

# ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΑΡΔΙΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ

Δημήτρης Κ. Ιακωβίδης

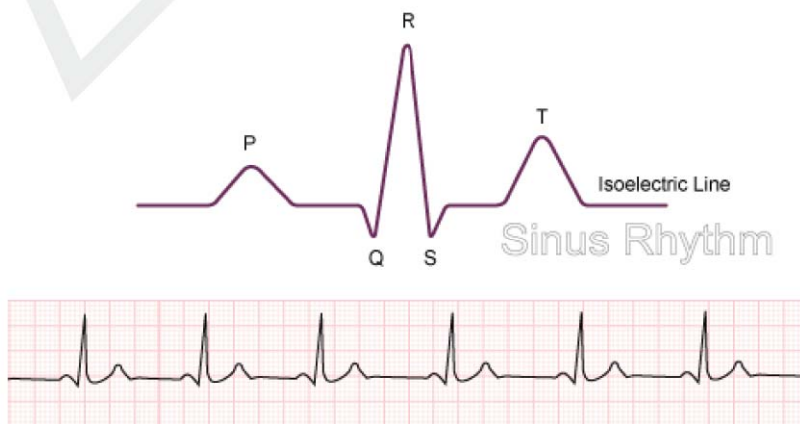
Τμήμα Πληροφορικής με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Στόχος αυτής της ενότητας είναι η μελέτη μεθόδων επεξεργασίας ηλεκτροκαρδιογραφικών σημάτων. Η επεξεργασία αποσκοπεί στη βελτίωση της ποιότητάς τους δια της απομάκρυνσης του θορύβου.

## 8.1 Ηλεκτροκαρδιογράφημα

Το **ηλεκτροκαρδιογράφημα** (electrocardiogram, **ECG**) είναι μια απλή, γρήγορη, ανώδυνη, φθηνή εξέταση της δραστηριότητας της καρδιάς, με αρκετά καλή ακρίβεια. Καταγράφει την ηλεκτρική δραστηριότητα των μυών της παλλόμενης καρδιάς αποδίδοντας μέσω του ηλεκτροκαρδιογράφου χαρακτηριστικά γραφήματα που ονομάζονται επάρματα. Στα επάρματα, ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στο χρόνο και ο κάθετος στο ηλεκτρικό δυναμικό. Με το ηλεκτροκαρδιογράφημα μπορούμε να διαπιστώσουμε οξείες (πχ. οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου) αλλά και χρόνιες (κολπική μαρμαρυγή, καρδιακές αρρυθμίες) διαταραχές που μπορούν να αφορούν τον καρδιακό ρυθμό αλλά και την αρχιτεκτονική της καρδιάς.

Στο Σχ.1 διακρίνεται ένα φυσιολογικό ECG (ο φυσιολογικός καρδιακός ρυθμός χαρακτηρίζεται ως sinus rhythm). Το ECG είναι ένα περιοδικό σήμα. Σε κάθε περίοδο παρουσιάζονται κύματα P, Q, R, S, T τα οποία αναπαριστούν την ηλεκτρική δραστηριότητα της καρδιάς, καθώς περιοδικά λαμβάνει αίμα, το στέλνει στους πνεύμονες για οξυγόνωση και το προωθεί στο υπόλοιπο σώμα.



Σχήμα 1. Φυσιολογικό ECG.

## 8.2 Φασματικό περιεχόμενο του ECG

Το φάσμα του ECG είναι χρήσιμο τόσο για τον εντοπισμό χρήσιμης πληροφορίας, π.χ. του καρδιακού ρυθμού, όσο και για τον εντοπισμό και την απομάκρυνση άχρηστης πληροφορίας η οποία επηρεάζει την ποιότητά του. Στον παρακάτω πίνακα διακρίνονται τυπικά διαστήματα συχνοτήτων ενδιαφέροντος.

**Πίνακας 1.** Περιοχές φάσματος ECG.

α/α	Συχνότητες	Περιγραφή
1	0.5 Hz – 150 Hz	Συνολικό εύρος
2	0.6 Hz – 40 Hz	Παρακολουθούμενο εύρος
3	0.6 Hz – 3 Hz	Καρδιακός ρυθμός
4	0 Hz – 0.5 Hz	Θόρυβος κίνησης/αναπνοής (baseline wander)
5	~15 Hz	Μυϊκός θόρυβος
6	50±2 Hz ή 60±2 Hz	Θόρυβος γραμμών ρεύματος
7	40 – 150 Hz	Θόρυβος υψηλής συχνότητας από άλλες πηγές

## 8.3 Επεξεργασία ECG μέσω FFT

Καθώς το ECG είναι ένα περιοδικό σήμα, θεωρώντας πως δεν υπάρχουν ιδιαίτερες μεταβολές στο φασματικό του περιεχόμενο στην πορεία του χρόνου, ο μετασχηματισμός Φουριέ (Fast Fourier Transform, FFT) μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά για την επεξεργασία του. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τρία βήματα:

1. Μετασχηματισμό του σήματος στο πεδίο των συχνοτήτων με FFT.
2. Διαγραφή των συχνοτήτων του θορύβου από το φάσμα.
3. Μετασχηματισμό του φάσματος στο πεδίο του χρόνου με αντίστροφο μετασχηματισμό Φουριέ (Inverse FFT, IFFT).

Μια υλοποίηση αυτής της διαδικασίας παρουσιάζεται στο Σχ.2. Το πρόγραμμα φορτώνει από ένα αρχείο Matlab (ECG.mat) δύο σήματα ECG εκ των οποίων χρησιμοποιεί το ένα (EKG1). Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το EKG2.

Τα σήματα περιέχουν θόρυβο λόγω κίνησης, θόρυβο υψηλής συχνότητας και προστίθεται τεχνητά (simulated) θόρυβος γραμμής ρεύματος 50Hz. Στο σήμα EKG2 ο θόρυβος είναι εντονότερος από ότι στο σήμα EKG1.

```
1 % A Matlab DSP Example by D.K. Iakovidis
2 % ECG manual noise reduction
3 clear all;
4
5 % Load signals from ECG.mat
6 load ECG; % contains two signals EKG1 and EKG2
7 x = EKG1;
8 fs = 250; % given
9
10 % Simulate power line interference
11 n = 1:length(x);
12 Ts = 1/fs;
13 p = 10*cos(2*pi*50*n*Ts); % 50Hz
14 x = x+p';
15
16 % Calculate ECG spectrum
17 y = fft(x);
18 K = length(y);
19 k = 1:K;
20 frequency = k*fs/K; % get frequency
21 magnitude = abs(y);
22
23 % Plot ECG spectrum
24 figure;
25 subplot(211); plot(frequency,magnitude);
26 xlabel('Frequency (Hz)');
27 ylabel('Magnitude');
28
29 % Filter baseline wander (high pass)
30 cutoffHz = 0.5;
31 cutoffIndex = int16(cutoffHz*K/fs);
32 y(1:cutoffIndex)=0; % manual filtering
33 y(K-cutoffIndex:K)=0; % manual filtering (symmetric)
34
35 % Filter other frequency noise
36 % (band rejection)
37 cutoff1Hz = 49;
38 cutoff1Index = int16(cutoff1Hz*K/fs);
39 cutoff2Hz = 51;
40 cutoff2Index = int16(cutoff2Hz*K/fs);
41 y(cutoff1Index:cutoff2Index)=0; % manual filtering
42 y(K-cutoff2Index:K-cutoff1Index)=0; % manual filtering
43 % (symmetric)
44 magnitude = abs(y);
45 subplot(212); plot(frequency,magnitude);
46 xlabel('Frequency (Hz)');
47 ylabel('Magnitude');
48
49 % Inverse FFT to get the processed signal
50 iy = ifft(y);
51
52 % Display output signals
```

```

53 % Tune xmax and ymax for better visualization
54 xmax = 3000;
55 ymax = 500;
56 figure;
57 subplot(211); plot(x);
58 axis([0 xmax -ymax ymax]);
59 subplot(212); plot(real(iy));
60 axis([0 xmax -ymax ymax]);

```

**Σχήμα 2.** Επεξεργασία σήματος ECG χειροκίνητα (δηλαδή οι συχνότητες αποκόπτονται με απλό μηδενισμό και όχι με τη χρήση φίλτρων). Για την εκτέλεση του παραπάνω κώδικα απαιτείται η ύπαρξη του αρχείου ECG.mat στον ίδιο φάκελο.

Το αποτέλεσμα του παραδείγματος του Σχ.2 εικονίζεται στα Σχ. 5-6.

Σημειώνεται ότι η έκφραση:

```
cutoffIndex = int16(cutoffHz*K/fs);
```

χρησιμοποιείται για τη μετάβαση από Hz σε αριθμό δείγματος. Αυτό προκύπτει από την παρακάτω σχέση που μελετήθηκε σε προηγούμενη άσκηση,

$$\omega_k = \frac{2\pi k}{NT_s}$$

Λύνοντας ως προς  $k$ , αντικαθιστώντας  $N=K$ ,  $f_s=1/T_s$ , και μετατρέποντας τη γωνιακή συχνότητα σε συχνότητα  $\omega_k=2\pi f_k$ , λαμβάνουμε  $k = f_k K / f_s$ . Το  $k$  είναι ο αριθμός του δείγματος `cutoffIndex` που αντιστοιχεί στη συχνότητας `cutoffHz`.

#### 8.4 Επεξεργασία ECG με τη χρήση φίλτρων

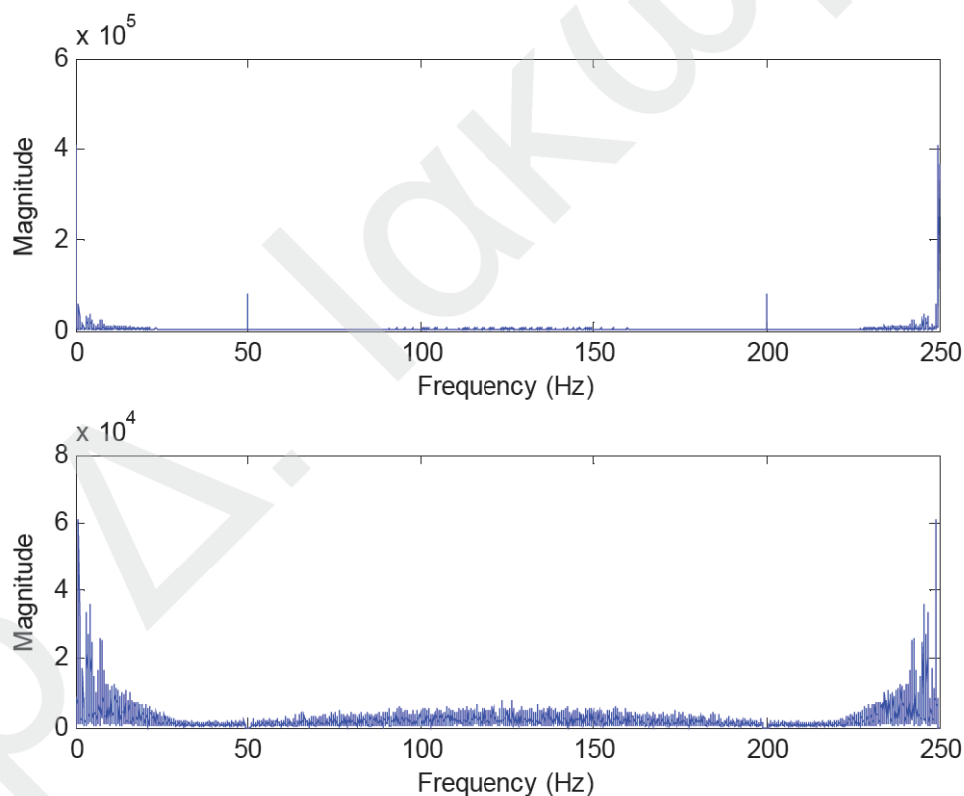
Η αποκοπή των συχνοτήτων του φάσματος του ECG στο παράδειγμα του Σχ.2 έγινε μηδενίζοντας τις αντίστοιχες συνιστώσες του φάσματος «χειροκίνητα». Η διαδικασία αυτή μπορεί να τυποποιηθεί και να υλοποιηθεί και σε υλικό με τη χρήση φίλτρων FIR ή IIR. Ωστόσο το βασικό πρόβλημα σε μια τέτοια υλοποίηση είναι ότι τα φίλτρα δεν είναι ιδανικά. Το αποτέλεσμα είναι ότι **στα διαστήματα των συχνοτήτων που φιλτράρονται πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ζώνες μετάβασης των φίλτρων.**

Ειδικά για τις πολύ χαμηλές συχνότητες, π.χ. 0-0.5Hz, η υλοποίηση υπερπαρατάων φίλτρων με τη χρήση των συναρτήσεων `fir2` και `yulewalk` είναι απαγορευτική επειδή

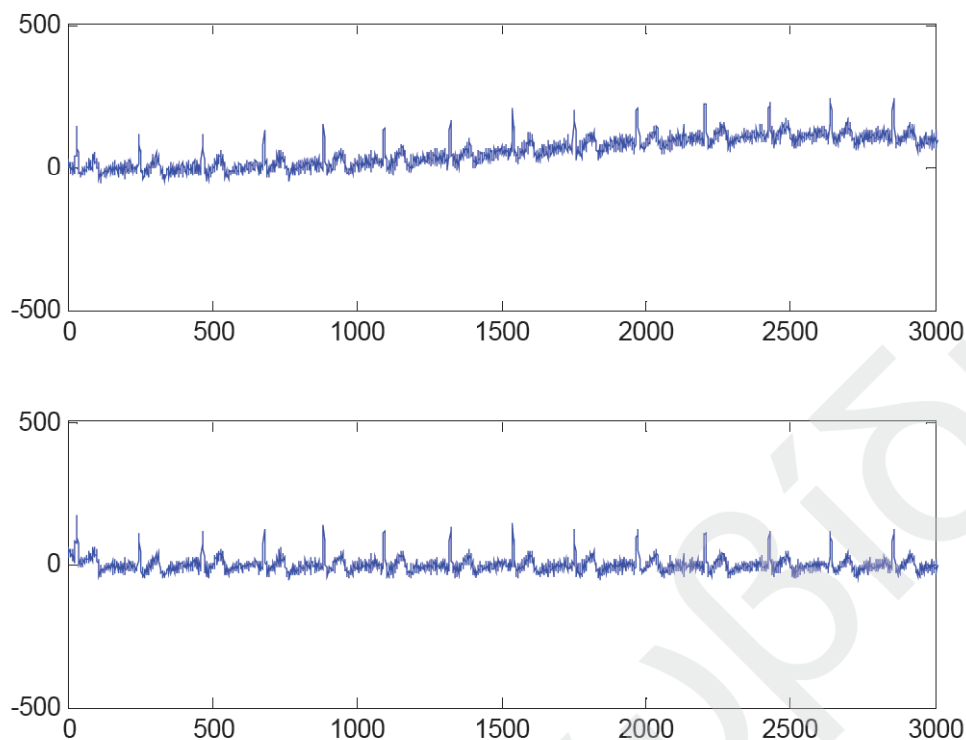
η ζώνη μετάβασης είναι μεγαλύτερη του επιθυμητού διαστήματος προς αποκοπή. Για το λόγο αυτό, η αποκοπή των συχνοτήτων αυτών για την αφαίρεση του θορύβου λόγω κίνησης ή αναπνοής (baseline wander) γίνεται με τη χρήση ενός φίλτρου FIR κινητού μέσου όπως παρουσιάζεται στο Σχ.3. Ένα τέτοιο φίλτρο μήκους  $L$  υλοποιείται με τη συνάρτηση `smooth` (αλλά μπορεί φυσικά να υλοποιηθεί και κλασικά με συνέλιξη επιλέγοντας την κατάλληλη κρουστική απόκριση).

```
1   L = 150;                % number of samples to average
2   sx = smooth(x,L) ;      % moving average filter
3   xx = x-sx;
```

**Σχήμα 3.** Παράδειγμα χρήσης φίλτρου FIR κινητού μέσου για την αφαίρεση του θορύβου λόγω κίνησης / αναπνοής από το ECG σήμα  $x$ .



**Σχήμα 3.** Το φάσμα του EKG2 πριν την επεξεργασία (άνω) και μετά την επεξεργασία (κάτω).



**Σχήμα 4.** Το σήμα EKG2 πριν την επεξεργασία (άνω) και μετά την επεξεργασία (κάτω).

### Ασκήσεις

1. Να υλοποιήσετε το παράδειγμα του Σχ.1. Δοκιμάστε τα εξής:
  - a. Απενεργοποιήστε τις γραμμές 14, 32, 33, 41,42 (μετατρέποντάς τες σε σχόλια με %) για να παρατηρήσετε πως μοιάζει το σήμα EKG1 αρχικά. Επαναλάβετε για το EKG2.
  - b. Ενεργοποιήστε τις γραμμές 32-33 και παρατηρήστε αν το φάσμα ευθυγραμμίζεται. Επαναλάβετε για το EKG2.
  - c. Ενεργοποιήστε τη γραμμή 14 η οποία θα εισάγει θόρυβο που προσομοιώνει το θόρυβο που μπορεί να προξενεί μια γραμμή ρεύματος. Παρατηρήστε το αποτέλεσμα στα σήματα ECG αυξάνοντας το πλάτος του ημιτονοειδούς που προκαλεί το θόρυβο. Ενεργοποιήστε τις γραμμές 41-42 και παρατηρήστε αν μειώθηκε ο θόρυβος λόγω γραμμής ρεύματος στο σήμα.

- d. Πως θα μπορούσαμε να μειώσουμε επιπλέον τις διακυμάνσεις των ECG σημάτων που οφείλονται σε άλλες πηγές θορύβου  $> 40\text{Hz}$ ;
2. Να τροποποιήσετε το παράδειγμα του Σχ.1 χρησιμοποιώντας FIR φίλτρα τα οποία:
- a. Αφαιρούν το θόρυβο των  $50\text{Hz}$ .
  - b. Περιορίζουν το θόρυβο  $> 40\text{Hz}$  που προέρχεται από άλλες πηγές.

Σε κάθε περίπτωση μαζί με τα διαγράμματα των φασμάτων των σημάτων να απεικονίζετε και την απόκριση συχνότητας των φίλτρων. Αυτό θα σας βοηθήσει να επιβεβαιώσετε ότι τα φίλτρα σας εστιάζουν στα επιθυμητά διαστήματα συχνοτήτων.

3. Να τροποποιήσετε το παράδειγμα του Σχ.1 χρησιμοποιώντας IIR φίλτρα τα οποία:
- a. Αφαιρούν το θόρυβο των  $50\text{Hz}$ .
  - b. Περιορίζουν το θόρυβο  $> 40\text{Hz}$  που προέρχεται από άλλες πηγές.

Σε κάθε περίπτωση μαζί με τα διαγράμματα των φασμάτων των σημάτων να απεικονίζετε και την απόκριση συχνότητας των φίλτρων. Αυτό θα σας βοηθήσει να επιβεβαιώσετε ότι τα φίλτρα σας εστιάζουν στα επιθυμητά διαστήματα συχνοτήτων.

Παρατηρήστε τις διαφορές ανάμεσα στις υλοποιήσεις της επεξεργασίας των σημάτων ECG με FIR και IIR φίλτρα.



## ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### Άσκηση 2

(a) Χρήση φίλτρου κινητού μέσου για την αφαίρεση του θορύβου λόγω κίνησης (μήκος  $L=150$ ) και αφαίρεση του θορύβου γύρω από τα 50Hz (χρησιμοποιήθηκε το εύρος 45-55Hz). Τα αποτελέσματα για το σήμα EKG2 εικονίζονται παρακάτω.

