

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

<http://di.ionio.gr/~mistral/tp/comparch/>



Μ.Στεφανιδάκης

Το μάθημα συνοπτικά (1)

• Το μάθημα

- Θεωρητικό μέρος
 - Ψηφιακή Τεχνολογία
 - Αρχιτεκτονική οργάνωση
 - Επεξεργαστή
 - κύριας και κρυφής μνήμης
 - Διαύλων και συσκευών Ε/Ε
 - Θέματα απόδοσης σε ένα υπολογιστικό σύστημα
 - Εισαγωγή στις προηγμένες αρχιτεκτονικές Η/Υ
 - Βαθμολόγηση: γραπτές εξετάσεις

Το μάθημα συνοπτικά (2)

• Το μάθημα

- Εργαστήριο
 - Σχεδίαση απλής κεντρικής μονάδας επεξεργασίας και προσομοίωση
 - Βαθμολόγηση: με τη μορφή bonus
 - προϋπόθεση: παρουσία στο εργαστήριο!
- Προτεινόμενα Βιβλία
 - D.A.Patterson & J.L.Hennessy, “Οργάνωση και Σχεδίαση Υπολογιστών (Τόμος Α’)”, Κλειδάριθμος, 2010.
 - W. Stallings, “Οργάνωση και αρχιτεκτονική υπολογιστών”, ΤΖΙΟΛΑ, 2011.

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: κάτι διαφορετικό(;)

- Υπολογιστικά Συστήματα

;

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

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

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

5

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 τη μελλοντική τεχνολογία!

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

6

Αρχιτεκτονική: υλικό μόνο ή και λογισμικό;

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ

;

Σε ποια συστήματα έχει ιδιαίτερη σημασία η αρχιτεκτονική του λογισμικού;

- 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

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

7

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

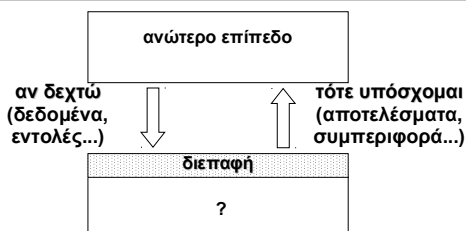
- Αρχιτεκτονική Συνόλου Εντολών
 - Instruction Set Architecture (ISA)
 - Η διεπαφή υλικού-λογισμικού

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

8

Η σπουδαιότητα των διεπαφών

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ



;

Αντιστοιχία με γλώσσες προγραμματισμού;

- Αντιμέτωπιση πολυπλοκότητας σχεδιασμού
- Επαναχρησιμοποίηση τμημάτων
- Αξιόπιστος σχεδιασμός

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

;

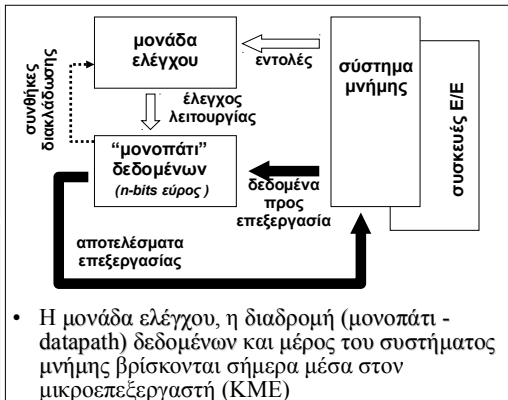
Ποια η διαφορά μεταξύ γρήγορης εκτέλεσης και αξιόπιστης εκτέλεσης;

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

10

Οι βασικές μονάδες κάθε υπολογιστή

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



!

Η διπλανή εικόνα είναι απλοποιημένη!

- Η μονάδα ελέγχου, η διαδρομή (μονοπάτι - datapath) δεδομένων και μέρος του συστήματος μνήμης βρίσκονται σήμερα μέσα στον μικροεπεξεργαστή (ΚΜΕ)

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

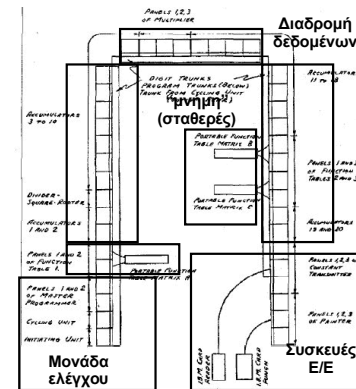
11

The Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC) 1946

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

i

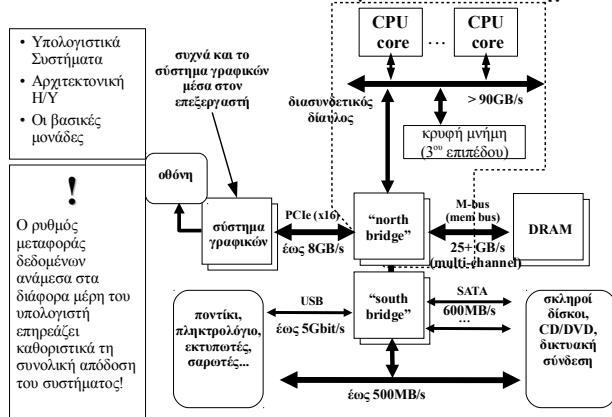
Ο ENIAC, ο πρώτος ηλεκτρονικός υπολογιστής, διέθετε 18.000 λυχνίες για τα λογικά του κυκλώματα. Δεν υπήρχε μνήμη προγράμματος!



Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

12

Ένα τυπικό υπολογιστικό σύστημα



οι ρυθμοί μεταφοράς που δίνονται είναι οι θεωρητικά μέγιστοι!

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

13

Ηλεκτρονικά κυκλώματα

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

Σε κάθε υπολογιστή απαιτούνται

- Λογικά κυκλώματα
 - Για την εκτέλεση πράξεων
 - Για τη σύγκριση και λήψη αποφάσεων
- Κυκλώματα μνήμης
 - Για την αποθήκευση δεδομένων
 - 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”

14

Πριν τα σύγχρονα ηλεκτρονικά

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

Παλαιότερα χρησιμοποιήθηκαν...

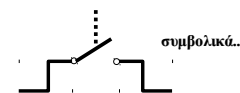
- Λογικά κυκλώματα
 - Μηχανικά συστήματα (γρανάζια)
 - Ηλεκτρομηχανικά (ρελέ)
 - Λυχνίες κενού
- Κυκλώματα μνήμης
 - Τα ίδια, αλλά και...
 - Γραμμές υδραργύρου (!) – καθοδική οθόνη (!)
- Κυκλώματα διασύνδεσης
 - Καλώδια!

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

15

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

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

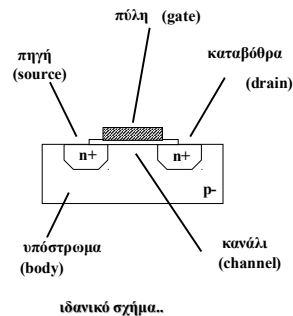
16

Το τρανζίστορ MOS(FET)

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

i

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



Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

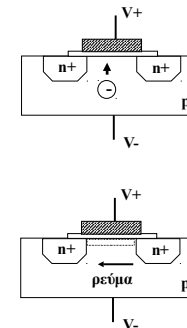
17

Λειτουργία του τρανζίστορ MOS(FET)

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

;

Τι συμβαίνει στο τρανζίστορ PMOS;



Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

18

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 280mm²
 - Και περιέχει από 100 εκ. έως >1 δισ. τρανζίστορ!

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

19

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

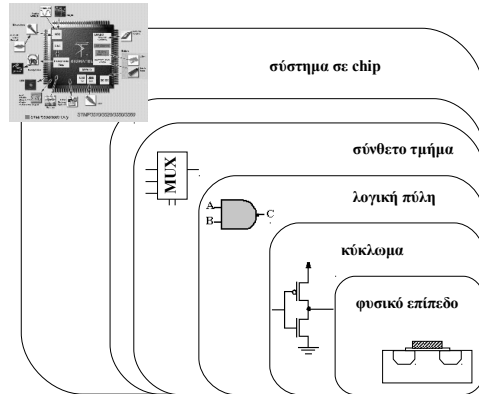
- Πλεονεκτήματα
 - Ταχύτερη λειτουργία
 - Πιο γρήγοροι χρόνοι ON-OFF
 - Μικρότερη κατανάλωση ενέργειας
 - Για τον ίδιο αριθμό τρανζίστορ!
 - Μεγαλύτερη ολοκλήρωση
 - Μείωση κόστους παραγωγής και αύξηση λειτουργικότητας
- Τρέχουσα εμπορική τεχνολογία:
 - Μέγεθος (καναλιού) τρανζίστορ = 14-22nm
- Το άμεσο μέλλον: 10 nm
 - μετά: έρευνα για νέα υλικά για “διακόπτες”;

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

20

Ψηφιακά Ηλεκτρονικά: Ιεραρχία σχεδίασης

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



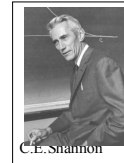
Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

21

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
 - Η εργασία του Shannon (1938)



Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

22

Άλγεβρα Boole: επανάληψη

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

- $A + B$ (A OR B)
- $A \cdot B$ (ή απλά AB, A AND B)
- \overline{A} (NOT A)
 - $A + 0 = A$ και $A \cdot 1 = A$
 - $A + 1 = 1$ και $A \cdot 0 = 0$
 - $A + \overline{A} = 1$ και $A \cdot \overline{A} = 0$
 - $A + B = B + A$ και $A \cdot B = B \cdot A$
 - $A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot C$ και
 - $A(BC) = (AB)C$

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

23

Άλγεβρα Boole: επανάληψη

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

- $A(B+C) = (AB)+(AC)$ και
- $A+(BC) = (A+B)(A+C)$
- $\overline{(A+B)} = \overline{A} \cdot \overline{B}$ και
- $\overline{(A \cdot B)} = \overline{A} + \overline{B}$ (DeMorgan)

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών – “Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ”

24