

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ



Υλοποίηση Προσαρμοστικών Φίλτρων

1. Εισαγωγή

Στα πλαίσια αυτής της άσκησης θα υλοποιηθούν στην αναπτυξιακή κάρτα *TMS320C6711 DSK* προσαρμοστικά φίλτρα FIR που βασίζονται στον αλγόριθμο **Least Mean Squares** (LMS). Τα προσαρμοστικά φίλτρα θα χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση συστημάτων που άπτονται των παρακάτω βασικών εφαρμογών:

- Βελτίωση φασματικής γραμμής.
- Ισοστάθμιση τηλεπικοινωνιακού καναλιού.

2. Περιγραφή Συστημάτων-Διαδικασία

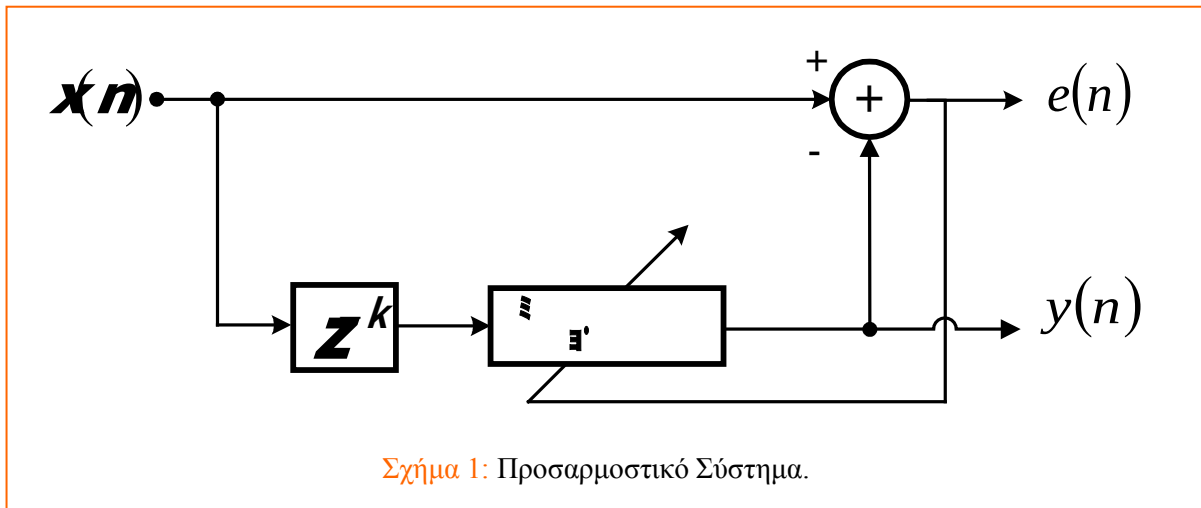
2.1 Βελτίωση Φασματικής Γραμμής

Το σχηματικό διάγραμμα του συστήματος που θα πρέπει να υλοποιηθεί στα πλαίσια της πρώτης εφαρμογής φαίνεται στο Σχήμα 1. Υποθέτοντας ότι το σήμα εισόδου $x(n)$ είναι η υπέρθεση ενός ημιτονικού σήματος $s(n)$ και λευκού Γκαουσιανού (Gaussian) θορύβου $w(n)$, δηλαδή:

$$x(n) = s(n) + w(n)$$

η έξοδος $y(n)$ του προσαρμοστικού FIR φίλτρου, Δεδομένου ότι τα δείγματα του θορύβου είναι μεταξύ τους ασυσχέτιστα, το προσαρμοστικό φίλτρο μοντελοποιεί το ημιτονικό σήμα. Επομένως, στην έξοδο του προσαρμοστικού φίλτρου παίρνουμε μια εκτίμηση $\hat{s}(n)$ του ημιτονικού σήματος (θα μπορούσατε να αντικαταστήσετε το

ημιτονικό σήμα με οποιοδήποτε σήμα στενής φασματικής ζώνης, όπως και τον Γκαουσιανό θόρυβο με οποιοδήποτε σήμα ευρείας φασματικής ζώνης).



Ελέγξτε την κυματομορφή που εμφανίζεται στην έξοδο του προσαρμοστικού φίλτρου.

Χρησιμοποιώντας ως βάση τα όσα σας δόθηκαν και κάνατε στη πρώτη άσκηση, υλοποιείτε την παραπάνω διάταξη.

Για την πρώτη υλοποίηση χρησιμοποιήστε ως είσοδο το αρχείο voice_sin.wav που βρίσκεται στη διεύθυνση C:\E_PS_E_S\yliko2 και ως έξοδο αρχικά το σήμα $e(n)$ του Σχήματος 1 και στη συνέχεια το σήμα $y(n)$. Καταγράψτε τι παρατηρείτε. Δημιουργήστε, στο Matlab, ένα δικό σας σήμα εισόδου που θα είναι η υπέρθεση ενός ημιτόνου και λευκού Γκαουσιανού θορύβου. Πειραματιστείτε για τιμές του λόγου σήματος προς θόρυβο (SNR) στο διάστημα $[-25 \ 0]$ με βήμα 2dB.

Ερώτημα 1: Από ποιο SNR και πάνω έχουμε ικανοποιητική (ακουστικά) λειτουργία του αλγορίθμου.

Ερώτημα 2: Υπολογίστε στη MATLAB, με βάση τις ιδιοτιμές του πίνακα αυτοσυσχέτισης της ακολουθίας εισόδου, το θεωρητικό άνω φράγμα για το μέγεθος του βήματος (step-size) του αλγορίθμου LMS.

Ερώτημα 3: Εκτελέστε τον αλγόριθμο για διαφορετικό αριθμό συντελεστών φίλτρου. Πόσοι συντελεστές τουλάχιστον απαιτούνται για να αποδίδει το φίλτρο ικανοποιητικά; Αιτιολογήστε τις απαντήσεις σας.

Ερώτημα 4: Εκτελέστε τον αλγόριθμο για διαφορετικές τιμές της καθυστέρησης k και δικαιολογήστε την τιμή που επιλέξατε να χρησιμοποιήσετε τελικά.

Ερώτημα 5: Για την βέλτιστη τιμή της τάξης φίλτρου που επιλέξατε:

- πειραματιστείτε για τέσσερις διαφορετικές τιμές του βήματος και καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας για τη σύγκλιση του αλγορίθμου.
- Καταγράψτε τα συμπεράσματά σας. Για τον υπολογισμό του MSE, χρησιμοποιήστε την ακόλουθη αναδρομική σχέση:

$$MSE(n) = \frac{nMSE(n-1) + e^2(n)}{n+1}, \quad MSE(0) = e^2(0)$$

- Πόσο απέχει από τη θεωρητική τιμή, η τιμή του βήματος που τελικά χρησιμοποιήσατε; Που οφείλεται κατά τη γνώμη σας αυτή η διαφορά;

2.2 Ισοστάθμιση Τηλεπικοινωνιακού Καναλιού

Στα πλαίσια της δεύτερης εφαρμογής, θα πρέπει να υλοποιηθούν τα συστήματα που φαίνονται στο Σχήμα 2. Η βασική λειτουργία ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος μπορεί να περιγραφεί ως ακολούθως. Ας υποθέσουμε ότι $d(n)$ είναι μια ακολουθία από 1 ή -1 την οποία θέλουμε να μεταδώσουμε μέσω ενός τηλεπικοινωνιακού καναλιού. Τότε η ακολουθία αυτή οδηγείται στην είσοδο μιας γεννήτριας παλμών η οποία ανάλογα με την τιμή της ακολουθίας $d(n)$ παράγει στην έξοδό της ένα παλμό πλάτους A αν $d(n)=1$ ή ένα παλμό πλάτους $-A$ αν $d(n)=-1$. Η δημιουργούμενη ακολουθία παλμών αφού διαμορφωθεί μεταδίδεται μέσω του τηλεπικοινωνιακού καναλιού στον απομακρυσμένο δέκτη. Ο δέκτης αφού αποδιαμορφώσει, δειγματοληπτει την ληφθείσα κυματομορφή δημιουργώντας έτσι ένα διακριτού χρόνου σήμα $x(n)$. Αν και στην ιδανική περίπτωση το διακριτού χρόνου σήμα $x(n)$ θα πρέπει να είναι ίσο με την αρχική ακολουθία $d(n)$, εξαιτίας των μη γραμμικών χαρακτηριστικών της απόκρισης φάσης του καναλιού που έχει σαν αποτέλεσμα το φαινόμενο της διασυμβολικής παρεμβολής (ISI), και του προσθετικού θορύβου το σήμα $x(n)$ απέχει από το ιδανικό. Υποθέτοντας ότι το τηλεπικοινωνιακό κανάλι είναι γραμμικό με κρουστική απόκριση $h(n)$, ένα μοντέλο του διακριτού χρόνου σήματος $x(n)$ θα είναι το ακόλουθο:

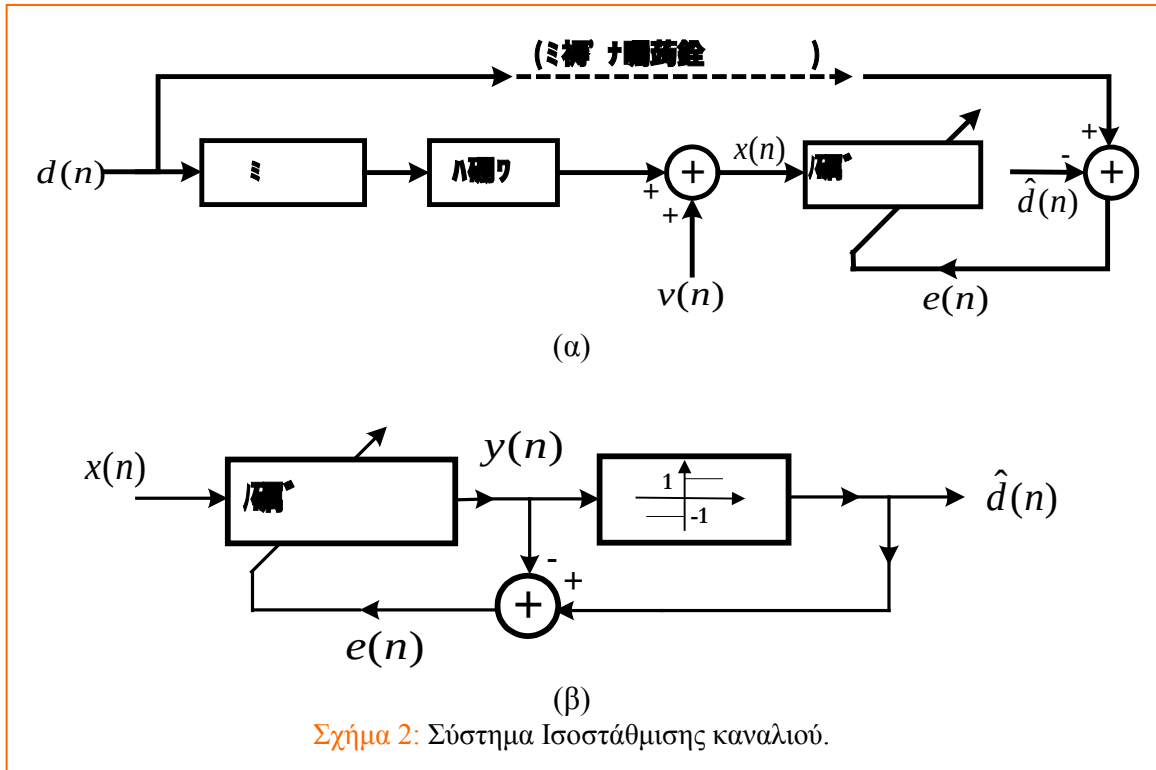
$$x(n) = \sum_{m=-\infty}^n d(m)h(n-m) + v(n)$$

όπου $v(n)$ ο προσθετικός θόρυβος. Έχοντας στη διάθεσή του ο δέκτης το σήμα $x(n)$ καλείται να αποφασίσει αν τη χρονική στιγμή n του εστάλη 1 ή -1. Για την απόφασή αυτή χρησιμοποιείται συνήθως η ακόλουθη συνάρτηση κατωφλίου:

$$\hat{d}(n) = \begin{cases} 1, & \text{αν } x(n) \geq 0 \\ 0, & \text{αν } x(n) < 0 \end{cases}$$

Ο δέκτης χρησιμοποιεί συνήθως έναν ισοσταθμιστή για την μείωση των επιδράσεων του τηλεπικοινωνιακού καναλιού και επομένως την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας σφάλματος. Τυπικά ο ισοσταθμιστής αυτός εξαιτίας του ότι η κρουστική απόκριση του

καναλιού είναι άγνωστη και πολλές φορές και χρονικά μεταβαλλόμενη, είναι ένα προσαρμοστικό φίλτρο και το οποίο καλείστε να υλοποιήσετε στα πλαίσια της άσκησης αυτής.



Κατά την διάρκεια που πομπός και δέκτης δημιουργούν μια σύνδεση, ο πομπός στέλνει μια ακολουθία ψευδοτυχαίων ψηφίων τα οποία είναι γνωστά στο δέκτη. Γνωρίζοντας ο δέκτης την ακολουθία $d(n)$ και χρησιμοποιώντας κατάλληλα την δημιουργούμενη ακολουθία σφαλμάτων (Σχήμα 2.(α)), αρχικοποιεί κατάλληλα τα βάρη του προσαρμοστικού φίλτρου. Μετά το πέρας της περιόδου εκπαίδευσης, ο ισοσταθμιστής μεταβαίνει σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.(β).

Υλοποιήστε τα συστήματα του Σχήματος 2 κάνοντας τις παρακάτω παραδοχές:

Π1: Η ακολουθία $d(n)$ είναι μια ακολουθία ασυσχέτιστων τυχαίων μεταβλητών με $d(n) = \pm 1$ και ίση πιθανότητα εμφάνισης.

Π2: Η κρουστική απόκριση του τηλεπικοινωνιακού καναλιού είναι η ακόλουθη:

$$h(n) = \begin{cases} \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{2\pi(n-2)}{W}\right), & n = 1, 2, 3 \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

όπου W παράμετρος.

Π3: Ο προσθετικός θόρυβος είναι λευκός Γκαουσιανός διασποράς σ_v^2 και ασυσχέτιστος με την ακολουθία $d(n)$.

Π4: Χρησιμοποιείτε τουλάχιστον 500 σύμβολα κατά τη φάση της εκπαίδευσης.

Ερώτημα 6: Εξηγήστε την επίδραση της παραμέτρου W στην μορφή της κρουστικής απόκρισης του καναλιού και στις ιδιοτιμές του μητρώου αυτοσυσχέτισης του στοχαστικού σήματος διακριτού χρόνου $x(n)$.

Ερώτημα 7: Τι σχέση περιμένετε να έχει ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη ιδιοτιμή του μητρώου αυτοσυσχέτισης του στοχαστικού σήματος διακριτού χρόνου $x(n)$, με τη μορφή της συνέλιξης της κρουστικής απόκρισης του καναλιού με τον ισοσταθμιστή κατά το τέλος της περιόδου εκπαίδευσης; Επιβεβαιώστε πειραματικά και κάντε τις απαραίτητες γραφικές παραστάσεις για τέσσερις τουλάχιστον τιμές του μήκους του προσαρμοστικού φίλτρου, πέντε (5) διαφορετικές τιμές της παραμέτρου W και διαφορετικές τιμές της διασποράς του προσθετικού θορύβου. Καταχωρήστε τα αποτελέσματά σας σε πίνακα.

Ερώτημα 8: Βαθμονομήστε την απόδοση του ισοσταθμιστή κατά τη φάση κανονικής λειτουργίας, υπολογίζοντας τα σφάλματα και το MSE του δέκτη κατά την αποστολή 10000 συμβόλων, για τέσσερις τουλάχιστον τιμές του μήκους του προσαρμοστικού φίλτρου, για πέντε (5) διαφορετικές τιμές της παραμέτρου W και διαφορετικές τιμές της διασποράς του προσθετικού θορύβου. Καταχωρήστε τα αποτελέσματά σας σε πίνακα.

3. 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] Sanjit K. Mitra, "Digital Signal Processing, A Computer-Based Approach," McGraw-Hill, 1998.
- [6] Vinay K. Ingle and John G. Proakis, "Digital Signal Processing Using MATLAB[®]," PWS Publishing Company, 1997.
- [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] M. H. Hayes, "Statistical Digital Signal Processing and Modeling," John Wiley & Sons, Inc, 1996.
- [9] J. G. Proakis και Masoud Salemi, "Συστήματα Τηλεπικοινωνιών," Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα 2002 (Μετάφραση Κ. Καρούμπαλος).
- [10] Β. Κεκάτος και Κ. Μπερπερίδης, "Σημειώσεις στο μάθημα Προχωρημένα Θέματα Τηλεπικοινωνιών," Πάτρα 2002.