

## Εργαστηριακή Άσκηση 3

### Προσαρμοσμένα φίλτρα και L-ASK

Αφού μελετήσετε το Κεφάλαιο 3 και, ειδικότερα, το Παράδειγμα 3.2 των σημειώσεων, να αντιγράψετε τον Κώδικα 3.3 αυτού του παραδείγματος σε αρχείο με το όνομα `ask_errors.m` (ο κώδικας επαναλαμβάνεται εδώ για διευκόλυνση). Να εκτελέσετε στη συνέχεια τα ακόλουθα:

#### Μέρος 1<sup>ο</sup>. Διερεύνηση του κώδικα εξομίωσης

(α) Να τροποποιηθεί ο κώδικας, ώστε τα  $L$  στοιχεία του διανύσματος  $x$  στην εντολή 14 να λαμβάνουν τιμές από το σύνολο  $\{\pm d/2, \pm 3d/2, \pm 5d/2, \dots\}$ , όπου η απόσταση  $d$  των σημείων θα δίνεται ως παράμετρος. Χρησιμοποιώντας για τη συνέχεια την τιμή  $d=3$ , να επαληθεύσετε, με υπολογισμό και προβολή σχετικού ιστογράμματος, ότι τα στοιχεία του διανύσματος  $x$  ακολουθούν πράγματι την ομοιόμορφη κατανομή. Χρησιμοποιήστε  $k=\text{mod}(\text{nnnnn},2)+3$ , όπου  $\text{nnnnn}$  το τελευταίο 5-ψήφιο τμήμα του αριθμού μητρώου σας.

```

1. function errors=ask_errors(k,Nsymb,nsamp,EbNo)
2. % Η συνάρτηση αυτή εξομιώνει την παραγωγή και αποκωδικοποίηση
3. % θορυβώδους σήματος L-ASK και μετρά τον αριθμό των εσφαλμένων συμβόλων.
4. % Επιστρέφει τον αριθμό των εσφαλμένων συμβόλων (στη μεταβλητή errors).
5. % k είναι ο αριθμός των bits/σύμβολο, επομένως L=2^k -- ο αριθμός των
6. % διαφορετικών πλατών
7. % Nsymb είναι ο αριθμός των παραγόμενων συμβόλων (μήκος ακολουθίας L-
   ASK)
8. % nsamp ο αριθμός των δειγμάτων ανά σύμβολο (oversampling ratio)
9. % EbNo είναι ο ανηγμένος σηματοθορυβικός λόγος Eb/No, σε db
10. %
11. L=2^k;
12. SNR=EbNo-10*log10(nsamp/2/k); % SNR ανά δείγμα σήματος
13. % Διάνυσμα τυχαίων ακεραίων {±1, ±3, ... ±(L-1)}. Να επαληθευθεί
14. x=2*floor(L*rand(1,Nsymb))-L+1;
15. Px=(L^2-1)/3; % θεωρητική ισχύς σήματος
16. sum(x.^2)/length(x); % μετρούμενη ισχύς σήματος (για επαλήθευση)
17. y=rectpulse(x,nsamp);
18. n=wgn(1,length(y),10*log10(Px)-SNR);
19. ynoisy=y+n; % θορυβώδες σήμα
20. y=reshape(ynoisyy,nsamp,length(ynoisyy)/nsamp);
21. matched=ones(1,nsamp);
22. z=matched*y/nsamp;
23. A=[-L+1:2:L-1];
24. for i=1:length(z)
25.     [m,j]=min(abs(A-z(i)));
26.     z(i)=A(j);
27. end
28. err=not(x==z);
29. errors=sum(err);
30. end

```

Κώδικας 3.3: Υπολογισμός πιθανότητας εσφαλμένου συμβόλου σύμφωνης ASK με ορθογωνικούς

Υπόδειξη: Να παραχθούν (με την εντολή 14) τουλάχιστον 30.000 τυχαίοι ακέραιοι, και να χρησιμοποιηθεί η εντολή `hist(x,A)` για τον υπολογισμό και την προβολή του ιστογράμματος,

όπου  $A$  το διάνυσμα των  $L$  διαφορετικών τιμών αυτών των ακεραίων. **Να τροποποιηθεί κατάλληλα η εντολή 15** για τον θεωρητικό υπολογισμό της ισχύος και να γίνει επαλήθευση με την εντολή 16. **Ομοίως, να τροποποιηθεί κατάλληλα και η εντολή 23.**

(β) Με τιμές των παραμέτρων της συνάρτησης  $k=3$ ,  $M=50000$ ,  $nsamp=16$  και  $E_bN_0=12$  να εκτελέσετε τις εντολές 11 έως 22 και, στη συνέχεια, να σχεδιάσετε το ιστόγραμμα του  $z$  με την εντολή `hist(z, 200)`. Να επαναλάβετε το παραπάνω για  $E_bN_0=14$  και  $E_bN_0=18$ . Τι παρατηρείτε; Να εξηγήσετε τις διαφορές στα τρία διαγράμματα.

**Υποβολή:** Να γραφούν σε αρχείο (word ή συμβατό), οι παρατηρήσεις/απαντήσεις σας, καθώς και τα ιστογράμματα που έχετε παραγάγει. Ονομάστε το αρχείο σας `lab3_nnnnn.doc`, όπου `nnnnn` τα 5 τελευταία ψηφία του αριθμού μητρώου σας. Στο ίδιο αρχείο θα γραφούν οι απαντήσεις και των υπόλοιπων ερωτημάτων της άσκησης.

(γ) Τι κάνει η εντολή 20 και τι κάνει η εντολή 22; Τι τύπου και τι διάστασης είναι οι μεταβλητές `matched` και `y`;

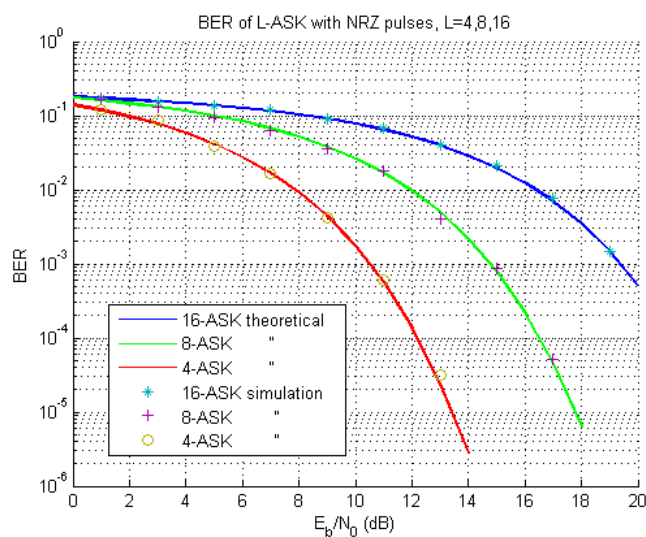
**Υποβολή:** Γράψτε την απάντησή σας στο αρχείο `lab3_nnnnn.doc`

(δ) Να εξηγηθεί η λειτουργία του βρόχου 24-27 του Κώδικα 3.3 ως ανιχνευτή ελάχιστης απόστασης για την  $L$ -ASK.

**Υποβολή:** Γράψτε την απάντησή σας στο αρχείο `lab3_nnnnn.doc`

### **Μέρος 2<sup>ο</sup>. Καμπύλες επίδοσης (BER συναρτήσει του σηματοθορυβικού λόγου)**

Να επαληθεύσετε την καμπύλη του σχήματος 3.10 των σημειώσεων (για ευκολία επαναλαμβάνεται πιο κάτω) για την  $L$ -ASK, με  $L=2^k$ ,  $k=\text{mod}(\text{nnnnn}, 2)+3$ , όπου `nnnnn` το τελευταίο 5-ψήφιο τμήμα του αριθμού μητρώου σας. Να σχεδιάσετε τη θεωρητική καμπύλη και να υπερθέσετε τα αποτελέσματα της εξομοίωσης (διακριτά σημεία), όπως στο σχήμα. **Να 'διαβάσετε' από την καμπύλη 8-ASK και να γράψετε στο αρχείο υποβολής τις τιμές BER για  $E_b/N_0=\{9,11,13,15\}$ db.**



Το παραπάνω να γίνει με δύο τρόπους:

(α) Με δικό σας κύριο πρόγραμμα, το οποίο (i) θα σχεδιάζει την καμπύλη με χρήση της σχέσης (3.33) των σημειώσεων και την προσέγγιση  $BER \approx P_e / \log_2 L$ , και (ii) θα καλεί κατάλληλα τη συνάρτηση `ask_errors()` για τον υπολογισμό των διακριτών σημείων.

Υπόδειξη: (α) Καλέστε την `ask_errors()`, μία φορά για κάθε διαφορετική τιμή του  $E_b/N_0$ , με επαρκώς υψηλή τιμή του  $M$  (π.χ. 20000) και υπολογίστε τη συχνότητα λαθών.

(β) Με τη χρήση του εργαλείου BERTOOL του MATLAB. Το εργαλείο καλείται με πληκτρολόγηση της εντολής `bertool` στο παράθυρο εντολών του MATLAB. Στο παράθυρο που θα εμφανισθεί θα πρέπει να κάνετε τις κατάλληλες, για κάθε περίπτωση, ρυθμίσεις, όπως υποδεικνύεται στα παρακάτω πλαίσια. Όπως εξηγείται και στο Παράδειγμα 3.2 των σημειώσεων, το `bertool` καλεί τη συνάρτησή μας, `ask_errors()`, μέσω της συνάρτησης `ask_ber_func.m` του κώδικα 3.4, στην οποία και πρέπει να τεθούν κατάλληλες τιμές για τις παραμέτρους  $k$ ,  $N_{\text{symb}}$ , και  $n_{\text{samp}}$ . Τα αρχεία και των δύο συναρτήσεων θα πρέπει να βρίσκονται στο current folder (ή σε folder το οποίο βρίσκεται στο path) του MATLAB.

Για θεωρητική  
καμπύλη

Περιοχή τιμών  
σηματοθ. λόγου

Κανάλι με  
αθροιστικό, λευκό,  
γκασουσiano θόρυβο

Εναλλακτική  
ονομασία της ASK  
(Pulse Amplitude  
Modulation)

Το L (αριθμός  
σημείων σηματοθ.  
αστερισμού)

| Confidence Level | Fit                                 | Plot                                | BER Data Set       | $E_b/N_0$ (dB)              | BER                     | # of Bits              |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|
| off              | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | theoretical-exact0 | [0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10...] | [0.1998 0.1779 0.15...] | N/A                    |
| off              | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | simulation0        | [0 2 4 6 8 10 12 14 16]     | [0.1816 0.1595 0.14...] | [8000 8000 8000 80...] |
| off              | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | simulation1        | [0 2 4 6 8 10 12 14 16]     | [0.1773 0.1421 0.11...] | [6000 6000 6000 60...] |

$E_b/N_0$  range: 0:18 dB

Channel type: AWGN

Modulation type: PAM  
Modulation order: 8

Demodulation type:  
☒ Coherent  
☐ Noncoherent

Channel coding:  
☒ None  
☐ Convolutional  
☐ Block

Synchronization:  
☒ Perfect synchronization  
☐ Normalized timing error: 0  
☐ RMS phase noise (rad): 0

Plot

Για εξομοίωση

Περιοχή τιμών  
σηματοθρομβικού  
λόγου

Συνάρτηση  
εξομοίωσης (καλεί  
την ask\_errors() με  
κατάλληλες τιμές  
παραμέτρων)

Συνθήκες  
τερματισμού, για  
στατιστικά  
αξιόπιστα  
αποτελέσματα

$E_b/N_0$  range: 0:2:16 dB

Simulation MATLAB file or Simulink model: s:\digcom\lab-book\LAB3-MatchedFilters\ask\_ber\_func.m

BER variable name: grayBER

Simulation limits:  
Number of errors: 100  
or  
Number of bits: 1e8

Run Stop

**Υποβολή:** Να γράψετε στο αρχείο απαντήσεων (lab3\_nnnnn.doc) τόσο τον κώδικά σας του ερωτήματος (α), όσο και το σχήμα ή τα σχήματα που θα παραχθούν στα ερωτήματα (α) και (β).

### Μέρος 3<sup>ο</sup>. Υλοποίηση με συνέλιξη - Χρήση άλλων παλμών

Να αντικατασταθεί η εντολή 17 του Κώδικα 3.3 με τις εξής εντολές

```

h=ones(1,nsamp); h=h/sqrt(h*h'); % κρουστική απόκριση φίλτρου
% πομπού (ορθογωνικός παλμός μοναδιαίας ενέργειας)
y=upsample(x,nsamp); % μετατροπή στο πυκνό πλέγμα
y=conv(y,h); % το προς εκπομπή σήμα
y=y(1:M*nsamp); % περικόπτεται η ουρά που αφήνει η συνέλιξη

```

Επίσης, το θορυβώδες σήμα, `ynoisys`, να παραχθεί με την εντολή

```
ynoisys=awgn(y,SNR,'measured'); % θορυβώδες σήμα1
```

και το προσαρμοσμένο φίλτρο (εντολές 21,22) να υλοποιηθεί με συνέλιξη ως:

```

for i=1:nsamp matched(i)=h(end-i+1); end
yrx=conv(ynoisys,matched);
z = yrx(nsamp:nsamp:M*nsamp); % Υποδειγμάτιση -- στο τέλος
% κάθε περιόδου T

```

(η εντολή που κάνει reshape το σήμα `ynoisys` πρέπει, φυσικά, εδώ να καταργηθεί).

(α) Να επιβεβαιωθεί ότι ο τροποποιημένος κώδικας παράγει τα ίδια αποτελέσματα, όπως ο Κώδικας 3.3.

(β) Αφού εκτελέσετε το σώμα της τροποποιημένης συνάρτησης `ask_errors()` χωρίς την προσθήκη θορύβου (δηλ. με `ynoisys=y`), σχεδιάστε τμήμα των σημάτων `x`, `y` και `yrx`:

```

figure; stem(x(1:20));
figure; stem(y(1:20*nsamp));
figure; stem(yrx(1:20*nsamp));

```

**Γράψτε μια σύντομη εξήγηση του δεύτερου και τρίτου σχήματος.**

(γ) Αντικαταστήστε τον ορθογωνικό παλμό `h` με άλλον, π.χ. συνημιτονικό μιας περιόδου: `h=cos(2*pi*(1:nsamp)/nsamp); h=h/sqrt(h*h')`;

Εκτελέστε και πάλι την εξομοίωση με το `bertool`. Ποιο είναι το συμπέρασμα για την επίδοση του νέου συστήματος L-ASK; Αν επαναφέρουμε την εντολή `matched=h` για το προσαρμοσμένο φίλτρο, θα παρατηρήσουμε ότι δεν παίρνουμε σωστά αποτελέσματα, ειδικότερα για μικρές τιμές του `nsamp` (π.χ. `nsamp=8` ή `16`). Εξηγήστε το, αφού παρατηρήσετε τη μορφή του παλμού `h` στις δύο περιπτώσεις (ορθογωνικό παλμό και ημιτονικό παλμό), σχεδιάζοντάς τον με `stem(h)`. Να επαναλάβετε το πείραμα για `nsamp=32` και `64`.

**Γράψτε τις απαντήσεις σας στο αρχείο υποβολής.**

**Τελική υποβολή: Να υποβάλετε το αρχείο σας στο site του μαθήματος.**

<sup>1</sup> Με το νέο παλμό `h` (όχι μοναδιαίου πλάτους) αλλάζει η ισχύς του σήματος `y` και ο υπολογισμός (στην εντολή 18 του αρχικού κώδικα) του θορύβου, που πρέπει να προστεθεί, δεν ισχύει πλέον.