



# **ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΑΤΩΝ**

**Εμμανουήλ Ζ. Ψαράκης**

**Πολυτεχνική Σχολή**

**Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής**

# Θεωρία Σημάτων και Συστημάτων



Η Συστηματική Περιγραφή:

- των Σημάτων και
- των Συστημάτων

# Θεωρία Σημάτων και Συστημάτων



Pierre-Simon Laplace  
1749-1827



Joseph Fourier  
1768 -1830



Simeon Denis Poisson  
1781-1840



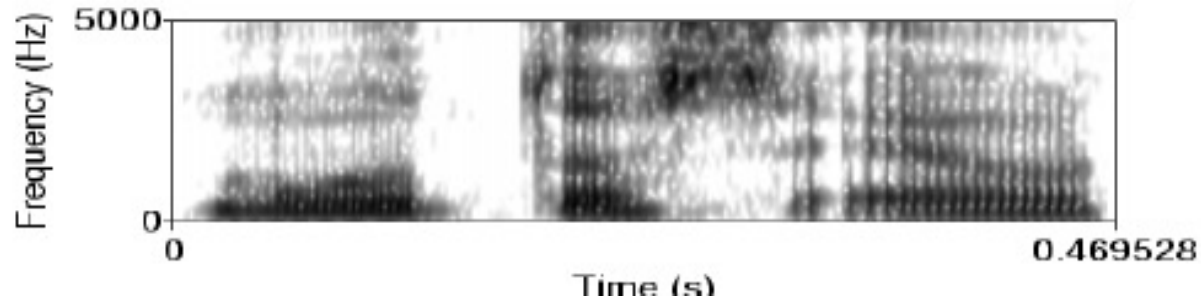
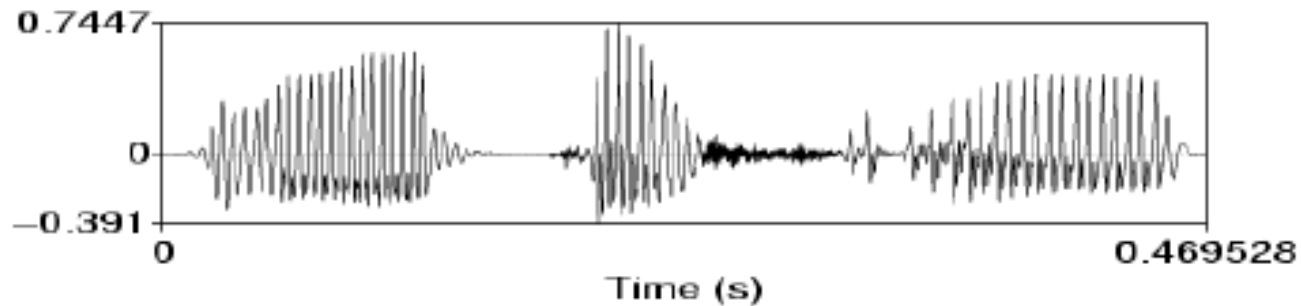
Rudolf E. Kalman  
1930-2016



# Εφαρμογές της Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων

## Ακουστικά Σήματα

- ✓ Αναγνώριση, Ανάλυση, Σύνθεση, Συμπίεση Σημάτων Ομιλίας και Μουσικής.





# Εφαρμογές της Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων

Αναγνώριση:

✓ ομιλίας

✓ ομιλητή

✓ γλώσσας

✓ κατάστασης ομιλητή

Μετατροπή:

ομιλίας σε κείμενο-κειμένου σε ομιλία

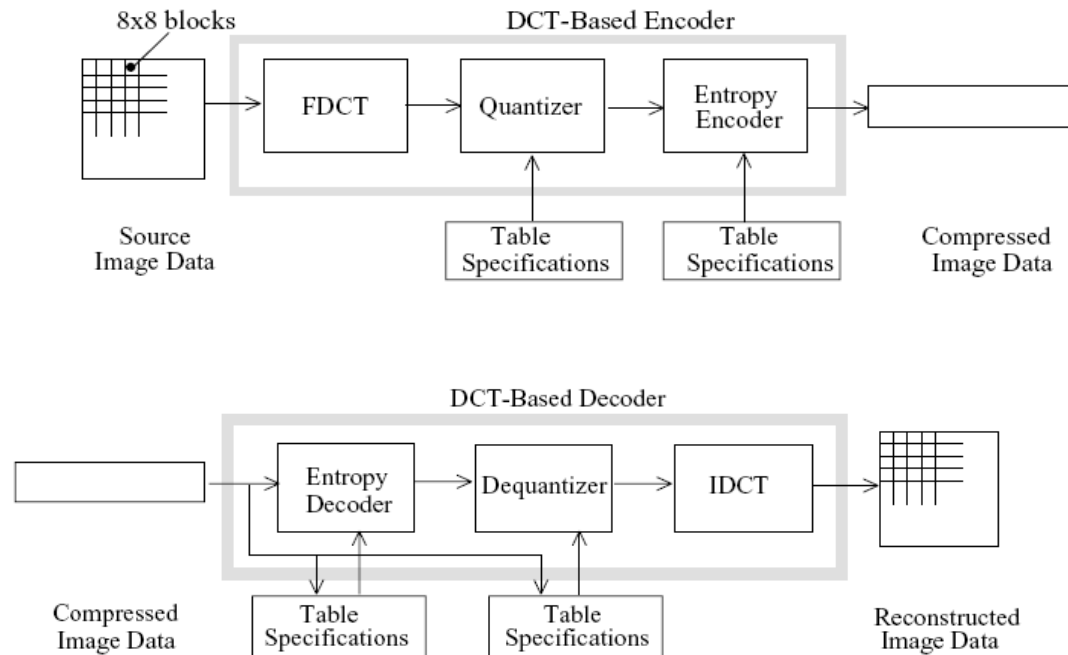
εικόνας σε κείμενο-κειμένου σε εικόνα

Ανάλυση-Επεξεργασία για Κωδικοποίηση-Συμπίεση για οικονομική και ασφαλή μετάδοση ή αποθήκευση του σήματος

# Εφαρμογές της Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων

Εικόνα – Ακολουθία εικόνων (video)

✓ Ανάλυση, Κατάτμηση, Σύνθεση, Συμπίεση (JPEG, MPEG).



# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων

Κλασσική Επεξεργασία Σημάτων: Απωλεστική Συμπίεση (Lossy Compression) με χρήση Μετασχηματισμών.

Αρχική Εικόνα



Συμπιεσμένη Εικόνα



Λόγος Συμπίεσης 1:6

# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων

## Κλασσική Επεξεργασία Σημάτων: Ξεθάμπωμα (Deblurring)

Blurred Image

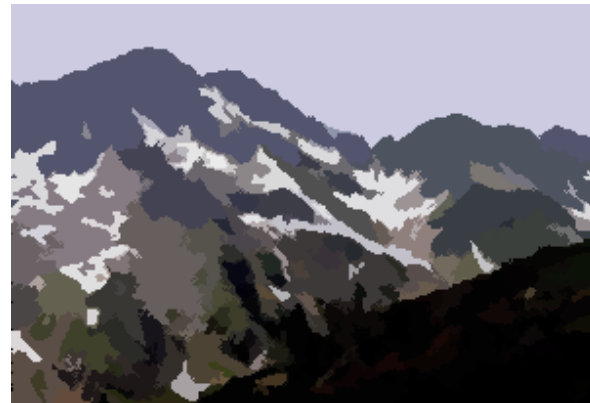


Restored Image



# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων

## Επεξεργασία Σημάτων: Κατάτμηση (Segmentation)

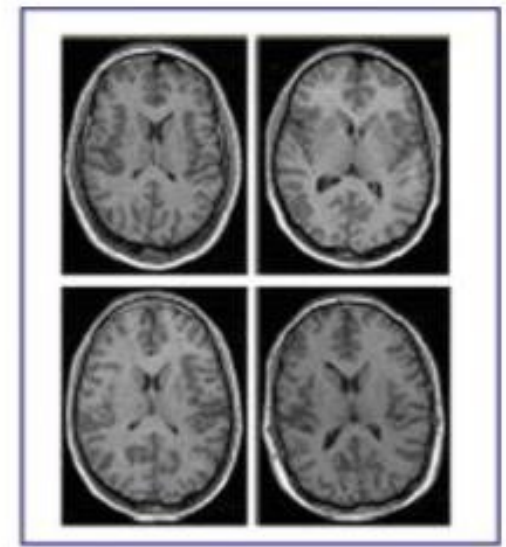
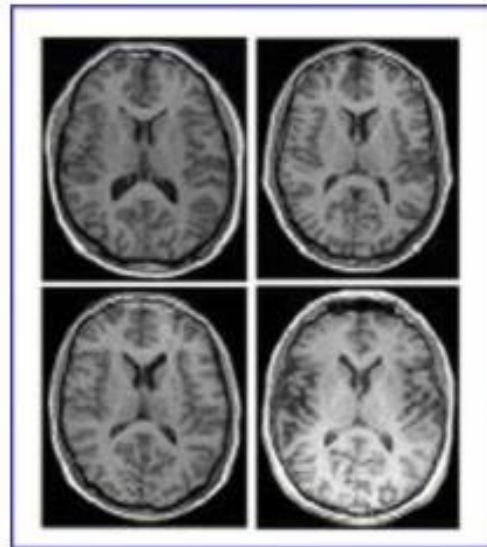


# Εφαρμογές της Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων

- Γεωλογικά Δεδομένα
  - ✓ Σεισμική δραστηριότητα
  - ✓ Μοντελοποίηση ρηγμάτων
- Βιολογικά Σήματα (ECG, EEG, VEP, CT, MRI, ...)
- Οικονομικά Δεδομένα (προβλέψεις δεικτών)
- Επικοινωνίες
  - ✓ Τηλεπικοινωνίες
  - ✓ Ασύρματες επικοινωνίες
  - ✓ Ραντάρ

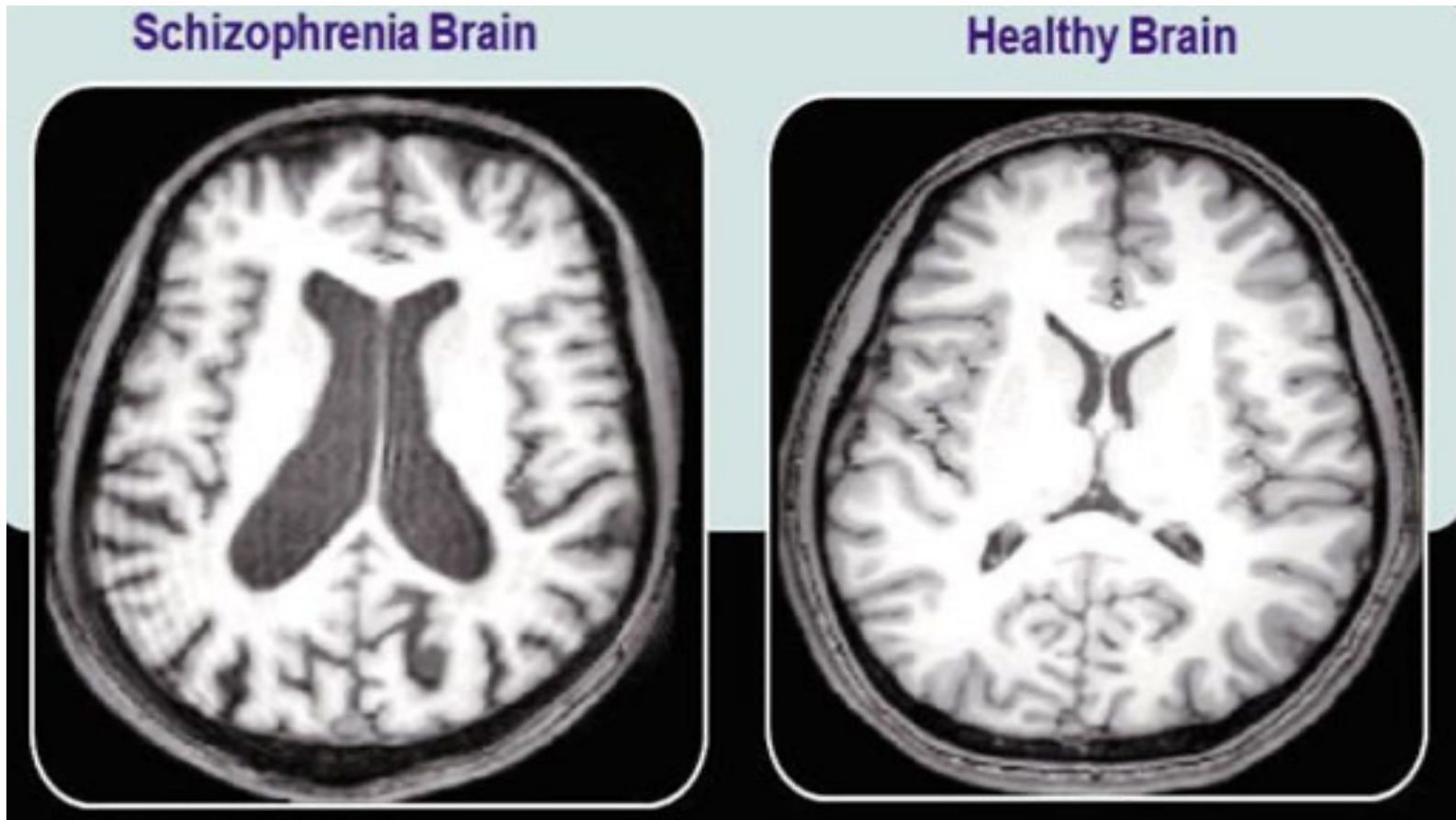
# Εφαρμογές της Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων

## MRI Technology



# Εφαρμογές της Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων

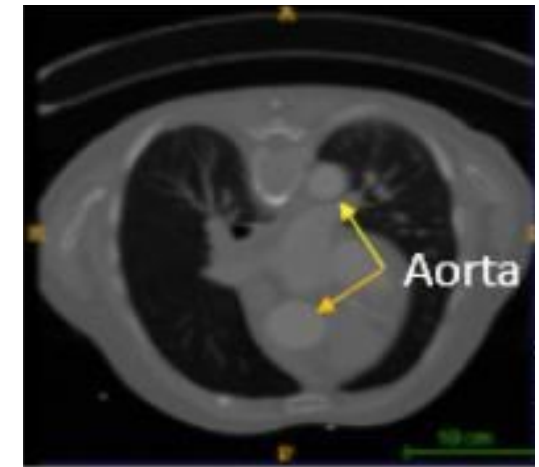
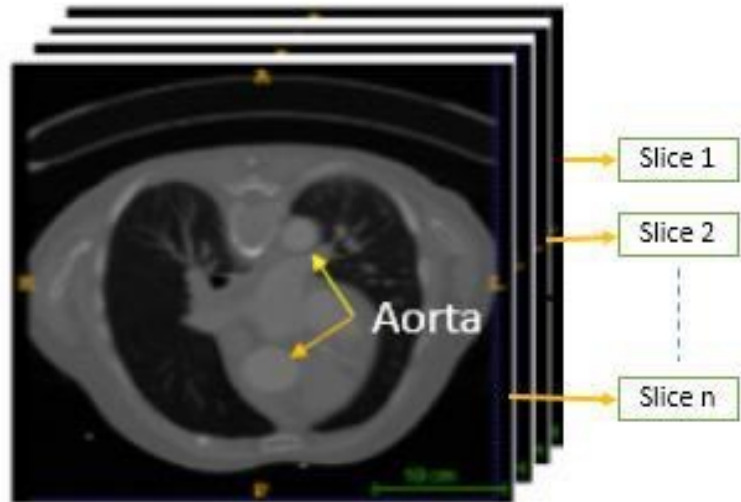
## MRI Technology



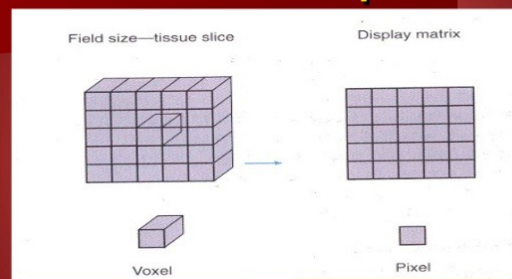


# Εφαρμογές της Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων

## MRI Technology



### Voxel and pixel



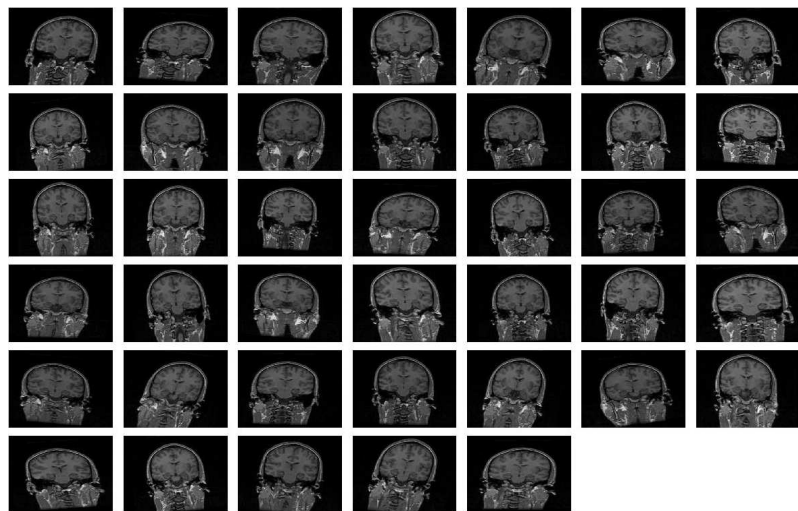
Voxel =  
(Volume element)

Pixel =  
(Picture element)

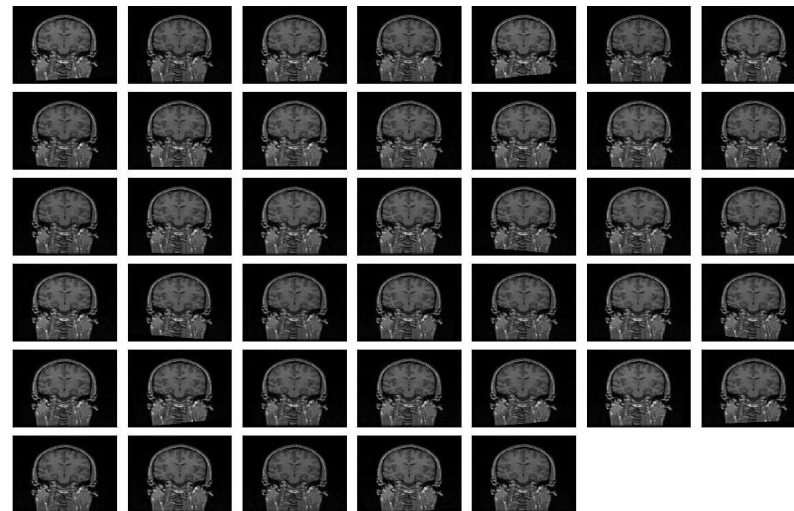
# Εφαρμογές της Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων

## MRI Technology

### Congealing 3D Medical Volumes

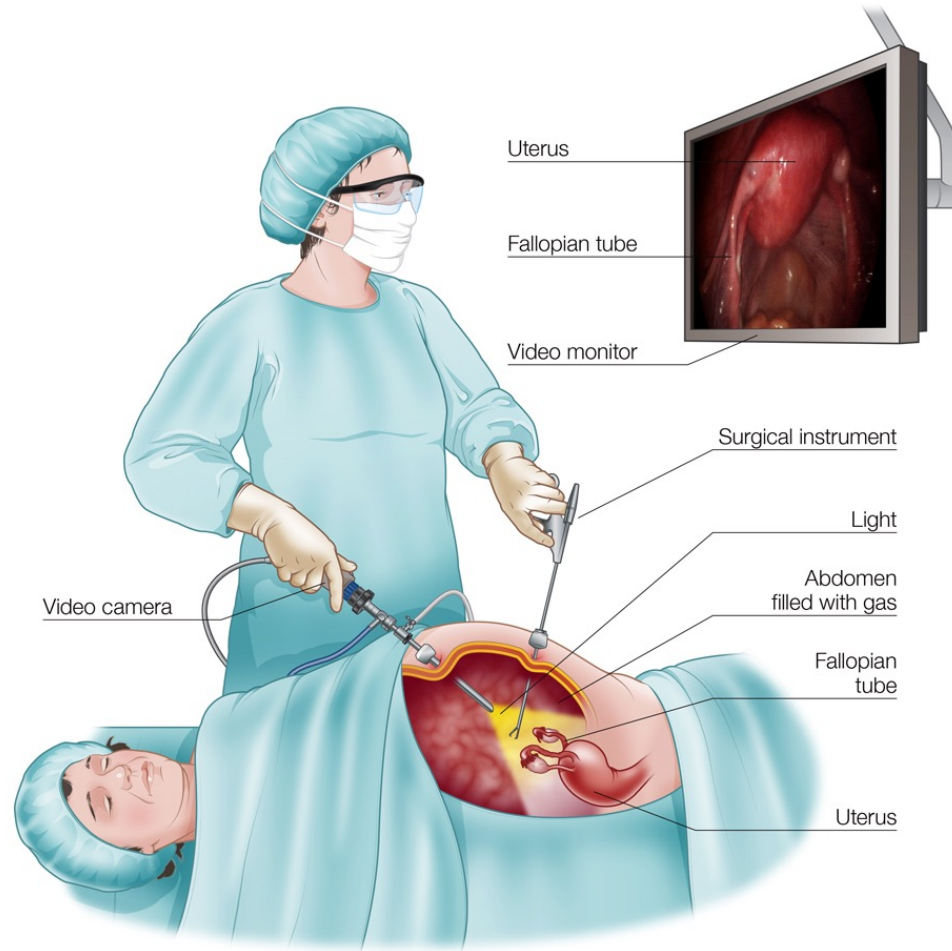


(a) Before alignment



(b) After alignment

## Laparoscopic Technology



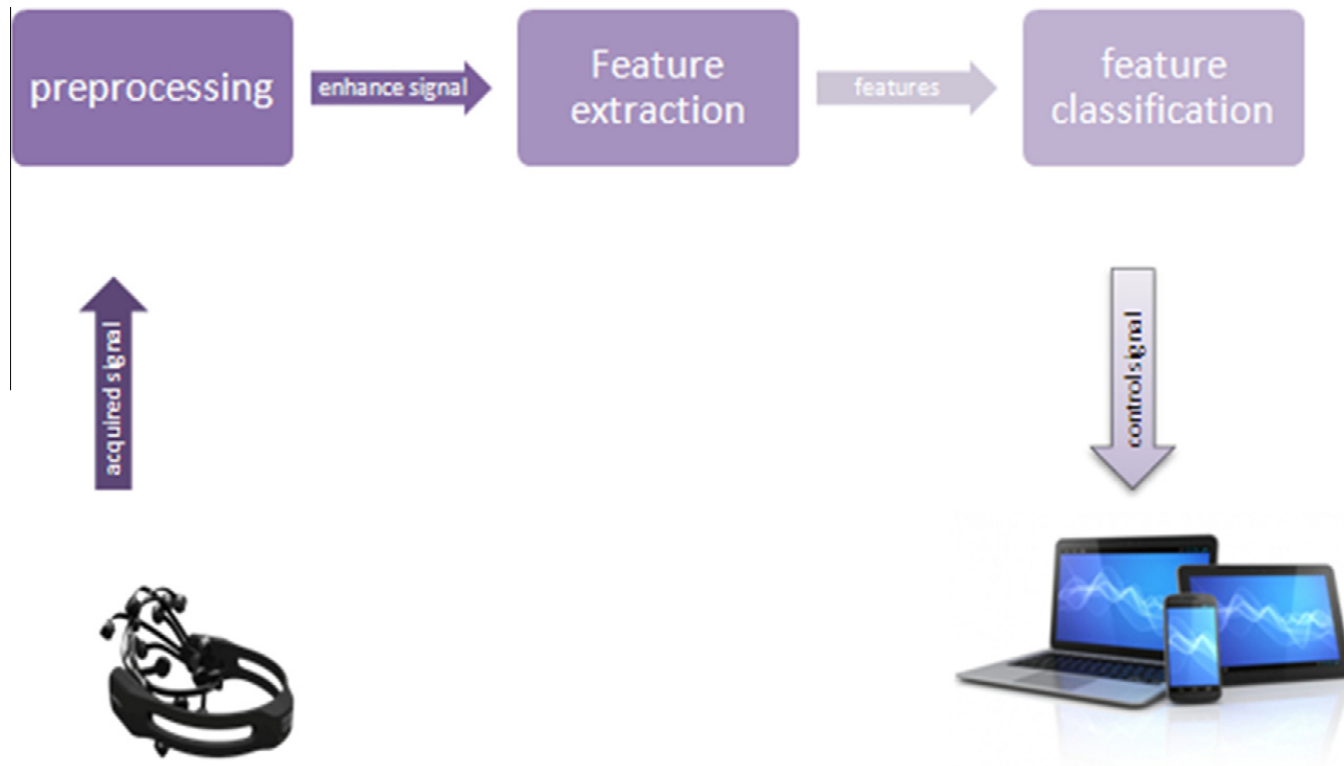
# Εφαρμογές της Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων

## Laparoscopic Technology

### Laparoscopic Image Alignment



## Brain Computer Interface Technology





# Εφαρμογές της Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων

## Brain Computer Interface Technology

**BrainGate**, a consortium of researchers from universities including Stanford, Brown, and Case Western Reserve, has given a dozen patients the ability to control a cursor just by thinking about it.



# Εφαρμογές της Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων

## Brain Computer Interface Technology





# Εφαρμογές της Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων

## Brain Computer Interface Technology





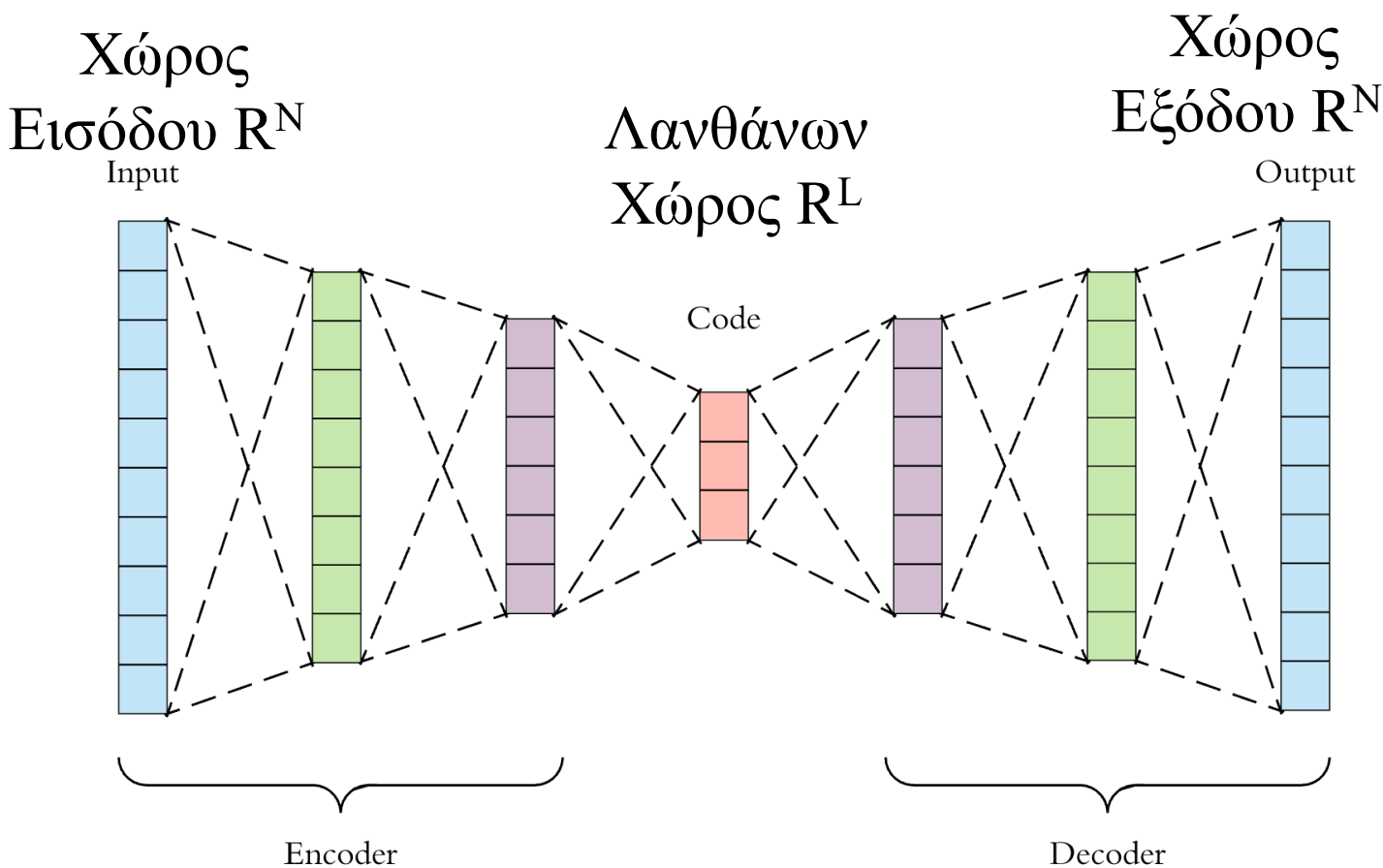
# Εφαρμογές της Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων

## Mind 2 Mind Communication Technology in Humans



# State of the art Τεχνολογικά Εργαλεία στα οποία Σήματα και Συστήματα είναι Παρόντα

## The Data driven approach



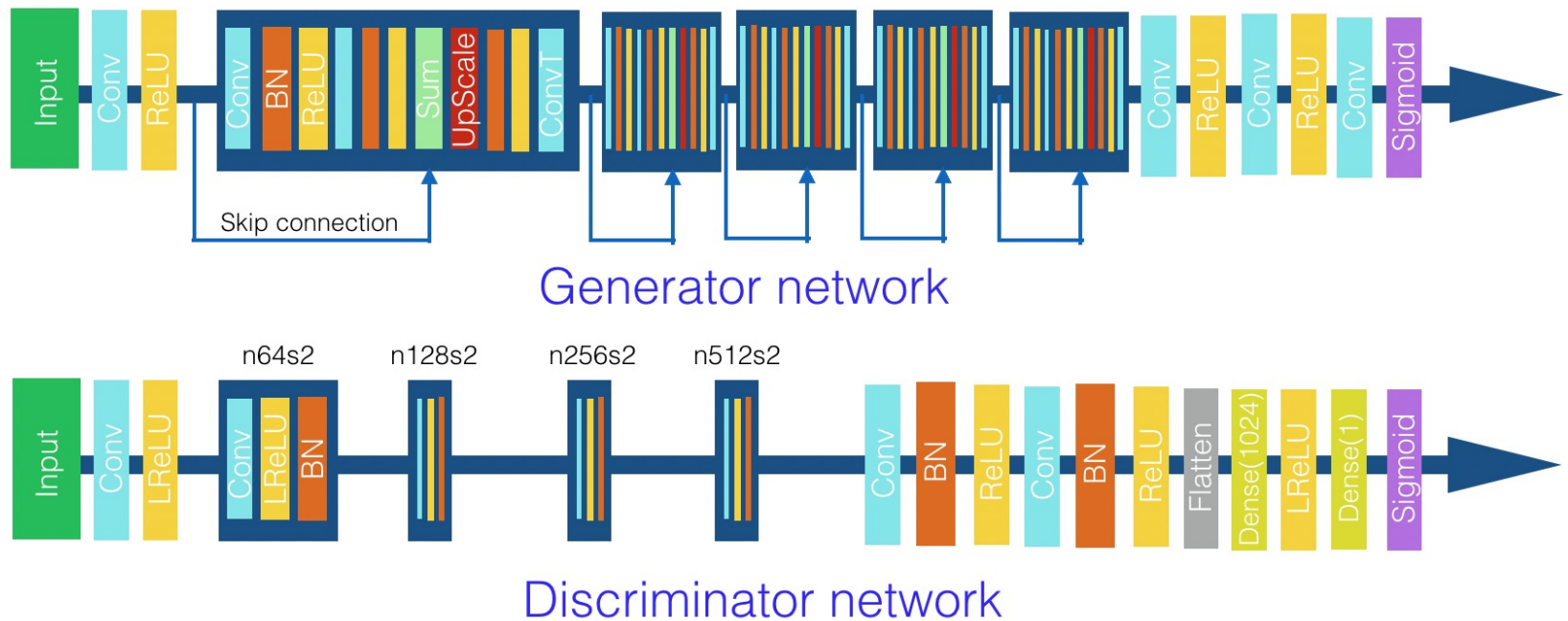
# State of the art Τεχνολογικά Εργαλεία στα οποία Σήματα και Συστήματα είναι Παρόντα

Αναγεννητικά Συνελκτικά Νευρωνικά Δίκτυα



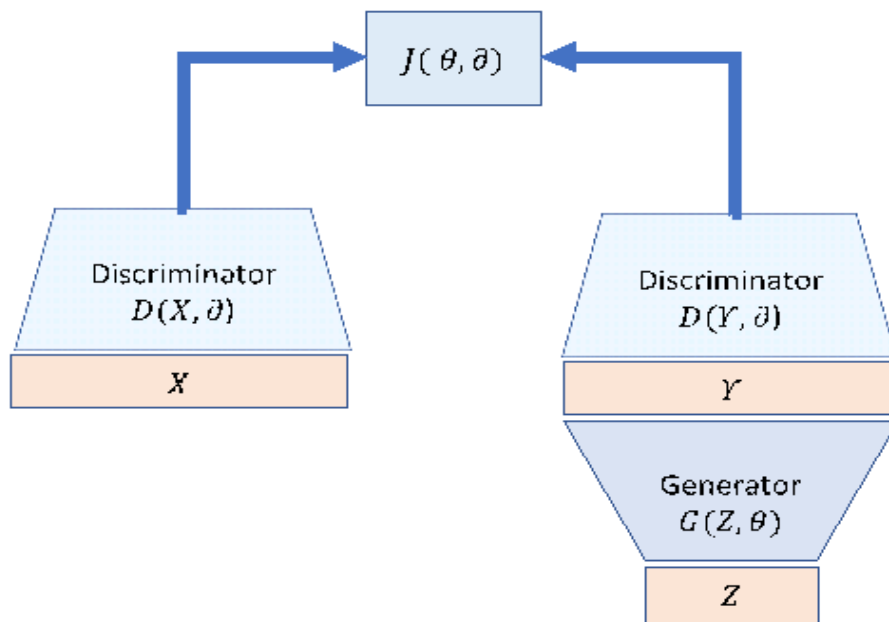
# State of the art Τεχνολογικά Εργαλεία στα οποία Σήματα και Συστήματα είναι Παρόντα

## Συνελικτικά Νευρωνικά Δίκτυα

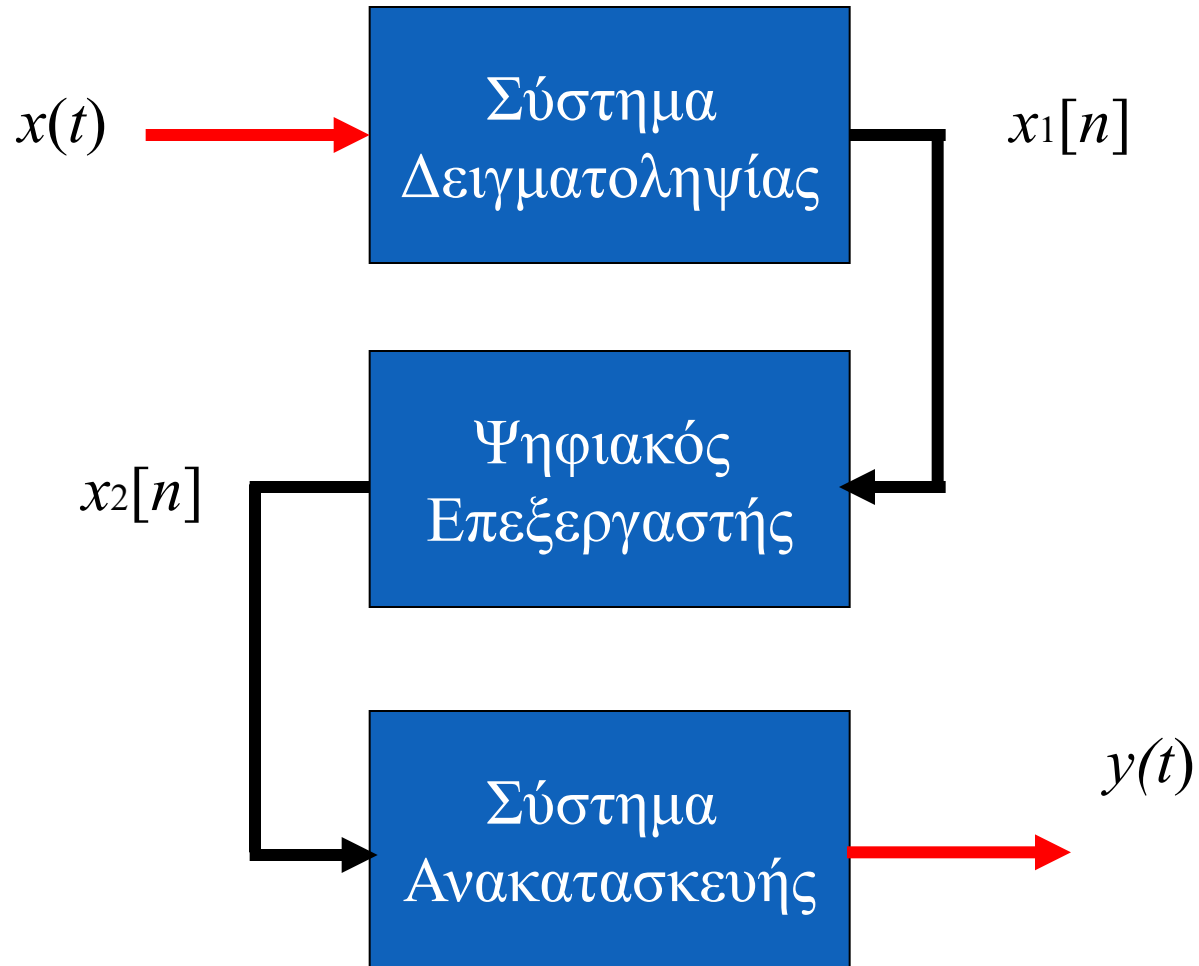


# State of the art Τεχνολογικά Εργαλεία στα οποία Σήματα και Συστήματα είναι Παρόντα

## Αναγεννητικά Συνελκτικά Νευρωνικά Δίκτυα



# Σύστημα Επεξεργασίας Σημάτων





# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων

Harry Nyquist - Claude Shannon

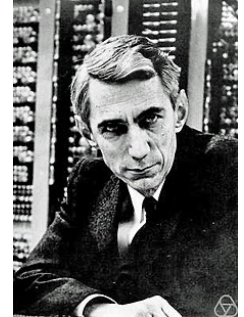
*Δειγματοληψία:*

$x(t)$  : Σήμα Συνεχούς Χρόνου

$x[n]$ : Σήμα Διακριτού Χρόνου

$T_s$  : Περίοδος Δειγματοληψίας

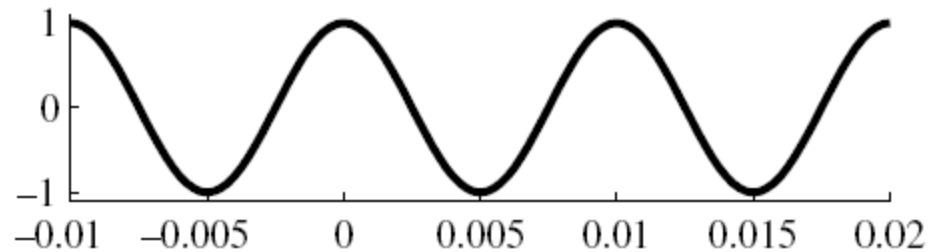
$f_s = \frac{1}{T_s}$  : Συχνότητα Δειγματοληψίας



$$x[n] = x(t) \Big|_{t=nT_s} = x(nT_s)$$

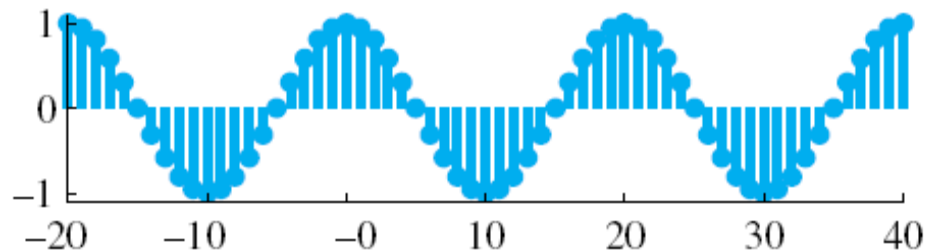
# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων

Σήμα Συνεχούς Χρόνου  $x(t)=\cos(2\pi 100t)$



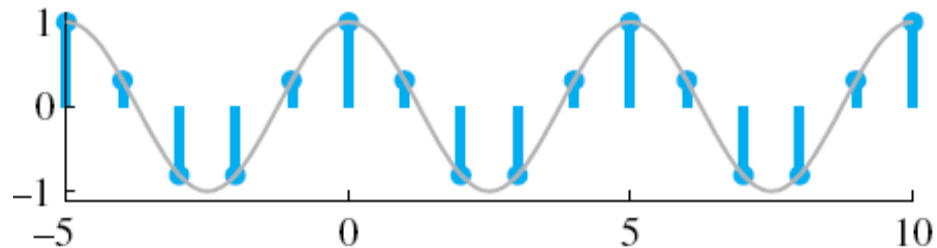
Σήμα Διακριτού Χρόνου:  $x[n]=\cos(2\pi 100nT_s)$

$T_s=0.5 \text{ msec}$



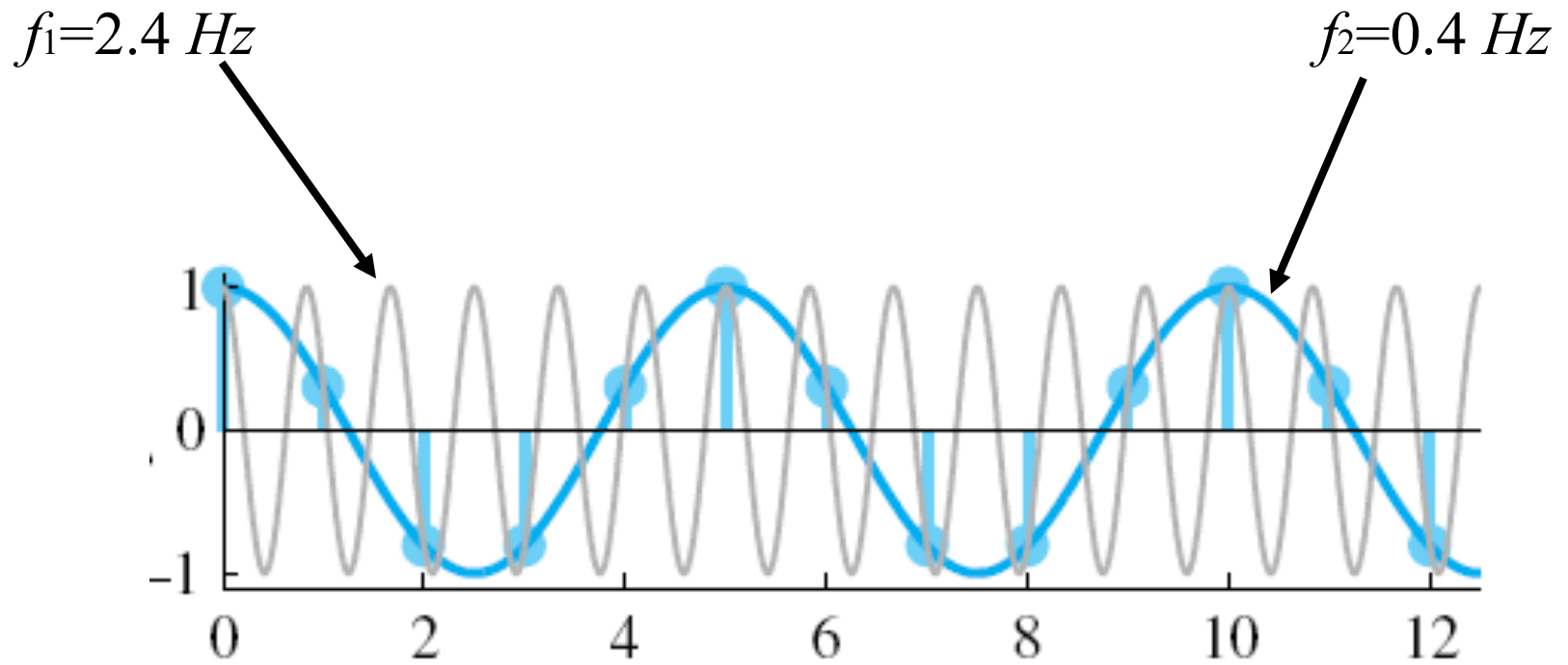
Σήμα Διακριτού Χρόνου:  $x[n]=\cos(2\pi 100nT_s)$

$T_s=2 \text{ msec}$



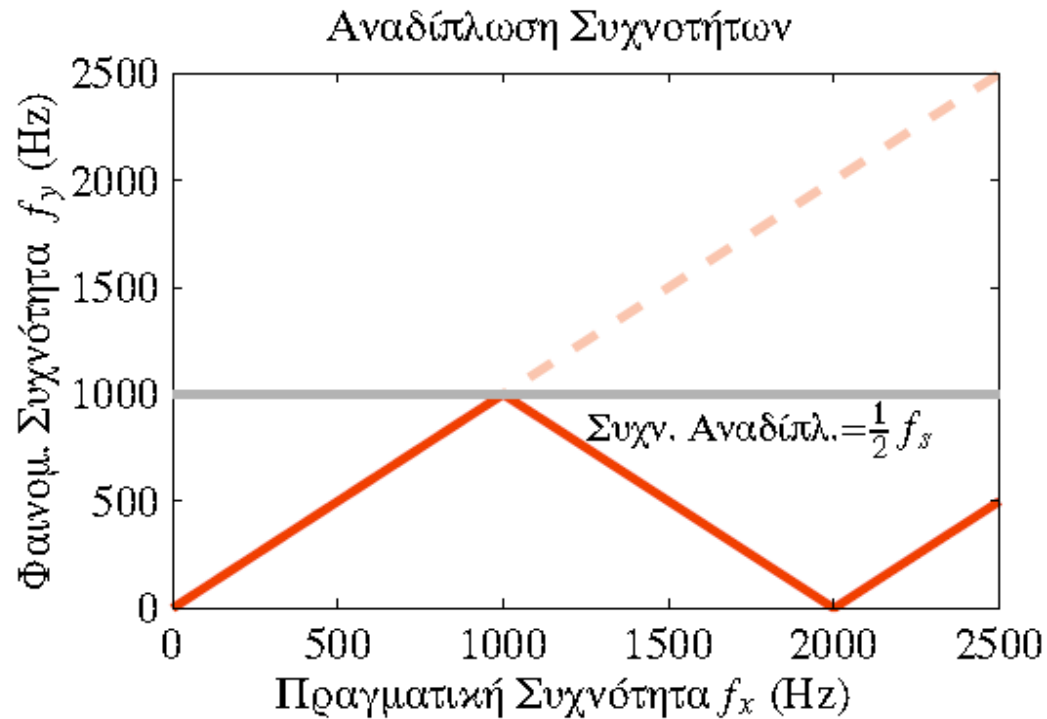


# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων



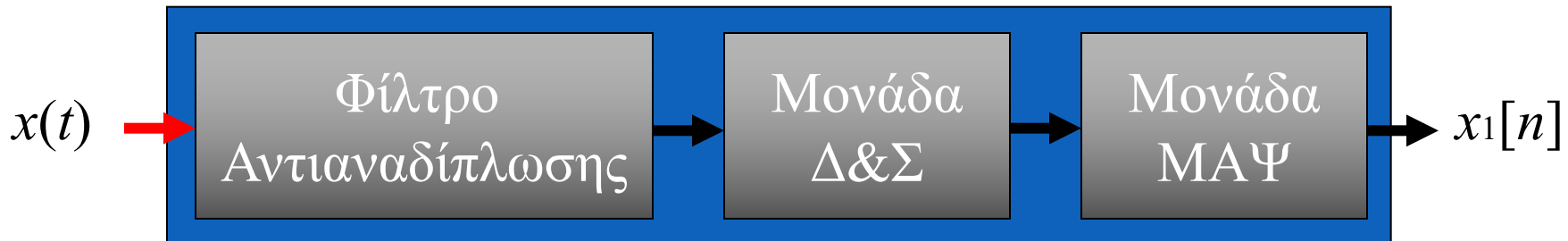
$T_s = 1$  sec

# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων-Δειγματοληψία



# Σύστημα Επεξεργασίας Σημάτων

Σύστημα Δειγματοληψίας:

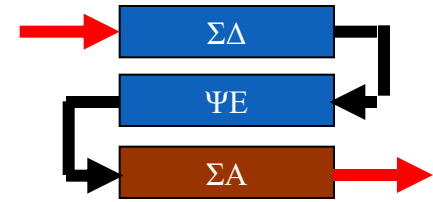
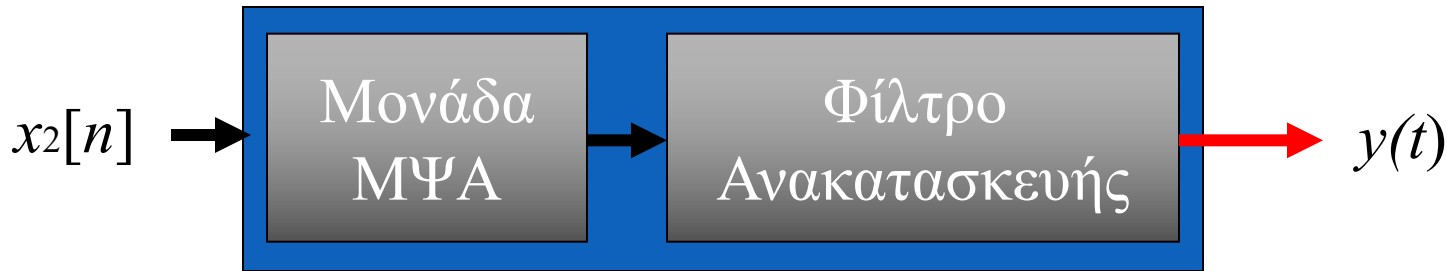


Δειγματοληψία: **Ερωτήματα που θα πρέπει να απαντηθούν:**

- Πως συνδέονται ο CTFT με τον DTFT;
- Κάτω από ποιες προϋποθέσεις ένα σήμα συνεχούς χρόνου μπορεί να ανακατασκευασθεί από τα δείγματά του (Θεώρημα Δειγματοληψίας);
- Τι τρόπο ανακατασκευής προτείνει το Θεώρημα Δειγματοληψίας;

# Σύστημα Επεξεργασίας Σημάτων

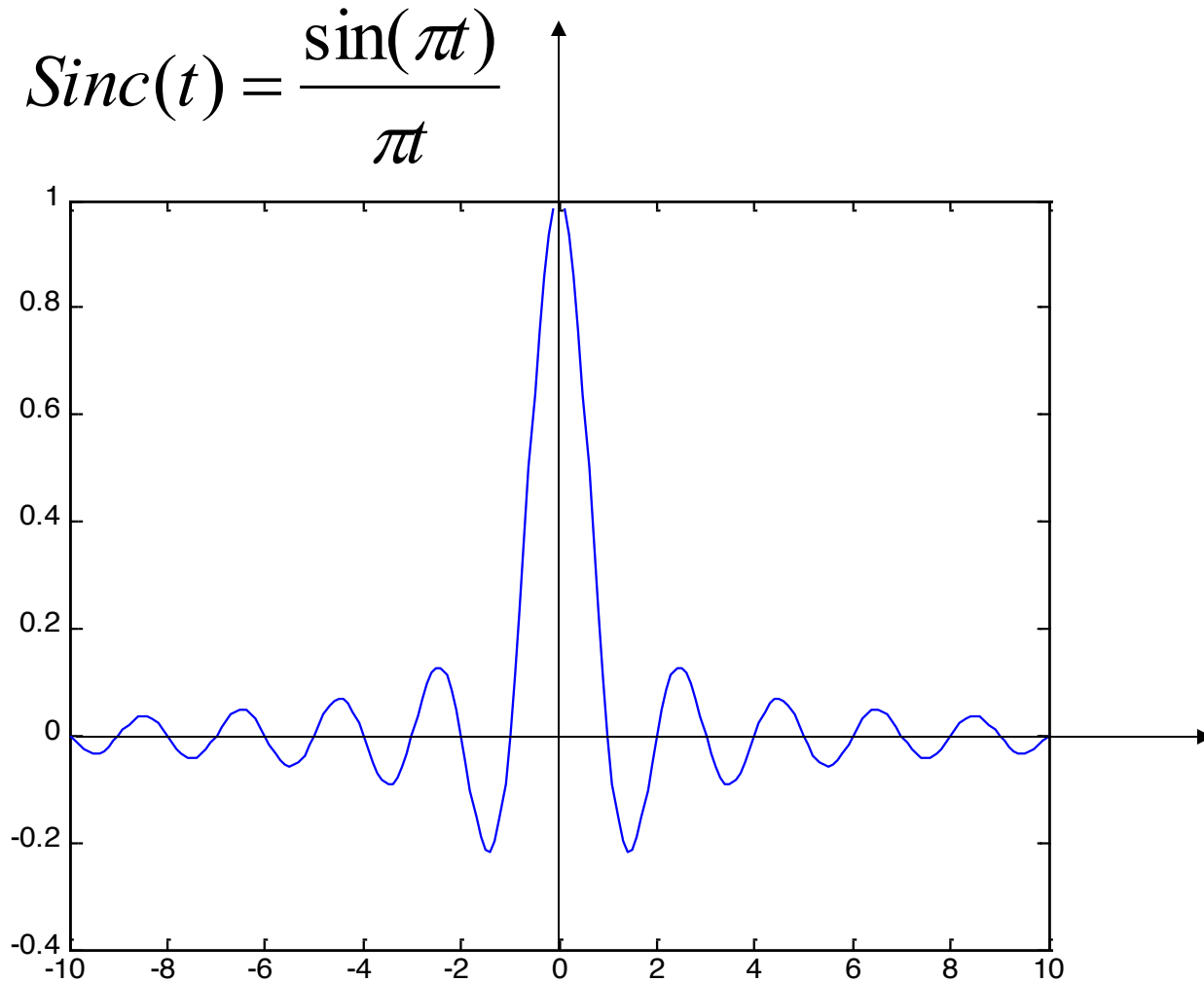
Σύστημα Ανακατασκευής:



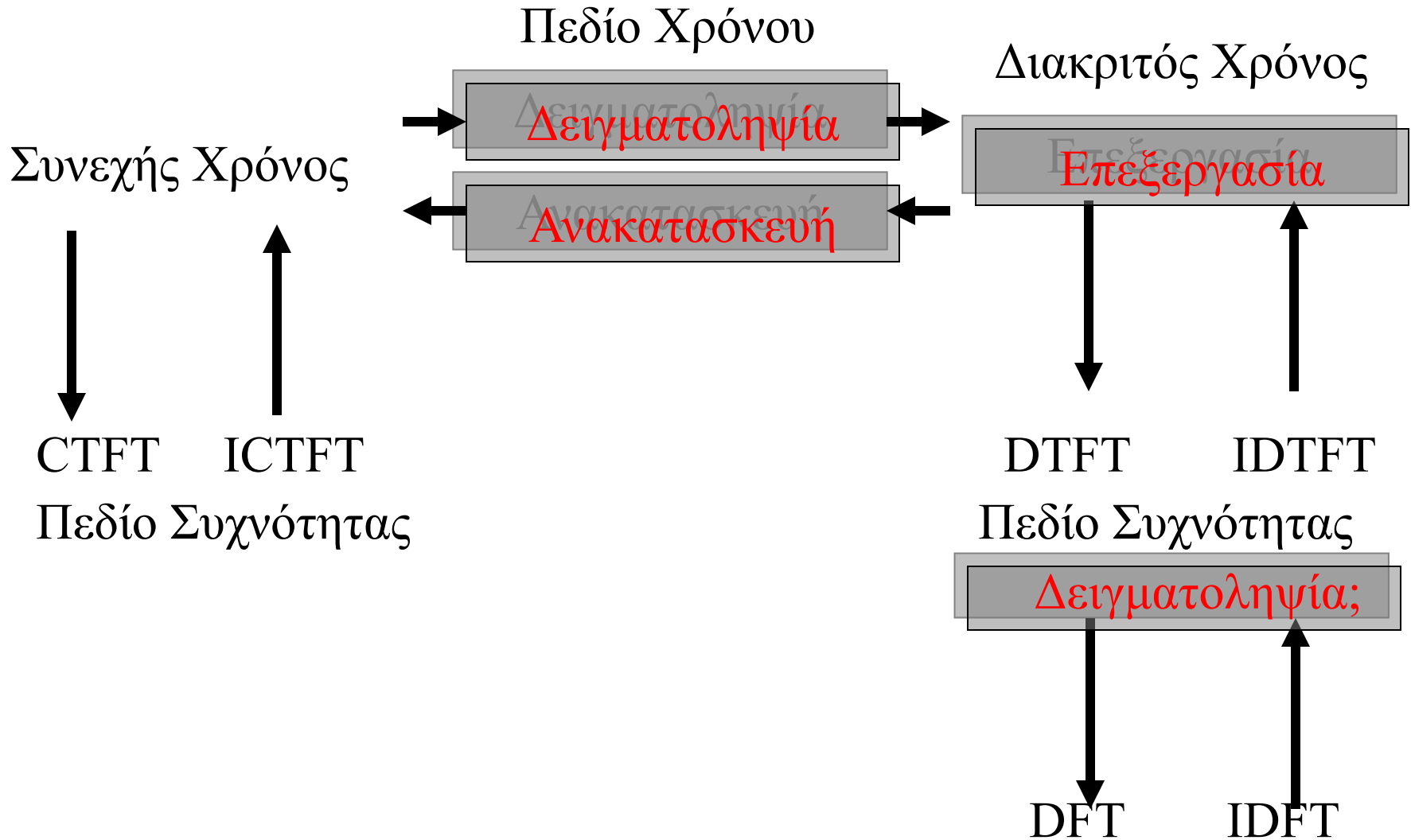
Ανακατασκευή: **Ερωτήματα που θα πρέπει να απαντηθούν:**

- Μπορεί να γίνει τέλεια ανακατασκευή του σήματος από τα δείγματα του; Αν ναι ποιο είναι αυτό το σύστημα;
- Ο τρόπος ανακατασκευής που προτείνει το Θεώρημα δειγματοληψίας είναι κατάλληλος για τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου για τις οποίες ενδιαφερόμαστε;
- Αν όχι, τι εναλλακτικές λύσεις υπάρχουν και εφαρμόζονται στην πράξη;

# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων-Ανακατασκευή



# Επεξεργασία Σημάτων σε Πραγματικό Χρόνο

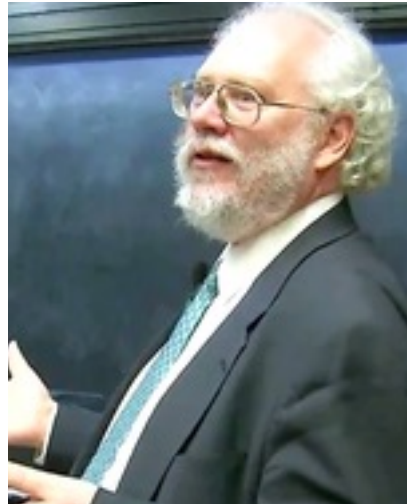


Αλγόριθμοι Γρήγορου υπολογισμού: FFT      IFFT<sub>34</sub>

# Επεξεργασία Σημάτων σε Πραγματικό Χρόνο

Quantum Computer

Peter Shor 1959



Quantum Fourier Transform

Αλγόριθμοι Γρήγορου υπολογισμού

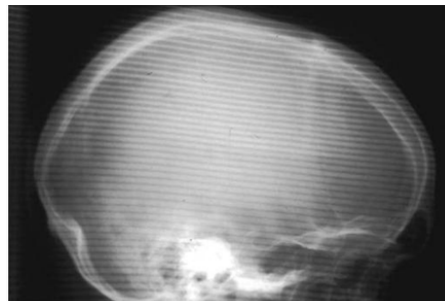
Πολυπλοκότητα FFT (IFFT):  $N \log_2(N)$

Πολυπλοκότητα QFT (IQFT):  $\log_2(N)^2$

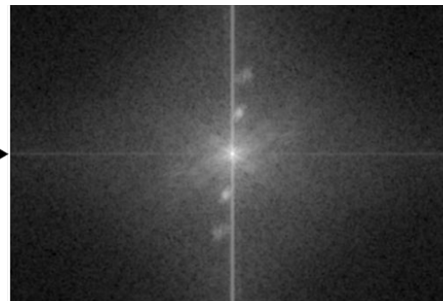
# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων



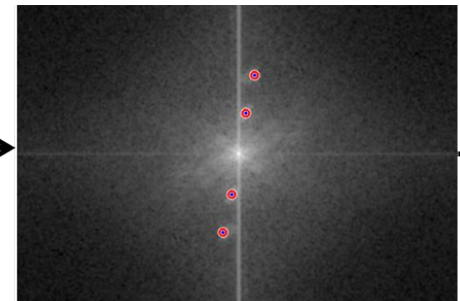
## Μετασχηματισμοί Σημάτων ...



Initial Image



Shifted DFT



Detected blobs

## ... και Το Προσθετικό Μοντέλο

$$\text{Σήμα} = \text{Πληροφορία} + \text{Θόρυβος}$$

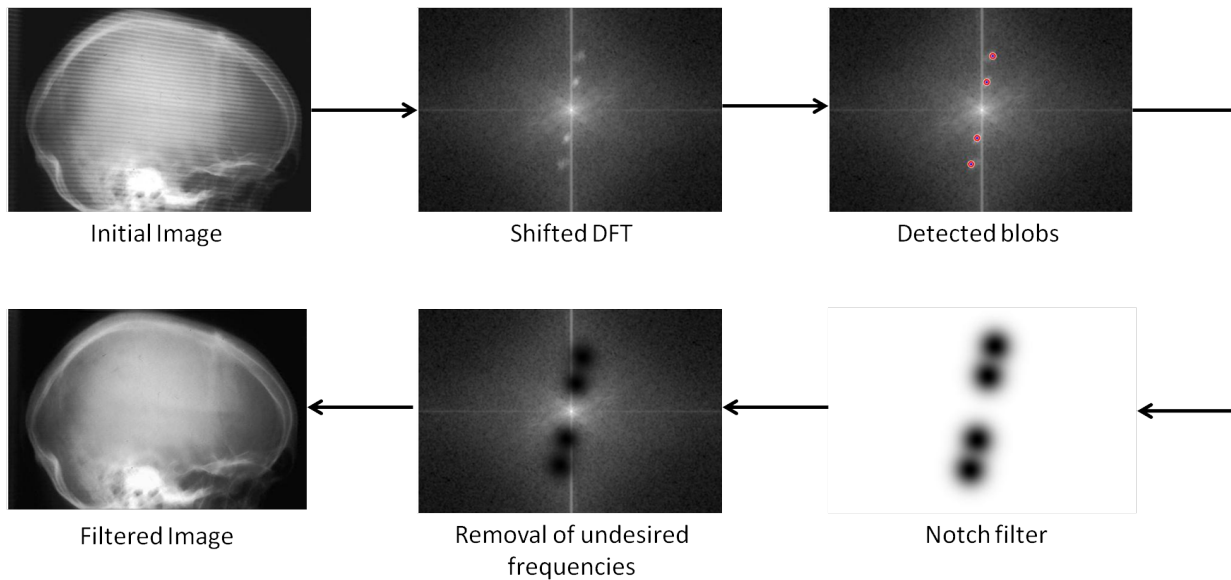


# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων



## Επεξεργασία Σημάτων: Φιλτράρισμα

$$\text{Σήμα} = \text{Πληροφορία} + \text{Θόρυβος}$$

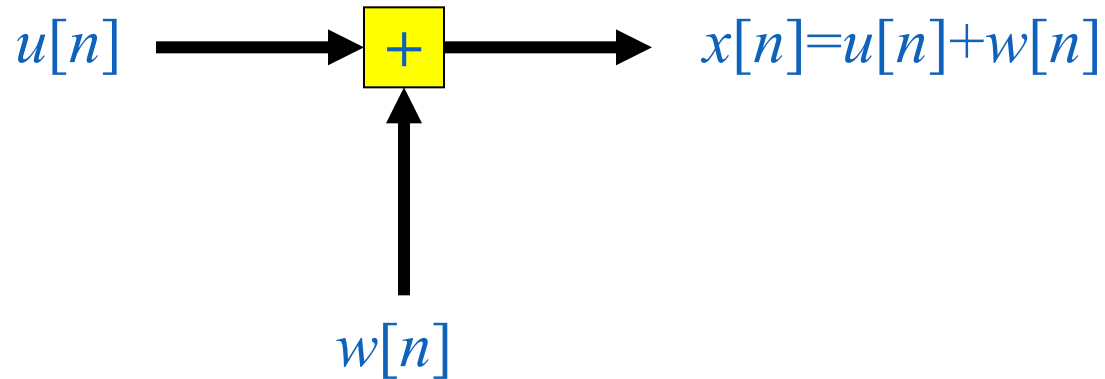


# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων

## Βασικό Μοντέλο

Σήμα Πληροφορίας

Διαθέσιμο Σήμα

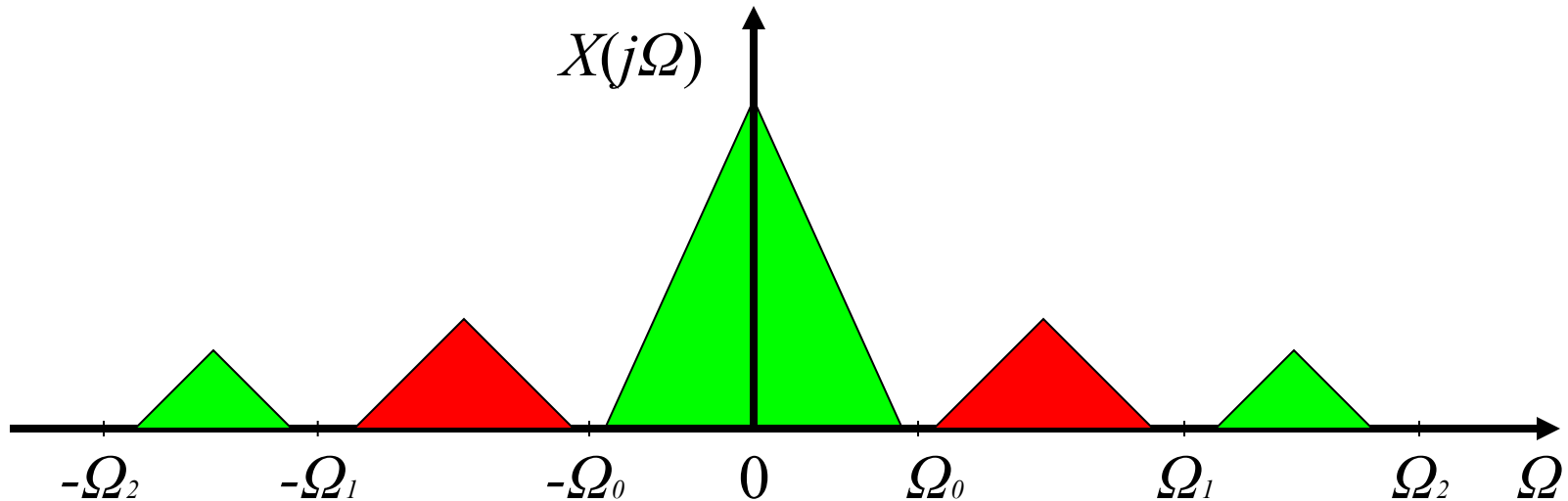


“Θόρυβος”

Σκοπός της Επεξεργασίας: **Η ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΟΥ “ΘΟΡΥΒΟΥ”**

# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων

Κλασική Επεξεργασία Σημάτων:



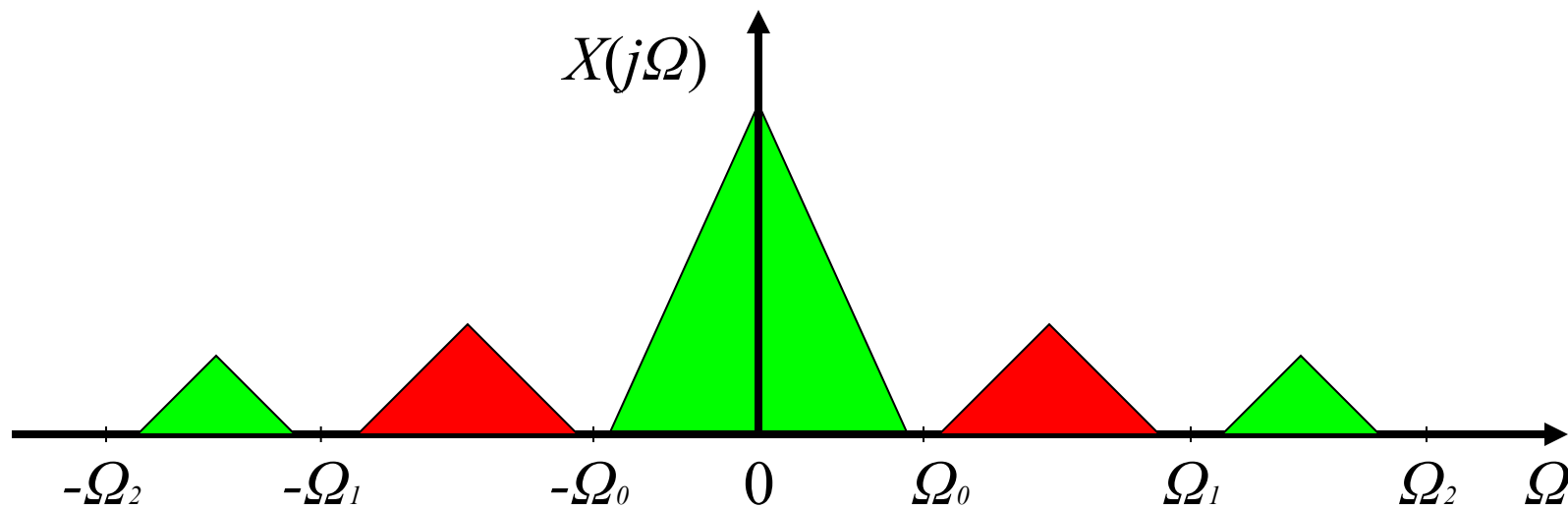
**Βασική Υπόθεση:** Το Σήμα Πληροφορίας και ο Θόρυβος δεν περιέχουν κοινές συχνότητες.

Με άλλα λόγια πληροφορία και θόρυβος είναι διαχωρίσιμα στο πεδίο της συχνότητας

# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων

Κλασική Επεξεργασία Σημάτων:

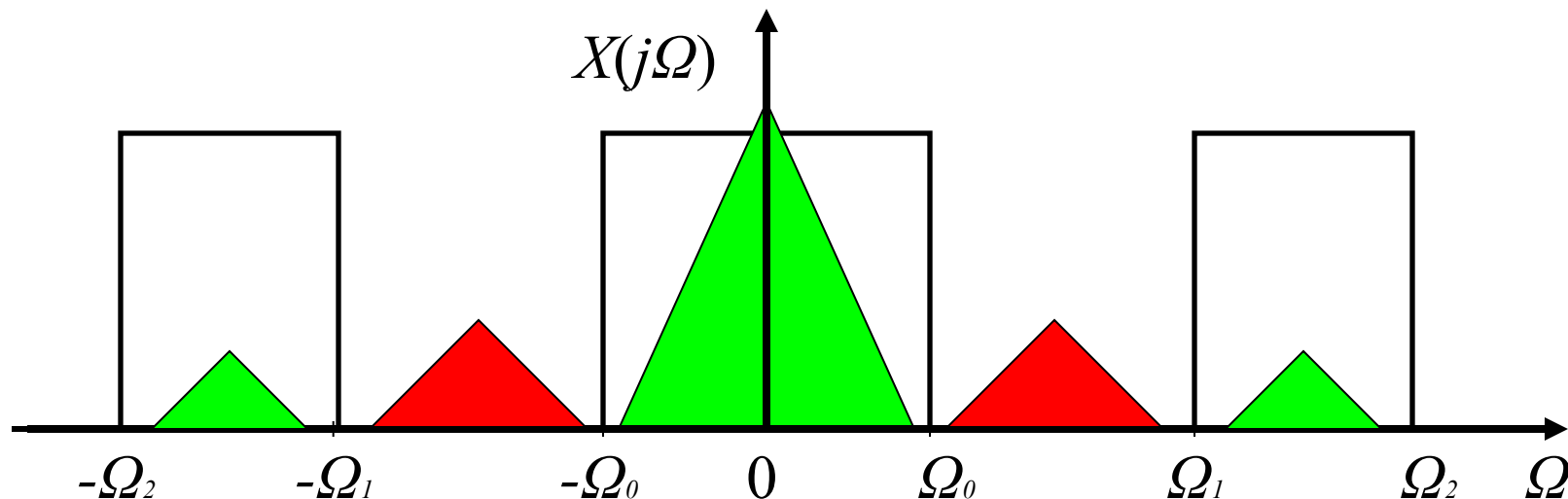
- Περιγραφή στο Πεδίο της Συχνότητας
- Ανάλυση Διαθέσιμου Σήματος σε Μη Επικαλυπτόμενες Συχνοτικές Ζώνες.



# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων

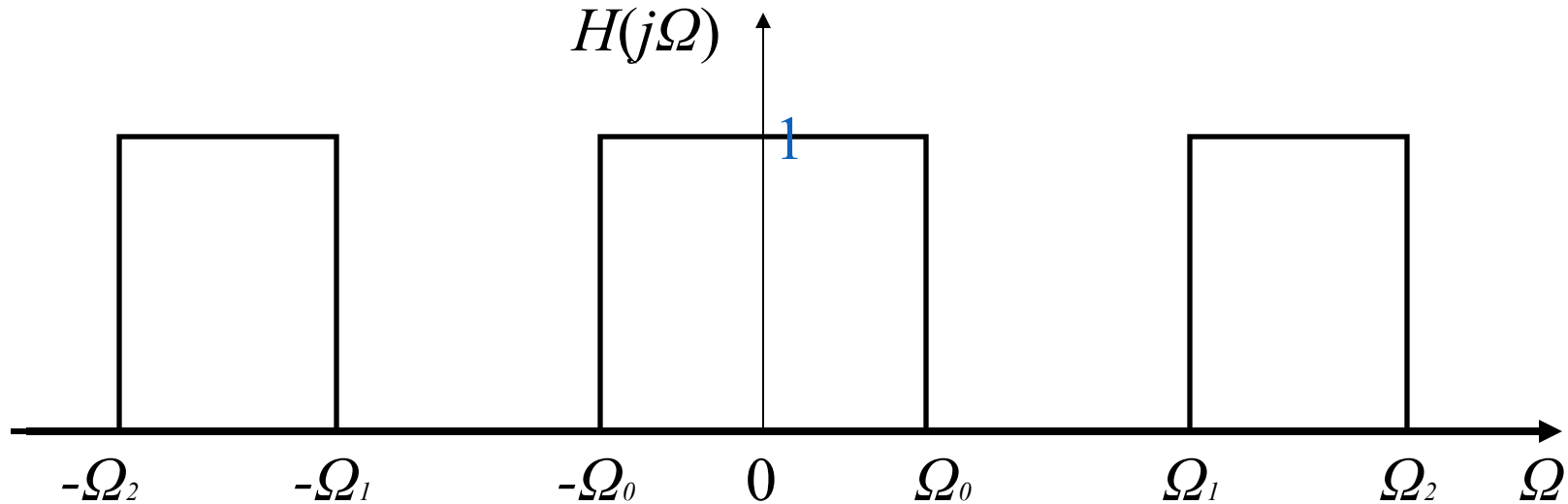
Κλασική Επεξεργασία Σημάτων:

- Η Βασική Υπόθεση επιτρέπει την Απομάκρυνση του «Θορύβου» με τη χρήση «απλών» συστημάτων.



# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων

Κλασική Επεξεργασία Σημάτων: Φίλτρα

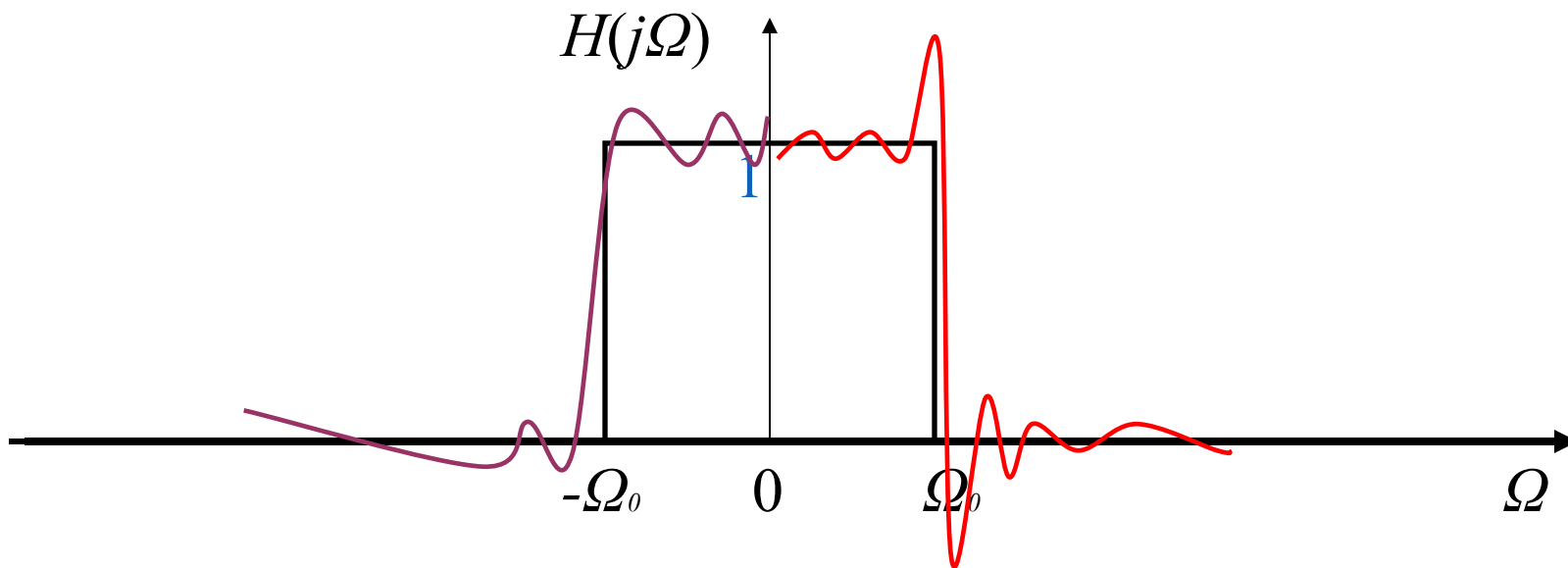


Γραμμικά Φίλτρα: Ερωτήματα που θα πρέπει να απαντηθούν:

- Τι φίλτρο θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε IIR ή FIR;
- Μπορούμε να βρούμε ένα γραμμικό σύστημα υλοποιήσιμο του οποίου η απόκριση συχνότητας θα έχει την επιθυμητή ιδανική μορφή;
- Αν όχι, τι μπορούμε να κάνουμε;

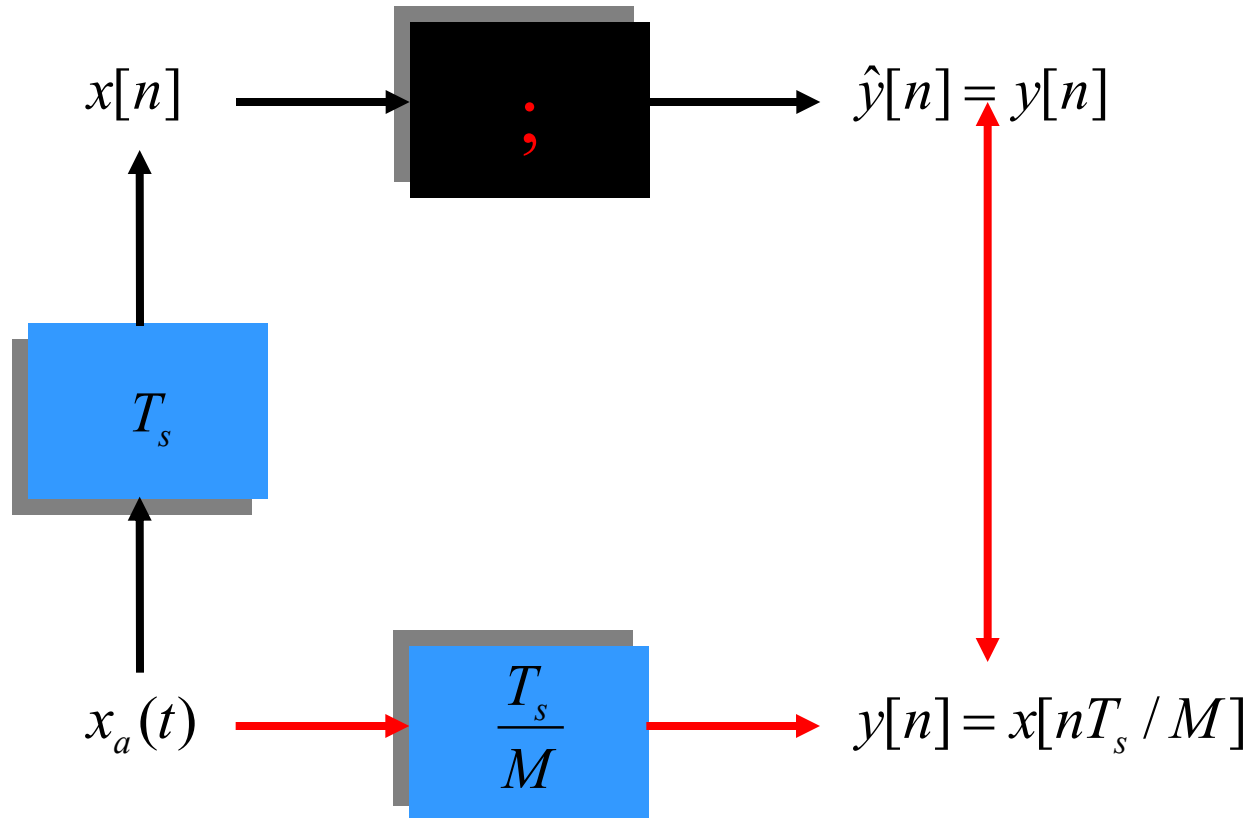
# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων

Κλασική Επεξεργασία Σημάτων: Το Πρόβλημα της Σχεδίασης Φίλτρων σαν ένα Πρόβλημα Προσέγγισης Συναρτήσεων

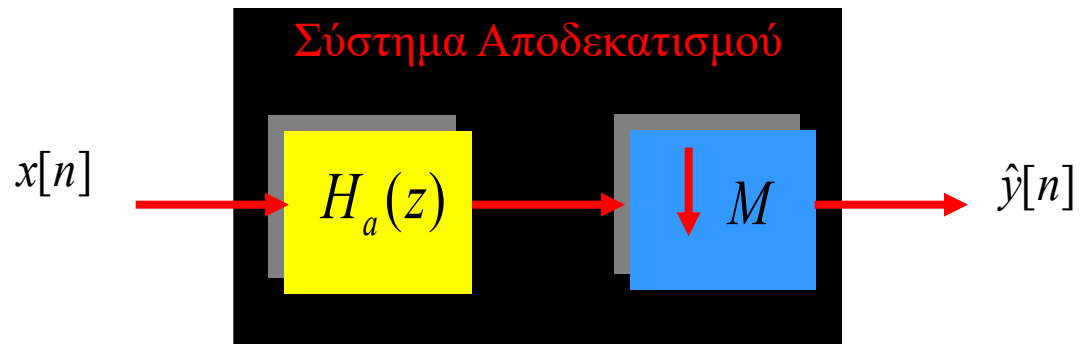
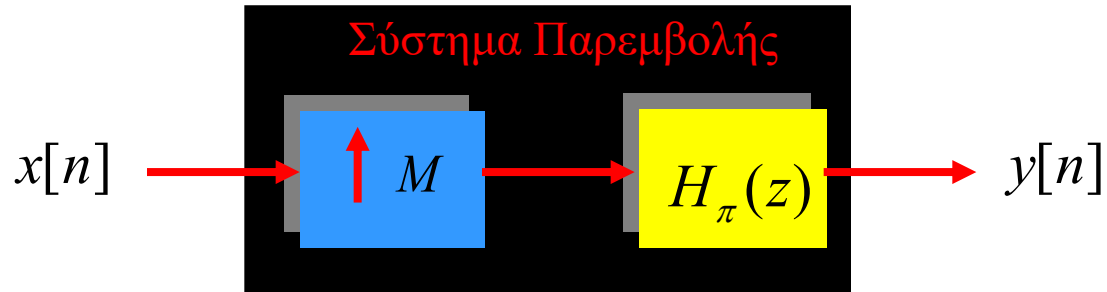




# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων



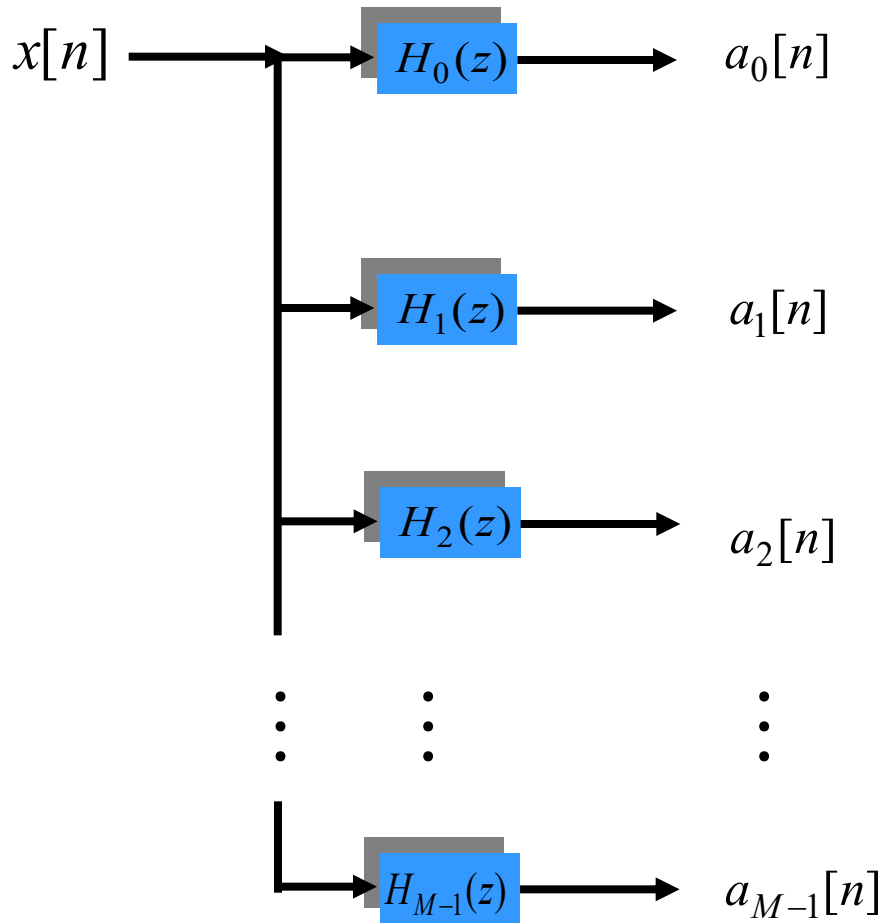
# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων



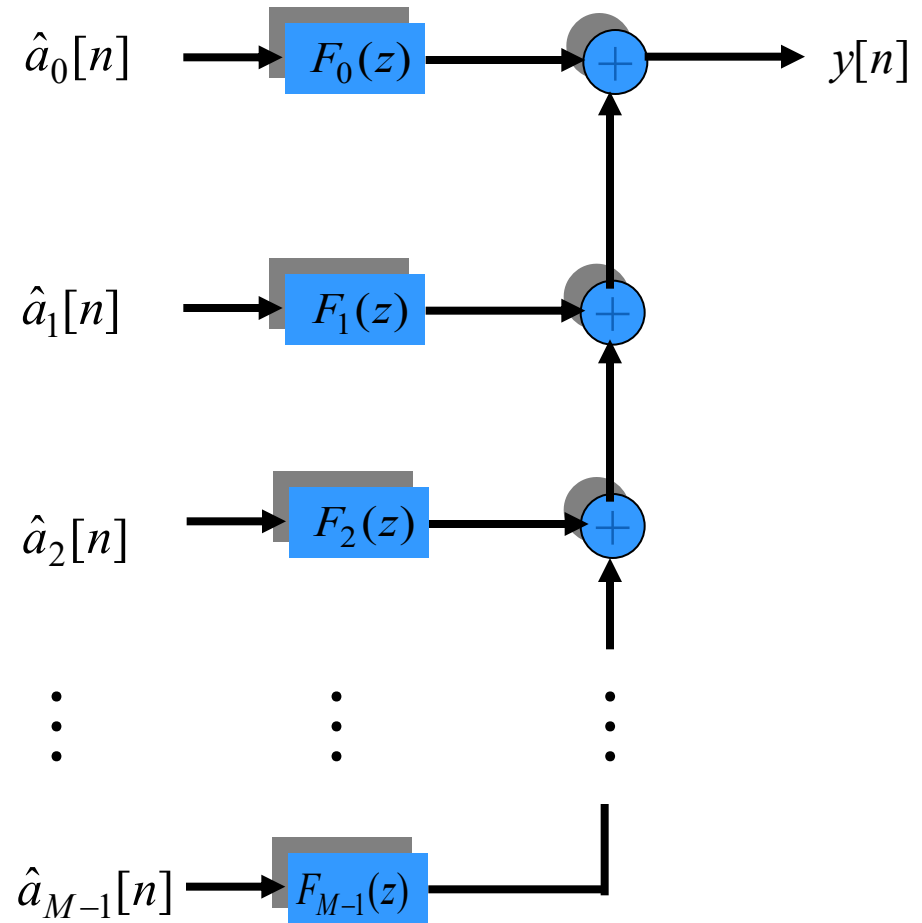
# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων

## Τράπεζες Φίλτρων

Τράπεζα Φίλτρων Ανάλυσης

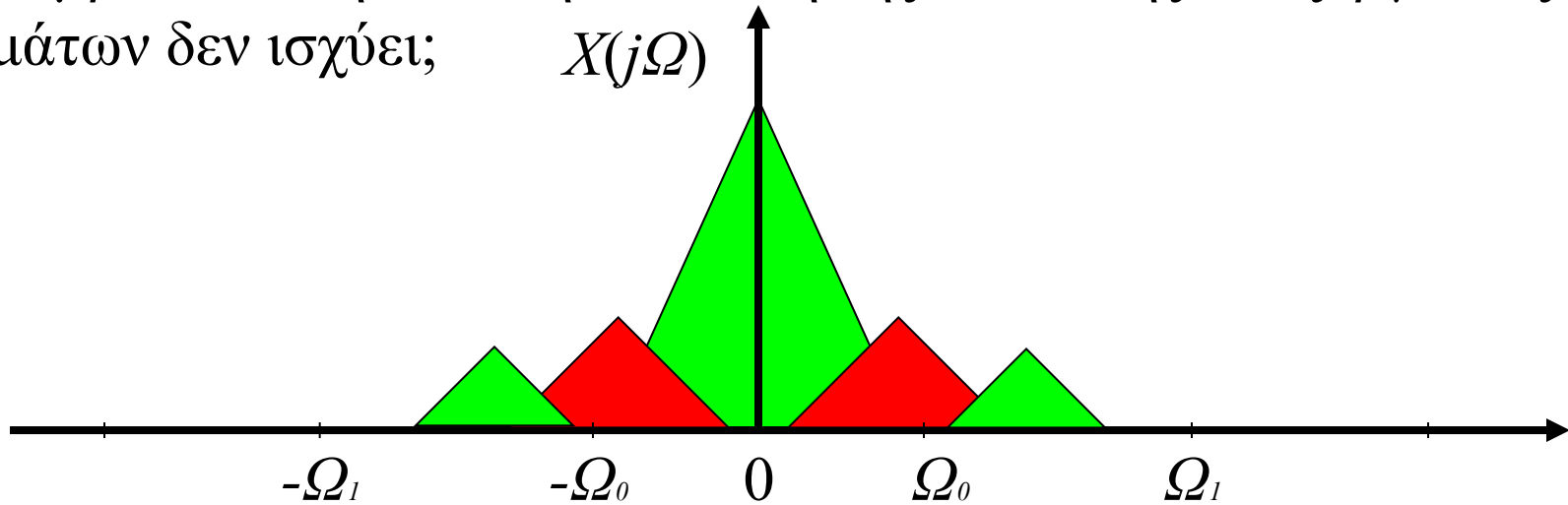


Τράπεζα Φίλτρων Σύνθεσης



# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων

Τι συμβαίνει αν η Βασική Υπόθεση της Κλασικής Επεξεργασίας Σημάτων δεν ισχύει;



Αν δηλαδή, το Σήμα Πληροφορίας και ο Θόρυβος περιέχουν κοινές συχνότητες και επομένως δεν είναι διαχωρίσιμα στο πεδίο της συχνότητας, τι μπορούμε να κάνουμε;

Σ' αυτή την περίπτωση η περιγραφή του διαθέσιμου σήματος με την βοήθεια των συχνοτικών ζωνών είναι ανεπαρκής.

Χρειαζόμαστε μια διαφορετική περιγραφή των σημάτων και μια διαφορετικού είδους επεξεργασία.....

# Στατιστική Επεξεργασία Σημάτων

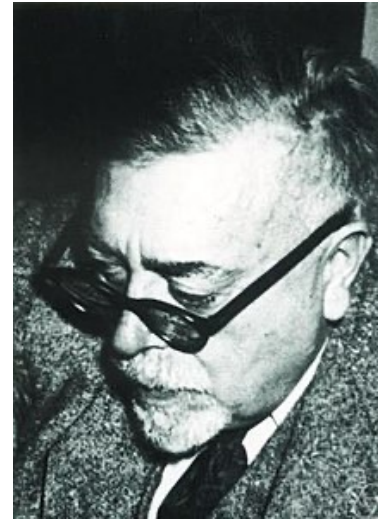
Thomas Bayes  
1701-1761



Carl Friedrich Gauss  
1777 -1855



Robert Wiener  
1894-1964



Rudolf E. Kalman  
1930-2016



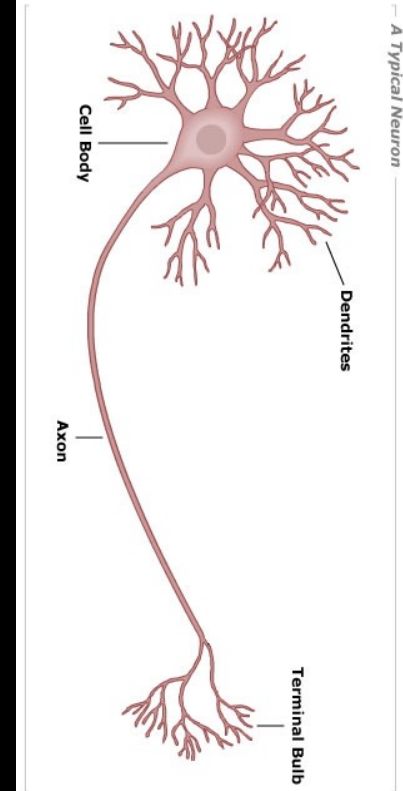
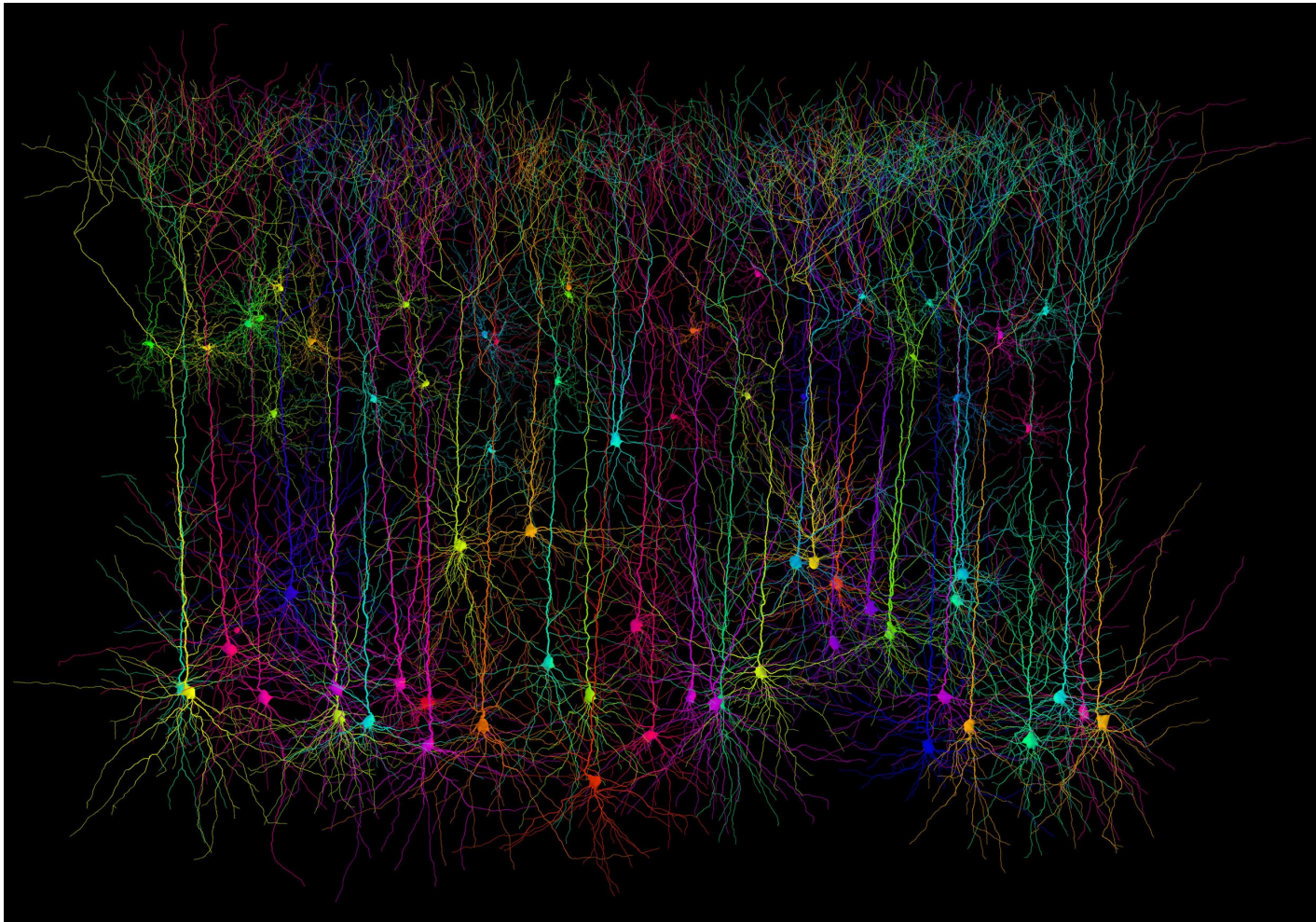
# Ψηφιακή Επεξεργασία Σημάτων

Στατιστική Επεξεργασία Στοχαστικών Σημάτων:

- Χώρος Πιθανότητας
- Τυχαίες Μεταβλητές
- Πείραμα
- Στοχαστικά ή Τυχαία Σήματα
- Στατιστικές Πρώτης και Δεύτερης Τάξης
- Στασιμότητα και Εργοδικότητα
- Γενίκευση του συχνοτικού περιεχομένου ενός σήματος και ορισμός της πυκνότητας φάσματος.
- Επίδραση Γραμμικού Συστήματος σε Στατιστικές Στοχαστικού Σήματος Βέλτιστο Γραμμικό Φιλτράρισμα.

# Επεξεργασία Σημάτων

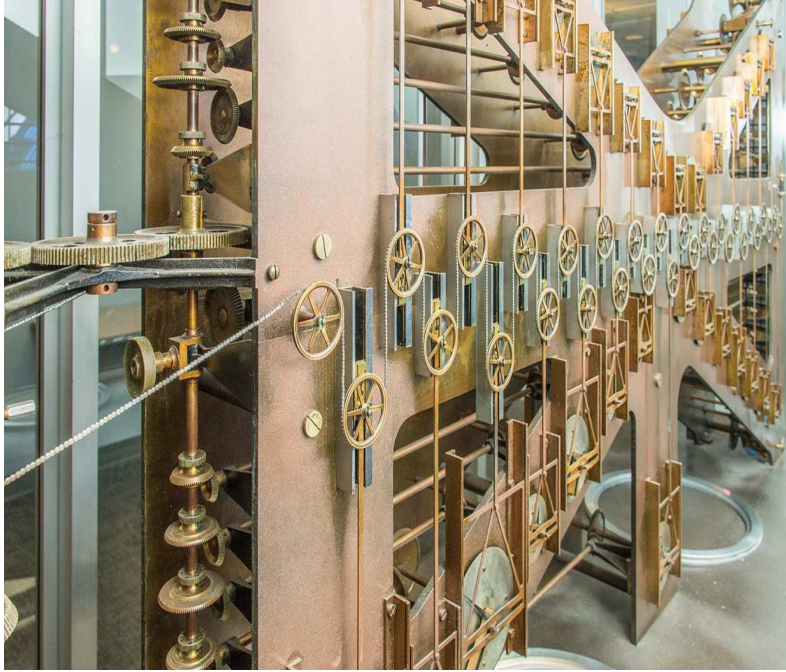
Brain computation is a lot more **analog** than we thought





## Επεξεργασία Σημάτων

Brain computation is a lot more **analog** than we thought



When Neil Armstrong and Buzz Aldrin landed on the moon in **1969** as part of the Apollo 11 mission, people don't realize that an important ingredient in the success of the Apollo missions and their predecessors were analog and hybrid (analog-digital) computers, which NASA used for simulations and in some cases even flight control.

**2017** Yannis Tsvividis and his colleagues used modern fabrication technology to pack a powerful analog computer into a tiny package.

