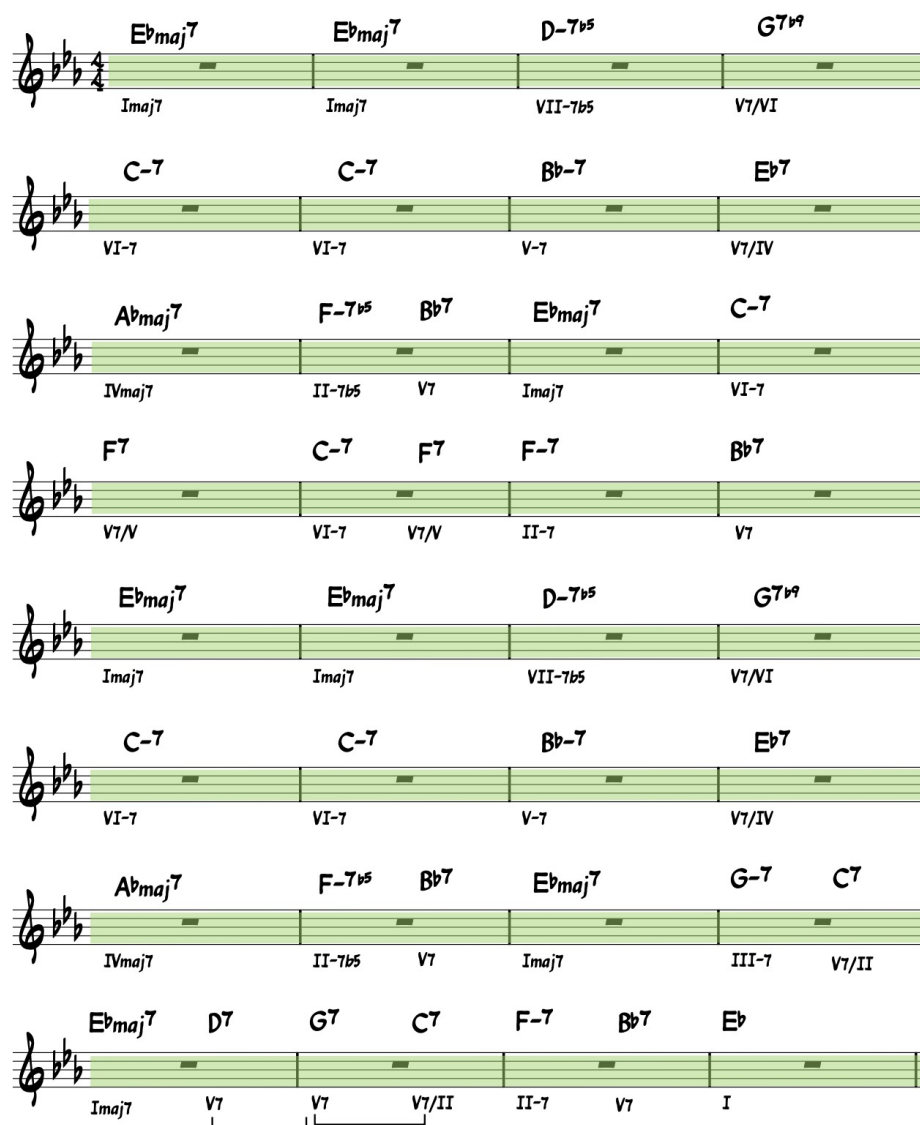


Figure 0.14.2: There will never be another you tonic centers

0.14.2 Song Case: Triste

The second song we are going to use as a test case is the song Triste (0.14.3), originally written by Antônio Carlos Jobim.

Triste

The lead sheet for "Triste" consists of 10 staves of music, each with a treble clef and a key signature of two flats (Bb). The chords and Roman numerals for each staff are as follows:

- Staff 1: Bb, Bbmaj7, Gbmaj7, B7
- Staff 2: Bb, Bbmaj7, D-7, G7b9
- Staff 3: C-7, A-7, D7, G-7, A7
- Staff 4: Dmaj7, E-7, A7, D-7, G7, C-7, F7
- Staff 5: Bb, Bbmaj7, Bb-7, Eb7
- Staff 6: Bb, Bbmaj7, F-7, Bb7
- Staff 7: Ebmaj7, Ab7, D-7, G-7, C7
- Staff 8: C-7, F7, Bb-7, Eb7, Bb-7, Eb7
- Staff 9: (Empty staff)
- Staff 10: (Empty staff)

Figure 0.14.3: Triste lead sheet

Starting off like we did in our previous example, we see that the first two chords of the song are Bb and Bbmaj7. The same is true about bars 5 and 6 as well. This is a strong indicator that the song starts off in the key of Bb major, so based on that we can start our analysis. We will provide the chord sets for the keys of Bb major and Bb minor:

Bb major: Bbmaj7 - Cm7 - Dm7 - Ebmaj7 - F7 - Gm7 - Am7(b5)

Bb natural minor: Bbm7 - Cm7(b5) - Dbmaj7 - Ebm7 - Fm7 - Gbmaj7 - Ab7

Bb harmonic minor: Bbm(maj7) - Cm7(b5) - Dbmaj7(#5) - Ebm7 - Fm7 - Gbmaj7 - Adim7

Bb melodic minor: Bbm(maj7) - Cm7 - Dbmaj7(#5) - Eb7 - Fm7 - Gm7(b5) - A7(b5)

Drawing from the previous statement, we label the chords on bars 1 and 2, I and Imaj7 accordingly. Next we look at the Gbmaj7 chord in bar 3, which is a bVIImaj7, borrowed from the Bb natural minor key provided above. Then we see the chord B7, which is not part of a key of Bb so, given that it is a dominant chord, we look in the following bars to determine if it can be considered a secondary or substitute dominant, or we have a potential key change incoming. As we previously mentioned, the chords on bars 5 and 6 are Bb and Bbmaj7, which we already know are the I and Imaj7, so there is no new key being established here. Furthermore, the fact that it is a non diatonic dominant chord, that resolves a semitone down (to the song's I chord) fit the description of a substitute dominant, so we label it subV7/I. Moving on to bar7, we have a Dm7 chord which we easily find out to be a IIIm7 chord. Then, we have another non diatonic dominant chord, G7b9 that resolves on a Cm7 in bar 9. The distance between C and G is a fifth, so G7b9 is a secondary dominant of Cm7, or a V7/II, Cm7 being the IIm7. We now shift our focus on the next 2 bars. We have a Am7 - D7 - Gm7 sequence. The Gm7 is a diatonic chord (VIm7) and D7 is its fifth, making it a secondary dominant of Gm7 (V7/VI). However, the Am7 chord is nowhere to be found in the Bb chord sets. This is a good example to demonstrate the use of the relative II. If we consider the Gm7 a I for the brief fragment of bars 10 and 11, that makes the D7 the V and the Am7 the II, of this II-V-I cadence. So in the general context of the song, that Am7 acts as a relative II of the Gm7 chord. We label it with a II in parenthesis and move on to bars 12 and 13 for another demonstration of a valuable harmonic phenomenon.

In bar 12 we have a non diatonic dominant chord, the chord A7. We follow the same train of thought that we follow in these situations, checking the next bar or bars, to find a potential resolution of the chord. In bar 13, we find a D chord, whose 5th is in fact A7, so our first thought is that this A7 is a secondary dominant and more specifically, the V7/III, given that D is the third degree of the Bb major scale. But that D chord that exists in the Bb major chord set is a Dm7 chord, and in that instance we have a Dmaj7 chord, which is completely non diatonic. Furthermore, looking at the common non diatonic borrowed chords, there is not an instance of a IIIImaj7 to be found in that list. So the only remaining analysis for that Dmaj7, is that in bar 13 of this song, we have a modulation to the key of D major. This means that the previous chord, A7, has a functionality both in the key of Bb major (V7/III) and the key of D major (V7). That makes it serve as a pivot chord between the 2 different keys. In our analysis we note the fact that A7 has a functionality in both Bb major and D major and we move on, now considering the I to be Dmaj7. The chord sets of the key of D are the following:

D major: Dmaj7 - Em7 - F#m7 - Gmaj7 - A7 - Bm7 - C#m7(b5)

D natural minor: Dm7 - Em7(b5) - Fmaj7 - Gm7 - Am7 - Bbmaj7 - C7

D harmonic minor: Dm(maj7) - Em7(b5) - Fmaj7(#5) - Gm7 - Am7 - Bbmaj7 - C#dim7

D melodic minor: Dm(maj7) - Em7 - Fmaj7(#5) - G7 - Am7 - Bm7(b5) - C#7(b5)

Moving on to bar 14, we have a Em7 chord and a A7 chord. This is a fairly easy identification, since we have a standard II-V in the key of D major, Em7 being the IIm7 and A7 being the V7. In the next bar we have a Dm7 chord and a G7 chord. At first we easily identify them as a Im7 chord, borrowed from the D natural minor chord set, and a IV7 chord, borrowed from the melodic minor chord set. The analysis gets tougher when we reach the next bar, which includes a Cm7 and a F7 chord. We can easily check that there is no instance of Cm7 in any of the chord sets in the key of D, and that also applies for the chord F7 as well.

There is also no instance of a $bVIIIm7$ (for the $Cm7$) in the common modal interchange borrowed chords that we talked about. We can always label the $Cm7$ as a relevant II and the $F7$ as the V7 of an upcoming chord, so we check the chord that comes next on bar 17. We see that the chords that come in bars 17, 18 and 19 are all Bb chords. We have Bb , $Bbmaj7$ and $Bbm7$. The first two chords do belong in the key of D from its harmonic minor chord set, but the third one does not. But to be completely correct, we have to take a look at the bigger picture here.

We have a song that originally is in Bb major and at some point modulates to the key of D major. With the key of D major established, we come across a progression that can be analyzed in the key of D major on one hand, but on the other hand, it is also the most characteristic establishment of the key of Bb major (the initial key of the song) we can have, given that it is a II - V - I cadence to a Bb major chord. Add to that, the fact that the Bb major chords in bars 17 and 18 are introduced in the same way they are introduced in the beginning of the song, where the Bb major key is being established for the first time. All this point out to the fact that we probably have a second key change, reverting to the original key of the song, the Bb major key. If we go one step further, and wonder where that modulation is actually taking place, we are forced to make a decision on when does the key of Bb major actually takes over. An initial opinion would be to consider bar 17 the start our new key. Though that is not an entirely inaccurate opinion, if we actually listen to the chord progression from bar 15 to bar 17, it becomes clear that the key of Bb major is actually established at bar 16. This is because of the fact that the II - V - I cadence that happens in these bars, has such characterization value, that our ear is already implying the Bb major chord before that chord even occurs. So if we consider bar 16 the the point where the modulation happens, we can see if bar 15 has functionality in both keys, the same way that bar 8 did. Indeed, we find out that the chords $Dm7$ - $G7$ can either function in the key of D major ($Im7$ - $IV7$) or in the key of Bb major ($IIIIm7$ - $V7/II$). So to finalize this part of the analysis, we have bar 15 as the pivot bar, and a modulation to the key of Bb major in bar 16.

The first 3 bars after the modulation are pretty easy to analyze. We have the I, the $Imaj7$ and the $Im7$ from the natural minor chord set. Following, we have an $Eb7$ chord that is the $IV7$, borrowed from the melodic minor chord set and another 2 bars of Bb major. On bar 23 we have an $Fm7$, which is the $Vm7$ from the minor chord sets. Next, we encounter a $Bb7$ resolving a 4th up to an $Ebmaj7$, which is the IV of Bb major. That makes $Bb7$ a secondary dominant to the fourth of the key, analyzed as $V7/IV$. The $Ab7$ that we see next is the $bVII7$ that comes from the Bb natural minor chord set and on the next bar we have a $Dm7$ which is the $IIIIm7$ and a $Gm7$ which is the $VIIm7$. The $C7$ in bar 28 may not resolve intantly, given that it is succeeded from a $Cm7$ ($IIm7$), but it has a belated resolution on bar 30, a fourth up to $F7$ which is the $V7$ of the key. So we analyze $C7$ as the $V7/V$, a secondary dominant resolving to the V of the key. To end our analysis of this song, for the last 4 meters we have the chords $Bbm7$ and $Eb7$ which have already been identified earlier ($Im7$ - $IV7$). We see that the song does not end in the I chord of its key, but that does not play a part on our perception of the tonic centre, rather it is only an indicator when it actually happens.

That completes the harmonic analysis of the song, Triste. On figure [0.14.4](#), we provide an overview of the analysis with the tonic centers pointed out. With green we have the Bb major key and with red we have the D major key.

Triste

Figure 0.14.4 displays the tonic centers for the song "Triste". The chart shows the progression of chords and their corresponding Roman numerals across ten staves. The chords are primarily in the key of B-flat major, with some chromatic alterations and secondary dominants. The Roman numerals indicate the scale degrees and functional roles of the chords.

Staff	Chord	Roman Numeral
1	B $\flat$	I
2	B $\flat$ maj7	Imaj7
3	G $\flat$ maj7	bVIImaj7
4	B7	subV7/I
5	B $\flat$	I
6	B $\flat$ maj7	Imaj7
7	D-7	III-7
8	G7 $\flat$ 9	V7/II
9	C-7	II-7
10	A-7	(II)
11	D7	V7/VI
12	G-7	VI-7
13	A7	B $\flat$: V7/III, D: V7
14	Dmaj7	Imaj7
15	E-7	II-7
16	A7	V7
17	D-7	D:I-7, B $\flat$:III-7 D:IV7, B $\flat$:V7/II
18	G7	II-7
19	C-7	V7
20	F7	
21	B $\flat$	I
22	B $\flat$ maj7	Imaj7
23	B $\flat$ -7	I-7
24	E $\flat$ 7	IV7
25	B $\flat$	I
26	B $\flat$ maj7	Imaj7
27	F-7	V-7
28	B $\flat$ 7	V7/IV
29	E $\flat$ maj7	IVmaj7
30	A $\flat$ 7	bVII7
31	D-7	III-7
32	G-7	VI-7
33	C7	V7/V
34	C-7	II-7
35	F7	V7
36	B $\flat$ -7	I-7
37	E $\flat$ 7	IV7
38	B $\flat$ -7	I-7
39	E $\flat$ 7	IV7

Figure 0.14.4: Triste tonic centers

0.14.3 Song Case: Have you met miss Jones

The next song that we are going to analyze is the song *Have you met miss Jones* (0.14.5) written by Richard Rodgers and Lorentz Hart.

Like in the previous test cases, our first course of action is to check the first and last chord of the given lead sheet 0.14.5. Since both of them are a Fmaj7 chord we are going to assume that the piece starts at the key of F major. Below we provide the chord sets of the key of F major:

F major: Fmaj7 - Gm7 - Am7 - Bbmaj7 - C7 - Dm7 - Em7(b5)

F natural minor: Fm7 - Gm7(b5) - Abmaj7 - Bbm7 - Cm7 - Dbmaj7 - Eb7

F harmonic minor: Fm(maj7) - Gm7(b5) - Abmaj7(#5) - Bbm7 - Cm7 - Dbmaj7 - Edim7

F melodic minor: Fm(maj7) - Gm7 - Abmaj7(#5) - Bb7 - Cm7 - Dm7(b5) - E7(b5)

So, we easily mark the chord on bar 1 as, Imaj7. Moving on, on bar 2, for the first time in this chapter, we find a diminished 7 chord. Looking at the Chord sets provided above, we see that F#dim7 is not the diatonic diminished chord of the key F major, since that chord is Edim7. But if we remind ourselves of the list of non-diatonic diminished chords that can be used in a key, we find that F#dim7 is the #Idim7 chord, and that it is a valid non diatonic diminished chord in the key of F major. On bars 3-6 we have several diatonic to the key of F major chords, that follow pretty standard chord progression movements. The II (Gm7) goes to the V (C7), giving the feel of a II-V-I cadence, but instead of resolving the cadence, we arrive at a diatonic IIIIm7 and after a VIm7. Then, on bars 7 and 8, we have another II-V connection, this time its a Cm7, which is a Vm7 from the natural minor chord set and a F7 which is a secondary dominant (V7/IV) of the Bbmaj7 chord that comes next, on bar 9.

Moving on to bar 9, we start having some decisions to make. Obviously the Bbmaj7 chord is a diatonic chord in the key of F major (IVmaj7) and perfectly completes the II-V-I cadence that started in bar 7. But looking further into the piece, we can see several maj7 chords occurring every 2 measures between bars 9 and 15. Although some of them (the Bbmaj7 and the Gbmaj7) are in fact diatonic to the key of F major, there are some issues that need resolving. First of all, we have a Dmaj7 chord that is neither diatonic nor is one of the valid modal interchange chords that we are talked about on chapter 3.3. Second, and most importantly, if we actually listen to the song along with its melody, every 2 measures, or everytime we fall on a maj7 chord, we get a sense of stability in the harmony, that is also supported by the melody. That is a strong indicator that we are moving through several keys in that specific progression. That harmonic motion, where several tonic centers are being established through consecutive II-V-I cadences, is in fact very common in jazz music. In that specific example we are passing by 3 different keys, the keys of Bb major, Gb major and D major. Each key is being established with a II-V before resolving to the I. Note here that in our case, all three tonic centers have a distance of a major third (2 whole tones). These consecutive modulations between keys with that harmonic relationship are often mentioned as "Coltrane changes", due to them becoming popular from the famous jazz artist, John Coltrane. It is important to clarify that, to say that the Bbmaj7 on bar 9 is just the IVmaj7, and the modulations start from the next bar, would not necessarily be a wrong interpretation of the harmony. But given the harmonic context before and after that specific measure, along with the general movement of the progression, it is preferable that we analyze it as such. The final analysis of this particular part of the song, and the whole piece in general is available of figure 0.14.6.

Have you met miss Jones

The lead sheet for "Have you met miss Jones" is presented in 4/4 time, spanning six systems of four measures each. Each measure contains a chord symbol above the staff and a Roman numeral below it. Curved lines connect chords across measure boundaries to indicate harmonic flow.

System 1: Fmaj7 (Imaj7), F#o7 (#Idim7), G-7 (II-7), C7 (V7).

System 2: A-7 (III-7), D-7 (VI-7), C-7 (V-7), F7 (V7/IV).

System 3: Bbmaj7 (Imaj7), Ab-7 (II-7), Db7 (V7), Gbmaj7 (Imaj7), E-7 (II-7), A7 (V7).

System 4: Dmaj7 (Imaj7), Ab-7 (II-7), Db-7 (V7), Gbmaj7 (Imaj7), G-7 (II-7), C7 (V7).

System 5: Fmaj7 (Imaj7), F#o7 (#Idim7), G-7 (II-7), C7 (V7), Bb7 (IV7).

System 6: A-7 (III-7), D7 (V7/II), G-7 (II-7), C7 (V7), Fmaj7 (Imaj7), Fmaj7 (Imaj7).

Figure 0.14.5: Have you met miss Jones lead sheet

Have you met miss Jones

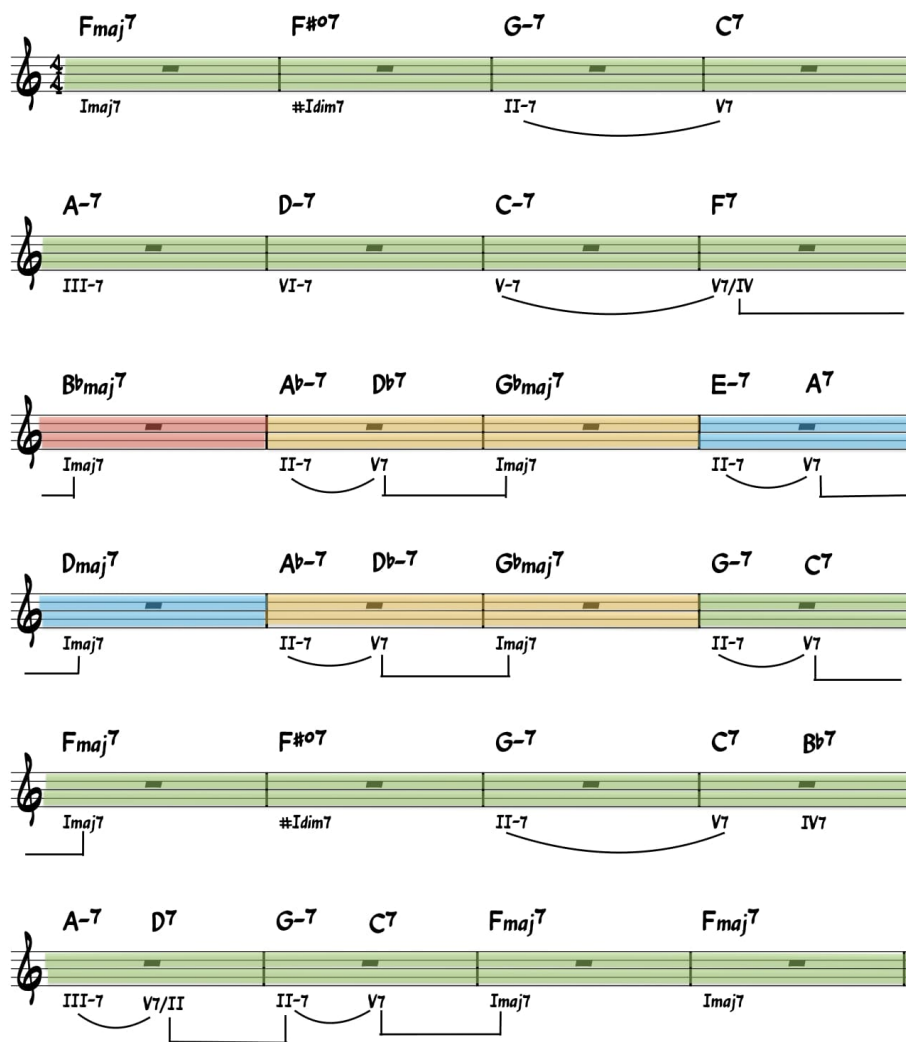


Figure 0.14.6: Have you met miss Jones tonic centers

Recordame

The lead sheet for 'Recordame' consists of five systems of musical notation. Each system is a single staff with a treble clef, a horizontal line, and a chord symbol above and below it. The chord symbols are: System 1: A- (Im); System 2: C- (Im), C- (Im), C- (Im), C- (IIIm), F7 (V7); System 3: Bbmaj7 (Imaj7), Bb-7 (IIIm7), Eb7 (V7), Abmaj7 (Imaj7), Ab-7 (IIIm7), Db7 (V7); System 4: Gbmaj7 (Imaj7), G-7 (IIIm7), C7 (V7), Fmaj7 (Imaj7), E7#9 (V7#9); System 5: A- (Im).

Figure 0.14.7: Recordame lead sheet

0.14.4 Song Case: Recordame

In the final test case we are going to present, we will take a look at the analysis of the song *Recordame* from composer, Joe Henderson.

Starting off our analysis, the first thing we notice when we look at the song's lead sheet at figure 0.14.7 is that the first 4 measures have only one chord, which is an Am chord. It is a safe starting point to assume that the song starts in the key of A minor and certainly stays in that key for the entire first 4 bars. For reference, we provide the chord sets of the A minor and major scales:

A major: Amaj7 - Bm7 - C#m7 - Dmaj7 - E7 - F#m7 - G#m7(b5)

A natural minor: Am7 - Bm7(b5) - Cmaj7 - Dm7 - Em7 - Fmaj7 - G7

A harmonic minor: Am(maj7) - Bm7(b5) - Cmaj7(#5) - Dm7 - Em7 - Fmaj7 - G#dim7

A melodic minor: Am(maj7) - Bm7 - Cmaj7(#5) - D7 - Em7 - F#m7(b5) - G#7(b5)

Moving on to bars 5 through 7, where we have 3 consecutive measures of Cm. In the key of A minor, that would be analyzed as a bIII-7, which is a modal interchange from the A locrian mode, as we discussed in chapter 3.3. But due to the amount of time that the chord is being kept for, when actually listening to the song, this change really sounds more like we are just transferring the melody and harmony from the first bars to another key. That key is, of course the key of C minor. So for now, we already have 4 bars of the song being in the key of A minor, and the next 3 bars being in the key of C minor.

Right after that point, we are met with a series of chord changes that is fairly similar to the ones from our previous example, *Have you met miss Jones* 0.14.6. Specifically, between bars 8 and 15, we have a series of maj7 chords that appear every 2 measures. Taking a closer look, we see that each maj7 chord is separated from the next one by the distance of a whole tone, except from the last pair (Gbmaj7, Fmaj7), which is a semitone step. In general, we see a downwards motion in the harmony, occurring every 2 bars, which indicates that we are switching between several tonic centers for brief periods of time. This is, again, happening through consecutive II-V-I cadences. In bar 8 we have the II and the V of Bbmaj7 (Cm and F7), preparing our arrival to the key of Bb major in bar 9. Using the same mechanism, in bar 10 we make our way down a tone from Bb major, to Ab major, through the latter's own II and V (Bbm7 and Eb7). In the exact same way, we go all the way down to the last passing tonic center of this sequence, the F major key in bar 15, whose setup starts off at bar 14 with another II-V progression. As we can see from our 2 previous examples, this downwards, or upwards in other cases, motion through several tonic centers is very common in the genre we are examining. It can be a challenge for an algorithm to capture that harmonic information in the way that a human listener can, especially if there is some ambiguity introduced in the input, like in the case of *Have you met miss Jones*' harmony at the start of its characteristic sequence. This is why providing a dataset that demonstrates that empirical human understanding of the harmonic movements is massively important when it comes to detecting alterations in the tonic center of songs.

To finish off the analysis, in the last 2 measures we make our way back into the original key of A minor, at first setting it up with its fifth (E7#9), and then resolving it to the first of the key, the Am chord. In figure 0.14.8 we can see the final analysis and tonic centers of the song *Recordame*. With light green we have the key of A minor, with red we have the key of C minor, and with yellow, light blue, purple and navy, we have the keys of Bb major, Ab major, Gb major and F major respectively.

We have now encountered every single one of the concepts that we established in the previous chapter. We have also demonstrated realistic instances of the analysis process that we put our dataset songs through. In the next chapter we are going to express the principles we used in chapters 0.8.2 and 0.12.4, to a more concrete way.

Recordame

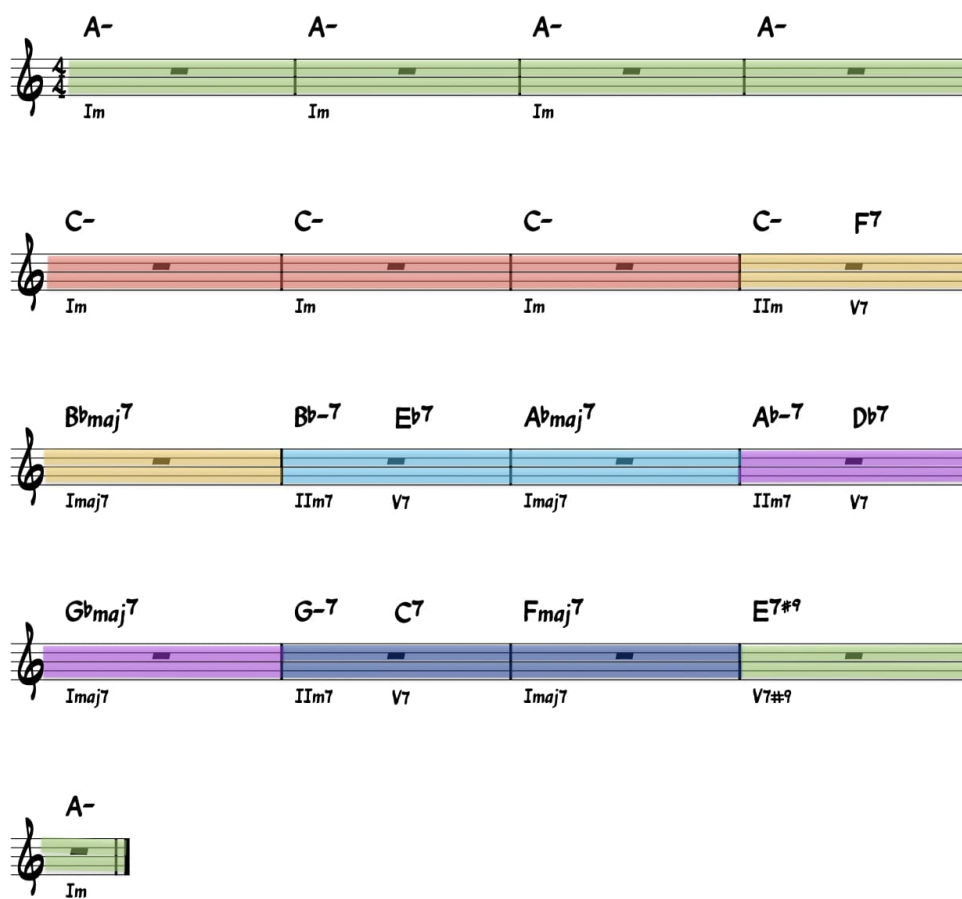


Figure 0.14.8: Recordame tonic centers

The Ontology

In previous chapters we looked into some of the technologies that helped us approach the task of harmonic analysis through the aspect of a music ontology. Along with that, we viewed the set of harmonic rules that we relied upon to harmonically analyze the songs featured in our dataset. We continued by providing some characteristic examples of our analysis, showcasing how the musical background we provided helps us contextualize the harmonic context in these cases. In this chapter we are going to take this a step further, by turning this theoretical background into description logic expressions, in search of an alternative approach to harmonic analysis. We will do that by implementing these expression into a music related ontology, the *Functional Harmony Ontology* [12].

First, we will begin by introducing said ontology, examine its structure, along with some of the main music harmony elements it describes.

0.15 The Functional Harmony Ontology

The Functional Harmony Ontology is a music harmony ontology aimed to the harmonic analysis of chord progressions via reasoning. It offers a description of the theory of modern harmony, through analyzing its chord progressions. This description is done by implementing the OWL2 RL profile [10]. We will examine the way that the harmonic components are described in this ontology, and see how that relates to our analysis in chapter 0.8.2.

One of the main concepts of this proposal, is the way that it describes chords through its use of the *ChordType* class. There is a subclass for each one of the six basic chord types: major, minor, diminished, half-diminished, augmented and suspended. Each subclass, contains are all the chords of that type, that can be defined in functional harmony, expressed through their scale or mode, and degree. For example, in the major chord type, representing the chord Cmaj7, we have all the scale degrees that Cmaj7 participates in. Along with the obvious C Ionian I, this includes many others like the G Ionian fourth, or the C Lydian first. The full list can be seen on figure 0.15.3. This is a very similar logic to the one we used in our music theory background to characterize chords in harmonic analysis, especially with the way it enables the analysis of chords that occur from modal interchange. Referring to chords through their degree and makes it easy to attribute functions to them and contextualize their progressions. This is highlighted even better through the use of the *chord function* class.

As we saw in previous chapters, one of the most crucial concepts of harmonic analysis, is to be able to characterize the chords in terms of functionality. We saw some of the functions a chord can have based on its quality and the harmonic context around it. In the case of this ontology, this concept is described through

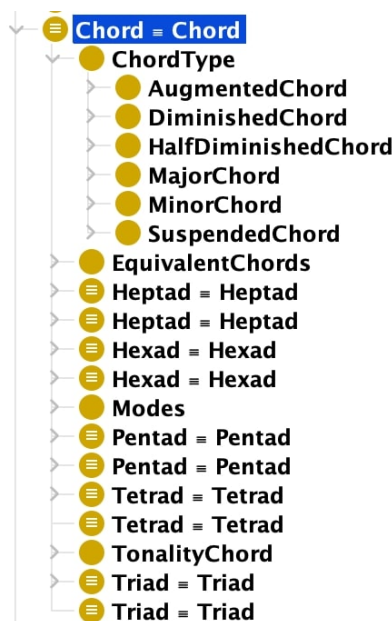


Figure 0.15.1: The Chord class in the Functional Harmony Ontology.

the *chord function* class. Its subclasses are several harmonic functionalities a chord can fulfill. We can see the entire *chord function* class and its subclasses on figure 0.15.4. We see that there are several functions that cover a large part of the harmonic background we provided on chapter 0.8.2. The parallel, relative and parallel relative change classes, cover the occasion of borrowing a chord from the parallel, the relative and the parallel relative key respectively. The subdominant chord function regards chords that are used as the IV or the II, like in the case of the II-V-I cadence. Its extension, the local subdominant, along with the local tonic class, enables us to utilize concepts like the relative II in our analysis, or any other momentary change to the tonic center that is small enough to not inflict a modulation.

The most crucial function that we encounter both in our analysis and in the chord functions' subclasses, is the dominant chord function. At this point the value of dominant chords is pretty evident. It is one of the core building blocks of any progression and, as we have seen, we have many different types of dominant chords, based on where they derive from and what the chord they refer to is. In the instance of the ontology, the *dominant chord function* class includes a number of different occasions that cover most of the dominant chord types we encounter in harmony. The full list of dominant chord function subclasses can be seen at figure 0.15.6. Notice that there are some differences between the dominant chord types displayed in the ontology, and the ones that we described in chapter 0.8.2. For example, we do not see a class for the substitute or secondary dominant chords. There is a local dominant chord function that can serve as an equivalent for some secondary or substitute dominant chords, but it describes only a small number of them. Moreover, it is important to treat these two types as distinct cases and be able to separate them from other dominant chords. These are details that offer much value in harmonic analysis and our capability to identify a certain tonality. So, our next task, is to make the appropriate changes and additions to this ontology, in an effort to increase its descriptive capabilities in terms of harmonic vocabulary.



Figure 0.15.2: Part of the Major ChordType class in the Functional Harmony Ontology.

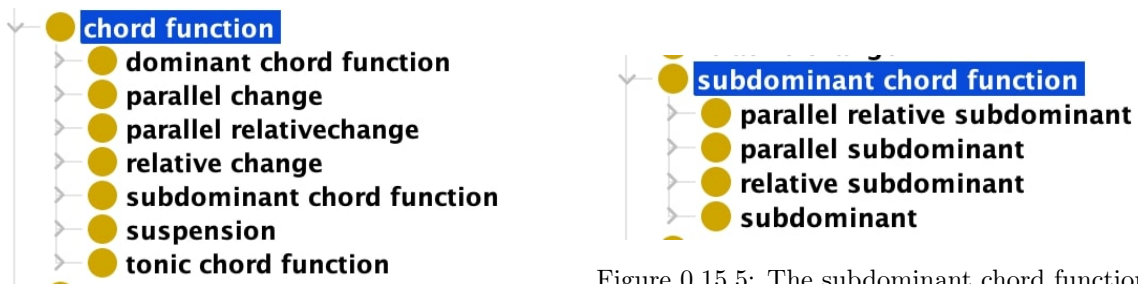


Figure 0.15.5: The subdominant chord function class.

Figure 0.15.4: The chord functions class.



Figure 0.15.6: The dominant chord function class.

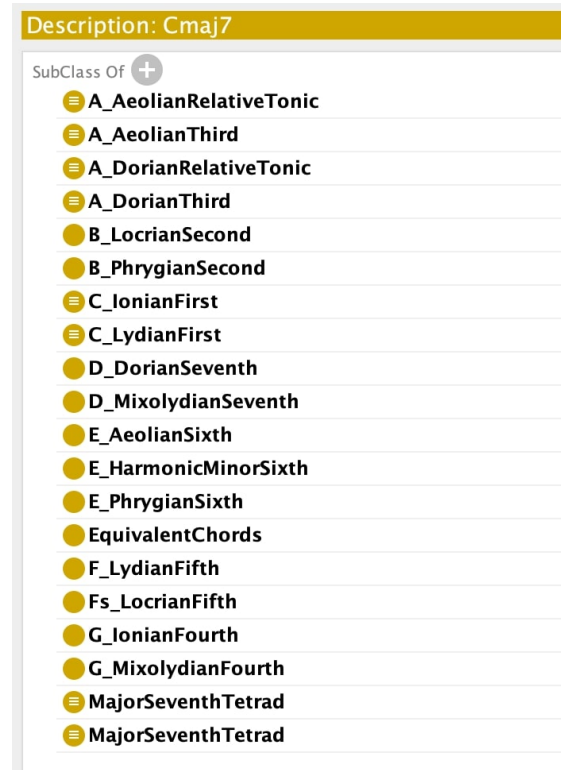


Figure 0.15.3: All the instances of the Cmaj7 chord in Tonal and Modal Harmony, listed in the Functional Harmony Ontology

0.16 Additions and modifications

In this section we are going to talk about any altercations or additions that can be made to the *Functional Harmony Ontology*, to increase our ability to describe harmonic information through it. To achieve that, we are going to utilize the background that we used in our analysis, and throughout our proposed dataset. We are going to transfer the rules that we described and demonstrated on chapters 0.8.2 and 0.12.4, in the form of descriptive language, in the same way that this is done in the ontology.

The first concept that we are going to implement is the Secondary Dominant chord, which was mentioned in section 0.12.1. Based on that, we define the *SecondaryDominant* chord function class and its subclasses, the secondary dominant chords for all possible tonic notes.

Along with that, we define the *SecondaryFifth* chord type class, which acts as an intermediate class, for reasoning purposes.

```
1 class SecondaryDominant(onto.DominantChordFunction): pass
```

Listing 13: The Secondary Dominant chord function class.

```
1
2 class A_SecondaryDominant(onto.SecondaryDominant):
3     equivalent_to = [A_SecondaryFifth & (onto.hasNext.some(onto.A_ParallelTonic))]
4     is_a = [onto.hasTonality.some(onto.A_AeolianTonality), onto.hasTonality.some(onto.
        A_DorianTonality), onto.hasTonality.some(onto.A_LocrianTonality), onto.hasTonality.some(
```

```

    onto.A_LydianTonality), onto.hasTonality.some(onto.A_MixolydianTonality), onto.
    hasTonality.some(onto.A_PhrygianTonality)]

```

Listing 14: The A secondary dominant class.

```

1 class A_SecondaryFifth(onto.MajorChord):
2     is_a = [onto.A_Aeolian, onto.A_Dorian, onto.A_Locrian, onto.A_Lydian, onto.A_Mixolydian,
3             onto.A_Phrygian]
4     is_a = [onto.hasTonality.some(onto.A_AeolianTonality), onto.hasTonality.some(onto.
5             C_IonianTonality), onto.hasTonality.some(onto.G_IonianTonality), onto.hasTonality.some(
6             onto.Bb_IonianTonality), onto.hasTonality.some(onto.E_IonianTonality), onto.hasTonality.
7             some(onto.D_IonianTonality), onto.hasTonality.some(onto.F_IonianTonality)]

```

Listing 15: The A Secondary Fifth chord type class.

```

1 onto.E.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)
2 onto.E11.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)
3 onto.E13.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)
4 onto.E7.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)
5 onto.E7sus2.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)
6 onto.E7sus4.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)
7 onto.E9.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)
8 onto.Esus2.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)
9 onto.Esus4.is_a.append(onto.A_SecondaryFifth)

```

Listing 16: The that can function as an A Secondary Fifth.

The next harmonic element that we are going to implement is the Substitute Dominant [0.12.2](#). In earlier chapters we referred to the substitute dominant as a dominant chord whose root is a semitone up from the chord it resolves to. Based on that, we define the following classes:

```

1 class SubstituteDominant(onto.DominantChordFunction): pass

```

Listing 17: The Substitute Dominant chord function class.

```

1 class A_SubstituteDominant(onto.SubstituteDominant):
2     equivalent_to = [A_SubstituteFifth & (onto.hasNext.some(onto.A_ParallelTonic))]
3     is_a = [onto.hasTonality.some(onto.A_AeolianTonality), onto.hasTonality.some(onto.
4             A_DorianTonality), onto.hasTonality.some(onto.A_LocrianTonality), onto.hasTonality.some(
5             onto.A_LydianTonality), onto.hasTonality.some(onto.A_MixolydianTonality), onto.
6             hasTonality.some(onto.A_PhrygianTonality)]

```

Listing 18: The A substitute dominant chord function class.

```

1 class A_SubstituteFifth(onto.MajorChord):
2     is_a = [onto.A_Aeolian, onto.A_Dorian, onto.A_Locrian, onto.A_Lydian, onto.A_Mixolydian,
3             onto.A_Phrygian]
4     is_a = [onto.hasTonality.some(onto.A_AeolianTonality), onto.hasTonality.some(onto.
5             C_IonianTonality), onto.hasTonality.some(onto.G_IonianTonality), onto.hasTonality.some(
6             onto.Bb_IonianTonality), onto.hasTonality.some(onto.E_IonianTonality), onto.hasTonality.
7             some(onto.D_IonianTonality), onto.hasTonality.some(onto.F_IonianTonality)]

```

Listing 19: The A Substitute Fifth chord type class.

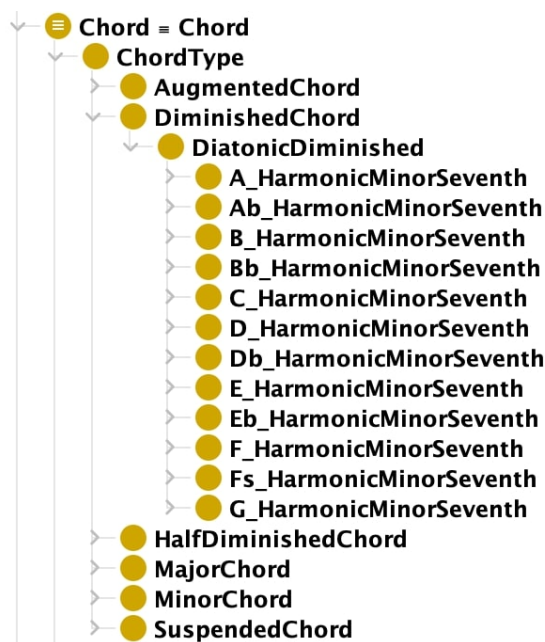


Figure 0.16.1: Diminished chords as presented in the functional harmony ontology.

```

1 onto.Bb.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)
2 onto.Bb11.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)
3 onto.Bb13.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)
4 onto.Bb7.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)
5 onto.Bb7sus2.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)
6 onto.Bb7sus4.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)
7 onto.Bb9.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)
8 onto.Bbsus2.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)
9 onto.Bbsus4.is_a.append(onto.A_SubstituteFifth)

```

Listing 20: The that can function as an A Substitute Fifth.

Finally, the last addition to the ontology is the inclusion of the *Non-Diatonic Diminished* chords (0.12.4). The diminished chord that is defined in the initial version of this ontology is the one of the seventh degree of the harmonic minor scale, making it the only diatonic diminished chord. We can see how this is presented in the ontology on figure 0.16.1.

In order to include the non-diatonic diminished chords for each key, we follow a similar procedure to our previous additions. First we create the *NonDiatonicDiminishedChord* chord type class:

```

1 with onto:
2     class NonDiatonicDiminished(onto.DiminishedChord): pass

```

Listing 21: The Non-Diatonic Diminished chord class.

Then we define a non-diatonic diminished chord type for every note, along with the tonalities it can function in. For example, for the non-diatonic diminished chords that participate in the keys of A, we have:

```

1 class A_NonDiatonicDiminished(onto.NonDiatonicDiminished):
2     subclass_of = [hasTonality.some(A_AeolianTonality) &

```

```

3         hasTonality.some(A_DorianTonality) &
4         hasTonality.some(A_HarmonicMinorTonality) &
5         hasTonality.some(A_IonianTonality) &
6         hasTonality.some(A_LocrianTonality) &
7         hasTonality.some(A_LydianTonality) &
8         hasTonality.some(A_MixolydianTonality) &
9         hasTonality.some(A_PhrygianTonality)]

```

Listing 22: The A_NonDiatonicDiminished chord type class and its tonalities.

Finally, we append the non-diatonic diminished chord type to the chords that belong in the list mentioned in section 0.12.4, for each tonic key.

```

1 with onto:
2   Adimb7.is_a.append(A_NonDiatonicDiminished)
3
4   Asdimb7.is_a.append(A_NonDiatonicDiminished)
5
6   Bsdimb7.is_a.append(A_NonDiatonicDiminished)
7
8   Cdimb7.is_a.append(A_NonDiatonicDiminished)
9
10  Dsdimb7.is_a.append(A_NonDiatonicDiminished)
11
12  Edimb7.is_a.append(A_NonDiatonicDiminished)
13
14  Esdimb7.is_a.append(A_NonDiatonicDiminished)
15
16  Fdimb7.is_a.append(A_NonDiatonicDiminished)

```

Listing 23: The non-diatonic diminished chords for the keys of A.

That concludes the additions that were made to the Functional Harmony Ontology. Next we will see how these additions help us detect the key of the songs used in our test cases in the previous chapter.

0.17 Test Cases

In this section we will look into the process that we followed, to test the key detection capabilities of the Functional Harmony Ontology, after the additions that we made. To do that we will create a semantic graph database which we will query using SPARQL.

First of all, we have to make sure that we convert the lead sheets of the songs to be analyzed to OWL format. This can be done using the hasNext, and hasPrevious object properties in the following way:

```

1 <rdf:Description rdf:about="file://onto.owl#chord_02_Ebmaj7">
2   <rdf:type rdf:resource="file://onto.owl#Ebmaj7"/>
3   <ns1:hasPrevious rdf:resource="file://onto.owl#chord_01_Cm7"/>
4   <ns1:hasNext rdf:resource="file://onto.owl#chord_03_Dm7b5"/>
5 </rdf:Description>

```

Listing 24: Description for the Ebmaj7 chord of a Cm7-Ebmaj7-Dm7b5 chord progression using OWL

We will be analyzing songs from a key perspective according to the following procedure. For each chord of the song, we will retrieve all the tonalities that it can function in. In that way we can classify each chord

depending on whether it participates in a certain tonality or not. Another layer of classification will be introduced, by marking the chords that function in some major or minor tonality, meaning the ones that exist in either the Ionian or one of the Aeolian, Harmonic or Melodic Minor chord sets. The objective is for the analysis to not only be the most accurate, but also the simplest possible, giving a priority to the foundational chord sets that characterize a key. This prioritization will also be reflected in the statistical analysis of the results.

For this section we will use two of the four songs we analyzed in the previous chapter. The goal is to present two different cases. First we will have the case of the song *There will never be another you*[0.14.2](#), a song that maintains its initial key throughout. Second, we are going to look into the case of the song *Triste*[0.14.4](#), which modulates to a second key for a small number of bars.

For the analysis of the results, we are going to calculate the following metrics for each tonality. A tonality's *Tonality score* refers to the total number of the song's chords that can function in any of that tonality's chord sets. For example, the C tonality's Tonality score will account for chords with *C_IonianTonality* as well as chords with *C_DorianTonality*. The *Diatonic score* refers only to the chords that are diatonic to this particular tonality, meaning the ones of the major and minor chord sets. Similarly, we will also be providing a *Major score*, which excludes any chord that does not belong in the Ionian chord set of the tonality, and a *Minor score*, which will exclude any chord that does not belong in any of the minor chord sets. Finally, we will be combining these metrics into an overall score, which will be a weighted average, slightly favoring tonalities with a better Diatonic score instead of a Tonality score, for the reasons we mentioned before. The formula of the overall score is the following:

$$OverallScore = 0.8 * TonalityScore + 1.1 * DiatonicScore + \max(MajorScore, MinorScore)$$

0.17.1 Case 1: There will never be another you

The song is in Eb major and maintains its key throughout. It consists of a total of 39 chords. The tonalities with the four best overall scores are the following:

Table 13: There will never be another you ontology key analysis

	Major score	Minor score	Diatonic score	Tonality score	Overall score
Eb Major Tonality	74.36	26.21	94.87	94.87	84.87
C Minor Tonality	35.9	76.92	89.74	94.87	83.85
Bb Major Tonality	69.23	35.9	79.49	94.87	77.52
F Major Tonality	38.46	58.97	74.36	94.87	72.22

As we can see, the Eb Major tonality is correctly detected as the most probable key of the song. Comparing its scores with the ones of the other tonalities, we can identify the diatonic score as the deciding factor for these results. This confirms the previous statement that ideally requires the analysis to be as simple as possible, to have an accurate prediction. Despite the four tonalities having the same Tonality score, the fact that in the Eb Major case, there is a much higher usage of diatonic chords instead of Modally Interchanged ones, ultimately makes it the key most fit to describe the song's harmony.

One part of these results that seems surprising at first, is the fact that the two highest overall scores, are

separated by quite a thin margin. However this can be expected, due to the fact that these two tonalities are each others' relative major/minor. As described in previous chapters, the relative minor of a major key is the key that starts from the sixth degree of the major key's Ionian scale, which is also equivalent to the Aeolian mode. In this case, the diatonic chord sets of the C minor key are, the C Aeolian, C Harmonic minor, C Melodic minor and C major chord sets. Among these four, there are three chord sets that are identical or similar to the chord sets of the Eb major key. These are, the C Aeolian chord set which is equivalent to the Eb Ionian chord set starting from the sixth degree, and the Harmonic and Melodic minor chord sets, that differ from the Eb Ionian chord set by one and two chords respectively. It becomes evident that these two keys' chord sets share a significant number of identical chords. These chords are considered diatonic in both keys, but can be found on different degrees, and thus, have different functions. If we took a look at the first two chords of the song, we will find them to be the Imaj7 in the case of the Eb major key, or the bIIImaj7 in the case of the C minor key. This is a pattern that repeats itself quite a lot throughout the song. Of course, this is something that the procedure we are following is, and should be, oblivious to, given the fact that there is a great number of songs that do not begin with their first degree chord. But it gives an idea of what it means for a chord to be *critical* to a tonality and/or song, a concept that will be highlighted even more in our next test case.

0.17.2 Case 2: Triste

This song is mostly in the key of Bb major. In bars 13-15 it briefly modulates to the key of D major. To start off, we are going to compute the metrics mentioned above for the entirety of the song, to get an idea of what kind of output we get, and how it relates to the actual key movements of the song. The four highest scores that derive from the total of 39 chords, are the following:

Table 14: Triste ontology key analysis (full song)

	Major score	Minor score	Diatonic score	Tonality score	Overall score
Bb Major Tonality	74.36	38.46	89.74	94.87	82.99
F Major Tonality	71.79	53.85	89.74	97.44	82.82
C Major Tonality	69.23	48.72	87.18	97.44	81.03
G Minor Tonality	48.72	58.97	84.62	97.44	76.67

Taking a quick look at these results, we sure are happy see that the main key of this song is the one that gets the best overall score, despite having a slightly worse Tonality score than the other ones. It is logical for the overall results to not be affected as much by the key change that occurs, given its small duration. On the other hand, that means that there is not much of an indication of a key change coming from the results, which raises the question of how would that could be achieved.

Another observation to be made is that, once again, the highest overall scores are separated by a small margin. In this case, along with the Bb Major tonality, we have the F Major and C Major tonalities, also appearing to be very close to the song's tonality. A reason for this can be the that these keys have similar key signatures. In fact, the Bb major scale's key signature is an Eb apart from the one of the F major, which has an E instead. Accordingly, Bb major and C major are two flats apart (Bb, Eb), thus the slightly larger margin. The existence of G minor in the four highest overall scores is encouraging, given that it is the relative minor of the main key ok the piece, Bb Major. In an effort to get a better understanding of the

accuracy this method can achieve, we will look into the two parts of the song with different keys, individually.

First we take a look at the total of 34 chords that are in the key of Bb major:

Table 15: Triste ontology key analysis (Bb major area)

	Major score	Minor score	Diatonic score	Tonality score	Overall score
Bb Major Tonality	76.47	44.12	94.12	100	86.67
F Major Tonality	73.53	58.82	94.12	100	85.69
C Major Tonality	67.65	50	88.24	100	81.57
G Minor Tonality	47.06	64.71	85.29	97.06	78.73

Once again, we encounter the same four tonalities as before, only now there is a slightly wider margin between them. While this is encouraging, some further explanation is required to correctly contextualize these results. In the previous test case we mentioned the idea of *critical* chords, meaning that certain diatonic chords, or their degrees, might have more gravity in determining the key of a song. In this particular song, we encounter plenty of chords that could be analyzed in any of the four keys seen above. What differentiates the four analyses, is the role that each chord plays in each key. For example, we cannot claim that the song is in F major, despite the margin between the overall scores. Doing so, would dismiss the fact that we have chords of critical harmonic impact in the key of Bb major, like the tonic or the fifth, being misidentified as chords of lesser harmonic impact in the key of F major. The importance of this concept is even more evident if we aim to identify key changes inside songs. To further look into this, we provide the tonality scores for the part of the song that modulates to the key of D major.

Table 16: Triste ontology key analysis (D major area)

	Major score	Minor score	Diatonic score	Tonality score	Overall score
D Minor Tonality	60	80	100	100	90
D Major Tonality	60	80	100	100	83.33
A Minor Tonality	40	60	100	100	83.33
C Major Tonality	80	0	80	80	77.33

What might be surprising, is the fact that instead of D major, the highest overall score belongs to the key of D minor. D major has the same score to A minor, with the two tonalities being similar in terms of key signature, being two sharps apart (F#, C#). Of course, we are talking about a total of five chords, which is quite a small sample size. In fact, this matter again boils down to the role that each one of these five chords must play, for a key to be adequately established. The first chord of this progression, is the tonic of the D major scale, Dmaj7. This is the chord that establishes the key for the first time, and what follows is a series of II-V-I cadences that, out of context, can certainly be analyzed in any of the keys shown above. After all, harmonic complexity is an essential characteristic of this entire dataset. However, the harmonic gravity that this Dmaj7 chord has, is what stays in our mind while listening to the rest of this chord progression, and this sonic perception of harmonic centers is what we have to aim for in our future work. For now, we will see how some other existing practices tackle that challenge, in the *Dataset Experiments* chapter.

Dataset Experiments

Having covered the required musical background, and demonstrated the exact process of how the proposed dataset was formed, it is now time to put our work to the test. In this chapter we are going to examine how the key recognition algorithms that we mentioned in chapter 0.6.2 perform when receiving our proposed dataset as input.

But first, we are going to take a look on the evaluation method that we followed to determine the scores shown in the final results.

Contents

0.18 Evaluation methods	116
0.19 Results	116
0.19.1 justkeydding	116
0.19.2 madmom	120
0.19.3 KeyFinder	121

0.18 Evaluation methods

The evaluation methods that we used are in accordance with the standard evaluation procedures that MIREX indicates, for the songs that stay in one global key. Different weighting factors apply for each relation between the ground truth and the estimated key from the algorithm's output (same, perfect fifth, relative, or parallel), that combine to create a weighted average, that is the final score of the estimator.

For the songs that do not stay within one tonic center we have two different cases. When estimating their key using the tools that do not have a local key functionality, we follow the process described above, judging them on their ability to identify the first key that occurs in the song. That can, admittedly, prove to be a tricky procedure, given the fact that the key of the song might change quite early in.

In the case of the local key functionality provided by the justkeydding tool, we manually evaluate whether that is an acceptable answer or not, based on the comparison between the output of the algorithm and the harmonic analysis that we have already done. We generally have some flexibility on how accurate we expect the point of modulation to be. So in cases that the output is identifying all of the song's tonic centers approximately where they are actually happening, we apply a weight on 1. That flexibility also applies for cases that some other keys, that do not exist in our analysis, occur in the song as harmonic noise, provided that this happens for a very short period of time and there is not a big number of such keys. If the accuracy of the prediction, or the amount and duration of noise exceeds the acceptable limit (between 1 or 2 bars, depending on the song's duration), we apply a weight of 0.5. Lastly, if the output is such, that does not provide any useful harmonic information comparable to our harmonic analysis, it receives a weight of 0.

0.19 Results

We will now take a look at the results that the aforementioned algorithms produced, when having our proposed dataset as their input. First, we calculate the overall score for each algorithm, and then we separately calculate the scores for songs that stay in a single key and for songs that go through multiple keys. We will be comparing these scores, with the scores that each algorithm produces for the datasets that are used in the MIREX Audio Key Detection algorithm evaluation. For algorithms that offer a local key identification function, we are going to provide their respective score, according to the logic described in the previous subsection.

0.19.1 justkeydding

The first algorithm we are going to use is the justkeydding algorithm, which was presented in 0.8.2. The MIREX scores that occurred through our experiments can be found on table 17. At first glance, we see that the overall MIREX score of the algorithm using our dataset is the lowest among all the examined datasets. That is an initial indication that the Real book dataset offers a challenge to the algorithm compared to some other cases.

Table 17: justkeydding MIREX scores

	Same	5th	Rel	Par	Other	Overall
Real book all	56.34	12.69	11.19	4.85	14.93	67.02
Real book singlekey	63.03	12.72	10.3	4.24	10.3	72.89
Real book multikey	45.63	12.62	12.62	5.83	22.33	57.45
MIREX2005Key	82.43	9.74	3.91	0.88	3.04	88.65
GiantStepsKey	59.6	8.44	10.43	4.8	16.73	67.91
Isophonics	68.05	8.51	7.82	5.29	10.35	75.7
RobbieWilliams	65.61	11.64	7.41	1.06	14.29	73.86
Billboard2012Key	69.86	10.96	6.16	6.16	6.84	78.42

Taking that initial observation into account we try to look for other useful points that can help us in our conclusions. A quite interesting place to look at is at the scores for the single-key and the multi-key parts of our dataset. In the case of the single-key, its overall score is slightly improved, now being the second lowest score amongst the other datasets. Where the largest difference is spotted, is in the score for the multi-key case. We got a much lower score for the 102 songs in that group, compared to the overall score for the full dataset. When evaluating that outcome we must consider that there are cases where the first modulation of a song occurs within the first 30 seconds, making it more challenging for an algorithm to really appoint a single key in that time fragment. Another case might be that the relation between the key detected from the algorithm and the actual key of the song, is not immediate. That means that it could be some combination of the 3 first key relations that we are already using for the classification, the adjacent (or 5th), relative and parallel key. So in an effort to better understand these results, we will try and determine the relation that each key that was classified as "Other" has, with the actual key of the song. Their relation can be characterized by one of the following attributes:

Table 18: "Other" index

Relative of Adjacent (RoA)	The detected key is the relative of an adjacent of the original
Parallel of Adjacent (PoA)	The detected key is the parallel of an adjacent of the original
Adjacent of Adjacent (AoA)	The detected key is an adjacent of an adjacent of the original
Relative of Parallel (RoP)	The detected key is the relative of the parallel of the original
Parallel of Relative (PoR)	The detected key is the parallel of the relative of the original
Early Changes (EC)	The key changes significantly within the first 30 seconds of the song
Enharmonic (EH)	The detected and original keys are sonically equivalent, but have different harmonic properties (F# major/ Gb major)
None	The two keys either have relation with more than 2 components, or have no relation

Based on that classification method, the results that we got for the justkeydding algorithm were:

Table 19: justkeydding "Other" cases

RoA	EC	PoA	PoR	AoA	None	RoP	EH
8	6	3	2	2	1	1	1

That information reveals two things. First of all there seems to be a tendency towards incorrectly detecting keys that are the relative to an adjacent of the actual key (RoA). For the time being, this does not necessarily suggest a trend towards this direction in this, or other algorithms, mostly due to the sample size. However, as we have already seen in the ontology analysis, tonalities with similar key signatures tend to be misidentified for each other in these results, and this specific relation does fall under this case. Secondly, these results come to confirm our hypothesis about how, early changes in the tonic centre might affect the output of certain algorithms. While having a sufficient number of these cases is predictable, what these results really reveal, is that there really is need for an approach that focuses more on the detection and identification of modulations. That becomes even more evident when taking a look at the local key function of the justkeydding algorithm. First of all, we have to look into the scores that the local key functionality of the justkeydding algorithm provided.

Table 20: justkeydding local key scores

	Same	Adjacent	Other	Overall
Real book multitkey	13.59	54.37	32.04	40.78

Looking at these scores, we do not come across a consistently accurate output. In most cases, when inspecting the local tonic centers that are detected, we are not provided with valuable harmonic information. The main reason to why this output can not be considered harmonically reliable is its high degree of instability. In most occasions, the tonic center changes are too many or occur too often. To provide more context on the algorithm's output, we are going to take a look at an example.

In a previous chapter, we looked at the harmonic analysis of some songs to help us better explain the musical background on which we are basing our work on. Amongst these test cases, there was the one of the song "*Recordame*", that is also one of the songs that belong in the multikey subset of our dataset. In an effort to get some insight about the local key detection functionality's strengths or lackings, we will compare the harmonic analysis that it produced for that specific song, with our analysis from Chapter 0.12.4.

The analysis from the justkeydding local key is:

[', 'F', 'F', 'F', 'F', 'F', 'F', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'bb', 'bb', 'Ab', 'Ab', 'Ab', 'Ab', 'Ab', 'Ab', 'Db', 'F#', 'F#', 'F#', 'Db', 'Db', 'bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'F', 'F', 'F', 'F', 'F']

We see that this type of output does not provide useful info for a series of reasons. We have a series of 39 comma separated values, with each one being the key of the song at that specific moment. However it is unclear what measure of the song each symbol corresponds to, as the original song consists of 17 measures. To gain a better understanding of the harmonic analysis that lead to these results, we are going to use the musicxml equivalent of the song's lead sheet 0.14.7. That, of course, drifts us away from the detection based

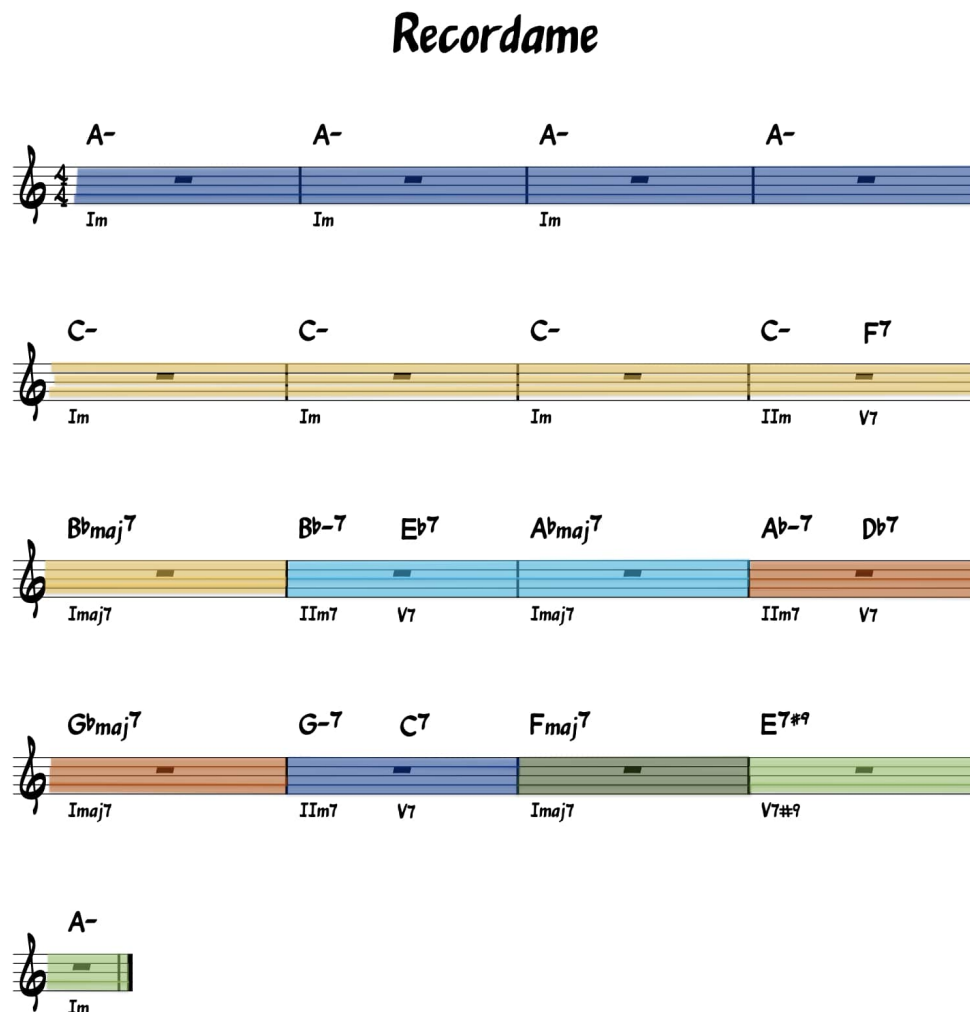


Figure 0.19.1: Recordame justkeydding tonic centers

on sonic information. However, we will be using that output as a way to maybe clarify the output we get using the audio file. Using the symbolic input we get the following result:

['F', 'F', 'F', 'F', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Bb', 'Ab', 'Ab', 'eb', 'eb', 'F', 'C', 'a', 'a']

Instantly we see that this output is easier to make sense of. We have 17 values, each one referring to measure of the song. The key that's detected by the algorithm in bar i is the i th value of the sequence.

We are going to provide the tonic centers based on this analysis, like we did with our own analysis on figure 0.14.8. The keys of A minor and F, Bb and Ab major are shown with the same colours they were in our analysis: light green, navy, yellow, and light blue. The keys of Eb minor and C major are shown with orange and dark green respectively.

By comparing figures 0.19.1 and 0.14.8 we can evaluate the accuracy of the justkeydding algorithm's analysis. The measures whose result is in accordance with our analysis are 8-11, 14 and 16-17, making it a total of 7 bars out of the 17 of the song. So we now have 10 incorrectly detected measures which we are going to

examine. We start of with bars 1 through 4, where instead of the key of A minor, we have the key of F major. Using the index displayed on 18 we can identify that case as a Relative of an Adjacent (RoA). This is a surprising result taking into consideration the fact that the only chord being played in those bars is the A minor chord. Moving on to bars 5 through 7, we have another surprising result, with Bb major being detected instead of C minor. This is again a Relative of an Adjacent case (C minor is the relative of Eb major who is adjacent with Bb major). It is also, once again, a case where the only chord being played is the tonic of the actual key. In bar 8 we have the same C minor chord, only that time it does belong in the key of Bb major, acting as the IIm7, which shows that the algorithm can adequately understand the change that is being made. What is alarming, is that the ability to determine the exact position of that key change seems to have a high variance. The next measures that we have to look at are measures 12 and 13. Here instead of the key of Gb major, we have the key of Eb minor. On one hand, we are talking about the relative minor of the original key, which is not a very far from the correct answer. However, the fact that the tonic of the supposed key does not show up in these two bars is another reason for concern. The next 2 measures are the last that we will have to take a look at. In these two measures, according to our analysis, we should have the key of F major, on both. For the first bar, the output matches our analysis, catching on to the II-V cadence (Gm7 and C7) which sets up the upcoming tonic. But on bar 15, instead of having the F major key shown again, we have the adjacent key of C major. Again, that is not a wide margin, but given the fact that the algorithm has once again caught on to the impending key change, by analyzing bar 14 correctly, it comes as a surprise that when the tonic of the new key actually lands, the output is incorrect.

The final output, despite some accurate detections, does not provide the harmonic context needed for it to be considered the same, or adjacently the same as the one in our analysis. As a result, it falls under the "Other" category.

0.19.2 madmom

The next tool that we used is madmom (0.8.2). To evaluate and compare the performance of our dataset amongst the other available datasets we used the KeyRecognition functionality provided by the madmom library. Since that specific functionality does not have a local key identifier option, we only performed the first part of the experiment we demonstrated in the previous subsection. Below we provide the MIREX scores that came from the testing procedure.

Table 21: madmom MIREX scores

	Same	5th	Rel	Par	Other	Overall
Real book all	67.16	6.34	9.7	2.61	14.18	73.77
Real book singlekey	72.12	5.46	10.91	3.64	8.48	78.37
Real book multikey	59.22	7.77	7.77	0.97	23.3	66.27
MIREX2005Key	72.52	16.77	4.07	1.84	4.79	82.5
GiantStepsKey	67.88	6.95	8.11	4.14	12.91	74.62
Isophonics	76.32	7.36	5.52	3.22	7.59	82.3
RobbieWilliams	72.49	10.05	12.17	1.06	4.23	81.38
Billboard2012Key	84.25	2.74	5.48	4.79	2.74	88.22

Once again, when looking at the overall score for the entirety of our dataset, we see that it is a competitive

solution compared to most of the commonly used datasets. That keeps being the case, even if we only consider the MIREX score for the single-key part of our dataset. Now if we take a look at the multi-key subset's results, we have a similar situation with the one we had using the *justkeydding* algorithm. Once again, we are dealing with a significant increase in the percentage of multi-key song predictions that fall under the "Other" category. To better understand this reoccurring tendency, we will, again, try to classify the results that belong in the "Other" category, using the relations we established in table 18. The results that we get from that analysis are the following:

Table 22: madmom "Other" cases

RoA	EC	None	EH	PoR	RoP
8	7	4	2	1	1

The first thing that we observe is that there are some key relations that do not appear in the final results. Specifically, we have no cases of *Parallel of Adjacent* or *Adjacent of Adjacent*. However, neither of these relations appeared in great volume in the previous algorithm's results, so them missing from the results of the *madmom* algorithm does not necessarily come as a surprise.

The second and most significant observation coming from these results, is that once again, we have a plenty of *Relative of Adjacent* and *Early Changes* cases. Just like in the *justkeydding* case, the most common misidentification that occurs is the *Relative of Adjacent*. That might be starting to give some substance to the hypothesis that there is a tendency towards RoA for predictions that fall into the "Other" category. The consistency in the results between the two algorithms continues, if we take a look at the second most occurring case, which is once again *Early Changes*. This time, the margin between EC and RoA is even thinner, which once again highlights the need for enhancing the current practices with more modulation based functionalities.

0.19.3 KeyFinder

For our last test results we take a look on the output that the KeyFinder (0.8.2) tool produced. These results, can be found on table 23.

Table 23: KeyFinder MIREX scores

	Same	5th	Rel	Par	Other	Overall
Real book all	35.45	12.31	26.87	3.73	21.64	50.41
Real book singlekey	39.4	13.94	27.88	2.42	16.97	54.88
Real book multikey	29.13	9.71	25.24	5.83	29.13	43.14

We see that the scores are way lower compared to the ones of the two previous cases. During the test comparison there was an evident tendency towards mistaking the actual key of the song with its relative one. In many cases, when had a song in a major key, being misclassified as its relative minor key in the algorithms output. Using the same procedure, we used for the other two algorithms, we examine the context of the predictions that fell under the "Other" category, for the multi-key subset. In this specific scenario, we have a plenty of songs falling into that category, even on the entire dataset, which contains both the single

and the multi-key subsets. However, examining the multi-key subset is enough for this experiment, since there is already a significantly high amount of such cases in its results. Based on the index found on figure 18, these results are:

Table 24: KeyFinder "Other" cases

RoA	EC	PoR	PoA	AoA
11	10	3	3	1

This time the classification is even more revealing. For the third time, we have two very common relations being significantly separated from the rest. Also for the third time, we have these two relations be the *Relative of Adjacent* and *Early Changes*. At this point, due to the consistency of the results from our classification, it is safe to say that there might be some bias towards *Relative of Adjacent* predictions, at least against the other categories that we considered in table 18. It is also safe to say that the number of early change cases really confirms that there is not enough focus in the current practices on detecting tonic centre altercations.

Conclusion

0.20 Discussion

In this work we saw the process of harmonic analysis under three very different scopes. Using a harmonically diverse and complex dataset, we got to showcase how many of the intricacies of modern harmony, are reflected in the results of these methods. After establishing the necessary music background, we demonstrated with detail the process that was followed to identify the tonalities of the songs in our dataset. The selection of the jazz genre was, of course, intentional. Throughout this work, we repeatedly referred to the fact that there is an absence of well documented music data that provides information on the subject of key changes.

In an effort to capture the actual perception of tonic centers and their changes, we combined the theoretical principles, with the study of the core repertoire, to deliver a dataset as descriptive and accurate as possible. In an effort to record these principles, and demonstrate our analysis, in an even more concrete way, we turned towards the use of descriptive logic languages. Implementing the OWL2 RL profile, we documented some crucial of harmonic components, and integrated them into the environment of the *Functional Harmony Ontology*. The way that the particular ontology describes the harmonic components that we use in our analysis, was a great advantage in both the addition of new rules, and the analysis process that we followed. In that process, we used reasoning practices to demonstrate how we can approach the identification of harmonic centers in a song. That, clearly proved to be helpful, validating both our analysis practices, and the ontology's descriptive capabilities. Along with this approach, we also explored how some algorithms focused on the sonic perception of harmony and key detection did, when tested upon our proposed dataset. This process proved our dataset to be a challenging for some of these algorithms, with their shortcomings occurring in cases of songs with complex harmony, or key changes. The second, proved to be the case even in algorithms that offered a local key detection and identification functionality. After examining some of the misidentified songs, we developed a solid understandings of the lackings and strengths of these algorithms.

What mostly stood out from the results of all of the aforementioned approaches, was the need for a holistic study of the harmonic vocabulary. This calls for exploiting every notable available music resource, in order to better contextualize the plethora of knowledge that we have already gained. This dataset, and the entirety of this work is hopefully a valuable resource, and one that will help enhance our current and future practices.

0.21 Future Work

In closing this thesis we would like to suggest some possible future directions, regarding the subject. First of all, it is important to keep adding to the resources we have, in order to maximize the amount of relevant

data for key detection tasks. Across genres, there are numerous resources, rich in harmonic information, that need to be documented using the same theoretically established principles that we also used in our case. The next step, is for these resources to be properly integrated into the training and validating stages of algorithm development. This applies to both current and future approaches of the subject, which need to have a focus on capturing as much harmonic information as possible in their analysis. A first step could be the sole identification of the existence of a second or third key in a certain song. This could be expanded into detecting the location of a certain key change, and ultimately lead to computing the entire harmonic analysis of a song. This could have great effect in the study of music, both on a theoretical and a practical level. One way, could be through development of real-time harmonic analysis software, that could be used in all levels of teaching, practicing and performing music.

Apart from that, work can be done in different aspects of music identification through harmony. By combining harmonic elements with morphological and sonic characteristics, we could develop a nuanced way to attribute a genre or a number of genres in a song, or even an artist. This could offer an entirely different approach in recommendation algorithms of music streaming platforms, which would categorize and recommend songs, genres and artists by also taking into account their music's harmonic properties, along with other factors. This could offer great diversification based on less obvious attributes of music, which would prevent many recommendation approaches from becoming obsolete.

Bibliography

- [1] Artists, V. *The Real Book - Volume 1: 6th Edition*. Hal Leonard Corporation, 2004. ISBN: 9780634060380.
- [2] Ayorinde, I. “A Formalised Ontology of Musical Instruments”. In: *International Journal of Computer Applications* 176 (May 2020), pp. 28–32. DOI: [10.5120/ijca2020920235](https://doi.org/10.5120/ijca2020920235).
- [3] Benward, B. and Saker, M. *Music in Theory and Practice. Vol. I (7th ed.)* McGraw-Hill Humanities/-Social Sciences/Languages, 2023. ISBN: 978-0-07-294262-0.
- [4] Böck, S. et al. “madmom: a new Python Audio and Music Signal Processing Library”. In: *Proceedings of the 24th ACM International Conference on Multimedia*. Amsterdam, The Netherlands, Oct. 2016, pp. 1174–1178. DOI: [10.1145/2964284.2973795](https://doi.org/10.1145/2964284.2973795).
- [5] Cherfi, S. S.-s. et al. “Ontology-Based Annotation of Music Scores”. In: *Proceedings of the Knowledge Capture Conference*. K-CAP 2017. Austin, TX, USA: Association for Computing Machinery, 2017. ISBN: 9781450355537. DOI: [10.1145/3148011.3148038](https://doi.org/10.1145/3148011.3148038). URL:
- [6] Devoto, M. *key*. en. Accessed: 2023-10-20. Oct. 2007.
- [7] El Achkar, C. and Atechian, T. “Supporting Music Pattern Retrieval and Analysis: An Ontology-Based Approach”. In: June 2020, pp. 17–20. DOI: [10.1145/3405962.3405973](https://doi.org/10.1145/3405962.3405973).
- [8] Fazekas, G. and Sandler, M. “The Studio Ontology Framework.” In: Jan. 2011, pp. 471–476.
- [9] Fields, B. et al. “The segment ontology: Bridging music-generic and domain-specific”. In: *2011 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*. 2011, pp. 1–6. DOI: [10.1109/ICME.2011.6012204](https://doi.org/10.1109/ICME.2011.6012204).
- [10] Hitzler, P. et al. “OWL 2 web ontology language primer”. In: *W3C recommendation* 27.1 (2009), p. 123.
- [11] Jones, J. et al. “MusicOWL: The Music Score Ontology”. In: *Proceedings of the International Conference on Web Intelligence*. WI ’17. Leipzig, Germany: Association for Computing Machinery, 2017, pp. 1222–1229. ISBN: 9781450349512. DOI: [10.1145/3106426.3110325](https://doi.org/10.1145/3106426.3110325). URL:
- [12] Kantarelis, S. et al. “Functional harmony ontology: Musical harmony analysis with Description Logics”. In: *Journal of Web Semantics* 75 (2023), p. 100754. ISSN: 1570-8268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.websem.2022.100754>. URL:
- [13] Kaur, N. and Aggarwal, H. “Semantic Information Retrieval using String Ontology in Music Domain using Protege5.0”. In: *2020 Sixth International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC)*. 2020, pp. 47–52. DOI: [10.1109/PDGC50313.2020.9315835](https://doi.org/10.1109/PDGC50313.2020.9315835).
- [14] Knees, P. et al. “Two Data Sets for Tempo Estimation and Key Detection in Electronic Dance Music Annotated from User Corrections.” In: *Proceedings of the 16th International Society for Music Information Retrieval Conference* (Málaga, Spain). Málaga, Spain: ISMIR, Oct. 2015, pp. 364–370. DOI: [10.5281/zenodo.1414996](https://doi.org/10.5281/zenodo.1414996). URL:

- [15] Kolozali, Ş. et al. “Knowledge Representation Issues in Musical Instrument Ontology Design.” In: Jan. 2011, pp. 465–470.
- [16] Korzeniowski, F. and Widmer, G. “Genre-Agnostic Key Classification With Convolutional Neural Networks”. In: *ArXiv abs/1808.05340* (2018). URL:
- [17] Lopez, N. N. “Local and Global Key-Finding in Symbolic and Audio Sources Based on Hidden Markov Models and Key Profiles”. In: *Proceedings of the 20th International Society for Music Information Retrieval Conference*. 2019.
- [18] Lord, P. “Components of an Ontology”. In: *Ontogenesis* (2010).
- [19] Mauch, M. and Dixon. “Simon: Approximate Note Transcription for the Improved Identification of Difficult Chords”. In: *Proceedings of the 11th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR 2010)*. 2010.
- [20] Rashid, S. M., De Roure, D., and McGuinness, D. L. “A Music Theory Ontology”. In: *Proceedings of the 1st International Workshop on Semantic Applications for Audio and Music*. SAAM ’18. Monterey, CA, USA: Association for Computing Machinery, 2018, pp. 6–14. ISBN: 9781450364959. DOI: [10.1145/3243907.3243913](https://doi.org/10.1145/3243907.3243913). URL:
- [21] Sha’ath, I. “Estimation of key in digital music recordings”. In: *Tech Report*. Birbeck College, 2011.
- [22] Song, S. et al. “Music Ontology for Mood and Situation Reasoning to Support Music Retrieval and Recommendation”. In: *2009 Third International Conference on Digital Society*. 2009, pp. 304–309. DOI: [10.1109/ICDS.2009.50](https://doi.org/10.1109/ICDS.2009.50).
- [23] Turchet, L. et al. “The Internet of Musical Things Ontology”. In: *Journal of Web Semantics* 60 (2020), p. 100548. ISSN: 1570-8268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.websem.2020.100548>. URL:
- [24] Στάμου, Γ. *Αναπαράσταση οντολογικής γνώσης και συλλογιστική [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]*. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις., 2015. ISBN: 978-960-603-157-1. DOI: <https://dx.doi.org/10.57713/kallipos-597>.