



**ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**
Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

Σκαρμούτσος Νικόλαος (Α.Μ. Μ210)

J. T. F. A.
(Joint Time Frequency Analysis)

Εργασία στο μάθημα: Επικοινωνία με Ομιλία
Διδάσκων: Γεώργιος Κουρουπέτρογλου

Αθήνα 1999

Περιεχόμενα

<i>Περιεχόμενα</i>	<i>2</i>
<i>Περίληψη.</i>	<i>3</i>
<i>1. Γιατί χρειαζόμαστε ανάλυση στο χρόνο και στη συχνότητα ταυτόχρονα ;</i>	<i>4</i>
<i>2. Γενικά στοιχεία της λειτουργία της εφαρμογής JTFA</i>	<i>4</i>
<i>3. Χαρακτηριστικά αλγορίθμων επεξεργασίας.</i>	<i>7</i>
3.1 Αλγόριθμος φασματογραφήματος Gabor.	7
3.2 Αλγόριθμος προσαρμοστικού φασματογραφήματος.	8
3.3 Σύντομος αλγόριθμος μετασχηματισμού Fourier.	8
3.4 Κατανομή Wigner-Ville.	9
3.5 Κωνοειδής κατανομή.	9
3.6 Κατανομή Choi-Williams.	9
<i>4. Παράδειγμα πραγματικού σήματος.</i>	<i>10</i>
<i>Βιβλιογραφία.</i>	<i>13</i>

Περίληψη.

Η εργασία αυτή αφορά την ανάλυση της εφαρμογής JTFA. Η εφαρμογή της από κοινού ανάλυσης στο χώρο και στο χρόνο ενός σήματος (Joint Time Frequency Analysis) μας δίνει τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε το φασματογράφημα ενός σήματος σε αντίθεση με τις πρόσφατα χρησιμοποιούμενες μεθόδους (της ανάλυσης στο χρόνο είτε της ανάλυσης στο πεδίο των συχνοτήτων) οι οποίες μας παρέχουν συγκεχυμένη πληροφορία όσον αφορά τα χαρακτηριστικά ενός σήματος. Το κυριότερο λοιπόν πλεονέκτημα της από κοινού ανάλυσης είναι το ότι μας δίνει τη δυνατότητα να εντοπίσουμε σε ποιες περιοχές συγκεντρώνεται η ενέργεια του σήματος και χρονικά αλλά και φασματικά με αποτέλεσμα ανάλογα με το είδος της πληροφορίας που θέλουμε να “πάρουμε” να εφαρμόζουμε και τις κατάλληλες μεθόδους επεξεργασίας

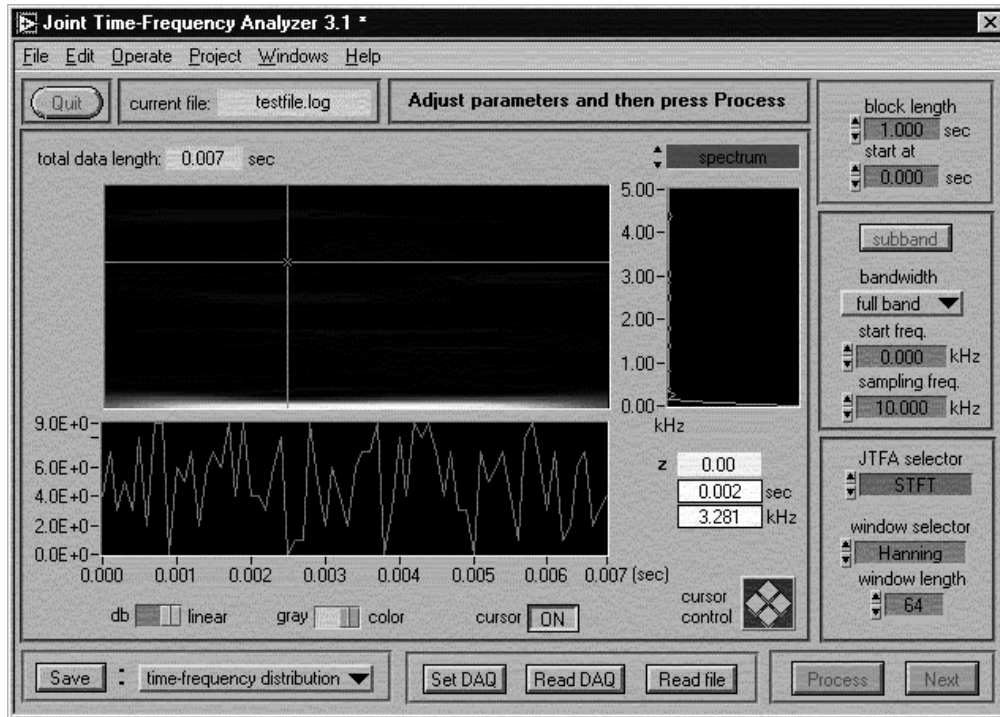
1. Γιατί χρειαζόμαστε ανάλυση στο χρόνο και στη συχνότητα ταυτόχρονα ;

Όπως είναι γνωστό μέχρι σήμερα οι κυριότερες χρησιμοποιούμενες μέθοδοι ανάλυσης για ένα οποιοδήποτε σήμα και στη συγκεκριμένη περίπτωση για ομιλία είναι η αναπαράσταση αυτού στο πεδίο του χρόνου, όπου έχουμε μία απεικόνιση της μεταβολής του πλάτους του σήματος με το χρόνο, ή διαφορετικά η αποτύπωση αυτού στο πεδίο των συχνοτήτων. Η κλασική όμως αυτή μέθοδος αναπαράστασης ενός σήματος (χρόνος ή συχνότητα) πολλές φορές μας αποκρύπτει πληροφορίες για ένα σήμα οι οποίες μπορεί να είναι αρκετά σημαντικές για την συμπεριφορά ενός φαινομένου (στη συγκεκριμένη περίπτωση ομιλίας) το οποίο και θέλουμε να μελετήσουμε. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μία τέτοιου είδους απεικόνιση εμπεριέχει πληροφορία μόνο στο ένα πεδίο, έτσι δεν είναι δυνατή η ανάδειξη χαρακτηριστικών που προκύπτουν από την συμμεταβολή των χρονικών και φασματικών συνιστωσών ενός σήματος. Γεννάται λοιπόν η ανάγκη για μία μέθοδο αναπαράστασης ενός σήματος η οποία θα αναδεικνύει συνδυασμένη την πληροφορία και θα μας επιτρέπει την παρουσίαση χαρακτηριστικών όπως για παράδειγμα το πώς μεταβάλλεται το φάσμα ενός σήματος ομιλίας με το χρόνο (γεγονός που ισχύει στα περισσότερα σήματα ομιλίας για χρονικά διαστήματα μεγαλύτερα των 20msec). Για το λόγω αυτό λοιπόν αναπτύχθηκαν μέθοδοι επεξεργασίας σημάτων όπως η μέθοδος JTFA (Joint Time Frequency Analysis) που επιτρέπει την ταυτόχρονη ανάλυση ενός σήματος στο πεδίο του χρόνου και των συχνοτήτων. Εκτός όμως από την ιδιότητα αυτή του JTFA εργαλείου που είναι αρκετά γενική ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό που μας παρέχεται με τον τύπο αυτό της ανάλυσης ενός σήματος είναι η δυνατότητα να αφαιρέσουμε το θόρυβο από ένα σήμα ειδικότερα σε περιπτώσεις όπου αυτό δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί με τη βοήθεια κάποιου άλλου τρόπου ανάλυσης. Στην από κοινού ανάλυση επιπλέον είμαστε σε θέση να δούμε όχι μόνο τον τρόπο με τον οποίο αλλάζει το φάσμα ενός σήματος με το χρόνο αλλά και το πώς μεταβάλλεται η ένταση της κάθε συχνότητας ανάλογα με το χρόνο, σε αντίθεση με την απλή ανάλυση Fourier η οποία μας δίνει μόνο το φάσμα του σήματος σε μία καθορισμένη χρονική στιγμή. Επιπλέον όμως η μέθοδος της από κοινού ανάλυσης ενός σήματος και στο χρόνο αλλά και στη συχνότητα μας δίνει τη δυνατότητα να κατανοήσουμε καλύτερα την υφή ενός σήματος βελτιώνοντας έτσι την ικανότητα μας να κατατάξουμε ένα σήμα π.χ. στη επεξεργασία ομιλίας (κυρίως αναγνώριση) ανάλογα με το που εντοπίζονται οι κύριες συχνότητες συντονισμού της φωνητικής οδού (formants) να μπορούμε να κατανοήσουμε αν πρόκειται για μία γυναίκα για ένα άντρα ή για ένα παιδί.

2. Γενικά στοιχεία της λειτουργίας της εφαρμογής JTFA

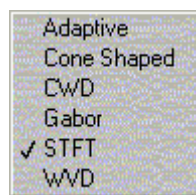
Ένα λοιπόν από τα πιο γνωστά εργαλεία από κοινού ανάλυσης στο χρόνο και στη συχνότητα είναι και το JTFA του LabVIEW. Παρόλο που το εργαλείο αυτό ανήκει στην κατηγορία των προγραμμάτων του LabVIEW έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει και αυτόνομα χωρίς να απαιτείται η ταυτόχρονη εκτέλεση της κύριας εφαρμογής του LabVIEW. Αρχικά η εκτέλεση της εφαρμογής απαιτεί την εισαγωγή

των δεδομένων η οποία μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους (είτε από αρχείο είτε από κάρτα DAQ κτλ.). Στη συνέχεια αφού καθορίσουμε τις παραμέτρους με τις οποίες θέλουμε να γίνει η ανάλυση, (δηλαδή τη χρονική διάρκεια του σήματος, τον αλγόριθμο επεξεργασίας κτλ.) το σήμα αναλύεται και σχεδιάζεται σε τρία παράθυρα όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα



Σχήμα 1 Παράθυρο εφαρμογής JTFA

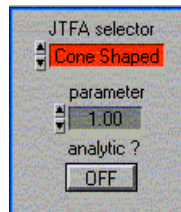
εκ των οποίων το κυρίως γράφημα είναι το γράφημα της από κοινού ανάλυσης το γράφημα στα δεξιά είναι η γραφική αναπαράσταση της ανάλυσης κατά συχνότητα και τέλος το γράφημα στο κάτω μέρος είναι η χρονική αναπαράσταση του σήματος (για όσο διάστημα έχει επιλεγεί να γίνει η ανάλυση). Όσον αφορά το γράφημα της από κοινού αναπαράστασης η εφαρμογή JTFA δημιουργεί το φασματογράφημα σχεδιάζοντας κάθε σημείο ανάλογα με την ένταση του φάσματος. Οι κυριότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην από κοινού ανάλυση ενός σήματος στο χρόνο και στη συχνότητα είναι όπως φαίνονται και στο παρακάτω σχήμα



Σχήμα 2 Αλγόριθμοι που μπορούμε να εφαρμόσουμε

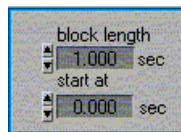
η μέθοδος του σύντομου μετασχηματισμού Fourier, η μέθοδος του προσαρμοστικού φασματογραφήματος, του φασματογραφήματος Gabor, της κατανομής Choi-

Williams, της κωνοειδούς (cone-shape) κατανομής και της κατανομής Wigner-Ville. Με το πακέτο αυτό λοιπόν μας δίνεται η ευκαιρία να επιλέξουμε ανάλογα με τον τύπο του σήματος τον κατάλληλο αλγόριθμο επεξεργασίας που θα μας επιτρέψει να αποκωδικοποιήσουμε την πληροφορία που εμείς θέλουμε. Επιπλέον όμως το JTFA μας δίνει τη δυνατότητα ανάλογα με τον αλγόριθμο επεξεργασίας να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά και οι παράμετροι αυτού. Όπως φαίνεται λοιπόν και στο σχήμα 3 που αποτελεί ένα ενδεικτικό του είδους των ρυθμίσεων που μπορούμε να κάνουμε σε κάποιον συγκεκριμένο αλγόριθμο



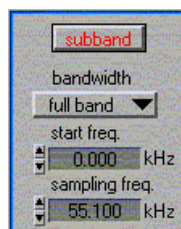
μας δίνεται η ευκαιρία να επιλέξουμε ανάλογα με τον τύπο του σήματος τον κατάλληλο αλγόριθμο επεξεργασίας. Εκτός όμως από αυτές τις ρυθμίσεις ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό που μπορούμε να ρυθμίσουμε είναι το χρονικό διάστημα από ένα σήμα το οποίο θα επεξεργαστούμε, (βλέπε σχήμα 4)

Σχήμα 3 Ρυθμίσεις παραμέτρων ενός συγκεκριμένου αλγορίθμου επεξεργασίας.



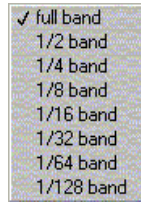
Σχήμα 4 Ρυθμίσεις σχετικές με το χρονικό παράθυρο επεξεργασίας

δηλαδή να καθορίσουμε τη χρονική στιγμή από την οποία θα αρχίσουμε να λαμβάνουμε (επεξεργαζόμαστε) τα δεδομένα του σήματος και τη χρονική στιγμή κατά την οποία θα σταματήσει η δειγματοληψία. Ένα άλλο χαρακτηριστικό το οποίο μπορούμε να ρυθμίσουμε είναι το φασματικό παράθυρο της ανάλυσης (βλέπε σχήμα 5)



Σχήμα 5 Παράθυρο καθορισμού συχνοτήτων επεξεργασίας

όπως επίσης και το τμήμα του εύρους ζώνης που θα αναλυθεί (σχήμα 6)



Σχήμα 6 Επιλογή τμήματος του εύρους ζώνης προς επεξεργασία

και τέλος έχουμε τη δυνατότητα να περάσουμε το σήμα από ένα φίλτρο προενίσχυσης το οποίο και θα μειώσει την επίδραση των χαμηλών συνιστωσών του σήματος και κυρίως της DC συνιστώσας.

3. Χαρακτηριστικά αλγορίθμων επεξεργασίας.

Οι αλγόριθμοι της τάξης Cohen (κατανομές Wigner-ville, Cone-shape, Choi-Williams) εκφράζονται γενικά από την παρακάτω σχέση

$$P(i, k) = \sum_{m=-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}-1} W_L^{-2mk} \sum_n \phi(n, m) R(i - n, m)$$

$$\text{με } W_L = \exp\left\{\frac{j2\pi}{L}\right\}$$

και έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό να μειώνουν την επίδραση της αλληλοπαρεμβολής που προκαλείται από τις αρνητικές φασματικές συνιστώσες αλλά έχουν το μειονέκτημα να εισάγουν παραμόρφωση κυρίως στη ζώνη των χαμηλών συχνοτήτων.

3.1 Αλγόριθμος φασματογραφήματος Gabor.

Ο αλγόριθμος του φασματογραφήματος Gabor αναπαριστά το χρονικά εξαρτώμενο φάσμα του σήματος σε μία σειρά συναρτήσεων που εξαρτώνται από το χρόνο και από τη συχνότητα και για ένα σήμα $s(i)$ δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$GS_D(i, k) = \sum_{d=0}^D P_d(i, k)$$

όπου το D είναι η τάξη του φασματογραφήματος και P_d είναι η συνάρτηση του φίλτρου παρεμβολής. Ο αλγόριθμος Gabor έχει την ιδιότητα ότι τα χαμηλότερης τάξης φασματογραφήματα παρουσιάζουν μικρότερη αλληλοπαρεμβολή αλλά και μικρότερη ανάλυση σε αντίθεση με τα υψηλότερης τάξης που έχουν καλύτερη ανάλυση αλλά και μεγαλύτερη υπολογιστική πολυπλοκότητα.

3.2 Αλγόριθμος προσαρμοστικού φασματογραφήματος.

Το προσαρμοστικό φασματογράφημα λειτουργεί προσαρμόζοντας τη διασπορά, το χρονικό μέσο και το μέσο της συχνότητας των συναρτήσεων Gauss ώστε να ταιριάζουν καλύτερα στο υπό ανάλυση σήμα. Με αυτό επιτυγχάνεται το φασματογράφημα αυτό να απαλλάσσεται από όρους αλληλοπαρεμβολής. Στη συνέχεια παρατίθεται η σχέση που μας δίνει το προσαρμοστικό φασματογράφημα

$$AS(i, k) = \sum_{p=0}^{P-1} |B_p|^2 \exp \left[- \left(\frac{i - i_p}{\sigma_p} \right)^2 - \left(\frac{2\pi\sigma_p}{L} \right)^2 (k - k_p)^2 \right]$$

η οποία προϋποθέτει τον υπολογισμό των προσαρμοζόμενων συναρτήσεων Gauss.

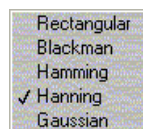
3.3 Σύντομος αλγόριθμος μετασχηματισμού Fourier.

Ο σύντομος αλγόριθμος μετασχηματισμού Fourier που δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$STFT(i, k) = \left\{ \sum_{m=-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}-1} s(i-m)g(m)W_L^{-mk} \right\}^2$$

$$0 < k < \frac{L}{2}$$

όπου $g(m)$ είναι το παράθυρο της ανάλυσης (Hamming, κτλ, βλέπε σχήμα)



Σχήμα 7 Τύποι παραθύρων για τον τεμαχισμό του σήματος

Ο παραπάνω αλγόριθμος είναι ο προκαθορισμένος της εφαρμογής και “τεμαχίζει” το σήμα (εδώ ομιλίας) σε μικρά χρονικά διαστήματα και εφαρμόζει μετασχηματισμό Fourier σε κάθε ένα από αυτά. Αυτό μας επιτρέπει την γρήγορη ανάλυση του σήματος από τη στιγμή που για την ανάλυση Fourier διαθέτουμε γρήγορες εφαρμογές υπολογισμού της όπως ο αλγόριθμος FFT.

3.4 Κατανομή Wigner-Ville.

Η κατανομή Wigner-Ville προκύπτει από τη γενική σχέση της παραγράφου 3 αν όπου $\phi(i, m)$ θέσουμε $\delta(i)$. Έτσι προκύπτει η σχέση

$$\text{WVD}(i, k) = \sum_{m=-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}-1} W_L^{-2mk} R(i, m)$$

απ' όπου φαίνεται ότι η παραπάνω κατανομή μπορεί να θεωρηθεί ως ο μετασχηματισμός Fourier της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης.

3.5 Κωνοειδής κατανομή.

Εάν στη σχέση της παραγράφου 3 θέσουμε:

$$\phi(i, m) = \begin{cases} \exp\left\{\frac{-\alpha m^2}{500}\right\} & \text{για } i < |m| \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

προκύπτει η εξίσωση της κωνοειδούς κατανομής η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$P(i, k) = \sum_{m=-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}-1} W_L^{-2mk} \exp\left(\frac{-\alpha m^2}{500}\right) \sum_{n \leq |m|} R(i - n, m)$$

όπου η παράμετρος α καθορίζει το βαθμό εξομάλυνσης (μεγάλο α μικρού βαθμού εξομάλυνση, μικρό α μεγάλου βαθμού εξομάλυνση) με βέλτιστες τιμές μεταξύ 0.5 και 100.

3.6 Κατανομή Choi-Williams.

Θέτοντας στην αρχική σχέση

$$\phi(i, m) = \sqrt{\frac{\alpha}{4\pi m^2}} \exp\left(\frac{-\alpha i^2}{4m^2}\right)$$

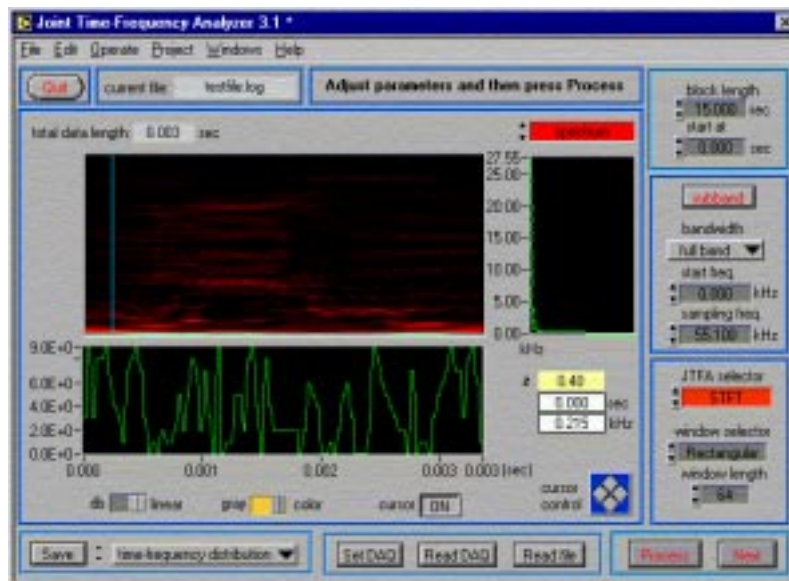
έχουμε την εξίσωση της κατανομής choi-williams που δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$P(i, k) = \sum_{m=-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}-1} \sqrt{\frac{\alpha}{4\pi m^2}} \sum_n \exp\left(\frac{-\alpha n^2}{4m^2}\right) R(1-n, m)$$

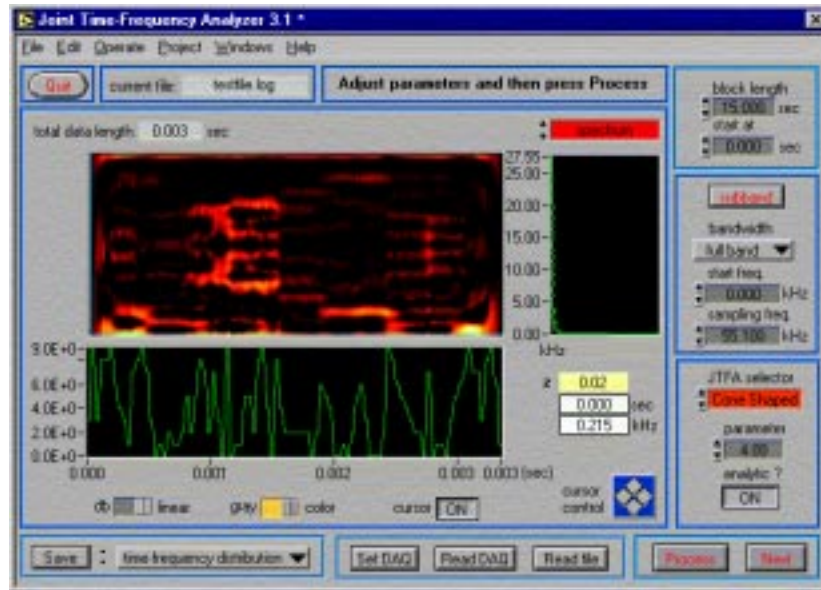
όπου και εδώ (όπως στην κωνοειδή κατανομή) η παράμετρος α καθορίζει το βαθμό εξομάλυνσης. Η εξομάλυνση που πραγματοποιεί ο αλγόριθμος αυτός μειώνει την αλληλοπαρεμβολή με κόστος την αυξημένη πολυπλοκότητα.

4. Παράδειγμα πραγματικού σήματος.

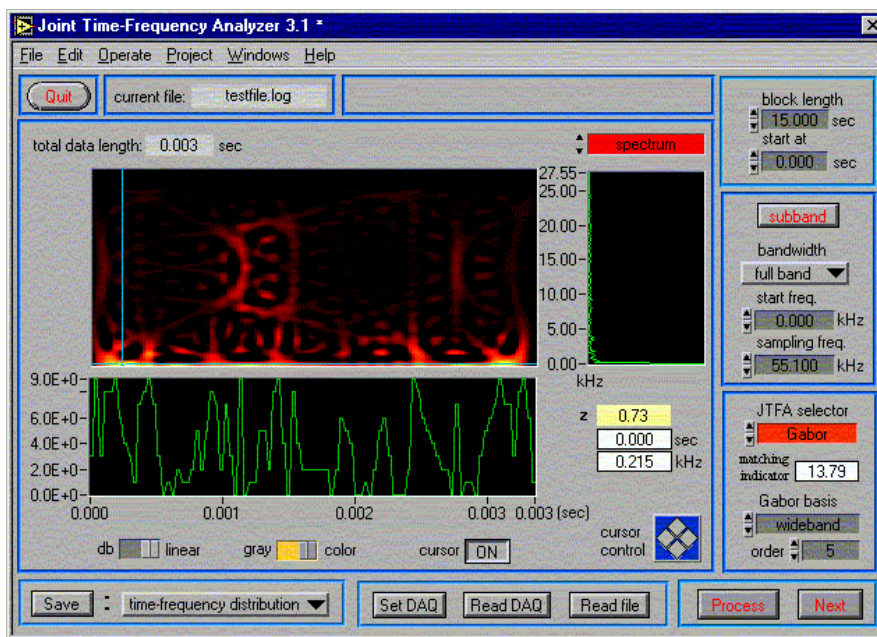
Στη συνέχεια παρατίθενται ορισμένα φασματογραφήματα διαφόρων αλγορίθμων επεξεργασίας από ένα πραγματικό σήμα ομιλίας που ηχογραφήθηκε στο εργαστήριο μετά την εκφώνηση της φράσης καλώς ήρθατε στο Τμήμα Πληροφορικής όπου μπορούμε να παρατηρήσουμε τις διαφορές ανάμεσα στους αλγορίθμους.



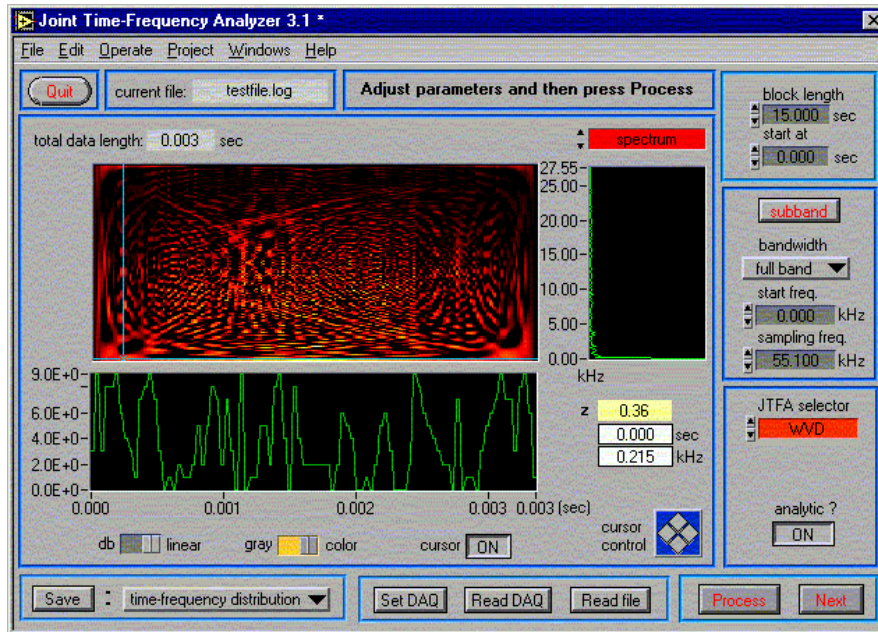
Σχήμα 8 Φασματογράφημα ανάλυσης πειραματικού σήματος με τη μέθοδο του σύντομου μετασχηματισμού Fourier και για τετραγωνικό παράθυρο 'τεμαχισμού' των δεδομένων



Σχήμα 9 Φασματογράφημα ανάλυσης πειραματικού σήματος με τη μέθοδο της κωνοειδούς κατανομής για παράμετρο 4



Σχήμα 10 Φασματογράφημα ανάλυσης πειραματικού σήματος με τη μέθοδο της κατανομής Gabor για τάξη 5 και wideband basis



Σχήμα 11 Φασματογράφημα ανάλυσης πειραματικού σήματος με τη μέθοδο της αναλυτικής κατανομής Wigner-Ville

Σημείωση: Τέλος οφείλουμε να παρατηρήσουμε ότι η συγκεκριμένη εφαρμογή είχε πρόβλημα με το προσαρμοστικό αλγόριθμο φασματογραφήματος με συνέπεια να μην γίνει εφικτή η ανάλυση του σήματος με τον παραπάνω αλγόριθμο.

Βιβλιογραφία.

1. “Joint Time Frequency Analysis : Methods and Applications”, Shie Qian, Dapang Chen.
2. LabVIEW Joint Time Frequency Analysis Toolkit Reference Manual.