

Ψηφιακή Επεξεργασία Ήχου

Μάθημα 1: Εισαγωγή

Π.Μ.Σ. «Τεχνολογίες Ήχου και Μουσικής»

Δρ. Χρυσούλα Αλεξανδράκη

Τμήμα Μουσικής Τεχνολογία και Ακουστικής

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Διαλέξεις - Εργαλεία Εκμάθησης

▶ Διαλέξεις

▶ Θεωρία

- ▶ Θα μελετάμε τρόπους επεξεργασίας ηχητικού σήματος εστιάζοντας κυρίως στη μαθηματική τους ερμηνεία

▶ Άσκηση

- ▶ Θα υλοποιούμε αυτούς τους τρόπους επεξεργασίας σε κώδικα Python

▶ Εργαλεία Εκμάθησης

- ▶ Πλατφόρμα <http://eclass.hmu.gr>

▶ Λογισμικό - Περιβάλλον υλοποίησης ασκήσεων

- ▶ Google Collaboratory <https://colab.research.google.com/>
 - ▶ Υλοποίηση και εκτέλεση κώδικα Python σε Internet Browser
- ▶ Open Source Software: Audacity (audio editor), Python Libraries and Packages

Αξιολόγηση - Βαθμολογία

- ▶ Η αξιολόγηση της επίδοσης σας στο μάθημα θα προκύπτει από τις εβδομαδιαίες εργασίες που θα παραδίδετε (E) καθώς και την τελική σας εργασία (T), ως εξής:
 - ▶ **$B = 0.4E + 0.6T$**
- ▶ Όπου:
 - ▶ **B:** ο τελικός βαθμός, ο οποίος απαρτίζεται από:
 - ▶ **40% E:** ο μέσος όρος των βαθμών που θα πάρετε από τις εργασίες που σας έχουν ζητηθεί να εκπονήσετε κατά τη διάρκεια του εξαμήνου
 - ▶ **60% T:** ο βαθμός στην τελική εργασία, οποίος απαρτίζεται από

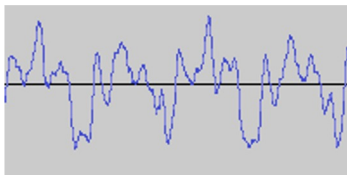
Περίγραμμα Ύλης

- ▶ **Εισαγωγή**
 - ▶ Τύποι Σημάτων, Συχνότητα, Ψηφιοποίηση
- ▶ **Σήματα και Συστήματα Διακριτού Χρόνου**
 - ▶ Διακριτές Ακολουθίες, Κρουστική Απόκριση, Συνέλιξη
- ▶ **Φασματική Ανάλυση Σήματος**
 - ▶ Μετασχηματισμοί Fourier διακριτών σημάτων: DFT, FFT, STFT
- ▶ **Χαρακτηριστικά Ήχου και τρόποι υπολογισμού τους**
 - ▶ Audio Feature Extraction
- ▶ **Αλγόριθμοι ανάλυσης χρονικής δομής ηχητικού σήματος**
 - ▶ Αλγόριθμοι ανίχνευσης έναρξης ηχητικών συμβάντων
 - ▶ Αλγόριθμοι παρακολούθησης ρυθμικού παλμού και εξαγωγής tempo
- ▶ **Αναπαράσταση τονικού ύψους σε μουσικά σήματα**
 - ▶ Χρωματογράφημα
 - ▶ Ανίχνευση τονικού ύψους σε μονοφωνικά σήματα
 - ▶ Εκτίμηση συγχορδιών σε πολυφωνικά σήματα

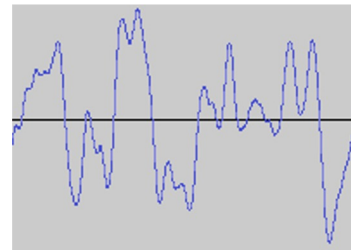
Τι είναι η Ψηφιακή Επεξεργασία Ήχου

- ▶ Οποιαδήποτε εκούσια μεταβολή ψηφιακού ηχητικού σήματος

Έλεγχος



Σύστημα
Ψηφιακής
Επεξεργασίας
Ήχου



Τι είναι η Ψηφιακή Επεξεργασία Ήχου

- ▶ Η ψηφιακή επεξεργασία σήματος ασχολείται με την ανάπτυξη συστημάτων επεξεργάζονται σήματα με στόχο την:
 - ▶ Αναπαραγωγή - Απόδοση Σήματος
 - ▶ Ανάλυση (π.χ. τι συχνότητες περιλαμβάνει)
 - ▶ Τροποποίηση - Μετασχηματισμός - Συμπίεση (π.χ. εφαρμογή κάποιου φίλτρου)
 - ▶ Κατανόηση και Περιγραφή Περιεχομένου (π.χ. σήμα ομιλίας, σήμα μουσικής, περιβαλλοντικός θόρυβος)
- ▶ Ένα ψηφιακό σήμα είναι ένα σύνολο από αριθμούς.
 - ▶ Το ερώτημα είναι πως πρέπει να τροποποιήσω τους αριθμούς αυτούς έτσι ώστε να τροποποιήσω το ηχητικό αποτέλεσμα ως προς κάποια/ες συγκεκριμένες ιδιότητες?? Παράδειγμα:
 - ▶ Να αφαιρέσω το θόρυβο από ένα ήχο?
 - ▶ Να αυξήσω τις χαμηλές συχνότητες (μπάσα)??
 - ▶ Να αυξήσω τη λαμπρότητα ενός ήχου?
 - ▶ Να εντοπίσω το τονικό ύψος ή τα τονικά ύψη που ακούγονται σε ένα ήχο?
 - ▶ Να εντοπίσω τα σημεία αλλαγής νοτών ενός ήχου?
 - ▶ Να μειώσω το μέγεθος ενός αρχείου ήχου

Εφαρμογές Audio Signal Processing (ASP)

- ▶ Αποθήκευση:
 - ▶ Σε διάφορα file formats (π.χ. wav, mp3, flac)
- ▶ Συμπίεση
 - ▶ Απωλεστική και μη-απωλεστική
- ▶ Προσθήκη Εφέ και Μετασχηματισμός
 - ▶ Equalization, flanging, pitch shifting, phasing, chorusing, morphing
- ▶ Σύνθεση
 - ▶ Συνδυασμός Σημάτων με στόχο τη δημιουργία νέου ήχου
- ▶ Οπτικοποίηση (Visualisation)
 - ▶ Μετατροπή σήματος σε οπτική πληροφορία
- ▶ Εξόρυξη Πληροφορίας και Περιγραφή Περιεχομένου
 - ▶ Αναγνώριση Ομιλίας, Αναγνώριση Μουσικού έργου, Δημιουργία Παρτιτούρας, κλπ

Τι είναι σήμα

- Ως σήμα ορίζουμε το σύνολο των τιμών που λαμβάνει μια φυσική ποσότητα. Μαθηματικά αυτό εκφράζεται ως συνάρτηση ή ακολουθία μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών (π.χ. του χρόνου, του χώρου, ή και των δύο) Τα σήματα περιέχουν πληροφορία σχετικά με τη συμπεριφορά ή τη φύση ενός φαινομένου, στο χρόνο, στο χώρο ή και στα δύο...



(α)



Χ. Αλεξανδράκη

(β)



(γ)

Περιγραφή Σήματος Πολυμεσικού Περιεχομένου:

α) ήχος: $z = f(t)$

β) εικόνα: $z = f(x, y)$

γ) βίντεο: $z = f(x, y, t)$

- Ανεξάρτητες Μεταβλητές: t, x, y
- Εξαρτημένη Μεταβλητή: z

Σήματα Συνεχούς και Διακριτού Χρόνου

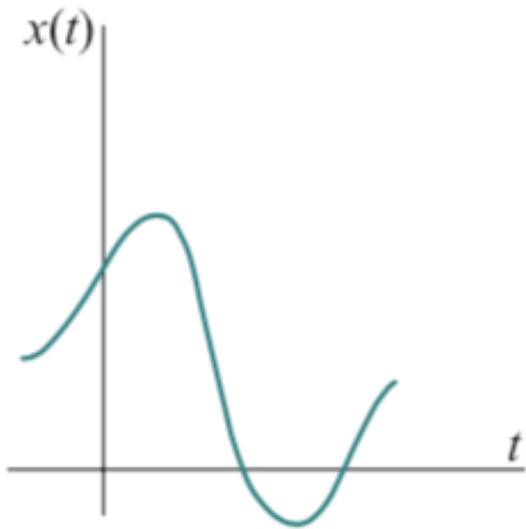
▶ Σήματα Συνεχούς Χρόνου (Continuous Time Signals):

- ▶ Η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι συνεχής, δηλαδή τα σήματα αυτά ορίζονται για οποιαδήποτε τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής (π.χ. του χρόνου). Η εξαρτημένη μεταβλητή (π.χ. το πλάτος - amplitude) του σήματος, είναι και αυτή συνεχής. Τα σήματα αυτά αναφέρονται και ως σήματα **συνεχούς χρόνου συνεχούς πλάτους** ή **αναλογικά σήματα**.
- ▶ Συμβολισμός: **$x(t)$** , όπου **t** πραγματικός αριθμός.

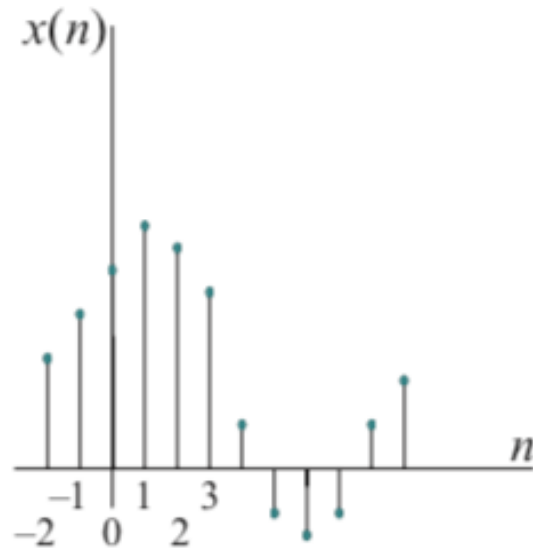
▶ Σήματα Διακριτού Χρόνου (Discrete Time Signals):

- ▶ Η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι διακριτή, δηλαδή τα σήματα αυτά ορίζονται μόνο για συγκεκριμένες τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής. Με άλλα λόγια, η ανεξάρτητη μεταβλητή παίρνει τιμές από ένα διακριτό σύνολο αριθμών. Η εξαρτημένη μεταβλητή, δηλαδή το πλάτος του σήματος, είναι συνεχής. Γι' αυτό και τα σήματα αυτά αναφέρονται και ως σήματα **διακριτού χρόνου συνεχούς πλάτους**.
- ▶ Εάν και η εξαρτημένη μεταβλητή παίρνει διακριτές τιμές τότε τα σήματα λέγονται **διακριτού χρόνου διακριτού πλάτους** ή **ψηφιακά σήματα**
- ▶ Συμβολισμός: **$x(n)$** όπου **$n = 0, 1, 2, 3 \dots$** φυσικός αριθμός

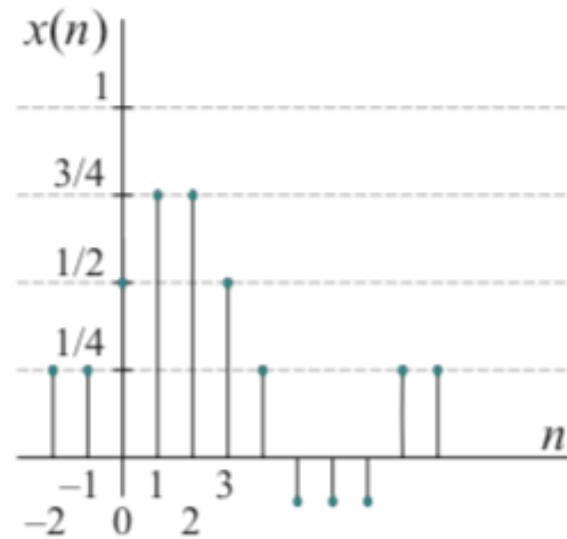
Τύποι Σημάτων και Συμβολισμός



αναλογικό σήμα



σήμα διακριτού χρόνου συνεχούς πλάτους



ψηφιακό σήμα

Ψηφιοποίηση Σήματος - Analogue to Digital Conversion (ADC)

1. Δειγματοληψία (Sampling):

- ▶ Αναλογικό => διακριτού χρόνου συνεχούς πλάτους
- ▶ $x_a(t) \rightarrow x(n)$, όπου $n = t/T_s$ και T_s : περίοδος δειγματοληψίας
- ▶ Εισάγει *σφάλμα δειγματοληψίας*: γίνονται διακυμάνσεις πλάτους που μπορεί να συμβούν σε χρονικό διάστημα T_s

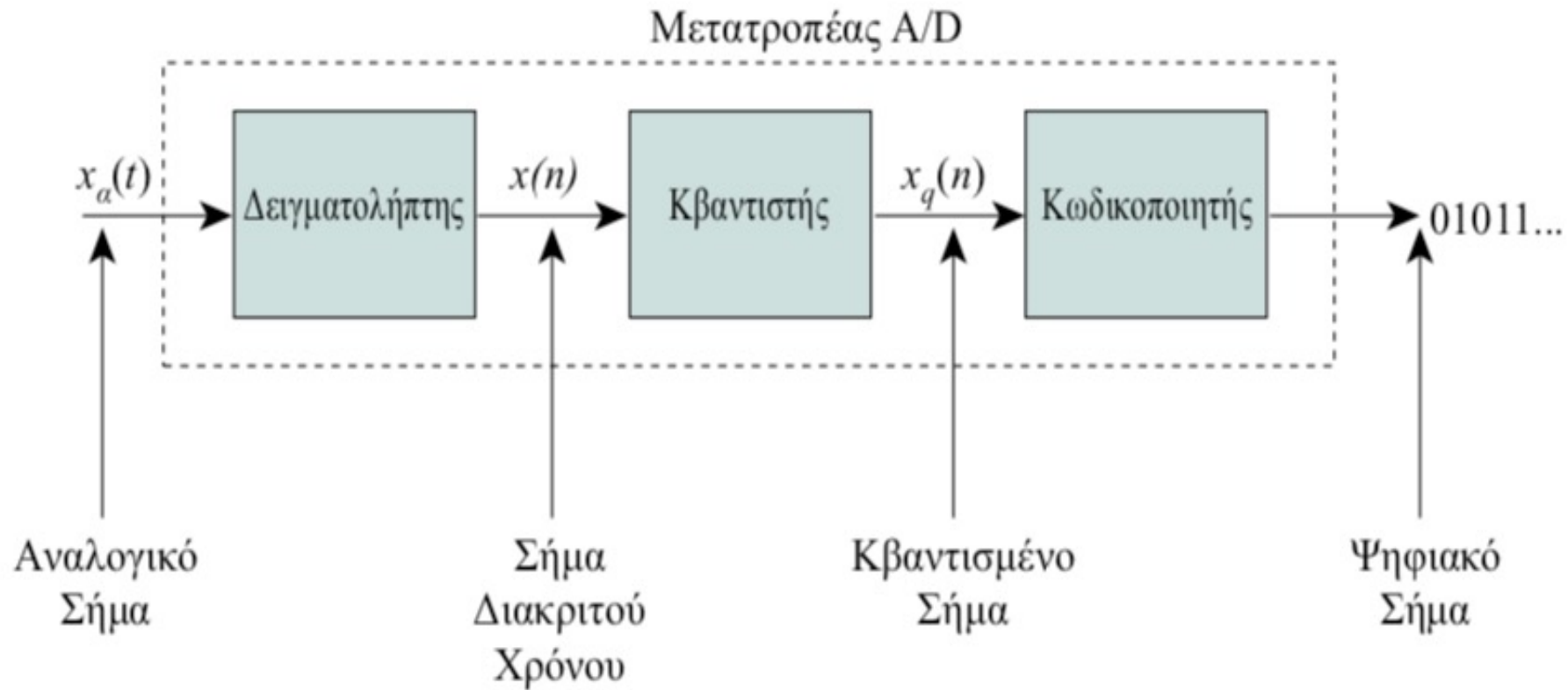
2. Κβαντοποίηση (Quantisation):

- ▶ Διακριτού χρόνου συνεχούς πλάτους => Ψηφιακό
- ▶ $x(n) \rightarrow x_q(n)$
- ▶ Εισάγει *σφάλμα κβαντοποίησης*: οι διαφορές ανάμεσα στο $x(n)$ και στο $x_q(n)$

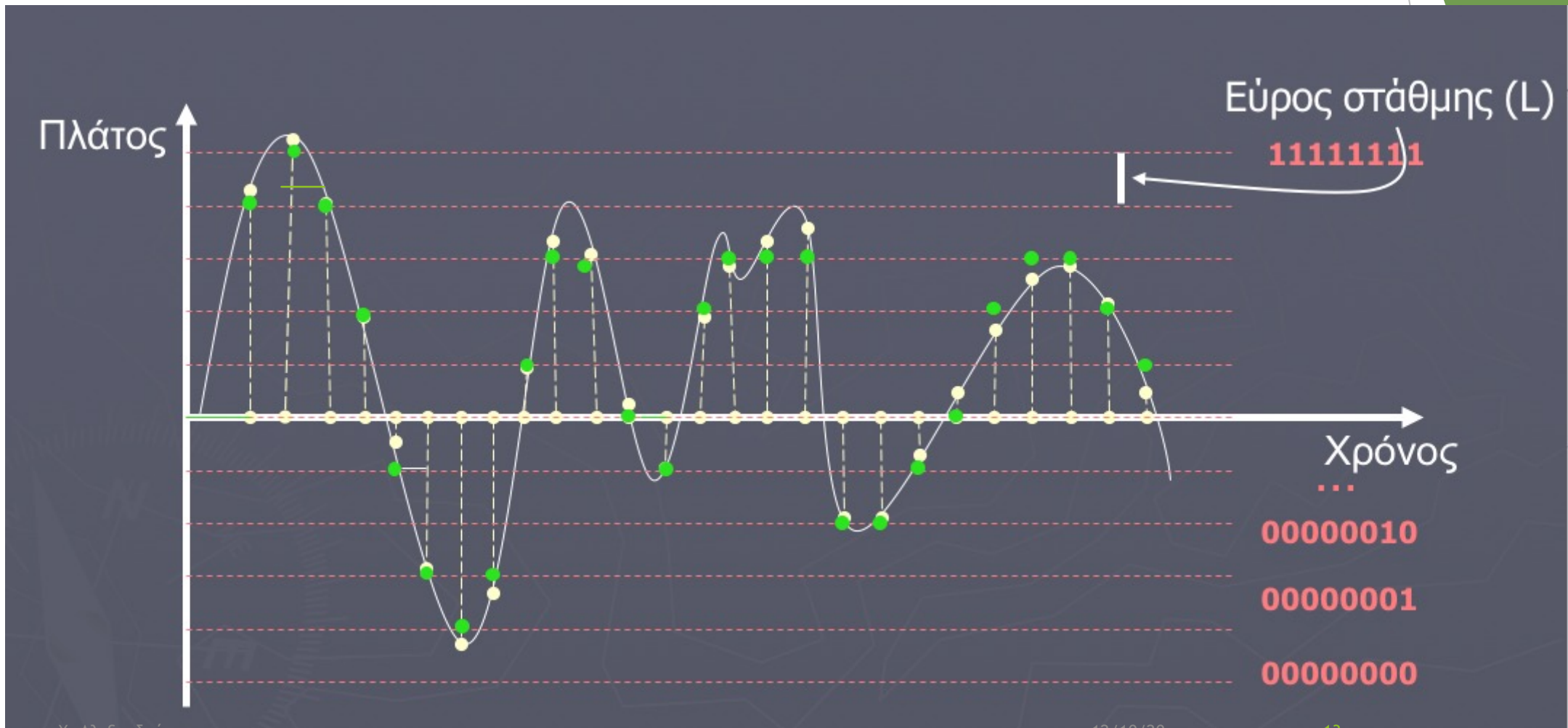
3. Κωδικοποίηση (Coding):

- ▶ Κάθε διακριτή τιμή $x_q(n)$ αντιπροσωπεύεται από ένα αριθμό αποτελούμενο από b -bits (π.χ. $B = 8, 16, 32$ κλ.π)

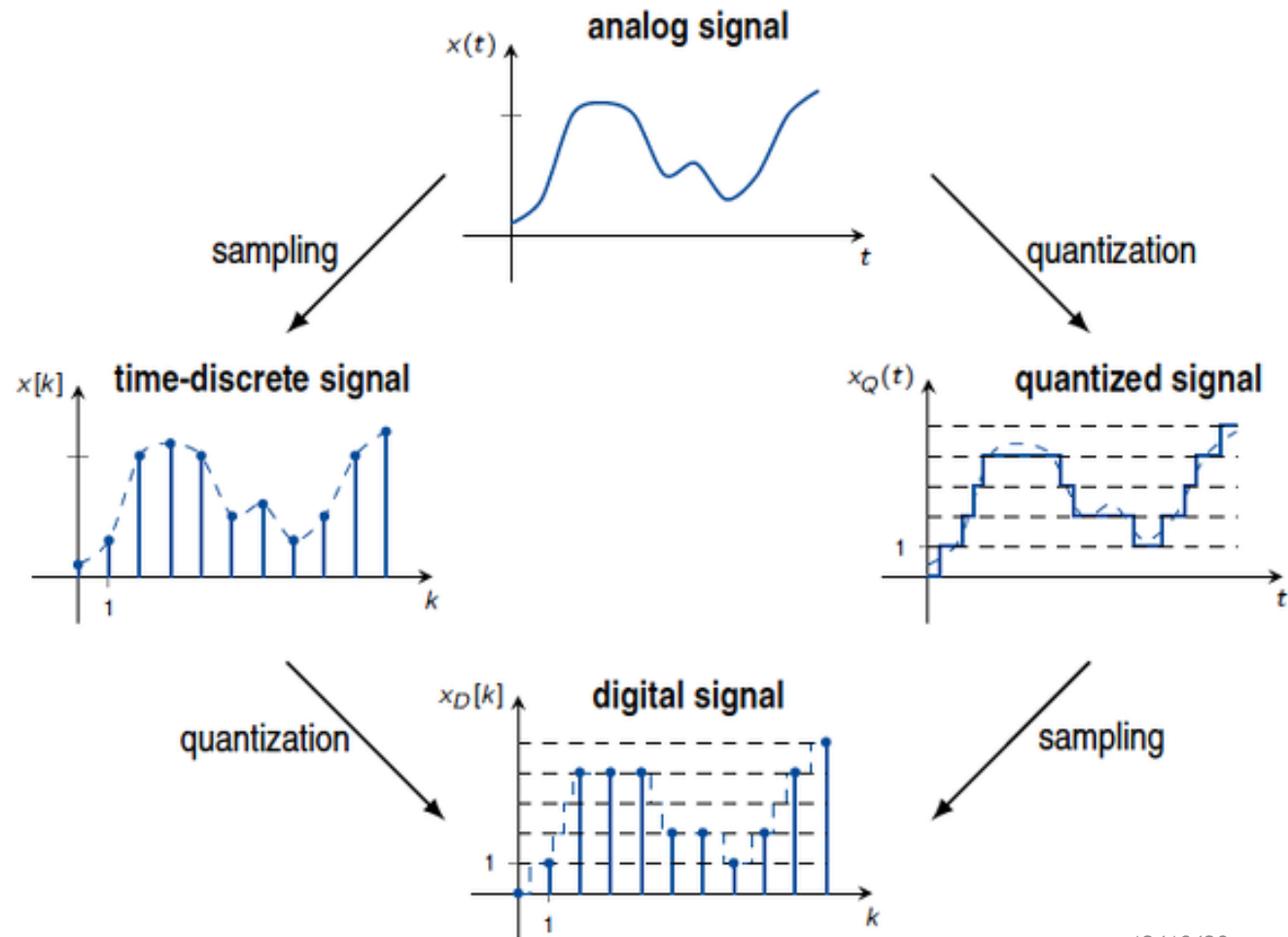
Analogue to Digital Converter (ADC)



Παράδειγμα



Σειρά Διαδικασιών

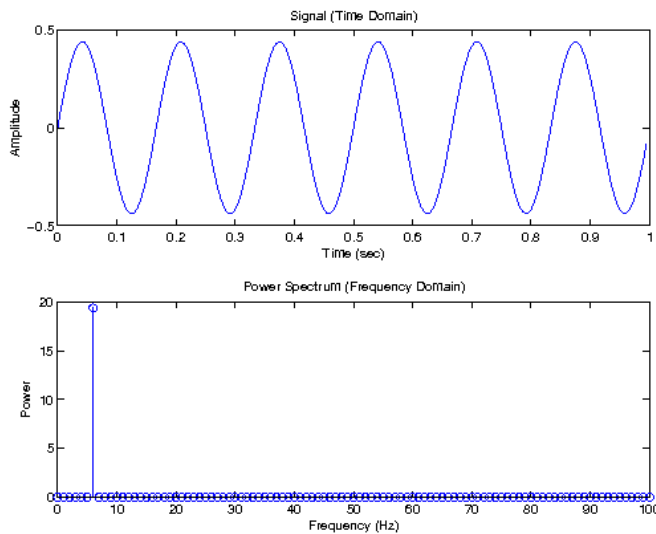


Τι είναι φάσμα;

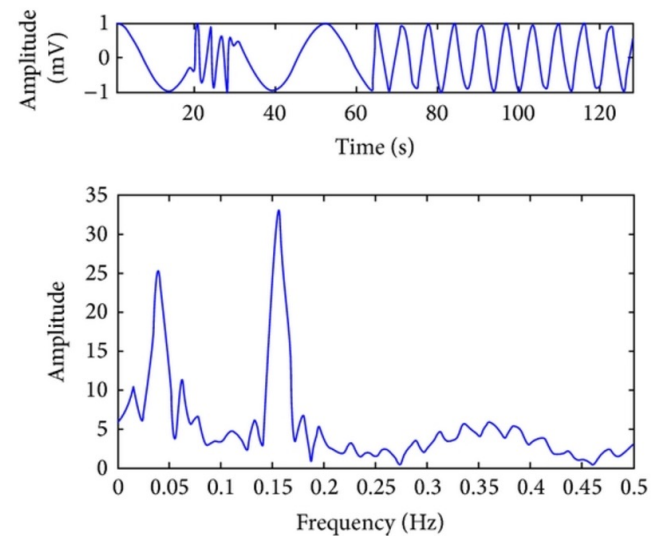
- ▶ Η αναπαράσταση που προκύπτει όταν σε ένα σήμα, π.χ. $z = f(t)$ κάνω αλλαγή μεταβλητής $z = g(v)$, όπου t (sec χρόνος) και v (Hz συχνότητα)

Ημιτονοειδές Σήμα

$$z = f(t) = A \sin(\omega t)$$
$$z = g(v) = \begin{cases} A & \text{για } v = \omega/2\pi \\ 0 & \text{για } v \neq \omega/2\pi \end{cases}$$



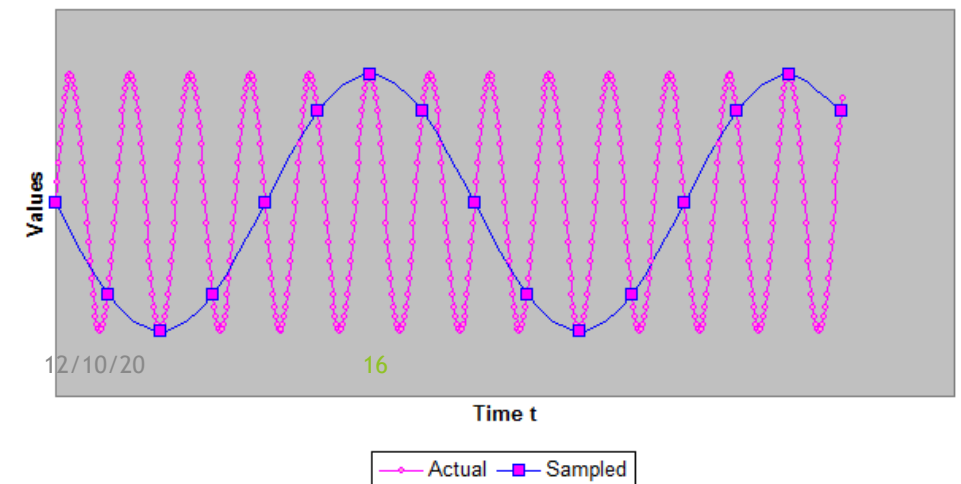
Σύνθετο Σήμα



Υπολογισμός Φάσματος

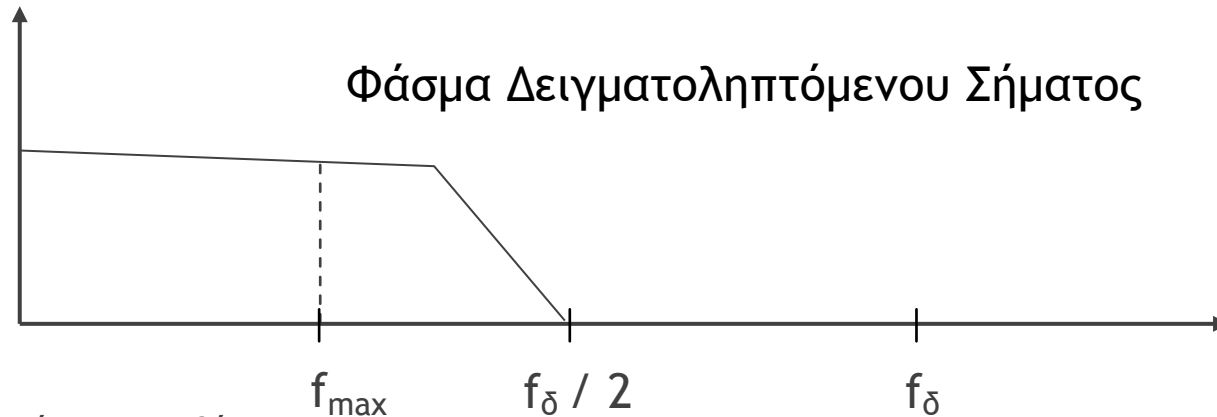
- ▶ Γίνεται με διάφορους μαθηματικούς μετασχηματισμούς:
 - ▶ Ενδεικτικά Fourier Transform, Laplace Transform και οι παραλλαγές τους, Wavelet Transform κ.α.
 - ▶ Θα ασχοληθούμε εκτενώς σε επόμενα μαθήματα
- ▶ Είναι γενικά αντιστρεπτή διαδικασία:
 - ▶ Ο αντίστροφος μετασχηματισμός όταν εφαρμόζεται σε ένα φάσμα δίνει το αρχικό σήμα, π.χ. Inverse Fourier Transform
- ▶ Κατά την ψηφιοποίηση αναλογικού σήματος (και ειδικότερα κατά τη δειγματοληψία) χρειάζεται προσοχή ώστε να μην παραμορφωθεί το φάσμα με την εμφάνιση ψευδών συχνοτήτων (βλέπε σχήμα)
- ▶ Τι κάνουμε λοιπόν?
 - ▶ Πρέπει να έχω τουλάχιστον δύο δείγματα από κάθε περίοδο της μέγιστης συχνότητας σήματος

Aliasing example



Θεώρημα Δειγματοληψίας (Nyquist-Shannon)

- ▶ Για την πλήρη περιγραφή ενός αναλογικού σήματος του οποίου το φάσμα συχνοτήτων είναι περιορισμένο σε ένα εύρος ζώνης με μέγιστη συχνότητα f_{max} , αρκεί η περιοδική λήψη δειγμάτων τα οποία να λαμβάνονται με συχνότητα τουλάχιστον ίση προς $f_s \geq 2f_{max}$ (δηλ. με περίοδο $T_s \leq 1/2f_{max}$)
 - ▶ για να μη χαθεί πληροφορία θα πρέπει να παίρνουμε τουλάχιστον δύο δείγματα ανά περίοδο (της υψηλότερης συχνότητας του σήματος)



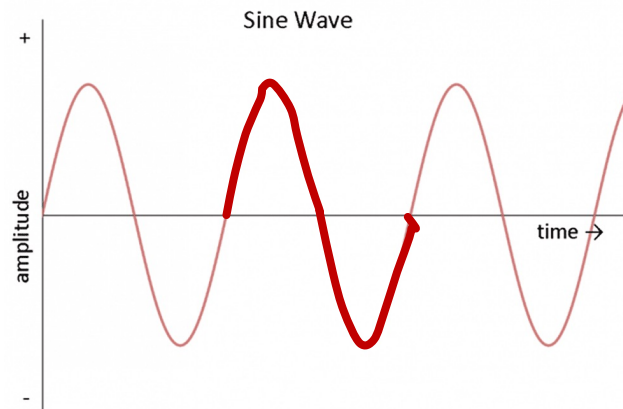
- ▶ Π.χ. Μετάδοση σήματος ομιλίας
 - ▶ 0-4000Hz => $f_\delta \geq 8000\text{Hz}$
- ▶ Παραμόρφωση λόγω Δειγματοληψίας (Aliasing Distortion)
 - ▶ Απουσία συχνοτήτων υψηλότερων του μισού της συχνότητας δειγματοληψίας
- ▶ «μπουκωμένος» ήχος

Ημιτονοειδή Σήματα Διακριτού και Συνεχούς Χρόνου

Περιγραφή Ημιτονοειδούς Σήματος

▶ Αναλογικό

- ▶ $x(t) = A \cos(2\pi ft) = A \cos(\omega t)$
- ▶ f : συχνότητα αναλογικού σήματος
 - ▶ Πόσες φορές το δευτερόλεπτο επαναλαμβάνεται το σήμα
- ▶ $\omega = 2\pi f$: κυκλική συχνότητα αναλογικού



▶ Ψηφιακό:

- ▶ Δειγματοληψία \Leftrightarrow Αντικατάσταση Μεταβλητής
 - ▶ $t = n T_s = n / f_s$
- ▶ $x(n) = A \cos(2\pi f n / f_s) = A \cos(2\pi F n)$
- ▶ $F = f / f_s$: Συχνότητα Ψηφιακού Σήματος
 - ▶ Ανα πόσα δείγματα n επαναλαμβάνεται το σήμα
- ▶ $\Omega = 2\pi F$: Κυκλική Συχνότητα Ψηφιακού

▶ Παράδειγμα:

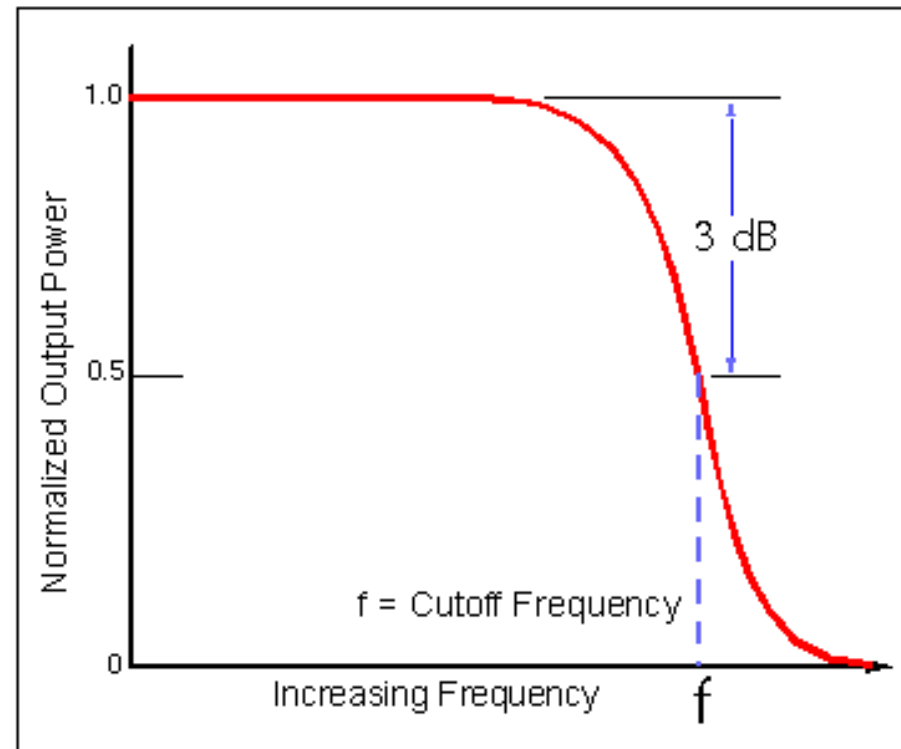
- ▶ $f = 441\text{Hz}$, $f_s = 44100\text{Hz} \Rightarrow F = 1/100$, $T = 100$ δείγματα
- ▶ Ερμηνεία:
 - ▶ **Αναλογικό:** Η περίοδος του ημιτόνου αντιστοιχεί σε $1/441 = 2.27\text{ms}$ δευτερόλεπτα
 - ▶ **Ψηφιακό:** Η περίοδος ημιτόνου αντιστοιχεί σε 100 δείγματα

Παρουσία ‘Ψευδών Συχνοτήτων’ σε ψηφιοποιημένο σήμα

- ▶ Έστω αναλογικό σήμα
 - ▶ $x(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \theta)$
- ▶ Έπειτα από ψηφιοποίηση ($t = n/f_s$)
 - ▶ $x(n) = A \cos(2\pi f_0 n/f_s + \theta)$
- ▶ Εύκολα συμπεραίνουμε ότι:
 - ▶ $x(n) = A \cos(2\pi n * f_0/f_s + \theta + 2\pi k n)$ με $k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$
 - ▶ $x(n) = A \cos(2\pi n * f_0/f_s + 2\pi k n * f_s/f_s + \theta) = A \cos(2\pi f_k/f_s n + \theta)$
 - ▶ ‘όπου $f_k = f_0 + k f_s$
- ▶ Συνεπώς:
 - ▶ Όταν ένα αναλογικό σήμα (βασικής συχνότητας f_0) ψηφιοποιείται, κατά τη μετατροπή του πίσω σε αναλογικό προκύπτει ένα σήμα που περιλαμβάνει όλες τις συχνότητες της μορφής $f_k = f_0 + k f_s$ με $k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

Πραγματικό φάσμα

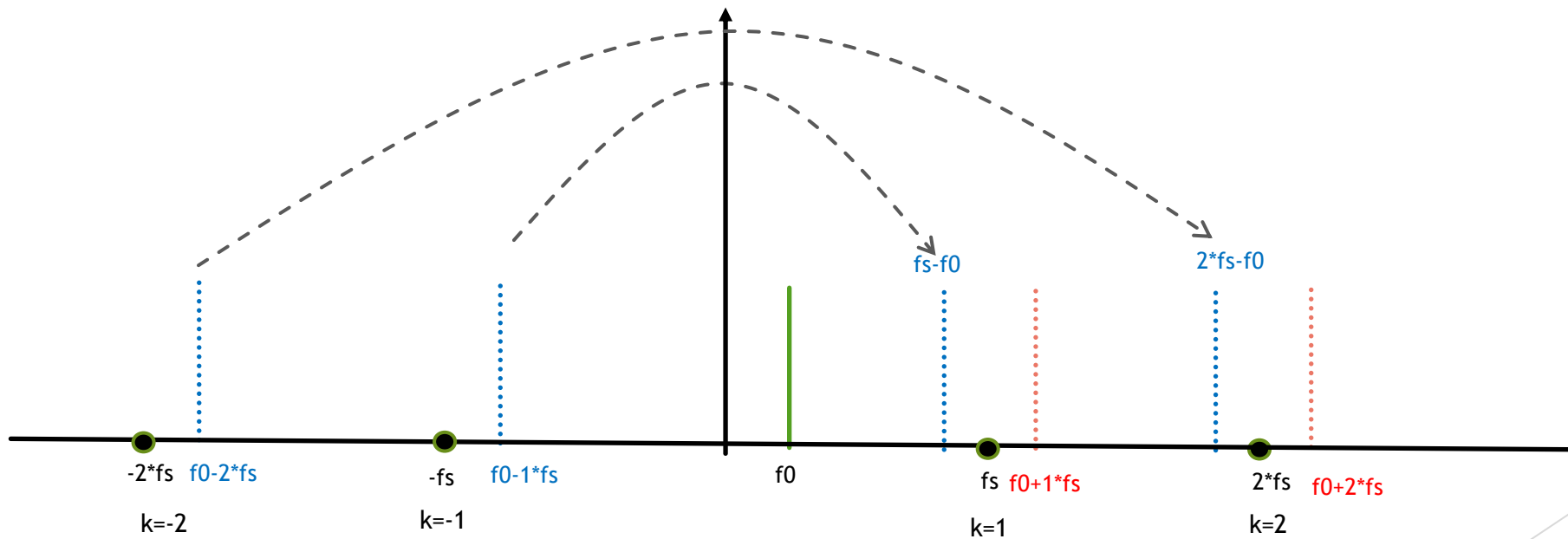
- ▶ Αν το αρχικό μου σήμα (πριν την ψηφιοποίηση) έχει συχνότητα f_0
- ▶ Για να πάρω το *πραγματικό φάσμα* του (δηλαδή να αγνοήσω τις ψευδείς συχνότητες) πρέπει να βάλω ένα **βαθυπερατό φίλτρο (Low Pass Filter)** με συχνότητα αποκοπής $f_s/2$



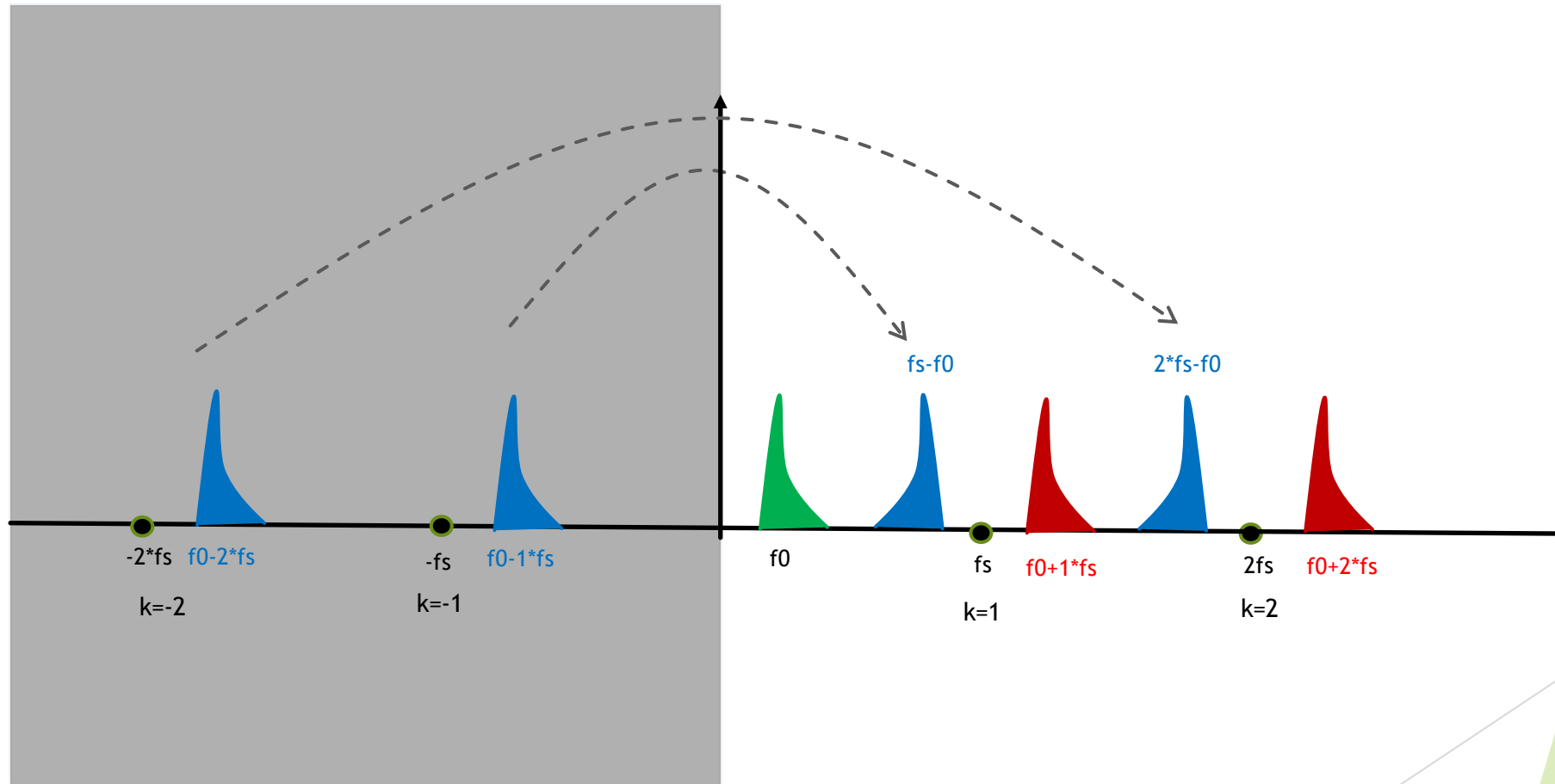
low pass filter

Αρνητικές Συχνότητες και Αναδίπλωση

- ▶ Η συχνότητα είναι μια φυσική ποσότητα που έχει πάντα θετικές τιμές.
- ▶ Όμως για ευκολία υπολογισμού πολλές φορές στις μαθηματικές πράξεις χρησιμοποιούμε και αρνητικές συχνότητες



Φάσμα σύνθετου σήματος μετά από δειγματοληψία



Ημιτονοειδές Σήμα Διακριτού Χρόνου (ΗΣΔΧ)

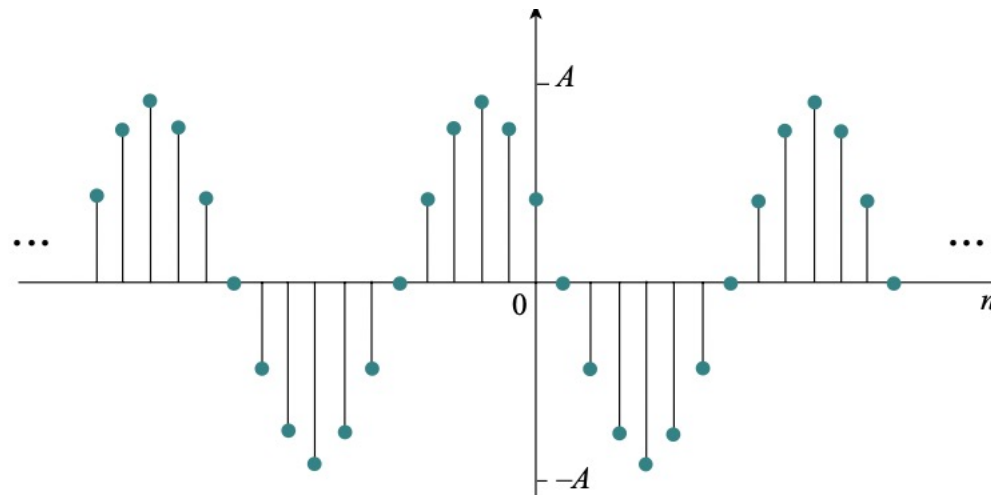
► Ορισμός

► $x(n) = A \cos(\Omega n + \theta), -\infty < n < \infty$

► όπου n αριθμός δείγματος, Ω η συχνότητα σε ακτίνια (rad) ανά δείγμα και θ η φάση σε ακτίνια

► εάν θέσουμε $\Omega = 2\pi F$, τότε $x(n) = A \cos(2\pi F n + \theta), -\infty < n < \infty$

► όπου n αριθμός δείγματος, F η συχνότητα σε Hz (κύκλους ανά δείγμα)



Ιδιότητες ΗΣΔΧ

1. Ένα ΗΣΔΧ είναι περιοδικό αν και μόνο αν η συχνότητα του είναι ρητός αριθμός
 - ▶ Δηλαδή όταν υπάρχουν ακέραιοι m, k ώστε $F = m/k$
 - ▶ Απόδειξη: Έστω ότι υπάρχει N για το οποίο $x(n+N) = x(n)$
2. Δύο ΗΣΔΧ των οποίων οι κυκλικές συχνότητες διαφέρουν κατά 2π είναι ταυτόσημα
 - ▶ $\cos(\Omega n + \theta) = \cos[(\Omega + 2\pi)n + \theta]$
 - ▶ Επομένως, όλα τα $x_k(n) = A \cos(\Omega_k n + \theta)$,
 - ▶ με $\Omega_k = \Omega + 2k\pi$, για κάθε $k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$, ταυτίζονται, ή αλλιώς (διαίρεση με 2π) όλα τα
 - ▶ $F_k = F_0 + k \Leftrightarrow f_k = f_0 + kf_s$ για κάθε $k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$
 - ▶ Επομένως διαφορετικά είναι μόνο τα σήματα για τα οποία:
 - ▶ $-\pi \leq \omega \leq \pi \Leftrightarrow -\frac{1}{2} \leq F \leq \frac{1}{2} \Leftrightarrow -\frac{1}{2}f_s \leq f \leq \frac{1}{2}f_s$
3. Η μέγιστη συχνότητα ενός ΗΣΔΧ είναι $F = \frac{1}{2}$ κύκλος ανά δείγμα
 - ▶ Με άλλα λόγια η μέγιστη συχνότητα του αναλογικού σήματος είναι $f_s/2$

Άσκηση 1

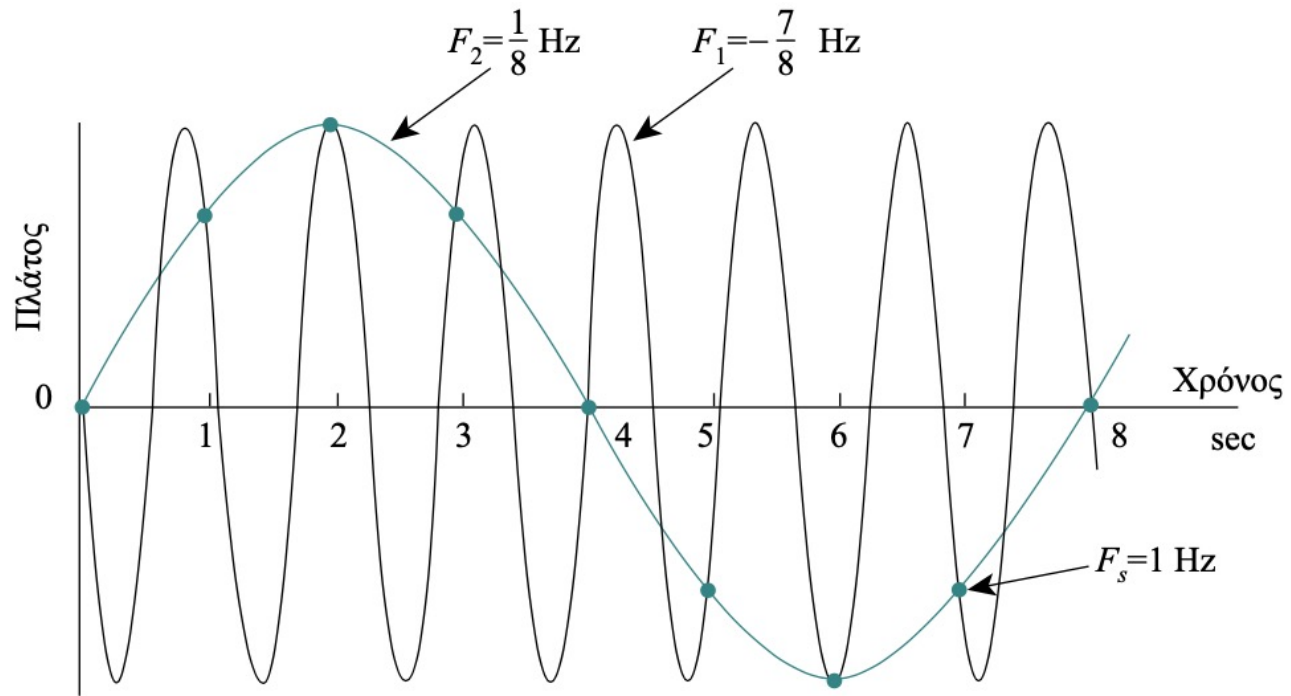
- ▶ Δίνονται τα αναλογικά σήματα
 - ▶ $x_1(t) = \sin(2\pi\frac{1}{8}t)$ και $x_2(t) = \sin(2\pi\frac{-7}{8}t)$
- ▶ Ποια τα σήματα διακριτού χρόνου που θα προκύψουν μετά τη δειγματοληψία αυτών με ρυθμό $F_s = 1$ Hz;

Σχηματικά (Άσκηση 1)

Σχήμα 1.7
Δειγματοληψία
αναλογικών σημά-
των συχνότητας

$$F_1 = \frac{1}{8} \text{ Hz},$$
$$F_2 = -\frac{7}{8} \text{ Hz}$$

με ρυθμό $F_s = 1 \text{ Hz}$



Σύνοψη - Συμπεράσματα (1/2)

- ▶ Η ψηφιακή αναπαράσταση αναλογικών σημάτων είναι μια **μαθηματική επινόηση** του επιστημονικού χώρου της **Θεωρίας της Πληροφορίας**:
 - ▶ Η θεωρία πληροφορίας είναι τμήμα των εφαρμοσμένων μαθηματικών και ασχολείται με την ποσοτικοποίηση της πληροφορίας ώστε να καθίσταται ικανή για αποθήκευση, μετάδοση και επεξεργασία από υπολογιστικά συστήματα
- ▶ Ένα ψηφιακό σήμα ήχου είναι ένα **σύνολο από αριθμούς $x(n)$** που παρατάσσονται στο χρόνο σε σταθερή μεταξύ τους απόσταση: $T_s = 1/f_s$
- ▶ Οι αριθμοί αυτοί δεν αντιπροσωπεύουν μοναδικό αναλογικό σήμα, αλλά ένα πλήθος τέτοιων σημάτων
 - ▶ Ή μάλλον το άθροισμα πολλαπλών διαφορετικών σημάτων
 - ▶ Γεγονός που οφείλεται στην περιοδικότητα που εμφανίζεται στις κυκλικές συχνότητες του ψηφιακού σήματος:
 - ▶ $\Omega_k = \Omega_0 + 2k\pi \leftrightarrow F_k = F_0 + k \leftrightarrow f_k = f_0 + kf_s$, όπου $k = \pm 1, \pm 2, \dots$

Σύνοψη - Συμπεράσματα (2/2)

- ▶ Διαπιστώνουμε έτσι ότι:
 - ▶ Για κάθε συχνότητα του αναλογικού σήματος f_0 παίρνουμε ένα σύνολο συχνοτήτων της μορφής $f_k = f_0 \pm k f_s$
 - ▶ Εάν για κάθε συχνότητα f_0 στο αναλογικό σήμα ισχύει ότι, $f_0 \leq f_s/2$, τότε το φάσμα από 0 έως $f_s/2$ (Hz) αντιπροσωπεύει το φάσμα του αρχικού/αναλογικού σήματος
 - ▶ Έτσι μπορώ, κατά την μετατροπή του ψηφιακού σήματος πίσω σε αναλογικό να εφαρμόσω ένα φίλτρο χαμηλής διέλευσης με συχνότητας αποκοπής $f_s/2$, ώστε η έξοδος του φίλτρου να έχει μόνο τις συχνότητες του αναλογικού
 - ▶ **Προσοχή:** Η μετατροπή αναλογικού σε ψηφιακό σήμα δεν είναι πάντα αντιστρεπτή διαδικασία!

Βιβλιογραφία

- ▶ Σκόδρας Α. και Αναστασόπουλος Β., Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνων και Σημάτων, Πάτρα 2003

Εργαστηριακό Μέρος

Χ. Αλεξανδράκη

12/10/20

32

Περιβάλλον Εξάσκησης

- ▶ Γλώσσα Προγραμματισμού Python:
 - ▶ Είναι ελεύθερη και ανοιχτού κώδικα
 - ▶ Εξαιρετικά δημοφιλής
 - ▶ Εύκολη στην εκμάθηση
 - ▶ Η πλέον διαδεδομένη γλώσσα για προγραμματισμό εφαρμογών επεξεργασίας ηχητικού σήματος
 - ▶ Σήμερα θα ξεκινήσουμε με βασικές εργασίες ανάγνωσης/εγγραφής αρχείου ήχου
- ▶ Google Collaboratory
 - ▶ Ένα web περιβάλλον προγραμματισμού σε γλώσσα Python
 - ▶ Τα περισσότερα από τα πακέτα της Python είναι προ-εγκατεστημένα ώστε να μην απαιτείται εγκατάσταση στον ΗΥ
 - ▶ Καθώς η Python και τα πακέτα της διατίθενται free και open source, σε πολλές περιπτώσεις δημιουργούνται ασυμβατότητες μεταξύ διαφορετικών εκδόσεων των πακέτων και ανάλογα με το λειτουργικό σας σύστημα

Python Packages

- ▶ Τα πακέτα της python που θα χρησιμοποιήσουμε στο μάθημα:
 - ▶ Χειρισμός πινάκων, [NumPy](#):
 - ▶ Προεγκατεστημένο στο Google Colab
 - ▶ NumPy is a library for the Python programming language, adding support for large, multi-dimensional arrays and matrices, along with a large collection of high-level mathematical functions to operate on these arrays.
 - ▶ Δημιουργία γραφικών παραστάσεων, [Matplotlib](#):
 - ▶ Προεγκατεστημένο στο Google Colab
 - ▶ Matplotlib is a plotting library for the Python programming language and its numerical mathematics extension NumPy. It provides an object-oriented API for embedding plots into applications using general-purpose GUI toolkits like Tkinter, wxPython, Qt, or GTK+.
 - ▶ Επιστημονικός υπολογισμός, [SciPy](#)
 - ▶ Προεγκατεστημένο στο Google Colab
 - ▶ SciPy is a free and open-source Python library used for scientific computing and technical computing. SciPy contains modules for optimization, linear algebra, integration, interpolation, special functions, FFT, signal and image processing, ODE solvers and other tasks common in science and engineering
 - ▶ Ανάγνωση και εγγραφή αρχείων ήχου, [SoundFile](#)
 - ▶ Προεγκατεστημένο στο Google Colab
 - ▶ SoundFile can read and write sound files. SoundFile represents audio data as NumPy float arrays.

Αρχεία Ήχου

- ▶ Wav file:
 - ▶ Sound file format χωρίς απώλειες για την αποθήκευση ήχων σε σκληρό δίσκο
 - ▶ Κάθε δείγμα ήχου αποθηκεύεται ως ακέραιος αριθμός 16 bit (μερικές φορές επίσης ως 24 bit ακέραιος ή 32 bit float).
 - ▶ Τα αρχεία ήχου που θα χρησιμοποιούμε στις εργασίες είναι:
 - ▶ μονοφωνικά, έχουν ρυθμό δειγματοληψίας 44100Hz και ανάλυση δείγματος 16bit
 - ▶ Στις εργασίες θα διαβάζουμε αρχεία αυτά στην Python σε δεκαδική μορφή:
 - ▶ με εύρος στο διάστημα [-1.0, 1.0]
 - ▶ Μπορείτε να βρείτε τέτοια αρχεία στο eclass -> Εγγραφα
 - ▶ Εάν θελήσετε να χρησιμοποιήσετε άλλο δείγμα θα πρέπει να το μετατρέψετε στο παραπάνω format
 - ▶ Με κάποιο εργαλείο όπως το Audacity

Εργαστηριακές Ασκήσεις

- ▶ Να υλοποιήσετε σε Python τα ακόλουθα προγράμματα
 - ▶ **Άσκηση 1.1** Υπολογισμός και γραφική απόδοση των διακριτών τιμών μιας περιόδου ημιτονοειδούς σήματος. Εκτελέστε τον κώδικα για διαφορετικό πλήθος δειγμάτων, τι διαπιστώνετε?
 - ▶ **Άσκηση 1.2** Υπολογισμός ημιτονοειδούς σήματος δεδομένης διάρκειας (dur), πλάτους (amp) και συχνότητας (f0). Το σήμα να αποδοθεί γραφικά και να αποθηκευθεί στο αρχείο `output_audio/sinewave.wav`
 - ▶ **Άσκηση 1.3** Ανάγνωση και γραφική απόδοση ηχητικού αρχείου (π.χ. `input_audio/piano.wav`). Αλλάξτε τον οριζόντιο άξονα ώστε να απεικονίζει χρόνο
- ▶ Στοιχειώδεις επεμβάσεις σε ηχητικό σήμα που μπορείτε να υλοποιήσετε για περαιτέρω εξάσκηση
 - ▶ Audio Reversal
 - ▶ Signal Gain/Attenuation
 - ▶ Normalization
 - ▶ DC Removal
 - ▶ Down-sampling/Up-sampling
- ▶ Ποιες από τις παραπάνω διεργασίες μπορούν να επιτευχθούν σε πραγματικό χρόνο?
 - ▶ Real-time (or online) signal processing refers to digital signal processing techniques that apply on an audio signal at the same time as this is acquired (e.g. from a microphone)
 - ▶ RT DSP are causal processes, i.e. they do not require to know the future of a signal