Βιοσήματα
Δειγματοληψία σημάτων
Μετασχηματισμός Fourier
Αισθητήρες βιοσημάτων

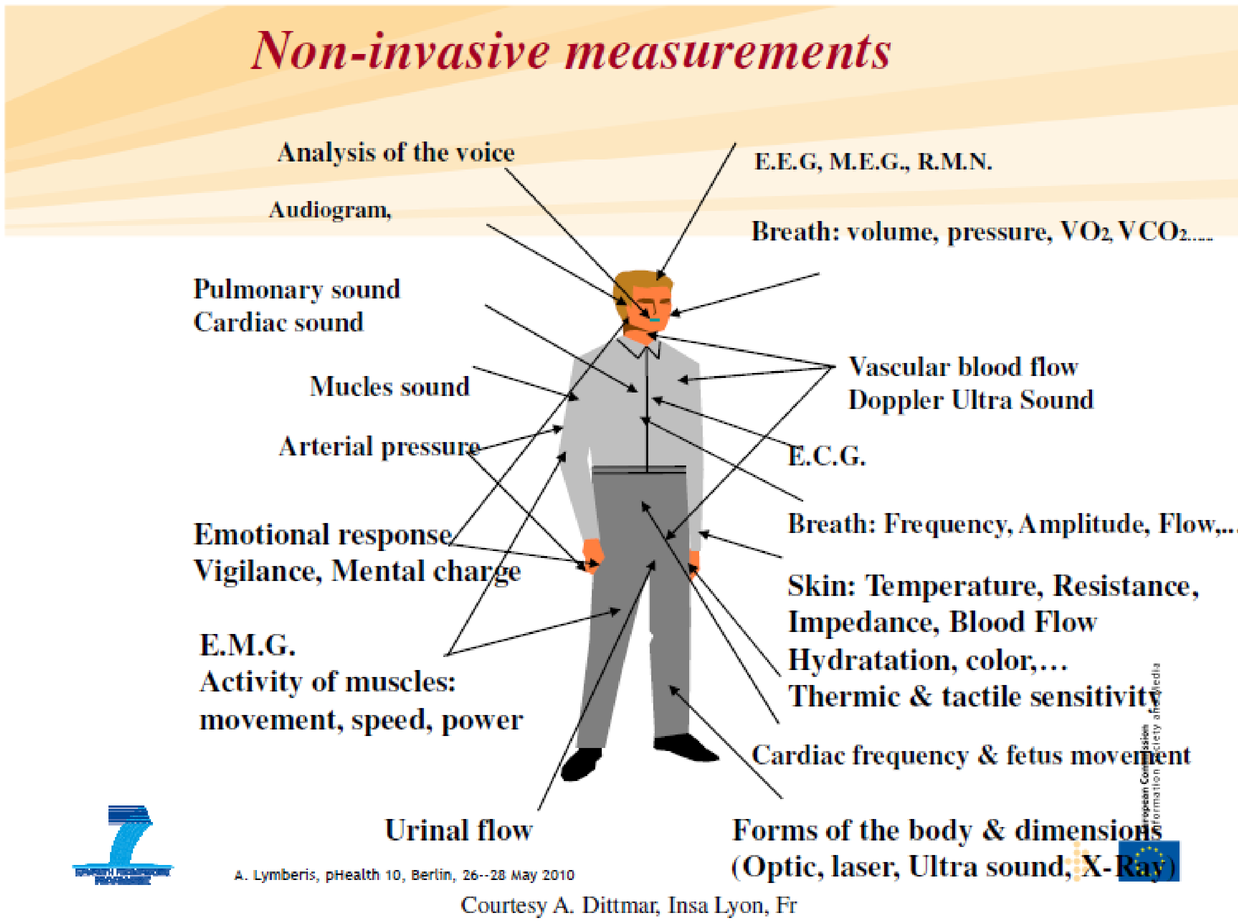
HY539 - Advanced Topics on Wireless Networks and Mobile Computing

Γιώργος Γιαννακάκης

Βιοσήματα

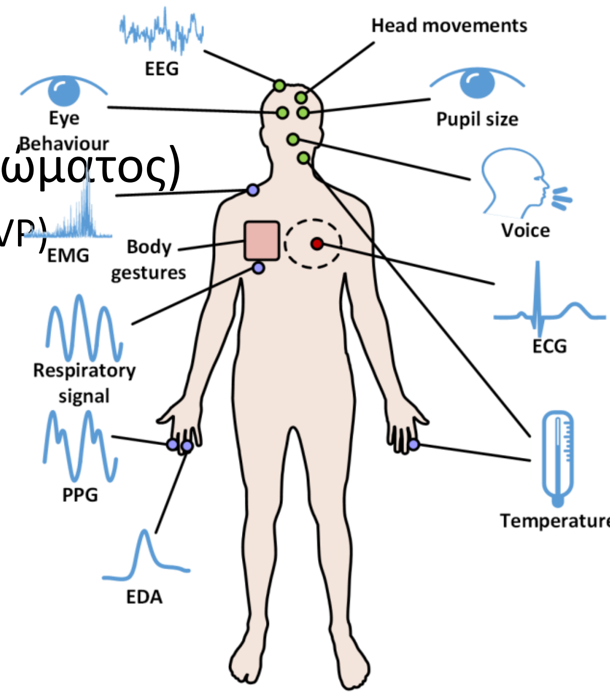
- Το βιολογικό σήμα (ή βιοσήμα) είναι η καταγραφή ενός βιολογικού φυσικού μεγέθους
- Τα φυσιολογικά μεγέθη (πίεση, θερμοκρασία) δεν υπολογίζονται άμεσα αλλά έμμεσα μέσω αισθητήρων (φυσικό μέγεθος -> ηλεκτρικό σήμα)
- Αισθητήρες κωδικοποιούν ένα φυσικό μέγεθος στις ηλεκτρικές, μηχανικές κλπ ιδιότητες οι οποίες μπορούν να μετρηθούν

Βιοσήματα


Non-invasive measurements
Analysis of the voice
Audiogram,
E.E.G, M.E.G., R.M.N.
Breath: volume, pressure, VO2, VCO2.....
Pulmonary sound
Cardiac sound
Mucles sound
Arterial pressure
Vascular blood flow
Doppler Ultra Sound
E.C.G.
Breath: Frequency, Amplitude, Flow,...
Emotional response
Vigilance, Mental charge
Skin: Temperature, Resistance,
Impedance, Blood Flow
Hydratation, color,…
Thermic & tactile sensitivity
E.M.G.
Activity of muscles:
movement, speed, power
Cardiac frequency & fetus movement
Urinal flow
Forms of the body & dimensions
(Optic, laser, Ultra sound, X-Ray)
A. Lymberis, pHealth 10, Berlin, 26--28 May 2010
Courtesy A. Dittmar, Insa Lyon, Fr

Βιοσήματα

- Τα βιοσήματα είναι χρονικά μεταβαλλόμενες μετρήσεις του ανθρώπινου σώματος [1]
  - Φυσιολογικά σήματα
  - Φυσικά σήματα
- Φυσιολογικά σήματα (ζωτικές λειτουργίες σώματος)
  - καρδιακή δραστηριότητα (ECG), πίεση αίματος (BVP)
  - λειτουργία εγκεφάλου (EEG)
  - εξωκρινική δραστηριότητα, εφίδρωση (EDA)
  - αναπνοή
  - μυϊκή διέγερση (EMG)
- Φυσικά σήματα
  - μέγεθος κόρης, κινήσεις των ματιών, blinks
  - Στάση/κινήσεις κεφαλής/σώματος/άκρων
  - εκφράσεις του προσώπου και φωνή



[1] G. Giannakakis et al., “Review on psychological stress detection using biosignals.,” *IEEE Transactions on Affective Computing*, 2019.

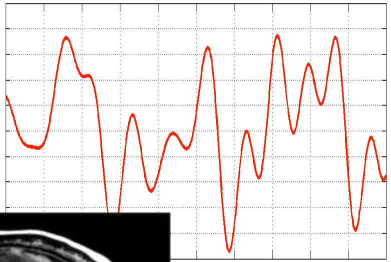
Ενδογενή - εξωγενή

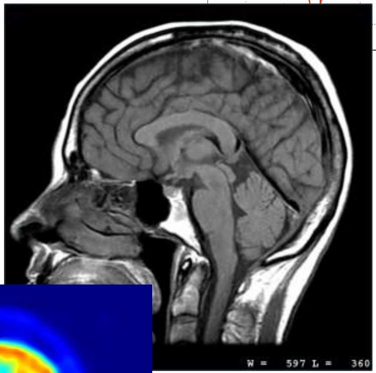
- Τα βιοσήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε
  - **Ενδογενή** (θερμοκρασία, πίεση, βιοηλεκτρικά δυναμικά)
  - **Εξωγενή** (προέρχονται από την απόκριση του βιολ. συστήματος σε τεχνητό ερέθισμα, π.χ. μυογραφία)

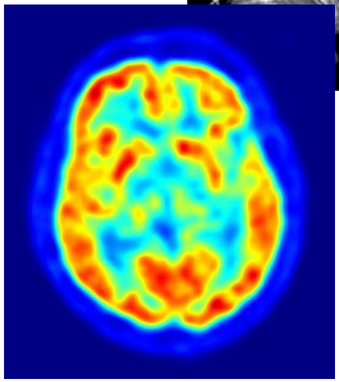
- Τεχνικές μέτρησης
  - **in-vivo** σε κλινικό περιβάλλον
  - **in-nitro** σε εργαστηριακό περιβάλλον

Διάσταση βιοσημάτων

- **Μονοδιάστατα (1D)**
  - θερμοκρασία, πίεση, ηλεκτροκαρδιογράφημα, κλπ
- **Δισδιάστατα (2D)**
  - εικόνες x-ray, MRI, υπερήχοι, κλπ
- **Τρισδιάστατα (3D)**
  - εικόνες CT, PET,κλπ





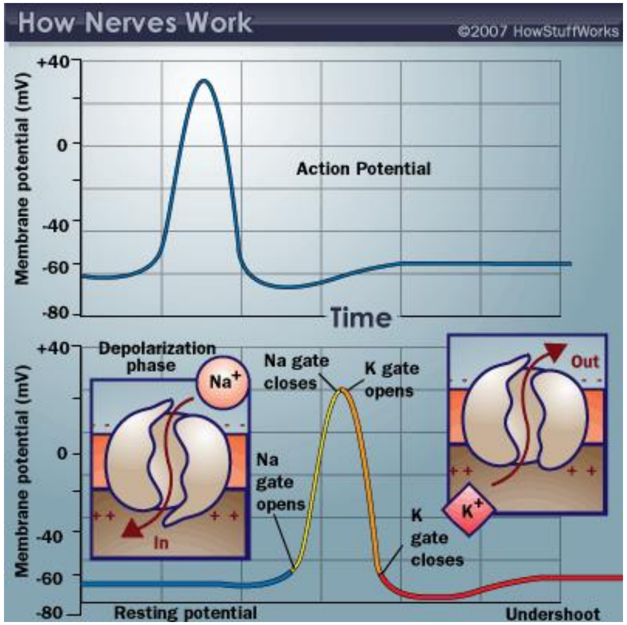


Είδη βιοϊατρικών σημάτων

- Βιοηλεκτρικά
- Βιοακουστικά
- Βιομαγνητικά
- Εμβιομηχανικά
- Βιοχημικά

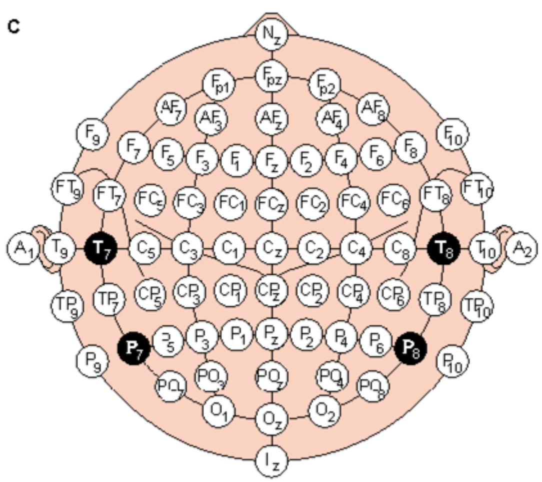
Προέλευση των βιοσημάτων

- **Βιοηλεκτρικά σήματα**
  - Πηγή των ηλεκτρικών δυναμικών είναι η κυτταρική μεμβράνη

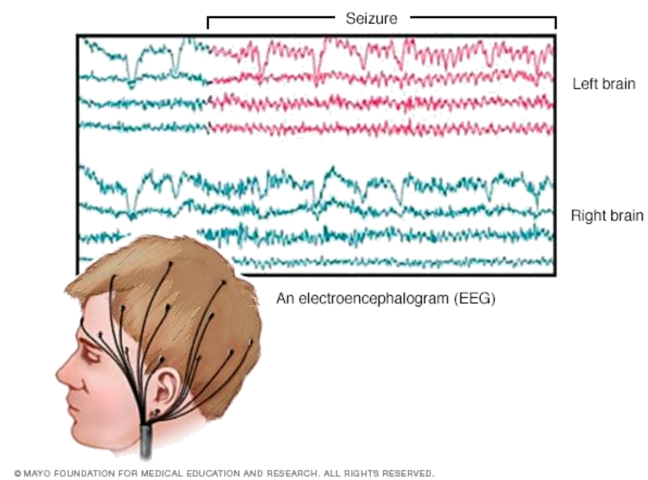


Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG)

- Το Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG) είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική για την εκτίμηση λειτουργικών αλλαγών στη δραστηριότητα του εγκεφάλου



10-20 system



Προέλευση των βιοσημάτων

- **Βιοχημικά σήματα**
  - Παρέχουν πληροφορίες για τα επίπεδα **χημικών ουσιών** στο σώμα
  - Συγκέντρωση **ιόντων** (ασβέστιο,κάλιο,νάτριο)
  - Καθορισμός επιπέδων γλυκόζης, λακτάσης κλπ.

Προέλευση των βιοσημάτων

- **Εμβιομηχανικά**
  - Οι μηχανικές λειτουργίες όπως κίνηση, **ένταση, πίεση και ροή** παράγουν εμβιομηχανικά βιολογικά σήματα
  - Οι μεταβολές στην πίεση αίματος καταγράφονται σαν μια κυματομορφή.

Προέλευση των βιοσημάτων

- **Βιοακουστικά**
  - Πολλά βιολογικά γεγονότα όπως η **κίνηση** παράγουν **ακουστικό** θόρυβο.
  - Ροή του αίματος στις βαλβίδες και αγγεία, αναπνευστικό σύστημα, αρθρώσεις,μύες μπορούν να μας δώσουν τέτοιου είδους σήματα.

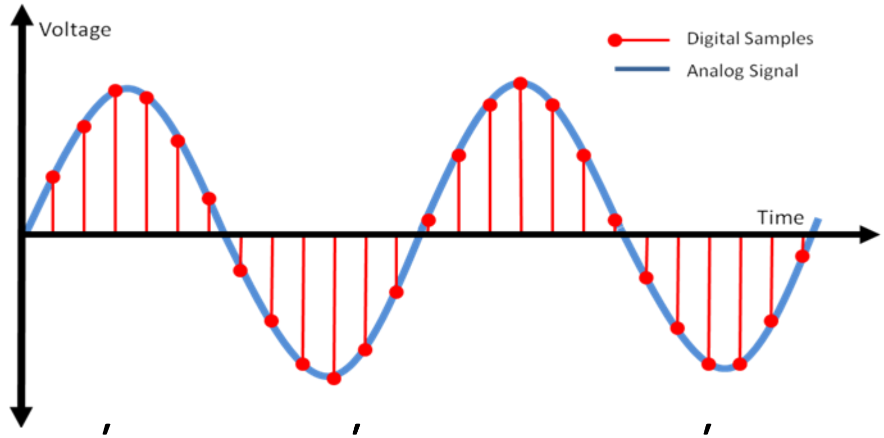
Μετρούνται με **ακουστικούς μετατροπείς** και **επιταχύμετρα.**

Προέλευση των βιοσημάτων

- **Βιοοπτικά**
  - Παράγονται από τις **οπτικές ιδιότητες** των βιολογικών συστημάτων.
  - Μπορούν να προκληθούν χρησιμοποιώντας μια βιοϊατρική τεχνική
  - Π χ. χρησιμοποίηση **χρωστικών** ουσίων,κυκλοφορία αυτών ή συγκέντρωσης σε διάφορα όργανα.

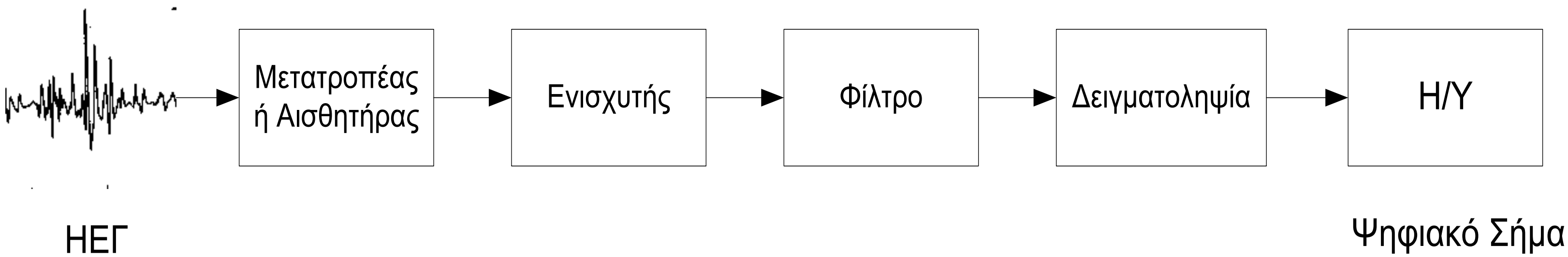
Κατηγορίες βιοσημάτων

- Τα σήματα διακρίνονται σε
  - ***συνεχή*** (αναλογικά)
  - ***διακριτά*** (ψηφιακά)



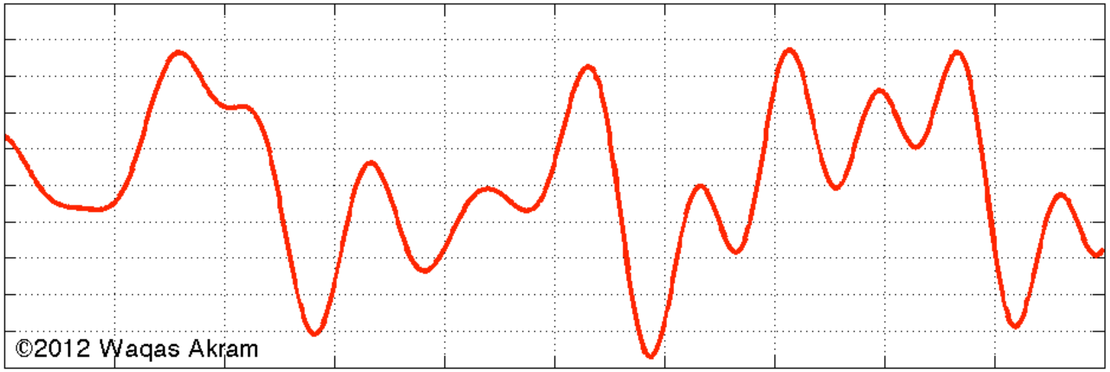
- Τα *συνεχή* περιγράφονται από μια συνάρτηση η οποία παρέχει πληροφορία οποιαδήποτε χρονική στιγμή.(μεταβ.θερμοκρασίας,πίεση,διαφ.δυναμι-κού κλπ)
- Για την επεξεργασία τους χρησιμοποιούνται **αναλογικά μετρητικά συστήματα**

Ψηφιοποίηση βιοσήματος

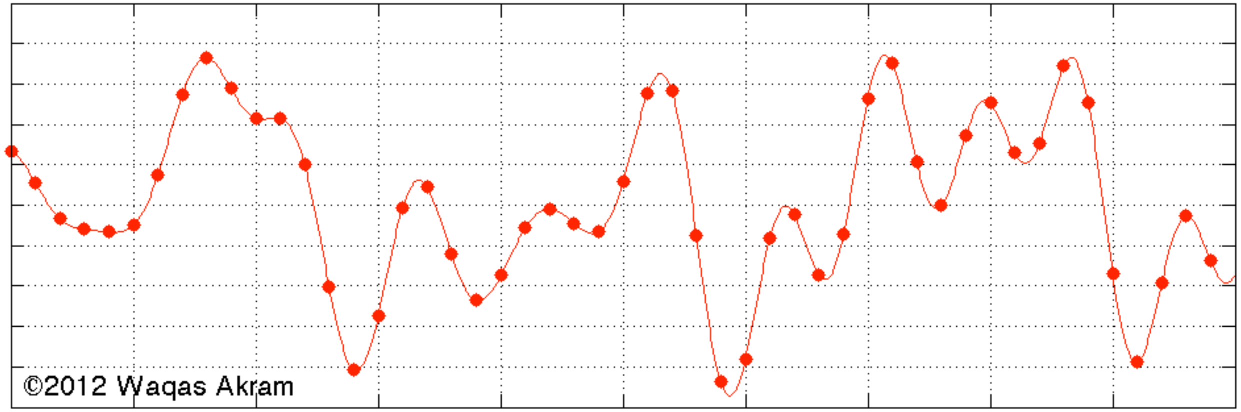


- Η ψηφιοποίηση ενός βιοσήματος περιλαμβάνει τα βήματα
  - Δειγματοληψία
  - Κβαντισμός
  - Κωδικοποίηση

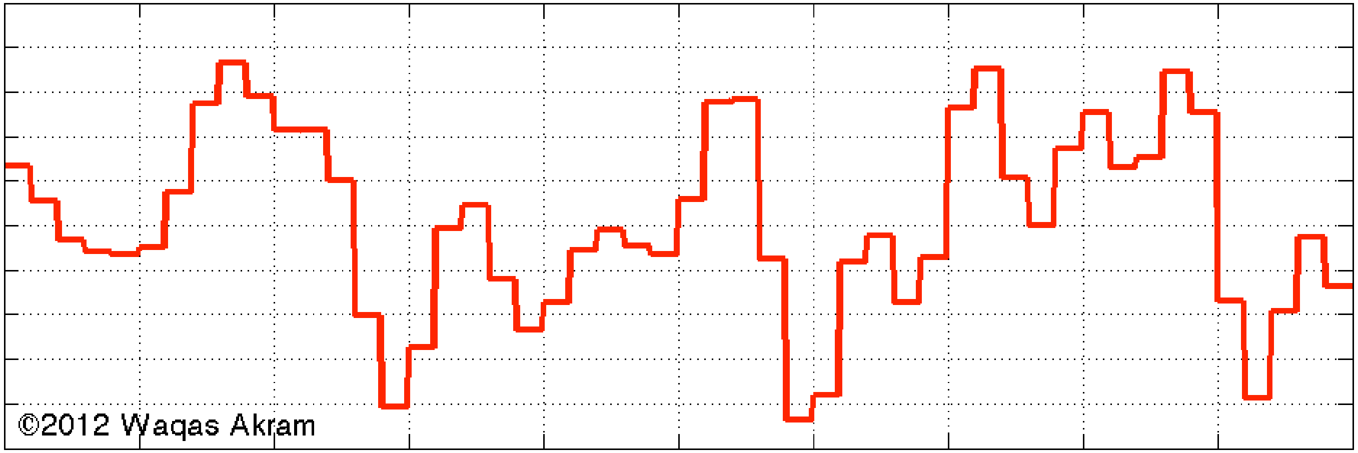
Ψηφιοποίηση βιοσήματος



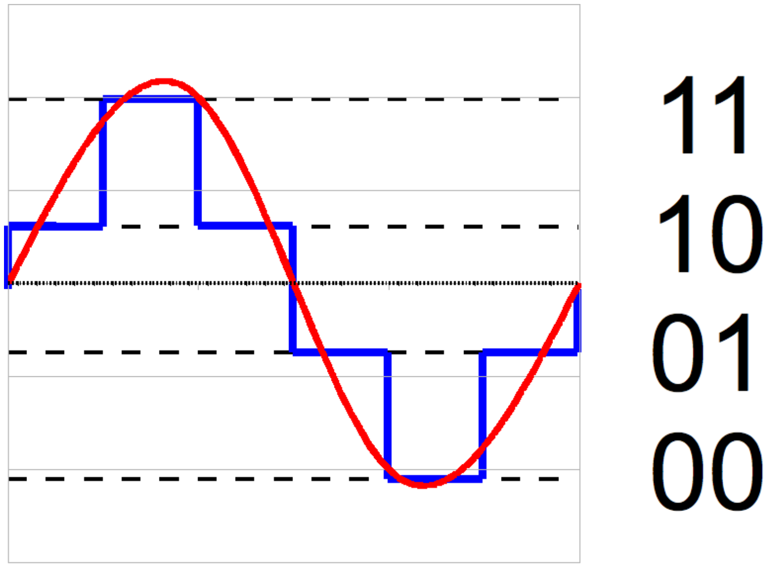
Δειγματοληψία



Κβαντισμός



Κωδικοποίηση



Δειγματοληψία

- Η δειγματοληψία ενός αναλογικού σήματος $x_α(t)$ επιτυγχάνεται παίρνοντας δείγματα αυτού ανά Τ δευτερόλεπτα

$$x(n) = x_a(nT), -\infty < n < \infty$$

- **περίοδος δειγματοληψίας**:
  - το χρονικό διάστημα T μεταξύ των διαδοχικών δειγμάτων
- **συχνότητα δειγματοληψίας (sampling frequency)** σε Hz.
  - το αντίστροφο του διαστήματος T

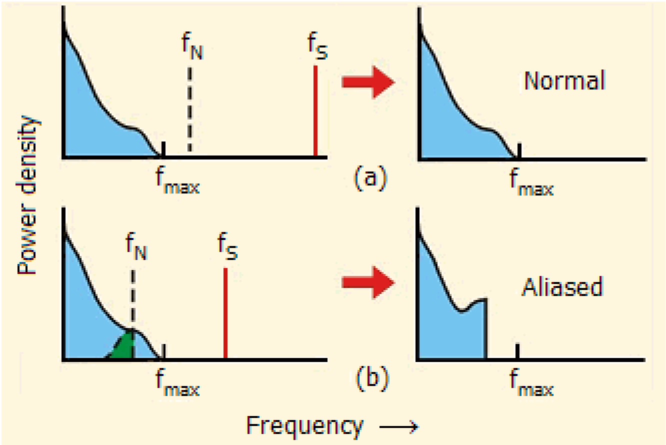
$$f_s = 1/T$$

Θεώρημα δειγματοληψίας (Shannon)

- Η συχνότητα δειγματοληψίας Fs, σύμφωνα με το θεώρημα του Shannon, πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια από την υψηλότερη συχνότητα Fmax που περιέχεται στο σήμα, δηλαδή

$$F_s \geq 2 \cdot f_{\max}$$

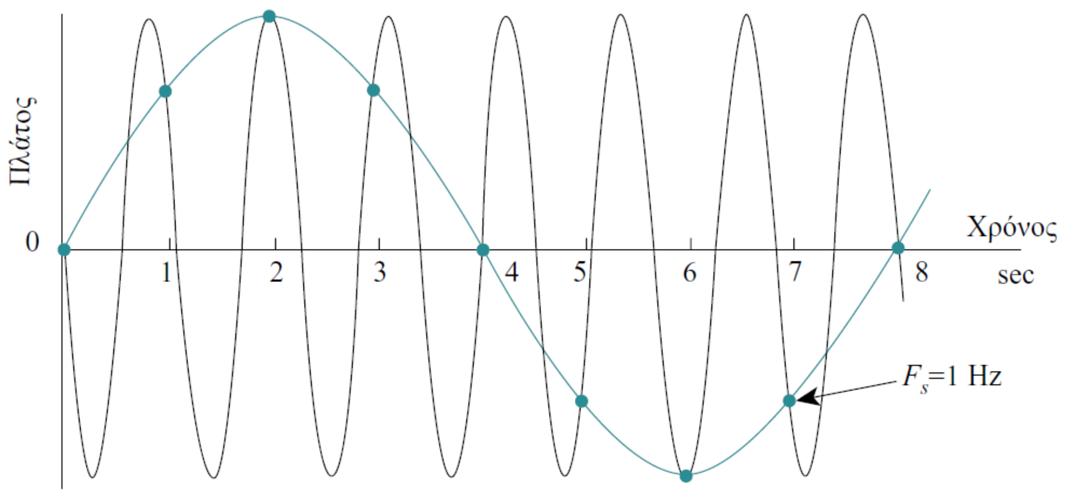
- Αν η συχνότητα δειγματοληψίας είναι μικρότερη, τότε παρατηρείται το φαινόμενο της αναδίπλωσης (aliasing)



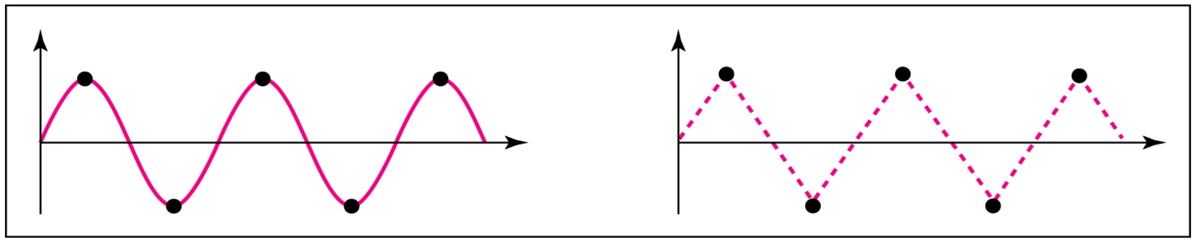
Θεώρημα δειγματοληψίας (Shannon)

$$x_1(t) = \sin 2\pi \left(\frac{1}{8}\right) t \qquad x_2(t) = \sin 2\pi \left(-\frac{7}{8}\right) t$$

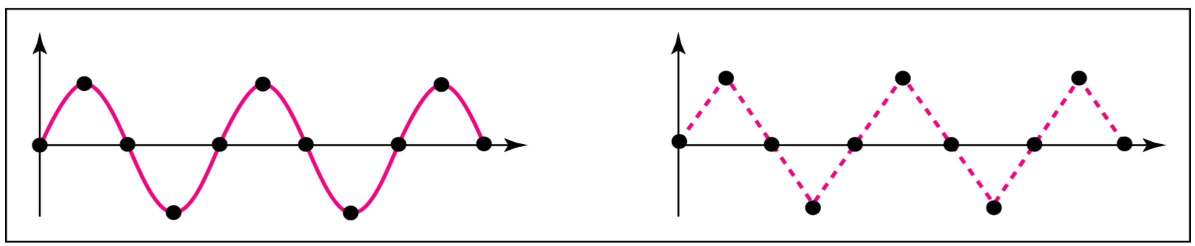
- Τι θα συμβεί με συχνότητα δειγματοληψίας 1Hz



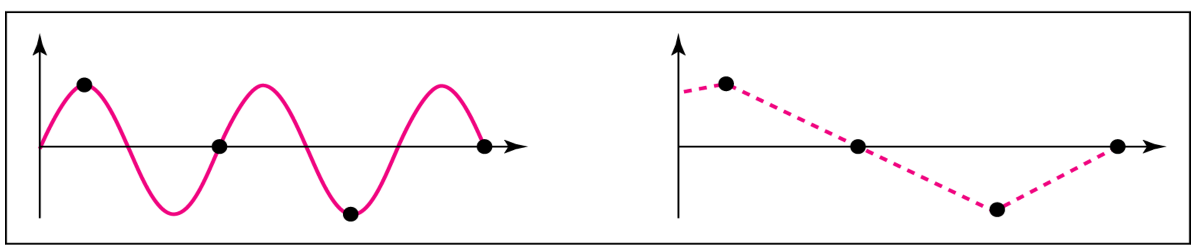
Εύρος δειγματοληψίας



a. Nyquist rate sampling: $f_s = 2\,f$



b. Oversampling: $f_s = 4\,f$



c. Undersampling: $f_s = f$

Ανάλυση στο πεδίο της συχνότητας

- Η μετάβαση από το πεδιο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας γίνεται με διάφορα τρόπους.
- Ο πιο ευρέα χρησιμοποιούμενος είναι ο μετασχηματισμός Fourier διακριτού χρόνου
- Η ανάλυση στο πεδίο της συχνότητας, μας δίνει μια εντελώς διαφορετική δυναμική κατανόησης και επεξεργασίας τους.

Μετασχηματισμός Fourier

- Όποιοδήποτε σήμα μπορεί να αναλυθεί ως ένα άθροισμα ημιτονοειδών σημάτων συγκεκριμένης συχνότητας και πλάτους. Αυτό σημαίνει ότι ένα σήμα μπορεί να απεικονιστεί είτε στο **πεδίο του χρόνου**, είτε στο **πεδίο των συχνοτήτων**.
- Έστω ένα σήμα *x(t)* συνεχούς χρόνου τότε ο **μετασχηματισμός Fourier** μετατρεπει το σήμα από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας και δίνεται από την εξίσωση

$$X(f) = \Im\{x(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

Μετασχηματισμός Fourier

- Ο **αντίστροφος μετασχηματισμός Fourier** μετατρέπει το σήμα από το πεδίο της συχνότητας στο πεδίο του χρόνου.

$$x(t) = \mathfrak{I}^{-1}\{X(f)\} = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)e^{j2\pi ft}df$$

- Έστω ένα σήμα x(n) διακριτού χρόνου n=1,2,…,N τότε ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier δίνεται από την εξίσωση

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi\frac{k}{N}n} \qquad k = 0,1,\ldots,N-1$$

$$X(f_k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi f_k n} \qquad f_k = \frac{k}{N}$$

- Ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier είναι μια δειγματοπλητική μορφή του συνεχούς μετασχηματισμού

$$X_{DFT}(k) = X(f)\Big|_{f=k/N}$$

Μετασχηματισμός Fourier

- Το σήμα X(fk) στο πεδίο των συχνότητων αποτελείται απο μιγαδικούς αριθμούς οπότε χαρακτηρίζεται από πραγματικό και φανταστικό μέρος. Το πλάτος σε κάθε συχνότητα προκύπτει από το μέτρο

$$\left|X(f_k)\right| = \sqrt{Re\{X(f)\}^2 + Im\{X(f)\}^2}$$

- Η αναπαράσταση είναι συμμετρική ως προς την συχνότητα Nyquist η οποία είναι η μέγιστη συχνότητα η οποία μπορεί να αναπαστήθει. Δίνεται από την σχέση

$$f_s = \frac{1}{2T_s}$$

- όπου Ts η συχνότητα δειγματολείψιας.

Μετασχηματισμός Fourier - Matlab

- Ο μετασχηματισμός Fourier υλοποιείται στο MATLAB μέσω της συνάρτησης fft

```
X=fft(x,n);
```

- Οπου n είναι ο αριθμός των σημείων που θα χρησιμοποιηθούν στον αλγόριθμο. Αν το n είναι μεγαλύτερο από τον μήκος του σηµάτος Ν τότε αφαιρούνται τα επιπλέον δείγματα του σήματος ενώ αν είναι μικρότερος τότε προστίθενται μηδενικά στο τέλος του (zero padding).
- Πήρε το όνομα του από από το fast fourier transform λόγω του αποδοτικού αλγορίθμου που χρησιμοποιείται και επιτυγχάνεται κυρίως σε σήματα που έχουν μήκος πολλαπλάσιο δύναμης του 2.
- Ο αντίστροφος μετασχηματισμός fourier δίνεται από την συνάρτηση

```
x=ifft(X);
```

Άσκηση αυτοαξιολόγησης

- Δημιουργείστε το ημιτονοειδές σήμα το οποίο αποτελείται από τις συχνότητες 10, 20, 60Hz, 500 σημείων και χρόνου 1 sec.
  - Ποιά είναι η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας που πρέπει να έχει το σήμα ώστε να μην υπάρχουν φαινόμενα επικάλυψης;
  - Στην συνέχεια το σήμα υποδειγματοληπτείται (μέσω της συνάρτησης resample) κατά ένα παράγοντα 1/5, 1/10, και ½. Παρατηρείστε τα αποτέλεσματα και αξιολογείστε την καλύτερη δειγματοληψία

Ιδιοτητες μετασχηματισμού Fourier

- **<u>Γραμμικοτητα</u>** $a_1x_1(t)+a_2x_2(t) \Leftrightarrow a_1X_1(f)+a_2X_2(t)$

παραδειγμα: $5\Pi(t/10)+3\Pi(t/20) \Leftrightarrow 50\ sinc(10f) +30 sinc(20f)$

- **<u>Χρονικη καθυστερηση</u>**: $x(t-T_d) \Leftrightarrow X(f)exp(-j2\pi fT_d)$

παραδειγμα: $sin(2\pi f_c t) = cos(2\pi f_c t - \pi/2) = cos[2\pi f_c(t - 1/4f_c)] \Leftrightarrow$

$$(1/2)\delta(f-f_c)exp(-j\pi f/2f_c) + (1/2)\ \delta(f+f_c)exp(-j\pi f/2f_c)=$$

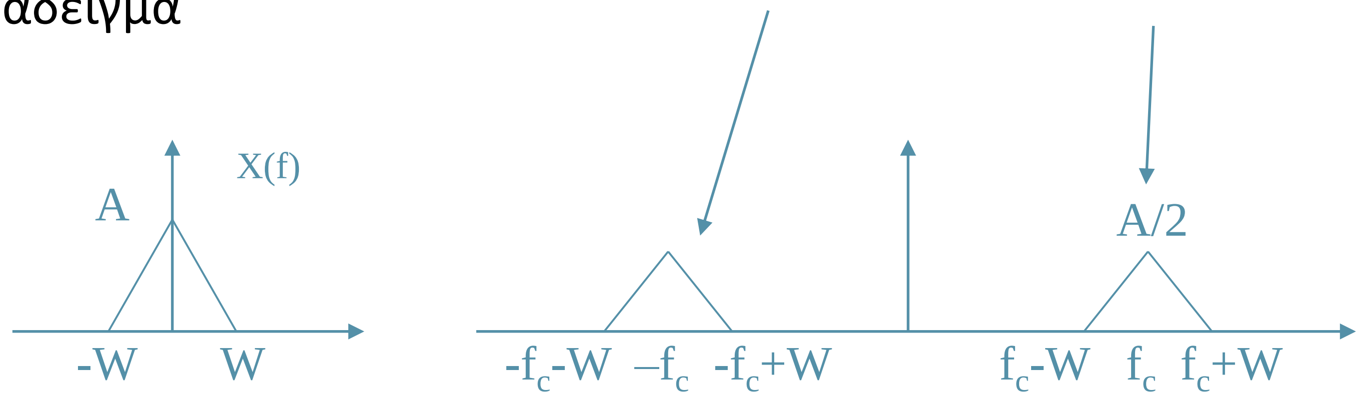
$$=(1/2)\delta(f-f_c)jsin(-\pi/2) + (1/2)\delta(f+f_c)jsin(\pi/2) =$$

$$=(-j/2)\delta(f-f_c) +(j/2)\delta(f+f_c)$$

- **<u>Αλλαγη κλιμακας</u>**: $x(at) \Leftrightarrow (1/|a|)X(f/a)$
  - Μεγαλο a => “στενότερο” χρονικα σημα => “φαρδυτερο” φασμα
  - Μικρο a => “φαρδύτερο” χρονικα σημα => “στενότερο” φασμα

Ιδιοτητες μετασχηματισμού Fourier

- **<u>Διαμορφωση</u>**: $x(t)\cos(2\pi f_c t) \Leftrightarrow (1/2)X(f+f_c) + (1/2)X(f-f_c)$
  - παραδειγμα



- **<u>Θεωρημα του Parseval</u>**: $E = \int |x(t)|^2 dt = \int |X(f)|^2 df$
  - Η ενεργεια μπορει να υπολογισθει ειτε στο πεδιο του χρονου ειτε στο πεδιο συχνοτητων
  - Παραδειγμα: Αν $x(t)=\mathrm{sinc}(2t)$ τοτε

$$E = \int \mathrm{sinc}^2(2t)dt = \int [(1/2)\Pi(f/2)]^2 df = 1/2$$

Ιδιοτητες μετασχηματισμού Fourier

- **<u>Συνελιξη</u>**: Ορισμος $x_1(t)*x_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x_1(\tau)\, x_2(t-\tau)\, d\tau$
- Ιδιοτητα: $x_1(t)*x_2(t) \Leftrightarrow X_1(f)\, X_2(f)$
  - Μια πολυπλοκη πραξη στο πεδιο του χρονου αντιστοιχει σε απλο πολλαπλασιασμο στο πεδιο συχνοτητων.
  - Ετσι απλοποιουνται τοσο αναλυτικοι οσο και αριθμητικοι υπολογισμοι
- Εφαρμογη στα γραμμικα συστηματα:

$x(t) \longrightarrow$ $\boxed{\text{Κρουστικη αποκριση } h(t)}$ $\longrightarrow y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)\, h(t-\tau)\, d\tau$

$y(t) = x(t)*h(t) \Leftrightarrow Y(f) = X(f)\, H(f)$

$h(t) \Leftrightarrow H(f)$ = συναρτηση μεταφορας

Η **<u>αυτοσυσχετιση στο πεδιο του χρονου</u>** του x(t) οριζεται σαν

$$R_x(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)\, x(t-\tau)\, dt = x(\tau)*x(-\tau) \Leftrightarrow X(f)\, X^*(f) = |X(f)|^2$$

Ιδιοτητες μετασχηματισμού Fourier

- **<u>Ολοκληρωση</u>**: αν $x(t) \Leftrightarrow X(f)$ και $y(t) = \int_{-\infty}^{t} x(\tau)d\tau$ τοτε

$$Y(f) = X(f)/(2j\pi f) + (1/2)\, X(0)\delta(f)$$

  - Παραδειγμα: Αν $y(t)= \int_{-\infty}^{t} \Pi(\tau)d\tau$ τοτε

$$Y(f) = \mathrm{sinc}(f)/(2j\pi f) + (1/2)\mathrm{sinc}(0)\delta(f)= \mathrm{sinc}(f)/(2j\pi f) +(1/2)\delta(f)$$

- **<u>Παραγωγιση</u>**: $d[x(t)]/dt \Leftrightarrow j2\pi f X(f)$ και

$$t\, x(t) \Leftrightarrow (j/2\pi)\, d[X(f)]/df$$

- **<u>Δυϊσμος (duality):</u>** Αν $x(t) \Leftrightarrow X(f)$ τοτε

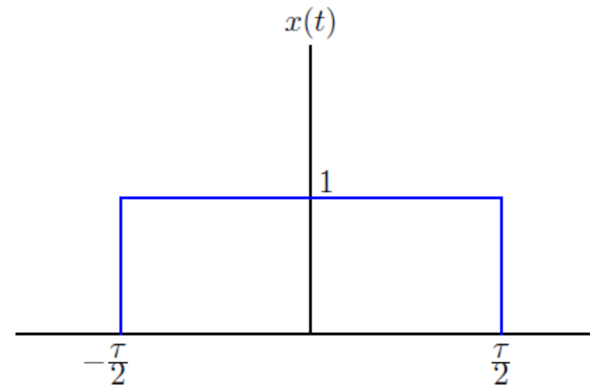
$$X(-t) \Leftrightarrow x(f) \text{ και}$$

$$X(t) \Leftrightarrow x(-f)$$

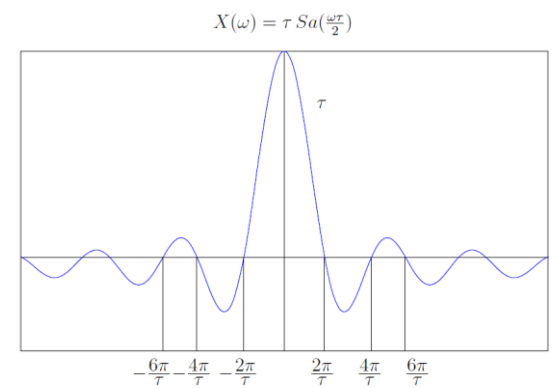
  - Παραδειγμα: $\mathrm{sinc}(t)=\sin(\pi t)/(\pi t) \Leftrightarrow \Pi(-f) = \Pi(f)$

Παραδείγματα μετ. Fourier

$$x(t) = \begin{cases} 1 & |t| < \frac{\tau}{2} \\ 0 & |t| > \frac{\tau}{2} \end{cases}$$



$$\begin{aligned} X(\omega) &= \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\, e^{-j\omega t}\, dt = \int_{-\frac{\tau}{2}}^{+\frac{\tau}{2}} e^{-j\omega t}\, dt = \frac{1}{j\omega} \int_{-j\frac{\omega\tau}{2}}^{+j\frac{\omega\tau}{2}} e^{-t}\, dt \\ &= -\frac{1}{j\omega} \left[e^{-t} \right]_{-j\frac{\omega\tau}{2}}^{+j\frac{\omega\tau}{2}} = -\frac{1}{j\omega}[e^{-j\frac{\omega\tau}{2}} - e^{j\frac{\omega\tau}{2}}] = \frac{1}{j\omega}[e^{j\frac{\omega\tau}{2}} - e^{-j\frac{\omega\tau}{2}} \\ &= \frac{1}{j\omega}[\cos(\frac{\omega\tau}{2}) + j\sin(\frac{\omega\tau}{2}) - \cos(\frac{\omega\tau}{2}) + j\sin(\frac{\omega\tau}{2})] = \frac{2}{\omega}\sin(\frac{\omega\tau}{2}) \\ &= \tau\frac{\sin(\frac{\omega\tau}{2})}{\frac{\omega\tau}{2}} = \tau\,\mathrm{sinc}(\frac{\omega\tau}{2}) = \tau\, Sa(\frac{\omega\tau}{2}). \end{aligned}$$



Φασματική Ισχυς και Ενέργεια

- <u>**Πυκνοτητα φασματικης Ενεργειας**</u> $E(f) = |X(f)|^2$
- <u>**Πυκνοτητα φασματικης Ισχυος**</u>: Εστω οτι το x(t) ειναι σημα **ισχυος.**

  Οριζουμε το truncated σημα $x_T(t) = x(t)\ \Pi(t/T)$

  Ο μετ Fourier του $x_T(t)$ υπαρχει $X_T(f) \Leftrightarrow x_T(t)$

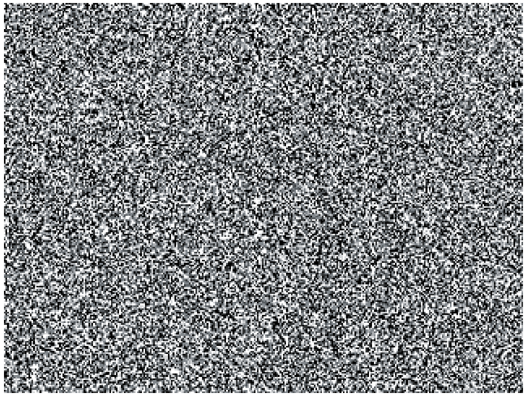
  Η πυκνοτητα φασματικης ισχυος $S_X(f)$ οριζεται ως εξης:

$$S_X(f) = \lim_{T \to \infty} \left\{ \frac{|X_T(f)|^2}{T} \right\}$$

Εδω ορισαμε τις πυκνοτητες φασματικης ενεργειας και ισχυος για μη-τυχαια σηματα. Οι ιδιοι ορισμοι ισχυουν και για τα τυχαια σηματα.

Θόρυβος

- Θορυβος θεωρείται οποιοδήποτε ανεπιθύμητο σήμα σε σχέση με το σήμα του υπό εξέταση φαινομένου.



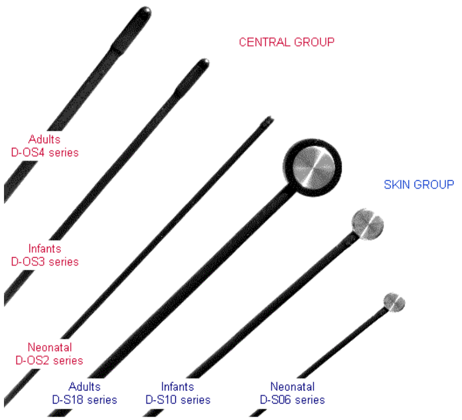
- **Εξωτερικός θόρυβος**
  - (ατμοσφαιρικός,βιομηχανικός,κλπ)
- **Εσωτερικός θόρυβος**
  - (θερμικός ,βολής, συχνότητας δικτύου,κλπ)

- Για περιορισμό θορύβου χρησιμοποιούμε κατάλληλα φίλτρα και ηλεκτρονικά εξαρτήματα.

Αισθητήρες

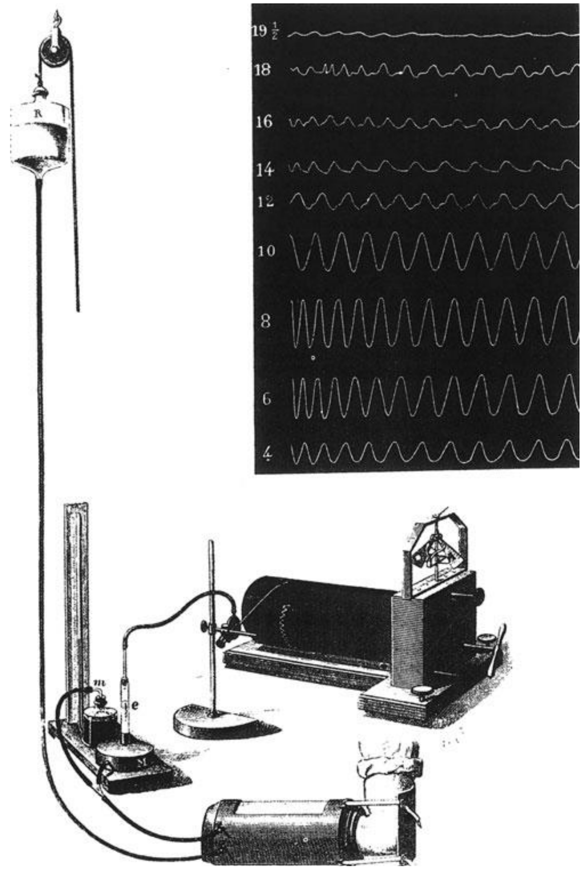

KENDALL


SWAROPLATE®


CENTRAL GROUP
Adults
D-OS4 series
Infants
D-OS3 series
Neonatal
D-OS2 series
SKIN GROUP
Adults
D-S18 series
Infants
D-S10 series
Neonatal
D-S06 series

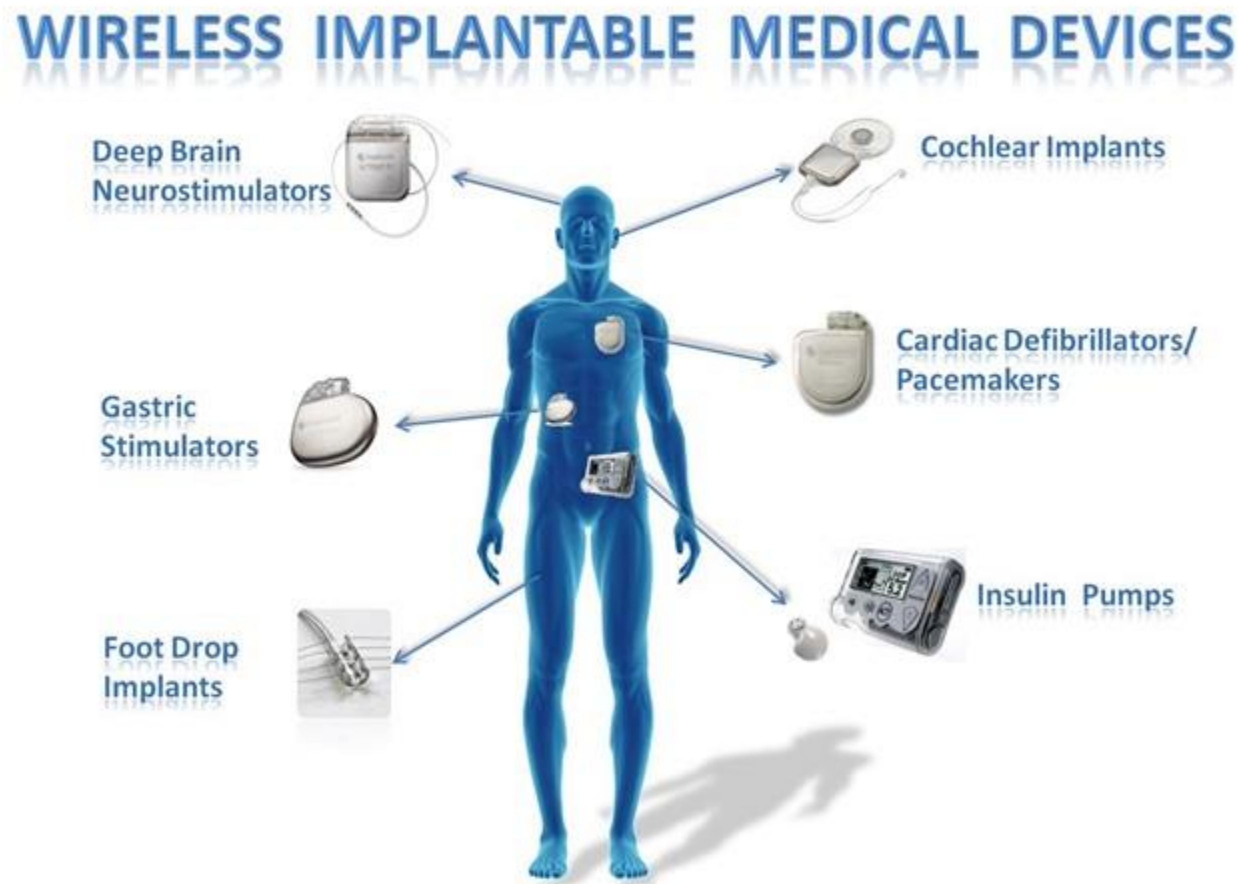
Ανθρώπινη καταγραφή πέρι τα 1880

Πρώτο Πιεσόμετρο

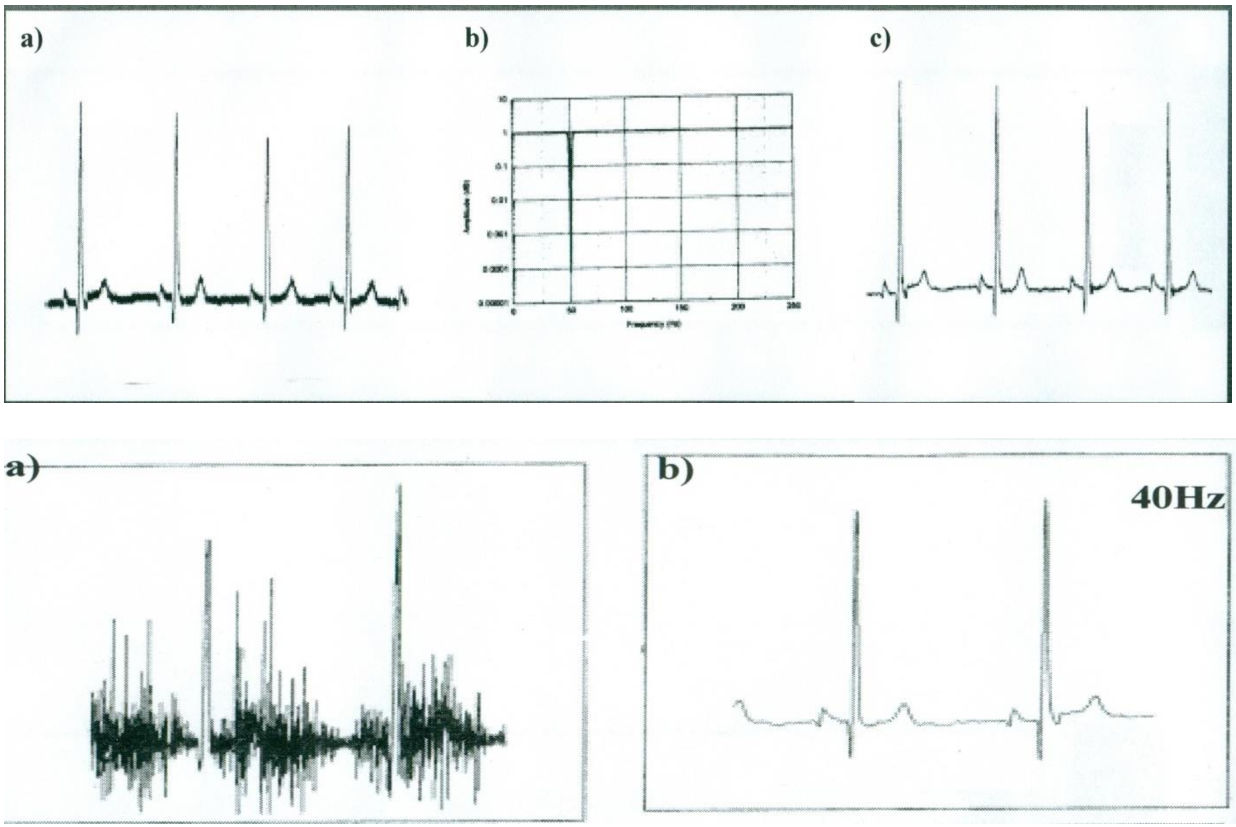


Ιατρικές συσκευές

Ιατρικές συσκευές



Ηλεκτροκαρδιογράφημα με θόρυβο



Ηλεκτροκαρδιογράφημα με θόρυβο