



# 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 Ψηφιακά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**» 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.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
Πρόσβαση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΝΤΟΚΟΥ & ΑΙΩΝΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



# Σκοπός ενότητας

---

- Η κατανόηση της συνεχόμενης βελτίωσης της τεχνολογίας.
- Προβλήματα και προκλήσεις της επιστήμης της αρχιτεκτονικής υπολογιστών.
- Επανάληψη βασικών εννοιών από τη Ψηφιακή Σχεδίαση.



# Σύνοψη του μαθήματος της Αρχιτεκτονικής

---

- Εξέταση της λειτουργίας των υπομονάδων ενός Η/Υ.
- Εξέταση της συνδεσμολογίας των υπομονάδων.
- Προβλήματα και τρόποι αντιμετώπισης της αρχιτεκτονικής Η/Υ.
- Διασύνδεση υλικού-λογισμικού.
- Σχεδίαση ενός επεξεργαστή.



# Το μάθημα αποτελεί το θεμελιώδη λίθο της επιστήμης Η/Υ

---

Επιτρέπει να γνωρίσουμε:

- Θέματα σχεδίασης υλικού (**hardware**):  
Κατανόηση των συμβιβασμών και του τρόπου που εκτελούνται κάποιες λειτουργίες.
- Θέματα ανάπτυξης λογισμικού (**software**):  
Κατανόηση του πως θα πρέπει να σχεδιάσουμε το πρόγραμμα μας, ώστε να εκμεταλλεύεται κατά βέλτιστο τρόπο το hardware.
- Θέματα συσχεδιασμού (**codesign**) Hardware-software:  
Κατανόηση της αλληλένδετης σχέσης HW/SW.



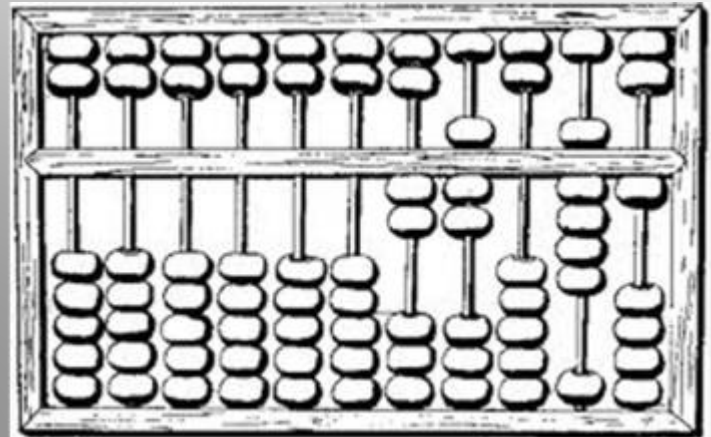
---

# Ιστορικά Στοιχεία



# Ιστορικά στοιχεία (1/7)

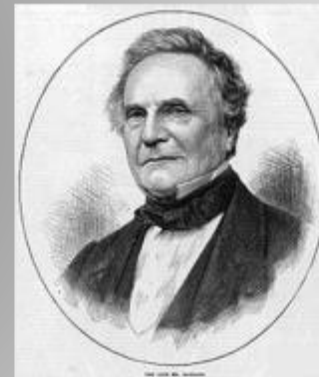
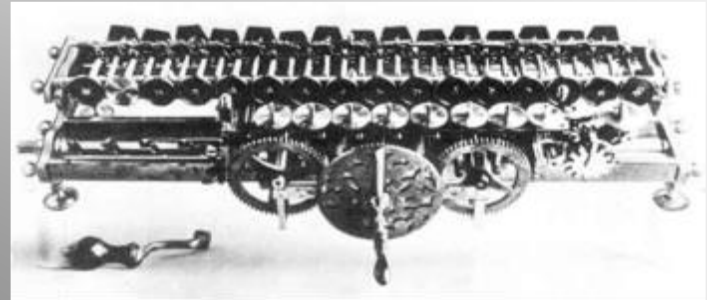
- Πρώτη υπολογιστική μηχανή:  
Άβακας (2400- 3000 π.χ.),  
Κινέζοι κ Βαβυλώνιοι.  
Πρόσθεση/Αφαίρεση/  
Πολλαπλασιασμός/Διαίρεση.
- Αναγέννηση 1642,  
υπολογιστική μηχανή  
με οδοντωτούς τροχούς  
(Pascal). Κυρίως  
Πρόσθεση/Αφαίρεση.





# Ιστορικά στοιχεία (2/7)

- 1671, Leibnitz μηχανή για πολλαπλασιασμό και διαίρεση.
- 1833, αναλυτική προγραμματιζόμενη μηχανή από τον Charles Babbage (δεν κατασκευάστηκε ποτέ).



“The **data** and **program memory** were separated, operation was **instruction based**, the control unit could make conditional jumps and the machine had a separate **I/O unit**.”



# Ιστορικά στοιχεία (3/7)

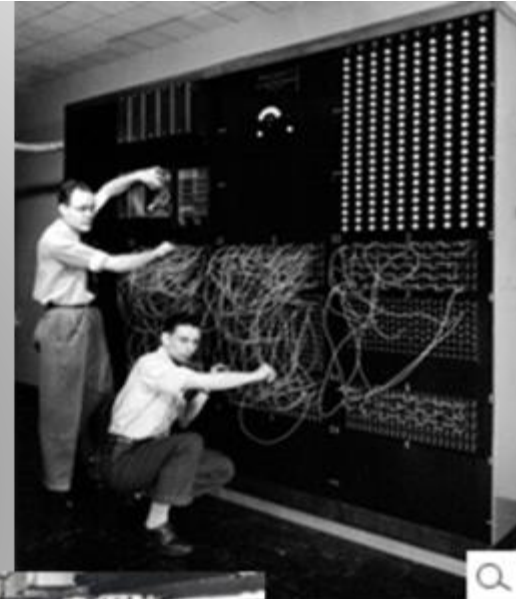
## 2<sup>ος</sup> Παγκόσμιος Πόλεμος:

- **Colossus (1943-1945)**  
(για την αποκρυπτογράφηση Γερμανικών μηνυμάτων). Είχε Λυχνίες. Προγραμματίζονταν με διακόπτες. Αποσυναρμολογήθηκαν μετά τη λήξη του πολέμου.
- **Z3 (1935-1941)**  
(γερμανικής κατασκευής). Καταστράφηκε σε βομβαρδισμό του Βερολίνου.



# Ιστορικά στοιχεία (4/7)

- **1944**, Harvard Mark-1  
(5 τόνοι, 0.3sec για πρόσθεση δύο 23bit, 6sec για πολλαπλασιασμό).
- **1946**, ENIAC, 5000 προσθέσεις/sec, 30 πολλαπλασιασμοί/sec.



# Ιστορικά στοιχεία (5/7)

- **1951**, IBM πουλάει τον πρώτο υπολογιστή IBM701.



- **1956**, κατασκευάζεται ο TX-0, πρώτος υπολογιστής με τρανζίστορ.



# Ιστορικά στοιχεία (6/7)

- **1974**, Xerox Alto, πρώτος υπολογιστής με mouse.
- **1977**, Commodore, 4KB RAM, cassette.





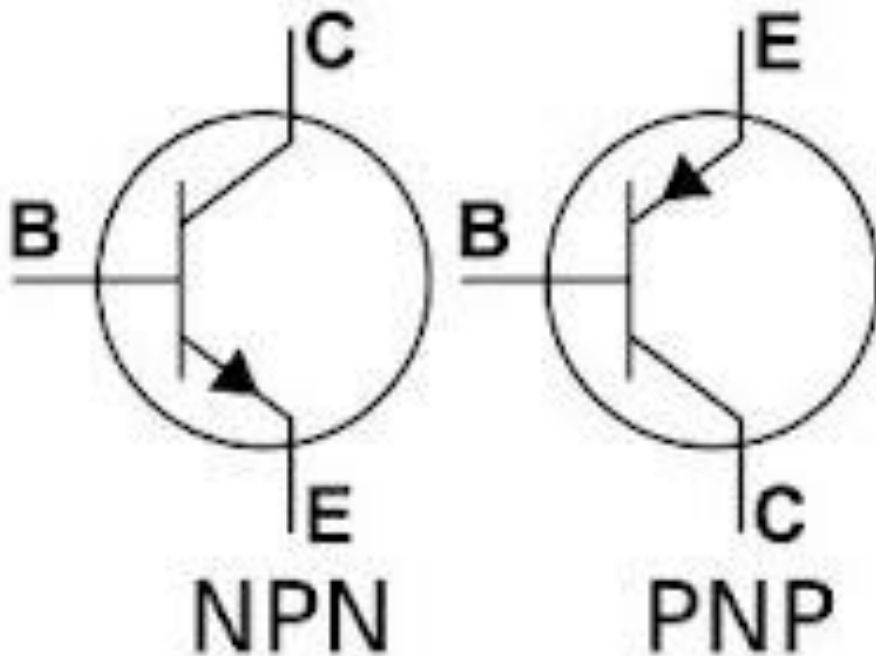
# Ιστορικά στοιχεία (7/7)

- **1975**, Amiga, audio, video capabilities.
- **1984**, IBM PC-AT, 80286.



# Τρανζίστορ (1947)

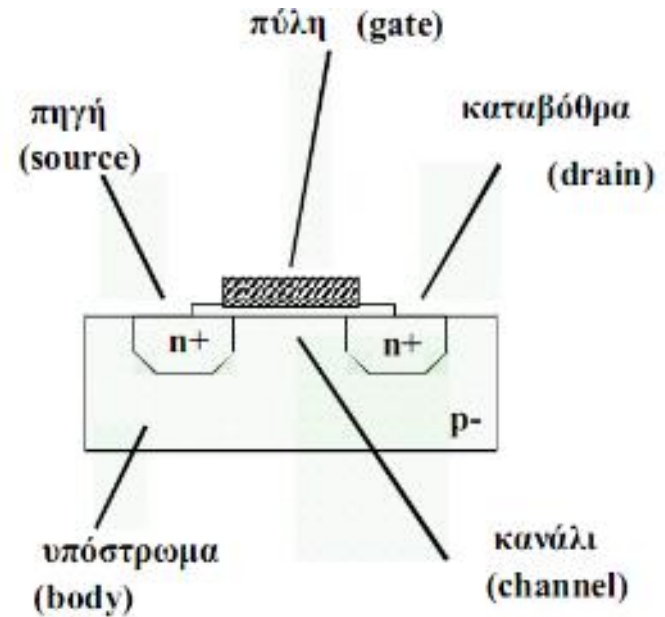
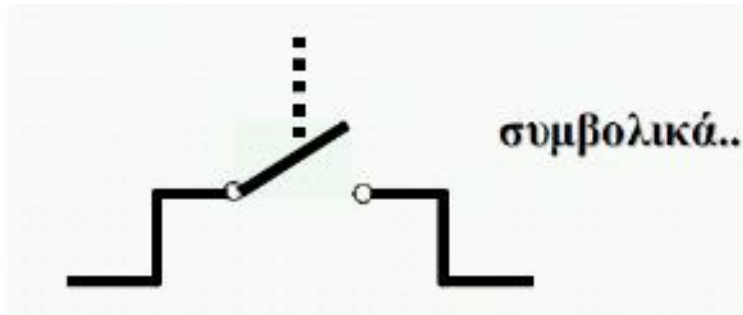
Ένα από τα πιο σημαντικά επιτεύγματα του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Αντικατέστησε τις αναξιόπιστες και ογκώδεις λυχνίες. Οι 3 δημιουργοί πήραν Nobel. Η βελτιωμένη έκδοση αποτελείται από PNP και NPN.



3 επαφές: Βάση, Συλλέκτης, Εκπομπός



# Το τρανζίστορ είναι ένας διακόπτης



ιδανικό σχήμα..

Τύπου n-MOS





# Η επανάσταση της πληροφορικής

- **Βιομηχανία των ημιαγωγών:**
  - Στρατηγικός ρόλος.
  - Σημάδεψε την αρχή της επανάστασης.
- **Ηλεκτρονικός υπολογιστής:**
  - «Ατμομηχανή» της επανάστασης.
- **Επεξεργαστής:**
  - Η «καρδιά» της επανάστασης.



---

# Ο νόμος του Moore

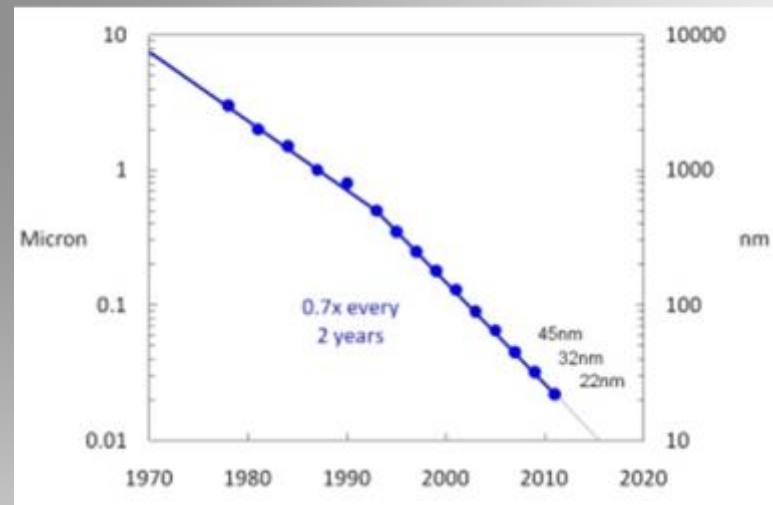


# Η κατασκευή των επεξεργαστών ακολούθησε έως τώρα (2010) το νόμο του Moore

**“the number of transistors  
on a chip will double about  
every two years” (1965,1975).**



“Ο αριθμός των transistor που βρίσκονται σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα θα διπλασιάζεται σχεδόν κάθε 2 έτη” (οι αριθμοί έδειξαν ότι ο αριθμός των transistor διπλασιάζεται κάθε 18 μήνες).



# ...η κατασκευή των επεξεργαστών...

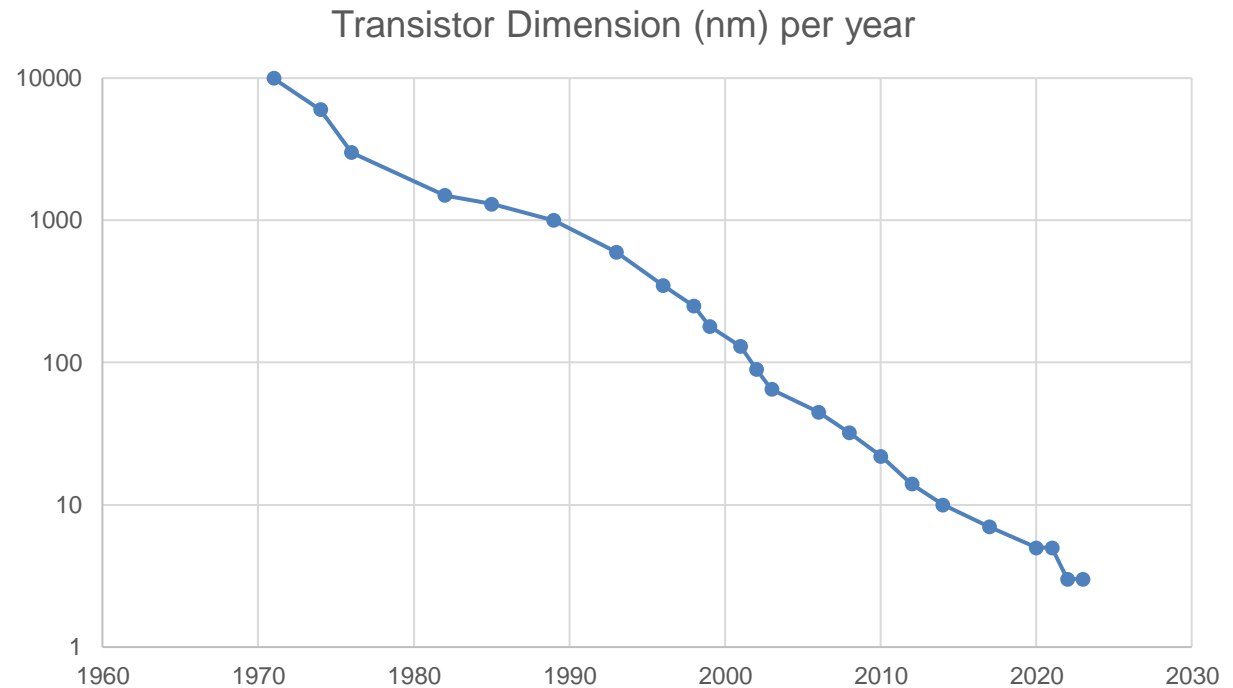
---

- Η Intel αναφέρει ότι βρισκόμαστε στα όρια των ατόμων ή της επιτρεπόμενης πυκνότητας κατανάλωσης ισχύος της τεχνολογίας CMOS.
- Εξάλλου, το ελάχιστο μέγεθος των transistor θα έχει ως συνέπεια να εμφανίζονται κβαντομηχανικά φαινόμενα, όπως η αρχή της αβεβαιότητας του Heisenberg.



# Τα τρανζίστορ συνεχώς συρρικνώνονται

Year	Transistor Dimension (nm)
1971	10000
1974	6000
1976	3000
1982	1500
1985	1300
1989	1000
1993	600
1996	350
1998	250
1999	180
2001	130
2002	90
2003	65
2006	45
2008	32
2010	22
2012	14
2014	10
2017	7
2020	5
2021	5
2022	3
2023	3



# Συμπέρασμα

---

Ένα συμπέρασμα από το νόμο του Moore είναι η φράση του D.House:

***“integrated circuits would double in performance every 18 months”.***



*“Οι επιδόσεις των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων θα διπλασιάζονται κάθε 18 μήνες”.*







# Νόμος του Moore και κατανάλωση ισχύος

---

“Ακολουθώντας το νόμο του Moore, τα προβλήματα της διάχυσης θερμότητας μετατρέπουν τους υπολογιστές σε εξελιγμένα κλιματιστικά μηχανήματα”.

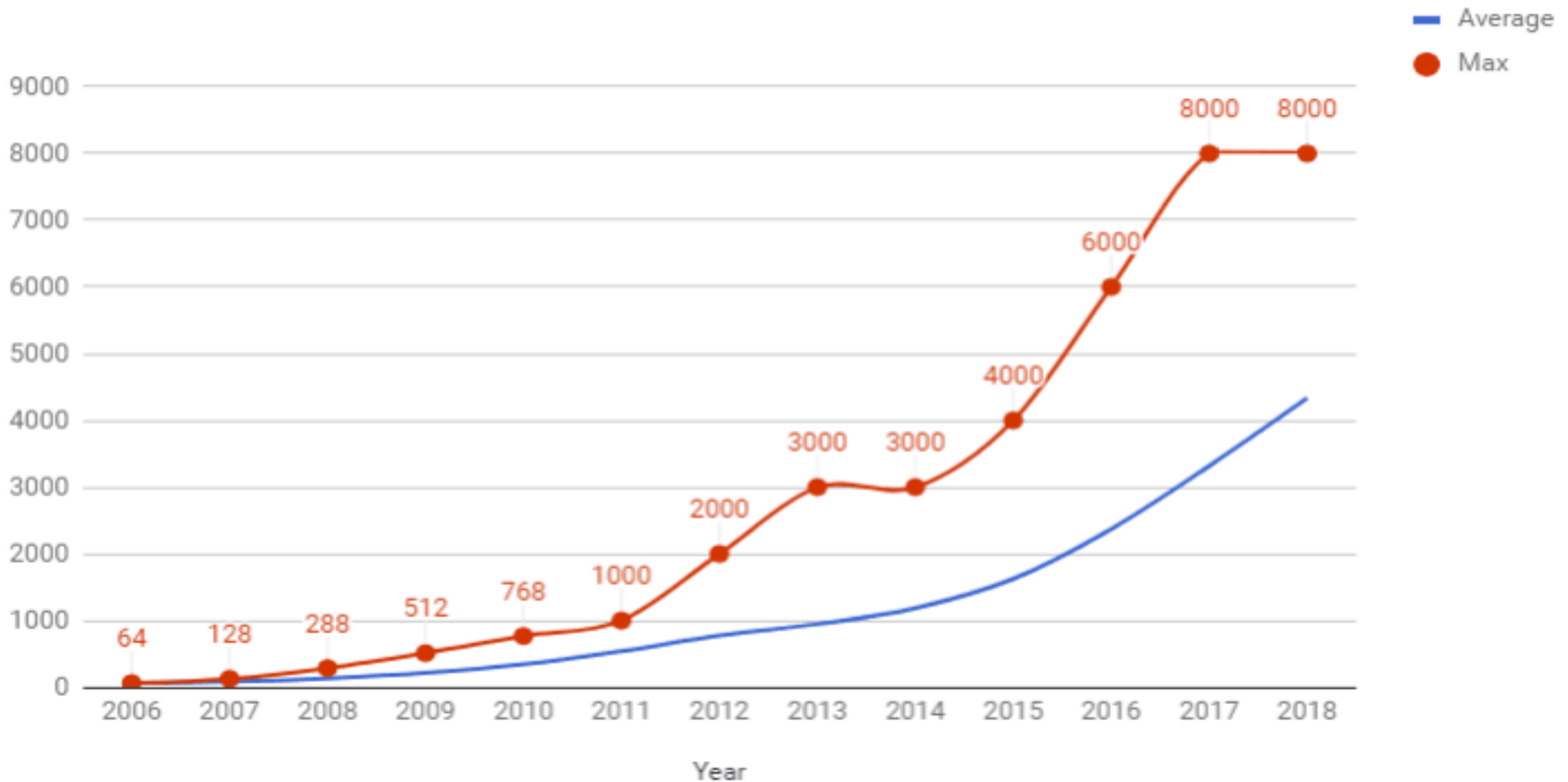
*Tanenbaum 1999*



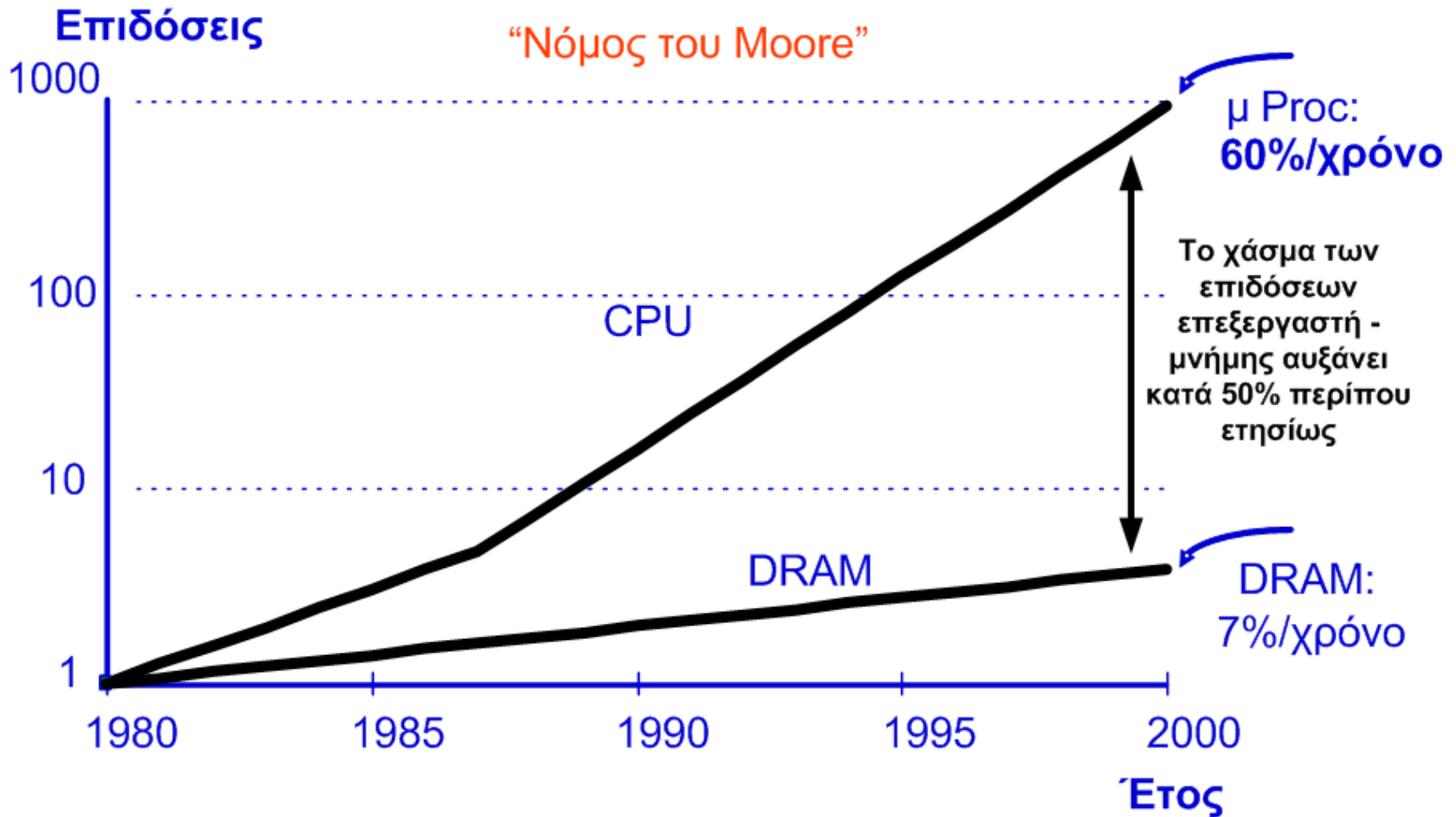


# Η χωρητικότητα μνήμων DRAM αυξάνει 4x κάθε 3 έτη

RAM capacity through the years (in MB)



# Το χάσμα στις επιδόσεις αυξάνει συνεχώς



# Κατηγορίες Η/Υ



Επιτραπέζιοι  
(Desktop)



Διακομιστές  
(Servers)

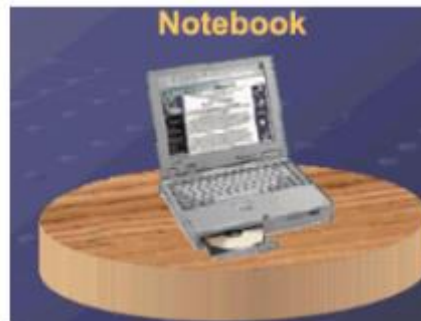


Ενσωματωμένοι  
(Embedded)

tablets



Notebook



PDA's



# Εύρος τιμών Η/Υ

Type	Price (\$)	Example application
Σχεδιασμένοι για μικρή διάρκεια και χρήση (Disposable computer)	0.5	Ευχετήριες κάρτες
Ενσωματωμένα συστήματα (Microcontroller)	5	Ρολόγια, αυτοκίνητα, συσκευές
Για χρήση σε ηλεκτρονικά παιχνίδια (Game computer)	50	Παιχνιδο-κονσόλες
Προσωπικοί υπολογιστές (Personal computer)	500	Φορητοί και επιτραπέζιοι (Notebook or Desktop)
Εξυπηρετητές (Server)	5K	Εξυπηρετητής δικτύου (Network server)
Σύνολο σταθμών εργασίας (Collection of Workstations)	50-500K	Ξεχωριστοί μικροί υπερυπολογιστές (Departmental minisupercomputer)
Κεντρικοί υπολογιστές (Mainframe)	5M	Μέρος επεξεργασίας δεδομένων σε μια τράπεζα (Batch data processing in a bank)



---

# Δομικά Στοιχεία ενός Η/Υ



# Από τι αποτελείται ένας υπολογιστής;

---

- **Λογικά κυκλώματα:**
  - Εκτέλεση πράξεων.
  - Σύγκριση και λήψη αποφάσεων.
- **Κυκλώματα μνήμης:**
  - Αποθήκευση δεδομένων.
  - Αποθήκευση εντολών.
- **Κυκλώματα διασύνδεσης:**
  - Μεταφορά δεδομένων/εντολών.



# Σχεδιαστικά μοντέλα

---

**Τα σχεδιαστικά μοντέλα των Η/Υ είναι δύο:**

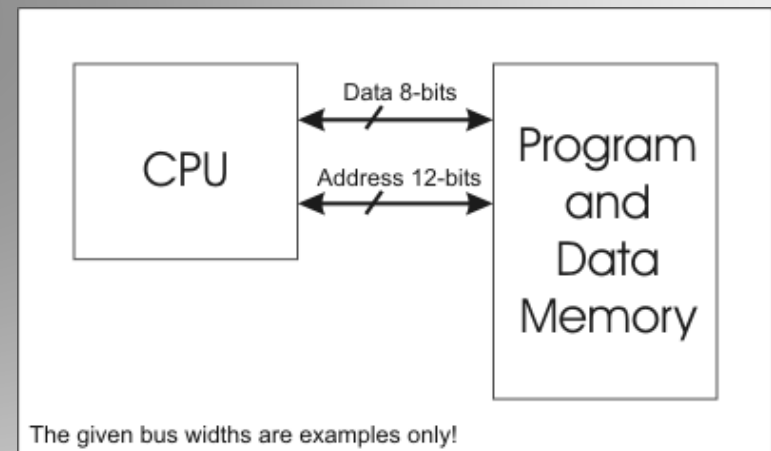
(A) Von Neuman.

(B) Harvard.



# Von Neuman

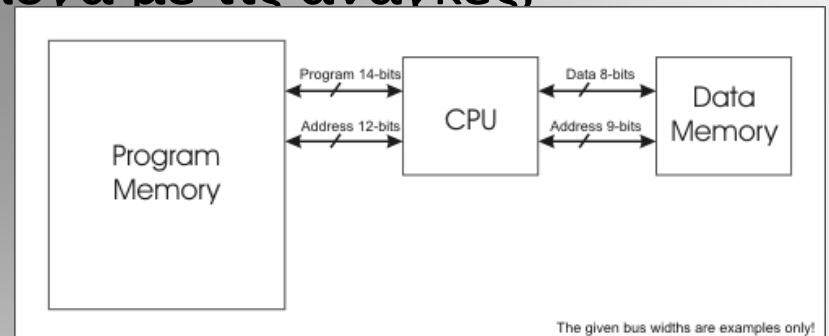
- Τα δεδομένα και οι εντολές εκτέλεσης αποθηκεύονται στην ίδια μνήμη.
- Προκαλείται συμφόρηση στο δίαυλο μεταφοράς δεδομένων (data bus) γιατί και οι εντολές και τα δεδομένα διέρχονται από εκεί (von Neuman bottleneck).
- Απλή Σχεδίαση.
- Αρκετά διαδεδομένη.
- Χρησιμοποιείται από όλους τους προσωπικούς Η/Υ.



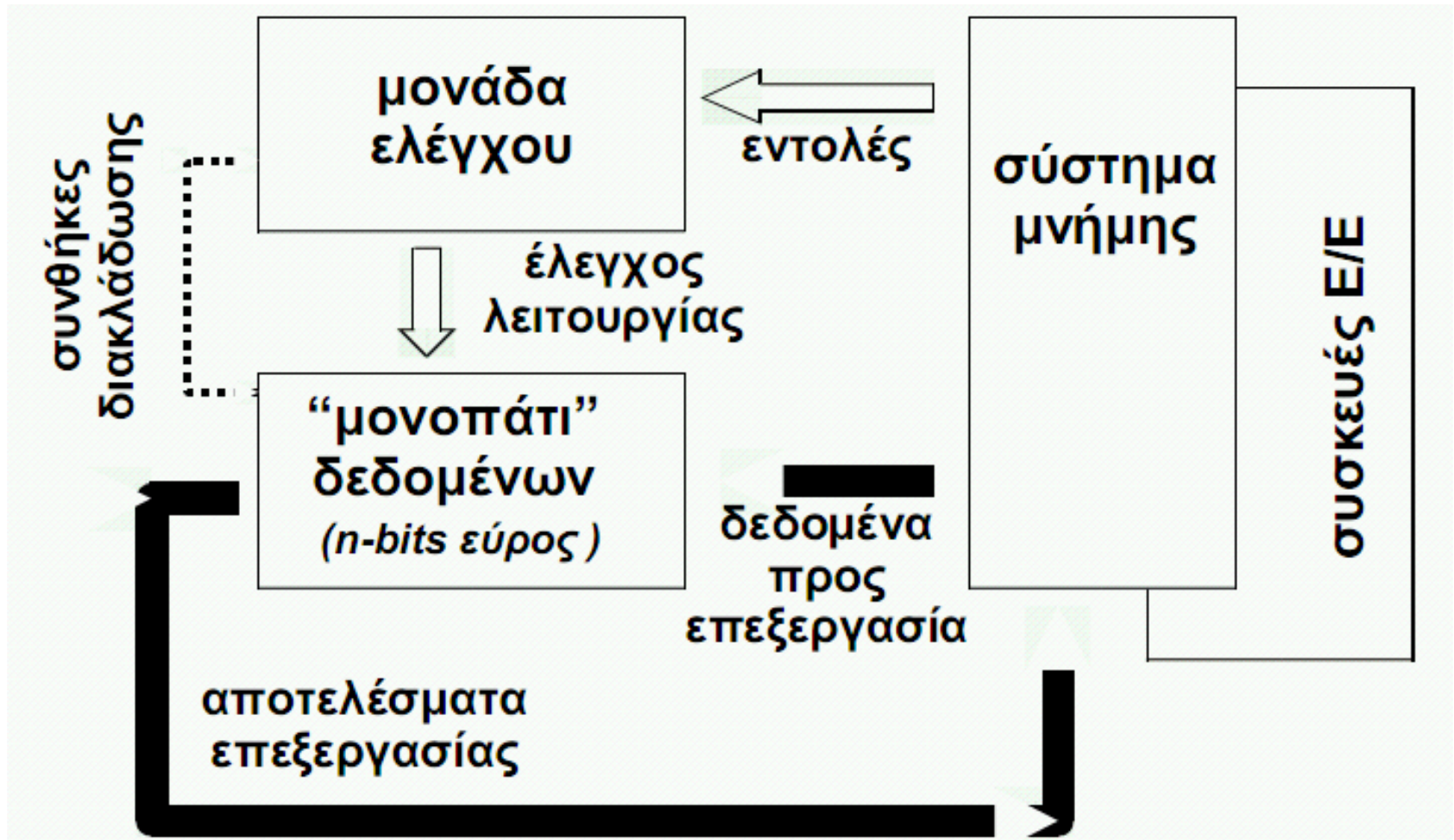


# Harvard

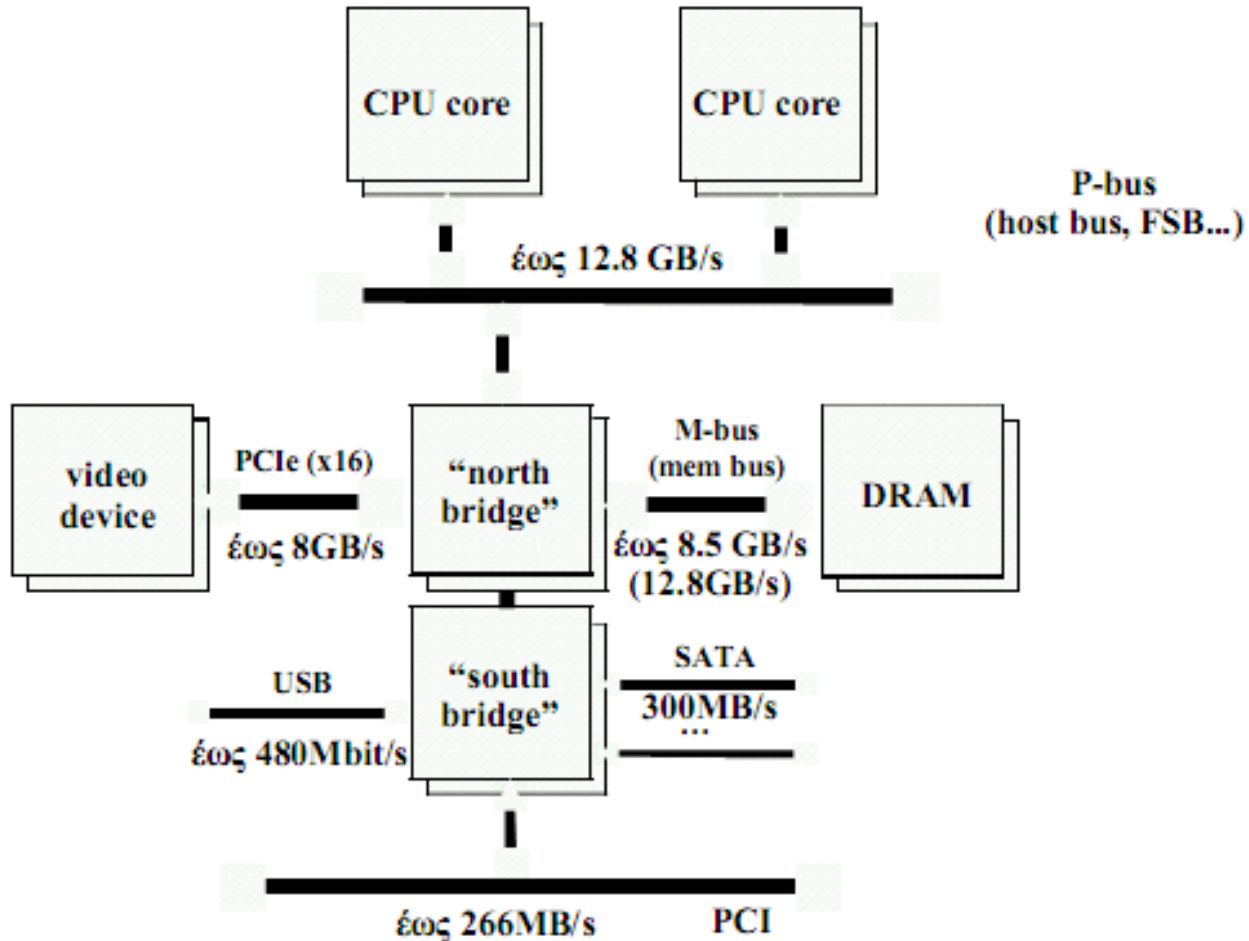
- Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε άλλη μνήμη από τις εντολές.
- Ενισχυμένη ασφάλεια.
- Χρησιμοποιήθηκε στο Harvard Mark 1.
- Ταυτόχρονη μεταφορά εντολών, δεδομένων.
- Παρέχει βελτιστοποίηση ανάλογα με τις ανάγκες, π.χ. Αν έχουμε λίγες εντολές μικρότερο μήκος instruction bus.
- Χρησιμοποιείται στα ενσωματωμένα συστήματα.



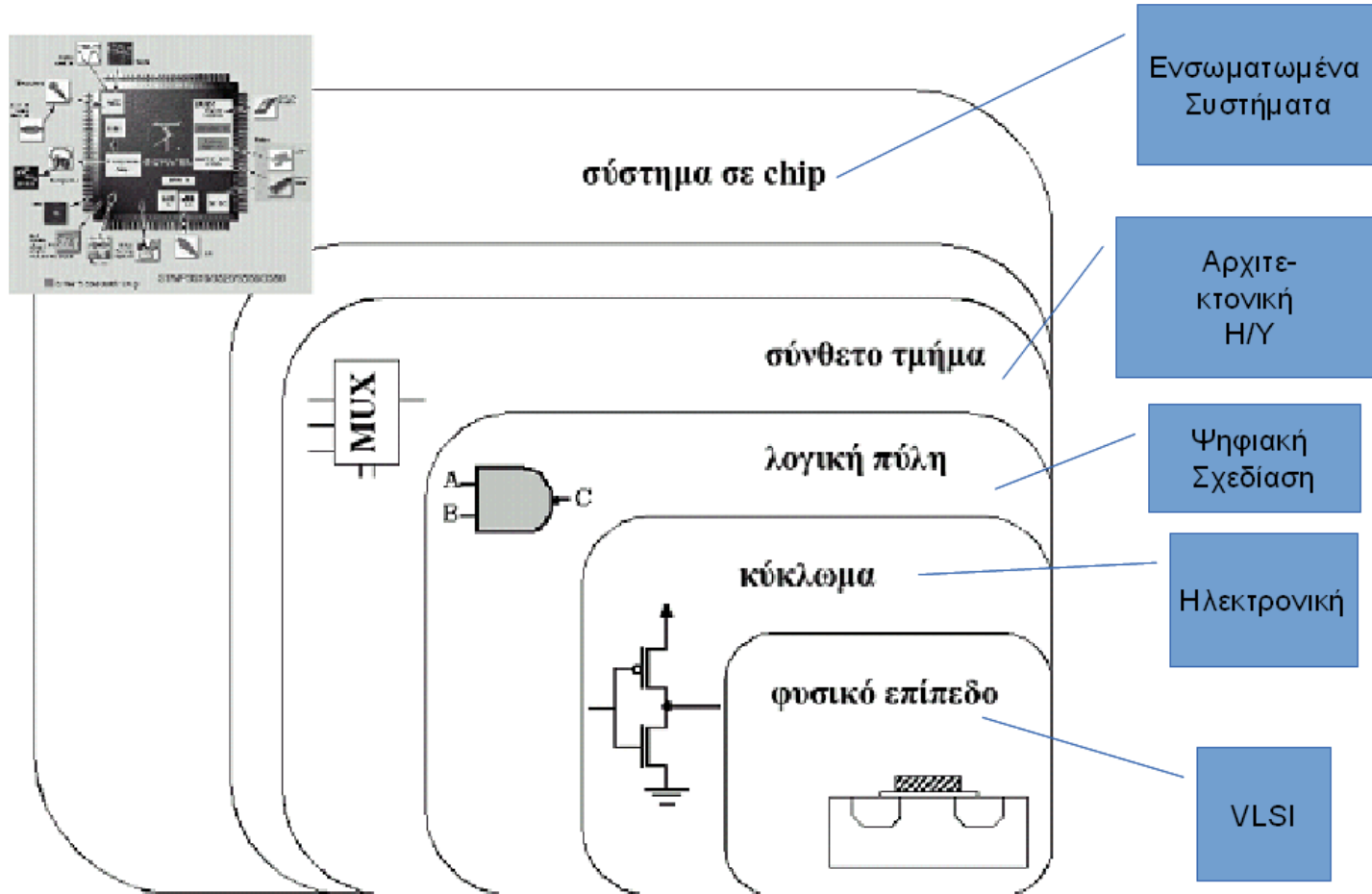
# Οι βασικές μονάδες του Η/Υ



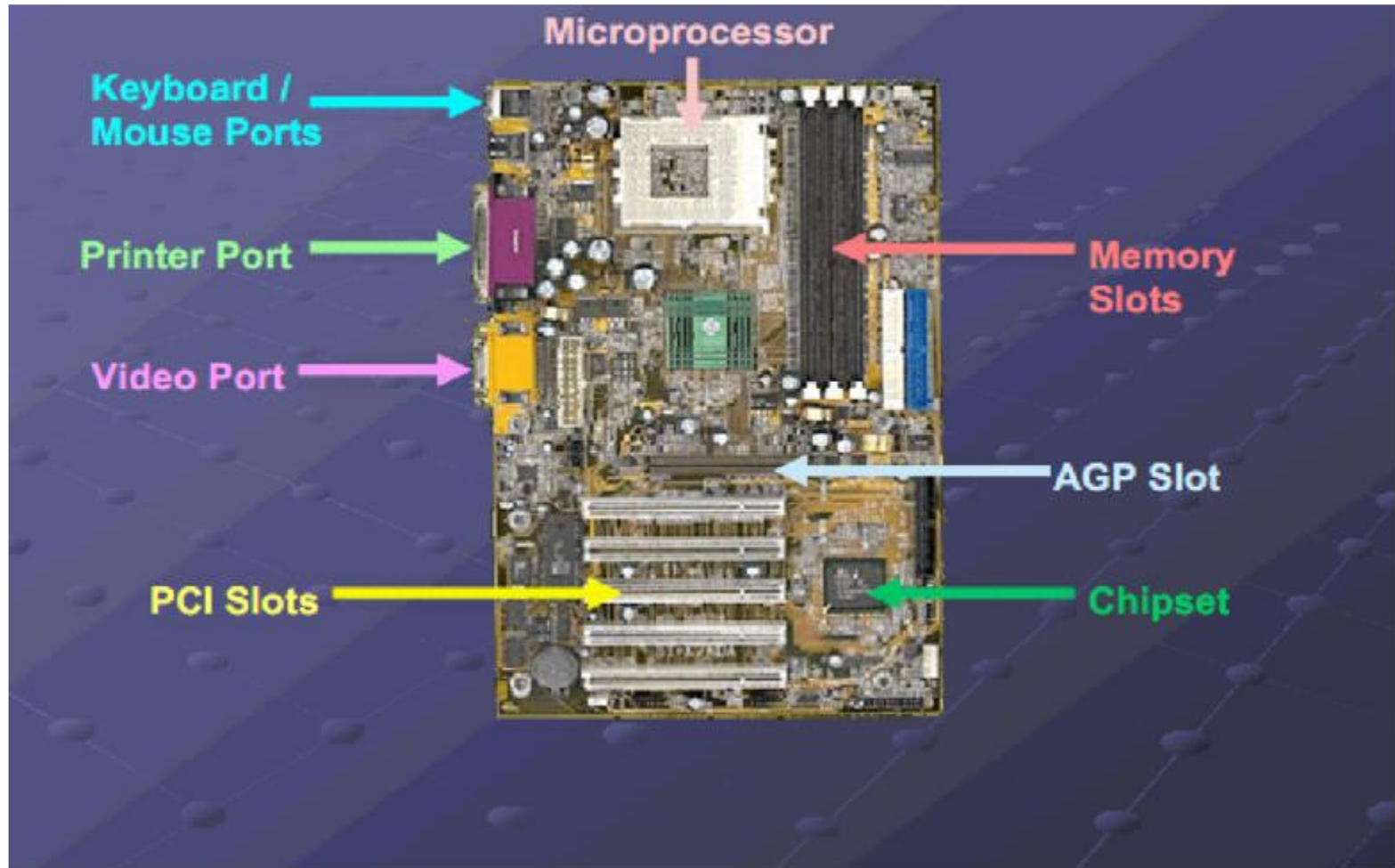
# Η τυπική αρχιτεκτονική στον προσωπικό υπολογιστή (έως 2000)



# Ιεραρχία σχεδίασης

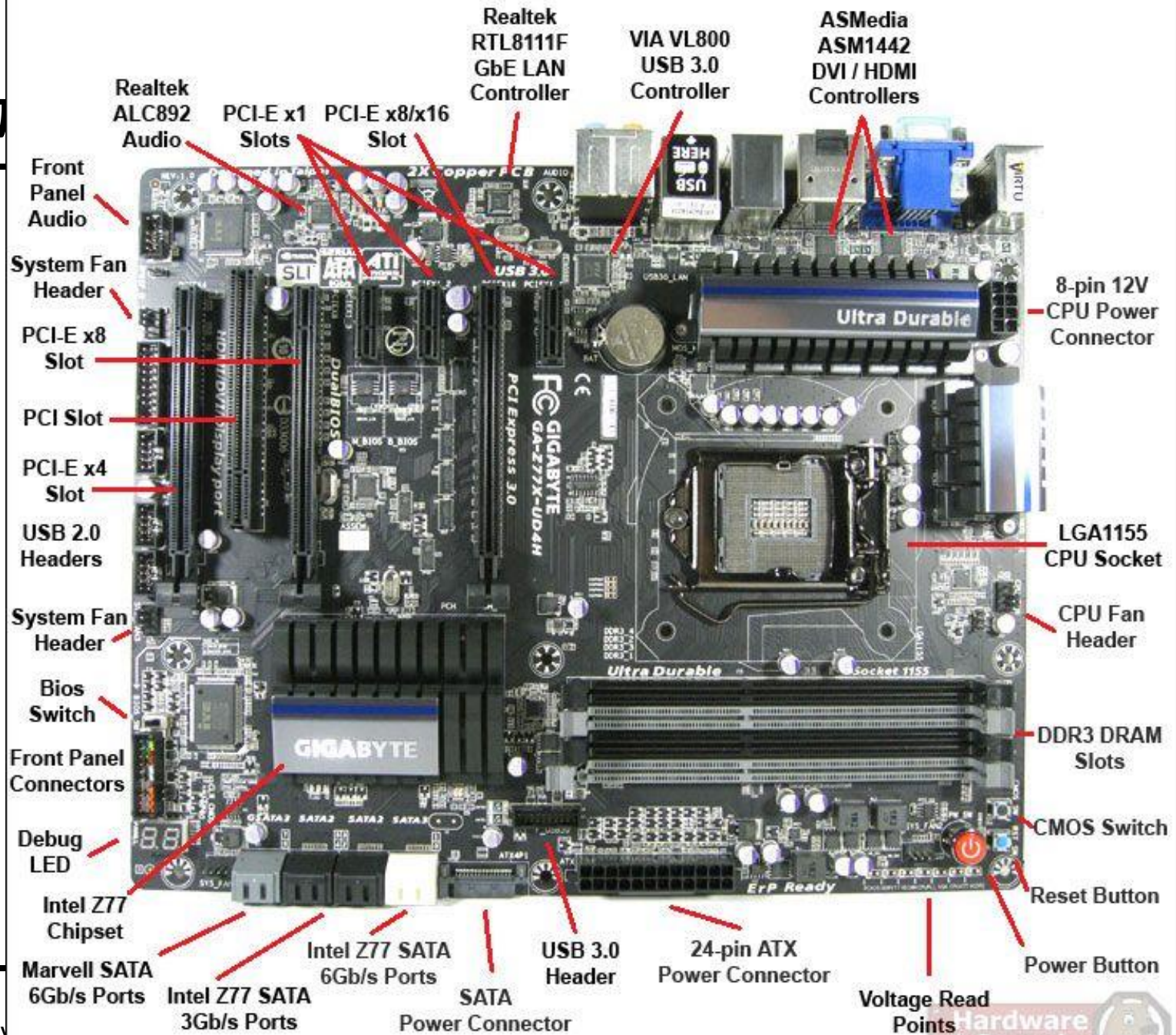


# Από τι αποτελείται ένας υπολογιστής





A1



# Επεξεργαστές

---

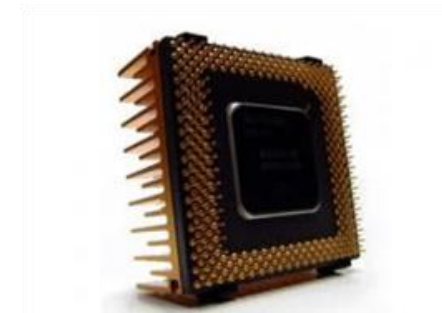
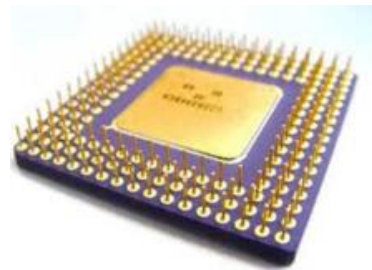


# Η καρδιά του συστήματος: chip

---

- Ένα chip (Integrated Circuit, ολοκληρωμένο κύκλωμα) μικροεπεξεργαστή:
  - Έχει επιφάνεια περίπου  $280\text{mm}^2$ .
  - Περιέχει από  $100 * 10^6$  έως  $2 * 10^{11}$  τρανζίστορ.

Το 2023 ο μεγαλύτερος αριθμός transistor σε τυπικό επεξεργαστή βρίσκεται στο Apple's ARM-based dual-die M2 Ultra και είναι 134 δισεκατομμύρια . Κατασκευάζεται με την τεχνολογία TSMC's 5 nm.





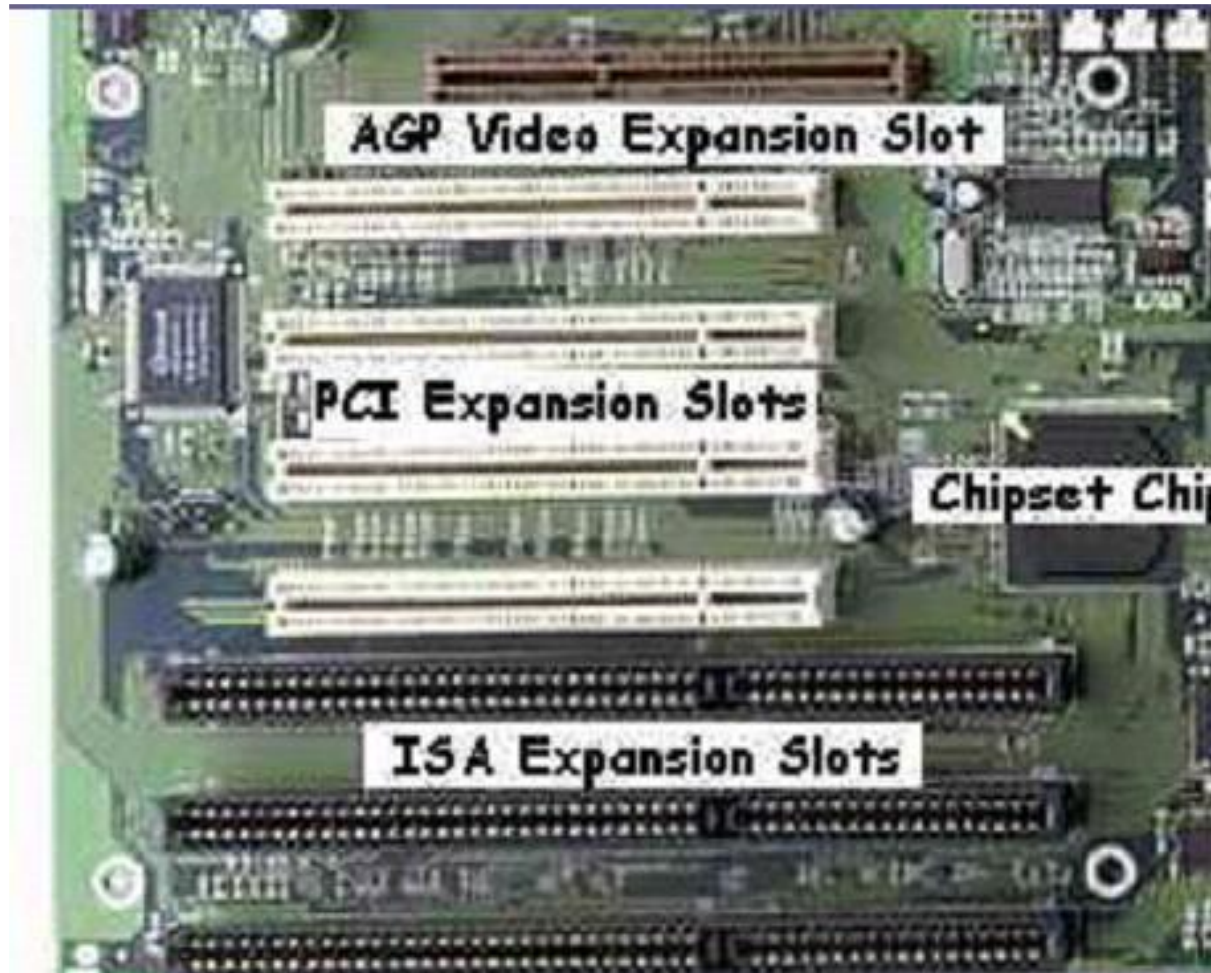
# Μνήμη

---

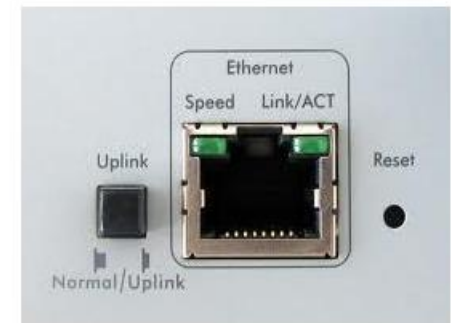
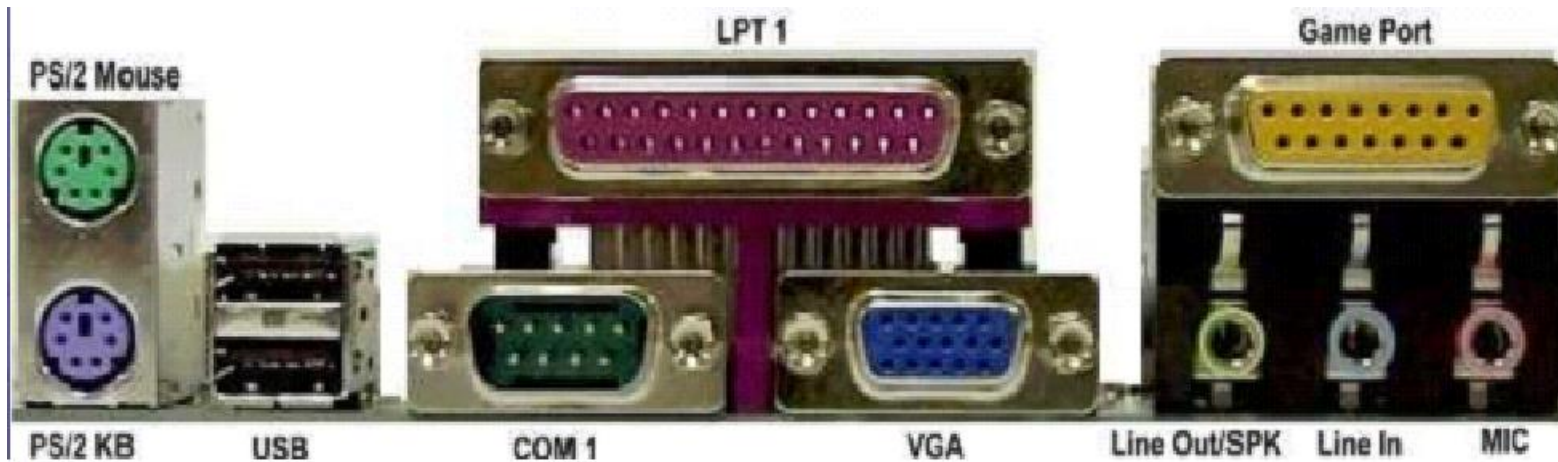


# θύρες επέκτασης

---

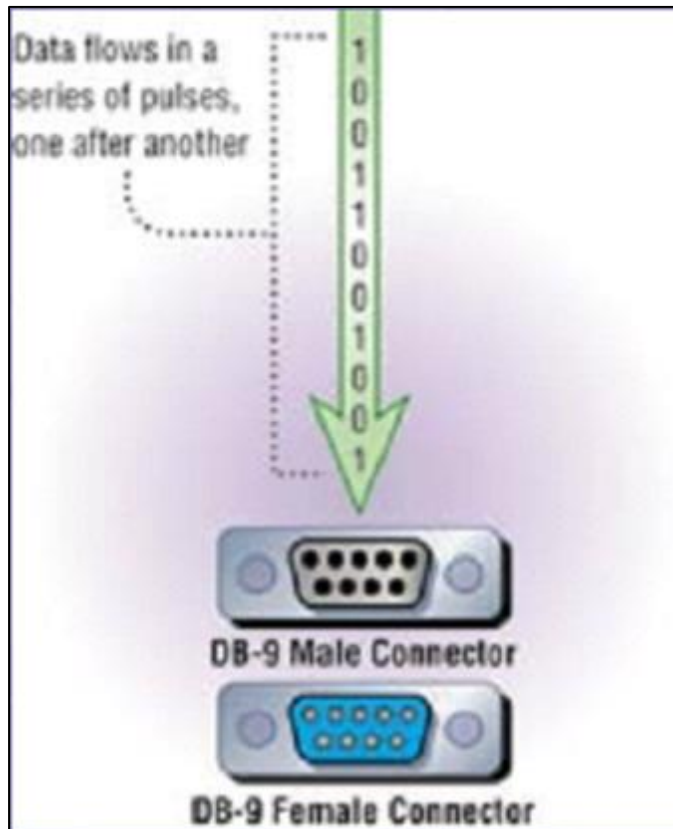


# Είσοδος/ Έξοδος

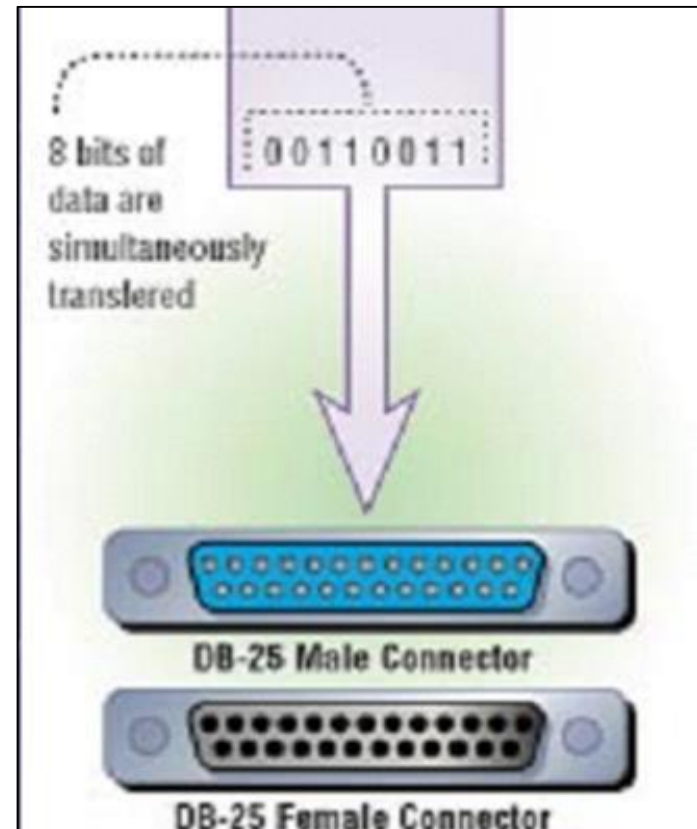


# serial VS parallel

## Serial



## Parallel





# Ενσωματωμένοι Επεξεργαστές στην αυτοκινητοβιομηχανία

---

Περισσότεροι από 70 ενσωματωμένοι επεξεργαστές στα οχήματα που ελέγχουν:

- Κινητήρα (υψηλή απόδοση, χαμηλή κατανάλωση).
- Συστήματα άνεσης και ευκολίας.
- Συστήματα επικοινωνιών.
- Συστήματα ασφαλείας.
- Συστήματα διαχείρισης ενέργειας.

**Anti-locking Braking System (ABS), Dynamic Stability Control (DSC) system, Anti-Slip Control (ASC) system, Ανάπτυξη των αερόσακων, Περιορισμός των ζωνών ασφαλείας, Αισθητήρες πρόσκρουσης, Αισθητήρες πίεσης των ελαστικών**



# Χαρακτηριστικά ενσωματωμένων υπολογιστών

---

## Πρωταρχικός στόχος:

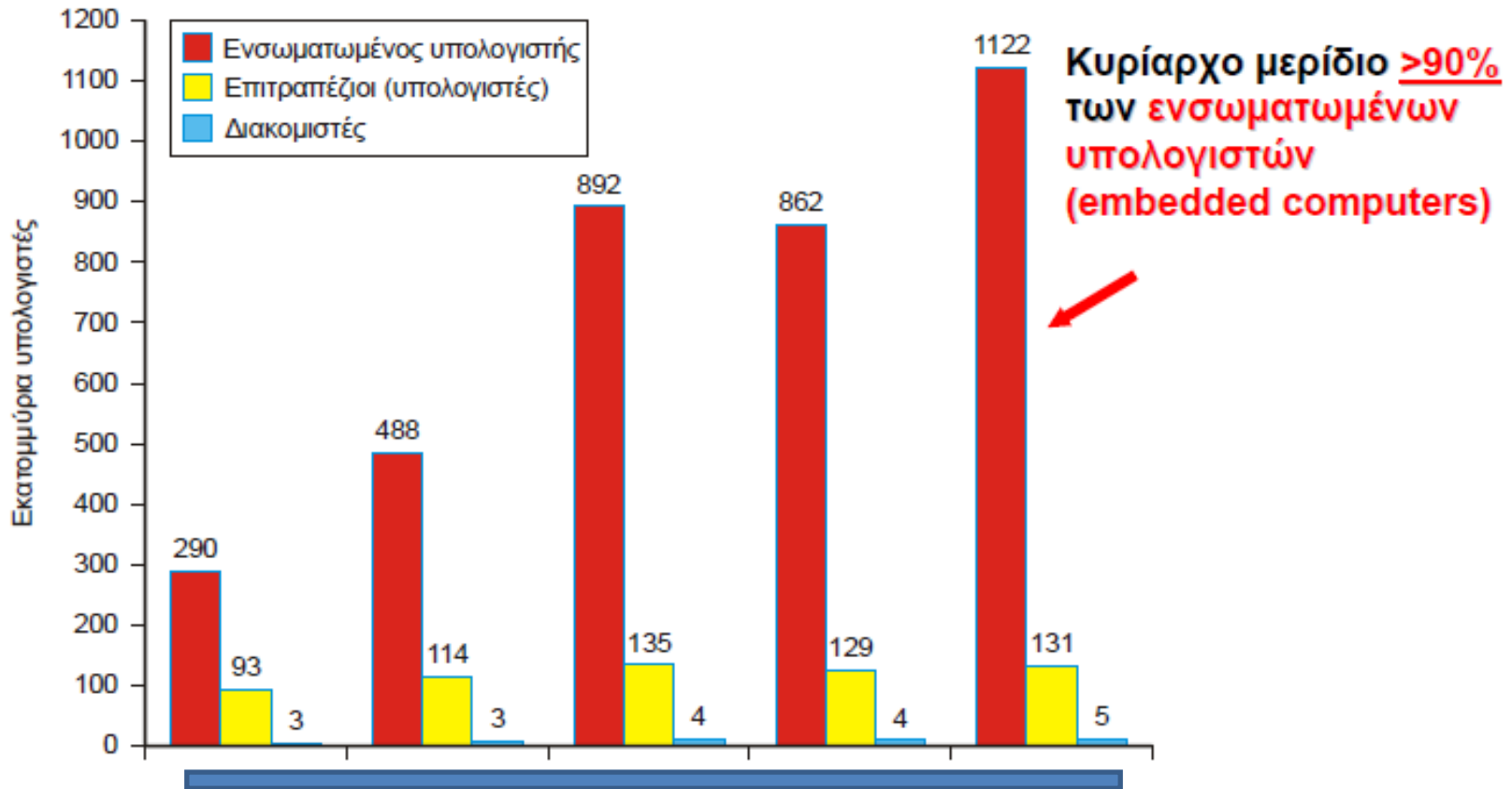
- Επίτευξη της ζητούμενης απόδοσης με το μικρότερο δυνατό κόστος.
  - Η υψηλότερη απόδοση σε υψηλότερο κόστος δεν αποτελεί επιλογή.
- Απόδοση σύμφωνα με τις προδιαγραφές των εφαρμογών πραγματικού χρόνου.
  - Ένα τμήμα της εφαρμογής έχει ένα απόλυτα μέγιστο χρόνο εκτέλεσης (Π.χ. *Video frame processing*).

## Άλλα σημαντικά θέματα:

- Ελαχιστοποίηση απαιτούμενης μνήμης (*σημαντικό κόστος*).
- Ελαχιστοποίηση κατανάλωσης ισχύος.
  - Χρήση μπαταρίας, packaging χαμηλότερου κόστους, απουσία ψύξης.
- Αξιοπιστία, ασφάλεια.
  - Για κρίσιμες εφαρμογές (*safety critical applications*).



# Αγορά Υπολογιστών



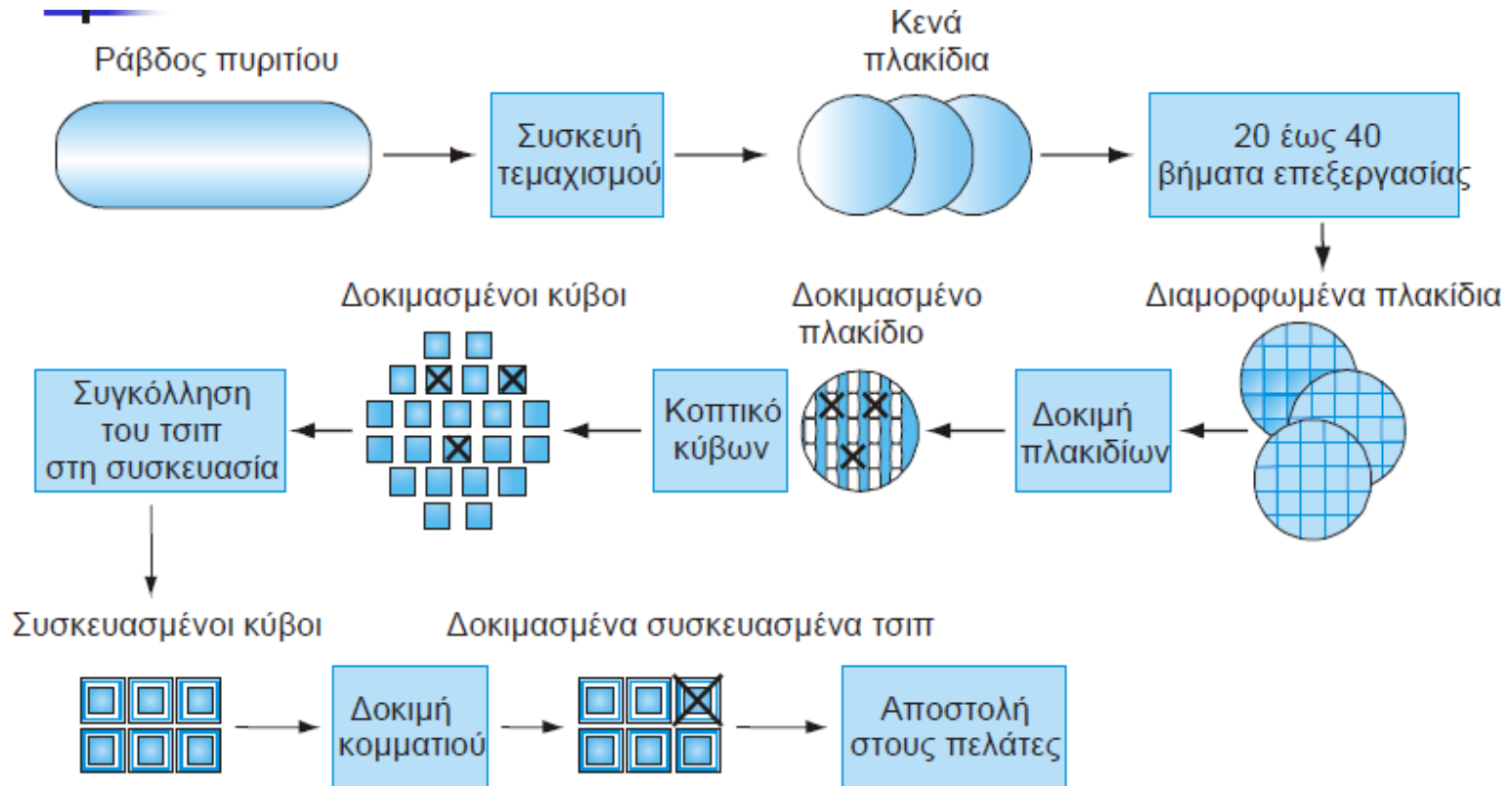
---

# Διαδικασία κατασκευής ολοκληρωμένου κυκλώματος

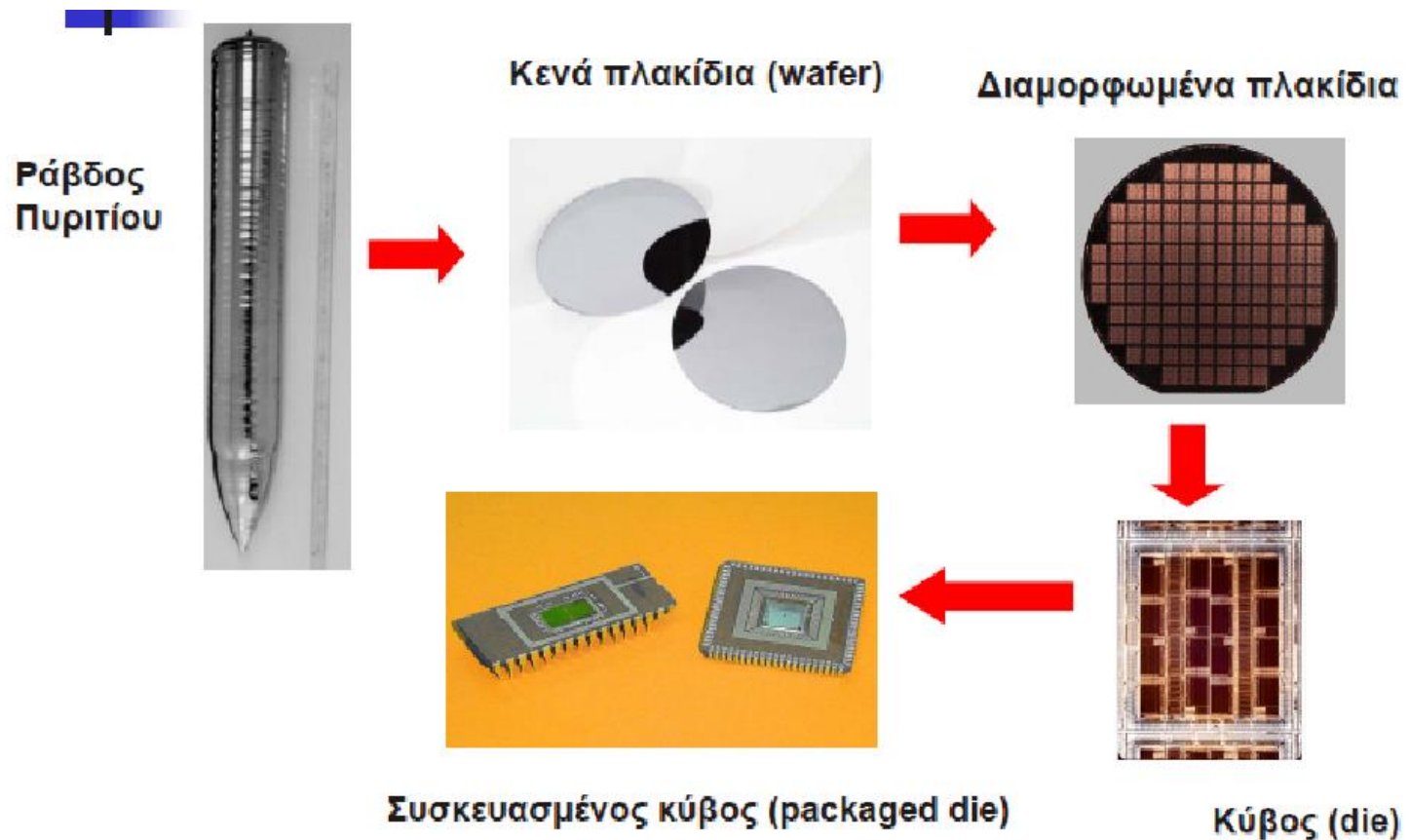




# Διαδικασία βιομηχανικής κατασκευής chip (1/2)

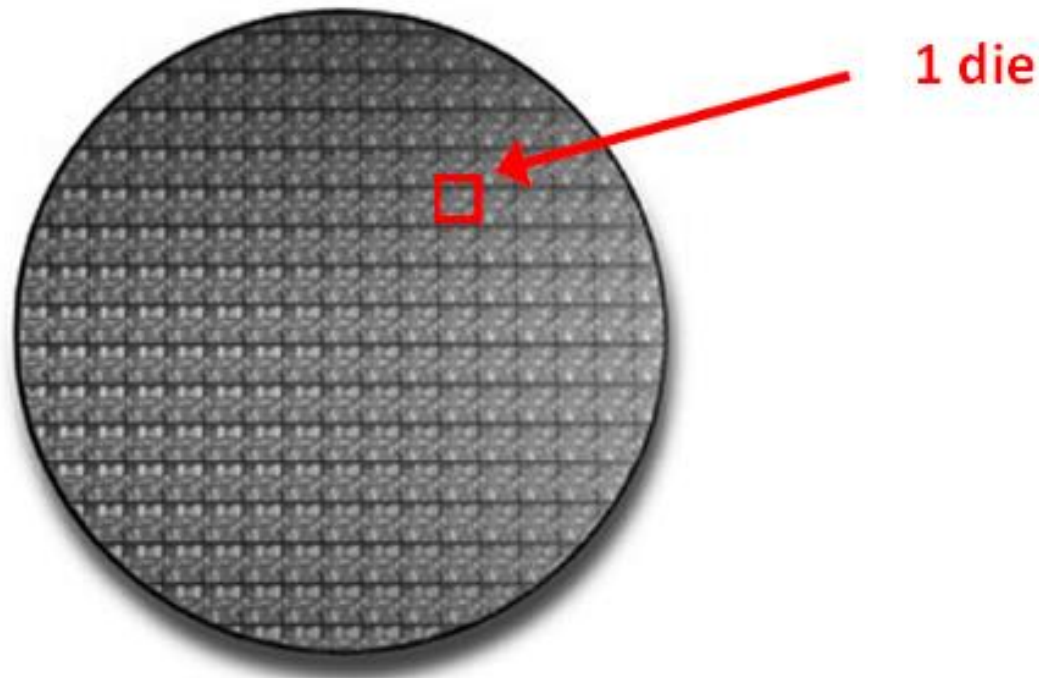


# Διαδικασία βιομηχανικής κατασκευής chip (2/2)



# Κενά πλακίδια (wafer)

---

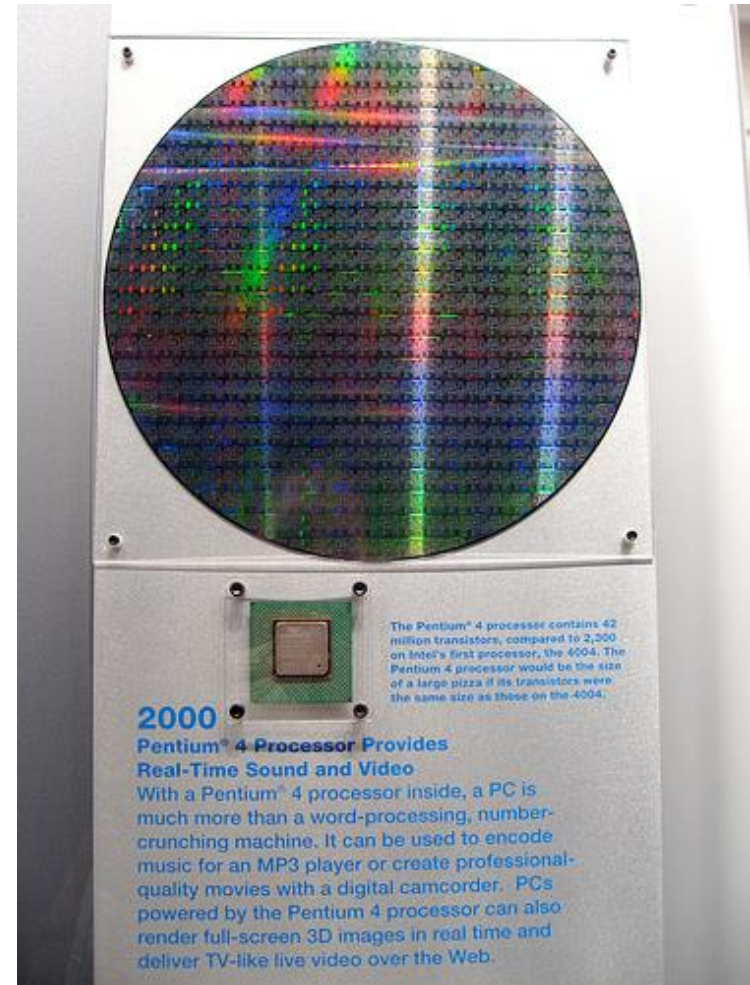


**Αυτό το πλακίδιο (wafer) περιέχει 165 κύβους (dies) με επεξεργαστές Pentium 4 (τεχνολογίας 130nm).**



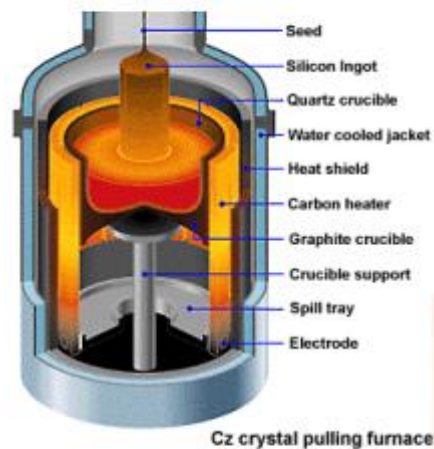
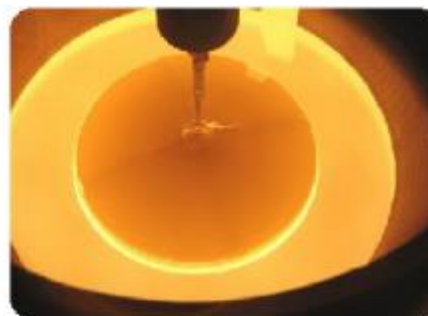
# Γιατί είναι στρόγγυλα τα wafer; (1/2)

- Οφείλεται στο γεγονός ότι η δημιουργία της κρυσταλλικής δομής μπορεί να γίνει μόνο ως κύλινδρος.
- Παρέχεται μεγαλύτερη σταθερότητα και δεσπάει εύκολα.
- Η επιφάνεια που δε χρησιμοποιείται ξαναχρησιμοποιείται.



# Γιατί είναι στρόγγυλα τα wafer; (2/2)

- Μείγμα άμμου λιώνει σε μια ειδική συσκευασία.
- Τοποθετείται κάποιος “σπόρος” κρυστάλλου.
- Η φύση δημιουργεί ένα κυλινδρικό μεγάλο κρύσταλλο με 99.9999999% καθαρότητα.
- Σιγά σιγά έλκεται το 'ingot' (πλινθώματα πυριτίου).





# Ατέλειες (defects) και εσοδεία (yield)

---

**Ατέλεια:** οποιοδήποτε μικροσκοπικό ψεγάδι:

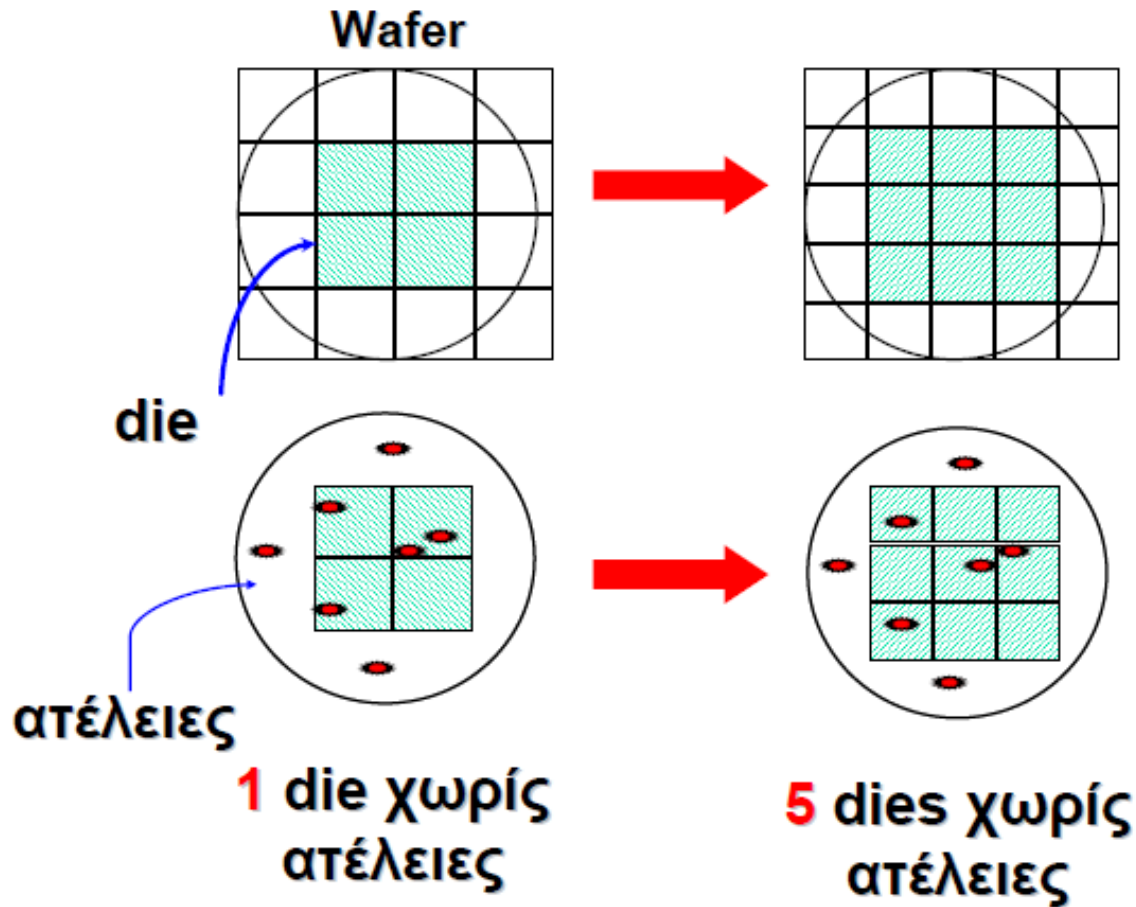
- στο ίδιο το πλακίδιο ή στις δεκάδες των βημάτων διαμόρφωσης, που μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αχρήστευση του die (chip) που περιέχει την ατέλεια.
- Ο τεμαχισμός του πλακιδίου (wafer) σε κύβους (dies):
  - επιτρέπει την απόρριψη μόνο αυτών των κύβων που περιέχουν τις ατέλειες.

**Εσοδεία** μιας διεργασίας: το ποσοστό των καλών chip από το σύνολο των chip ενός πλακιδίου.

- Παράδειγμα: εάν 17 chip στα 20 που παρήχθησαν πέρασαν τον έλεγχο, το yield είναι  $17/20$  ή 85%.

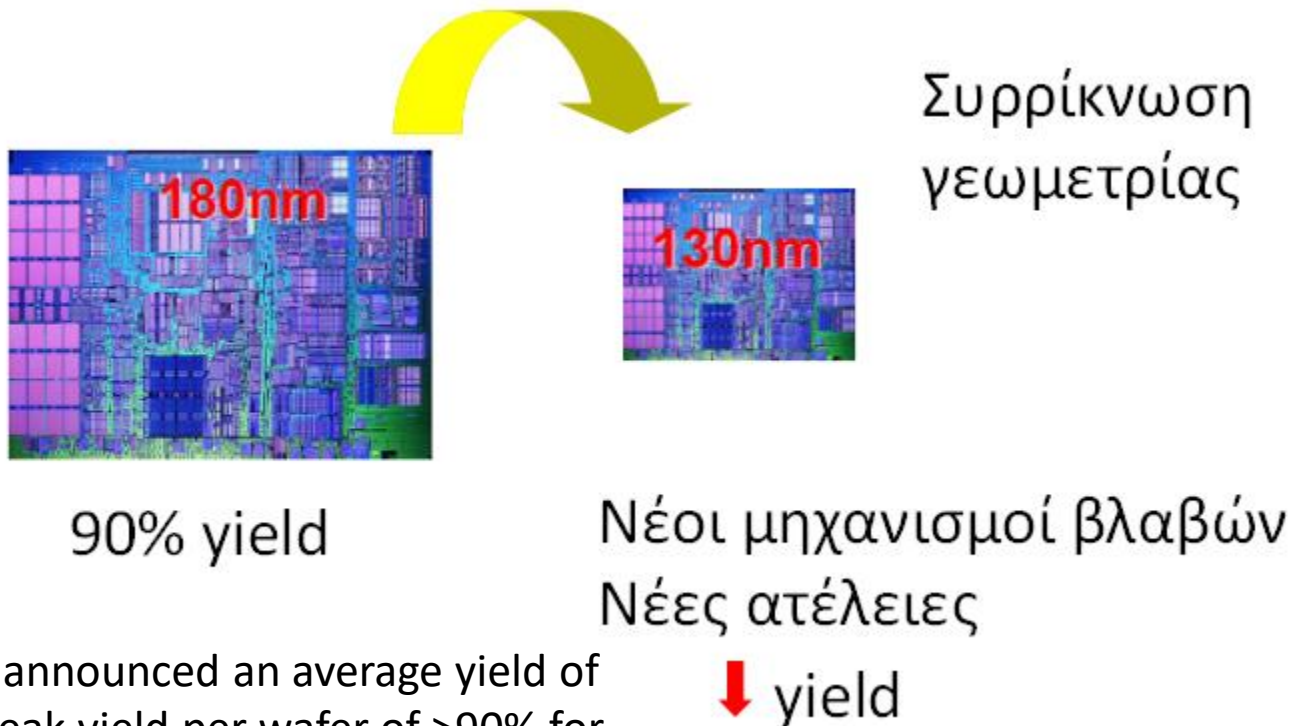


# Η σχέση της εσοδείας και του μεγέθους του κύβου



# Η σχέση της εσοδείας και της γεωμετρίας

---



In 2019 TSMC announced an average yield of ~80% with a peak yield per wafer of >90% for their 5nm test chips with a die size of 17.92 mm<sup>2</sup>





# Ο έλεγχος της αξιοπιστίας των chip γίνεται όλο και πιο δύσκολος

---

- Από τις πιο κρίσιμες προκλήσεις με καθοριστικό ρόλο στις εξελίξεις στην αρχιτεκτονική υπολογιστών.
- Παρελθόν: Τα Ο.Κ. αποτελούσαν τα πιο αξιόπιστα μέρη ενός Η/Υ ευάλωτοι ακροδέκτες αλλά εσωτερικά αξιόπιστο Ο.Κ.
- Σήμερα: Σε γεωμετρίες <math><65\text{nm}</math>, ο επεξεργαστής καθίσταται ιδιαίτερα ευάλωτος σε μηχανισμούς βλαβών.
  - μη ορθή λειτουργία του επεξεργαστή είτε μετά την κατασκευή του είτε στο πεδίο της κανονικής του λειτουργίας (*in-field operation*).
- Η επιτυχία της βιομηχανίας των επεξεργαστών στο προσεχές μέλλον θα εξαρτηθεί από τις εξελίξεις στην αρχιτεκτονική Η/Υ που σχετίζονται με καινοτόμες και αποτελεσματικές ως προς το κόστος λύσεις για:
  - την ανίχνευση τέτοιων ελαττωμάτων.
  - την ανέχεια του υπολογιστικού συστήματος σε τέτοια ελαττώματα.



# Πως επιτυγχάνεται η αξιοπιστία

---

- Κλασική λύση: Πλεονασμός (*redundancy*) στο χρόνο και/ή στο χώρο που εφαρμόζεται με υλικό και/ή λογισμικό → επιβάρυνση σε κόστος υλικού, απόδοση, κατανάλωση ισχύος.
- Ένας αξιόπιστος Η/Υ πρέπει να παρέχει τις εξής κρίσιμες δυνατότητες:
  - μηχανισμούς για την ανίχνευση και την διάγνωση ενός σφάλματος.
  - τεχνικές για την επαναφορά της ορθής κατάστασης στο σύστημα μετά από την ανίχνευση ενός σφάλματος.
  - μηχανισμούς για την αποκατάσταση της ορθής λειτουργίας του συστήματος για τους μελλοντικούς υπολογισμούς.
- Η έρευνα στις αρχιτεκτονικές Chip Multiprocessors (CMP) ήδη παρέχει αποτελεσματικές λύσεις για τις δύο τελευταίες δυνατότητες.
- Ανάπτυξη τεχνικών ανίχνευσης ελαττωμάτων χαμηλού κόστους.
- Η μεγαλύτερη ερευνητική πρόκληση της αρχιτεκτονικής υπολογιστών στην σχεδίαση αξιόπιστων CMP αρχιτεκτονικών.



# Είναι απαραίτητη η ανίχνευση ελαττωμάτων

---

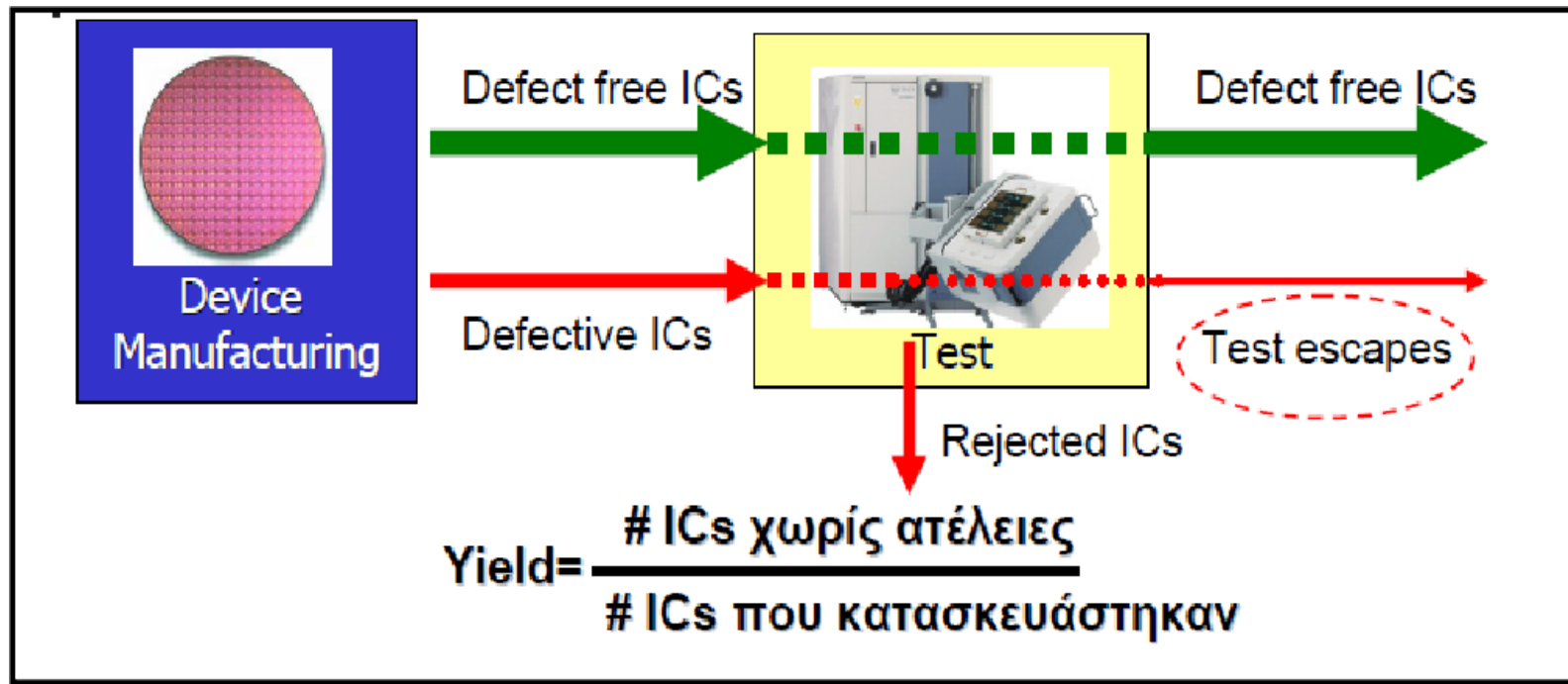
**Η διαδικασία βιομηχανικής κατασκευής των Ο.Κ. ΔΕΝ είναι τέλεια!**

Ένα Ο.Κ. με ατέλειες μπορεί να προκαλέσει:

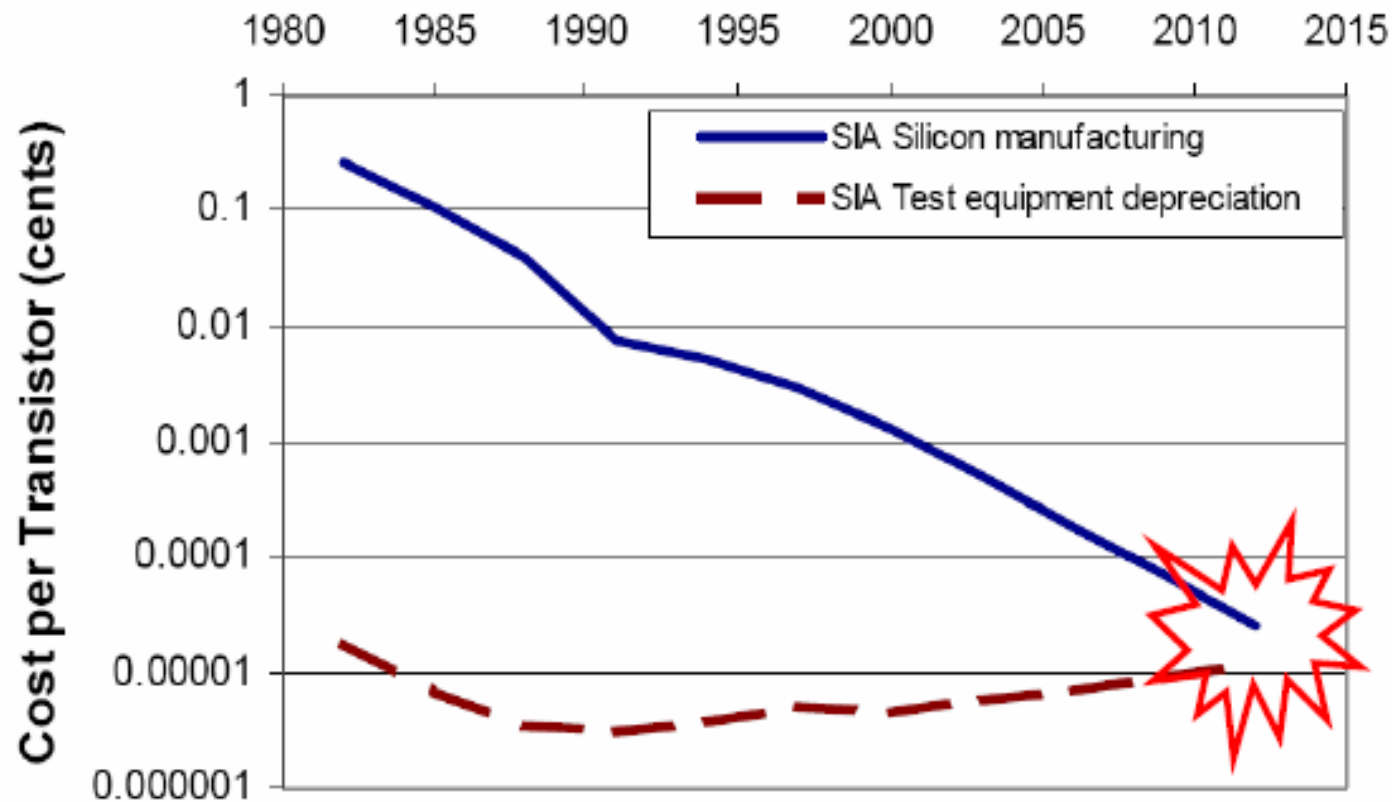
- Κατάρρευση συστημάτων.
- Οικονομικές καταστροφές.
- Απώλειες ανθρώπινων ζωών.



# Ο έλεγχος δεν είναι τέλειος



# Το κόστος ελέγχου είναι παρόμοιο με το κόστος κατασκευής



International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS)



# Ανάγκη για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας

---

- Η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας/ισχύος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους στόχους στην σχεδίαση Η/Υ.
- Πρακτικοί λόγοι.
  - Φορητές συσκευές μικρού μεγέθους και βάρους.
- Αύξηση της αξιοπιστίας.
  - Η υπερβολική θερμότητα μειώνει την αξιοπιστία.
- Μείωση του κόστους.
  - Χρήση μικρότερης/φθηνότερης μπαταρίας.
  - Χρήση φθηνότερης συσκευασίας Ο.Κ. (*IC packaging*).
- Περιβαλλοντολογικοί λόγοι.
  - Η κοινοπραξία Energy Star προωθεί τις συσκευές μειωμένης κατανάλωσης ισχύος για περιβαλλοντολογικούς λόγους.

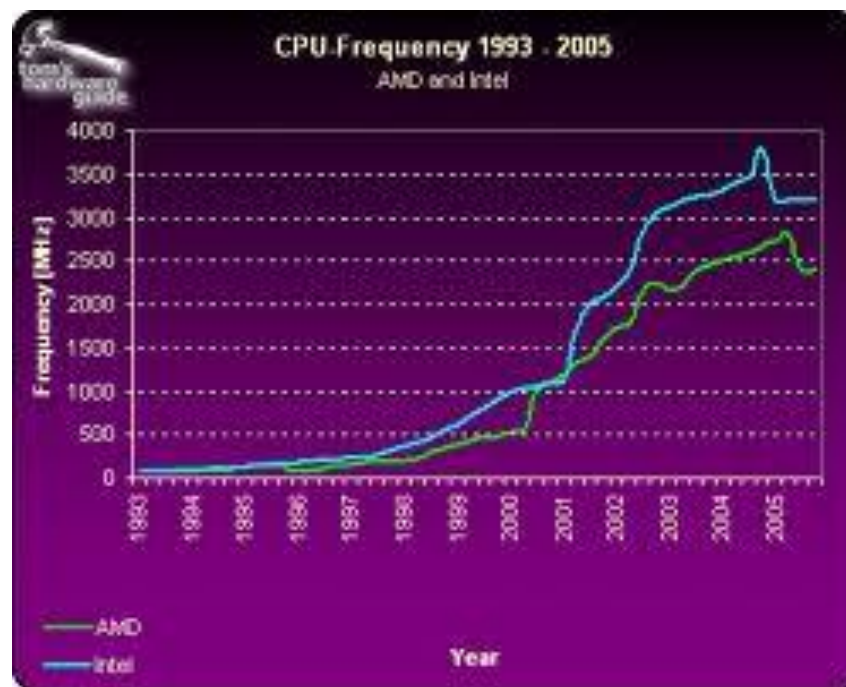




# Η αύξηση των επιδόσεων δε συνδέεται με την αύξηση της συχνότητας λειτουργίας

Η νοοτροπία της βιομηχανίας που οδήγησε, λόγω του ανταγωνισμού, σε μια τρελή κούρσα για αυξανόμενες συχνότητες ρολογιού έχει αλλάξει.

- Η αύξηση της απόδοσης δεν έρχεται μόνο μέσω της αύξησης της συχνότητας.
- Η επίδραση της αυξανόμενης κατανάλωσης ισχύος και θερμότητας ήταν καθοριστική.



# Πολλαπλοί πυρήνες επεξεργασίας

---

Η αύξηση των επιδόσεων μπορεί να επιτευχθεί με πολλαπλούς πυρήνες επεξεργασίας.

Οι προκλήσεις για υψηλότερη απόδοση και η εκθετικά αυξανόμενη πυκνότητα ολοκλήρωσης (Νόμος του Moore), ώθησαν την βιομηχανία στην ολοκλήρωση πολλαπλών πυρήνων (multicore) επεξεργαστών.

Η χρήση πολλαπλών πυρήνων επιτρέπει:

- Χαμηλότερες συχνότητες λειτουργίας.
- Συνεπώς περιορισμό της κατανάλωσης ισχύος και της θερμότητας.
- Δραματική αύξηση της απόδοσης (σε ορισμένες περιπτώσεις).
- Με κατάλληλο λογισμικό που εκμεταλλεύεται την παραλληλία στην εκτέλεση.



# Τι κάνει τελικά ένας υπολογιστής;

---

- Ένας υπολογιστής δεν είναι ιδιαίτερα «έξυπνος».
  - Απλά, εκτελεί με ακρίβεια και ταχύτητα ό τι του ζητήσει ο χρήστης.
- Ο πιο κατάλληλος τρόπος για επικοινωνήσει κανείς με τον υπολογιστή, είναι να μάθει να χρησιμοποιεί μια **γλώσσα οικεία στον υπολογιστή**.
- Η διδασκαλία μιας γλώσσας απαιτεί την σταδιακή δημιουργία ενός λεξιλογίου επάνω στο οποίο θα αναπτυχθεί η γλώσσα.
  - Το **λεξιλόγιο** της γλώσσας του υπολογιστή καλείται **σύνολο εντολών** (*instruction set*).
  - Οι **λέξεις** που χρησιμοποιούνται στην γλώσσα του υπολογιστή καλούνται **εντολές** (*instructions*).



# Η λειτουργία του υπολογιστή

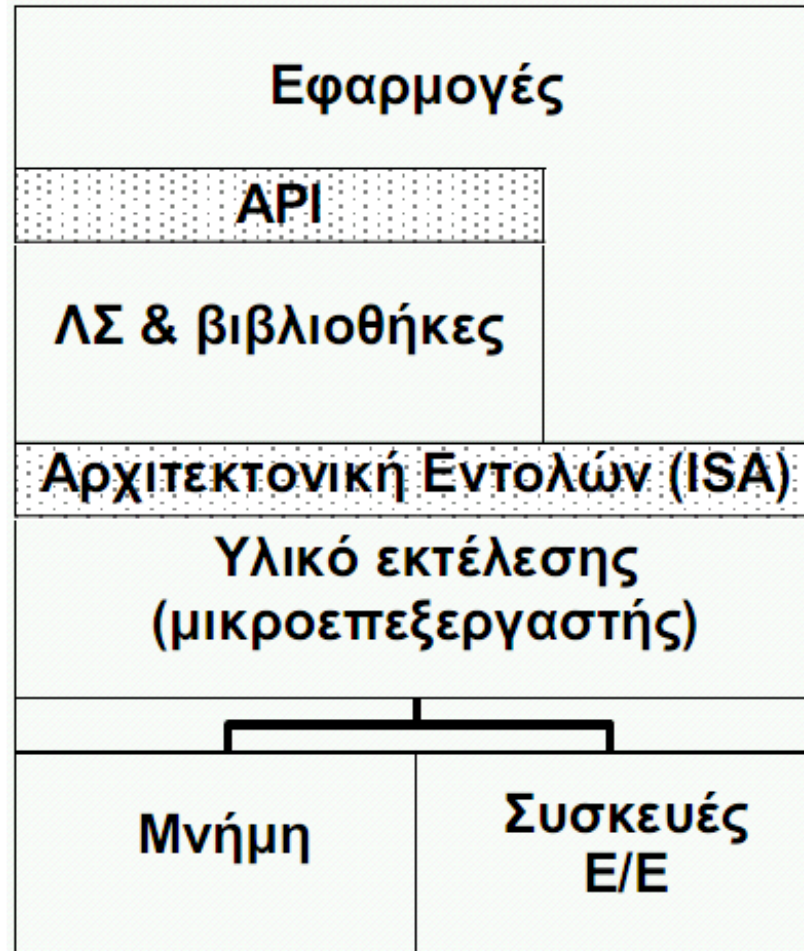
---

- Ο χρήστης γράφει προγράμματα,
  - για να καθοδηγήσει τον υπολογιστή.
- Ο υπολογιστής εκτελεί τα προγράμματα.
- Ένα πρόγραμμα αποτελείται από:
  - **Δεδομένα**. Οι πληροφορίες που καλείται να επεξεργαστεί αποτελούν τα δεδομένα εισόδου
  - **Εντολές**. Καθορίζουν τι ακριβώς θα κάνει ο υπολογιστής επάνω στα δεδομένα πχ. μετακίνηση, αριθμητική επεξεργασία, κλπ.
- Ο κάθε υπολογιστής «καταλαβαίνει» μόνο τη δική του γλώσσα
  - **Γλώσσα μηχανής** (*machine language*)
  - Όχι τόσο βολική για τον άνθρωπο/χρήστη...



# Ο υπολογιστής αποτελείται από μια ιεραρχία επιπέδων

---



# Λογισμικό (Software)

---

**Το λογισμικό αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα της αρχιτεκτονικής του Η/Υ.**

- Ορίζει τον τρόπο χρήσης του υλικού.
- Συνεπώς συν-διαμορφώνει:
  - Απόδοση.
  - Κατανάλωση ενέργειας.
  - Αξιοπιστία.
- Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το λογισμικό στη σχεδίαση ενός Η/Υ:

**→ συ-σχεδιασμός υλικού λογισμικού.**





---

# Αριθμητικά Συστήματα



# Αναπαράσταση αριθμητικών δεδομένων (1/3)

- Ένας αριθμός είναι μια μαθηματική έννοια.
- Υπάρχουν πολλοί τρόποι για την αναπαράσταση ενός αριθμού.
- Παραδοσιακό αριθμητικό σύστημα (το μάθαμε στο σχολείο).
  - Αριθμητικό σύστημα θέσης.
  - Κάθε αριθμός αναπαρίσταται από μια ακολουθία ψηφίων όπου η θέση του κάθε ψηφίου έχει ένα αντίστοιχο βάρος
$$1734 = 1 \cdot 1000 + 7 \cdot 100 + 3 \cdot 10 + 4 \cdot 1$$
  - Το κάθε βάρος είναι μια **δύναμη του 10** που αντιστοιχεί στην θέση του κάθε ψηφίου
  - Η χρήση της υποδιαστολής επιτρέπει χρήση θετικών και αρνητικών δυνάμεων του 10
$$5185.68 = 5 \cdot 1000 + 1 \cdot 100 + 8 \cdot 10 + 5 \cdot 1 + 6 \cdot 0,1 + 8 \cdot 0,01$$
  - Γενικά, ένας αριθμός  $D$  της μορφής  $d_1 d_0 d_{-1} d_{-2}$  έχει την τιμή
$$D = d_1 \cdot 10^1 + d_0 \cdot 10^0 + d_{-1} \cdot 10^{-1} + d_{-2} \cdot 10^{-2}$$



# Αναπαράσταση αριθμητικών δεδομένων (2/3)

- Βάση του αριθμητικού συστήματος.
  - Στο προηγούμενο παράδειγμα η **βάση του αριθμητικού συστήματος** είναι το **10**.
  - Ο άνθρωπος έχει μάθει να σκέφτεται στο **δεκαδικό σύστημα**.
- Σε ένα γενικό αριθμητικό σύστημα θέσης.
  - Βάση μπορεί να είναι ακέραιος αριθμός  $r \geq 2$ .
  - Το ψηφίο στην θέση  $i$  έχει βάρος ίσο με  $r^i$ .
  - Η γενική μορφή ενός αριθμού είναι:  
 $d_{p-1}d_{p-2}\dots d_1d_0d_{-1}d_{-2}\dots d_{-n}$
  - Η τιμή του αριθμού είναι το άθροισμα του κάθε ψηφίου επί την αντίστοιχη δύναμη της βάσης.

$d_{p-1}$

$d_{-n}$

Περισσότερο  
σημαντικό ψηφίο

$$D = \sum_{i=-n}^{p-1} d_i r^i$$

Λιγότερο  
σημαντικό ψηφίο



# Αναπαράσταση αριθμητικών δεδομένων (3/3)

- Τα σήματα στα ψηφιακά συστήματα μπορούν να βρίσκονται σε δύο καταστάσεις: **off** και **on**.
  - Οι καταστάσεις **off** και **on** μπορούν να αναπαρασταθούν από τα ψηφία **0** και **1**.
- Στα ψηφιακά συστήματα χρησιμοποιείται η **δυναδική βάση**.
  - Δυναδικό σύστημα.
- Η γενική μορφή ενός **δυναδικού αριθμού (binary number)** είναι:  
**MSB**  $b_{p-1} b_{p-2} \dots b_1 b_0 b_{-1} b_{-2} \dots b_{-n}$  **LSB**
- Η τιμή του δυναδικού αριθμού είναι το άθροισμα του κάθε **δυναδικού ψηφίου (bit)** επί την αντίστοιχη δύναμη του **2**.

$$B = \sum_{i=-n}^{p-1} b_i 2^i$$



# Παραδείγματα μετατροπής

---

- Παραδείγματα

- $10011_2 = 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 19_{10}$

- $100010_2 = 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 34_{10}$

- $101.001_2 = 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^{-1} + 0 \cdot 2^{-2} + 1 \cdot 2^{-3} = 5.125_{10}$



# Μετατροπή στο δυαδικό σύστημα (ακέραιο μέρος)

- Μετατροπή δεκαδικών αριθμών σε αριθμούς με βάση το  $r$

**DEC2r** (για ακέραιους).

- Αλγόριθμος: Διαδοχική διαίρεση του δεκαδικού αριθμού με το  $r$  χρησιμοποιώντας το υπόλοιπο ως αποτέλεσμα της μετατροπής μέχρι το πηλίκο να μηδενιστεί.

- Παράδειγμα: Μετατρέψτε το  $57_{10}$  σε δυαδικό (βάση  $r=2$ )

$$57/2=28 \text{ υπόλοιπο } 1 \text{ (LSB)}$$

$$/2=14 \text{ υπόλοιπο } 0$$

$$/2=7 \text{ υπόλοιπο } 0$$

$$/2=3 \text{ υπόλοιπο } 1$$

$$/2=1 \text{ υπόλοιπο } 1$$

$$/2=0 \text{ υπόλοιπο } 1 \text{ (MSB)}$$

$$\text{Άρα } 57_{10} = 111001_2$$





# Μετατροπή στο δυαδικό σύστημα (κλασματικό μέρος)

- Μετατροπή δεκαδικών αριθμών σε αριθμούς με βάση το  $r$

**DEC2r** (για κλασματικούς).

- Αλγόριθμος: Διαδοχικός πολ/σμός του αριθμού με το  $r$  χρησιμοποιώντας το ακέραιο μέρος του γινομένου ως αποτέλεσμα της μετατροπής μέχρι το κλασματικό μέρος να μηδενιστεί. Σε κάθε επανάληψη, το ακέραιο μέρος απορρίπτεται:

- Παράδειγμα: Μετατρέψτε το  $.3_{10}$  σε δυαδικό (βάση  $r=2$ )

$$0.3 * 2 = 0.6 \text{ ακέραιο μέρος } 0 \text{ (MSB)}$$

$$0.6 * 2 = 1.2 \text{ ακέραιο μέρος } 1$$

$$0.2 * 2 = 0.4 \text{ ακέραιο μέρος } 0$$

$$0.4 * 2 = 0.8 \text{ ακέραιο μέρος } 0$$

$$0.8 * 2 = 1.6 \text{ ακέραιο μέρος } 1$$

$$0.6 * 2 = 1.2 \text{ ακέραιο μέρος } 1$$

$$\text{Άρα } 0.3_{10} = .010011_2$$



# Αναπαράσταση αριθμητικών δεδομένων (δεκαεξαδικό σύστημα)

- Σύστημα αριθμών χρήσιμα για την αρχιτεκτονική και τον προγραμματισμό των Η/Υ.
- **Δεκαεξαδικό (hexadecimal ή hex): Βάση το 16.**
  - Απαιτεί 16 ψηφία { 0-9}, { A-F}
  - Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την αναπαράσταση αριθμών με πολλά bits.
  - Στις γλώσσες προγραμματισμού οι δεκαεξαδικοί αριθμοί συνηθίζεται να γράφονται με το πρόθεμα 0x π.χ. 0x12FC

Παραδείγματα:

$$41_{(16)} = 4 \cdot 16^1 + 1 \cdot 16^0 = 65_{10}$$

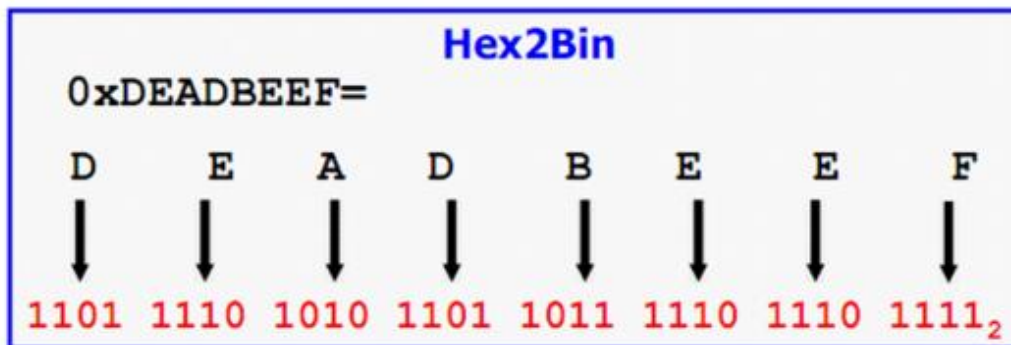
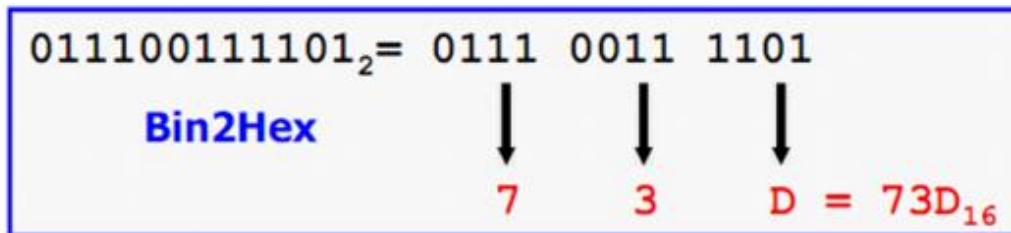
$$1EA_{(16)} = 1 \cdot 16^2 + E \cdot 16^1 + A \cdot 16^0 = 490_{10}$$

$$200_{(16)} = 2 \cdot 16^2 + 0 \cdot 16^1 + 0 \cdot 16^0 = 512_{10}$$



# Μετατροπή μεταξύ δυαδικού και δεκαεξαδικού

- Μετατροπή μεταξύ δυαδικού και δεκαεξαδικού.
  - Κάθε δεκαεξαδικό ψηφίο αντιστοιχεί σε 4 δυαδικά.



Hex	Bin	Hex	Bin
0	0000	8	1000
1	0001	9	1001
2	0010	A	1010
3	0011	B	1011
4	0100	C	1100
5	0101	D	1101
6	0110	E	1110
7	0111	F	1111



# Αναπαράσταση αριθμών (1/2)

---

- Υπάρχουν πολλοί τρόποι να αναπαραστήσει κανείς τους δυαδικούς αριθμούς.
- Βασικά θέματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη:
  - Αναπαράσταση αρνητικών αριθμών.
  - Μεγαλύτερος αριθμός που μπορεί να αναπαρασταθεί.
  - Πολυπλοκότητα εκτέλεσης αριθμητικών λειτουργιών.
- Επιλογή της αναπαράστασης που δίνει την βέλτιστη λύση στα παραπάνω.
  - Βέλτιστη λύση για τον υπολογιστή που εκτελεί τις λειτουργίες επάνω στα δεδομένα, όχι για τον άνθρωπο.



# Αναπαράσταση αριθμών (2/2)

---

- Μη προσημασμένοι ακέραιοι:
  - $n$  bits  $\rightarrow$  ο μεγαλύτερος αριθμός που μπορεί να αναπαρασταθεί έχει την τιμή  $2^n - 1$ .
  - Παράδειγμα:
  - Για 4-bits, ο μεγαλύτερος αριθμός που μπορεί να αναπαρασταθεί  $(1111)_2$  έχει την τιμή  $2^4 - 1 = 15$ .
- Προσημασμένοι ακέραιοι:
  - Σύστημα προσημασμένου μεγέθους (*Sign & Magnitude*).
  - Συμπλήρωμα ως προς 1 (*One's complement*).
  - Συμπλήρωμα ως προς 2 (*Two's complement*).



# Αναπαράσταση αριθμών “προσημασμένου μεγέθους”

- Σύστημα προσημασμένου μεγέθους:

- Πρόσθεση στον αριθμό ( μέγεθος ) ενός επιπλέον δυαδικού ψηφίου για την αναπαράσταση του προσήμου.

Παράδειγμα:

$$010110_2 = 22_{10} \quad , \quad 110110_2 = -22_{10}$$

- Πλεονεκτήματα:

- Αποτελεί επέκταση της αναπαράστασης μη – προσημασμένων αριθμών.
- Ίδιος αριθμός θετικών και αρνητικών αριθμών.

- Μειονεκτήματα:

- Δύο διαφορετικές αναπαραστάσεις του 0:

$$+0 = 00000_2 \quad -0 = 10000_2$$

- Σχετικά πολύπλοκος αλγόριθμος και αντίστοιχο κύκλωμα για την πρόσθεση των αριθμών.





# Συμπλήρωμα ως προς 1

- Σύστημα 1's complement

- Σε αυτό το σύστημα το συμπλήρωμα ενός n-bit αριθμού D , λαμβάνεται με αφαίρεση του αριθμού από το  $2^n-1$

$$(-D) = (2^n-1) - D$$

$$1111 - D = (11\dots1) \text{ XOR } D$$

Δηλαδή απλή αντιστροφή του D

- Πλεονεκτήματα:

- Συμμετρία

- Μειονεκτήματα:

- Δύο διαφορετικές αναπαραστάσεις του 0:

$$+0 = 0000_2 \quad -0 = 1111_2$$

- Σχετικά πολύπλοκος αλγόριθμος και αντίστοιχο κύκλωμα για την πρόσθεση των αριθμών.

0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	-7
1001	-6
1010	-5
1011	-4
1100	-3
1101	-2
1110	-1
1111	-0



# Συμπλήρωμα ως προς 2 (1/2)

- Σύστημα 2's complement.

- Σε αυτό το σύστημα το συμπλήρωμα ενός n-bit αριθμού D , λαμβάνεται με αφαίρεση του αριθμού από το  $2^n$

$$(-D) = 2^n - D$$

Δηλαδή 1's complement + 1.

$$(-D) = (2^n - 1) - D + 1$$

Δηλαδή απλή αντιστροφή του D και πρόσθεση 1.

- Πλεονεκτήματα:

- Μια και μοναδική αναπαράσταση του  $0 = 0000_2$
- Ο αλγόριθμος και το κύκλωμα της πρόσθεσης είναι ιδιαίτερα απλός και ανεξάρτητος του ψηφίου προσήμου.

- Μειονεκτήματα:

- Ένας περισσότερος αρνητικός αριθμός  
Παράδειγμα (4-bits 2's complement αριθμοί )

$1000_2 = -8_{10}$  αλλά το +8 δεν μπορεί να αναπαρασταθεί.

0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	-8
1001	-7
1010	-6
1011	-5
1100	-4
1101	-3
1110	-2
1111	-1



# Συμπλήρωμα ως προς 2 (2/2)

- Όλοι οι σύγχρονοι επεξεργαστές χρησιμοποιούν αναπαράσταση συμπλήρωμα ως προς 2 για τους ακέραιους.
- Για τον αντίθετο ενός αριθμού ( θετικού ή αρνητικού ):
  - **Βήμα 1.** Βρίσκουμε το συμπλήρωμα ως προς 1 ( αντιστροφή )
  - **Βήμα 2.** Προσθέτουμε 1
- Παράδειγμα

$$14_{10} = 01110_2$$

$$\begin{array}{r} -14_{10} = 10001_2 \\ \phantom{-14_{10} = } +1 \\ \hline \phantom{-14_{10} = } 10010_2 \end{array}$$

Υπάρχει και ένας άλλος πιο γρήγορος και πρακτικός τρόπος!

**“Ξεκινώντας από τα δεξί αντιγράφουμε όλα τα ψηφία έως και το πρώτο 1. Στη συνέχεια αντιστρέφουμε όλα τα υπόλοιπα. “**



# Αριθμητικές Πράξεις

- **Πρόσθεση** προσημασμένων αριθμών (2's complement):
  - Εκτελούμε απλή πρόσθεση αγνοώντας τυχόν κρατούμενα πέραν του MSB.
  - **Υπερχείλιση (Overflow)** όταν τα κρατούμενα εκατέρωθεν του MSB είναι διαφορετικά.
- **Αφαίρεση** προσημασμένων αριθμών (2's complement).
  - Μετατρέπουμε τον αφαιρετέο σε αρνητικό αριθμό (υπολογίζουμε το συμπλήρωμα όλων των bits του αφαιρετέου και προσθέτουμε 1) και μετά τον προσθέτουμε στον μειωτέο χρησιμοποιώντας τους συνήθεις κανόνες της πρόσθεσης.

## Παράδειγμα

$$14_{10} - 4_{10} = 14_{10} + (-4_{10})$$

$$\begin{array}{r} 14_{10} \qquad 01110_2 \\ -4_{10} \qquad + 11100_2 \\ \hline 01010_2 = 10_{10} \end{array}$$



# Μήκος της αναπαράστασης δυαδικών αριθμών

- **Μήκος της αναπαράστασης δυαδικών αριθμών:**
  - Ένας υπολογιστής μπορεί να επεξεργαστεί δυαδικούς αριθμούς περιορισμένου μήκους.
    - Το μήκος αυτό προσδιορίζεται από την αρχιτεκτονική του επεξεργαστή.
  - Οι σύγχρονοι επεξεργαστές είναι σε θέση να επεξεργαστούν δεδομένα των 32-bits ή 64-bits.
  - Σε αναπαράσταση 2's complement το μέγιστο εύρος των αριθμών που μπορούμε να αναπαραστήσουμε είναι:

$$-2^{n-1} \text{ έως } +(2^{n-1} - 1)$$

## Παραδείγματα

- Με  $n=3$  bits, από  $-4$  έως  $+3$
- Με  $n=8$  bits, από  $-128$  έως  $+127$
- Με  $n=32$  bits, από  $-2,147,483,648$  έως  $+2,147,483,647$



# Για να κάνουμε μια πράξη θα πρέπει οι αριθμοί να έχουν ίδιο μήκος

- **Επέκταση πρόσημου (Sign Extension):**

- Στους προσημασμένους αριθμούς σε συμπλήρωμα ως προς δύο, το περισσότερο σημαντικό ψηφίο (MSB) προσδιορίζει το **πρόσημο (sign)**.
- Για να κάνουμε πράξεις μεταξύ δύο αριθμών πρέπει οι αριθμοί να έχουν το ίδιο μήκος.
  - Αντιγράφουμε το bit του πρόσημου (MSB) στα αριστερά.

- Παράδειγμα : Μετατροπή αριθμού από 4 σε 8 ψηφία.

$6_{10} = \underline{0}110_2$  σε αναπαράσταση 4 ψηφίων.

$6_{10} = 00000110_2$  σε αναπαράσταση 8 ψηφίων.

$-2_{10} = \underline{1}110_2$  σε αναπαράσταση 4 ψηφίων.

$-2_{10} = 11111110_2$  σε αναπαράσταση 8 ψηφίων.





# Αναπαράσταση χαρακτήρων

---

- Ένα σημαντικό μέρος του συνόλου των δεδομένων που επεξεργάζεται ένας υπολογιστής δεν είναι αριθμητικά.
- Χαρακτήρες:
  - Κάθε χαρακτήρας αναπαρίσταται στον υπολογιστή σαν μια ψηφιοσειρά ακολουθώντας προκαθορισμένες συμβάσεις.
- **ASCII** (*American Standard Code for Information Interchange*)
  - Ο πιο διαδεδομένος κώδικας για αναπαράσταση χαρακτήρων.
  - Σε κάθε χαρακτήρα αντιστοιχεί μια ακολουθία 7 bit.
  - Σύνολο 128 διαφορετικοί χαρακτήρες.
- Περιέχει αριθμούς, κεφαλαία και μικρά γράμματα του λατινικού αλφάβητου, σημεία στίξης, ειδικά σύμβολα όπως \$, @, % και διάφορους μη εκτυπώσιμους χαρακτήρες ελέγχου (*carriage return* κλπ.).



---

# Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

