

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ



Τεχνικές Εκτίμησης Συχνοτικού Περιεχομένου Σημάτων

1. Εισαγωγή

Στα πλαίσια αυτής της άσκησης θα εξεταστούν τεχνικές εκτίμησης του συχνοτικού περιεχομένου ντετερμινιστικών και στοχαστικών σημάτων διακριτού χρόνου πεπερασμένης χρονικής διάρκειας και θα υλοποιηθούν στην αναπτυξιακή κάρτα DSK TMS320C6711. Συγκεκριμένα, οι τεχνικές που θα εξεταστούν και θα υλοποιηθούν θα βασίζονται στον Ταχύ Μετασχηματισμό Fourier (FFT). Σκοπός της άσκησης είναι η φασματική ανάλυση σημάτων σε πραγματικό χρόνο και η διερεύνηση θεμάτων, όπως η παραθύρωση και η κατάτμηση του σήματος. Τέλος υλοποιείται η τεχνική της φασματικής αφαίρεσης, με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας σημάτων ομιλίας σε πραγματικό χρόνο.

2. Εκτίμηση συχνοτικού περιεχομένου Σήματος με Χρήση Διακριτού Χρόνου Μετασχηματισμού Fourier

Γνωρίζουμε ότι ο Διακριτού Χρόνου Μετασχηματισμός Fourier είναι το μαθηματικό εργαλείο που μας μεταφέρει από το πεδίο του διακριτού χρόνου στο πεδίο της ψηφιακής συχνότητας. Και ορίζεται από τη σχέση:

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] e^{-jn\omega}$$

όπου x_n είναι ένα σήμα διακριτού χρόνου.

Από τον ορισμό του Μετασχηματισμού Fourier είναι φανερό ότι για να υπολογίσουμε το συχνοτικό περιεχόμενο ενός σήματος είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε ολόκληρο το σήμα x_n . Στη πράξη βέβαια μας διατίθεται ένα πεπερασμένο σύνολο δειγμάτων, με το οποίο καλούμαστε να εκτιμήσουμε το συχνοτικό περιεχόμενο ολόκληρου του σήματος x_n . Δίχως απώλεια της γενικότητας θα θεωρήσουμε ότι διαθέτουμε τα N δείγματα $x_0, x_1, \dots, x_{N-1}$ με τα οποία θα επιχειρήσουμε να εκτιμήσουμε το συχνοτικό περιεχόμενο $X(e^{j\omega})$ του σήματος x_n . Εάν πέρα των N δειγμάτων δεν υπάρχει καμία επιπλέον πληροφορία για το σήμα x_n , τότε ένας προφανής τρόπος εκτίμησης του $X(e^{j\omega})$ είναι η αντικατάσταση του απείρου αθροίσματος στην παραπάνω σχέση με το πεπερασμένο άθροισμα που αναφέρεται στα διαθέσιμα δείγματα, δηλαδή:

$$\hat{X}(e^{j\omega}) = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j\omega n}$$

Η προσέγγιση $\hat{X}(e^{j\omega})$ αποτελεί το Διακριτού Χρόνου Μετασχηματισμό Fourier της ακολουθίας $\hat{x}_n = w_n x_n$ (ο οποίος μπορεί να υπολογιστεί με πολύ μικρό υπολογιστικό κόστος με χρήση FFT), όπου το w_n είναι η ακολουθία τετραγωνικού παράθυρου:

$$w_n = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases}$$

Η εκτίμηση του συχνοτικού περιεχομένου μπορεί να βελτιωθεί εάν χρησιμοποιήσουμε εναλλακτικά παράθυρα στη θέση του τετραγωνικού. Τα παράθυρα αυτά επιχειρούν να εξομαλύνουν τις ασυνέχειες που εμφανίζει το τετραγωνικό παράθυρο, δίνοντας έτσι μικρό βάρος σε δείγματα που συνορεύουν με τις χρονικές στιγμές 0 και $N-1$.

Ερώτημα 1: Εκτιμήστε¹ το συχνοτικό περιεχόμενο ενός ημιτονικού σήματος χρησιμοποιώντας:

1. τετραγωνικό παράθυρο,
2. παράθυρο Hamming και
3. παράθυρο Kaiser.

Σχολιάστε τα αποτελέσματά σας. Χρησιμοποιήστε μπλοκ δεδομένων 32128.

¹ Στο Matlab.

3. Εκτίμηση φάσματος με χρήση περιοδογράμματος

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε σε μια τεχνική εκτίμησης συχνοτικού περιεχομένου ενός στοχαστικού σήματος. Η τεχνική αυτή ονομάζεται *περιοδόγραμμα* και εφαρμόζεται σε ενθόρυβα σήματα της μορφής:

$$y[n] = s[n] + w[n]$$

Το περιοδόγραμμα για μια ακολουθία $y[n]$, N σημείων ορίζεται ως:

$$I_N(\omega) = \frac{1}{N} |Y(\omega)|^2$$

όπου

$$Y(\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} y[n] e^{-j\omega nT}$$

είναι ο Διακριτού Χρόνου Μετασχηματισμός Fourier του σήματος $y[n]$. Με μια πρώτη ματιά είναι φυσικό να υποθέσουμε ότι όσο το N αυξάνεται, το περιοδόγραμμα γίνεται μια καλύτερη εκτίμηση της πυκνότητας φάσματος ισχύος για μια στάσιμη τυχαία διαδικασία. Παρόλα αυτά κατι τέτοιο δε συμβαίνει. Στη πραγματικότητα η μέση τιμή του περιοδογράμματος συγκλίνει στην πραγματική πυκνότητα φάσματος, αλλά η διασπορά του παραμένει μεγάλη. Όσο το N αυξάνεται το περιοδόγραμμα έχει τη τάση να ταλαντώνεται ολοένα και πιο γρήγορα. Μια λύση στο πρόβλημα αυτό είναι να υπολογιστεί η μέση τιμή του περιοδογράμματος N σημείων της ακολουθίας δεδομένων που μελετάται. Έστω $x[n]$ η ακολουθία αυτή με διάρκεια ML . Δημιουργούμε L υποακολουθίες N σημείων ως εξής:

$$y_k[n] = \begin{cases} h[n]x[kN+n], & n=0,1,\dots,N-1, \quad k=0,1,\dots,L-1 \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases}$$

με χρήση του επιθυμητού παραθύρου h_p και στη συνέχεια ο υπολογίζεται ο Διακριτού Χρόνου Μετασχηματισμός Fourier των υποακολουθιών $y_k[n]$ ως,

$$Y_k(\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} y_k[n] e^{-j\omega nT}$$

Τότε το περιοδόγραμμα του αρχικού σήματος θα δίνεται από τη σχέση:

$$I_{Nkk}(\omega) = \frac{1}{L} \left| \sum_{k=0}^{L-1} \right|^2$$

Η επιλογή των παραμέτρων L και N , δηλαδή το πλήθος και το μέγεθος των υποακολουθιών, επηρεάζει τη διακριτική ικανότητα του περιοδογράμματος και επομένως και την εκτίμηση του συχνοτικού περιεχομένου της ενθόρυβης ακολουθίας της οποίας το φασματικό περιεχόμενο θέλουμε να εκτιμήσουμε.

Όταν οι υποακολουθίες είναι στατιστικά ανεξάρτητες, παίρνοντας το μέσο όρο L υποακολουθιών μειώνεται η διασπορά κατά ένα συντελεστή L (γιατί;). Με χρήση επικαλυπτόμενων υποακολουθιών μπορούμε να πετύχουμε ακόμη μεγαλύτερη μείωση της διασποράς.

Ερώτημα 2²: Υπολογίστε το περιοδόγραμμα ενός ενθόρυβου ημιτόνου χωρίς τμηματοποίηση της αρχικής ακολουθίας (μπλοκ δεδομένων $N=128$).

Ερώτημα 3: Χρησιμοποιώντας μπλοκ δεδομένων μήκους $M=128$ πειραματιστείτε με τις τιμές των L, N , χωρίς επικαλυπτόμενες υποακολουθίες, και σχολιάστε τα αποτελέσματά σας. Τι παρατηρείτε; Συγκρίνετε τα αποτελέσματα που πήρατε με αυτά του Ερωτήματος 2.

Ερώτημα 4: Επαναλάβετε τη διαδικασία του Ερωτήματος 3 με χρήση επικαλυπτόμενων υποακολουθιών (επικάλυψη 50%). Συγκρίνετε τα αποτελέσματά σας.

4. Υλοποίηση Αλγορίθμου Εκτίμησης Συχνοτικού Περιεχομένου στο DSK

Μελετήστε το αρχείο `FFT_Decimation_in_time.c` στο οποίο υλοποιείται ο μιγαδικός Ταχύς Μετασχηματισμός Fourier με αποδεκατισμό στο χρόνο.

Ερώτημα 5: Χρησιμοποιώντας το αρχείο αυτό γράψτε πρόγραμμα για την αναπτυξιακή κάρτα που θα κάνει τα ακόλουθα:

1. θα γεμίζει ένα μιγαδικό πίνακα με τις τιμές του ακόλουθου σήματος:

$$x(n) = \sin(2\pi 1000n / 8000), \quad n = 0, 1, \dots, 511$$

2. θα υπολογίζει και θα αποθηκεύει σε πίνακα τα μέτρα των μιγαδικών τιμών του FFT του παραπάνω σήματος.
3. Χρησιμοποιώντας το περιβάλλον CCS:
 - επιβεβαιώστε την σωστή λειτουργία του προγράμματος σας κάνοντας γραφική παράσταση των μέτρων των τιμών του FFT που υπολογίσατε.

² Απαντήστε στα ερωτήματα 2-4 χρησιμοποιώντας το Matlab.

- Βρείτε το χρόνο που απαιτεί ο υπολογισμός του (χρησιμοποιείτε το κατάλληλο εργαλείο του CCS).

Επαναλάβετε την παραπάνω διαδικασία χρησιμοποιώντας:

- παράθυρο Hamming και
- παράθυρο Kaiser.

Σχολιάστε αν τα αποτελέσματά σας είναι τα αναμενόμενα.

Ερώτημα 6: Αλλάξτε το σήμα εισόδου με το ακόλουθο:

$$x(n) = \sin(2\pi(1000 + 8000/1024)n/8000), \quad n = 0, 1, \dots, 511$$

και επαναλάβετε αυτά που αναφέρθηκαν στο ερώτημα 5. Εξηγήστε τα αποτελέσματά σας.

5. Υλοποίηση Αλγορίθμου Εκτίμησης Φάσματος Ισχύος στο DSK

Στη συνέχεια θα υλοποιήσουμε ένα στοιχειώδη φασματικό αναλυτή. Το DSK θα χρησιμοποιηθεί για την συλλογή σήματος εισόδου και τον υπολογισμό σε πραγματικό χρόνο του περιοδογράμματος του σήματος. Το περιβάλλον CCS που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο θα χρησιμοποιηθεί για την απεικόνιση του περιοδογράμματος σε πραγματικό χρόνο. Για το σκοπό αυτό:

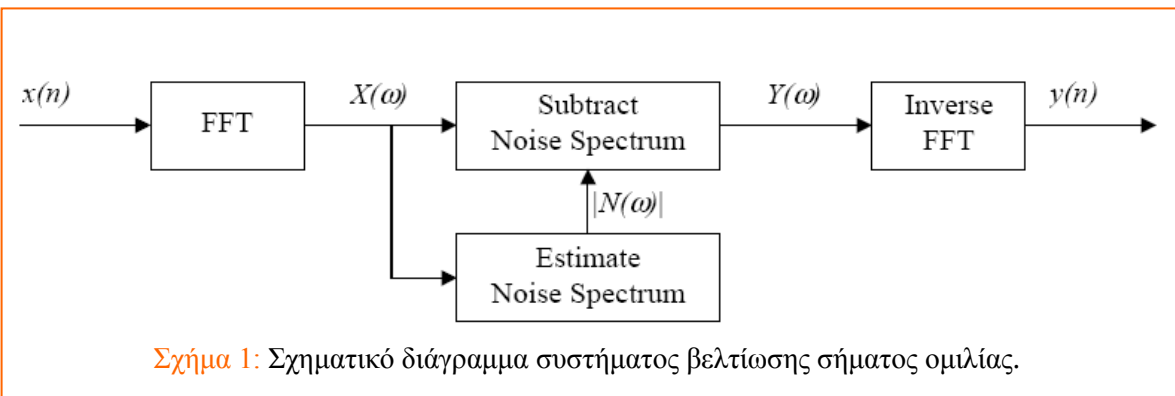
1. Αρχικοποιήστε, ακολουθώντας την διαδικασία και το πρόγραμμα της προηγούμενης εργαστηριακής άσκησης, την μονάδα EDMA.
2. Αρχικοποιήστε δύο array (π.χ. block1 block2) μεγέθους 2X512 το καθένα, με σκοπό στο ένα να συλλέγετε δείγματα του σήματος εισόδου με την βοήθεια της μονάδας EDMA και στο άλλο, ταυτόχρονα, να υπολογίζεται το περιοδόγραμμα του σήματος.
3. Άπαξ και ο FFT του τρέχοντος τμήματος δεδομένων υπολογιστεί, και στο άλλο array έχουν συλλεχθεί 2X512 νέα δείγματα, οι ρόλοι των δύο array θα πρέπει να εναλλαχθούν.
4. Αρχικοποιείτε ένα array (π.χ. Spectrum) μεγέθους 256 (γιατί;) στο οποίο θα πρέπει να αποθηκεύονται οι τιμές του φάσματος.
5. Το πρόγραμμά σας θα πρέπει:
 - να υπολογίζει το φάσμα από τη μέση τιμή των FFT τουλάχιστον 8 μπλοκ μεγέθους 2X512 και να
 - παρέχει τη δυνατότητα χρήσης διαφορετικών παραθύρων.

Αφού υλοποιήσετε το πρόγραμμά σας, χρησιμοποιώντας τα ερωτήματα της προηγούμενης παραγράφου, ελέγξτε τη σωστή λειτουργία του, και καταγράψτε τα αποτελέσματά σας. Χρησιμοποιείτε εκτός από ημιτονικά, τετραγωνικό παλμό, και σήμα ομιλίας με και χωρίς προσθετικό Γκαουσιανό θόρυβο.

6. Βελτίωση Ποιότητας Σήματος Ομιλίας σε Πραγματικό Χρόνο

Η εφαρμογή που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια ονομάζεται *φασματική αφαίρεση* (*spectral subtraction*) και αποτελεί μια από τις πολλές λύσεις που έχουν προταθεί για τη βελτίωση της ποιότητας των σημάτων ομιλίας. Η τεχνική αυτή πραγματοποιείται στο πεδίο της συχνότητας και βασίζεται στην υπόθεση ότι το φάσμα του σήματος εισόδου είναι η υπέρθεση του φάσματος του σήματος ομιλίας και του φάσματος του θορύβου.

Το σχηματικό διάγραμμα του συστήματος που πρόκειται να υλοποιηθεί φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Θεωρήστε ότι η συχνότητα δειγματοληψίας είναι 8KHz και υπολογίζεται ένας FFT 256 σημείων κάθε 64 δείγματα του σήματος εισόδου (8ms).

6.1 Τεχνική Επικάλυψης και Πρόσθεσης

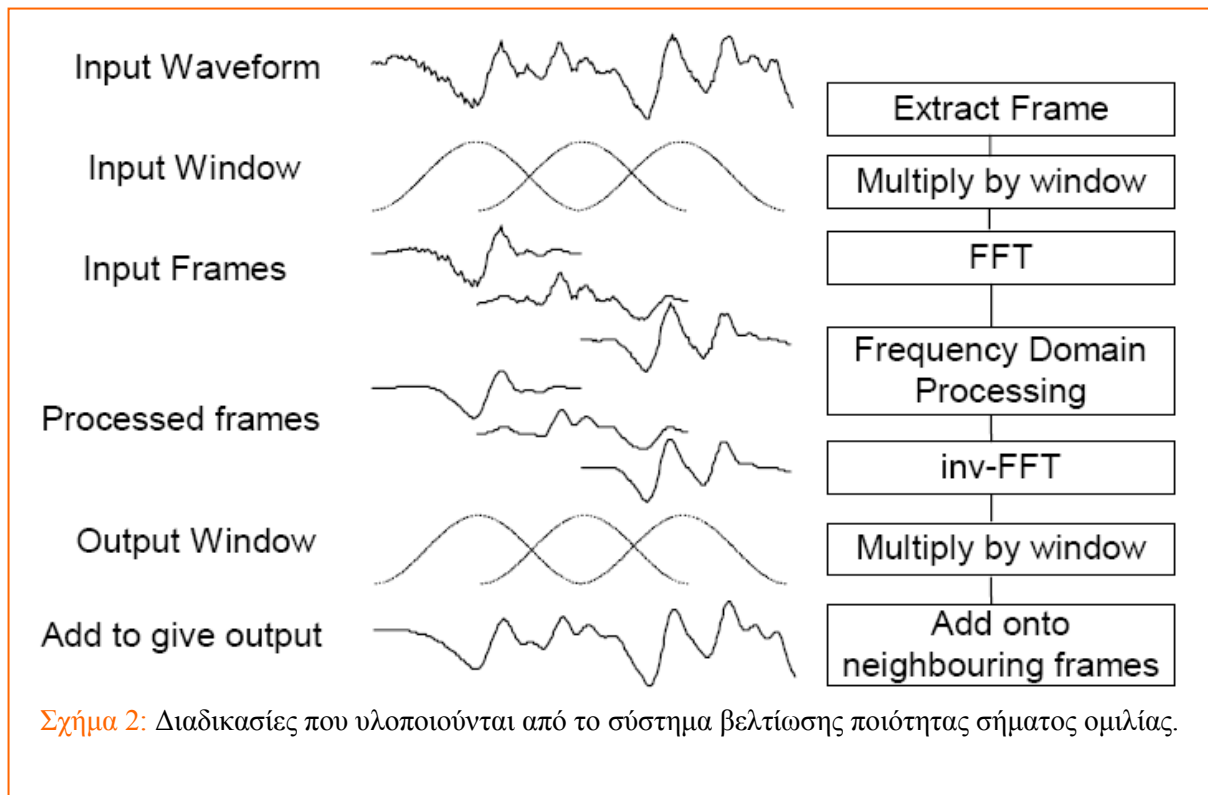
Για να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία στο πεδίο της συχνότητας, είναι απαραίτητο να διασπάσουμε το σήμα εισόδου σε επικαλυπτόμενα μπλοκ που θα ονομάζουμε πλαίσια. Αφού γίνει η επεξεργασία τους, τα πλαίσια αθροίζονται ξανά ώστε να δημιουργήσουμε το σήμα εξόδου. Η παραθύρωση των πλαισίων πριν υπολογιστεί ο FFT και μετά την εφαρμογή του αντίστροφου μετασχηματισμού FFT, όπως και στον υπολογισμό του φάσματος, είναι απαραίτητη (γιατί;) Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2, κάθε πλαίσιο έχει επικάλυψη με το προηγούμενο του 50%. Αν και αυτό το ποσοστό επικάλυψης δίνει αποδεκτά αποτελέσματα, είναι πιο σύνηθες να χρησιμοποιείται επικάλυψη 75%. Σε αυτήν την περίπτωση, κάθε δείγμα εξόδου θα προκύπτει από το άθροισμα τεσσάρων συνεχόμενων πλαισίων.

6.2 Αφαίρεση του Φάσματος Θορύβου

Η βασική ιδέα της τεχνικής είναι πολύ απλή. Ουσιαστικά εκμεταλλευόμαστε τις παύσεις που υπάρχουν κατά τακτά διαστήματα σε ένα σήμα ομιλίας, προσπαθεί να εκτιμήσει το φάσμα του θορύβου και στην συνέχεια να το αφαιρέσει από αυτό του σήματος εισόδου:

$$Y(\omega) = X(\omega) - N(\omega)$$

Ωστόσο, επειδή δε γνωρίζουμε τη σωστή φάση του φάσματος του θορύβου αφαιρούμε το μέτρο του αφού το πολλαπλασιάσουμε με τη φάση του Μετασχηματισμού $X(\omega)$ του σήματος ομιλίας, δηλαδή:



Σχήμα 2: Διαδικασίες που υλοποιούνται από το σύστημα βελτίωσης ποιότητας σήματος ομιλίας.

$$Y(\omega) = X(\omega) \frac{|X(\omega)| - |N(\omega)|}{|X(\omega)|} = X(\omega) \left(1 - \frac{|N(\omega)|}{|X(\omega)|} \right) = X(\omega) g(\omega)$$

όπου βέβαια η συνάρτηση $g(\omega)$ ορίζεται από τη σχέση:

$$g(\omega) = 1 - \frac{|N(\omega)|}{|X(\omega)|}$$

και μπορούμε να τη θεωρήσουμε ως ένα παράγοντα κέρδους εξαρτώμενο από τη συχνότητα, και επομένως η παραπάνω σχέση εκφράζει γραμμικό φιλτράρισμα (γιατί;).

Παρατηρήστε επίσης ότι η συνάρτηση κέρδους $g(\omega)$ μπορεί να πάρει και αρνητικές τιμές (πότε θα συμβεί αυτό;). Για να αποφευχθεί αυτό, για τον ορισμό της χρησιμοποιούμε την ακόλουθη σχέση:

$$g(\omega) = \frac{1}{\lambda} \left(1 - \frac{|N(\omega)|}{|X(\omega)|} \right)$$

όπου η λ μια σταθερά στο διάστημα $[0.01, 0.1]$.

6.3 Εκτίμηση του Φάσματος Θορύβου

Όταν κάποιος μιλάει, θα πρέπει αναπόφευκτα να κάνει παύσεις για να αναπνεύσει. Όπως ήδη αναφέραμε, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτές τις παύσεις που υπάρχουν στο σήμα ομιλίας για να εκτιμήσουμε χαρακτηριστικά του θορύβου. Για το σκοπό αυτό, για κάθε συχνότητα που υπολογίζουμε τον Ταχύ μετασχηματισμό Fourier του σήματος εισόδου, προσδιορίζουμε το ελάχιστο πλάτος που έχει υπάρξει σε οποιοδήποτε πλαίσιο για μια περίοδο τουλάχιστον 10 δευτερόλεπτων. Με την προϋπόθεση ότι κανένας άνθρωπος δε μιλάει περισσότερο από 10 δευτερόλεπτα χωρίς παύση, αυτή η ελάχιστη τιμή του φάσματος θα αντιστοιχεί στο ελάχιστο πλάτος του θορύβου, που εμφανίστηκε κατά τη διάρκεια των διαστημάτων παύσης ομιλίας. Επειδή η εκτίμηση αυτή δεν είναι πάντα κοντά τη μέση τιμή του μέτρου θορύβου θα πρέπει, πριν τη χρησιμοποιήσουμε να πολλαπλασιαστεί με ένα συντελεστή αντιστάθμισης..

Ο καθορισμός της μικρότερης τιμής του φάσματος στα τελευταία 10 δευτερόλεπτα απαιτεί να αποθηκευτεί ολόκληρο το φάσμα συχνοτήτων, κάτι που έχει πολύ μεγάλο κόστος σε απαιτήσεις μνήμης. Μπορούμε να καθορίσουμε μια προσέγγιση της ελάχιστης τιμής που αναζητούμε με πολύ μικρότερο κόστος σε μνήμη αν ακολουθήσουμε την παρακάτω διαδικασία:

- Αποθηκεύουμε τέσσερις (4) εκτιμήσεις της ελάχιστης τιμής του φάσματος $M_i(\omega)$, $i = 1, 2, 3, 4$ σε τέσσερις θέσεις μνήμης.
- Για κάθε πλαίσιο ανανεώνουμε το M_1 ως εξής :

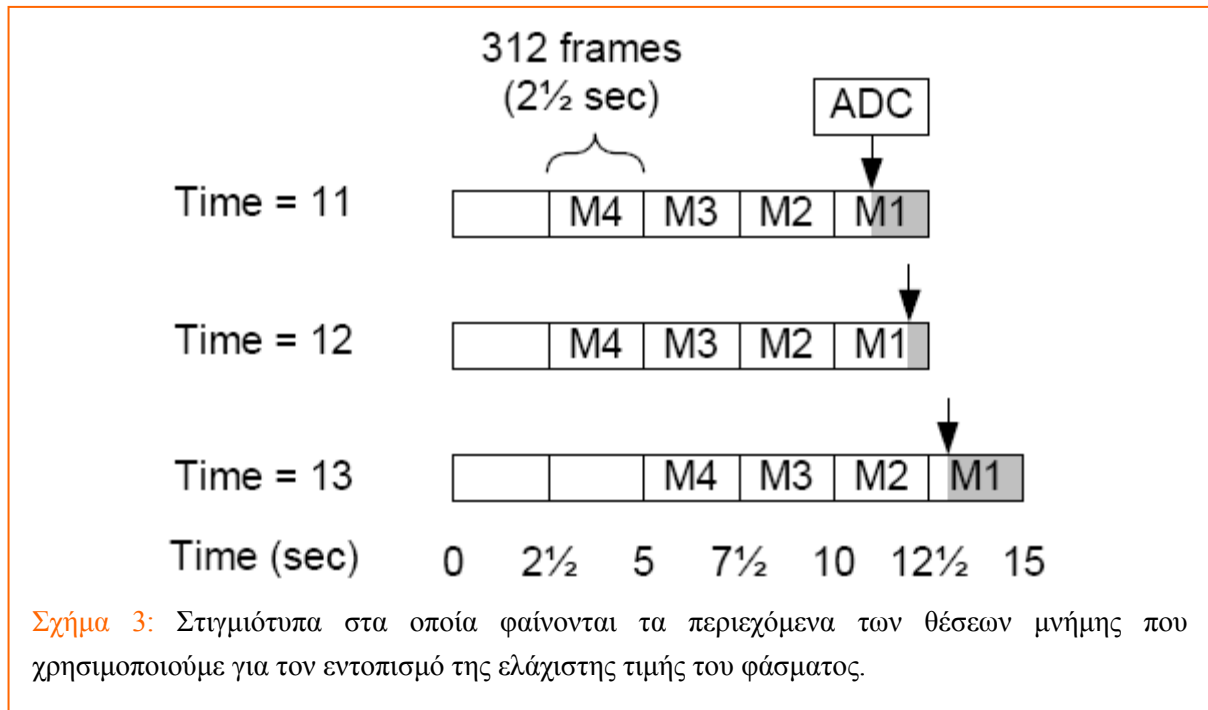
$$M_1(\omega) = \min(M_1(\omega), M_2(\omega), M_3(\omega), M_4(\omega))$$

- Κάθε 2.5 δευτερόλεπτα (χρόνος που αντιστοιχεί στην επεξεργασία 312 πλαισίων) μεταφέρουμε την τιμή του φάσματος $M_i(\omega)$ στο $M_{i+1}(\omega)$ και ενημερώνουμε το $M_1(\omega)$ σύμφωνα με από την παραπάνω σχέση. Μπορούμε λοιπόν να εκτιμήσουμε το φάσμα θορύβου με την ακόλουθη σχέση:

$$\left| \frac{M_{i+1} - M_i}{M_i} \right| \quad i=1..4$$

όπου ο συντελεστής α , όπως ήδη αναφέραμε, αντισταθμίζει το σφάλμα της εκτίμησής μας. Ο συντελεστής αυτός μπορεί να πάρει τιμές στο διάστημα $[2, 20]$.

Στη συνέχεια αναλύεται η παραπάνω διαδικασία με τη βοήθεια του καταστατικού διαγράμματος που φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται το περιεχόμενο των τεσσάρων θέσεων μνήμης τις χρονικές στιγμές των 11, 12 και 13 δευτερολέπτων μετά την εκκίνηση του συστήματος. Στην πρώτη γραμμή του παραπάνω διαγράμματος, 11 δευτερόλεπτα μετά την εκκίνηση του συστήματος, τα M4, M3 και M2 είναι οι ελάχιστες τιμές φάσματος που προέκυψαν στα τρία χρονικά διαστήματα διάρκειας 2.5 δευτερολέπτων καθένα (2.5-5, 5-7.5 και 7.5-10) και το M1 είναι η ελάχιστη τιμή του φάσματος που προέκυψε στο χρονικό διάστημα από το 10^ο ως το 11-τό δευτερόλεπτο. Παίρνοντας τώρα το ελάχιστο μεταξύ αυτών των τεσσάρων τιμών έχουμε βρει στην ουσία την ελάχιστη τιμή φάσματος που έχει προκύψει σε διάστημα 8.5 δευτερολέπτων, από το 2.5 μέχρι το 11 δευτερόλεπτο.

Στην δεύτερη γραμμή του παραπάνω διαγράμματος, τα M4, M3 και M2 παραμένουν αμετάβλητα όμως τώρα το M1 περιέχει την ελάχιστη τιμή του φάσματος για το διάστημα 10-το ως 12-το δευτερόλεπτο και έτσι βρίσκοντας το ελάχιστο μεταξύ αυτών των τεσσάρων τιμών υπολογίζουμε την ελάχιστη τιμή φάσματος που έχει προκύψει στο διάστημα των 9.5 δευτερολέπτων, από το 2.5 μέχρι το 12 δευτερόλεπτο.

Σύμφωνα με τα όσα αναφέραμε παραπάνω, τη χρονική στιγμή 12.5, μεταφέρουμε το M3 στο M4, το M2 στο M3 και το M1 στο M2, οπότε σε αυτή την περίπτωση η ελάχιστη τιμή δίνει την ελάχιστη τιμή του φάσματος για το διάστημα των 8 δευτερολέπτων, από το 5-ο μέχρι και το 13-ο δευτερόλεπτο.

7. Υλοποίηση Αλγορίθμου στο DSK

Σκοπός είναι η σταδιακή υλοποίηση στην αναπτυξιακή κάρτα των διαδικασιών που φαίνονται στο Σχήμα 2.

- Σαν πρώτο βήμα για την επίτευξη του σκοπού αυτού, τροποποιήστε το πρόγραμμα της Ενότητας 5 ώστε να υλοποιεί την τρίτη και την πέμπτη διαδικασία του Σχήματος 2. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιείται τον FFT και στον υπολογισμό του IFFT.
- Αφού βεβαιωθείτε για την σωστή λειτουργία του προγράμματός σας (χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα εργαλεία του CCS), προσθέστε τον απαραίτητο κώδικα που θα υλοποιεί τις διαδικασίες της παραθύρωσης των δεδομένων. Δοκιμάστε το πρόγραμμά σας χρησιμοποιώντας:
 - παράθυρο Hamming και
 - παράθυρο Kaiser.
- Υλοποιείτε στη συνέχεια την τεχνική επικάλυψης και πρόσθεσης πλαισίων της Παραγράφου 6.1.
- Υλοποιείτε στη συνέχεια τον αλγόριθμο εκτίμησης του φάσματος θορύβου που περιγράφηκε στην Παράγραφο 6.3. Για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας του χρησιμοποιείτε ενθόρυβα ημιτονικά σήματα. Δοκιμάστε για διαφορετικές τιμές του SNR και δείτε αν η μορφή της συνάρτησης $g(\omega)$ (Παράγραφος 6.2) είναι η αναμενόμενη. Πειραματιστείτε με διαφορετικές τιμές της παραμέτρου αντιστάθμισης α και καταγράψτε τα αποτελέσματά σας.
- Ενσωματώστε τα επιμέρους προγράμματα σε ένα ενιαίο πρόγραμμα. Για τον έλεγχο σωστής λειτουργίας του προγράμματός σας χρησιμοποιείτε το αρχείο `noisy_speech` που περιέχει ένα ενθόρυβο σήμα ομιλίας.

5. Βιβλιογραφία

- [1] TMS320C6711 Digital Signal Processor Data Sheet (Literature Number SPRS088), Texas Instruments, Dallas, TX, 2002.
- [2] TMS320C6000 Peripherals Guide (Literature Number SPRU190), Texas Instruments, Dallas, TX, 2001.
- [3] TLC320AD535C/I Data Manual Dual Channel Voice/Data Codec, (Literature Number SLAS202), Texas Instruments, Dallas, TX, 1999.
- [4] Code Composer Studio Getting Started Guide (Literature Number SPRU509), Texas Instruments, Dallas, TX, 2001.
- [5] Γ. Β. Μουστακίδης, "Βασικές Τεχνικές Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων," Εκδόσεις Τζιόλα 2004.
- [6] Sanjit K. Mitra, "Digital Signal Processing, A Computer-Based Approach," McGraw-Hill, 1998.
- [7] Steven A. Tretter, Communication System Design Using DSP Algorithms. With Laboratory Experiments for the TMS320C6701 and TMS320C6711, Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York 2003.

[8] Martin, R., "*Spectral Subtraction Based on Minimum Statistics*", Signal Processing VII: Theories and Applications, pp1182-1185, Holt, M., Cowan, C., Grant, P. and Sandham, W.(Eds.), 1994