

## Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ (Θεμελιώδεις αρχές λειτουργίας των υπολογιστών)

<http://mixstef.github.io/courses/comparch/>



Μ.Στεφανιδάκης

## Το μάθημα συνοπτικά

### • Το μάθημα

### • Θεωρητικό μέρος

- Αρχιτεκτονική οργάνωση
  - Επεξεργαστή
  - Κύριας και κρυφής μνήμης
  - Διαύλων και συσκευών Ε/Ε
- Θέματα απόδοσης σε ένα υπολογιστικό σύστημα
- Προηγμένες αρχιτεκτονικές Η/Υ (εισαγωγή)
- Βαθμολόγηση: γραπτές εξετάσεις

## Το μάθημα συνοπτικά

### • Το μάθημα

- Ασκήσεις
  - Σχεδίαση απλής κεντρικής μονάδας επεξεργασίας και προσομοίωση
  - Σταδιακά, κάθε εβδομάδα
  - Βαθμολόγηση: με τη μορφή bonus
    - προϋπόθεση: έγκαιρη παράδοση ασκήσεων
- Προτεινόμενα Βιβλία
  - D.A.Patterson & J.L.Hennessy, “Οργάνωση και Σχεδίαση Υπολογιστών (Τόμος Α’)”, Κλειδάριθμος, 2010.
  - W. Stallings, “Οργάνωση και αρχιτεκτονική υπολογιστών”, ΤΖΙΟΛΑ, 2020.

## Τι είναι ένα «υπολογιστικό σύστημα»;

### • Υπολογιστικά Συστήματα

### • Οι κλασικοί υπολογιστές...

- Τύπου Desktop, Laptop, Notebook
- Υπερυπολογιστές
  - Supercomputers

### • Αλλά επίσης και...

- Tablets και Smartphones
- E-book readers

### • Ο κατάλογος δεν σταματά εδώ

- Τι συμβαίνει με τις συσκευές που δεν είναι αλλά περιέχουν υπολογιστές (ενσωματωμένα συστήματα);

## Ενσωματωμένα συστήματα

- Υπολογιστικά Συστήματα

### • “Embedded Systems”

- Μια πολύ μεγάλη αγορά
  - 95% των μικροεπεξεργαστών που πωλούνται ανά έτος καταλήγει σε ένα ενσωματωμένο σύστημα
- Συστήματα ειδικών απαιτήσεων
  - Ιατρικά, συγκοινωνίες, εργοστάσια, συλλογή πληροφοριών, δικτυακές συσκευές...
- Καταναλωτικά προϊόντα
  - Smartphones
  - Αυτοκίνητα
  - Το σύνολο σχεδόν των σύγχρονων οικιακών συσκευών

;

Ποια είναι η αρχιτεκτονική του μικροεπεξεργαστή που παράγεται σε μεγαλύτερο αριθμό ανά έτος;

## Αρχιτεκτονική Η/Υ

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ

;

Ανήκει το λογισμικό στο διπλανό σχήμα;

Υπολογιστικό σύστημα



Αρχιτεκτονική Η/Υ

Διαθέσιμη τεχνολογία

- Η αρχιτεκτονική συγκροτεί υπολογιστικά συστήματα χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα τεχνολογία
  - και προδιαγράφει (ωθεί) τη μελλοντική τεχνολογία

## Αρχιτεκτονική: υλικό μόνο ή και λογισμικό;

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ

- Το λογισμικό είναι σημαντικό μέρος ενός υπολογιστικού συστήματος
  - Ορίζει τον τρόπο χρήσης του υλικού
  - Συνεπώς (συν-)διαμορφώνει
    - την απόδοση
    - την κατανάλωση ενέργειας
    - την αξιοπιστία
- «Η αρχιτεκτονική ασχολείται με το υλικό»
  - Η παραδοσιακή αντίληψη
- «Πρέπει να λαμβάνεται υπ’ όψη και το λογισμικό»
  - Η σύγχρονη αντίληψη

;

Σε ποια συστήματα έχει ιδιαίτερη σημασία η αρχιτεκτονική του λογισμικού;

## Ο υπολογιστής ως ιεραρχία επιπέδων

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ

;

Τι ακριβώς είναι μια διεπαφή (interface); Γιατί είναι τόσο σημαντική έννοια;

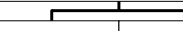
Εφαρμογές

API

ΛΣ & βιβλιοθήκες

Αρχιτεκτονική Εντολών (ISA)

Υλικό εκτέλεσης (μικροεπεξεργαστής)



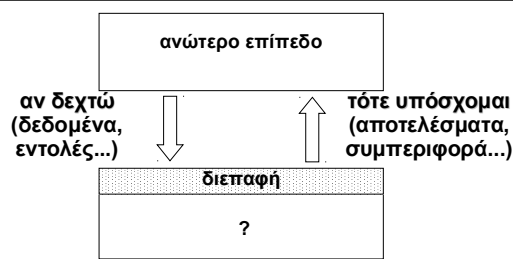
Μνήμη

Συσκευές Ε/Ε

- Αρχιτεκτονική Συνόλου Εντολών
  - Instruction Set Architecture (ISA)
  - Η διεπαφή υλικού-λογισμικού

## Η σπουδαιότητα των διεπαφών

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ



- Αντιμετώπιση πολυπλοκότητας σχεδιασμού
- Επαναχρησιμοποίηση τμημάτων
- Αξιόπιστος σχεδιασμός

Αντιστοιχία με γλώσσες προγραμματισμού;

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

9

## Αρχιτεκτονική: ο τελικός στόχος

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ

- Η αξιοποίηση με τον καλύτερο δυνατό τρόπο του υλικού και λογισμικού για την ανάπτυξη
  - Αποδοτικών συστημάτων
    - Γρήγορη εκτέλεση προγραμμάτων γενικού σκοπού
    - Υπερυπολογιστές, προσωπικοί υπολογιστές
  - Αξιόπιστων συστημάτων
    - Ασφαλής εκτέλεση προγραμμάτων ειδικού σκοπού
    - Συστήματα πραγματικού χρόνου
  - Προσιτών συστημάτων
    - Ικανοποιητική εκτέλεση με μικρό κόστος-ενέργεια
    - Καταναλωτικές συσκευές

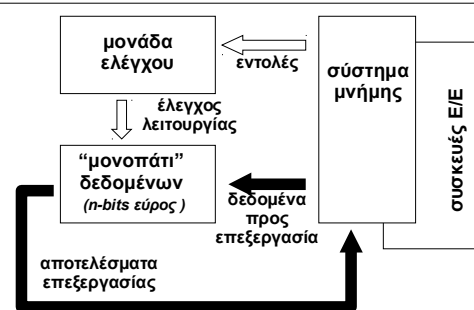
Ποια η διαφορά μεταξύ γρήγορης εκτέλεσης και αξιόπιστης εκτέλεσης;

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

10

## Οι βασικές μονάδες κάθε υπολογιστή

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες



- Η μονάδα ελέγχου, το μονοπάτι δεδομένων (datapath) και μέρος του συστήματος μνήμης βρίσκονται μέσα στον επεξεργαστή (στους πυρήνες)

Η διπλή εικόνα είναι απλοποιημένη!

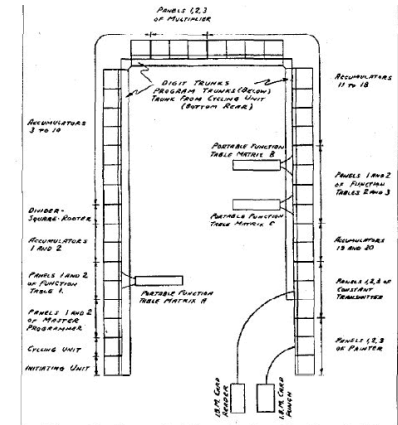
Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

11

## The Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC) 1946

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες

Ο ENIAC, ο πρώτος ηλεκτρονικός υπολογιστής, διέθετε 18.000 λυχνίες για τα λογικά του κυκλώματα. Δεν υπήρχε μνήμη προγράμματος!



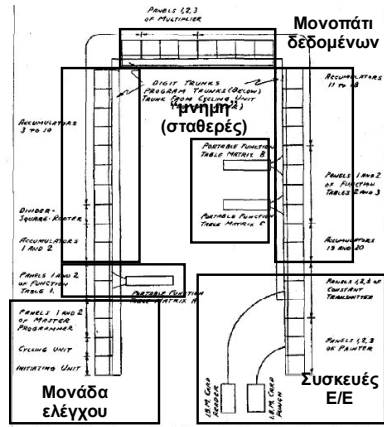
Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

12

## The Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC) 1946

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες

**i**  
Ο ENIAC, ο πρώτος ηλεκτρονικός υπολογιστής, διέθετε 18.000 λυχνίες για τα λογικά του κυκλώματα. Δεν υπήρχε μνήμη προγράμματος!

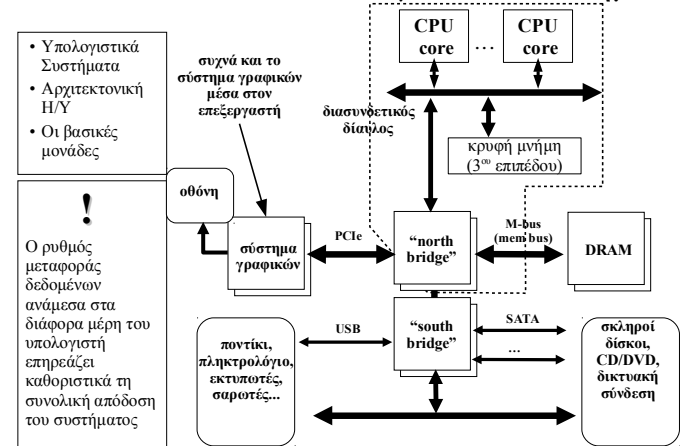


Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

13

## Ένα τυπικό υπολογιστικό σύστημα

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες



οι ρυθμοί μεταφοράς που δίνονται είναι οι θεωρητικά μέγιστοι!

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

14

## Ηλεκτρονικά κυκλώματα

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα

- Σε κάθε υπολογιστή απαιτούνται
  - Λογικά κυκλώματα
    - Για την εκτέλεση πράξεων
      - Και για τη σύγκριση και λήψη αποφάσεων
  - Κυκλώματα μνήμης
    - Για την αποθήκευση δεδομένων
      - Και για την αποθήκευση εντολών
  - Κυκλώματα διασύνδεσης
    - Για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των μονάδων του υπολογιστή
    - Για τη μεταφορά μεταξύ των τμημάτων ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος (chip)

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

15

## Πριν τα σύγχρονα ηλεκτρονικά

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα

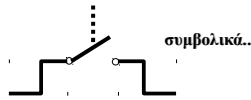
- Παλαιότερα χρησιμοποιήθηκαν...
  - Λογικά κυκλώματα
    - Μηχανικά συστήματα (γρανάζια)
    - Ηλεκτρομηχανικά (ρελέ)
    - Λυχνίες κενού
  - Κυκλώματα μνήμης
    - Τα ίδια, αλλά και...
    - Γραμμές υδραργύρου (!) – καθοδική οθόνη (!)
  - Κυκλώματα διασύνδεσης
    - Καλώδια!

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

16

## Το τρανζίστορ MOS(FET)

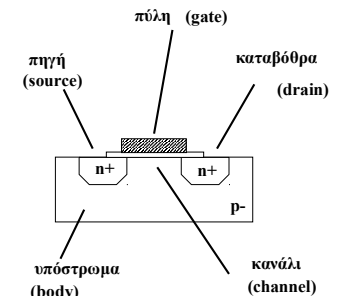
- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα



- Ο μικροσκοπικός διακόπτης των σύγχρονων κυκλωμάτων
  - Η θεωρία λειτουργίας του είναι γνωστή από το 1925...
  - ...αλλά τα πρώτα λειτουργικά τρανζίστορ MOS κατασκευάστηκαν στη δεκαετία του 60

## Το τρανζίστορ MOS(FET)

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα

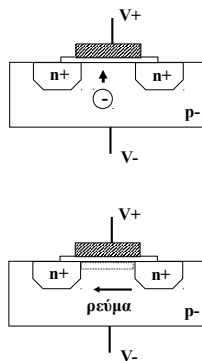


«διδασκικό» επίπεδο σχήμα.. σήμερα τα τρανζίστορ διαθέτουν πτερύγια (fins) ως κανάλι, με την πύλη στις τρεις πλευρές τους

**i**  
Το τρανζίστορ αυτό είναι τύπου NMOS. Υπάρχει και το συμπληρωματικό PMOS.

## Λειτουργία του τρανζίστορ MOS(FET)

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα

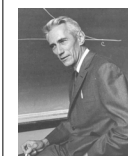


;  
Τι συμβαίνει στο τρανζίστορ PMOS;

## Ψηφιακά Ηλεκτρονικά και Δυαδική λογική

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα

- Η δυαδική λογική ταιριάζει με την τεχνολογία του τρανζίστορ
  - 2 καταστάσεις: ON-OFF, 1-0
  - Ψηφιακά ηλεκτρονικά (2 στάθμες)
- Δυαδική άλγεβρα Boole
  - Λογική άλγεβρα
  - Συσχέτιση με διακοπτικά κυκλώματα
    - Shannon (1938)



C.E.Shannon

## Κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα

### i

Λόγω της απαιτούμενης ακρίβειας, μια γραμμή παραγωγής κοστίζει δις. \$

- Γραμμές παραγωγής
  - Φωτολιθογραφία με μάσκες
  - Διεργασίες στα εκτεθειμένα μέρη
    - Οξείδωση, απόξεση, απόθεση μετάλλου, εμφύτευση ιόντων...(βλ. και μάθημα “Εισαγωγή στους Η/Υ”)
  - Επανάληψη βημάτων
- Ένα σύγχρονο ολοκληρωμένο κύκλωμα μικροεπεξεργαστή
  - Έχει επιφάνεια περίπου 280-400 mm<sup>2</sup>
  - Και περιέχει από 100 εκ. έως 30+ δις. τρανζίστορ (συχνά σε πολλαπλά επίπεδα)

## Η συρρίκνωση του τρανζίστορ

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα

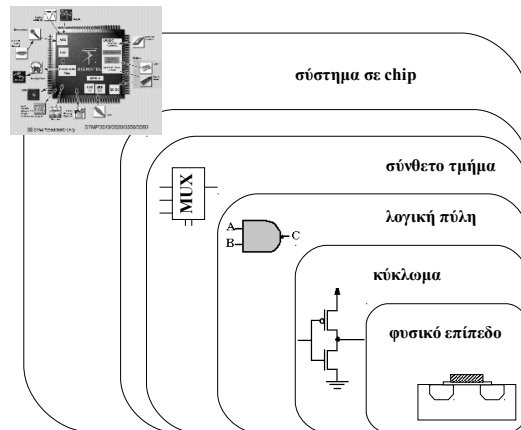
### i

Νόμος του Moore: ο αριθμός των τρανζίστορ ανά ολοκληρωμένο διπλασιάζεται κάθε 1,5-2 χρόνια

- Πλεονεκτήματα
  - Ταχύτερη λειτουργία
    - Πιο γρήγοροι χρόνοι ON-OFF
  - Μικρότερη κατανάλωση ενέργειας
    - Για τον ίδιο αριθμό τρανζίστορ!
  - Μεγαλύτερη ολοκλήρωση
    - Μείωση κόστους παραγωγής και αύξηση λειτουργικότητας
- Τρέχουσα εμπορική τεχνολογία:
  - “10-7nm” (όρος marketing, παλαιότερα αντιστοιχούσε στο εύρος της πύλης του τρανζίστορ)

## Ιεραρχία σχεδίασης

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα



## Ιεραρχία σχεδίασης

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα

Πού είναι τα όρια μεταξύ «τεχνολογίας» και «αρχιτεκτονικής»;

