



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σήματα-Συστήματα Εισαγωγικά

Κωνσταντίνος Κοτρόπουλος
Τμήμα Πληροφορικής

Άδειες Χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα. Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.



Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Κεφάλαιο 1

Εισαγωγικά

Προλεγόμενα

Ας ξεκινήσουμε το εισαγωγικό μάθημα προσπαθώντας να οριοθετήσουμε τί είναι *σήμα*, για να θεμελιώσουμε το επιχείρημα ότι η σπουδή του αντικειμένου *Σήματα-Συστήματα* δεν αποτελεί ένα περιφερειακό στόχο ελάσσονος σημασίας ενός προπτυχιακού προγράμματος στην Πληροφορική. Θα προστρέξουμε στην καθομιλουμένη για την πρόσληψη παραστάσεων σχετικών με την έννοια “σήμα” (ή σημάδι στη δημοτική), ανατρέχοντας στα καθιερωμένα λεξικά της κοινής νεοελληνικής, όπως τα λεξικά του Εμμανουήλ Κριαρά [1], του Γεωργίου Μπαμπινιώτη [2] και του Ινστιτούτου Νεοελληνικών Σπουδών [Ίδρυμα Μανόλη Τριανταφυλλίδη] [3]:

παράσταση που αποτελεί στοιχείο για την αναγνώριση προϊόντος ορισμένης βιομηχανίας (π.χ. η φράση “σήμα κατατεθέν” στα μπουκάλια της Coca Cola παλιότερα)·

διακριτικό μελών σωματείου, συνεδρίου (π.χ. “σήματα ποδοσφαιρικής ομάδας”)·

διακριτικά σημάδια που φέρουν οι αξιωματικοί στη στολή τους, ενδεικτικά του όπλου ή σώματος στο οποίο ανήκουν και του βαθμού τους·

συνθηματικό σημάδι με το οποίο δίνεται μια πληροφορία ή διαταγή από απόσταση ή αλλιώς σινιάλο:

“σηματοδοσία δια φανών και σημαιών” για την καθοδήγηση των οδηγών οχημάτων στα Τεθωρακισμένα ή κατάλληλη κίνηση μικρών σημαιών για τη συνεννόηση μεταξύ σκαφών·

ηχητικό ή οπτικό σημάδι π.χ. “μου έκανε σήμα ο τροχονόμος να προχωρήσω”.

σήματα οδικής κυκλοφορίας δηλαδή φώτα ή πινακίδες τοποθετημένα στους δρόμους για τη ρύθμιση της κυκλοφορίας οχημάτων και πεζών.

(τηλεπικοινωνίες) κάθε μεταβολή ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που μεταφέρει πληροφορία την οποία λαμβάνει ένα κατάλληλο όργανο π.χ. τηλεφωνικό σήμα, σήματα Moirs, “έστειλαν σήμα σε όλα τα περιπολικά της Αστυνομίας να τον καταδιώξουν”, “Δεν έχω σήμα στο κινητό”.

Η ετυμολογία της λέξης, αν και αβέβαιη, παραπέμπει στη λέξη *dhyāman* στα σανσκριτικά (δηλαδή, σκέψη), που ταιριάζει μορφολογικώς παρά σημασιολογικώς. Λιγότερο πιθανή είναι η αντιστοιχία με το βορειοαρμενικό *sāma*, που σημαίνει σήμα ή σημάδι. Παράγωγα της λέξης σήμα είναι τα εξής: σημείο, σημαίνω, σημαία. Στους νεότερους χρόνους είναι γενικά παραδεκτό ότι η λέξη σήμα είναι σημασιολογικό αντιδάνειο από τη γαλλική γλώσσα (*signal*). Λέμε ότι είναι αντιδάνειο, γιατί η λέξη σήμα (ή σάμα στη δωρική διάλεκτο) είναι αρχαία. Λ.χ. απαντά στον Όμηρο. Πράγματι: στην επιφυλλίδα του “Χρόνος και σήματα” [4] ο Καθηγητής Δ. Ν. Μαρωνίτης αναλύει τη φράση “λυγρά σήματα γράψας” (σε μετάφραση: ... έγραψε θανάσιμα σήματα) από την έκτη ραψωδία της Ιλιάδας που αφορά τη χάραξη σε διπλό κι διπλωμένο πινάκιο σημάτων φονικής εντολής του Προίτου, βασιλιά της Εφύρας, προς τον πεθερό του, βασιλιά της Λυκίας, με επίδοξο θύμα το Βελλεροφόντη...” Δηλαδή, η λέξη σήματα ερμηνεύεται ως εγχάρακτα σημάδια σε πρόσφορη επιφάνεια. Διαστέλλοντας το σχόλιο του Μαρωνίτη που συνδυάζει τη φράση αυτή με την απαρχή της σημειωτικής, μήπως ανιχνεύονται και οι απαρχές της κωδικοποίησης της πληροφορίας, που αποτελεί οργανικό μέρος της μετάδοσης της πληροφορίας; Η λέξη σήμα με την ερμηνεία “μνημείο” απαντά και στον Επιτάφειο του Περικλέους δια της γραφίδος του Θουκυδίδη: “(Περικλής)... προελθών από του σήματος ...” (ή σε μετάφραση Ελευθερίου Βενιζέλου:... επροχώρησεν από το μνημείο ...).

Για να εμβαθύνουμε στην ερμηνεία της λέξης “σήμα” μας βοηθά ένα ενδιαφέρον δίπολο από τη Γλωσσολογία που αποδίδεται στον F. de Saussure [5]:

σημαίνον: γράμματα, φωνήματα, σχήματα, φωνολογική μορφή, ηχητική μορφή με την οποία δηλώνεται η πληροφορία (στα γαλλικά *signifiant*)

σημαινόμενο: σημασία λέξεων, έννοια (στα γαλλικά *signifié*).

Σκοπός της σπουδής μας είναι ακριβώς η εξαγωγή του νοήματος από ένα φορέα (ή αλλιώς φέρον στις τηλεπικοινωνίες), δηλαδή μια μορφή επιφανείας. Για παράδειγμα, σ' ένα σήμα ομιλίας, δηλαδή, τη μεταβολή ακουστικής πίεσης όπως συλλαμβάνεται από ένα μικρόφωνο και υποβάλλεται σε δειγματοληψία στην κάρτα ήχου του υπολογιστή, πώς μπορεί να αποφασιστεί αν υπάρχει ηχητική δραστηριότητα ή σιγή, αν μιλά άνδρας ή γυναίκα, τί λέει (αναγνώριση ομιλίας), ποιός μιλά (αναγνώριση ομιλητή), ποιά η συναισθηματική του κατάσταση (ευχαριστημένος, χαρούμενος, λυπημένος, οργισμένος, κ.τ.ό.). Μια εικόνα, δηλαδή διδιάστατη χωρική κατανομή των φωτεινότητων των εικονοστοιχείων (pixels), πώς μπορεί να καταταμηθεί σε περιοχές, π.χ. προσκήνιο ή υπόβαθρο. Επιπροσθέτως αναλύοντας μια εικόνα ή μια εικονοσειρά (δηλαδή, βίντεο) πώς μπορούν να ανιχνευτούν πρόσωπα, να αναγνωριστούν, κ.τ.ό. Από τη συχνότητα εμφάνισης λέξεων σε κείμενα πώς μπορεί να ανιχνευτεί η θεματική του κειμένου, να ομαδοποιηθούν κείμενα, κ.τ.ό. Τα προαναφερθέντα προβλήματα θα αντιμετωπιστούν σε πιο προχωρημένα μαθήματα της κατεύθυνσης “Ψηφιακών Μέσων”, όπως την

- Ψηφιακή Επεξεργασία Εικόνας
- Ψηφιακή Επεξεργασία Ομιλίας.

Στο παρόν μάθημα **σημαίνον θα είναι μια συνάρτηση μιας (ανεξάρτητης) μεταβλητής** που υποδηλοί χρόνο, $x(t)$, ενώ **σημαινόμενο θα είναι το συχνотικό περιεχόμενο του σήματος ή φάσμα** (spectrum, από το λατινικό specter) που είναι λανθάνον (latent) σε κάθε σήμα, δηλαδή ενυπάρχει σ' αυτό. Το φάσμα θα συμβολίζεται ως $X(\omega)$, όπου $\omega = 2\pi f$ η κυκλική συχνότητα που μετρείται σε rad/sec και f η συχνότητα που μετρείται σε Hz.

Η προηγούμενη ερμηνεία συμφωνεί με την ανάλυση του Jose M. F. Moura [6]: “ Πολλά χρόνια πριν, ο όρος σήμα αναφερόταν σε κάποια φυσική εκδήλωση της πληροφορίας που μεταβαλλόταν ως προς το χρόνο και/ή το χώρο. Μολονότι η προσέγγιση αυτή εξακολουθεί να είναι σε ισχύ, ως σήματα μπορούν να εκληφθούν και άλλες συμβολικές ή αφηρημένες αναπαραστάσεις της πληροφορίας, όπως μακρίες ακολουθίες των τεσσάρων συμβόλων του γενετικού κώδικα (τις βάσεις του DNA A, C, G, T) που διευθετούνται π.χ. σε γονίδια. Ως σήματα εκλαμβάνονται ο ήχος, οι εικονοσειρές (βίντεο), ο προφορικός και γραπτός λόγος (δηλαδή, ομιλία και κείμενα), οι εικόνες, τα πολυμέσα, η μουσική, τα ηχοεντοπιστικά σήματα (sonar), τα ραδιοεντοπιστικά σήματα (radar), οι καταγραφές των αισθητήρων στις τηλεπικοινωνίες, γεωφυσική, χημεία, μοριακή βιολογία, γενετική, ιατρική κ.ο.κ. Η επεξεργασία σημάτων συγκροτείται από όλες τις λειτουργίες αναπαράστασης, κωδικοποίησης, μετάδοσης, εκτίμησης, ανίχνευσης,

συναγωγής, ανακάλυψης, αναγνώρισης, σύνθεσης, καταγραφής ή αναπαραγωγής σημάτων με ψηφιακές ή αναλογικές διατάξεις, τεχνικές ή αλγορίθμους σε μορφή λογισμικού, υλικού, ή εξειδικευμένου λογισμικού συσκευών (firmware). Επομένως, ανακεφαλαιώνοντας μπορούμε να ισχυριστούμε ότι *επεξεργασία σήματος είναι η τεχνολογία που αγκαλιάζει τη θεμελιώδη θεωρία, τις εφαρμογές, τους αλγορίθμους και τις υλοποιήσεις επεξεργασίας ή μετάδοσης της πληροφορίας που εμπεριέχεται σε πολλούς διαφορετικούς φυσικούς, συμβολικούς ή αφηρημένους τύπους (format), που αποκαλούνται σωρευτικώς σήματα. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί μαθηματικές, στατιστικές, υπολογιστικές, ευρηματικές είτε γλωσσολογικές αναπαραστάσεις (π.χ. πεπερασμένα αυτόματα) και τεχνικές μοντελοποίησης, ανάλυσης, σύνθεσης, ανακάλυψης, αποκάλυψης, αίσθησης, καταγραφής, εξαγωγής, μάθησης ή προστασίας (π.χ. ασφάλειας).*

Στο ίδιο πνεύμα ο Li Deng απαριθμεί τις ερευνητικές περιοχές ανά μέσο [7] στον Πίνακα 1.1. Οι ερευνητικές περιοχές δεν είναι κατ' ανάγκη ανεξάρτητες. Αντιθέτως, όπως προλέγει ο τίτλος του άρθρου, διαπιστώνονται γονιμοποιήσεις μεταξύ τους.

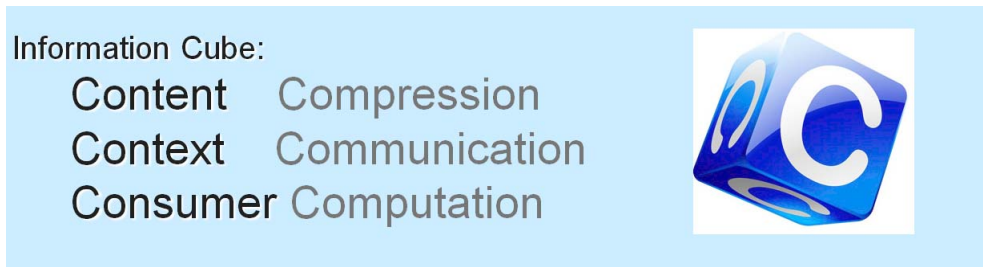
Υπό το πρίσμα των απόψεων που παρατέθηκαν, η κατεύθυνση των “Ψηφιακών Μέσων” επιχειρεί να απαντήσει στο εξής ερώτημα: *Σ’ έναν κόσμο που κατακλύζεται από δωρεάν ψηφιακό περιεχόμενο (βίντεο, εικόνες, μουσική, γραφικά, κ.ο.κ.) 2D, 3D, HD και υφάινεται πάνω σ’ έναν ιστό (Facebook, Twitter, YouTube, Last.fm) που ορίζει κάποιο πλαίσιο συμφραζομένων (κοινωνικών είτε σημασιολογικών), πώς θα αναπτύξουμε νοήμονες αλγορίθμους σε διάφορες εφαρμογές (π.χ. ανάκτηση, κατανόηση) είτε θα συνθέσουμε εικονικούς κόσμους που θα ευχαριστήσουν το χρήστη-καταναλωτή; Ισχυριζόμαστε ότι ισχύει η εξίσωση:*

$$\text{Ψηφιακά Μέσα} = \text{Περιεχόμενο} + \text{Ευφυΐα}$$

που αναφέρεται στις τρεις από τις έξι έδρες του πληροφοριακού κύβου του Σχήματος 1.1 που αναφέρονται στο περιεχόμενο, τα συμφραζόμενα και τον καταναλωτή. Οι αθέατες έδρες του κύβου αφορούν ώριμες τεχνολογίες (π.χ. συμπίεση) είτε υπονοούμενες διεργασίες που γίνονται ούτως ή άλλως (π.χ. υπολογισμοί) ή ερευνητικές περιοχές στις οποίες δεν δραστηριοποιούμαστε προς το παρόν (π.χ. επικοινωνίες). Στη συνοδευτική παρουσίαση γίνεται μια εκτενής παρουσίαση της κατεύθυνσης αυτής.

Πίνακας 1.1: Οργάνωση των ερευνητικών περιοχών της επεξεργασίας σήματος ανά μέσο (media signal processing).

Μέσο/Εφαρμογές	Ήχος/Μουσική	Ομιλία (Προφορικός λόγος)	Εικόνες/Γραφικά	Εικονοσειρές (Βίντεο)	Κείμενα (Γραπτός λόγος)
Κωδικοποίηση, Συμπύκνωση	Κωδικοποίηση ήχου	Κωδικοποίηση ομιλίας	Κωδικοποίηση εικόνας	Κωδικοποίηση βίντεο	Κωδικοποίηση και περμήλη κειμένων
Βελτίωση, Ανάλυση	Εξομάλυνση θορύβου, Διαχωρισμός ηχητικής πηγής, εντοπισμός ηχητικής πηγής με στοιχεία μικροφώνων, χωρικός ήχος	Βελτίωση ομιλίας, ανάλυση ομιλίας, επεξεργασία	Κωδικοποίηση εικόνας	Κωδικοποίηση βίντεο	Κωδικοποίηση και περμήλη κειμένων
Σύνθεση	Μουσική Υπολογιστών	Σύνθεση Ομιλίας	Γραφικά υπολογιστών	Κινούμενα γραφικά	Γένεση φυσικής γλώσσας
Αναγνώριση, Επιλογή-θευση	Ανάλυση ηχητικών σημάτων, Ακουστική ανάλυση υπολογιστών (π.χ. ανίχνευση ομιλίας, μελωδίας, αναγνώριση ταυτότητας τραγουδιστή)	Αναγνώριση ομιλίας/ομιλητών	Αναγνώριση εικόνων (π.χ. αναγνώριση οπτικών χαρακτήρων, αναγνώριση δακτυλικών αποτυπωμάτων)	Όραση υπολογιστών (π.χ. αναγνώριση κειμένων, αναγνώριση τρισδιάστατων αντικειμένων, αναγνώριση προσώπου)	Κατηγοριοποίηση κειμένου, μηχανική μετάφραση
Κατανόηση	Κατανόηση προφορικού λόγου	Κατανόηση προφορικού λόγου	Ανάλυση σκηνών	Κατανόηση γεγονότων/δραστηριοτήτων, εξιστόρηση από βίντεο	Κατανόηση φυσικών γλωσσών
Ανάκτηση, Εξόρυξη	Ανάκτηση μουσικής ανάκτηση ήχων	Ανάκτηση προφορικών κειμένων, αναζήτηση στη φωνή	Ανάκτηση εικόνων με κείμενο, αναζήτηση βάση το περιεχόμενο	Ανάκτηση βίντεο με βάση το περιεχόμενο	Ανάκτηση κειμένων (ανάκτηση πληροφορίας), εξόρυξη κειμένου
Εφαρμογές σε κοινωνικά μέσα	Itunes	Ηχογραφημένες εκπομπές (podcasts)	Διαμοιρασμός εικόνων	Διαμοιρασμός βίντεο blogs, Wiki, Twitter	YouTube, 3D Second Life
Διεπαφές	Πολυτροπική αλληλεπίδραση	Πολυτροπική αλληλεπίδραση	Ανθρώπινη αλληλεπίδραση	Ανθρώπινη αλληλεπίδραση	Ανθρώπινη αλληλεπίδραση
Ασφάλεια, Εργαλεία-τολσάκια	Υδατογράφηση πολυμέσων, κρυπτογράφηση	Υδατογράφηση πολυμέσων, κρυπτογράφηση	Υδατογράφηση πολυμέσων, κρυπτογράφηση	Υδατογράφηση πολυμέσων, κρυπτογράφηση	Υδατογράφηση πολυμέσων, κρυπτογράφηση



Σχήμα 1.1: Πληροφοριακός κύβος.

Διάρθρωση του εκπαιδευτικού υλικού

Το περιεχόμενο του μαθήματος είναι δυναμικό και όχι στατικό: π.χ. η θεώρηση συστήματος μπορεί να αξιοποιηθεί στη σύνθεση και ανάλυση σύνθετων διεργασιών (λ.χ. χρηματιστήριο). Είναι σημαντικό να είναι κανείς εξίσου εξοικειωμένος με την ανάλυση και σύνθεση των συστημάτων συνεχούς χρόνου, αλλά και των διακριτών συστημάτων. Θα παρατεθούν διαδοχικά τα αναλυτικά εργαλεία για τις δύο κατηγορίες συστημάτων. Έμφαση αποδίδεται στην

- **ανάδειξη των ομοιοτήτων** ανάμεσα στις μεθόδους συνεχούς και διακριτού χρόνου,
- **εντοπισμό και κατανόηση των διαφορών** μεταξύ των προσεγγίσεων.

Η σπουδή αποβλέπει

- στη χρήση των βασικών αναλυτικών μεθόδων σε πρακτικά προβλήματα, όπως τα φίλτρα επιλογής συχνοτήτων, δειγματοληψία. Η κατανόηση των αναλυτικών μεθόδων είναι προαπαιτούμενο για τη σχεδίαση ψηφιακών φίλτρων που μελετώνται λεπτομερώς στην Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος.
- στην εκτίμηση του εύρους εφαρμογών και
- στη χάραξη κατευθύνσεων περαιτέρω μελέτης.

Η μεθοδολογία που προκρίνεται συνδυάζει την κατανόηση της θεωρίας, την παραδειγματική επίλυση φροντιστηριακών ασκήσεων καθώς και τη διάθεση σειρών άλυτων ασκήσεων για εξάσκηση των φοιτητών. Βοηθά την καλύτερη κατανόηση της διδασκόμενης ύλης καλή γνώση Γραμμικής Άλγεβρας και στοιχειώδους γνώσης Μιγαδικής Ανάλυσης και Διαφορικών Εξισώσεων. Προσλαμβάνουσες παραστάσεις από τη βασική θεωρία κυκλωμάτων σε επίπεδο Φυσικής

Λυκείου βοηθούν στην κατανόηση των εννοιών. Σε κάθε περίπτωση, η θεωρία αναπτύσσεται αυτοδύναμα.

Ακολούθως περιγράφεται χονδρικά η λογική διάρθρωση της ύλης αποδίδοντας έμφαση στις βασικές έννοιες που μελετώνται. Η χρονική έκθεση στην ύλη του μαθήματος υποδηλώνεται με την αρίθμηση των ενοτήτων.

Ενότητα 1 Εισαγωγικά - Γιατί το μάθημα είναι αναγκαίο; Ποιά είναι τα κίνητρα για τη μελέτη των σημάτων και συστημάτων;

Ενότητα 2 Μαθηματική αναπαράσταση σημάτων και συστημάτων

- **Μετασχηματισμοί ανεξάρτητης μεταβλητής.**
 - Χρονική ολίσθηση (μετατόπιση)
 - Κλιμάκωση.
- **Βασικά σήματα συνεχούς & διακριτού χρόνου**
 - Πραγματικά, φανταστικά, και μιγαδικά εκθετικά
 - Βηματική συνάρτηση (step function)
 - Συνάρτηση μοναδιαίας ώσης ή χρουστικός παλμός (delta function, impulse)
- **Βασικές έννοιες στα συστήματα**
 - Block διάγραμμα συστημάτων
 - Βασικές ιδιότητες συστημάτων:
 - * Με/χωρίς μνήμη
 - * Αιτιατότητα
 - * Γραμμικότητα
 - * Χρονική αμεταβλητότητα
 - * Ευστάθεια

Ενότητα 3 Γραμμικά Χρονοαμετάβλητα Συστήματα (Γ.Χ.Α.)

- Ολοκλήρωμα της συνέλιξης για συστήματα συνεχούς χρόνου
- Άθροισμα της συνέλιξης για συστήματα διακριτού χρόνου
- Γραμμική διαφορική εξίσωση (Γ.Δ.Ε.) με σταθερούς συντελεστές - Γραμμική εξίσωση διαφορών με σταθερούς συντελεστές

- Απευθείας λύση
- Μέθοδοι μετασχηματισμού
- Δομικά στοιχεία υλοποιήσεων συστημάτων
 - Συνεχούς χρόνου: αθροιστές, πολλαπλασιαστές, ολοκληρωτές.
 - Διακριτού χρόνου: αθροιστές, πολλαπλασιαστές, διατάξεις καθυστέρησης.
- Υλοποιήσεις: σειριακή, παράλληλη.

Ενότητα 4 Ανάλυση Fourier για σήματα και συστήματα συνεχούς χρόνου - Περιοδικά σήματα (Σειρά Fourier)

Ενότητα 5 Ανάλυση Fourier για σήματα και συστήματα συνεχούς χρόνου - Μετασχηματισμός Fourier

Ενότητα 7 Ανάλυση Fourier για σήματα και συστήματα διακριτού χρόνου

- Μια ευρεία κατηγορία σημάτων μπορούν να αναπαρασταθούν ως αθροίσματα ή ολοκληρώματα μιγαδικών εκθετικών με συντελεστές. Η απόκριση των Γ.Χ.Α. συστημάτων σε είσοδο που είναι μιγαδικό εκθετικό είναι απλώς το ίδιο εκθετικό πολλαπλασιασμένο μ' ένα μιγαδικό αριθμό (χαρακτηριστικό) του συστήματος. Λέμε ότι τα μιγαδικά εκθετικά είναι **ιδιοσυναρτήσεις** των Γ.Χ.Α. συστημάτων.
- **Σειρά Fourier** περιοδικού σήματος
- **Μετασχηματισμός Fourier** μη-περιοδικού σήματος ορισμένος ως το όριο της σειράς για άπειρη περίοδο
- Ιδιότητες
- Αναλογίες και επέκταση στην ανάλυση σημάτων και συστημάτων διακριτού χρόνου: **διακριτή σειρά Fourier, μετασχηματισμός Fourier διακριτού χρόνου, διακριτός μετασχηματισμός Fourier.**

Ενότητα 6 Μετασχηματισμός Laplace

- Χρήση: Επίλυση Γ.Δ.Ε. με σταθερούς συντελεστές
- Σχέση με το μετασχηματισμό Fourier
- Ρητές συναρτήσεις συστήματος: πόλοι/μηδενικά.

Ενότητα 8 Μετασχηματισμός Z

- Στενά συνδεδεμένος με το μετασχηματισμό Laplace, αλλά για συστήματα διακριτού χρόνου.

Ενότητα 9 Δειγματοληψία

- Αναπαράσταση σημάτων συνεχούς χρόνου με όρους δειγμάτων.
- Ανακατασκευή σήματος από τα δείγματα με παρεμβολή (**Θεώρημα Shannon**).
- Μελέτη του φαινομένου στο πεδίο της συχνότητας. Το πρόβλημα της επικάλυψης.

Το εκπαιδευτικό υλικό (σημειώσεις, διαλέξεις, φροντιστήρια) έχει δεχθεί έντονες επιρροές από τα συγγράμματα των Oppenheim, Schaffer και Nawab [8], του δασκάλου μου Σ. Πανά [25, 26]. Ωστόσο φέρει την προσωπική σφραγίδα του δημιουργού του από τη μακροχρόνια τριβή με τη διδασκαλία του αντικειμένου αναδεικνύοντας τη συνάφειά του με πλειάδα άλλων μαθημάτων. Συμβάλλει έτσι στο να καταδειχθεί η συνοχή της επιστήμης υπερβαίνοντας τους τεχνητούς κατακερματισμούς της. Στο συχωρεμένο Νίκο Μάργαρη οφείλονται οι έξοχες αποδόσεις στην ελληνική των όρων explicit και implicit ως *πρόδηλων* και *άδηλων* (πόλων είτε μηδενικών), αντιστοίχως. Όπως θα διαπιστώσει ο αναγνώστης, προσφέρεται πλούσια βιβλιογραφία όχι μόνο στην Αγγλική, αλλά και στην Ελληνική, τόσο σε επίπεδο θεωρίας, αλλά και υπολογιστικών επιδείξεων σε MATLAB.

Σε χρηστικό επίπεδο για κάθε ενότητα X, όπου $X=1,2,\dots,9$ προσφέρονται

- βιντεοσκοπημένες διαλέξεις θεωρίας και φροντιστηριακών ασκήσεων που βρίσκονται στον κατάλογο Unit_X_videlectures.
- διαδραστικές παρουσιάσεις σε pdf στον κατάλογο Unit_X_slides. Το κύριο αρχείο φέρει το όνομα UnitX_Slides.pdf και ενδεχομένως καλεί επιδείξεις ή πίνακες σε pdf, που παρατίθενται ως ξεχωριστά αρχεία στον προαναφερθέντα κατάλογο. Αν σημειωθούν προβλήματα στο άνοιγμά τους μέσα από το κύριο αρχείο pdf, διορθώστε τα .bat αρχεία παραθέτοντας το πλήρες μονοπάτι προς το συγκεκριμένο εξωτερικό αρχείο. Συνήθως δεν συναντώνται προβλήματα στον Acrobat Professional που συνιστάται. Αν χρησιμοποιηθεί ο Acrobat Reader, οι επιδείξεις αυτές μπορούν να κληθούν ξεχωριστά.

- σημειώσεις θεωρίας, λυμένων φροντιστηριακών ασκήσεων και σειρές άλυτων ασκήσεων που παρατίθενται στον κατάλογο `Unit_X_hands_on` με τα ακόλουθα ονόματα: `UnitX_Notes.pdf`, `UnitX_Tutorials.pdf` και `UnitX_Problems.pdf`, αντιστοίχως.

Βιβλιογραφία

- [1] Ε. Κριαράς, *Νέο Ελληνικό Λεξικό της Σύγχρονης Δημοτικής Γλώσσας*. Αθήνα: Εκδοτική Αθηνών, 1995.
- [2] Γ. Δ. Μπαμπινιώτης, *Λεξικό της Νέας Ελληνικής Γλώσσας*. Αθήνα: Κέντρο Λεξικολογίας, 1998.
- [3] *Λεξικό της Κοινής Νεοελληνικής*. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ινστιτούτο Νεοελληνικών Σπουδών [Ίδρυμα Μανόλη Τριανταφυλλίδη], 1998. Διαθέσιμο: http://www.greek-language.gr/greekLang/modern_greek/tools/lexica/triantafyllides/
- [4] Δ. Ν. Μαρωνίτης, “Χρόνος και σήματα”, *ΤΟ ΒΗΜΑ*, σελ. Α56, 7 Αυγούστου 2008.
- [5] Ε. Φιλίππακη-Warburton, *Εισαγωγή στη Θεωρητική Γλωσσολογία*. Αθήνα: Νεφέλη, 1992.
- [6] J. M. F. Moura, “What is signal processing? President’s Message,” *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 26, no. 6, p. 6, November 2009.
- [7] L. Deng, “Cross-pollination in signal processing technical areas,” *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 26, no. 6, pp. 2-3, November 2009.
- [8] A. V. Oppenheim, A. S. Willsky, and S. H. Nawab, *Signals and Systems*, 2/e. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall International, 1997. (Μετάφραση Τζωρτζόπουλος, Μαμής, κ.ά., *Σήματα και Συστήματα*. Αθήνα: Εκδόσεις Φουντάς, 2011).
- [9] J. McClellan, R. W. Schafer, and M. Yoder, *DSP First: A Multimedia Approach*, 1/e. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998).
- [10] J. McClellan, R. W. Schafer, and M. A. Yoder, *Signal Processing First*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education Prentice Hall, 2003. (Μετάφραση-Επιστημονική επιμέλεια

- E. Z. Ψαρράκης, *Θεμελιώδεις Έννοιες της Επεξεργασίας Σημάτων*. Πάτρα: Εκδόσεις Φιλομάθεια, 2006.)
- [11] H. P. Hsu, *Signals and Systems*. New York, NY: Schaum's Outlines, McGraw-Hill, 1995.
- [12] E. A. Lee and P. Varaiya, *Structure and Interpretation of Signals and Systems*. Boston, MA: Addison Wesley, 2003.
- [13] C. L. Phillips, J. M. Parr, and E. A. Riskin, *Signals, Systems, and Transforms*, 4/e. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2008.
- [14] E. Kudeki and D. C. Munson, Jr., *Analog Signals and Systems*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2009.
- [15] J. Proakis and D. Manolakis, *Digital Signal Processing*, 4/e. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996, 2007.
- [16] S. K. Mitra, *Digital Signal Processing. A Computer-based Approach*, 2/e. Boston, MA: McGraw-Hill International, 2002.
- [17] U. Karrenberg, *An Interactive Multimedia Introduction to Signal Processing (CDROM)*, Springer Verlag, April 2002.
- [18] *The student edition of MATLAB, Version 5: For Windows 95 and Windows NT*. The Mathworks.
- [19] C. S. Burrus, J. H. McClellan, A. V. Oppenheim, T. W. Parks, R. W. Schafer, and H. W. Schuessler, *Computer-Based Exercises for Signal Processing*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1994.
- [20] E. W. Kamen and B. S. Heck, *Fundamentals of Signals and Systems Using MATLAB*, 1/e. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.
- [21] J. R. Buck, M. M. Daniel, and A. C. Singer, *Computer Explorations in Signals and Systems Using MATLAB*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 1997.
- [22] J. G. Proakis and V. K. Ingle, *Digital Signal Processing*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2004.

- [23] J. D. Sherrick, *Concepts in Systems and Signals, 2/e*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education Prentice Hall, 2005.
- [24] T. Dutoit and F. Marques, *Applied Signal Processing. A MATLAB-Based Proof of Concept*. New York, NY: Springer, 2009.
<http://www.springer.com/engineering/signals/book/978-0-387-74534-3>
- [25] Σ. Πανάς, *Επεξεργασία Αναλογικού Σήματος*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press, 1985.
- [26] Σ. Πανάς, *Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press, 1985.
- [27] Ν. Καλουπτσίδης, *Σήματα, Συστήματα και Αλγόριθμοι*. Αθήνα: Δίαυλος, 1994.
- [28] Σ. Θεοδωρίδης, Κ. Μπερμπερίδης και Λ. Κοφίδης, *Εισαγωγή στη Θεωρία Σημάτων & Συστημάτων*. Αθήνα: Τυπωθήτω-Εκδόσεις Γιώργου Δαρδανού, 2003.
- [29] Μ. Η. Hayes, *Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος*, Σειρά Shaum. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα, 2000.
- [30] Γ. Καραγιάννης και Κ. Τζιτζιράχος, *Εισαγωγή στα Σήματα-Συστήματα*, Αθήνα: Παπασωτηρίου, 2003.
- [31] Γ. Γεωργανόπουλος, *Εισαγωγή στη Θεωρία και Επεξεργασία των Ψηφιακών και Αναλογικών Σημάτων*. Θεσσαλονίκη: Κυριακίδης, 2003.
- [32] Γ. Μουστακίδης, *Βασικές Τεχνικές Ψηφιακής Επεξεργασίας Σημάτων*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα, 2003.
- [33] Π. Φωτόπουλος και Α. Βελώνη, *Σήματα και Συστήματα για Τεχνολόγους*. Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική, 2008.
- [34] Α. Παλαμίδης και Α. Βελώνη, *Σήματα και Συστήματα με MATLAB*. Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική, 2008.
- [35] Α. Antoniou, *Ψηφιακή Επεξεργασία Σήματος. Σήματα, Συστήματα και Φίλτρα*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα, 2009.

- [36] Α. Ι. Μάργαρης, *Σήματα και Συστήματα Συνεχούς & Διακριτού Χρόνου*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα, 2012.