Chourdakis G. Michael [*], Haralampos C. Spyridis[**]

[*] PhD Candidate, Music Department , University of Athens.
m@turboirc.com
[**] Professor of Music & Informatics, Head Manager of the Sound Engineering Laboratory of Music Department, University of Athens.
hspyridis@music.uoa.gr

Time Domain Pitch Recognition

I. Introduction

The following will be described:

1. The advantages of time-domain methods over the frequency-domain methods in digital signal processing.

2. The methods used to identify the pitch, and the collection of the results to either a frequency vector, or to music notation.

3. The success probabilities of the methods, and the problems that may be encountered at the process.

4. The creation of new music notation symbols, needed to describe music notes that they have slightly different frequencies than the standard European frequency vector; These symbols will equally apply to other notation systems, like the Byzantine Notation or the e-notation (MIDI).

5. The application of the methods by experimenting.

The end result will be the ability to detect and display the pitch of a signal automatically from the PC, without the aid, recommendation, or otherwise interference of a human being, which may be less or more influenced by music knowledge and/or music experience.

Furthermore, we will be able to write down the recognized pitch with new symbols, to any main notation scheme (e.g. The European Notation, the Byzantine Notation, the MIDI notation etc.)

There are many applications for our method:

1. We can check and fix an instrument's accurate tuning, either a conventional instrument or an electric one.

2. The ability to verify the correct performance of a musical piece, e.g. the ability to check if a singer will properly sing their song, based on known estimated European, Byzantine or other specific-frequency climaxes.

3. The ability to write down any sort of simple of complex vector of music symbols (notes) with altered frequency , in a compatible format which is easy to be understood and mastered by music students.

II.THE SOUND SIGNAL

The sound signal generated from a sound source (voice, instrument) is always a function of time:

$$S(t)=A_0\sin(2\pi f_0 t)+A_1\sin(2\pi f_1 t)+\ldots A_v\sin(2\pi f_v t) \quad (1)$$

Where A1, A2, A3 …. are the local peaks of each oscillation (amplitudes) , and f1,f2,f3… fv are the frequencies generated by the sound source. In theory, a sound source generates an infinite number of signals with a decreasing amplitude ; in practice, we are only interested in the few first frequencies because all others' amplitude is practically zero.

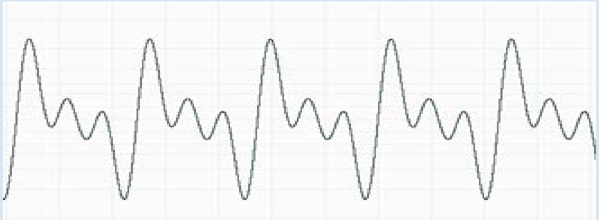


Fig. 2.1. Sample Sound Signal.

A sound signal passing through a ADC (Analog to Digital Converter) and sampled with a Sampling Frequency S, will have, according to the Niquist Theorem, a limited number of possible frequencies not over the value S/2.

That signal would be periodic if each of the generated frequencies was an integer multiply of the first generated frequency, since for the function (1) it is:

$$S(t) = 0, t \in R \text{, αφού } \sin(x) = 0 \Leftrightarrow \sin(\nu x) = 0, \nu \in R$$

III.THE FOURIER TRANSFORM

The Continuous Fourier Transform (CFT) of a continuous function of the time f(t) , is a function of frequency/intensity, defined as such:

Ο συνεχής μετασχηματισμός Fourier:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

Ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier:

$$F(\omega) = \sum_{t=-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-i\omega t}$$

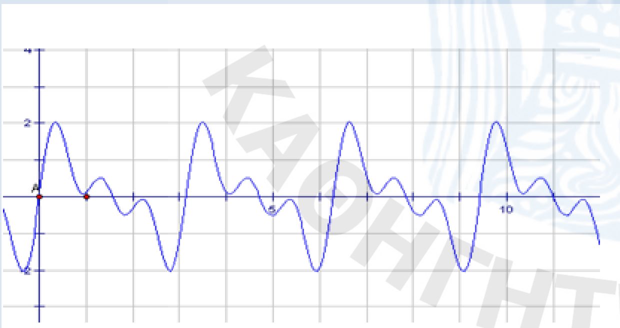


Fig 3.1. Signal represented as a function of time

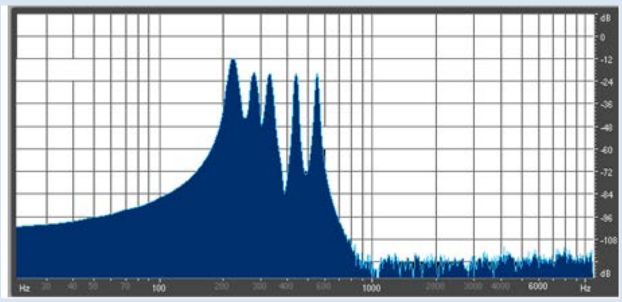
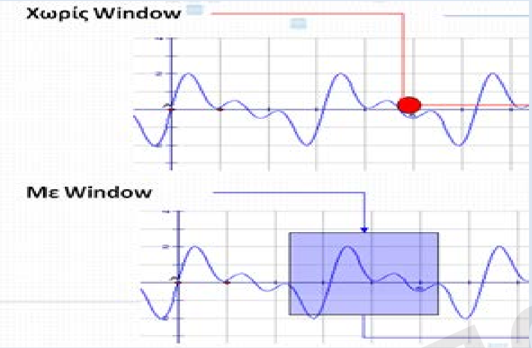


Fig 3.3. Signal represented as a function of frequency

Due to the Heisenberg Uncertainty Principle, we are not able to detect a frequency at a given point of the signal, but we have to apply a transformation Window to the signal in order to perform the Fourier Transform. Each of the available Windows has its advantages and its disadvantages; our main problem is that we cannot detect the frequency with great accuracy.



Εικόνα 3.3. Applying a Window

To use the Fourier Transform and to work on the Frequency Domain would apply the following limits:

1. The Fourier Transform works best with periodic signals. In theory, all signals generated by sound sources should be periodic; In practice, none of them is. The result of that is the 'Gibbs Phenomenon' , the 'leaks' generated by the Fourier Transform's inability to work with such signals.

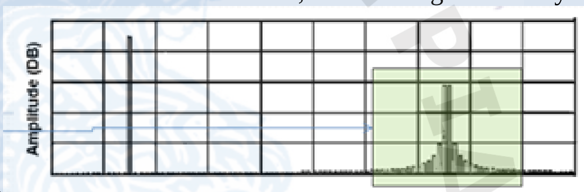


Fig 3.4. Gibbs Phenomenon

The second limitation of the Fourier Transform. The Discrete Fourier Transform, used in discrete signals and in the PCs, accepts as input a fixed number of samples and returns the same number of complex numbers.

The magnitude of each of those complex numbers describes the intensity of a specific frequency found in the signal. This frequency can be estimated by the following formula:

$$f_i = \frac{iSR}{N}$$

Where SR is the sample rate of the signal, and i is the index of the frequency in the complex vector returned by the Fourier Transform. So we can immediately see that the Fourier Transform can only return information for a fixed number of frequencies (Between 0 and SR/2) each of them must be calculated from the above formula for integer values of i.

What happens to the frequencies found for non-integer values of i? Their magnitudes are mixed with the closer frequency, which would result in false reports by the Fourier transform, especially when trying to detect very slight pitch changes.

All these would force us not to use Frequency Domain methods for accurate pitch estimation, but rather use Time Domain Methods instead.

The main advantages of Time domain methods are :

1.They can give better results for non-periodic signals, as much as when they applied to periodic signals.

2. They can work within even a few sample collection.

3. Their results are accurate, especially with higher sampling rate values.

The main difficulty in using the Time Domain Methods is speed. Signals have to be filtered by less or more complex filters in order to be ready to analyzed in the Time Domain Mode; This filtering and preprocessing, as also the Time Domain Processing itself can take a lot of time.

Fortunately, with the high-power modern PCs at our service, we need not anymore worry about the performance of our methods.

IV. PITCH RECOGNITION

We record the signal from the microphone or other sound input. After recording, the signal must be pre-processed.

Preprocessing involves either low pass filters to cut off unneeded frequencies (If we can assume that there are unneeded frequencies, for example, when recording a human voice which has a limited frequency bandwidth) , or other algorithms, more or less complex, aiming to simplify the signal as much as possible.

After that, the signal is analyzed by our main algorithm which defines a structure, describing the frequency, the time and the amplitude, and generates a vector of items describing those elements for the whole signal.

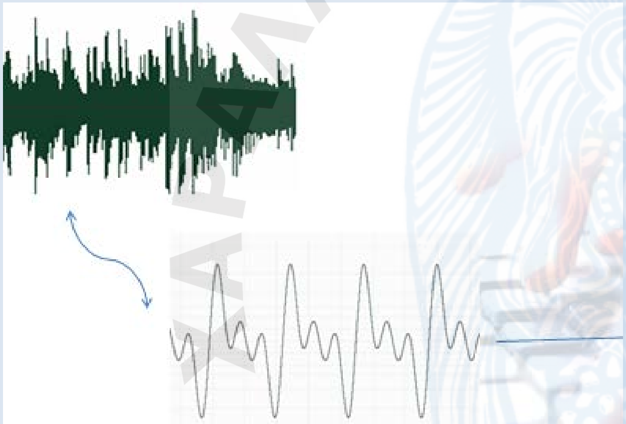


Fig. 4.1. Signal Simplification

The next step is to analyze, connect, possibly edit, possibly reject those results, in order to convert the full signal to the music notation. This music notation can be either the European:

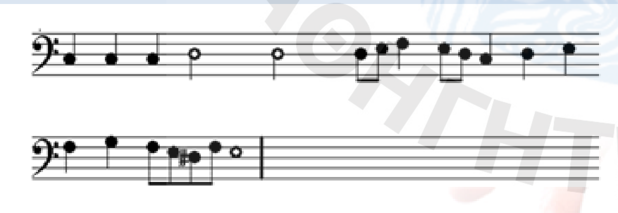


Fig 4.2. Results at the European Music Notation

Or , it can be the Byzantine Notation, which is a notation describing relevant steps between notes:

Fig 4.3. Byzantine Notation

V. THE PROBLEMS

In theory, every signal should be clean and easy to be analyzed. In practice, almost each of the recorded signals has its problems.

The most common problems encountered are:

- The signal's amplitude is very low; In which case it must be amplified in order to be further analyzed:

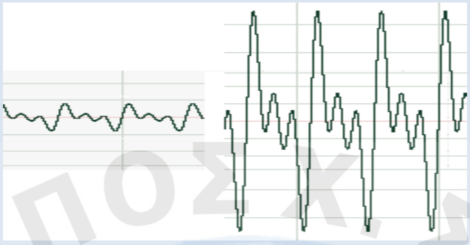


Fig 5.1. Amplifying the signal.

- One of the frequencies of the signal has greater intensity than the fundamental frequency f0. This problem, one of the reasons that Fourier Transforms also fail, is resolved by analyzing the signal by convolution and statistical methods to detect if there is a case of a fundamental frequency with a lowered intensity.

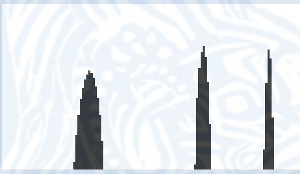


Fig 5.2. The Fourier transform shows the first (fundamental) frequency f0 weaker than f1.

- The signal has so much noise that it cannot be analyzed further without noise reduction. This usually involves high-pass filtering the signal in order to remove as much noise as possible, before retrying the recognition process.

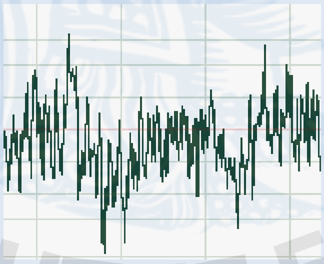


Fig 5.3. Noisy signal

- The signal might be unstable. For example, the human voice is almost always unstable, i.e. when somebody tries to sing the note 'C' , their voice doesn't keep a fixed frequency. In that case our methods involve statistical analysis and the 'amplitude' hint to detect if there is an actual change to the frequency, or it might be a case for a human instability feature like vibrato.

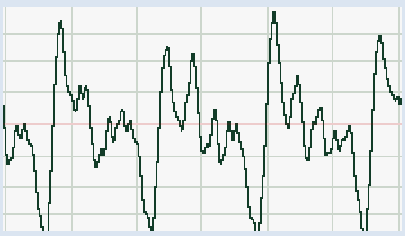


Fig 5.4. Unstable signal

VI. CURRENT NOTATION PROBLEMS

At the current European notation scheme, there is no way to represent a note of which its frequency is slightly altered.

For example, we can try to represent the Frequency 130.81 Hz using the note ‘C’ , and the frequency 138.59 Hz using the note ‘C#’ . But, we are not able to draw a symbol that would represent any frequency between these two numbers:

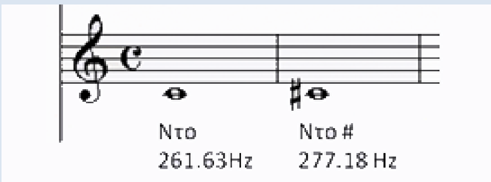


Fig 6.1. Frequencies of European notes.

When taking MIDI into consideration, we have the very same problem, since in MIDI, the 128 available notes are mapped to the European notes (From A0 to B7).

The same problem occurs to the Byzantine Notation. The Byzantine notation is a relative representation of the symbols; Each symbol is not a fixed note, but rather an indication of how many notes we should go up or down.

For example, When we are in ‘C 130.81’ (Byzantine ‘NH’) , and we encounter the 1 (Byzantine Symbol ‘OLIGON’) , we should get to the next note, in which case it is the Byzantine ‘PA’ (D) . The frequency of that D is not fixed (as in the European notation) , but it depends on the mode definition; In byzantine music, there are 8 different modes and the octave is divided into 72 equal sections (and not 12 semitones ,as in the European). In the following example, PA is 146.83. But we still have the problem to represent, say, 144Hz.

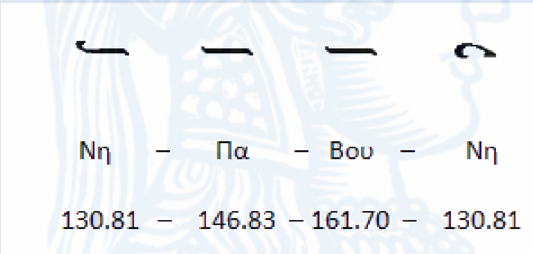


Fig 6.2. Byzantine notes and their frequencies

VII . THE NEW NOTATION SUGGESTIONS

A proper solution to the above problems should meet the following restrictions:

1. It should be easily understandable and learnable
2. It should be subject to further revision
3. It should be possible to be ignored by human beings or instruments not designed to take advantage of it, and/or take advantage of the micro-tuning.
4. It should be compatible with existing symbols and notation.
5. It should not be confused with existing symbols of sharp and flat.
6. It should be able to divide the entire octave to any defined number of sections, up to the international standard, the ‘cent’.

7. It should take as little space as possible, in order not to confuse the reader.

8. It should be usable in PCs and existing sound and score processing applications.

We define 2 new symbols: The **Simple Sharp '/' and the Simple Flat** '\' .

We define, as a new symbol for a single sharp, the symbol of '/' (forward slash) , to be placed to the left of a note:

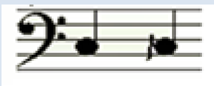


Fig 7.1. Simple Sharp

More slashes at the left of the note would suggest double, triple sharp etc.

We define, as a new symbol for a single flat, the symbol of '\' (Backward slash) to be placed to the left of a note:

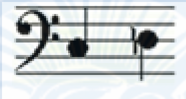


Fig 7.2. Simple Flat.

More slashes would suggest double,triple flat etc.

In the rare case that we might need more sharps/flats than the available space permits, we can use a number before the simple sharp/simple flat symbol.

The simple sharp/simple flat symbols can coexisting and can be combined with the existing traditional sharp/flat symbols:

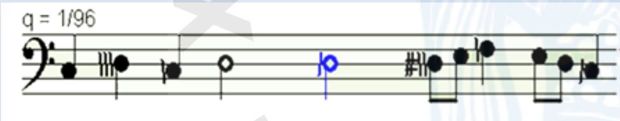



Fig 7.3. Examples of the new symbols.

We define the symbol "q" to indicate the number of sections that the octave should be divided. A musical score can contain an indication with the "q" symbol at the start, or at any other place. The syntax is:

$$\mathbf{q = a/b}$$

Where b = the number of sections that the octave should be divided, and a = the number of sections assigned to a simple sharp or simple flat.

For example:

$$q = 1/24$$

Indicates that the octave is divided to 24 sections, and a single sharp or flat should add/subtract 1/24 to the frequency of the note they were applied.

In case that there is no q indication in the music score, the default is q = 1/12, in which case, the simple flat and sharp are equals to the traditional flat ♭ and sharp #.

The same symbols apply to the Byzantine notation. We put them **above** the byzantine symbols:

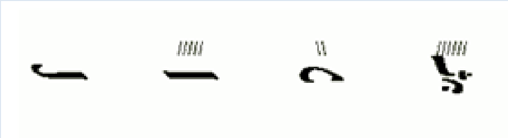


Fig 7.4. Byzantine symbols with simple sharps/flats.

The same symbols are applied to MIDI. We define :

a) A recommendation at the start of each MIDI track (which may reoccur anywhere at the track) , to indicate the division, using a META-Event (Midi 0xFF message).

b) A controller message (MIDI 0xBX message) to be placed before each MIDI note message (MIDI 0x9X) in order to alter its frequency by a number of simple flats/sharps.

These extensions are compatible with existing MIDI software, because applications that are not able to recognize our new symbols will simply ignore them and play the MIDI file as if those symbols wouldn't exist.

As a result, we have created a simple method of representing any frequency we need to the musical score, that is easy for both human beings and software to interpret.

REFERENCES

R.W.Hamming, "Numerical Methods for Scientists and Engineers" *Dover Publications*, New York, 1986.

Eugene Isaacson, "Herbert Bishop Keller. Analysis of Numerical Methods" *Dover Publications*, New York, 1994.

Francis J. Flanigan, "Complex Variables, Harmonic and Analytic Functions" *Dover Publications*, New York, 1983.

R.W.Hamming, "Digital Filters" *Dover Publications*, New York, 1998.

Steve Smith, "The Scientist and Engineer's guide to Digital Signal Processing" *California Technical Publishing*, 1997.

Richard A. Silverman. "Introductory Complex Analysis" . *Dover Publications*, New York, 1984.
Alan V. Oppenheim, "Discrete-Time Signal Processing" , *Pearson Education Publishing*, 2001.

Χουρδάκης Γ. Μιχαήλ *, Χαράλαμπος Χ. Σπυρίδης†

- Υποψήφιος Διδάκτωρ Τμήματος Μουσικών Σπουδών Πανεπιστημίου Αθηνών
- m@turboirc.com

† Καθηγητής Μουσικής Ακουστικής, Πληροφορικής, Διευθυντής Εργαστηρίου Μουσικής Ακουστικής Τεχνολογίας, Τμήματος Μουσικών Σπουδών Πανεπιστημίου Αθηνών
hspyridis@music.uoa.gr

Αναγνώριση Μελωδίας στο Πεδίο του Χρόνου

I. Εισαγωγη

Στην ομιλία μας θα περιγραφούν:

Τα πλεονεκτήματα της μελέτης στο πεδίο χρόνου σε σχέση με το πεδίο της συχνότητας.

Η μέθοδος με την οποία αναγνωρίζεται το ηχητικό σήμα, είτε σαν σειρά από συχνότητες, είτε σαν μουσική μελωδία.

Το κατα πόσο οι μέθοδοι επιτυγχάνουν, ποιά είναι τα προβλήματα στην εφαρμογή τους.

Η ανάγκη επινόησης νέων τρόπων απεικόνισης για την παρουσίαση νοτών, οι οποίες έχουν ελάχιστη συχνοτική διαφορά από τις καθιερωμένες συχνότητες στην ευρωπαϊκή/βυζαντινή/ηλεκτρονική σημειογραφία.

Οι εφαρμογές τις μεθόδου με πειραματική επίδειξη.

Σαν αποτέλεσμα θα έχουμε τη δυνατότητα της αντικειμενικής αναπαραστάσεως της μελωδίας αποκλειστικά και μόνο από τον Η/Υ, χωρίς τη διαμεσολάβηση κάποιου ανθρώπινου μουσικού αυτιού/εγκεφάλου, επηρεασμένου από την οποιαδήποτε μουσική τεχνοτροπία.

Επιπλέον, θα έχουμε την δυνατότητα να καταγράψουμε τη μελωδία με νέα σύμβολα, είτε στην ευρωπαϊκή σημειογραφία, είτε στη βυζαντινή παρασημαντική, είτε, τέλος, στην ηλεκτρονική σημειογραφία (MIDI).

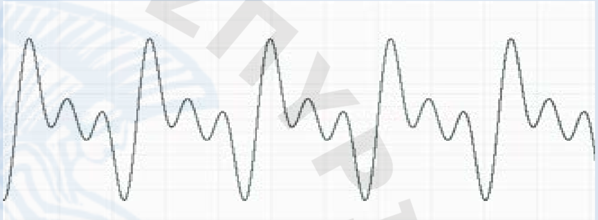
Οι εφαρμογές της μεθόδου είναι πολλές, μεταξύ των οποίων η δυνατότητα χορδίσματος ενός οργάνου, η δυνατότητα ελέγχου ενός τραγουδιστή για το εάν αποδίδει διαστηματικά σωστά μια μελωδία, και με τη νέα μορφή της προτεινομένης σημειογραφίας, μία ευρωπαϊκή/βυζαντινή παρτιτούρα θα μπορεί να περιέχει οποιαδήποτε μικροδιαστήματα, τα οποία και θα αποδίδονται σωστά με ηλεκτρονικό τρόπο.

II.ΤΟ ΗΧΗΤΙΚΟ ΣΗΜΑ

Το σήμα που παράγεται από κάποιο ηχογόνο σώμα (φωνή, όργανο), έχει την μορφή:

$$S(t)=A_0\sin(2\pi f_0 t)+A_1\sin(2\pi f_1 t)+..A_v\sin(2\pi f_v t)$$

οπου Α1, Α2…Αn είναι τα πλάτη των ταλαντώσεων, που προκύπτουν, και f1,f2…fn είναι οι συχνότητές τους.



Εικόνα 2.1. Ηχητικό Σήμα

Ένα ψηφιακό σήμα που έχει ηχογραφηθεί με συχνότητα δειγματοληψίας S, θα περιέχει, σύμφωνα με το θεώρημα Niquist, ταλαντώσεις των οποίων η συχνότητα δεν θα ξεπερνάει το S/2.Το σήμα αυτό είναι περιοδικό, εφ' όσον συχνότητες fn n=2, 3, 4,… ήταν ακέραια πολλαπλάσια της αρχικής f_1, αφού για την συνάρτηση ισχύει

$$S(t)=0, t\in R, \text{ αφού } \sin(x)=0 \Leftrightarrow \sin(vx)=0, v\in R$$

III.Ο ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ FOURIER

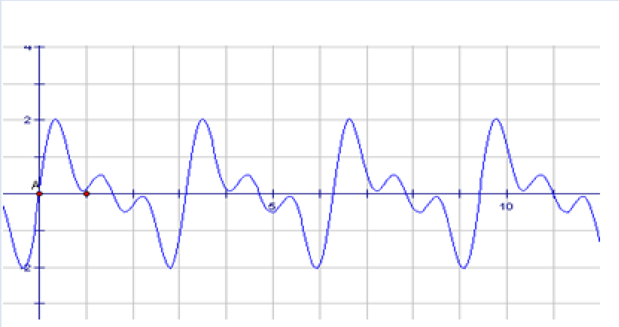
Ο συνεχής μετασχηματισμός Fourier F(ω) (ή για συντομία CFT – Continuous Fourier Transform) μιας συνεχούς συνάρτησης f(t) είναι μία συνάρτηση συχνότητας/εντάσεως, και ορίζεται ώς εξής:

Ο συνεχής μετασχηματισμός Fourier:

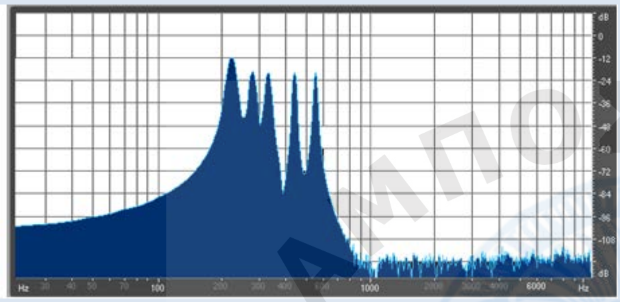
$$F(\omega)=\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-i\omega t}dt$$

Ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier:

$$F(\omega)=\sum_{t=-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-i\omega t}$$

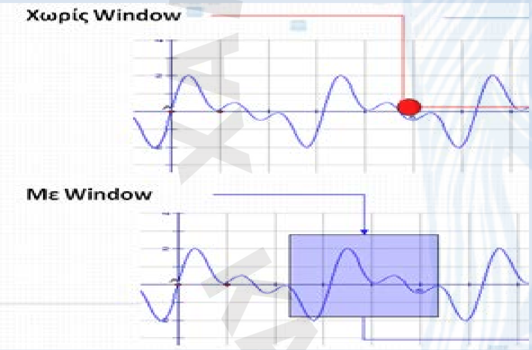


Εικόνα 3.1. Σήμα πριν τον μετασχηματισμό Fourier



Εικόνα 3.2. Σήμα μετά τον μετασχηματισμό Fourier

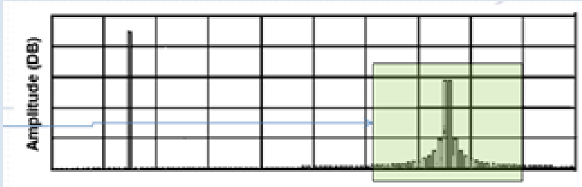
Λόγω του θεωρήματος της αβεβαιότητας του Heisenberg, θα πρέπει να εφαρμόσουμε τον μετασχηματισμό Fourier όχι σε ένα σημείο, αλλά σε ένα ‘Window’ του σήματος.



Εικόνα 3.3. Αβεβαιότητα Heisenberg

Η χρήση του παραπάνω μετασχηματισμού Fourier επιβάλλει τους παρακάτω περιορισμούς:

Ο μετασχηματισμός Fourier είναι κατάλληλος για περιοδικά σήματα. Στην πράξη, κανένα σήμα δεν είναι περιοδικό. Ετσι, ο μετασχηματισμός Fourier παράγει ανακρίβειες (γνωστές σαν leaks) , δηλαδή στοιχεία μη ακριβή για κοντινές συχνότητες. Το φαινόμενο αυτό (φαινόμενο Gibbs) παρουσιάζεται επειδή στην επιλογή του τμήματος, που χρειαζόμαστε, αναγκαστικά κόβονται ορισμένες από τις συχνότητες του σήματος, ακριβώς επειδή το σήμα δεν είναι περιοδικό.



Εικόνα 3.4. Φαινόμενο Gibbs

Ο δεύτερος περιορισμός είναι ο εξής: Ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier, που χρησιμοποιείται στους Η/Υ, δέχεται σαν είσοδο Χ δείγματα του σήματος και επιστρέφει Χ μιγαδικούς αριθμους.

Το μέτρο του καθενός μιγαδικου αριθμού z, υποδηλώνει την Ένταση Χ διαφορετικών συχνοτήτων, οι οποίες βρίσκονται από την εφαρμογή του παρακάτω τύπου:

$$f_i = \frac{iSR}{N}$$

όπου SR η συχνότητα δειγματοληψίας του σήματος. Από την περιγραφή αυτή γίνεται αμέσως σαφές ότι ο αλγόριθμος μπορεί να μας δώσει πληροφορίες μόνο για τις συχνότητες, οι οποίες προκύπτουν από τον παραπάνω τύπο για ακέραιο i και όχι για οποιαδήποτε συχνότητα από 0 μέχρι SR/2, που περιέχεται στο σήμα. Η ενέργεια των υπολοίπων συχνοτήτων διοχετεύεται στις συγκεκριμένες συχνότητες, που έχει ο διακριτός μετασχηματισμός. Αυτό, σε συνάρτηση και με το leakage που είδαμε προηγουμένως, ουσιαστικά μας απαγορεύει να χρησιμοποιήσουμε τον μετασχηματισμό Fourier για μετρήσεις ακριβείς, πράγμα αναγκαίο στο χόρδισμα των μουσικών οργάνων και στην ανίχνευση των μικροδιαστημάτων .

Αντί λοιπον του μετασχηματισμού Fourier, χρησιμοποιούνται μέθοδοι στο πεδίο του χρόνου.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των αλγορίθμων, που βασίζονται στο Time Domain, είναι:

1.Δίνουν καλύτερα αποτελέσματα σε μη περιοδικά σήματα, επειδή σαρώνουν το σήμα στον άξονα x-x’ (άξονας χρόνου), κάνοντας εκτιμήσεις για το πώς θα ήταν το σήμα, εάν ήταν περιοδικό.

2. Λειτουργούν ικανοποιητικά ακόμα και σε ελάχιστο μήκος σήματος, επειδή δε χρειάζεται να έχουν ολοκληρωθεί οι ταλαντώσεις πλήρως για την ανάλυσή του.

3. Τα αποτελέσματά τους είναι ακριβή και μάλιστα γίνονται καλύτερα, όσο μεγαλύτερη ταχύτητα δειγματοληψίας χρησιμοποιήσουμε.

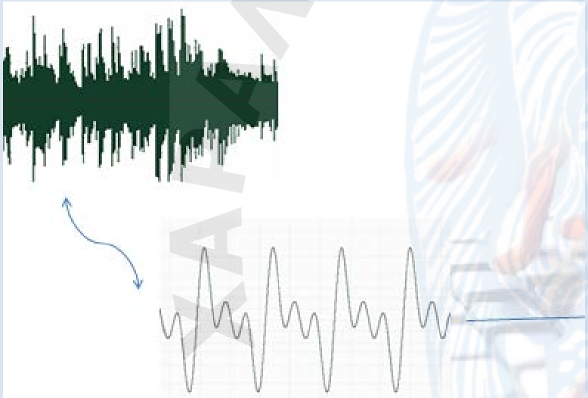
Το βασικό μειονέκτημα των αλγορίθμων, που βασίζονται στο Time Domain, είναι η ταχύτητα. Για να λειτουργήσουν ικανοποιητικά, πρέπει το σήμα να φιλτραρισθεί κατάλληλα. Με τις σημερινές όμως ταχύτητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, η ταχύτητα δεν είναι πλέον πρόβλημα.

IV. Η ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ

Ηχογραφούμε το σήμα. Αφού το σήμα ηχογραφηθεί, πρέπει να περάσει από μια ορισμένη προεπεξεργασία πριν μπορέσουμε να το ανιχνεύσουμε.

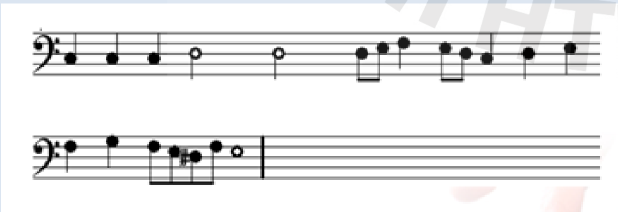
Η προεπεξεργασία αποτελείται είτε από low pass φίλτρα (εαν το σήμα το επιτρέπει, π.χ. εαν γνωρίζουμε ότι υπάρχει ένα όριο ανώτατης συχνότητας σε αυτό) , είτε από μεθόδους οι οποίοι αποσκοπούν στο να απλοποιηθεί όσο το δυνατόν περισσότερο αυτό το σήμα.

Στη συνέχεια το σήμα περνάει από την βασική επεξεργασία η οποία βγάζει ένα πίνακα από δομές οι οποίες περιγράφουν την συχνότητα, την διάρκεια και την ένταση του κάθε τμήματος του σήματος.



Εικόνα 4.1. Απλοποίηση του Σήματος

Στη συνέχεια το σήμα περνάει από την δεύτερη επεξεργασία, ένα αλγόριθμο που συνδέει τα επιμέρους τμήματα μεταξύ τους, απορρίπτει ή διορθώνει πιθανά λάθη της αναγνώρισης με βάση στατιστικών, και τελικά να βρεί τις συχνότητες που χρειαζόμαστε, με τελική κατάληξη το ευρωπαϊκό,



Εικόνα 4.2. Ευρωπαϊκή Σημειογραφία

η βυζαντινό κείμενο:

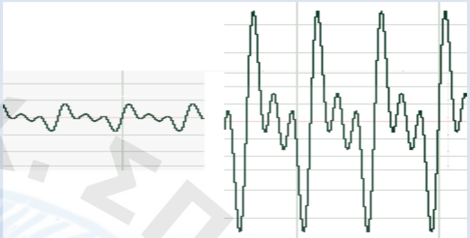
Εικόνα 4.3. Βυζαντινή Σημειογραφία

V. ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Ο αλγόριθμος δουλεύει ιδανικά σε ιδανικά σήματα, αλλά στην πράξη κανένα σήμα δεν είναι ιδανικό.

Οι περιπτώσεις που παρουσιάζονται προβλήματα είναι:

- Το σήμα έχει εξαιρετικά χαμηλή ένταση. Τότε πρέπει να περάσει από ενισχυτή έτσι ώστε να γίνει δυνατότερο για να μπορεί να ανιχνευθεί με ακρίβεια.

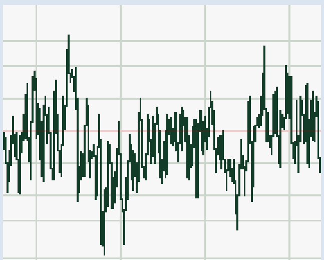


Εικόνα 5.1. Σήμα που ενισχύεται.

- Η περίπτωση που η βασική συχνότητα έχει χαμηλότερη ένταση (intensity) από κάποια αρμονική της. Το βασικό αυτό πρόβλημα το οποίο είναι ένα από αυτά που καταστρέφουν τα αποτελέσματα του FFT, λύνεται με συγκρίσεις του σήματος με το κοντινό του σήμα και με στατιστική ανάλυση των ταλαντώσεών του για να διαπιστωθεί εαν πρόκειται για σήμα που όντως υπάρχει βασική συχνότητα σε χαμηλότερη intensity.

Εικόνα 5.2. Φάσμα Fourier σήματος που η 1η αρμονική έχει υψηλότερη ένταση από την βασική συχνότητα.

- Το σήμα έχει θόρυβο σε επίπεδο έντασης που καταστρέφει την ποιότητα του σήματος (θόρυβοι σε μικρές εντάσεις δεν δημιουργούν προβλήματα) . Στην περίπτωση αυτή ενδύκνειται το high pass φίλτρο με σκοπό να απομακρυνθεί πρώτα ο θόρυβος των χαμηλών συχνοτήτων, εάν αυτό είναι δυνατό.



Εικόνα 5.3. Σήμα με θόρυβο

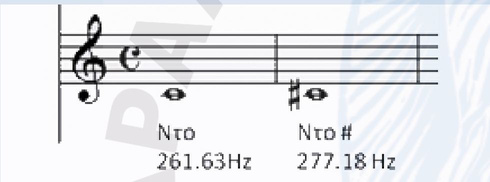
- Το σήμα έχει ασταθείς συχνότητες. Για παράδειγμα, η ανθρώπινη φωνή, η οποία δεν διατηρεί σχεδόν ποτέ σταθερή την συχνότητα. Στην περίπτωση αυτή το πρόγραμμα φιλτράρει όσο είναι δυνατόν το σήμα για να απλοποιηθεί, και χρησιμοποιεί τις ενδείξεις έντασης για να διαχωρίσει τις νότες μεταξύ τους.

Εικόνα 5.4. Σήμα με ασταθείς συχνότητες

VI. ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΣΗΜΕΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Στις τρέχουσες μουσικές σημειογραφίες (ευρωπαϊκή , βυζαντινή, MIDI) δεν υπάρχει τρόπος να απεικονιστούν νότες οι οποίες έχουν ελάχιστες μεταβολές στην καθιερωμένη συχνότητά τους.

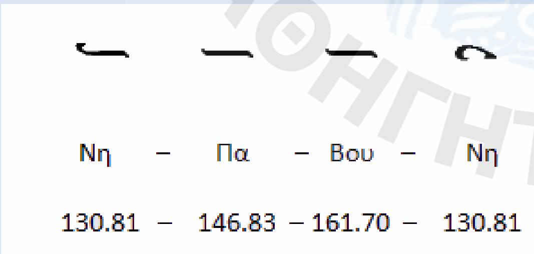
Για παράδειγμα, στην ευρωπαϊκή μουσική, μπορούμε να απεικονίσουμε την νότα Ντο (130.81Hz) , και την νότα Ντο # (138.59Hz) , όχι όμως κάποια συχνότητα μεταξύ αυτών των δύο.



Εικόνα 6.1. Συχνότητες που αντιστοιχούν σε ευρωπαϊκές νότες

Στο MIDI έχουμε το ίδιο πρόβλημα, δεδομένου ότι οι 128 νότες MIDI είναι 128 ευρωπαϊκές νότες.

Το ίδιο συμβαίνει και στην βυζαντινή, η οποία απεικονίζει νότες σύμφωνα με την απόσταση της κάθε νότας από την προηγούμενη, απόσταση η οποία είναι σταθερή ανάλογα με τον επιλεγμένο βυζαντινό ήχο.



Εικόνα 6.2. Συχνότητες που αντιστοιχούν σε βυζαντινές νότες

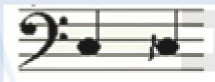
VII . Η ΝΕΑ ΣΗΜΕΙΟΓΡΑΦΙΑ

Μια καλή λύση στο πρόβλημα που περιγράψαμε πρέπει να έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

9. Να είναι εύκολη στην υλοποίηση και στην εκμάθηση
10. Να είναι ευέλικτη σε αλλαγές.
11. Να μπορεί να αγνοηθεί από όργανα/ανθρώπους που δεν μπορούν να ερμηνεύσουν ένα μικροδιάστημα.
12. Να είναι συμβατή με όλα τα υπάρχοντα σύμβολα της σημειογραφίας.
13. Να μην συγχέεται με τα υπάρχοντα σύμβολα δίεσης και ύφεσης.
14. Να δίνει την δυνατότητα διαχωρισμού της οκτάβας σε οσαδήποτε μέρη, μέχρι και το ανώτερο διεθνές στάνταρ, το cent.
15. Να καταλαμβάνουν μικρό χώρο στο πεντάγραμμο/χαρτί , για να μην χάνεται η συνέχεια στις νότες.
16. Να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές εύκολα.

Για να μπορέσουμε να απεικονίσουμε όλες τις νότες, εισάγουμε δύο νέα σύμβολα στην σημειογραφία: την απλή δίεση '/' και την απλή ύφεση '\' .

Ορίζουμε σαν σύμβολο απλής δίεσης, το σύμβολο / (Πλάγια κάθετος), και την τοποθετούμε αριστερά από την νότα.

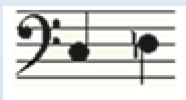


Εικόνα 7.1. Απλή δίεση

Περισσότερες απλές διέσεις στα αριστερά της νότας, συνιστούν διπλή, τριπλή, τετραπλή δίεση κλπ.

Ορίζουμε σαν σύμβολο απλής ύφεσης, το σύμβολο \ (Ανάποδη κάθετος) και την τοποθετούμε αριστερά από την νότα.

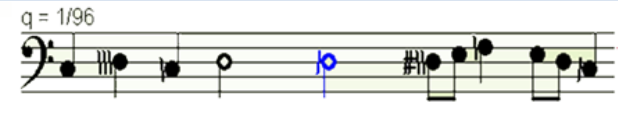
Περισσότερες απλές υφέσεις στα αριστερά της νότας, συνιστούν διπλή, τριπλή, τετραπλή κλπ ύφεση.



Εικόνα 7.2. Απλή ύφεση

Στην (σπανιότατη) περίπτωση που χρειαζόμαστε πολλές διέσεις/υφέσεις και ο χώρος δεν επαρκεί, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα μονοψήφιο/διψήφιο αριθμό πριν την δίεση/ύφεση.

Τα σύμβολα της απλής δίεσης/ύφεσης μπορούν να συνυπάρχουν με τα συνηθισμένα σύμβολα δίεσης/διπλής δίεσης κλπ.



Εικόνα 7.3. Παραδείγματα των νέων σημείων αλλοιώσεως.

Ορίζουμε σαν σύμβολο ένδειξης του διαχωρισμού της οκτάβας σε ν ίσα διαστήματα, το σύμβολο q. Κάθε μουσικό έργο μπορεί να περιέχει την ένδειξη με το σύμβολο q σε οποιοδήποτε σημείο του. Η μορφή της ένδειξης είναι:

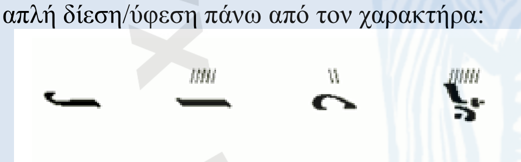
$$\mathbf{q = a/b}$$

Όπου b ο αριθμός των ίσων τμημάτων στην οκτάβα, και a ο αριθμός των τμημάτων στα οποία αντιστοιχεί μια απλή δίεση.

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει ένδειξη q στο μουσικό κείμενο, τότε θεωρείται ως προεπιλεγμένη η ένδειξη q = 1/12. Σε αυτήν την περίπτωση η απλή δίεση / και η απλή ύφεση \ ισοδυναμούν με την ευρωπαϊκή δίεση # και την ευρωπαϊκή ύφεση ♭ αντίστοιχα.

Για παράδειγμα, εαν q = 1/24, τότε κάθε απλή δίεση ισούται με το 1/24 της οκτάβας, δηλαδή το μισό του ημιτονίου.

Το ίδιο ισχύει και στην βυζαντινή μουσική. Τοποθετούμε την απλή δίεση/ύφεση πάνω από τον χαρακτήρα:



Εικόνα 7.4. Βυζαντινή σημειογραφία με απλά σύμβολα

Τα σύμβολα που εισάγουμε, ικανοποιούν όλες τις παραπάνω βασικές συνθήκες.

Στο MIDI ορίζονται δύο επεκτάσεις:

Η μία τοποθετείται στην αρχή του κάθε track σαν μύνημα Meta-Data και δείχνει το μέγεθος της απλής δίεσης/ύφεσης, και μπορεί να υπάρχει και σε οποιοδήποτε άλλο σημείο του προγράμματος. (Εαν δεν υπάρχει, τότε θεωρείται η προεπιλογή q = 1/12)

Η άλλη επέκταση, τοποθετείται πριν από την κάθε νότα σαν μήνυμα MIDI controller και ορίζει ότι η επόμενη νότα θα έχει απλές διέσεις ή υφέσεις.

Τι θα συμβεί αν το αρχείο midi το διαβάσουν προγράμματα που δεν υποστηρίζουν αυτές τις επεκτάσεις? Θα της αγνοήσουν και το αρχείο midi θα εκτελεστεί χωρίς οι νότες να παίρνουν τις απλές διέσεις/υφέσεις τους.

Ετσι λοιπόν μπορούμε πλέον να απεικονίσουμε οποιαδήποτε συχνότητα είτε στο πεντάγραμμο, είτε στο MIDI, είτε στην βυζαντινή παρασημαντική, με την βοήθεια των νέων συμβόλων που εισάγουμε.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

R.W.Hamming, “Numerical Methods for Scientists and Engineers” *Dover Publications*, New York, 1986.

Eugene Isaacson, “Herbert Bishop Keller. Analysis of Numerical Methods” *Dover Publications*, New York, 1994.

Francis J. Flanigan, “Complex Variables, Harmonic and Analytic Functions” *Dover Publications*, New York, 1983.

R.W.Hamming, “Digital Filters” *Dover Publications*, New York, 1998.

Steve Smith, “The Scientist and Engineer's guide to Digital Signal Processing” *California Technical Publishing*, 1997.

Richard A. Silverman. “Introductory Complex Analysis” . *Dover Publications*, New York, 1984.

Alan V. Oppenheim, “Discrete-Time Signal Processing” , *Pearson Education Publishing*, 2001.