

Εισαγωγή στα Ψηφιακά Συστήματα

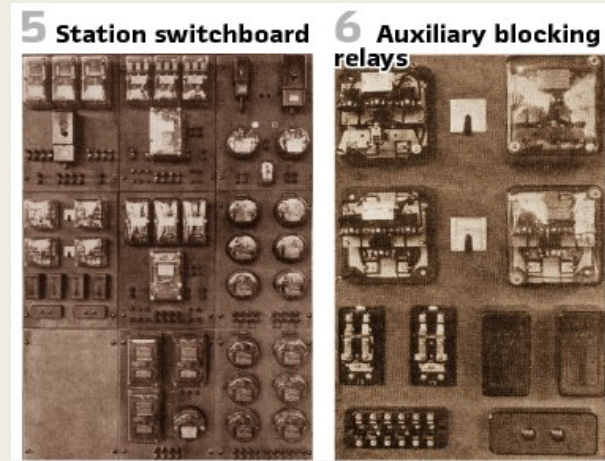
Ομιλητής
Ε.ΔΙ.Π. Διονύσης Βασιλόπουλος



dscal
DIGITAL SYSTEMS & COMPUTER ARCHITECTURE LABORATORY

Τεχνολογική εξέλιξη

- 1930 : ρελέδες (relays)

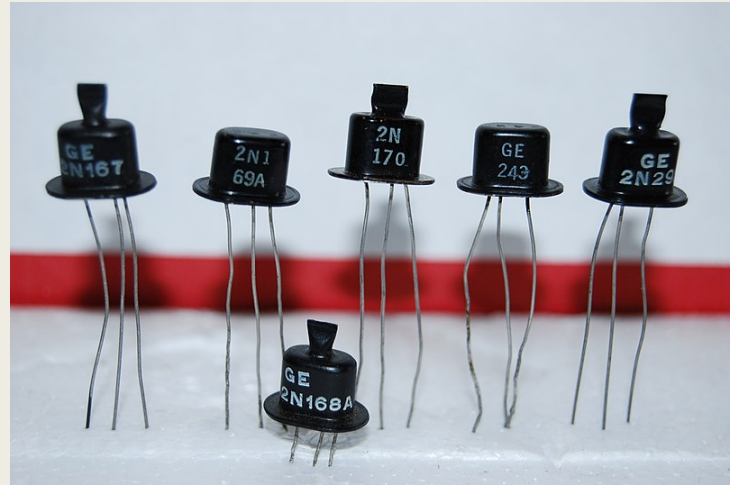


- 1940 : λυχνίες (tubes)
 - ENIAC 19.000 λυχνίες, 30x3x1 m3, 140 KW



Τεχνολογική εξέλιξη

- 1950 : **τρανζίστορ** (transistors)



- 1960 : **ολοκληρωμένα κυκλώματα** (integrated circuits – ICs):
 - μερικές πύλες (4-6) σε ένα chip

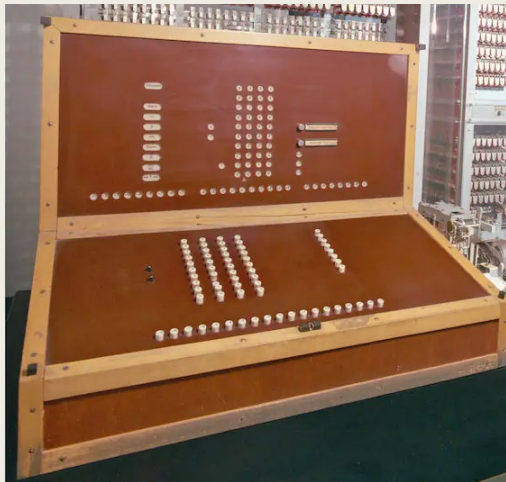


Τεχνολογική εξέλιξη

- 1970 : μικροεπεξεργαστές, μνήμες (RAM, ROM), PLD
 - 1971 i4004, 1972 i8080, 1978 i8086
- 1980-90 : VLSI κυκλώματα
 - ASIC, CPLD, FPGA, DSP, MCM, ...
- 2000 : Σύστημα σε τσιπ (System on Chip - SoC)
 - Η πλακέτα του σήμερα το τσιπ του αύριο
- 2010 : Ετερογενείς τεχνολογίες και 3D σε ένα τσιπ
 - προγραμματιζόμενη λογική + μνήμες + μικροεπεξεργαστές + επεξεργαστές γραφικών + επιταχυντές υλικού σε ένα τσιπ

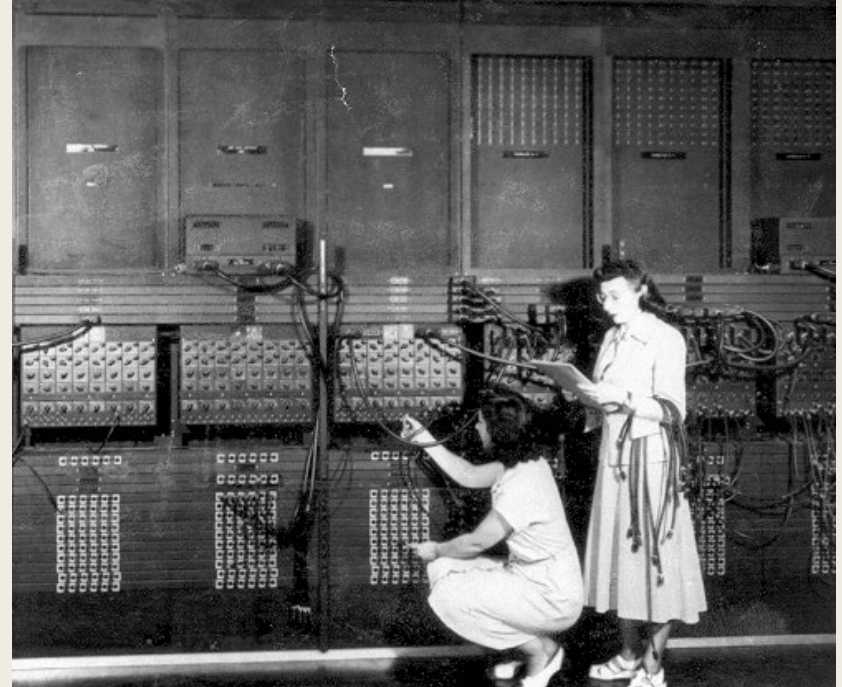
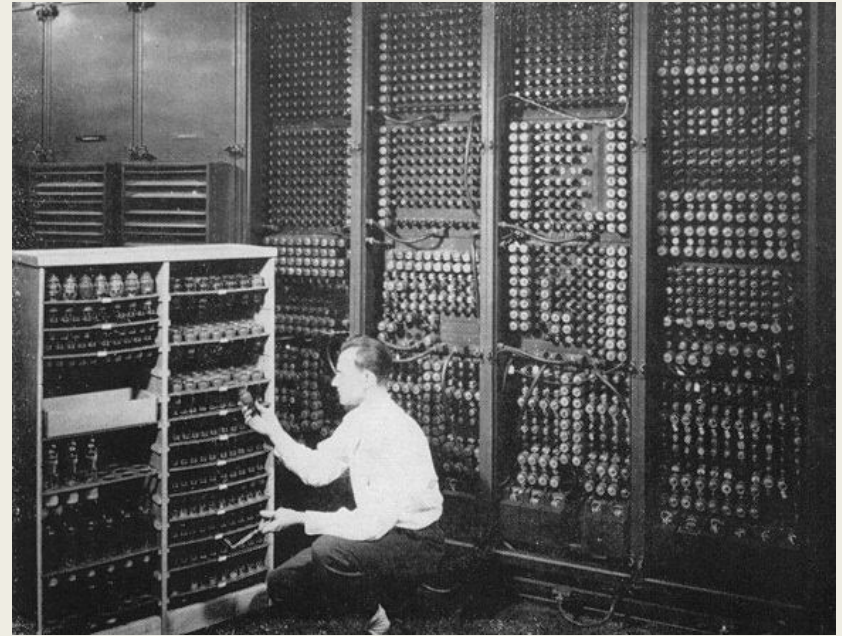
Konrad Zuse's Z3 Computer

- Η αριθμητική μονάδα υποστήριζε δύο αθροιστές, έναν για τους εκθέτες και έναν για το κλασματικό μέρος για πράξεις κινητής υποδιαστολής (πραγματικών αριθμών στα 22 bit)
- 2600 ρελέδες, πρόγραμμα σε φιλμ, αρχικές συνθήκες με το χέρι, 5-10Hz
- 1941-1943



ENIAC

- Αντικατάσταση λυχνίας (19.000 πιθανές βλάβες)
 - 1945-1951
 - $30 \times 2 \times 1$ (Μ*Υ*Π)
 - 5KHz
-
- Εισαγωγή προγράμματος (με κατάλληλη καλωδίωση)



Commodore C64

- MOS Technology 6510/8500, ~1MHz
Μνήμη RAM: 64KB,
Λειτουργικό σύστημα: Commodore KERNAL/BASIC 2.0 GEOS,
Έτος: 1982 (έως και 1994)



- Όλα τα περιφερειακά με εξωτερική σύνδεση

Spectrum ZX

- Z80A, ~3,5MHz (8bit cpu)
Μνήμη RAM: 16KB-128KB,
Λειτουργικό σύστημα: Sinclair Basic,
Έτος: 1982 (έως και 1992)



- Όλα τα περιφερειακά με εξωτερική σύνδεση

Amstrad CPC 6128

- Zilog Z80A @ 4MHz,
Μνήμη RAM: 128KB,
Λειτουργικό σύστημα: AMSDOS, Έτος: 1985 (έως και 1990)

- Είχε δικό του τύπο
δισκέτας



Amstrad CPC 6128

BORDER DASH



Amstrad CPC 6128

Match Day II



Atari 1040 ST

- CPU Motorola 68000, 8+MHz,
Μνήμη RAM: 512KB – 4MB,
Λειτουργικό σύστημα: GEM,
- Έτος: 1985 (έως και 1993)



- External Disk Drive

Amiga 500

- CPU Motorola 68000, 8+MHz, 32 bit
- Μνήμη RAM: 512KB – 4MB, Λειτουργικό σύστημα: Amiga OS
- Έτος: 1980 (έως και 1996)



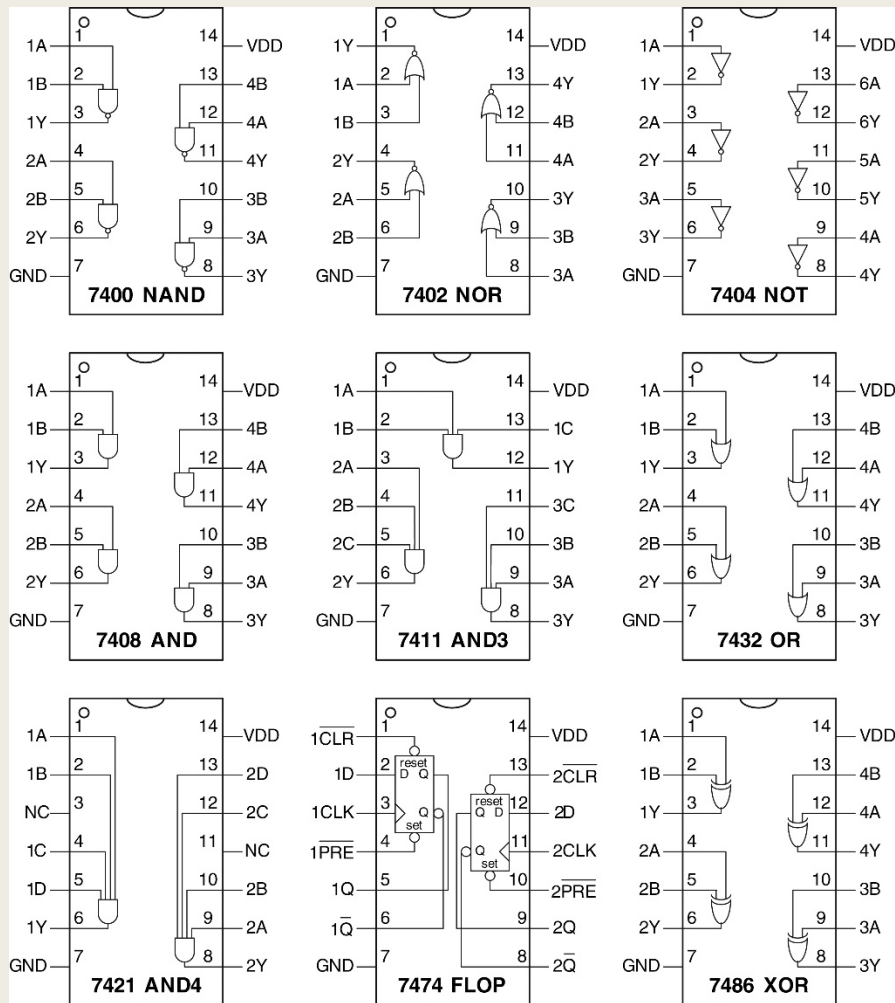
- External Disk Drive

Ολοκληρωμένα κυκλώματα

- **SSI (small scale integration)** : 1-20 πύλες
 - μερικές πύλες σε ένα *chip*
- **MSI (medium scale integration)** : 20-200 πύλες
 - αποκωδικοποιητές, καταχωρητές, μετρητές
- **LSI (large scale integration)** : 200-200.000 πύλες
 - μνήμες, μικροεπεξεργαστές (*μPs*), *PLDs*
- **VLSI (very large scale integration)** : > 500.000 transistors
 - *Application Specific Integrated Circuits* – *ASICs*
 - *Field-Programmable Gate Arrays* – *FPGAs*
 - *Complex Programmable Logic Devices* - *CPLDs*
 - *Digital Signal Processors* - *DSPs*
 - *Multichip Modules* - *MCMs*

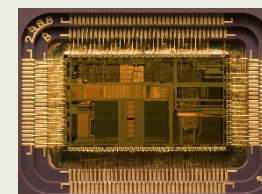
Ολοκληρωμένα κυκλώματα

- Η αρχή: SSI, σειρά 74xx (με 14 ακροδέκτες)



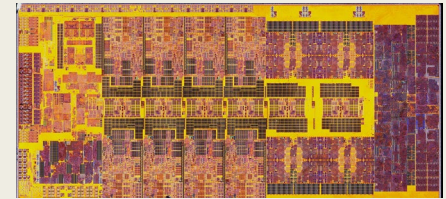
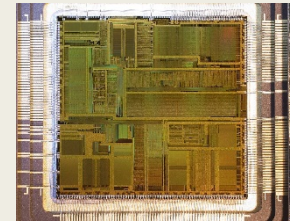
Τεχνολογική εξέλιξη: Intel CPUs

Name	Date Start-End	Speed	Transistors	Power	Bit
8086	1978-1992	5-10Mhz	29K	2W	16bit
80286	1982-1991	4-25Mhz	120K-134K	3.3W	16bit
80386	1985-2007	12-40Mhz	275K+	3W	32bit
80486	1989-2007	16-100Mhz	1.2-1.6M	2-5,4W	32bit



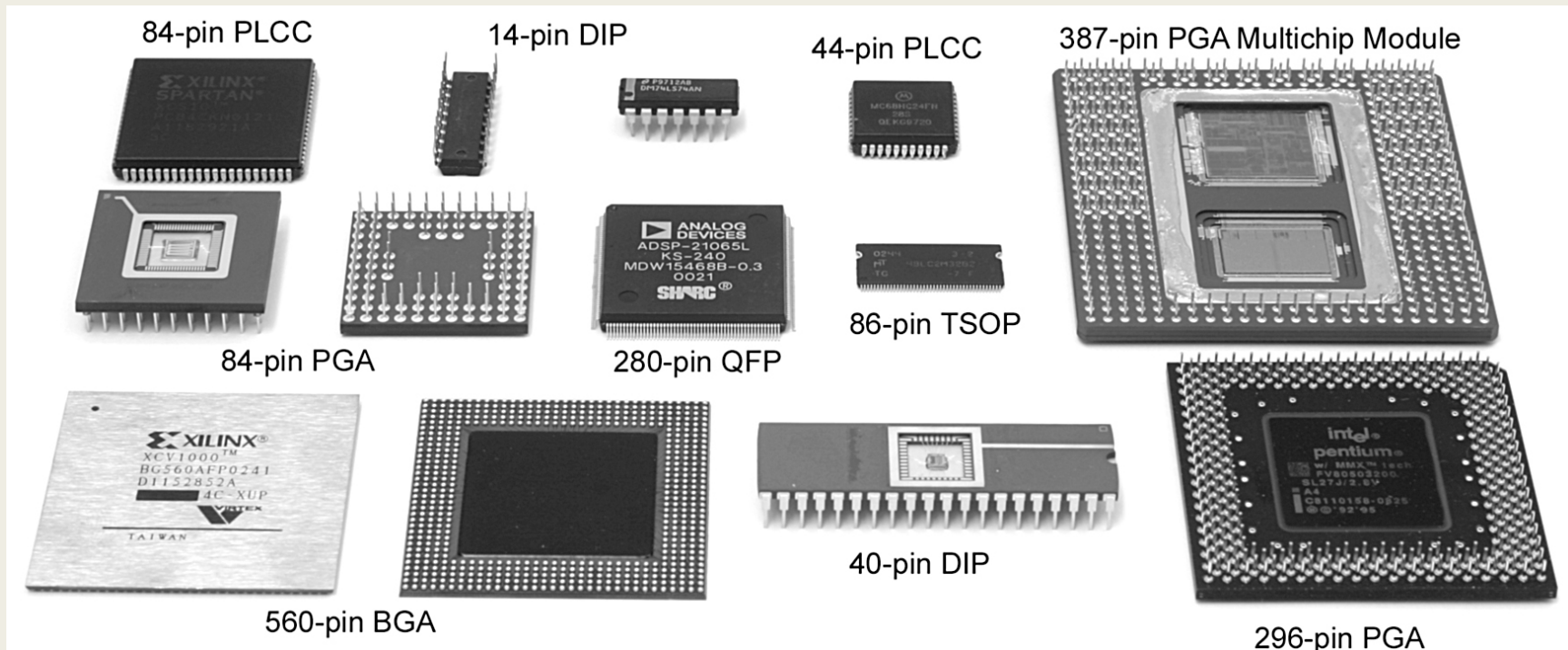
Τεχνολογική εξέλιξη: Intel CPUs

Name	Date Start-End	Speed	Transistors	Power	Bit
80586/ Pentium	1993-1999	60- 300Mhz	3,1-4,5M	9- 15W	32bit
I3-13 th Gen (4 Cores- 8 Threads)	2022	3,4Gh	~9B	60W	64bit
I7-13 th Gen (8 Cores - 16 Threads)	2022	1.5-2.5G	~10B	65- 125W	64bit
19-14 th Gen/Cor e Ultra9 (24Cor.- 32Thr.)	2024	3.2-4.5G	??	35- 150W	64bit



Ολοκληρωμένα κυκλώματα

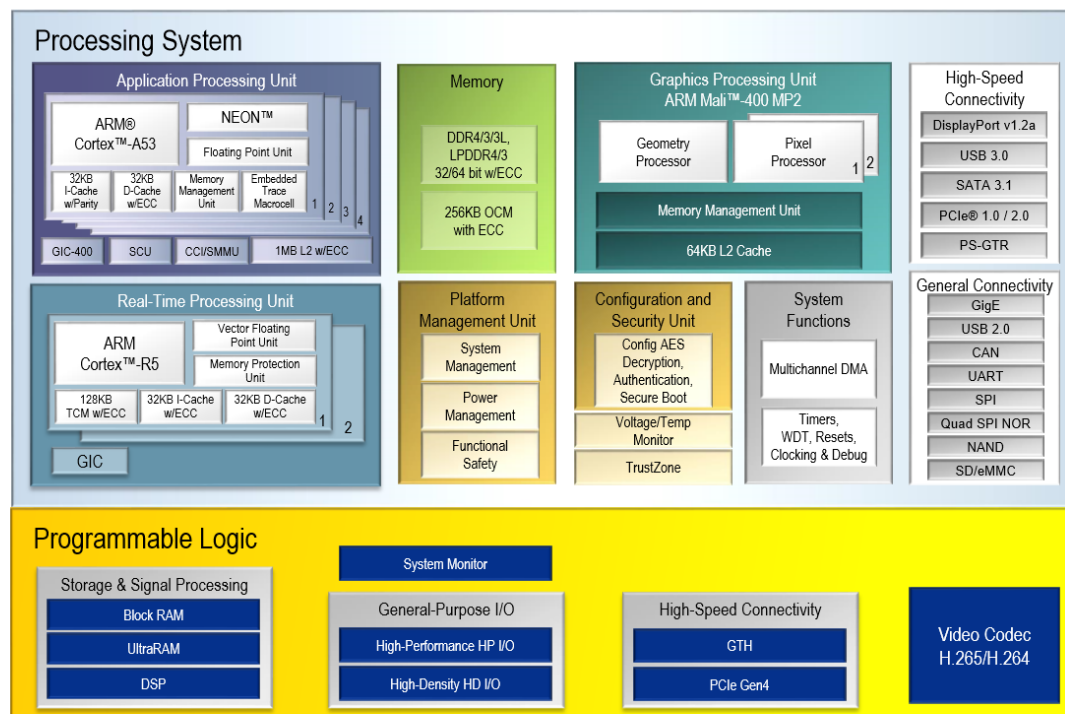
- Η εξέλιξη: SSI-MSI-LSI-VLSI (από 14 μέχρι 560 ακροδέκτες)



Ολοκληρωμένα κυκλώματα

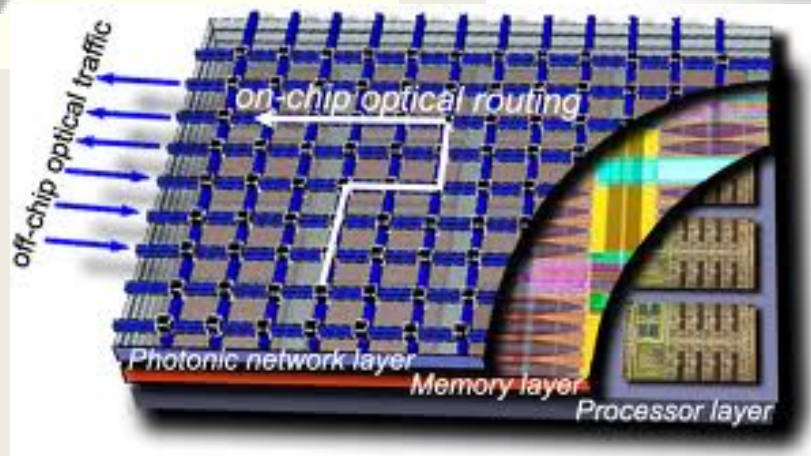
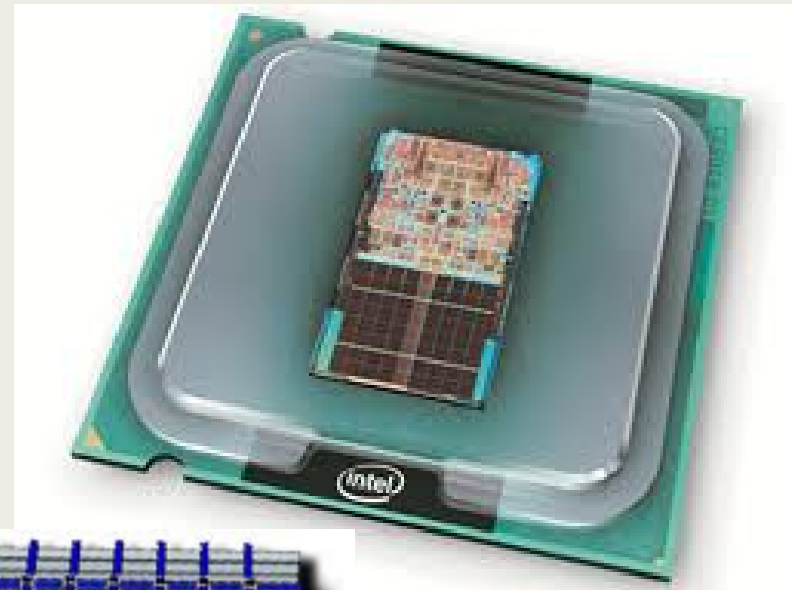
- Η τεχνολογική εξέλιξη που αλλάζει τα δεδομένα του **Hardware**
 - προγραμματιζόμενη λογική + μνήμες + μικροεπεξεργαστές + επεξεργαστές γραφικών + επιταχυντές υλικού σε ένα τσιπ

Zynq® UltraScale+™ MPSoCs: EV Block Diagram

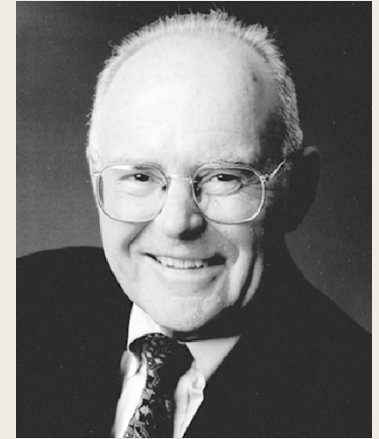


Ολοκληρωμένα κυκλώματα

- Το παρόν (2D και 3D) και το μέλλον (φωτονικοί υπερυπολογιστές)

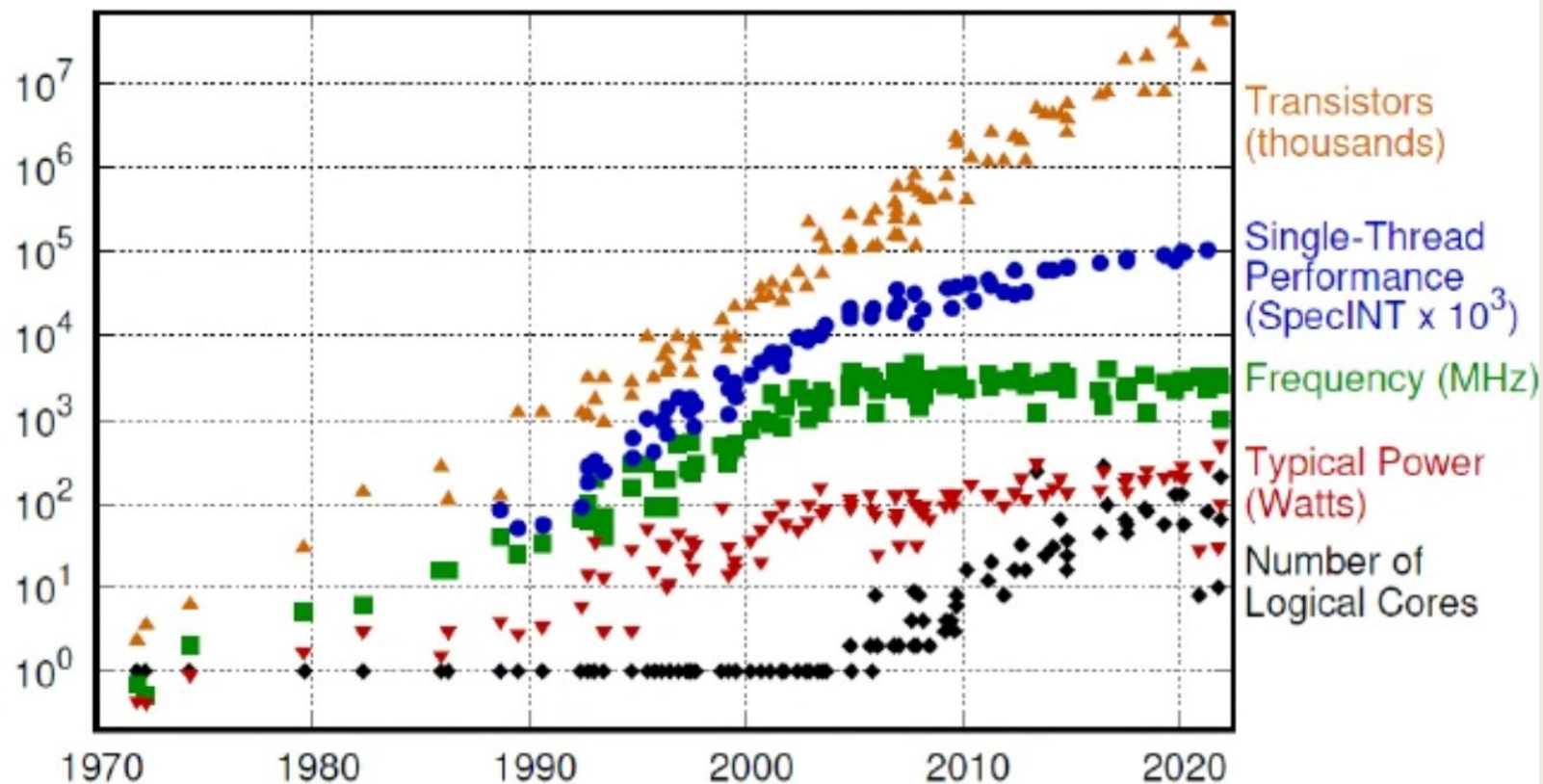


Νόμος του Moore



- Gordon Moore (Σαν Φρανσίσκο, 1929)
- Κάτοχος προπτυχιακού διπλώματος στη Χημεία από το Πανεπιστήμιο Berkeley και διδακτορικού διπλώματος στη Χημεία και τη Φυσική από το Πανεπιστήμιο Caltech
- Το 1968 ίδρυσε την εταιρεία Intel μαζί με τον Robert Noyce
- Το 1965 παρατήρησε ότι **το πλήθος των τρανζίστορ σε ένα τσιπ υπολογιστών διπλασιάζεται κάθε χρόνο**. Αυτή η τάση έχει γίνει ευρύτερα γνωστή ως **Νόμος του Moore**
- Από το 1975 και έπειτα, **το πλήθος των τρανζίστορ διπλασιάζεται κάθε δύο χρόνια**, ενώ **η απόδοση των μικροεπεξεργαστών διπλασιάζεται κάθε 18 με 24 μήνες**
- Το νόμο του Moore ακολουθούν και **οι μνήμες (τεχνολογίας SRAM, DRAM, HDD, SSD)** του ιεραρχικού συστήματος μνήμης, αλλά με μικρότερους ρυθμούς
- Οι **πωλήσεις των ημιαγωγών** εμφανίζουν και αυτές εκθετική αύξηση
- Ο Νόμος του Moore έχει αποτελέσει την κινητήρια δύναμη πίσω από την απίστευτη πρόοδο που έχει σημειωθεί στη **βιομηχανία των ημιαγωγών** τα 50 τελευταία χρόνια, που οδηγεί στη ψηφιακή εποχή

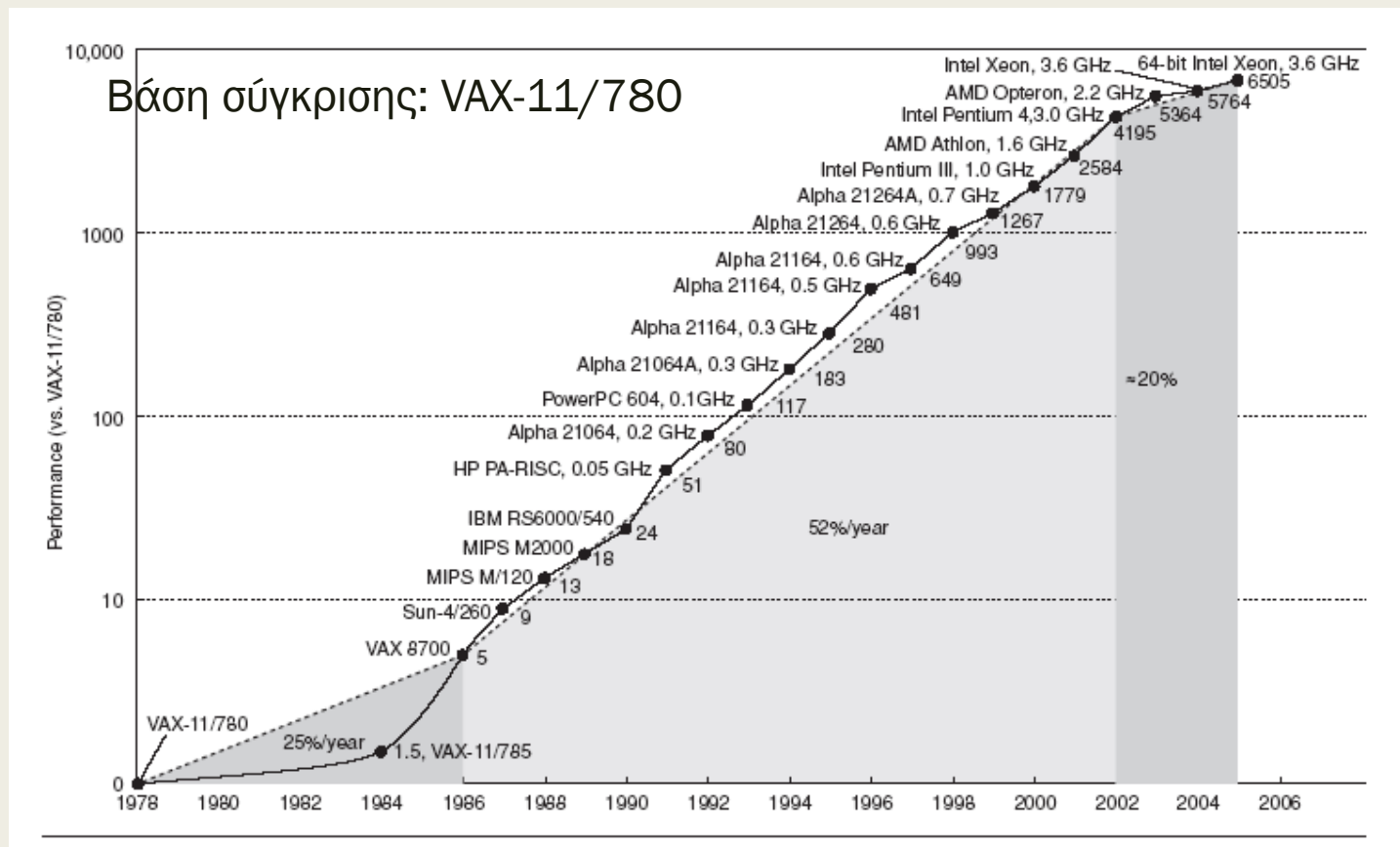
Νόμος του Moore



Source: Karl Rupp, <https://github.com/karlrupp/microprocessor-trend-data>

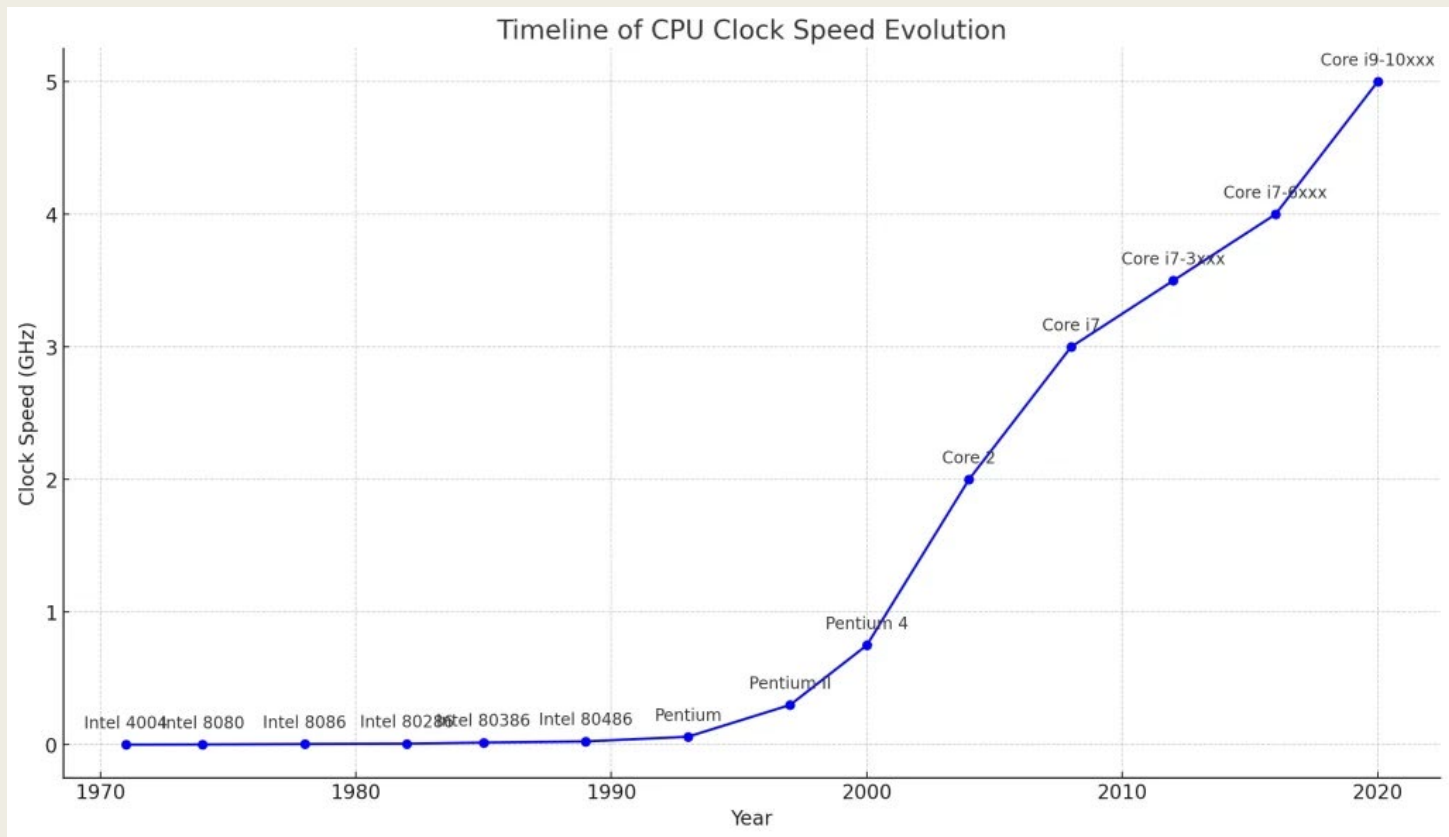
Εξέλιξη μικροεπεξεργαστών

- Σε **30 χρόνια** η απόδοση ενός μP έχει αυξηθεί **> 6.000 φορές**.
Ο κορεσμός αντιμετωπίσθηκε με τους **πολυπύρηνους επεξεργαστές**



Εξέλιξη μικροεπεξεργαστών

■ Εξέλιξη ταχύτητας CPU

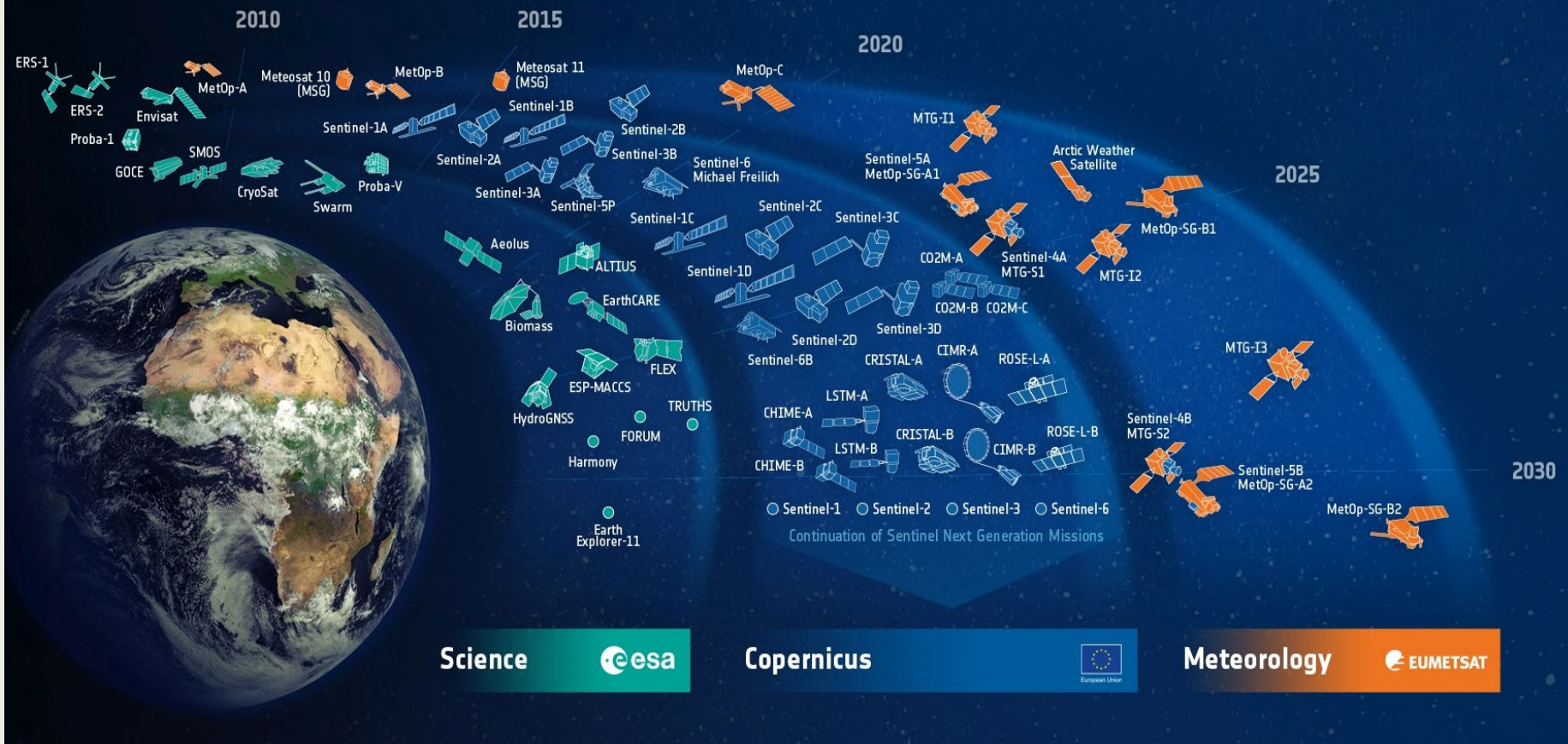


<https://outbyte.com/blog/exploring-cpu-clock-speed/>

Ο νόμος του Moore στην διαστημική

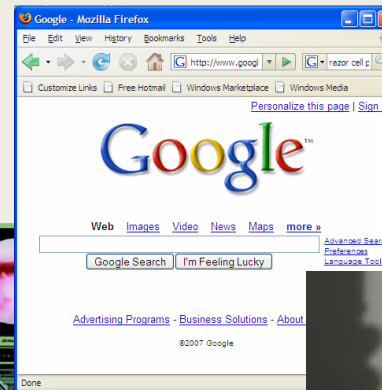
- Εκθετική αύξηση στις διαστημικές αποστολές παρατήρησης γης

ESA UNCLASSIFIED – For Official Use



Εφαρμογές μικροεπεξεργαστών

- Οι μικροεπεξεργαστές έχουν εξελιχτεί σε μεγάλο βαθμό τις τέσσερις τελευταίες δεκαετίες:
 - Υπολογιστικά συστήματα
 - Αυτοκίνητα
 - Κινητά τηλέφωνα
 - Διαδίκτυο
 - Όργανα ιατρικής



Διαχείριση Πολυπλοκότητας

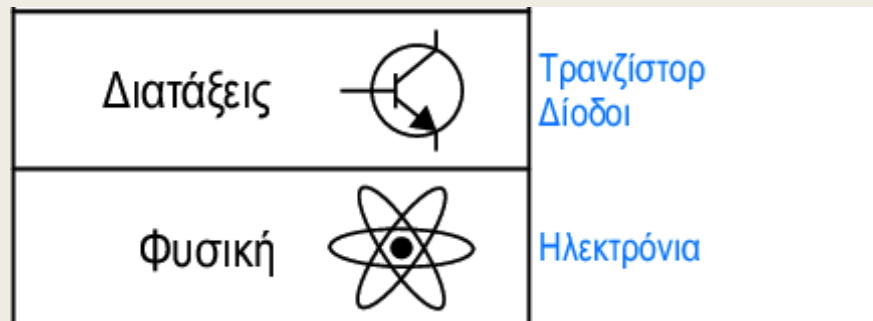
- Για την κατασκευή ενός μικροεπεξεργαστή χρειάζεται πολύ **μεγάλος αριθμός τρανζίστορ** (πάνω από 1 δισεκατομμύριο)
 - *Η κατανόηση του είναι αδύνατη χωρίς να γίνεται διαχείριση της πολυπλοκότητας*
- Τρόποι **διαχείρισης της πολυπλοκότητας**
 - *Αφαίρεση (Abstraction)*
 - *Πειθαρχία (Discipline)*
 - *Τα τρία «Α»*
 - **Ιεραρχία** (hierarchy),
 - **Τμηματικότητα** (modularity)
 - **Κανονικότητα** (regularity)

Αφαίρεση (Abstraction)

- Η **αφαίρεση** είναι μία τεχνική διαχείρισης της πολυπλοκότητας
 - Πληροφορίες οι οποίες **δεν είναι σημαντικές** πρέπει να αποκρύπτονται
- Παραδείγματα αφαίρεσης:
 - Η Ελλάδα χωρίζεται σε νομούς
 - Κάθε νομός έχει έναν αριθμό πόλεων
 - Ένας πολιτικός στην προεκλογική του εκστρατεία θα εστιάσει την προσοχή του στο πως θα ψηφίσει **ο νομός σαν σύνολο και όχι στις επιμέρους ψήφους της κάθε πόλης**

Επίπεδα Αφαίρεσης Υ/Σ*

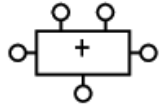
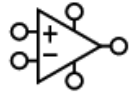
- **1^ο επίπεδο:** η κίνηση των ηλεκτρονίων
 - Η κίνησή τους περιγράφεται στις εξισώσεις Maxwell και την κβαντική μηχανική
- **2^ο επίπεδο:** οι ηλεκτρονικές διατάξεις από τις οποίες ένα σύστημα κατασκευάζεται, π.χ., τρανζίστορ, δίοδοι, κλπ.
 - Οι διατάξεις αυτές διαθέτουν καλώς ορισμένα σημεία σύνδεσης που ονομάζονται **τερματικά σημεία** και περιγράφονται από την **σχέση μεταξύ τάσης και ρεύματος**
 - Μπορούμε να αγνοήσουμε τα μεμονωμένα ηλεκτρόνια



*Υ/Σ: υπολογιστικό σύστημα

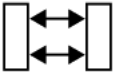
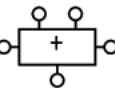
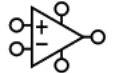
Επίπεδα Αφαίρεσης Υ/Σ

- **3^ο επίπεδο:** τα αναλογικά κυκλώματα
 - Παίρνουν ως είσοδο και δημιουργούν σαν έξοδο **ένα συνεχές εύρος τιμών τάσης**
 - Η σύνδεση τους μπορεί να παράξει ηλεκτρονικά κυκλώματα όπως οι ενισχυτές και τα φίλτρα
- **4^ο επίπεδο:** τα ψηφιακά κυκλώματα
 - Περιορίζουν τις τάσεις/εισόδους σε **διακριτό εύρος τιμών** το οποίο θα αντιστοιχούμε σε 0 και 1 και παράγουν αντίστοιχες εξόδους
 - Η πιο απλή κατηγορία των ψηφιακών κυκλωμάτων είναι οι **λογικές πύλες**
- **5^ο επίπεδο:** η λογική σχεδίαση
 - Με την βοήθεια των λογικών πυλών, κατασκευάζονται πιο **σύνθετες δομές**, όπως οι αθροιστές και οι μνήμες

Λογική		Αθροιστές Μνήμες
Ψηφιακά κυκλώματα		Πύλες AND Πύλες NOT
Αναλογικά κυκλώματα		Ενισχυτές Φίλτρα
Διατάξεις		Τρανζίστορ Δίοδοι
Φυσική		Ηλεκτρονία

Επίπεδα Αφαίρεσης Υ/Σ

- 6^ο επίπεδο: η μικροαρχιτεκτονική
 - Συνδέει τα επίπεδα που σχετίζονται με τη λογική και την αρχιτεκτονική
 - Περιλαμβάνει τον **συνδυασμό ψηφιακών κυκλωμάτων** με στόχο την εκτέλεση των εντολών που ορίζονται από το επίπεδο της αρχιτεκτονικής
 - Πολλές μικροαρχιτεκτονικές με **διαφορετικούς συμβιβασμούς** σε κόστος, επιδόσεις και κατανάλωση ισχύος υλοποιούν την ίδια αρχιτεκτονική
- 7^ο επίπεδο: η αρχιτεκτονική
 - περιγράφει έναν υπολογιστή από την **οπτική γωνία του προγραμματιστή**
 - Η INTELx86 ορίζεται από ένα σύνολο εντολών και καταχωρητών που μπορεί να χρησιμοποιήσει ο προγραμματιστής

Αρχιτεκτονική		Εντολές Καταχωρητές
Μικρο-αρχιτεκτονική		Διαδρομές δεδομένων Ελεγκτές
Λογική		Αθροιστές Μνήμες
Ψηφιακά κυκλώματα		Πύλες AND Πύλες NOT
Αναλογικά κυκλώματα		Ενισχυτές Φίλτρα
Διατάξεις		Τρανζίστορ Δίοδοι
Φυσική		Ηλεκτρόνια

Επίπεδα Αφαίρεσης Υ/Σ

- 8^ο επίπεδο: το λειτουργικό σύστημα
 - Διαχειρίζεται λειτουργίες *χαμηλού επιπέδου*, όπως
 - Προσπέλαση σκληρού δίσκου
 - Διαχείριση μνήμης
- 9^ο επίπεδο: το λογισμικό εφαρμογών
 - Εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες του λειτουργικού συστήματος για να λύσει ένα πρόβλημα για λογαριασμό του χρήστη
- Η δύναμη της αφαίρεσης:
 - Σερφάρουμε στο διαδίκτυο χωρίς να νοιαζόμαστε για τις κβαντικές ταλαντώσεις των ηλεκτρονίων

Λογισμικό εφαρμογών		Προγράμματα
Λειτουργικά συστήματα		Προγράμματα οδήγησης διατάξεων/συσκευών
Αρχιτεκτονική		Εντολές Καταχωρητές
Μικρο-αρχιτεκτονική		Διαδρομές δεδομένων Ελεγκτές
Λογική		Αθροιστές Μνήμες
Ψηφιακά κυκλώματα		Πύλες AND Πύλες NOT
Αναλογικά κυκλώματα		Ενισχυτές Φίλτρα
Διατάξεις		Τρανζίστορ Δίοδοι
Φυσική		Ηλεκτρόνια

Επίπεδα Αφαίρεσης Υ/Σ

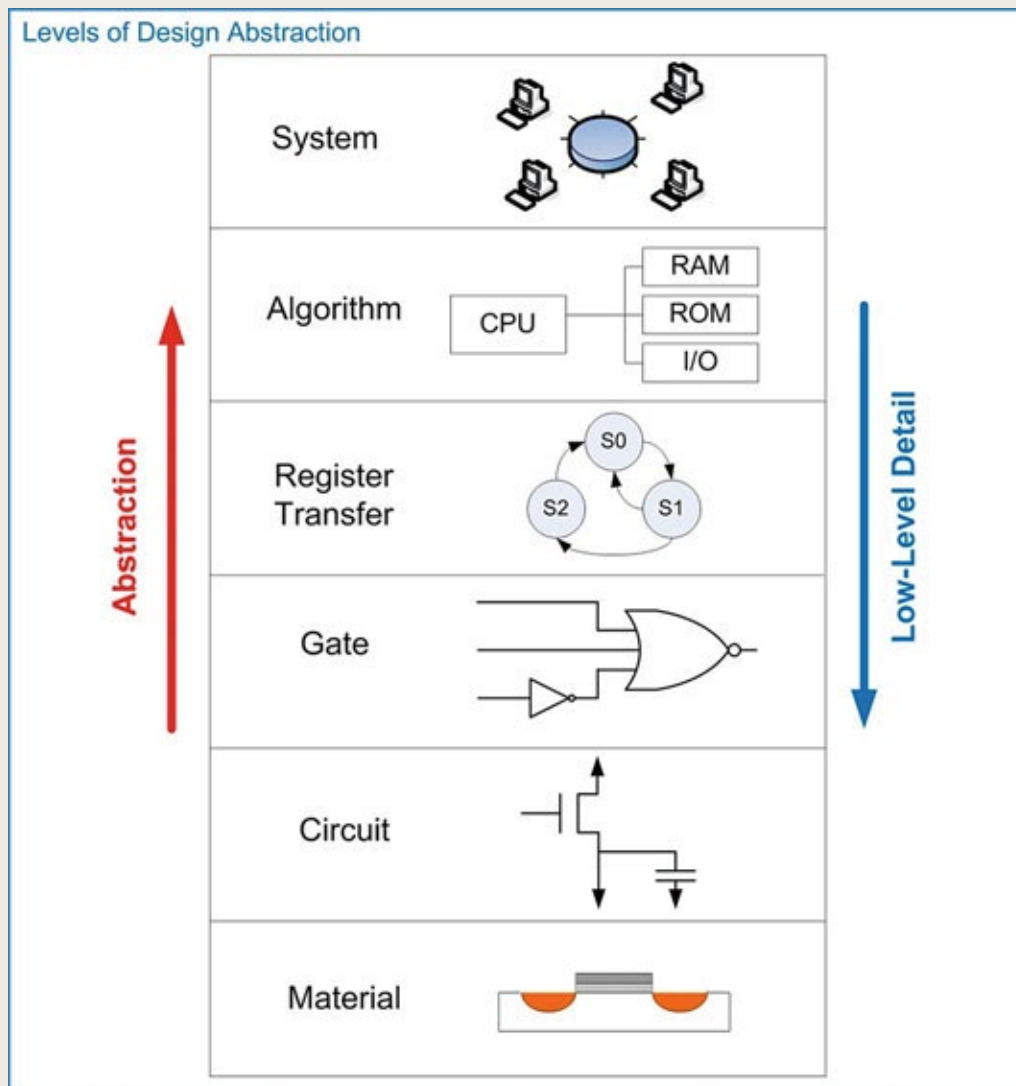
Λογισμικό εφαρμογών		Προγράμματα
Λειτουργικά συστήματα		Προγράμματα οδήγησης διατάξεων/συσκευών
Αρχιτεκτονική		Εντολές Καταχωρητές
Μικρο-αρχιτεκτονική		Διαδρομές δεδομένων Ελεγκτές
Λογική		Αθροιστές Μνήμες
Ψηφιακά κυκλώματα		Πύλες AND Πύλες NOT
Αναλογικά κυκλώματα		Ενισχυτές Φίλτρα
Διατάξεις		Τρανζίστορ Δίοδοι
Φυσική		Ηλεκτρόνια

Αρχιτεκτονική
Υπολογιστών

Ψηφιακή
Σχεδίαση

Ηλεκτρονική

Επίπεδα Αφαίρεσης Υ/Σ



Πειθαρχία

- Η **πειθαρχία** ορίζεται ως ο εσκεμμένος περιορισμός των σχεδιαστικών επιλογών ενός ατόμου με σκοπό την πιο παραγωγική εργασία σε ένα υψηλότερο επίπεδο αφαίρεσης
- Δημιουργία **προτύπων** που οδηγεί σε συμβατά ανταλλακτικά
- Τα **ψηφιακά κυκλώματα** προτιμώνται από τα αναλογικά επειδή είναι **πιο εύκολα στην σχεδιασή τους** και έχουν τελικά **καλύτερες επιδόσεις** από τα αντίστοιχα αναλογικά συστήματα σε πολλές εφαρμογές, όπως:
 - Ψηφιακές τηλεοράσεις
 - Ψηφιακοί δίσκοι
 - Κινητά τηλέφωνα

Τα τρία «Α»

■ **Ιεραρχία** (hierarchy)

- Περιλαμβάνει την συνεχή υποδιαίρεση ενός συστήματος σε **υπομονάδες** μέχρι αυτές να είναι εύκολα κατανοήσιμες και υλοποιήσιμες

■ **Τμηματικότητα** (modularity)

- Ορίζει ότι οι υπομονάδες πρέπει να έχουν **καλώς ορισμένες λειτουργίες και διασυνδέσεις** έτσι ώστε να μην δημιουργηθεί πρόβλημα στην επικοινωνία τους

■ **Κανονικότητα** (regularity)

- Αποσκοπεί στο να υπάρχει **ομοιομορφία** μεταξύ των λειτουργικών μονάδων
- Οι κοινές ομάδες **επαναχρησιμοποιούνται** πολλές φορές
- Με αυτόν τον τρόπο ελαττώνεται ο αριθμός των διαφορετικών μονάδων που πρέπει να σχεδιαστούν

Παράδειγμα: Personal Computer(PC)

- Ιεραρχία
 - Τρεις βασικές υπομονάδες
 - Οθόνη
 - Πληκτρολόγιο
 - Tower (κουτί ΗΥ)

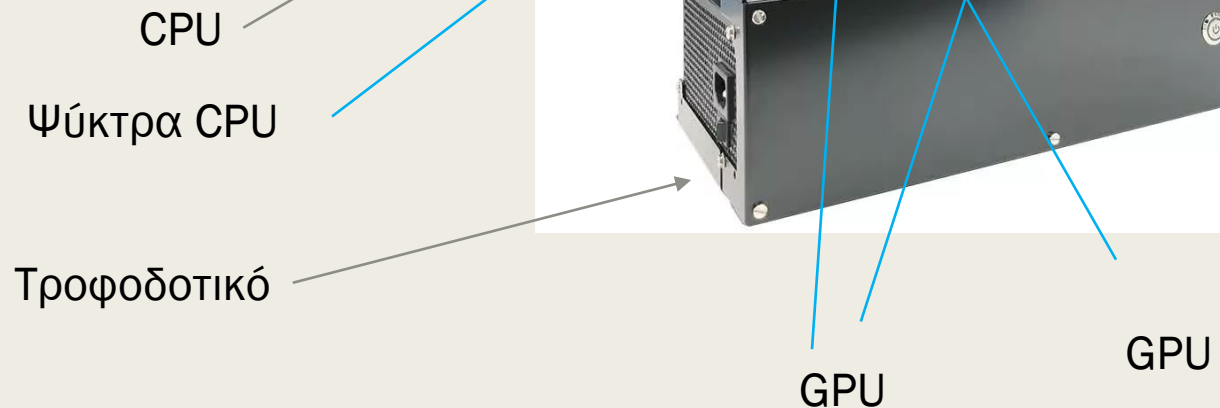


Παράδειγμα: Personal Computer(PC)

■ Ιεραρχία

– Υπομονάδες του Tower

- Τροφοδοτικό (PSU)
- Κάρτες γραφικών (GPU)
- Μητρική κάρτα (MB)
- Επεξεργαστής (CPU)
- Ψύκτρα επεξεργαστή
-



Παράδειγμα: Personal Computer(PC)

■ Τμηματικότητα

- Λειτουργία του MB είναι να επιτρέψει την επικοινωνία των διάφορων υποσυστημάτων που συνδέονται σε αυτό.
- Η σχεδίαση του MB θα πρέπει να επιτρέπει την σύνδεση σε αυτό των PSU, GPU, CPU, RAM ,... αρκεί να ακολουθούνται συγκεκριμένα πρότυπα.
- Το ίδιο το MB θα πρέπει να ακολουθεί συγκεκριμένα πρότυπα λειτουργίας (τάσης λειτουργίας, μεγέθους, κλπ), ώστε να επιτρέπει τη διασύνδεσή του με άλλες υπομονάδες (PSU, κουτί ΗΥ, κλπ)
- BIOS που συντονίζει τη λειτουργία
- Ανταλλακτικά από διαφορετικούς κατασκευαστές



■ Κανονικότητα

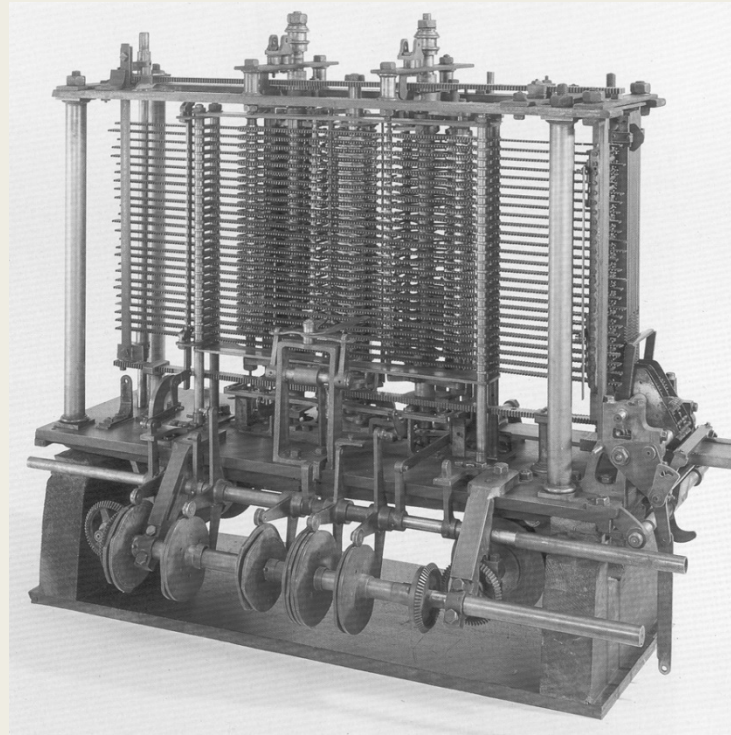
- Ένας Usb controller χρησιμοποιείται για 2/3.. θύρες Usb. Έχοντας πολλούς ίδιους usb controller αυξάνουμε τις διαθέσιμες θύρες Usb
- Το ίδιο έχουμε με SATA Controller (HDs), Ram slots, ...

Ψηφιακή «Αφαίρεση»

- Οι περισσότερες φυσικές μεταβλητές παίρνουν συνεχείς τιμές, αλλά στα ψηφιακά συστήματα οι πληροφορίες αναπαρίστανται με μεταβλητές διακριτών τιμών που παίρνουν πεπερασμένο πλήθος διαφορετικών τιμών
- Charles Babbage, 1834-1871
 - *Εφηύρε την Αναλυτική Μηχανή, ένα από τα πρώτα ψηφιακά συστήματα που χρησιμοποιούσε μεταβλητές με δέκα διακριτές τιμές τις οποίες υλοποιούσαν γρανάζια των δέκα θέσεων*
- Την σημερινή εποχή η πλειοψηφία των ψηφιακών συστημάτων κάνει χρήση δύο τιμών:
 - *Το '1' (HIGH) το οποίο υποδηλώνεται με υψηλή τάση*
 - *Το '0' (LOW) το οποίο υποδηλώνεται με χαμηλή τάση*

Η αναλυτική μηχανή του Babbage

- Είχε 25 σειρές γραναζιών των 10 θέσεων και συνεπώς διέθετε ακρίβεια 25 ψηφίων



<https://www.computerhistory.org/babbage/>
https://en.wikipedia.org/wiki/Difference_engine

Αριθμητικά συστήματα

Δεκαεξαδικό	Δεκαδικό	Δυαδικό
0	0	0000
1	1	0001
2	2	0010
3	3	0011
4	4	0100
5	5	0101
6	6	0110
7	7	0111

Δεκαεξαδικό	Δεκαδικό	Δυαδικό
8	8	1000
9	9	1001
A	10	1010
B	11	1011
C	12	1100
D	13	1101
E	14	1110
F	15	1111

Δυαδικές κωδικοποιήσεις με 4 bit

- Μη προσημασμένοι αριθμοί
- Εύρος τιμών στα 4 bit: $[0, 2^4 - 1]$

Δεκαδικός	Μη προσημασμένος
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111

Δεκαδικός	Μη προσημασμένος
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111

Δυαδικές κωδικοποιήσεις με 4 bit

- Προσημασμένοι αριθμοί **προσήμου-μεγέθους**
- Εύρος τιμών στα 4 bit: $[-(2^3-1), 2^3-1]$

Δεκαδικός	Προσημασμένος προσήμου μεγέθους
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111

Δεκαδικός	Προσημασμένος προσήμου μεγέθους
-0	1000
-1	1001
-2	1010
-3	1011
-4	1100
-5	1101
-6	1110
-7	1111

Δυαδικές κωδικοποιήσεις με 4 bit

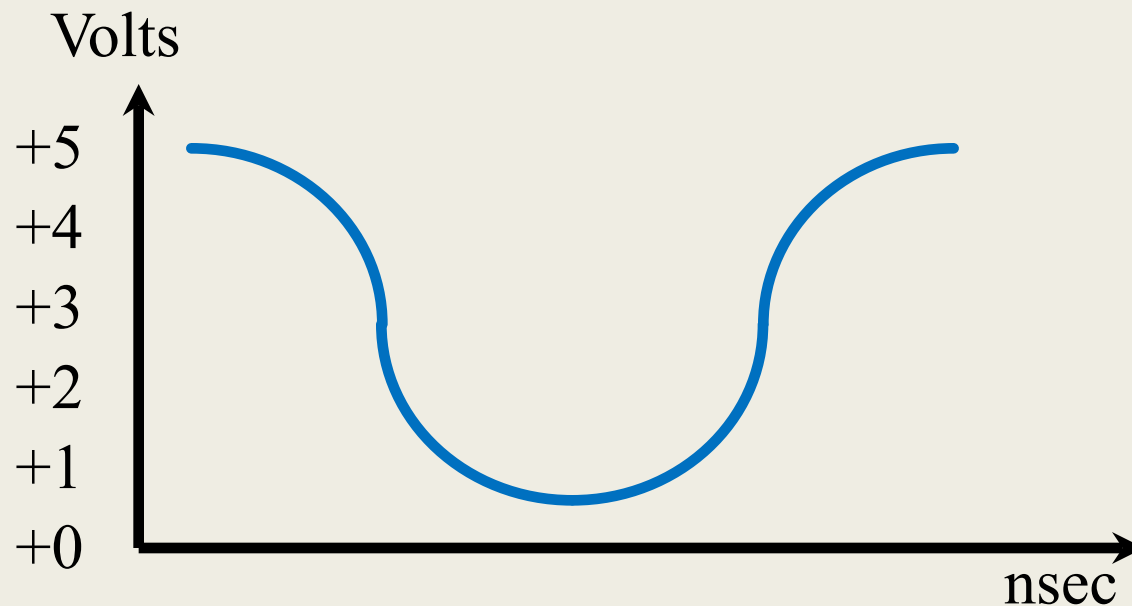
- Προσημασμένοι αριθμοί **συμπληρώματος ως προς δύο**
- Εύρος τιμών στα N bit: $[-2^3, 2^3-1]$

Δεκαδικός	Προσημασμένος συμπλήρωμα ως προς δύο
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111

Δεκαδικός	Προσημασμένος συμπλήρωμα ως προς δύο
-8	1000
-7	1001
-6	1010
-5	1011
-4	1100
-3	1101
-2	1110
-1	1111

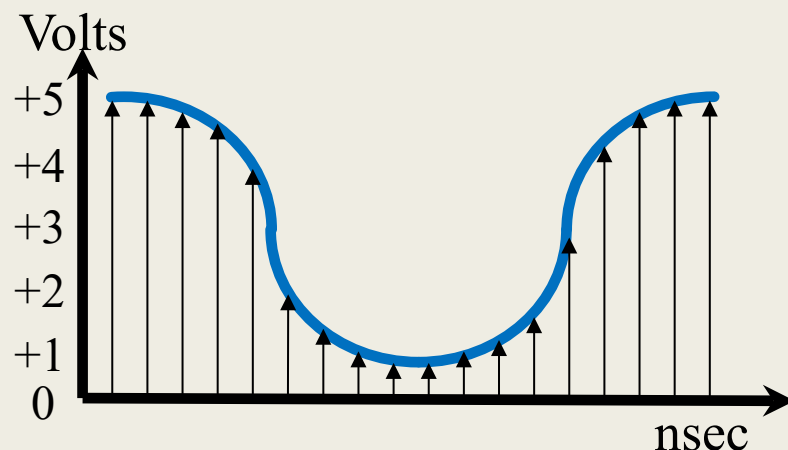
Αναλογικά συστήματα

- Επεξεργάζονται συνεχή ηλεκτρικά σήματα, που μεταβάλλονται σαν συναρτήσεις του χρόνου



Ψηφιακά συστήματα

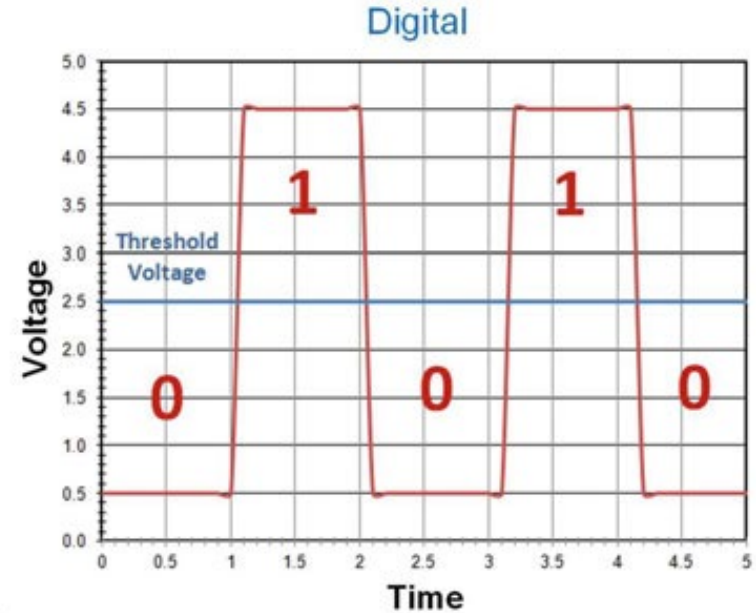
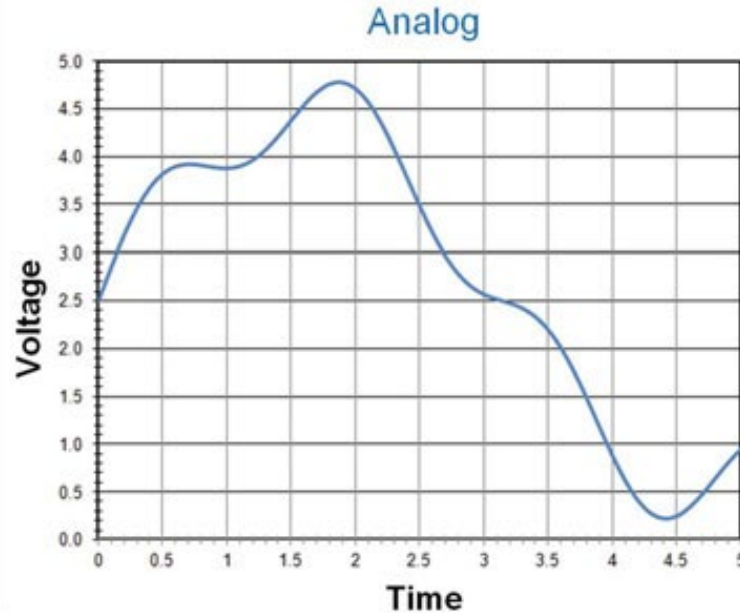
- Συστήματα Υπολογιστών
- Συστήματα Επικοινωνιών
- Συστήματα Επεξεργασίας Σήματος
- Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου
 - ψηφιακή επεξεργασία δεδομένων
 - ψηφιακή λήψη δεδομένων
 - ψηφιακή απόκριση
 - αναλογική λήψη δεδομένων
 - μετατροπή της πληροφορίας από αναλογική σε ψηφιακή
με Analog to Digital Converter – ADC
(δειγματοληψία + κβαντοποίηση σε ακέραιους αριθμούς 10-16 bit)
 - αναλογική απόκριση
 - μετατροπή της πληροφορίας από ψηφιακή σε αναλογική
με Digital to Analog Converter – DAC



Ψηφιακά συστήματα

Analog vs. Digital Signals

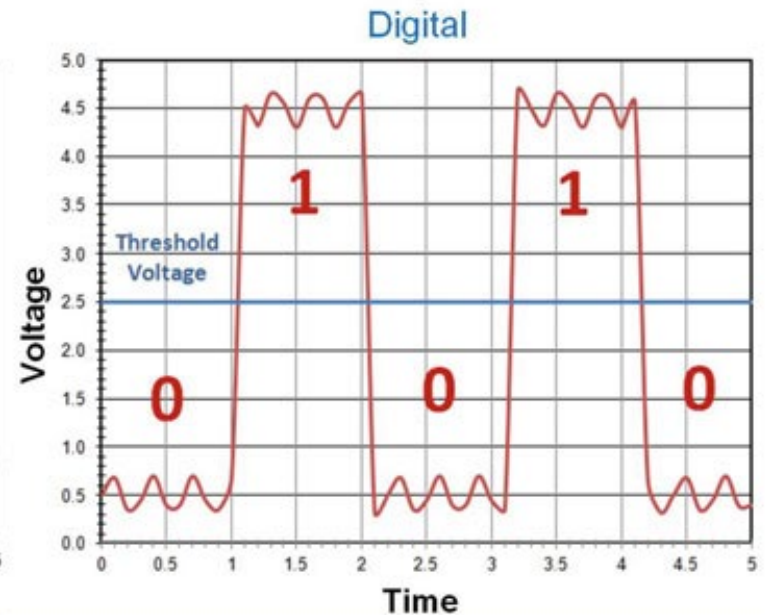
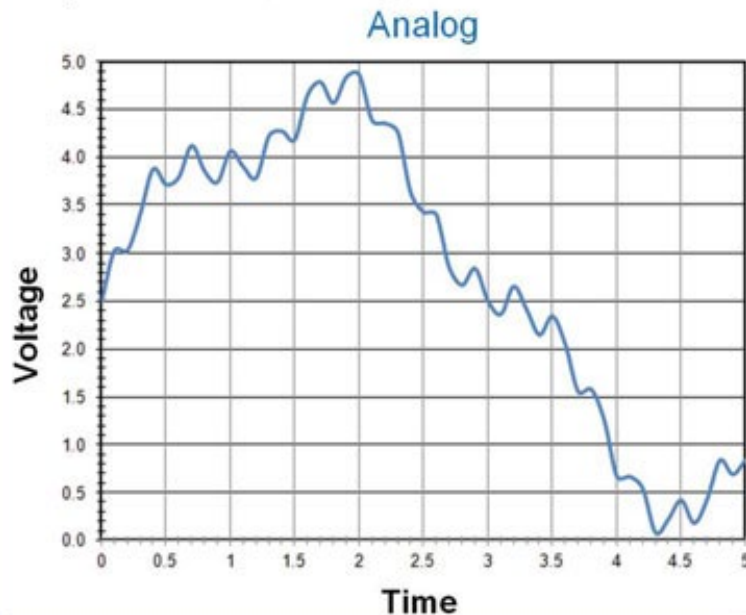
An “analog” signal is a continuous, time-varying electrical quantity that represents the actual information. A “digital” signal is a discrete representation of the information.



Ψηφιακά συστήματα

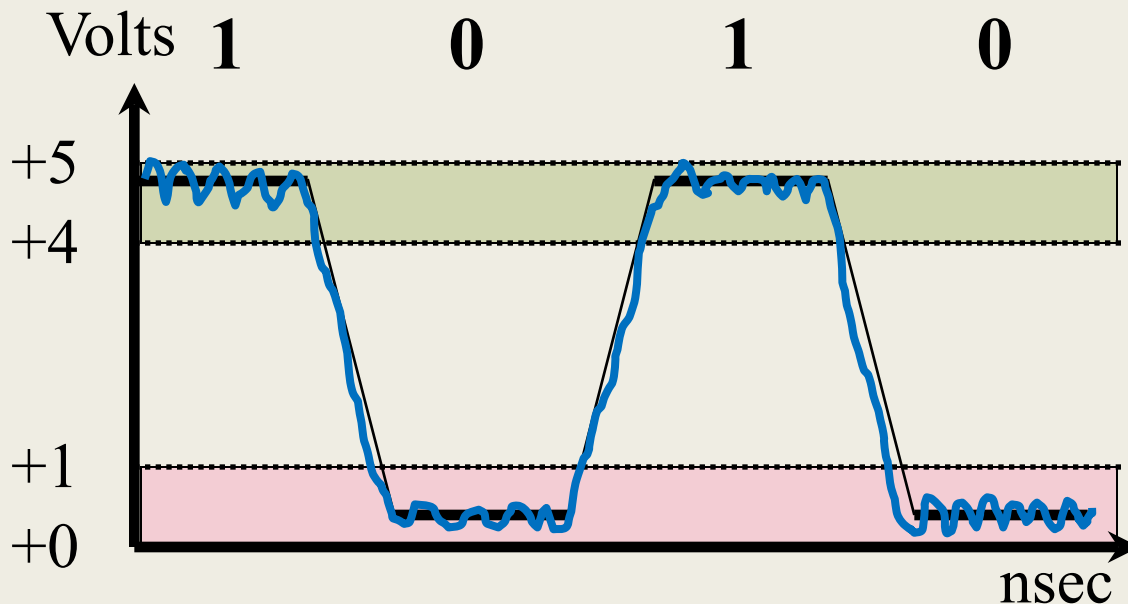
Analog vs. Digital Signals in the Presence of Noise

Since an analog signal is a direct representation of the information being transmitted, any noise that is present directly corrupts the information. Since a digital signal is a discrete representation, the original values transmitted can be recovered in the presence of noise.



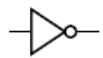
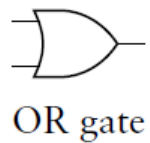
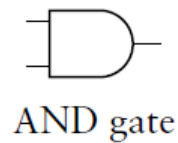
Ψηφιακά συστήματα

- Επεξεργάζονται δυαδικά ηλεκτρικά σήματα
- Βασίζονται στην Άλγεβρα Boole
- Τα δυαδικά σήματα λαμβάνουν δύο μόνο τιμές:
 - Το μηδέν (0 ή LOW)
 - Το ένα (1 ή HIGH)

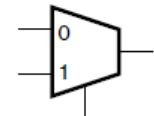


Πύλες και πίνακες αληθείας

- Σε κάθε Πύλη ή Κύκλωμα αντιστοιχεί ένας Πίνακας Αληθείας (Truth Table).
- Ο Πίνακας Αληθείας καθορίζει την τιμή εξόδου για κάθε συνδυασμό εισόδων στην Πύλη ή το Κύκλωμα



inverter



multiplexer

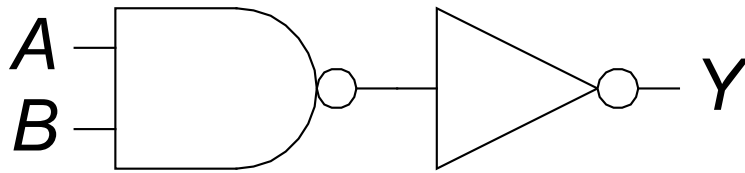
x	y	$x + y$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

x	y	$x \cdot y$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

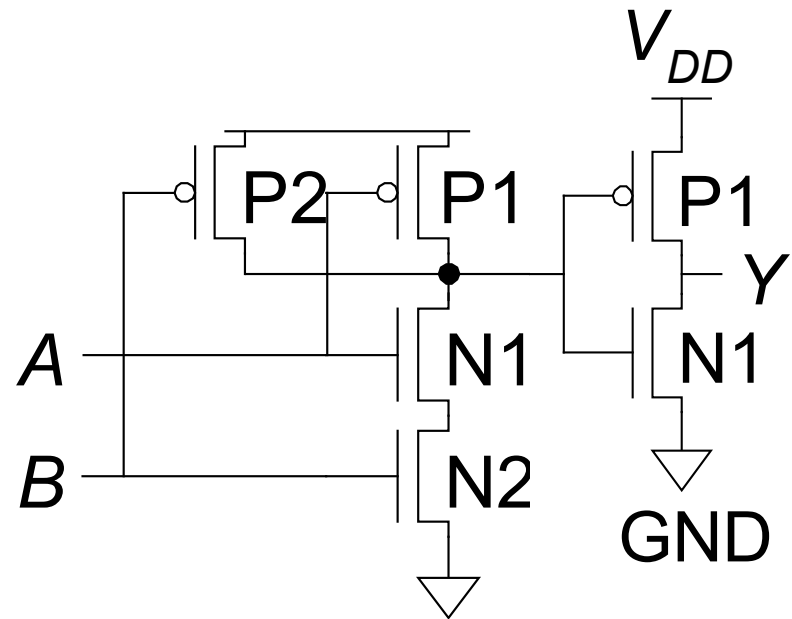
x	$\bar{x}$
0	1
1	0

Πύλες και transistor

- Πώς θα κατασκευάσετε μια πύλη AND?

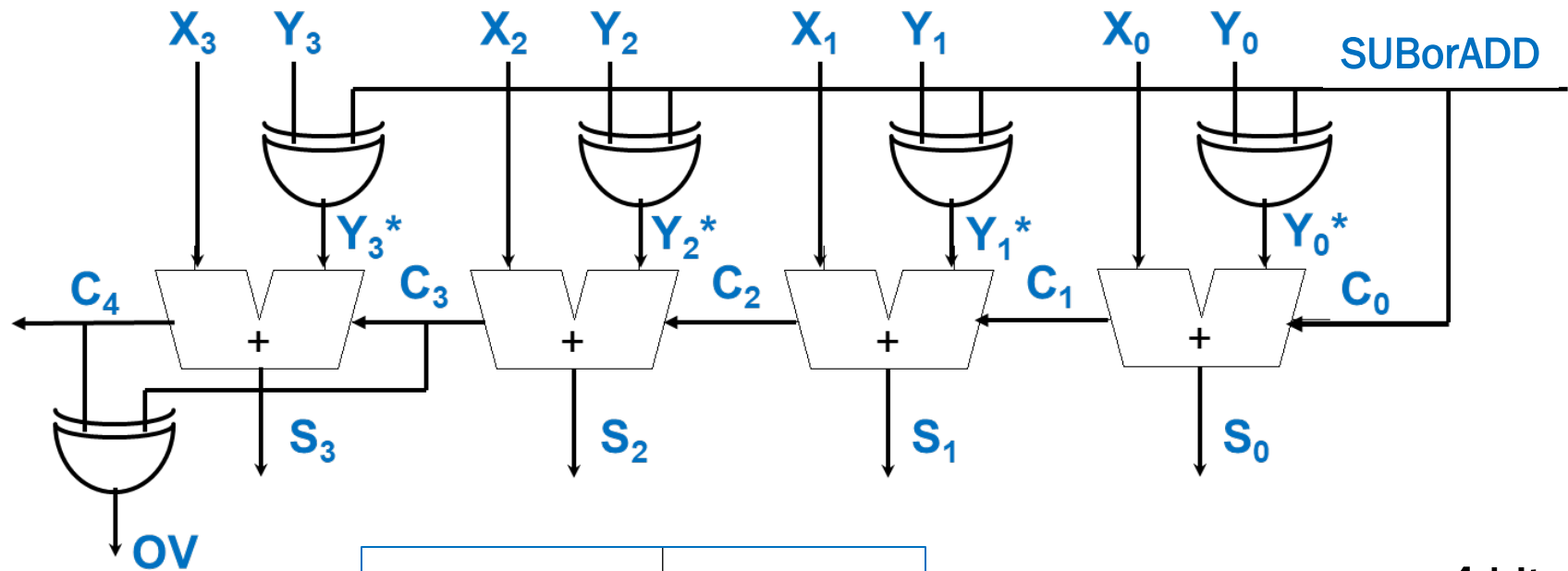


Οι πύλες NAND πιο απλές από τις πύλες AND



*Παράδειγμα 1.22

Πύλες, πίνακες αληθείας και άλλα....



$X_3=Y_3^*=1 \text{ \& } S_3=0$

$X_3=Y_3^*=0 \text{ \& } S_3=1$

C_3	X_3	Y_3^*	C_4	S_3
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1

4 bit

Πρόσθεση
 $SUBorADD = 0$

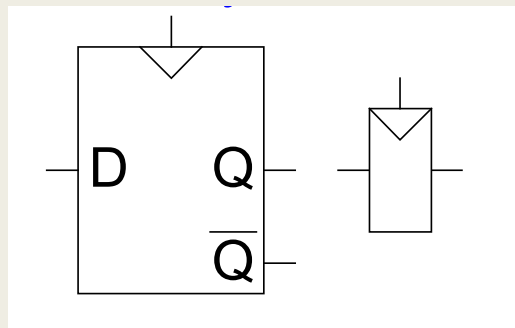
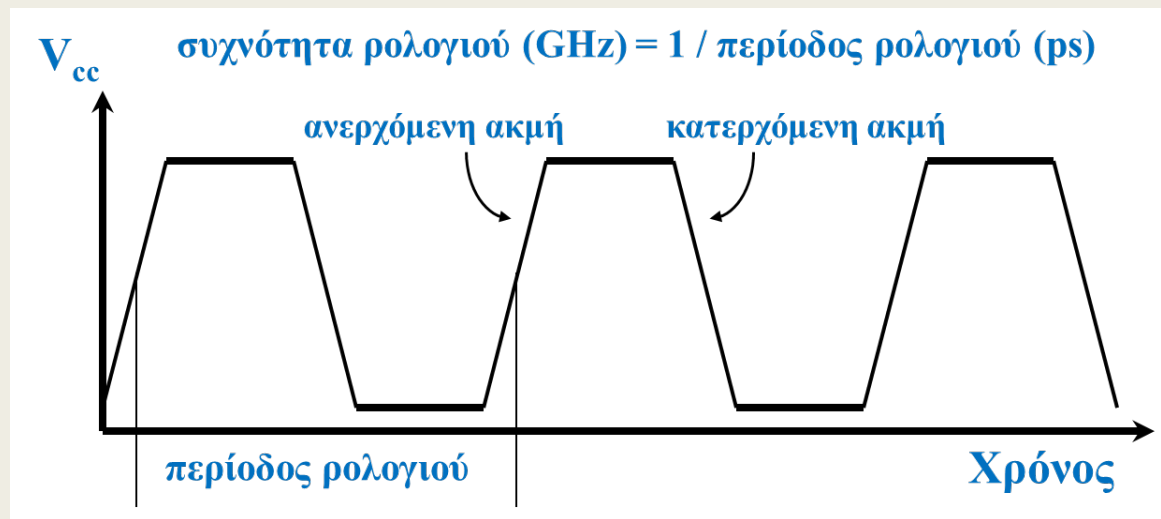
$$\begin{array}{r}
 C_3 \ C_2 \ C_1 \ C_0 = 0 \\
 X_3 \ X_2 \ X_1 \ X_0 \\
 + \ Y_3 \ Y_2 \ Y_1 \ Y_0 \\
 \hline
 C_4 \ S_3 \ S_2 \ S_1 \ S_0
 \end{array}$$

Αφαίρεση
 $SUBorADD = 1$

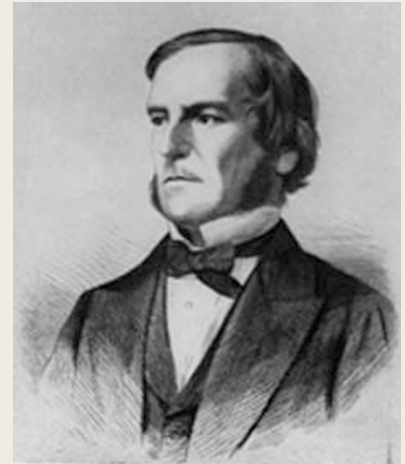
$$\begin{array}{r}
 C_3 \ C_2 \ C_1 \ C_0 = 1 \\
 X_3 \ X_2 \ X_1 \ X_0 \\
 + \ \overline{Y_3} \ \overline{Y_2} \ \overline{Y_1} \ \overline{Y_0} \\
 \hline
 C_4 \ S_3 \ S_2 \ S_1 \ S_0
 \end{array}$$

Ρολόγια και Flip Flop

- Το **σήμα του ρολογιού CLK** είναι ένας τετραγωνικός παλμός με εναλλασσόμενα επίπεδα 0 και 1 και με ανερχόμενες (από το 0 στο 1) και κατερχόμενες (από το 1 στο 0) ακμές



George Boole, 1815–1864



- Όντας παιδί εργατών και μην έχοντας την οικονομική δυνατότητα να μορφωθεί μέσω του εκπαιδευτικού συστήματος, ο Boole έμαθε μόνος του μαθηματικά και στη συνέχεια έγινε μέλος του διδακτικού προσωπικού στο Κολέγιο Κουίνς (Ιρλανδία).
- Έγραψε τη μονογραφία **An Investigation of the Laws of Thought (1854)**, όπου παρουσίασε για πρώτη φορά τις δυαδικές μεταβλητές και τις τρεις θεμελιώδεις λογικές πράξεις (logic operations): AND, OR και NOT.
 - Οι δυαδικές μεταβλητές του Boole μπορούσαν να λάβουν τις τιμές TRUE ή FALSE
 - Θεωρούμε ότι είναι συνώνυμοι οι όροι:
 - 1, TRUE, HIGH
 - 0, FALSE, LOW

Ο Boole και οι κανόνες του...

	Θεώρημα	Δυϊκό Θεώρημα	Ονομασία
T1	$B \bullet 1 = B$	$B + 0 = B$	Ουδέτερο στοιχείο
T2	$B \bullet 0 = 0$	$B + 1 = 1$	Κυρίαρχο στοιχείο
T3	$B \bullet B = B$	$B + B = B$	Ταυτοδυναμία
T4	$\overline{\overline{B}} = B$		Διπλό συμπλήρωμα
T5	$B \bullet \overline{B} = 0$	$B + \overline{B} = 1$	Συμπληρώματα

Διῃσμός: Αντιστρέψτε: • με +
0 με 1

1=>Είμαστε σίγουροι ότι το γεγονός είναι αληθές

0=>Είμαστε σίγουροι ότι το γεγονός είναι ψευδές

Ανίχνευση λαθών (διόρθωση αργότερα)

- Προσθέτουμε στην πληροφορία των N bit ένα επιπλέον ψηφίο, **το ψηφίο ισοτιμίας P (parity bit)** ώστε το πλήθος των 1 να είναι άρτιο (ή περιττό) σε όλες τις κωδικές λέξεις του κώδικα άρτιας (ή περιττής) ισοτιμίας
- Κωδικές λέξεις του κώδικα άρτιας (ή περιττής) ισοτιμίας

Άρτιας ισοτιμίας		Περιττής ισοτιμίας	
XYZ	P_{even}	XYZ	P_{odd}
000	0	000	1
001	1	001	0
010	1	010	0
100	1	100	0
011	0	011	1
101	0	101	1
110	0	110	1
111	1	111	0

Μεταφορά πληροφορίας

- Η ποσότητα πληροφορίας D σε μία μεταβλητή διακριτών τιμών με N διαφορετικές καταστάσεις χαρακτηρίζεται από την σχέση
 - $D = \log_2 N$
 - Ο λογάριθμος έχει βάση το 2
 - Η μονάδα μέτρησης του D είναι το *bit*
- Κάθε δυαδική μεταβλητή μεταφέρει $\log_2 2 = 1$ bit πληροφοριών
- Θεωρητικά, ένα συνεχές σήμα μεταφέρει άπειρη ποσότητα πληροφοριών, αφού μπορεί να πάρει άπειρο πλήθος τιμών
- Στην πράξη, ο θόρυβος και το σφάλμα μέτρησης περιορίζουν τις πληροφορίες που μεταφέρονται στα **10-16 bit**, για τα περισσότερα συνεχή σήματα

Επιλεγμένες ασκήσεις

■ Άσκηση

Μια τάξη έχει ένα παλιό ρολόι (με δείκτες) του οποίου ο δείκτης για τα λεπτά έχει χαλάσει.

- Α) Εάν μπορείτε να διαβάσετε τον ωριαίο δείκτη στο πλησιέστερο δεκαπεντάλεπτο, τότε πόσα *bit* πληροφορίας περιέχει το ρολόι για τη μέτρηση του χρόνου;
- Β) Εάν ξέρετε εκ των προτέρων εάν η ώρα είναι πριν ή μετά το μεσημέρι, πόσα **επιπλέον** *bit* πληροφορίας περιέχει το ρολόι;

Επιλεγμένες ασκήσεις

■ Λύση

A) Κάθε διάστημα ώρας έχει 4 τμήματα (δεκαπεντάλεπτα). Άρα όλο το ρολόι έχει: $12 * 4 = 48$ διακριτές θέσεις.

Άρα η πληροφορία που έχουμε είναι $\log_2(N)$ όπου $N=48 \Rightarrow$

$\log_2(48)=5,58$ bit.

B) Η γνώση του εάν είναι πριν ή μετά το μεσημέρι, αφορά μια νέα επιπλέον μεταβλητή με 2 καταστάσεις. Άρα έχουμε μια νέα επιπλέον πληροφορία ίση με $\log_2(2)=1$ bit

Πηγή πληροφορίας

- Πηγή εκπέμπει q πιθανά μηνύματα ($m_1, m_2, \dots, m_q$) με πιθανότητα εμφάνισης ($p_1, p_2, \dots, p_q$).
- Ισχύει ότι $p_1 + p_2 + \dots + p_q = 1$
- Η ποσότητα της πληροφορίας που δεχόμαστε για ένα γεγονός εξαρτάται από την πιθανότητα εμφάνισης του γεγονότος. Όσο πιο σπάνιο το γεγονός τόσο πιο πολύ πληροφορία / περιέχει.
- $I(m_k) > I(m_j)$ αν $p_k < p_j$ (1)
- $I(m_k) \rightarrow 0$ αν $p_k \rightarrow 1$ (2)
- $I(m_k) \geq 0$ (3)
- Μια συνάρτηση που ικανοποιεί τα (1), (2), (3) είναι η $I(m_k) = \log(1/p_k)$
- Όταν η βάση του λογαρίθμου είναι το 2 τότε η μονάδα πληροφορίας είναι το bit. Σε αυτή την περίπτωση έχουμε: $I(m_k) = \log_2(1/p_k)$. Θεωρούμε ότι πάντα η βάση είναι το 2.

Επιλεγμένες ασκήσεις

■ Άσκηση

Μια πηγή εκπέμπει σε ένα διακριτό χρονικό διάστημα ένα από πέντε δυνατά μηνύματα, οι πιθανότητες των οποίων είναι:

$$p_1=1/2, p_2=1/4, p_3=1/8, p_4=1/16, p_5=1/16$$

A)Βρείτε το πληροφοριακό περιεχόμενο του κάθε μηνύματος.

B)Ποιο το μέσο πληροφοριακό περιεχόμενο ανά μήνυμα;

Επιλεγμένες ασκήσεις

■ Λύση

A) Πληροφοριακό περιεχόμενο για κάθε μήνυμα.

$$I(m_1) = \log_2\left(\frac{1}{p_1}\right) = \log_2\left(\frac{1}{\frac{1}{2}}\right) = \log(2) = 1^*$$

$$I(m_2) = \log_2\left(\frac{1}{p_2}\right) = \log_2\left(\frac{1}{\frac{1}{4}}\right) = \log(4) = 2$$

$$I(m_3) = \log_2\left(\frac{1}{p_3}\right) = \log_2\left(\frac{1}{\frac{1}{8}}\right) = \log(8) = 3$$

$$I(m_4) = \log_2\left(\frac{1}{p_4}\right) = \log_2\left(\frac{1}{\frac{1}{16}}\right) = \log(16) = 4$$

$$I(m_4) = \log_2\left(\frac{1}{p_5}\right) = \log_2\left(\frac{1}{\frac{1}{16}}\right) = \log(16) = 4$$

*Εναλλακτικά: $I(m_1) = \log_2\left(\frac{1}{p_1}\right) = -\log_2(p_1) = -\log_2\left(\frac{1}{2}\right) = 1$. Ομοίως και τα υπόλοιπα $I(m_k)$

Επιλεγμένες ασκήσεις

■ Λύση

B) Μέσο Πληροφοριακό περιεχόμενο ανά μήνυμα

$$\begin{aligned} H &= p_1 * I(m_1) + p_2 * I(m_2) + p_3 * I(m_3) + p_4 * I(m_4) + p_5 * I(m_5) \\ &= (1/2) * 1 + (1/4) * 2 + (1/8) * 3 + (1/16) * 4 + (1/16) * 4 = \\ &= 0,5 + 0,5 + 0,375 + 0,25 + 0,25 = \\ &= 1,875 \text{ bit/message} \end{aligned}$$