



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών



---

# ΘΕΩΡΙΑ ΣΗΜΑΤΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

*Γεράσιμος Ποταμιάνος*

*Αναπλ. Καθηγητής,  
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών  
και Μηχανικών Υπολογιστών*

*Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

*<http://www.inf.uth.gr/~gpotamianos>*

---



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών



---

## **ΘΕΩΡΙΑ ΣΗΜΑΤΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

### **Ενότητα 0: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΜΑΘΗΜΑ**

**0.1. Διαδικαστικά**

**0.2. Στόχοι / Αντικείμενο**

**0.3. Βιβλιογραφία**

**0.4. Βασικές Έννοιες Μαθήματος**

**0.5. Προαπαιτούμενα Μαθηματικά**

---



## 0.1. Διαδικαστικά (I)

- Παράδοση: Τετάρτη 16:00 – 18:00, Πέμπτη: 17:00 – 19:00, Αμφ. Κορδάτου
- Διδάσκων: Αν. Καθ. Γεράσιμος Ποταμιάνος [ [gprotamianos@inf.uth.gr](mailto:gprotamianos@inf.uth.gr) ]
- Γραφείο: Γ3/2 (κτ. Δεληγιώργη)
- Ώρες Γραφείου: Τετάρτη 14:30 – 16:00, Πέμπτη 13:30 – 15:00
- Ηλεκτρονική Ιστοσελίδα Μαθήματος:  
<http://eclass.uth.gr/eclass/courses/MHX231/>
- Προαπαιτούμενα: Λογισμός I, Λογισμός II.
- Εξέταση: Κλειστά βιβλία – όχι σημειώσεις – θα δοθεί τυπολόγιο.
- Αίθουσες εξέτασης: Υποχρεωτική τήρηση της κατανομής φοιτητών στις αίθουσες (όπως αυτή ανακοινώνεται πριν την εξέταση).





## 0.1. Διαδικαστικά (II)

### ▪ Βαθμολογία:

- Εξέταση 1 (**midterm**) 35% + Εξέταση 2 (**final**) 65%  
– ή (max) –
- Εξέταση 1 (**midterm**) 32% + Εξέταση 2 (**final**) 60% + **Σειρές Ασκήσεων** 8% (ατομική εργασία)  
– ή (max) –
- Εξέταση 2 (**final**) 100%  
– ή (max) –
- Εξέταση 2 (**final**) 92% + Σειρές Ασκήσεων 8% (ατομική εργασία)

**Bonus:** Υπολογιστική Εργασία με βάση το **MATLAB** = +5% (Προαιρετική, σε ομάδες μέχρι 2 ατόμων).





## 0.2. Στόχοι / Αντικείμενο Μαθήματος (I)

- **Στόχοι:** Κατανόηση βασικών εννοιών, ιδιοτήτων, και μεθόδων επεξεργασίας σημάτων και συστημάτων, συνεχούς και διακριτού χρόνου.
- Αποτελεί **θεμελιώδες μάθημα** στην κατεύθυνση σημάτων, τηλεπικοινωνιών, και δικτύων του προγράμματος σπουδών του τμήματος.
- **Κεντρικές ιδέες:**
  - **Σήματα:** μεταφέρουν πληροφορία για συμπεριφορά / φύση φαινομένου.
  - **Συστήματα:** ανταποκρίνονται σε σήματα / παράγουν / επεξεργάζονται σήματα.
  - **Χρόνος:** **Συνεχής** ή **διακριτός**.
  - **Αναπαράσταση / επεξεργασία** στο **χρόνο** ή **συχνότητα** (μ/σ Fourier).
  - **Εφαρμογές.**





## 0.2. Στόχοι / Αντικείμενο Μαθήματος (II)

### ▪ Καλύπτει μεταξύ άλλων:

- Στοιχειώδη σήματα συνεχούς και διακριτού χρόνου.
- Συνέλιξη σημάτων.
- Σειρές Fourier και μετασχηματισμός Fourier συνεχούς χρόνου.
- Μετασχηματισμός Fourier διακριτού χρόνου.
- Θεώρημα δειγματοληψίας
- Γραμμικά χρονικά-αμετάβλητα συστήματα
- Περιγραφή τους με διαφορικές εξισώσεις / εξισώσεις διαφορών.
- Ανάλυση τους στα πεδία του χρόνου και συχνότητας.
- Μετασχηματισμός Laplace για συστήματα συνεχούς χρόνου.
- Μετασχηματισμός Z για συστήματα διακριτού χρόνου.
- Εισαγωγή στον Διακριτό Μετασχηματισμό Fourier.
- Εφαρμογές των ανωτέρω σε πρακτικά σήματα και συστήματα.





## 0.3. Βιβλιογραφία Μαθήματος

- Φετινό βιβλίο:
  - Ελληνική μετάφραση του A.V. Oppenheim and A.S. Willsky, with S.H. Nawab, *Signals and Systems*, 2nd Ed., Prentice-Hall, 1997.
  
- Περυσινό βιβλίο:
  - Σ. Θεοδωρίδης, Κ. Μπερμπερίδης, και Λ. Κοφίδης, *Εισαγωγή στη Θεωρία Σημάτων και Συστημάτων*, Εκδ. Τυπωθήτω, 2005.
  
- Επιπρόσθετη βιβλιογραφία:
  - Γ. Καραγιάννης και Π. Μαραγκός, *Βασικές Αρχές Σημάτων και Συστημάτων*, Εκδ. Παπασωτηρίου, 2011.
  - J.R. Buck, M.M. Daniel, and A.C. Singer, *Computer Explorations in Signals and Systems Using Matlab*, 2nd Edition, Prentice Hall, 2002.





## 0.4. Βασικές Έννοιες – ΣΗΜΑΤΑ (I)

- Τι είναι ένα σήμα (signal):
  - Περιέχει / μεταφέρει πληροφορία για τη συμπεριφορά ή φύση κάποιου φαινομένου.
  - Μπορούμε να το σκεφτούμε ως μία συνάρτηση.
- Διάφορες περιπτώσεις σημάτων με:
  - Ανεξάρτητη μεταβλητή που μπορεί να είναι 1-D (π.χ. χρόνος στο σήμα φωνής) , 2-D (άξονες  $x, y$  στο σήμα μίας εικόνας), 3-D ( $x, y, frame\ number$  στο σήμα βίντεο), κ.τ.λ.
  - Τιμές που μπορεί να είναι βαθμωτές (scalar) η διανυσματικές (vector-valued) – π.χ. μία έγχρωμη εικόνα μπορεί να έχει 3 τιμές σε κάθε εικονοστοιχείο.
  - Τιμές που είναι ντετερμινιστικές (deterministic) ή τυχαίες (random).
- Μελετούμε μονοδιάστατα, βαθμωτά, ντετερμινιστικά σήματα (1-D, scalar, deterministic).
- Η ανεξάρτητη μεταβλητή τους μπορεί να παίρνει:
  - Συνεχείς τιμές → σήματα συνεχούς χρόνου → συμβολίζονται ως:  $x(t)$
  - Διακριτές τιμές → σήματα διακριτού χρόνου → συμβολίζονται ως:  $x[n]$

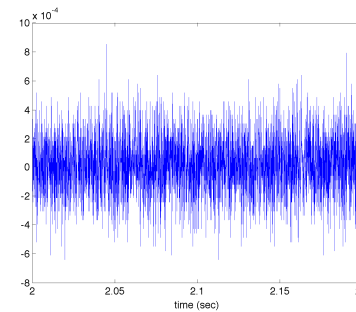
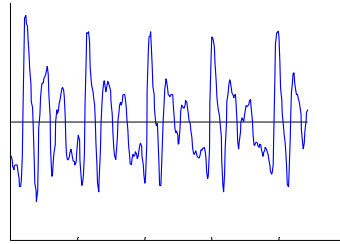




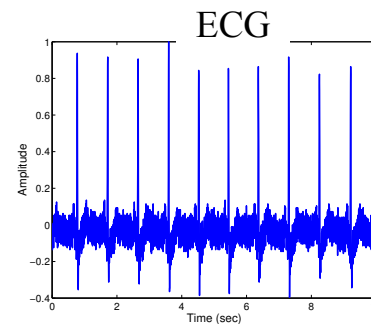


## 0.4. Βασικές Έννοιες – ΣΗΜΑΤΑ (II)

- Παραδείγματα σημάτων (1D, scalar):
  - Ακουστικά σήματα φωνής ή θορύβου.



- Ταχύτητα αυτοκινήτου,  $v(t)$ .
- Ηλεκτρικό σήμα ρεύματος,  $I(t)$ , ή τάσης,  $V(t)$ , σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο.
- Βιοϊατρικά σήματα.
- Οικονομικές χρονοσειρές.





## 0.4. Βασικές Έννοιες – ΣΗΜΑΤΑ (III)

- Παραδείγματα σημάτων (multi-D ή/και vector-valued):
  - Διαδική εικόνα (binary image).
  - Γκριζα εικόνα (grey scale image).
  - Έγχρωμη εικόνα (π.χ. RGB image).
  - Σήμα βίντεο – χρονική σειρά εικόνων (video = image sequence).

LEVEL SET 80



IMAGE





## 0.4. Βασικές Έννοιες – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (I)

- Τι είναι ένα σύστημα (system):
  - Ένα «μαύρο κουτί» που παράγει σήματα, ανταποκρίνεται σε σήματα, επεξεργάζεται σήματα.
  - Είσοδος: ένα ή περισσότερα σήματα (single input / multiple input).
  - Έξοδος: ένα ή περισσότερα σήματα (single output / multiple output).
  - Εδώ θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με συστήματα μίας εισόδου, μίας εξόδου (**SISO** – single input, single output).
- Όπως και στα σήματα, έτσι κι εδώ έχουμε συστήματα **συνεχούς** ή **διακριτού** χρόνου.
- Μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα μια υποκατηγορία συστημάτων, δηλ. τα γραμμικά, χρονικά αναλλοίωτα (**Γ.Χ.Α.**) συστήματα – Linear, time (shift) invariant (**LTI** / **LSI**).
- Θα δούμε πολλούς τρόπους περιγραφής συστημάτων. Π.χ., **σχέση εισόδου-εξόδου:**
  - Συστήματα συνεχούς χρόνου:  $y(t) = T [ x(t) ]$
  - Συστήματα διακριτού χρόνου:  $y[n] = T [ x[n] ]$

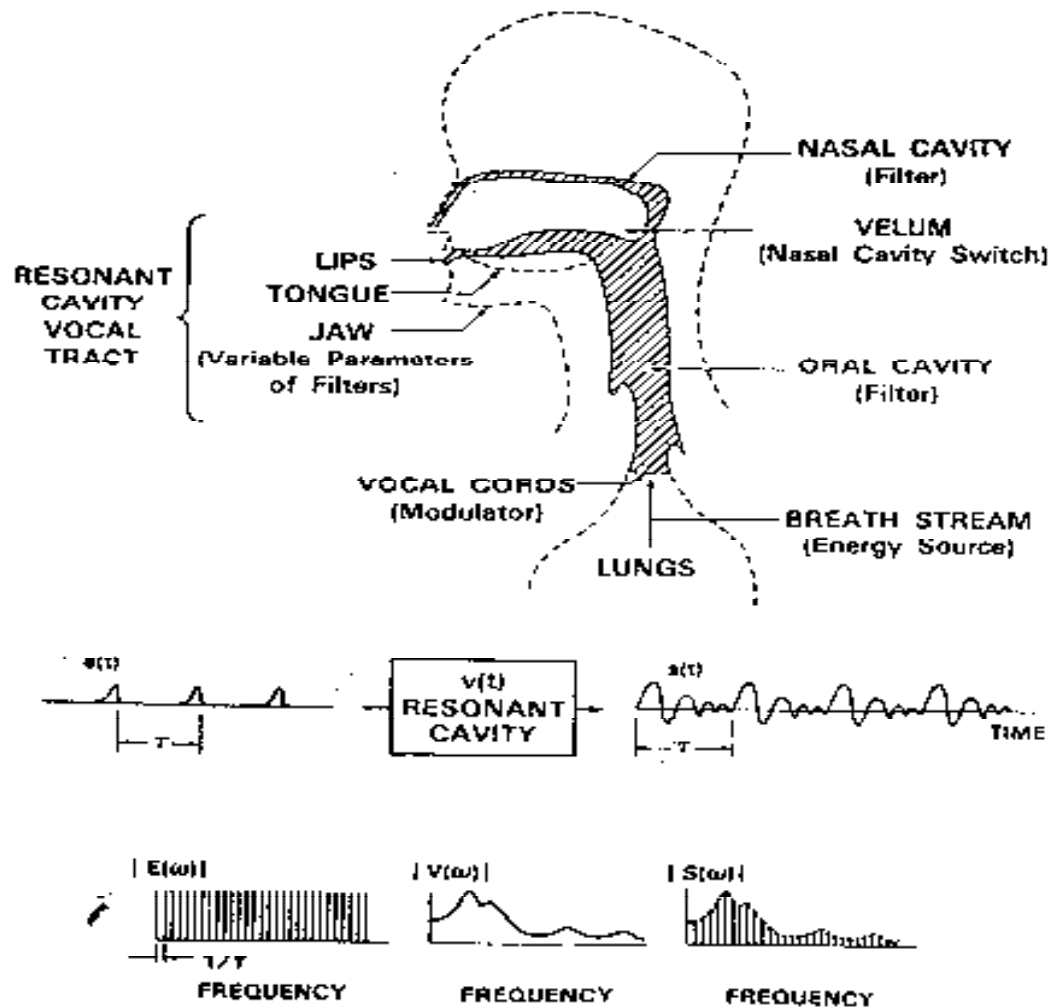




## 0.4. Βασικές Έννοιες – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (II)

### ■ Παραδείγματα συστημάτων:

- Σύστημα παραγωγής φωνής (φωνητικός σωλήνας).

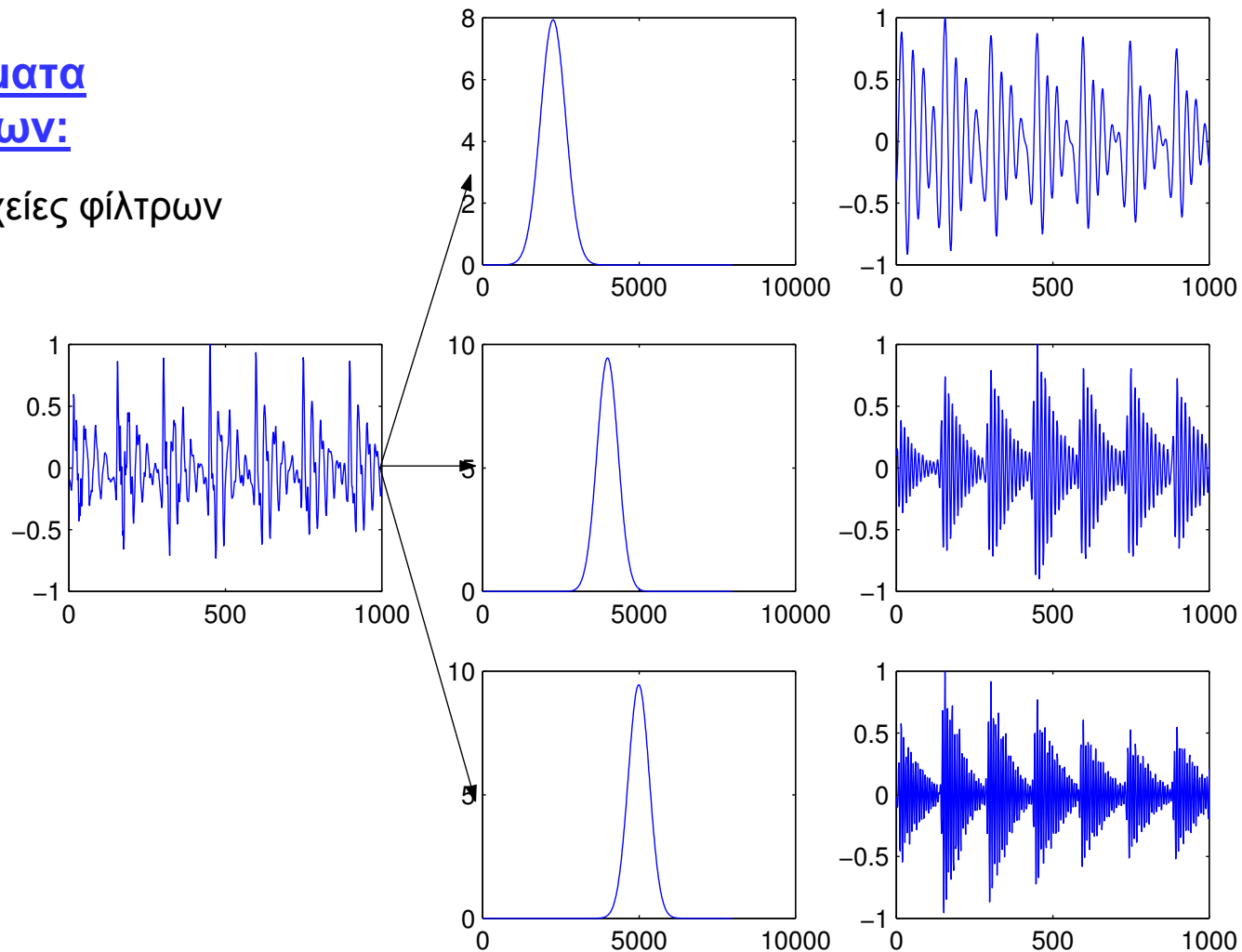




## 0.4. Βασικές Έννοιες – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (III)

- Παραδείγματα συστημάτων:

- Συστοιχείες φίλτρων

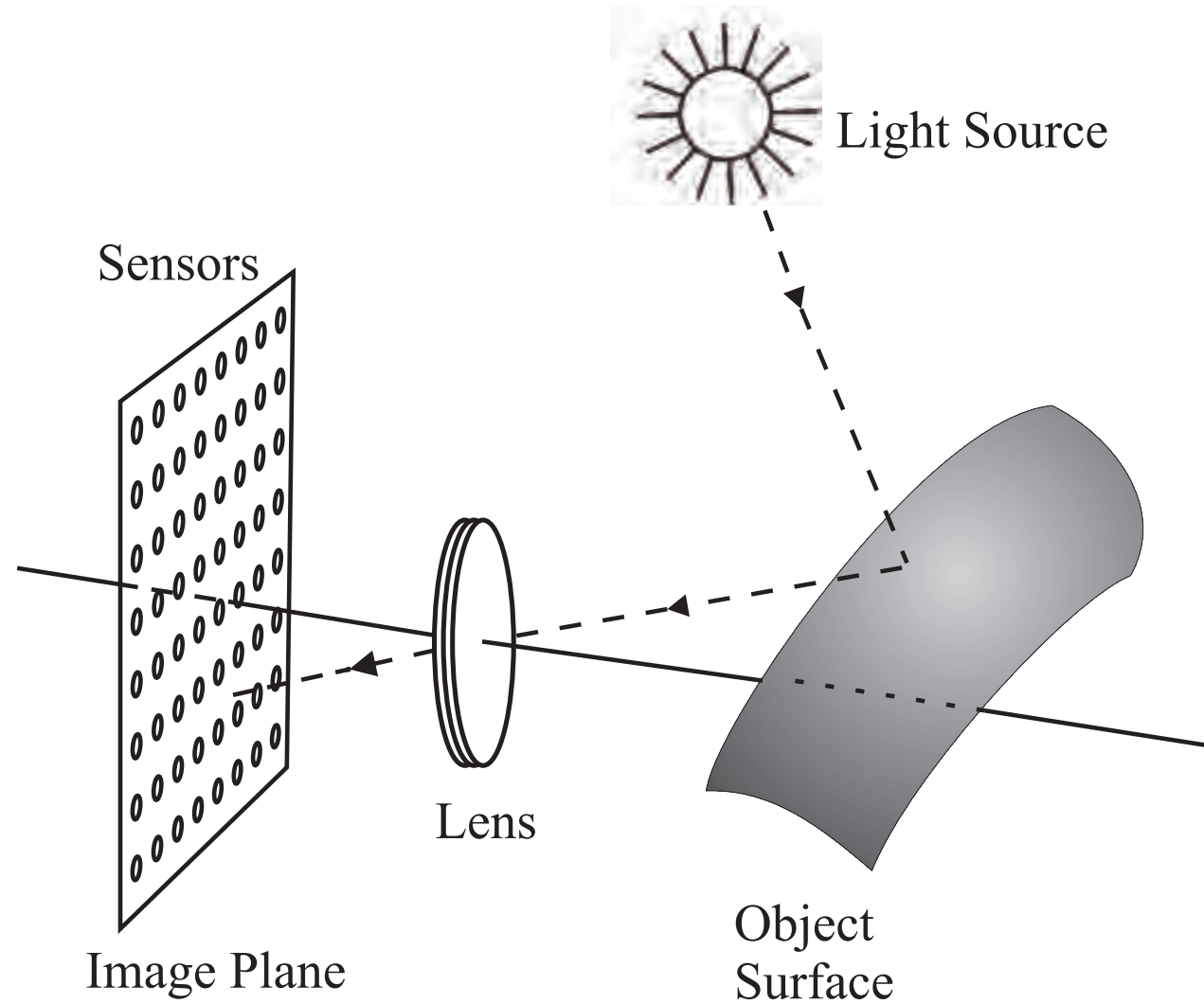




## 0.4. Βασικές Έννοιες – ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (IV)

■ Παραδείγματα συστημάτων:

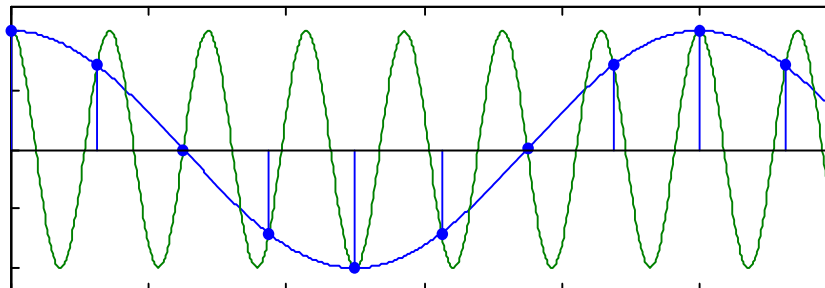
- Φωτογραφική μηχανή





## 0.4. Βασικά – ΣΥΝΕΧΗΣ / ΔΙΑΚΡΙΤΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (I)

- Ιστορικά, τα δύο πεδία αναπτύχθηκαν **ξεχωριστά**.
  - Ωστόσο, έχει υπάρξει **σύγκλιση** τις τελευταίες δεκαετίες.
  - Στο μάθημα θα τα μελετήσουμε **παράλληλα**.
- Βασική σύνδεση μεταξύ των δύο αποτελούν η:
  - **Δειγματοληψία** σημάτων (**sampling**: continuous-2-discrete).
  - **Ανακατασκευή** σημάτων (**reconstruction**: continuous-2-discrete).



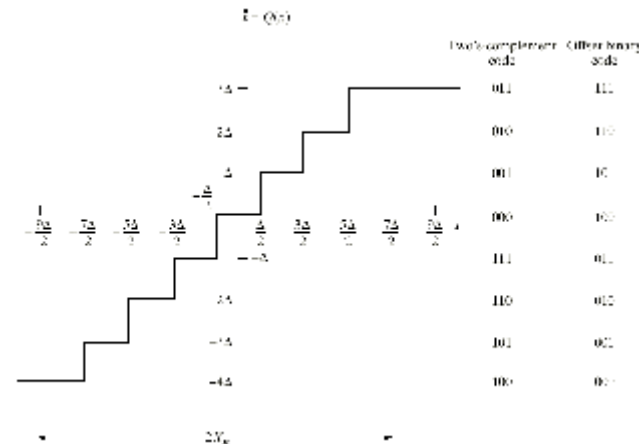


## 0.4. Βασικά – ΣΥΝΕΧΗΣ / ΔΙΑΚΡΙΤΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (II)

- Το θεώρημα δειγματοληψίας του **Shannon** διέπει την διαδικασία δειγματοληψίας / ανακατασκευής σημάτων.
- Η διαδικασία αυτή επιτρέπει (υπό συνθήκες) την επεξεργασία σημάτων συνεχούς χρόνου από συστήματα διακριτού χρόνου (όπως και το αντίθετο).



- Για ψηφιοποίηση σημάτων συνεχούς χρόνου, χρειάζεται συνήθως και κβαντοποίηση.
- Δεν θα μας απασχολήσει το θέμα αυτό στο μάθημα.

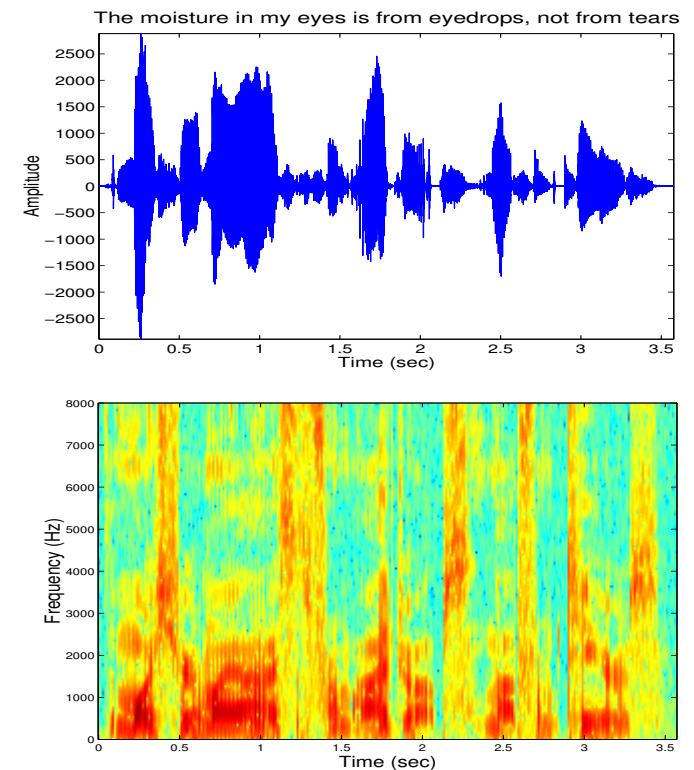
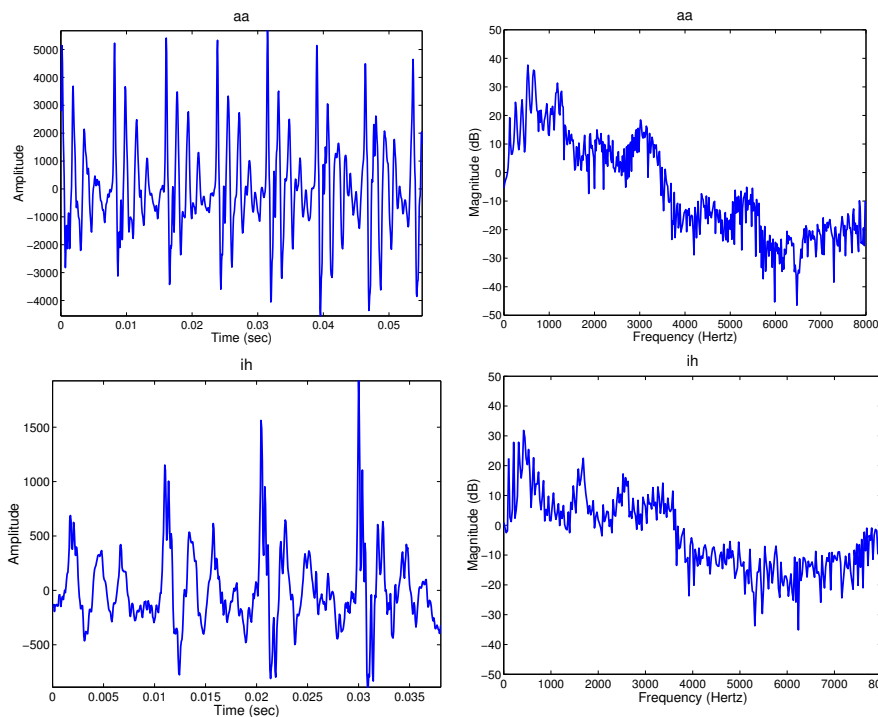






## 0.4. Βασικά – Ανάλυση FOURIER

- Τα περισσότερα χρήσιμα σήματα μπορούν να αναλυθούν με βάση τον μετασχηματισμό **Fourier** τους στο συχνοτικό περιεχόμενό τους.
  - Συνεχής χρόνος – Continuous Fourier Transform (CFT)
  - Διακριτός χρόνος – Discrete-Time Fourier Transform (DTFT)





## 0.4. Βασικά – Γ.Χ.Α. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

- Τα συστήματα αυτά ικανοποιούν στην εξίσωση εισόδου / εξόδου τις ιδιότητες της
  - **Γραμμικότητας** (κλιμάκωση, υπέρθεση)
  - **Αμεταβλητότητας** στην χρονική μετάθεση.
- Τα συστήματα αυτά μπορούν να περιγραφούν από ένα σήμα  **$h(t)$**  ή  **$h[n]$** , που λέγεται **κρουστική απόκριση** – βασισμένα στην έννοια της **γραμμικής συνέλιξης**.
- Επίσης (υπό προϋποθέσεις) μπορούν να περιγραφούν με βάση το συχνотικό περιεχόμενο (μ/σ Fourier) της κρουστικής απόκρισης, που λέγεται **απόκριση συχνότητας**.
- Υπάρχουν μετασχηματισμοί που γενικεύουν τον μ/σ Fourier, επιτρέποντας περιγραφή γενικότερων συστημάτων:
  - Συνεχής χρόνος: μ/σ Fourier → μ/σ **Laplace**
  - Διακριτός χρόνος: μ/σ Fourier → μ/σ **Z**





## **0.5. Προαπαιτούμενα Μαθηματικά**

- Τριγωνομετρία – τύπος Euler.
- Δυναμοσειρές – αθροίσματα.
- Μιγαδικοί.
- Διαφόριση, ολοκληρώματα.
- Όρια συναρτήσεων.
- Διαφορικές εξισώσεις.

