



Ενσωματωμένα Συστήματα

Ενότητα 13: Η πλατφόρμα της ενσωματωμένης υπολογιστικής (δίαυλοι, Ε/Ε, μνήμη, ανάπτυξη & αποσφαλμάτωση).

Δρ. Μηνάς Δασυγένης
mdasyg@ieee.org

Εργαστήριο Ψηφιακών Συστημάτων και Αρχιτεκτονικής Υπολογιστών
<http://arch.icte.uowm.gr/mdasyg>



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



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Σκοπός ενότητας

- Η κατανόηση των διαδικασιών σχεδίασης, ανάλυσης και αποσφαλμάτωσης του υλικού ενός ενσωματωμένου συστήματος.
- Η κατανόηση των συμβιβασμών κατά τη διαδικασία ανάπτυξης μιας ενσωματωμένης αρχιτεκτονικής.



Περίγραμμα Παρουσίασης

- Ο δίαυλος της Κεντρικής Μονάδας Επεξεργασίας.
- Συσκευές Μνήμης.
- Συσκευές Εισόδου/Εξόδου.
- Σχεδίαση με Μικροεπεξεργαστές.
- Ανάπτυξη και Αποσφαλμάτωση.
- Παράδειγμα Σχεδίασης: Ρολόι Ξυπνητήρι.



Σημαντικά στοιχεία των ΕΣ

- Ο μικροεπεξεργαστής είναι σημαντικό στοιχείο σε ένα ΕΣ.
- Δε μπορεί να εκτελέσει τίποτα όμως χωρίς μνήμες, διαύλους, Ε/Ε.
- Όλα αυτά αναλύονται στις παρακάτω διαφάνειες.



Ο διάυλος της Κεντρικής Μονάδας Επεξεργασίας



Ο δίαυλος της ΚΜΕ

- Ο δίαυλος της ΚΜΕ επιτρέπει την επικοινωνία ανάμεσα στο CPU, στη μνήμη και στις υπόλοιπες συσκευές.
- Κοινόχρηστο μέσο μετάδοσης.
- Είναι:
 - συλλογή καλωδίων.
 - πρωτόκολλο χρήσης.
- Βασικές λειτουργίες:
 - Ανάγνωση (read).
 - Εγγραφή (write).



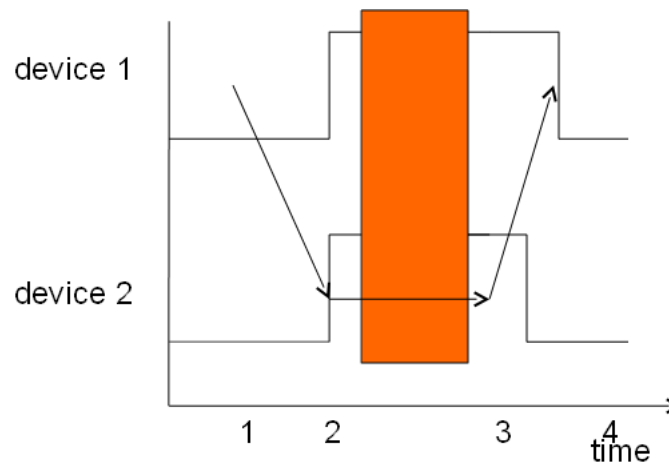
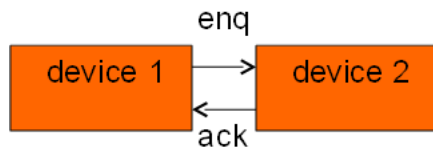
Πρωτόκολλα διαύλων

- Τα πρωτόκολλα διαύλων καθορίζουν πως επικοινωνούν οι συσκευές.
- Η επικοινωνία επιτυγχάνεται μέσω μιας αυστηρά καθορισμένης σειράς βημάτων.
 - Τα πρωτόκολλα προσδιορίζονται από μηχανές καταστάσεων, κάθε εμπλεκόμενη συσκευή βρίσκεται σε συγκεκριμένες καταστάσεις κάθε φορά.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθούν και ασύγχρονα στοιχεία.



Η χειραψία τεσσάρων κύκλων

- Η πιο κλασσική επικοινωνία.



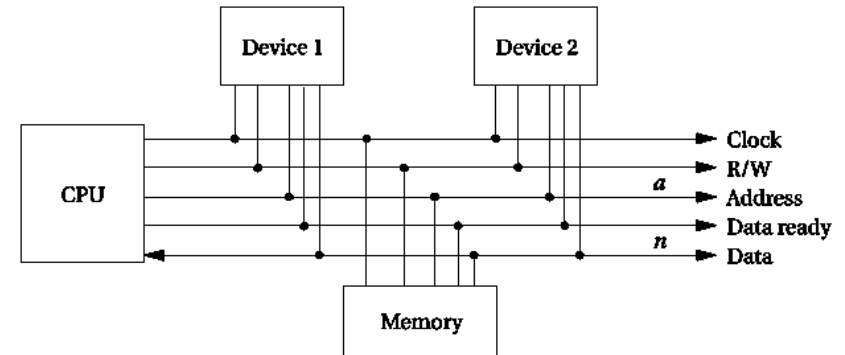
- Device 1 raises enq (σηματοδοτεί μια αναζήτηση για να ετοιμαστεί η συσκευή 2).
- Device 2 responds with ack (έτοιμη να λάβει δεδομένα).
- Device 2 lowers ack once it has finished (μόλις ολοκληρωθεί η μεταφορά, η 2 την επιβεβαιώνει).
- Device 1 lowers enq (απομακρύνει το σήμα enq).

Στο τέλος της χειραψίας και τα δύο σήματα είναι χαμηλά, όπως ήταν στην έναρξή της.



Τα σημαντικότερα εξαρτήματα του διαύλου

- Το ρολόι παρέχει συγχρονισμό.
- Το σήμα R/W' είναι αληθές όταν ο δίαυλος διαβάζει (και αντίστροφα).
- Η διεύθυνση είναι μια a -bit δέσμη σημάτων που μεταφέρει τη διεύθυνση.
- Τα δεδομένα είναι μια n -bit δέσμη καλωδίων που μεταφέρει τα δεδομένα από και προς τη CPU.
- Τα σήματα data ready αναφέρουν πότε οι τιμές στα δεδομένα είναι έγκυρες.
- Ο δίαυλος είναι ελεγχόμενος από την CPU (η CPU αρχίζει μια μεταφορά).
- Μπορεί να προστεθεί ελεγκτής DMA για να αρχικοποιεί τις μεταφορές.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ειδική συσκευή για τη διαίτησία του διαύλου (bus master).

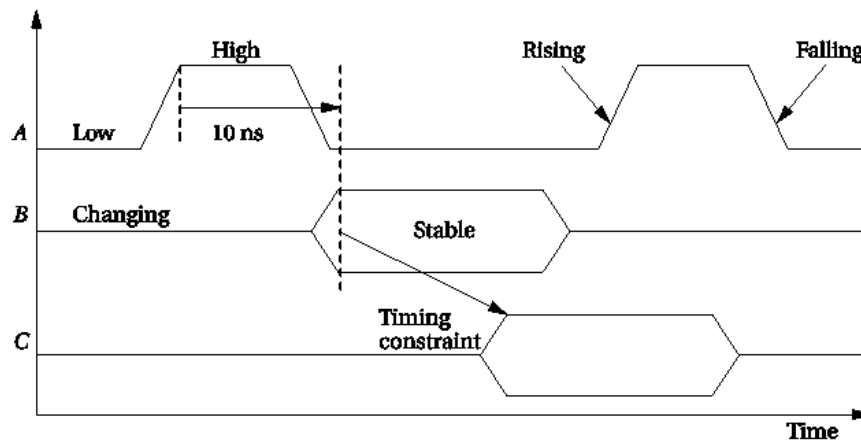


Ο δίαυλος είναι ελεγχόμενος από τη CPU για αυτό και σε κάποιες γραμμές μόνο αυτός μπορεί να γράψει.

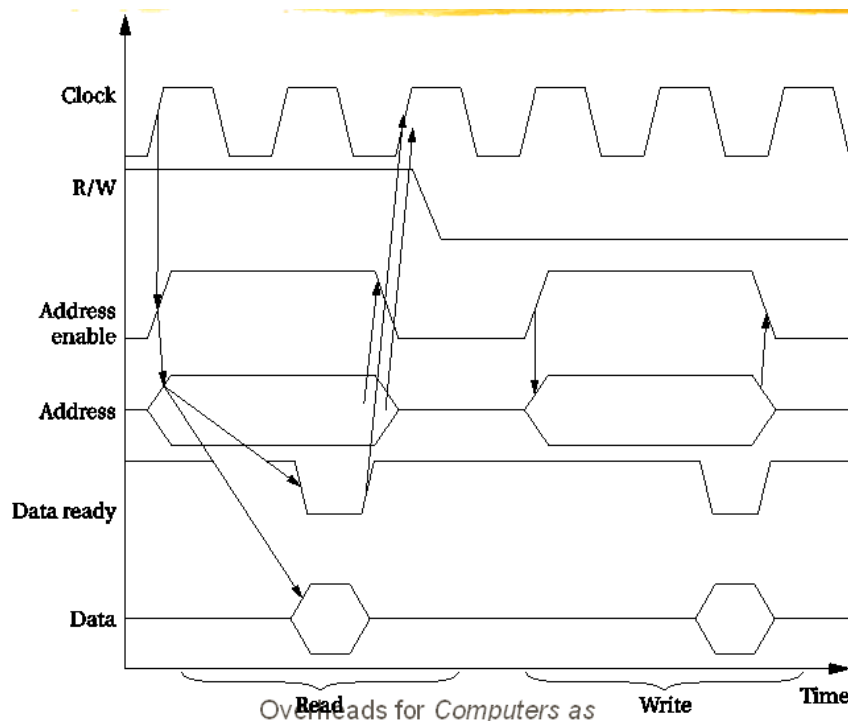


Η συμπεριφορά ενός διαύλου περιγράφεται ως διάγραμμα χρονισμού (timing diagram)

- Παρουσιάζονται πως τα σήματα μεταβάλλονται στο χρόνο.
- Σήματα που μεταβάλλονται παρουσιάζονται με συγκεκριμένη αναπαράσταση (π.χ. B,C).
- Σήματα που έχουν γνωστές τιμές, έχουν τυποποιημένες κυματομορφές (π.χ. A).
- Χρησιμοποιούνται χρονικοί περιορισμοί (ώστε τα σήματα να έχουν τις κατάλληλες τιμές στις κατάλληλες χρονικές στιγμές). Υπάρχουν δυο διαφορετικοί τρόποι:
 - α) χρονικό διάστημα ανάμεσα σε γεγονότα,
 - β) ακολουθία γεγονότων.



Παράδειγμα χρονισμού διαύλου για ανάγνωση & εγγραφή



- Αναλυτικοί χρονισμοί παρουσιάζονται μόνο για Read.
- Default read (για να μην επηρεάζεται καμία συσκευή).
- Χρησιμοποιείται το Data ready για τη χειραψία.
- Το data ready επιτρέπει τη σύνδεση αργών περιφερειακών (που απαντούν μετά από κάποιους κύκλους).
- Το σήμα ena δε χρειάζεται γιατί ο δίαυλος είναι ήδη σε κατάσταση ανάγνωσης.
- Από το διπλανό διάγραμμα μπορεί να εξαχθεί εύκολα η ακολουθία ανάγνωσης.



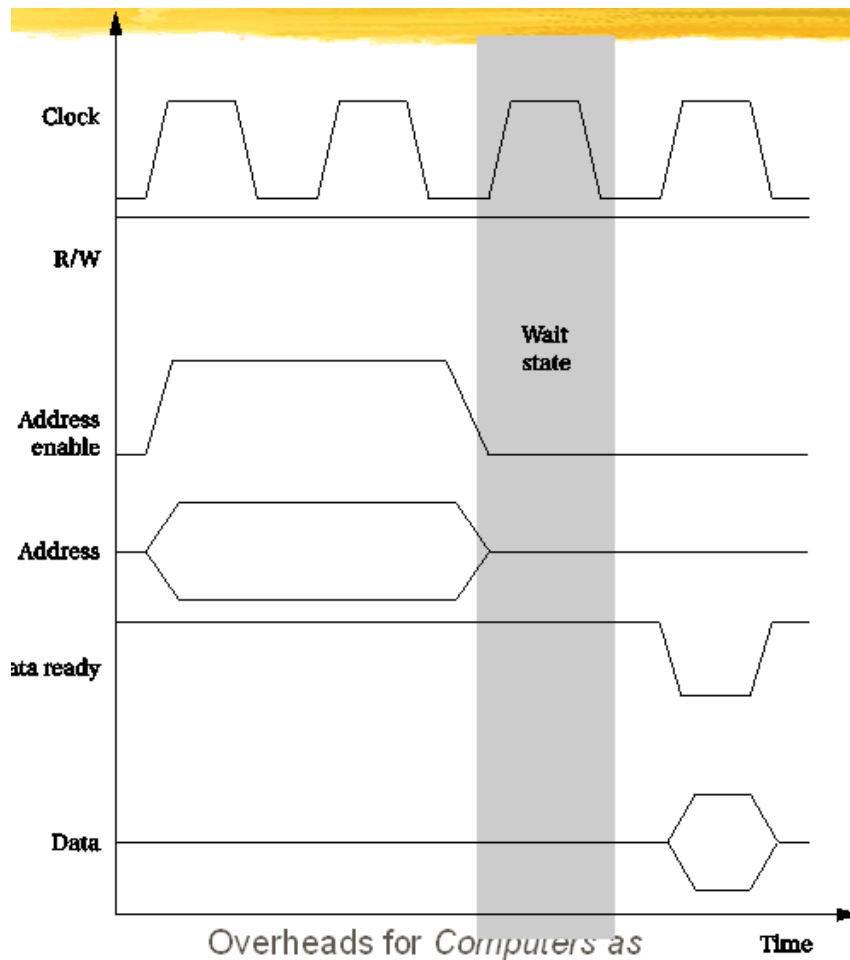
Καταστάσεις αναμονής

- Σε ένα δίαυλο όλες οι συσκευές πρέπει να έχουν την ίδια ταχύτητα πρόσβασης.
- Επειδή δεν είναι αποτελεσματικό να έχουμε πολύ μικρή ταχύτητα στο δίαυλο, όταν συνδέουμε αργά περιφερειακά, χρησιμοποιούμε καταστάσεις αναμονής.

Οι κύκλοι μεταξύ του ελάχιστου χρόνου στον οποίο τα δεδομένα μπορούν να τοποθετηθούν και όταν τοποθετούνται πραγματικά, είναι γνωστοί ως καταστάσεις αναμονής (wait states).



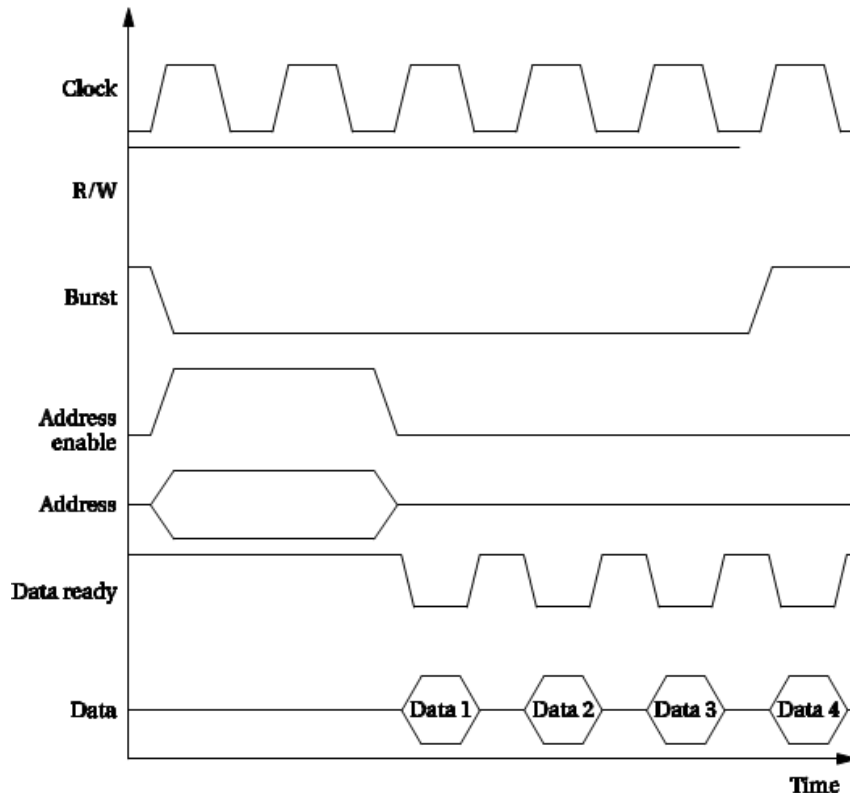
Καταστάσεις αναμονής στο δίαυλο



- Αν υπάρχει αργό περιφερειακό, η απάντηση έρχεται μετά από κάποιες περιόδους ρολογιού.
- Στο διάγραμμα φαίνεται ότι έχει χρησιμοποιηθεί ένα wait state μιας περιόδου ρολογιού.



Μεταφορές ριπής (burst transfers)



- Κάποια περιφερειακά ή δίαυλοι επιτρέπουν μεταφορές ριπής.
 - Στέλνεται μια διεύθυνση αλλά λαμβάνονται πολλά συνεχόμενα δεδομένα.
- Χρησιμοποιείται ένα σήμα ριπής (burst) από τη CPU, όσο θέλει δεδομένα από συνεχόμενες διευθύνσεις.

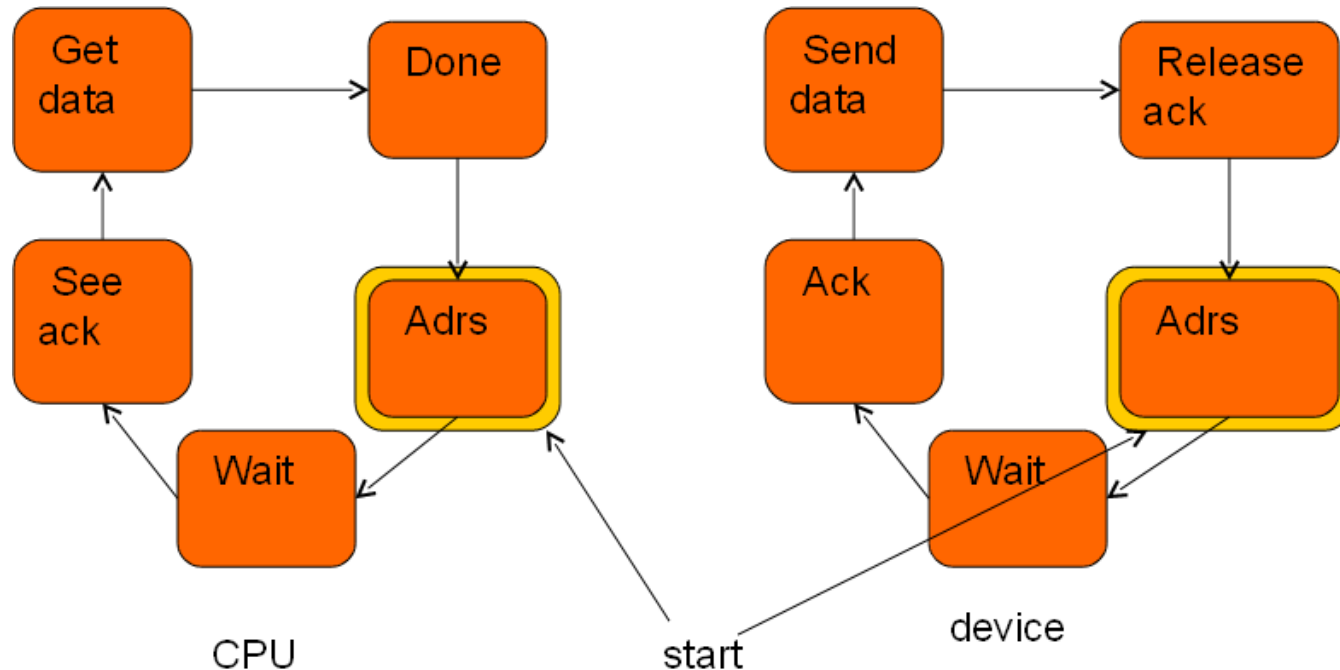


Αποσυνδεδεμένες μεταφορές (disconnected transfers)

- Κάποιοι δίαυλοι υποστηρίζουν ειδικού τρόπου μεταφορές==> αποσυνδεδεμένες μεταφορές.
- Η αίτηση και η απόκριση είναι ξεχωριστές.
 - Μια λειτουργία είναι η αίτηση.
 - Ο δίαυλος χρησιμοποιείται για άλλες λειτουργίες στο ενδιάμεσο.
 - Η μεταφορά ολοκληρώνεται αργότερα όταν τα δεδομένα είναι έτοιμα.



Διάγραμμα μηχανής καταστάσεων για ανάγνωση στο δίαυλο



- Χρήσιμο συμπλήρωμα στο διάγραμμα χρονισμού.
- Επικεντρωνόμαστε στις μεταβάσεις των σημάτων ελέγχου.



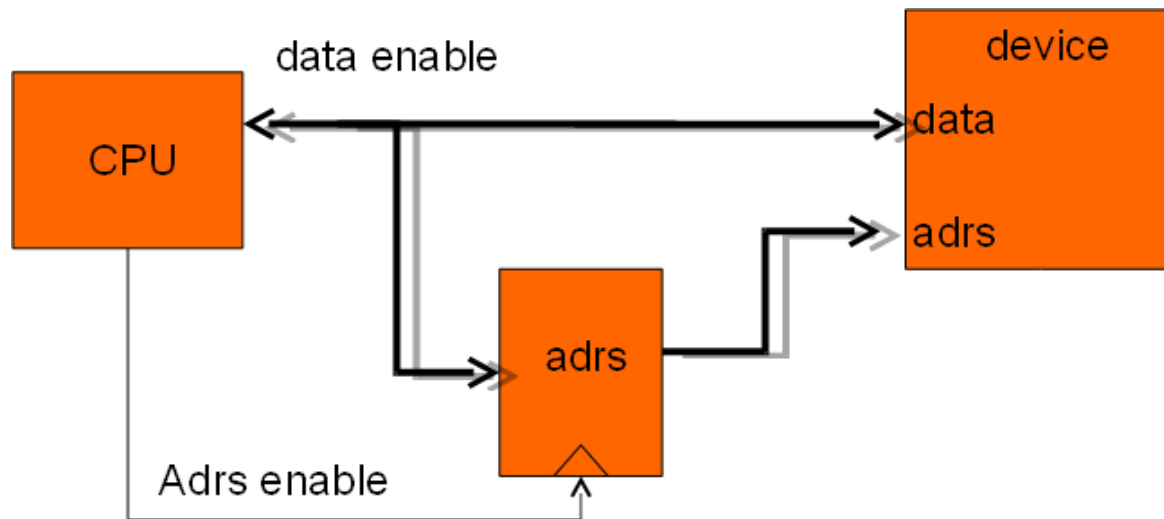
Πλάτος διαύλου δεδομένων (bitwidth)

- Ο δίαυλος δεδομένων μπορεί να υποστηρίζει μεταφορές δεδομένων όσα τα data pins της CPU.
 - Είναι εύκολο να σχεδιαστεί με ίδιο bit width.
- Για μείωση κόστους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μικρότερος δίαυλος. Απαιτεί τη μεταφορά των λέξεων σε τμήματα. Π.χ. Μια 32 bit μεταφορά υλοποιείται σε 4 μεταφορές των 8 bit, αν ο δίαυλος είναι 8 bit. Αποστέλλονται οι διευθύνσεις διαδοχικά.



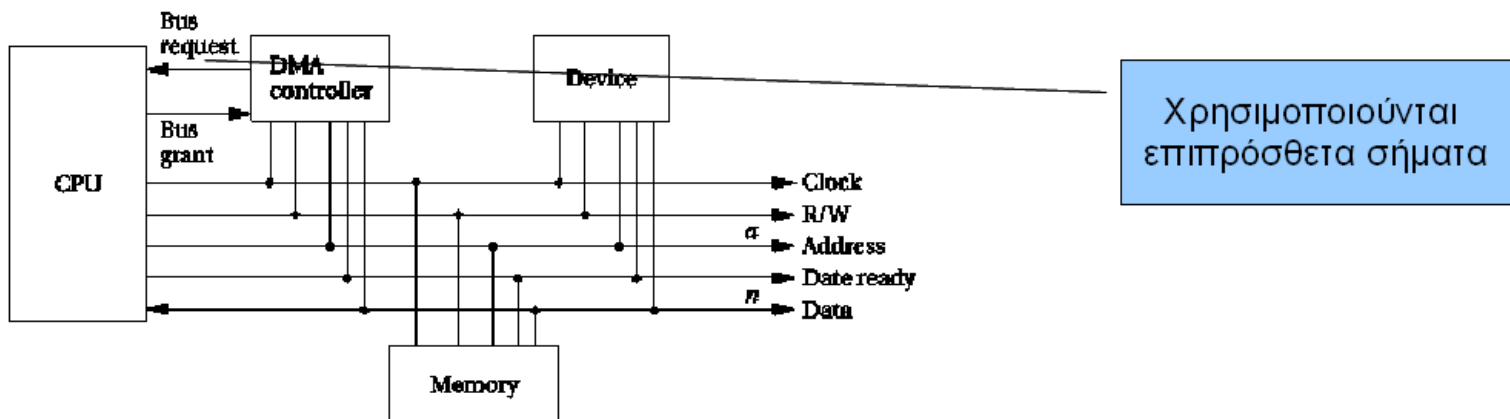
Πολύπλεξη διαύλου

- Για μείωση κόστους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί πολύπλεξη των διαύλων δεδομένων και διεύθυνσης.
- Χρησιμοποιούνται ειδικά σήματα για να σηματοδοτούν πότε μεταφέρονται δεδομένα και πότε διεύθυνση.
- Απαιτείται ένας προσωρινός καταχωρητής για να διατηρεί τη διεύθυνση, ώστε να παρουσιαστούν ταυτόχρονα στο περιφερειακό.



Άμεση προσπέλαση μνήμης (Direct Memory Access, DMA)

- Η άμεση προσπέλαση μνήμης εκτελεί μεταφορές δεδομένων ανάμεσα στα περιφερειακά και τη μνήμη χωρίς τον έλεγχο της CPU.
 - Η CPU ρυθμίζει τη μεταφορά.
 - Ο ελεγκτής DMA ζητάει τον έλεγχο του διαύλου και μόλις τον αποκτήσει, υλοποιεί τη μεταφορά και την εγγραφή.
- Ο ελεγκτής DMA είναι μια ξεχωριστή μονάδα.



Κυριότητα διαύλου (1/2)

- Η συσκευή η οποία μπορεί να ξεκινήσει τη δική της μεταφορά δεδομένων στο δίαυλο, ονομάζεται κύριος του διαύλου.
- Δεν έχουν όλες οι συσκευές αυτή την ιδιότητα.
- Μόνο όσες συσκευές έχουν αυτή την ιδιότητα συνδέονται στα σήματα **αίτηση διαύλου** και **παραχώρηση διαύλου**.
- Εκ προεπιλογής, η CPU είναι μόνο κύριος του διαύλου.
- Προκειμένου να υλοποιηθεί η μεταφορά DMA, ο DMA controller αιτεί την παραχώρηση της κυριότητας του διαύλου από τον επεξεργαστή.
 - Η CPU δε μπορεί να χρησιμοποιήσει το δίαυλο, όσο η DMA έχει την κυριότητα.



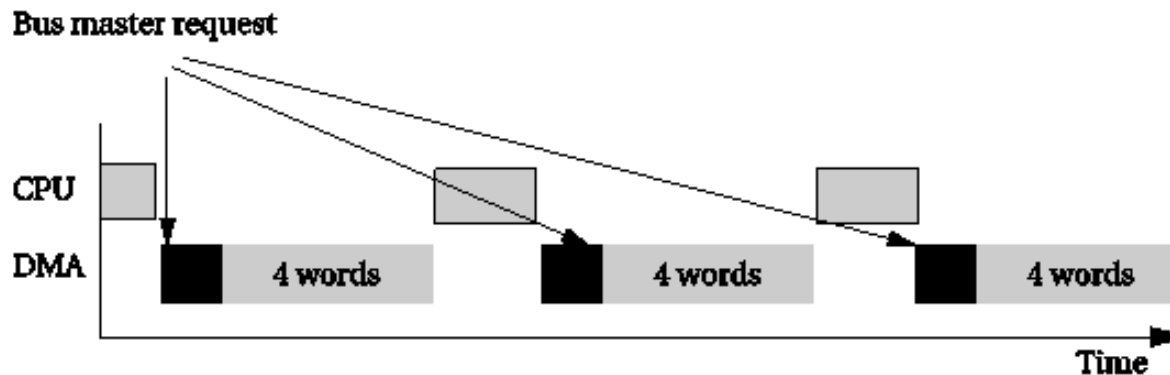
Κυριότητα διαύλου (2/2)

- Πρωτόκολλο παραχώρηση κυριότητας διαύλου:
 - Αίτηση για κυριότητα (διατηρείται υψηλό όσο υπάρχει η κυριότητα).
 - Παραχώρηση κυριότητας (διατηρείται υψηλό όσο υπάρχει η παραχώρηση).
- Η παραχώρηση γίνεται όταν ολοκληρωθούν οι εκκρεμείς μεταφορές από τη CPU.
- Η μνήμη και οι συσκευές δε γνωρίζουν ποιος είναι κύριος του διαύλου.
- Όταν ολοκληρωθεί η λειτουργία της DMA απενεργοποιείται το σήμα αίτησης διαύλου και η CPU απενεργοποιεί το σήμα παραχώρησης κυριότητας.

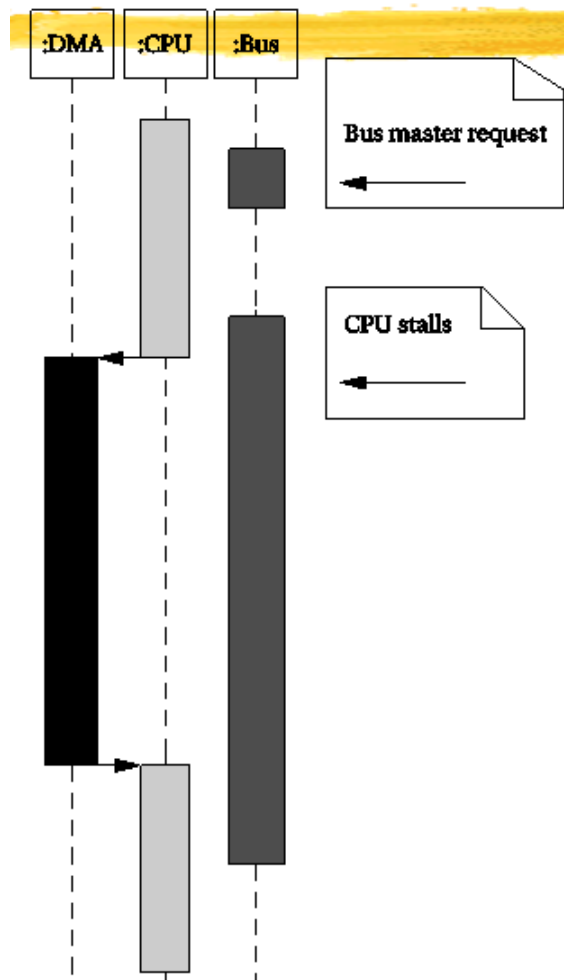


Λειτουργία της DMA

- Η CPU ρυθμίζει τους καταχωρητές DMA ως προς πηγή διεύθυνσης, και μήκος μεταφοράς.
- Ο καταχωρητής κατάστασης της DMA ελέγχει τη μονάδα.
- Η CPU έχει πλήρη πρόσβαση και στους 3 καταχωρητές.
- Μόλις η DMA γίνει κύριος του διαύλου, ξεκινάει τη μεταφορά αυτόματα.
 - Μπορεί να παραμείνει κύριος μέχρι να ολοκληρωθεί όλη η μεταφορά (αν είναι μεγάλη η μεταφορά, τότε η CPU θα μείνει αδρανής αν δεν έχει αρκετά δεδομένα να συνεχίσει στις κρυφές μνήμες).
 - Μπορεί να μεταφέρει τμηματικά κάθε n^{th} κύκλους.
 - Μόλις ολοκληρωθεί η μεταφορά στέλνεται διακοπή από τη DMA στη CPU.



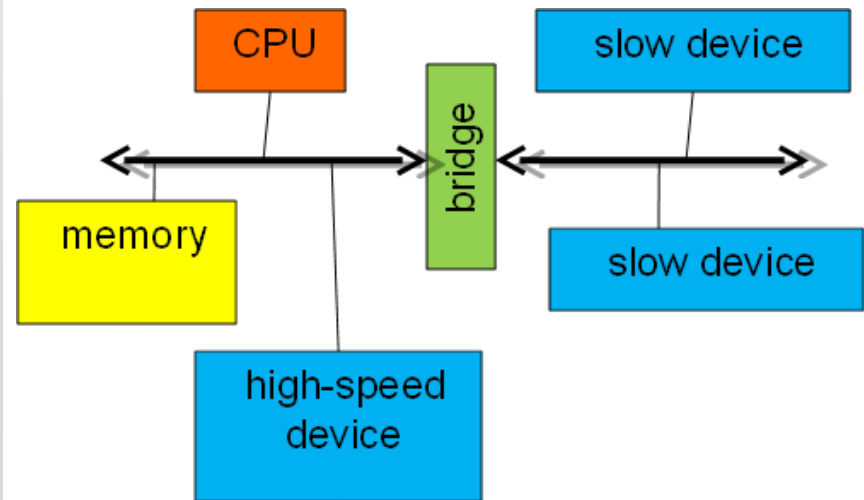
Διάγραμμα ακολουθίας μεταφοράς στο δίαυλο



- Διάγραμμα UML για την ακολουθία της μεταφοράς DMA.
- Στο παράδειγμα ο επεξεργαστής σταματάει μετά από λίγο, επειδή η μεταφορά είναι πολύ μεγάλη και δεν υπάρχουν αρκετές εντολές και δεδομένα μέσα στο CPU για να εργάζεται παράλληλα.

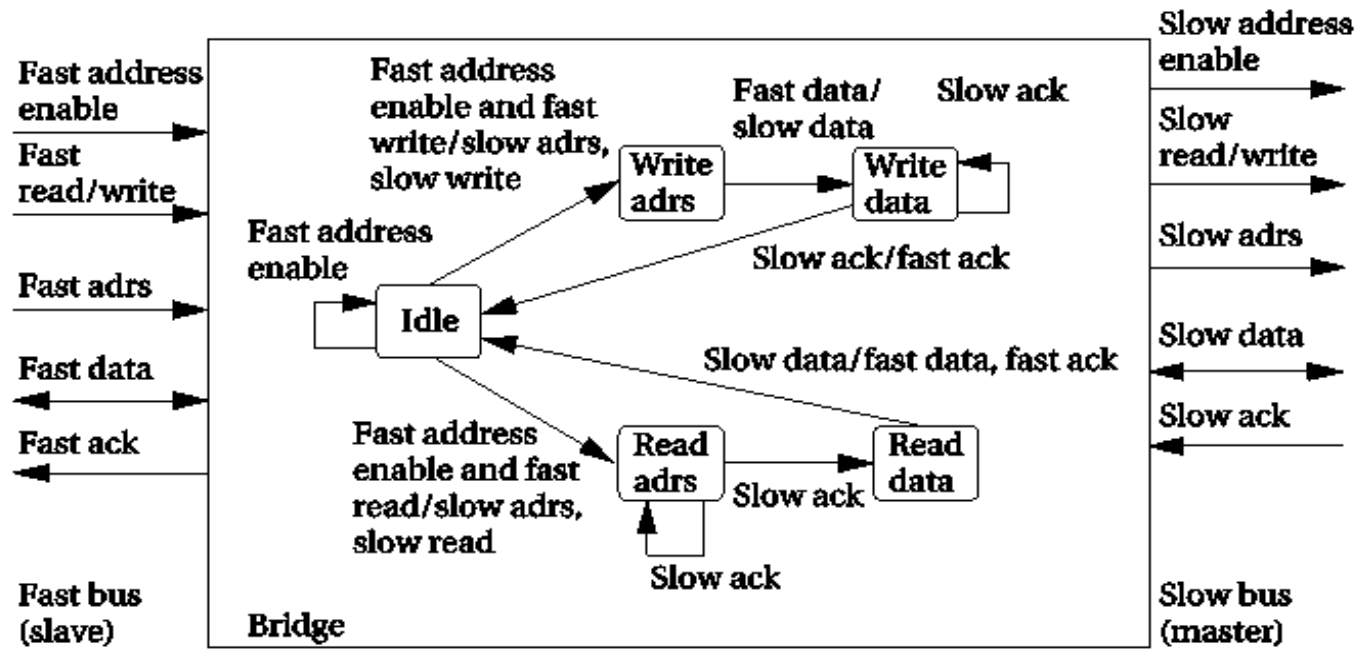
Ρυθμίσεις του δίαυλου συστήματος

- Ένα σύστημα διαθέτει περισσότερους από έναν δίαυλο.
- Πολλαπλοί δίαυλοι επιτρέπουν την παραλληλία
 - Οι αργές συσκευές σε ένα δίαυλο
 - Οι γρήγορες συσκευές σε άλλο δίαυλο (wider bus).
 - Αποφεύγεται το υψηλό κόστος του κυκλώματος σύνδεσης για τις αργές συσκευές που δε μπορούν να το χρησιμοποιήσουν έτσι και αλλιώς.
- Χρησιμοποιείται μια ή περισσότερες γέφυρες (bridge) για τη σύνδεση των αρτηριών.



Η γέφυρα είναι:
υπηρέτης στο γρήγορο
δίαυλο και
Κύριος στον αργό δίαυλο.

Ακολουθία καταστάσεων γέφυρας



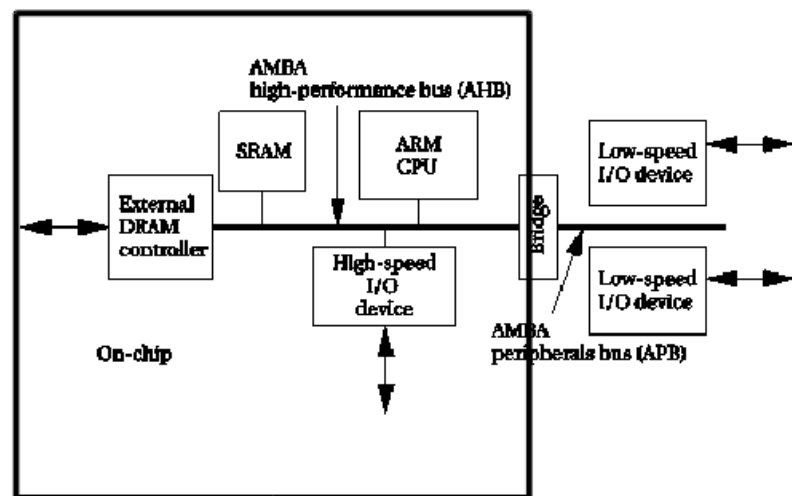
Ανάγνωση από τον αργό δίαυλο

- Η γέφυρα λειτουργεί ως μεταφραστής πρωτοκόλλου (είτε ως απλή μηχανή καταστάσεων, είτε κάτι πιο εξελιγμένο).



AMBA: Ο δίαυλος του ARM

- Προδιαγραφή διαύλου για ενσωματωμένα συστήματα από την ARM
- Είναι δίαυλος εντός πυριτίου.
- Δυο είδη:
 - AHB υψηλής απόδοσης.
 - APB χαμηλής ταχύτητας και κόστους.
- Υποστηρίζει διασωλήνωση, μεταφορές ριπής, αποδεδειγμένες μεταφορές, πολλαπλούς κυρίους διαύλου.
- Στο δίαυλο APB όλα τα περιφερειακά θεωρούνται υπηρέτες.

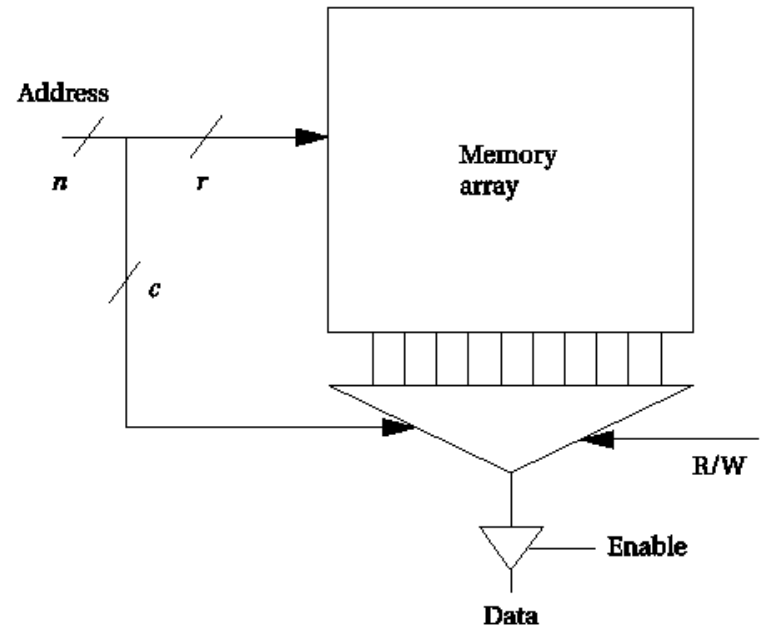


Συσκευές Μνήμης



Συστατικά μνημών

- Πολλαπλά είδη:
 - DRAM.
 - SRAM.
 - Flash.
 - EEPROM
- Κάθε είδος μνήμης έχει ποικιλία χαρακτηριστικών:
 - Χωρητικότητα.
 - Μήκος λέξης.
- Όλες οι οργανώσεις μνήμης χρησιμοποιούν δισδιάστατους πίνακες.
- Χρησιμοποιούνται απομονωτές με υψηλή αντίσταση, για τα κελιά που δε χρησιμοποιούνται.



Λόγος διαστάσεων

- Γνωρίζοντας μόνο το μέγεθος της μνήμης δε μπορούμε να υπολογίσουμε το μέγεθος λέξης και τον αριθμό των διαφορετικών στοιχείων (διευθύνσεων).
- Παράδειγμα: Μνήμη 4Mbits
 - Είτε πίνακας 1M επι 4bit (2^{20} διευθύνσεις των 4bit).
 - Είτε πίνακας 4M επι 1bit (2^{22} διευθύνσεις του 1bit).
- Η αναλογία ύψους πλάτους ονομάζεται: λόγος διαστάσεων (aspect ratio).



Μνήμη τυχαίας προσπέλασης

- Μπορεί να προσπελαστεί οποιαδήποτε διεύθυνση.
- 2 βασικές οικογένειες:
 - Η δυναμική RAM (DRAM) έχει μεγάλη πυκνότητα αποθήκευσης, αλλά απαιτεί ανανέωση.
 - Κυριαρχεί η σύγχρονη (synchronous) DRAM.
 - Η SDRAM χρησιμοποιεί το ρολόι για να βελτιώσει την απόδοση όπως και διασωλήνωση προσβάσεων.
 - Στις DRAM χρησιμοποιούνται τα σήματα CE (chip enable), RAS (row address selector, δηλαδή η διεύθυνση στο address bus αφορά τη γραμμή), CAS (column address selector, δηλαδή η διεύθυνση στο address bus αφορά τη στήλη), Clock, RW (ανάγνωση ή εγγραφή), Adrs (διεύθυνση), data (δεδομένα).
- Η στατική RAM (SRAM) είναι πιο γρήγορη, λιγότερο πυκνή σε αποθήκευση bit και καταναλώνει περισσότερο ενέργεια.
 - Στις SRAMS χρησιμοποιούνται τα σήματα CE (chip enable), RW (ανάγνωση ή εγγραφή), Adrs (διεύθυνση), data (δεδομένα).



Λειτουργία DRAM

- Η διασύνδεση σε μια DRAM είναι πιο σύνθετη επειδή οι DRAM είναι σχεδιασμένες, ώστε να ελαχιστοποιούν τον αριθμό των απαιτούμενων ακροδεκτών.
- Η διεύθυνση γραμμής και στήλης πολυπλέκεται στο δίαυλο διευθύνσεων. Με τη χρήση κατάλληλων σημάτων καθορίζεται που αντιστοιχεί κάθε φορά η διεύθυνση.
- Αν είναι ασύγχρονη DRAM δε χρησιμοποιείται ρολόι.
- Απαιτείται ανανέωση των φορτίων των πυκνωτών, διαφορετικά θα χαθούν (τυπική διάρκεια 1 msec).
- Υπάρχει ειδικό κύκλωμα (ελεγκτής μνήμης) που εκτελεί περιοδικά την ανανέωση μέσα στα χρονικά όρια για να μη χαθούν τα δεδομένα.
- Μπορεί να υποστηρίζεται ο τρόπος λειτουργίας page mode, ώστε να δίνεται μια διεύθυνση γραμμής και να αλλάζουν μόνο οι διευθύνσεις στηλών.



Παρόμοιες οικογένειες μνημών

- **Video RAM**

μνήμη ειδικά για επιτάχυνση λειτουργίας γραφικής απεικόνισης. 2 θύρες: Παράλληλη για σύνδεση με τον επεξεργαστή και σειριακή με ολίσθηση για σύνδεση με την οθόνη.

- **Rambus**

Υψηλή απόδοση, χαμηλού κόστους RAM. Υποστηρίζει παράλληλη διευθυνσιοδότηση, πολλαπλούς ξεχωριστούς διαύλους για δεδομένα και σταθερό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων πάνω από 1 GB/sec.



Μνήμη μόνο για ανάγνωση

- Read Only Memory - ROM
- Η ROM μπορεί να προγραμματιστεί μόνο στο εργοστάσιο
- Κατηγορίες: ROM,PROM,EPROM,EEPROM
- Η μνήμη Flash είναι ένα είδος μνήμης που προγραμματίζεται από το χρήστη.
 - Ηλεκτρικά διαγραφόμενη. Πρέπει να διαγράφεται ανά block (ομάδες από Bytes).
 - Τυχαίας πρόσβασης, αλλά η εγγραφή/διαγραφή είναι πολύ πιο αργή από την ανάγνωση.
 - Η NOR flash είναι πιο ευέλικτη.
 - Η NAND flash έχει μεγαλύτερη πυκνότητα.



Μνήμη Flash (1/2)

- 2 κατηγορίες Flash:
 - NOR:
 - Ανάγνωση ανά λέξη
 - Διαγραφή ανά ομάδες από bytes (blocks)
 - NAND:
 - Ανάγνωση ανά σελίδα (512-4K bytes).
 - Διαγραφή ανά ομάδες από bytes (blocks)
- Η NAND είναι πιο φθηνή, πιο γρήγορη στη διαγραφή και πιο γρήγορη στο χρόνο πρόσβασης.
- Μη πτητική μνήμη.
 - Μπορεί να προγραμματιστεί ενώ είναι συνδεδεμένη στο κύκλωμα.
- Επιτρέπει τυχαία προσπέλαση ανάγνωσης.



Μνήμη Flash (2/2)

- Για εγγραφή:
 - Η διαγραφή ενός block, τοποθετεί το 1.
 - Εγγραφή οποιουδήποτε bit με τιμή 0.
 - Η αλλαγή από 0 σε 1 απαιτεί διαγραφή όλου του block.\
 - Η εγγραφή είναι πολύ πιο αργή από ότι η ανάγνωση.
 - 1.6 μ s write, 70 ns read.
- Τα Blocks είναι μεγάλα (περίπου 1 Mb).
- Η εγγραφή προκαλεί φθορά και στο τέλος καταστροφή της συσκευής.
 - Η διάρκεια ζωής είναι συνήθως 1 εκατομμύριο εγγραφές.



ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΕΙΣΟΔΟΥ/ΕΞΟΔΟΥ



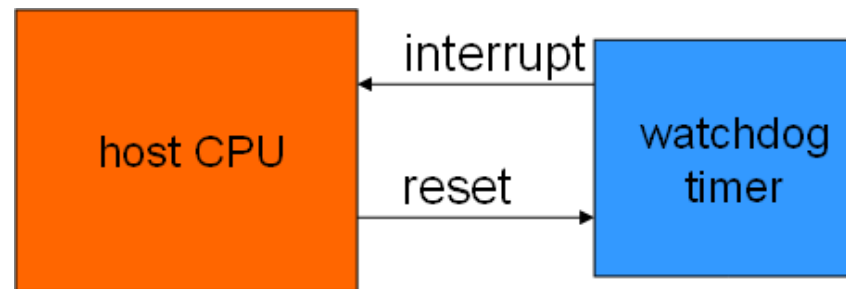
Χρονόμετρα και μετρητές

- Παρόμοια κυκλώματα:
 - Και τα δυο έχουν λογική αθροιστών με καταχωρητές, με είσοδο προσαύξησης
 - Το χρονόμετρο αυξάνεται από ένα περιοδικό σήμα.
 - Ο μετρητής αυξάνεται από ένα ασύγχρονο σήμα.
- Ο μηδενισμός του μετρητή δημιουργεί διακοπή.



Χρονόμετρο επαγρύπνησης (Watchdog timer)

- Το χρονόμετρο επαγρύπνησης είναι ένας μετρητής που επαναφέρεται κατά περιοδικά διαστήματα από το σύστημα.
- Αν δε γίνει επαναφορά μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και γίνει time-out, δημιουργεί μια διακοπή για να κάνει reset τον υπολογιστή (π.χ. αν κολλήσει ο επεξεργαστής και δε μπορεί να επαναφέρει το watchdog).
- Πολύ χρήσιμη ιδιότητα, ιδιαίτερα σε απομακρυσμένα συστήματα.



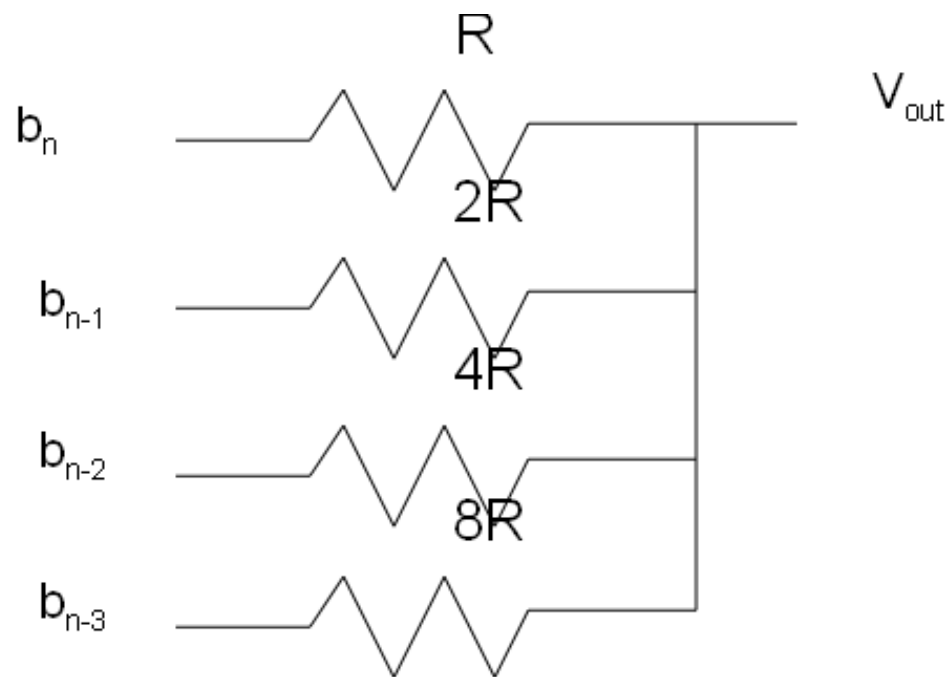
Μετατροπείς A/D και D/A

- Χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν αναλογικές συσκευές σε ενσωματωμένα συστήματα.
- A/D : analog to digital
 - Κατασκευάζεται πολύ εύκολα με κυκλώματα δειγματοληψίας.
- D/A : digital to analog



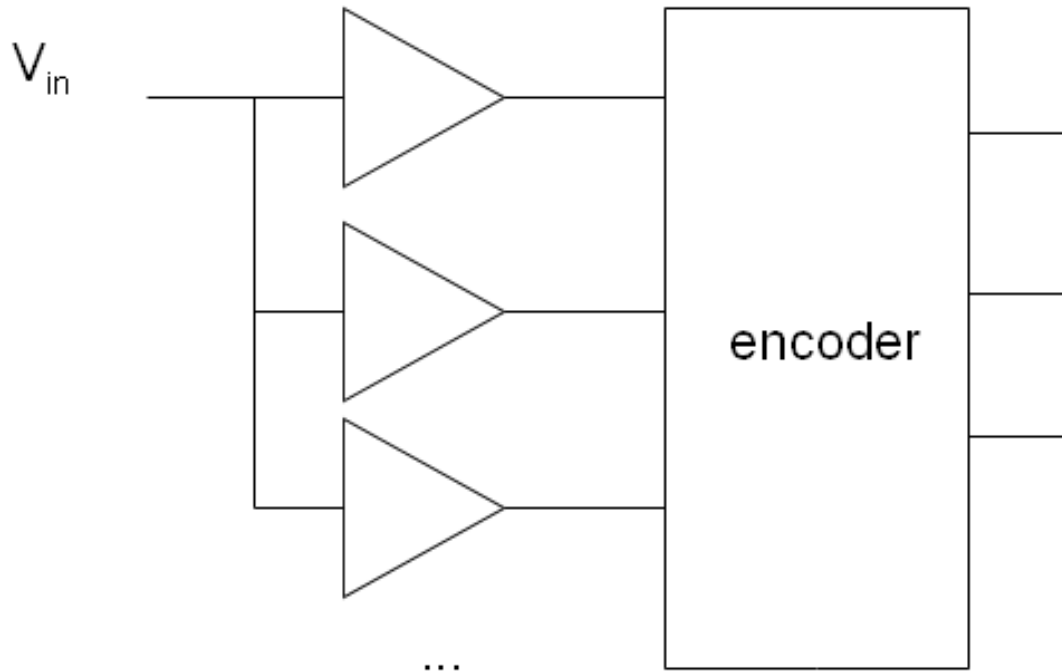
Μετατροπείς Ψηφιακό σε Αναλογικό

- Δένδρο αντιστάσεων:

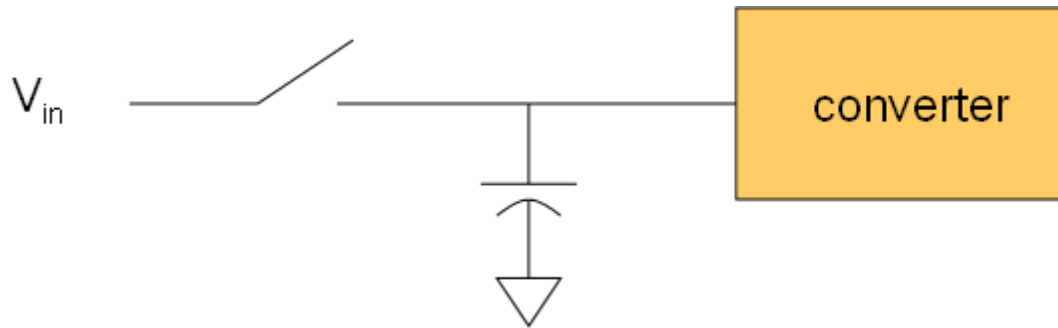


Αναλογικό σε ψηφιακό

- Ένα αποτέλεσμα N-bit απαιτεί 2^n συγκριτές:

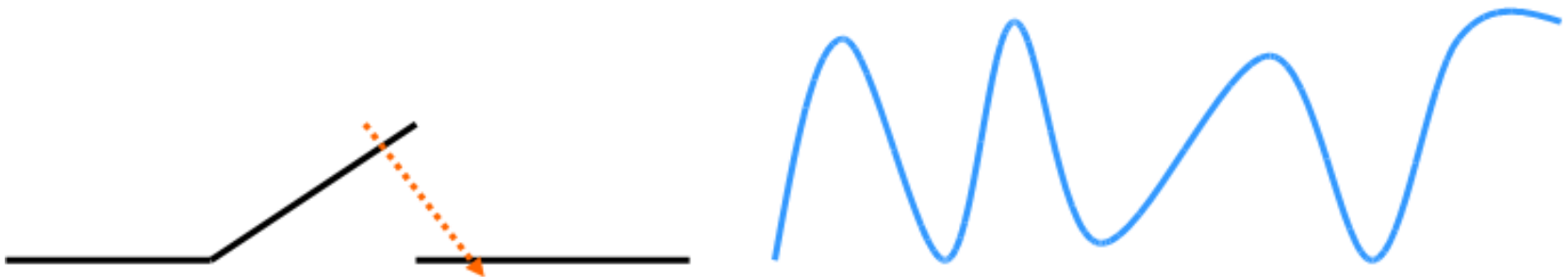


Δειγματοληψία για A/D



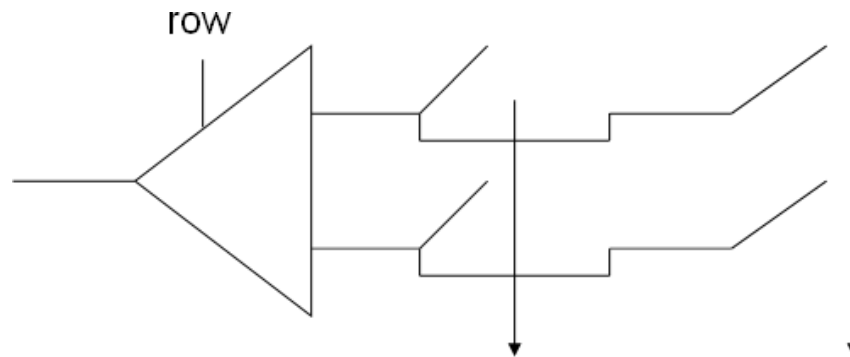
Πληκτρολόγια και κλυδωνισμός

- Πληκτρολόγιο: Πίνακας με διακόπτες (μηχανικές επαφές).
- Οι διακόπτες έχουν το πρόβλημα ότι κλυδωνίζονται (bounce), και έτσι εμφανίζεται σαν να έχει πατηθεί ένα πλήκτρο πολλές φορές.
- Ο διακόπτης απαιτείται να απο-κλυδωνιστεί. Μπορεί να γίνει με:
 - Λογισμικό.
 - Υλικό.



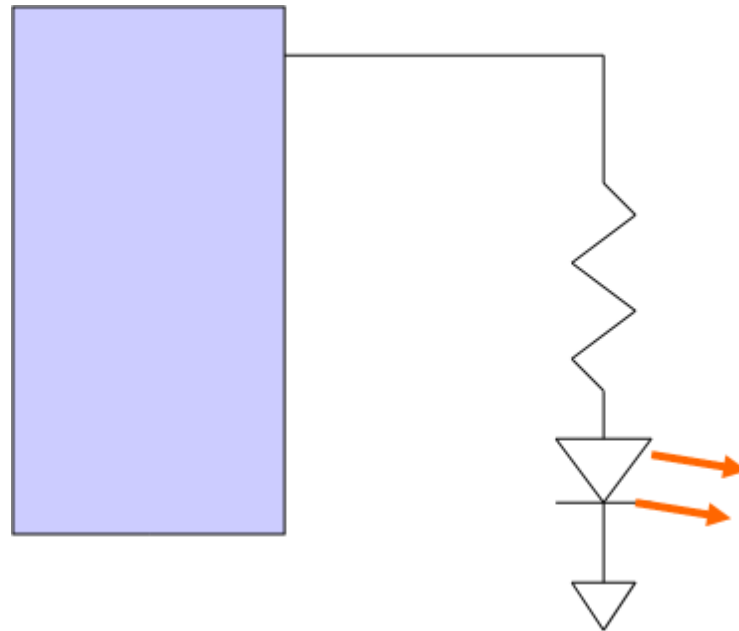
Κωδικοποιημένο πληκτρολόγιο

- Τα σύνθετα πληκτρολόγια (π.χ. στα PC) έχουν μικροεπεξεργαστή 4bit.
- Χρησιμοποιείται πίνακας σάρωσης με διακόπτες, π.χ. επιλέγεται μια γραμμή και το σήμα διέρχεται από τον αποπλέκτη στη γραμμή και στη συνέχεια αν έχει πατηθεί κάποιο πλήκτρο, από την κατακόρυφη διαδρομή.
- Η μετακύλιση επιτρέπει να πατάμε συνδυασμούς πλήκτρων. Συνήθως, όταν πατάμε ένα πλήκτρο στέλνεται μια ειδική κωδικοποίηση (ON) και όταν το αφήνουμε στέλνεται μια κωδικοποίηση (OFF).



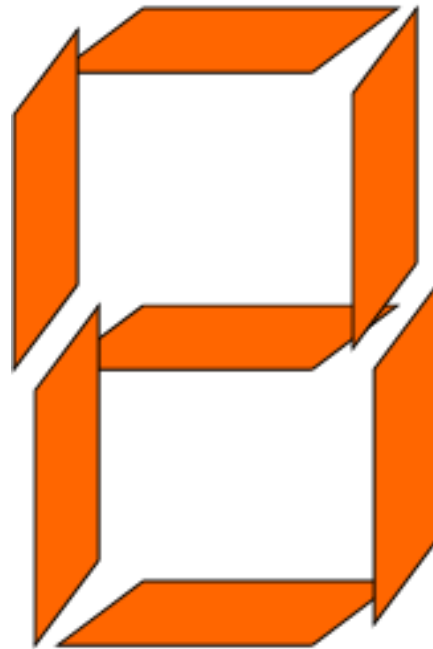
Φωτοεκπέμπουσες δίοδοι (LED)

- Χρησιμοποιούνται για ενδείξεις.
- Πρέπει να χρησιμοποιείται αντίσταση για να περιορίζει το ρεύμα:



Οθόνη LCD 7 τμημάτων

- Οθόνη υγρών κρυστάλλων (liquid crystal display, LCD).
- Μπορεί να χρησιμοποιεί παράλληλη ή πολυπλεγμένη είσοδο.



Οθόνες υψηλής ανάλυσης

- LCD
- Plasma, OLED
- Χρησιμοποιείται περιοχή προσωρινής αποθήκευσης πλαισίου (Frame buffer) για τα δεδομένα της οθόνης σε σειρά πλέγματος εικονοστοιχείων.
 - Γράφει ο επεξεργαστής.
 - Διαβάζει η οθόνη.

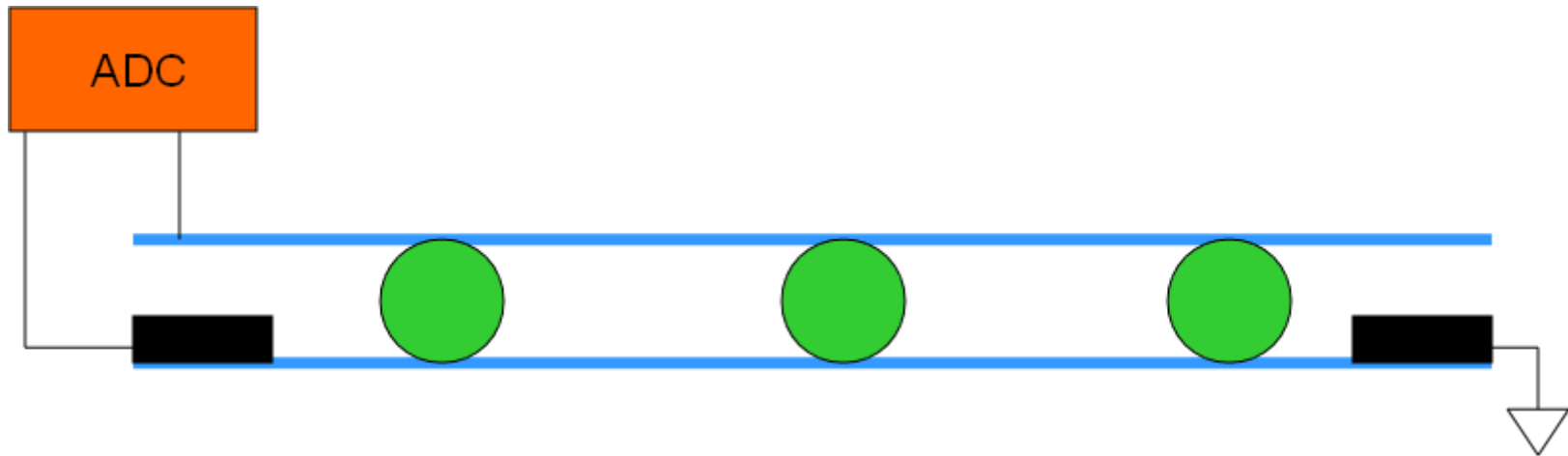


Οθόνες αφής (touch screens)

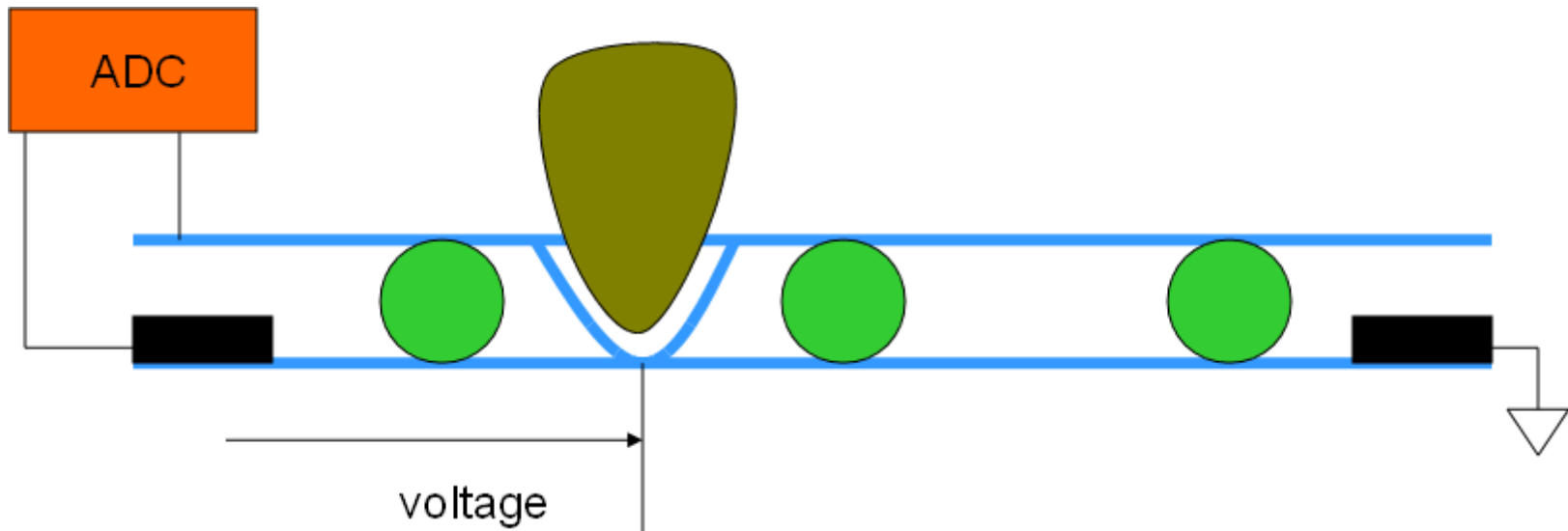
- Χρησιμοποιείται μια συσκευή εισόδου πάνω από μια συσκευή εξόδου.
- 2 κατηγορίες:
 - **Ωμικές** (Η συσκευή εισόδου χρησιμοποιεί ένα βολτόμετρο δυο διαστάσεων).
 - **Χωρητικές** (εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι ο άνθρωπος έχει φορτία. Καλύτερη απόκριση από την ωμική, αλλά δε λειτουργεί με πλαστικό στυλό ή γάντια). Υποστηρίζει πολυ-αφή (multitouch).



Ανίχνευση θέσης σε οθόνη αφής (1/2)



Ανίχνευση θέσης σε οθόνη αφής (2/2)



Σχεδίαση με Μικροεπεξεργαστές



Η λογική συγκόλλησης

- Μερικές φορές κάποια συστατικά δεν είναι συμβατά με το δίαυλο που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε.
- Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να σχεδιάσουμε ένα μετατροπέα, ο οποίος χρησιμοποιείται ως “glue logic” (λογική συγκόλλησης).



Η αρχιτεκτονική υλικού

Περιέχει:

- CPU
 - Διαύλους
 - Μνήμη
 - Συσκευές I/O: δικτύωση, αισθητήρια, κ.α.
-
- Η επιλογή για ποιον επεξεργαστή θα χρησιμοποιήσουμε είναι από τις πιο σημαντικές, ωστόσο δε μπορεί να γίνει χωρίς να λάβουμε υπόψιν το λογισμικό που θα εκτελεστεί σε αυτόν.
 - Ο δίαυλος είναι αναπόσπαστο κομμάτι του επεξεργαστή. Προσοχή στο εύρος ζώνης γιατί καθορίζει την απόδοση.
 - Το είδος της μνήμης καθορίζεται από τις ανάγκες και τον απαιτούμενο όγκο δεδομένων.



Αρχιτεκτονική Λογισμικού

- Η λειτουργική προδιαγραφή πρέπει να διασπαστεί σε επιμέρους τμήματα.
- Ανάμεσα σε σχεδιαστικές ομάδες.
- Οργανισμούς.
- Πλεονεκτήματα σε
 - Απόδοση.
 - Δοκιμαστικότητα.
 - Συντήρηση.



Αναπτυξιακές πλατφόρμες

- Σχεδιασμένες είτε από τον κατασκευαστή CPU είτε από άλλους.
- Περιέχει CPU, μνήμη, συσκευές I/O.
- Επιπρόσθετες διεπαφές.
- Μπορεί να καλύπτει πλήρως τις απαιτήσεις για το ΕΣ.



Προσθήκη ψηφιακής λογικής στο ΕΣ

- **Programmable logic devices (PLDs)** (χαμηλή/ μεσαία πολυπλοκότητα).
- **Field-programmable gate arrays (FPGAs)** (περισσότερη λογική και υποστήριξη πολυεπίπεδης λογικής).
- **Application-specific integrated circuits (ASICs)** (κατασκευάζονται για ειδικό σκοπό).

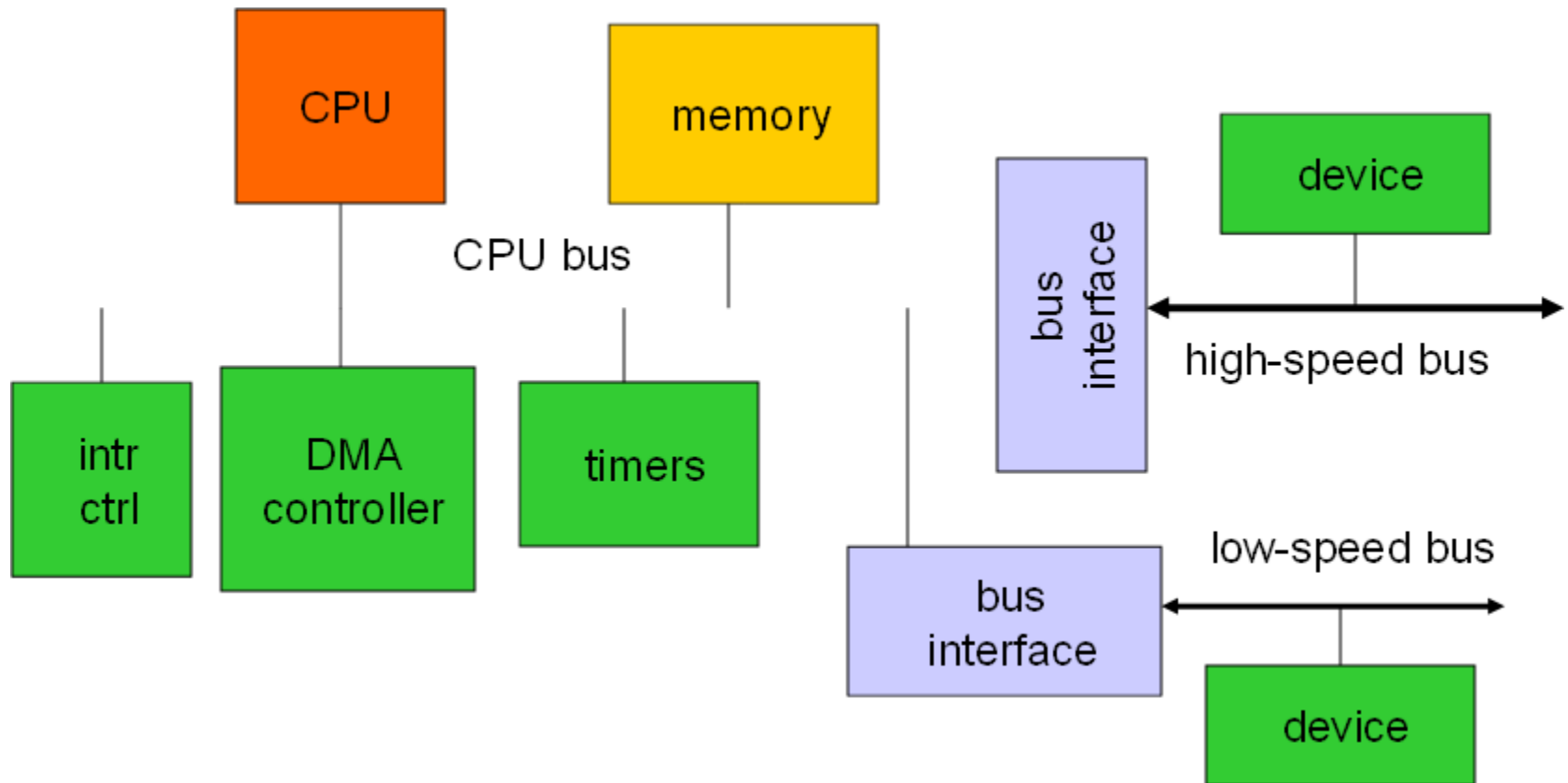


Το PC ως μια αναπτυξιακή πλατφόρμα

- Πλεονεκτήματα:
 - Προσχεδιασμένη πλατφόρμα.
 - Μεγάλη ποικιλία Ε/Ε.
 - Φθηνός και αρκετά εύκολος να αποκτηθεί.
 - Πλούσιο και οικείο προγραμματιστικό περιβάλλον.
- Μειονεκτήματα:
 - Απαιτεί πολλούς πόρους.
 - Έχει μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας.
 - Είναι μεγάλο σε μέγεθος.
 - Είναι πιο ακριβό.
 - Δεν έχει σχεδιαστεί για εφαρμογές πραγματικού χρόνου.
- Σε ειδικά περιβάλλοντα (π.χ. γραφεία) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα PC για τη δημιουργία ενός ΕΣ.



Μια τυπική πλατφόρμα PC



Τυπικοί Δίαυλοι σε PC

- Παράλληλοι Δίαυλοι:
 - ISA (8Mhz).
 - PCI: υψηλής διασύνδεσης παράλληλος δίαυλος.
 - 33 / 66 MHz. (524MB/sec, 64bit).
 - PCI Express.
- Σειριακοί Δίαυλοι:
 - USB (Universal Serial Bus),
 - Firewire (IEEE 1394).



Στοιχεία λογισμικού

- Το IBM PC χρησιμοποιεί BIOS (Basic I/O System) για υπηρεσίες χαμηλού επιπέδου:
 - Αρχικοποίηση συστήματος;
 - Χαμηλού επιπέδου οδηγούς υλικού.
- Η ανάπτυξη κώδικα είναι πολύ ευκολότερη.



Παράδειγμα: StrongARM (1/2)

- Ο επεξεργαστής StrongARM περιέχει:
 - ARM CPU chip (3.686 MHz clock)
 - Δίαυλο συστήματος υψηλής ταχύτητας και δίαυλο χαμηλής ταχύτητας.
 - Μονάδα ελέγχου συστήματος (32.768 kHz clock).
 - Ρολόι πραγματικού χρόνου.
 - Χρονόμετρο λειτουργικού συστήματος.
 - I/O γενικού σκοπού (general-purpose I/O, GPIO).
 - Ελεγκτή διακοπών;
 - Ελεγκτή διαχείρισης ισχύος;
 - Ελεγκτή επαναφοράς (αρχικοποίησης συστήματος).



Παράδειγμα: StrongARM (2/2)

- Συνοδευτικό chip SA-1111 E/E:
 - USB.
 - PS/2.
 - PCMCIA.
 - PWM.
 - Serial.
 - Parallel.
 - SSP (synchronous serial port) για SPI.



Ανάπτυξη και Αποσφαλμάτωση



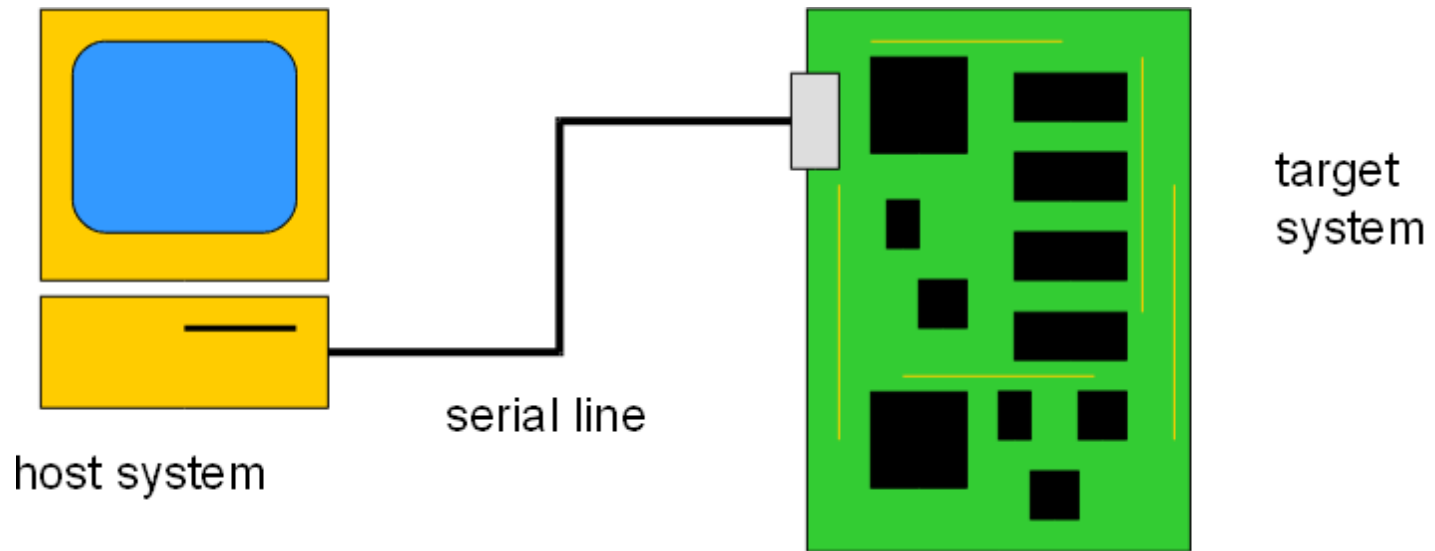
Αποσφαλμάτωση ΕΣ

- Προκλήσεις:
 - Το ΕΣ μπορεί να είναι δύσκολο να παρατηρηθεί.
 - Το ΕΣ μπορεί να είναι δύσκολο να χειριστεί.
 - Μπορεί να υπάρχει δυσκολία στη δημιουργία ρεαλιστικών εισόδων.
 - Η ακολουθία αρχικοποίησης μπορεί να είναι πολύπλοκη.



Host/target design

- Ο Ε/Ε έχει μεγαλύτερη CPU/μνήμη και πολλούς περισσότερους πόρους και έτσι η ανάπτυξη γίνεται πιο εύκολη.
- Ανάπτυξη του λογισμικού σε ένα υπολογιστή υπηρεσίας (host) για ένα ΕΣ (target) που συνδέεται στον υπολογιστή:



Host-based tools

- Ετερομεταγλωτιστής (Cross compiler):
 - Κάνει compile το πρόγραμμα στον επεξεργαστή υπηρεσίας αλλά δημιουργώντας εκτελέσιμο για τον επεξεργαστή του ΕΣ.
- Ετερο-αποσφαλματωτής (Cross debugger):
 - Εμφανίζει την κατάσταση στο ΕΣ, και επιτρέπει τον έλεγχο εκτέλεσης στο ενσωματωμένο σύστημα.



Σημείο διακοπής (breakpoint)

- Ένα σημείο διακοπής επιτρέπει το χρήστη να σταματήσει την εκτέλεση, να παρατηρήσει την κατάσταση του συστήματος και αν θελήσει να την τροποποιήσει.
- Αν ο επεξεργαστής δεν υποστηρίζει εξαιρέσεις για αποσφαλμάτωση, τότε μπορεί να αντικατασταθεί η εντολή που θέλουμε να διακόψουμε με μια κλήση υπορουτίνας προς το πρόγραμμα αποσφαλμάτωσης.



Παράδειγμα αντικατάστασης εντολής για δημιουργία σημείου διακοπής

0x400 MUL r4,r6,r6

0x404 ADD r2,r2,r4

0x408 ADD r0,r0,#1

0x40c B loop

0x400 MUL r4,r6,r6

0x404 ADD r2,r2,r4

0x408 ADD r0,r0,#1

0x40c BL bkpoint

αρχικός κώδικας

κώδικας με breakpoint



Ενέργειες χειρισμού σημείου διακοπής

- Αποθήκευση όλων των καταχωρητών.
- Παρουσιάζει την κατάσταση στο χρήστη.
- Πριν την επιστροφή, επαναφορά της προηγούμενης κατάστασης:
 - Η πιο απλή και ασφαλής λύση είναι να απομακρυνθεί η εντολή BL και να τοποθετηθεί η εντολή που είχε αρχικά απομακρυνθεί. Απαιτεί να διορθωθεί και η διεύθυνση επιστροφής της ρουτίνας, ώστε να δείχνει σε μια εντολή πιο πίσω.
 - Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και δυο σημεία διακοπής (πριν την εντολή και μετά), ώστε να γίνεται πιο εύκολα η αντικατάσταση της εντολής.



Προσομοιωτές σε κύκλωμα (in-circuit emulator -ICE)

- Ένας προσομοιωτής ICE με μικροεπεξεργαστή, είναι ένα ειδικό κύκλωμα που χρησιμοποιείται για την αποσφαλμάτωση ΕΣ.
- Το κάθε ICE συνδέεται με συγκεκριμένο επεξεργαστή, επειδή κατασκευάζεται για συγκεκριμένη συνδεσμολογία.
- Συνεργάζεται στενά με τη CPU, και επιτρέπει την παρακολούθηση της κατάστασης, τροποποίηση κατάστασης και παύση ή έναρξη εκτέλεσης.
- Δεν υποστηρίζεται από όλα τα ΕΣ.



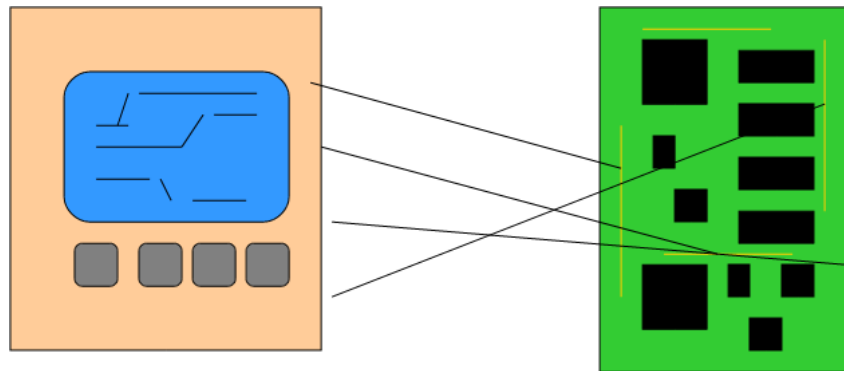
Αποσφαλμάτωση με LED και σειριακή θύρα

- Η σειριακή θύρα είναι από τα πιο σημαντικά εργαλεία αποσφαλμάτωσης.
- Είναι καλή ιδέα να τοποθετούμε μια σειριακή, ακόμη και αν δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στο τελικό προϊόν.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάγνωση προβλημάτων.
- Πολύ καλή ιδέα είναι να τοποθετείται και ενδεικτικά LED, που δείχνουν την κατάσταση συστήματος (ακόμη και αν δε χρησιμοποιούνται). Μπορεί να είναι πολλαπλά LED και να κωδικοποιούν καταστάσεις.

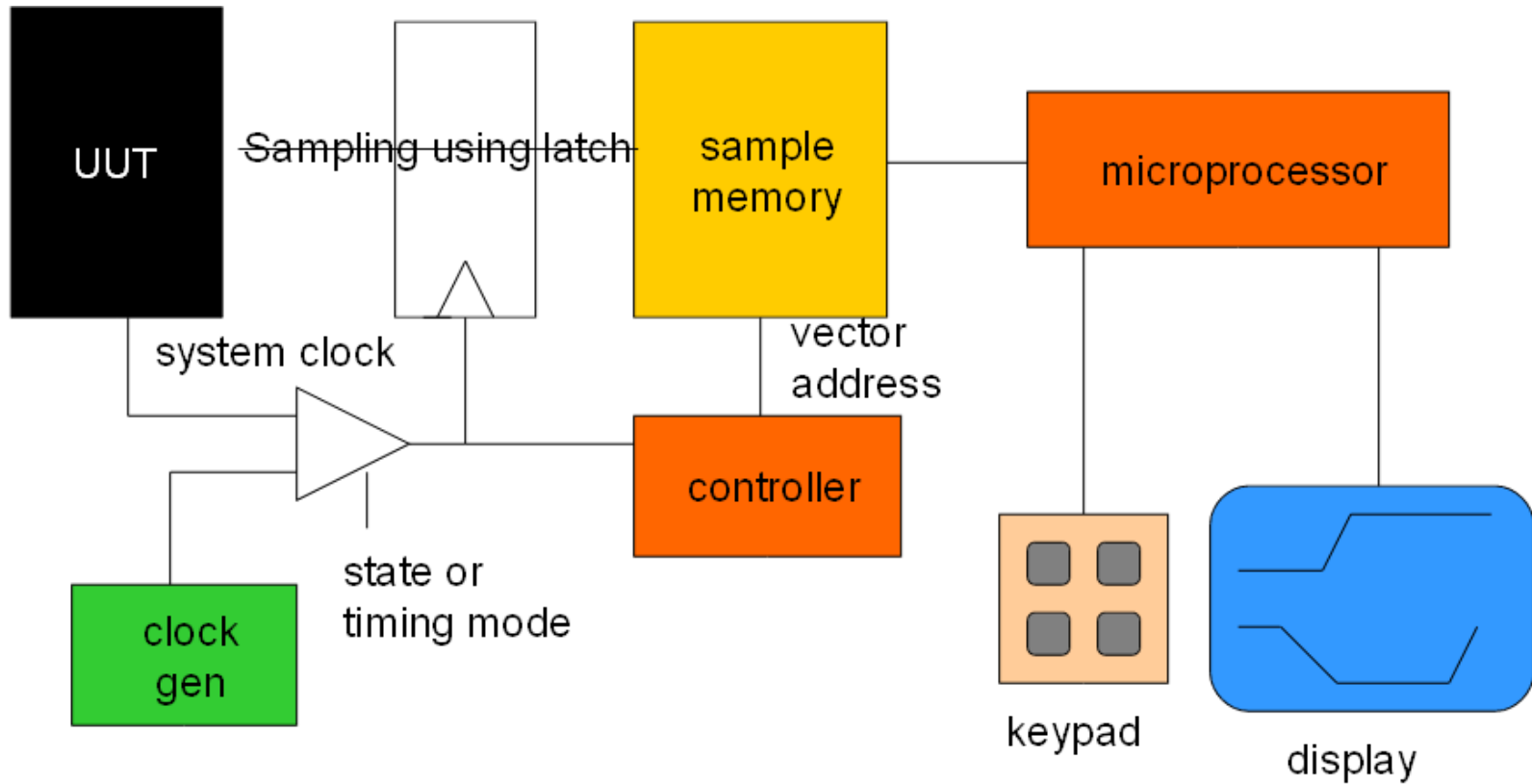


Λογικοί Αναλυτές

- Πολύ σημαντικό εργαλείο για τη σχεδίαση ΕΣ.
- Είναι ένας πίνακας από πολλαπλούς παλμογράφους. Δειγματοληπτεί πολλαπλά διαφορετικά σήματα ταυτόχρονα.
- 2 τρόποι λειτουργίας: χρονισμού (με δικό του ρολόι υψηλής συχνότητας, απαιτεί πολύ περισσότερη μνήμη αφού υπάρχουν περισσότερα δείγματα, βρίσκει glitches), κατάστασης (με το ρολόι συστήματος, δειγματοληψία μόνο 1 φορά ανά περίοδο, ακολουθιακή ανάλυση).



Αρχιτεκτονική λογική αναλυτή



UUT: Unit under Test, Μονάδα υπό έλεγχο



Δοκιμή κώδικα

- Εκτέλεση κώδικα στο:
 - Σταθμό εργασίας ανάπτυξης.
 - Αρχιτεκτονική στόχος.
 - Προσομοιωτή επιπέδου εντολών.
 - Προσομοιωτή επιπέδου κύκλου.
 - Συν-προσομοιωτή υλικού/λογισμικού.



Αποσφαλμάτωση κώδικα πραγματικού χρόνου

- Προβλήματα σε οδηγούς προκαλούν μη ντετερμινιστική συμπεριφορά στο πρόγραμμα στο προσκήνιο.
- Κάποια bugs εξαρτώνται από συγκεκριμένες ακολουθίες ή χρονισμό.
- Αν δε μπορούμε να εξηγήσουμε ένα σφάλμα με τους συνηθισμένους τρόπους αποσφαλμάτωσης, τότε ενδέχεται να υπάρχει παραβίαση χρονικών περιορισμών.



Δοκιμή Κατασκευής

- Ο ρόλος της δοκιμής κατασκευής είναι να εξασφαλίσουμε ότι δεν εισάγονται σφάλματα κατά την κατασκευή του.
- **Δοκιμή υλοποίησης:** εντοπίζει ασυμφωνίες ανάμεσα στις προδιαγραφές και στον τρόπο που λειτουργεί το σύστημα.
- **Δοκιμή κατασκευής:** αναζητά διαφοροποιήσεις ανάμεσα στη σχεδίαση και στα αντίγραφα του συστήματος, γιατί η διαδικασία κατασκευής ενδέχεται να εισάγει ελαττώματα που θα προκαλέσουν δυσλειτουργία.



Εσοδεία (yield)

- Η αναλογία των λειτουργικών συσκευών που παράγονται από τη γραμμή παραγωγής και αυτών που λειτουργούν σωστά, ονομάζεται εσοδεία (yield).
- Εξετάζεται κάθε μονάδα που εξέρχεται της γραμμής παραγωγής.
- Απαιτείται μειωμένος χρόνος δοκιμής και μεγάλη κάλυψη σφαλμάτων.
- Σημαντικό ρόλο παίζει το μοντέλο σφάλματος (fault model).
- Το κόστος δοκιμής μπορεί να αποτελέσει σημαντικό τμήμα του κόστους κατασκευής.



Παράγοντες διαμόρφωσης εσοδείας

- Υπάρχουν πολλοί τύποι σφαλμάτων.
- Λίγοι τύποι καθορίζουν τη συνολική εσοδεία.
- Μπορούμε να απαριθμήσουμε όλες τις πιθανές περιπτώσεις σφάλματος για μια συγκεκριμένη σχεδίαση και να κατασκευάσουμε μια σειρά δοκιμών που θα εκθέσουν αυτές τις περιπτώσεις.
- Η αναλογία των σφαλμάτων που μπορούμε να εντοπίσουμε ως προς το συνολικό αριθμό σφαλμάτων, ονομάζεται κάλυψη σφάλματος.
- Υπάρχουν δυο κλασσικοί τύποι σφαλμάτων:
- κολλημένο-στο-0 και κολλημένο-στο-1.



Ελεγχιμότητα και Παρατηρητικότητα

- Δεν είναι εύκολο να **ελέγξουμε** (δηλαδή να τοποθετήσουμε συγκεκριμένες τιμές στις εισόδους μιας συγκεκριμένης πύλης), όλες τις πύλες σε ένα σύνθετο IC, όπως επίσης να **παρατηρήσουμε** τις τιμές που μπορεί να έχουν στην έξοδο.
- Είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθούν τεχνικές για να αυξήσουν αυτά τα 2 μετρικά, ώστε να μπορούμε να κάνουμε πιο εύκολα την αποσφαλμάτωση.



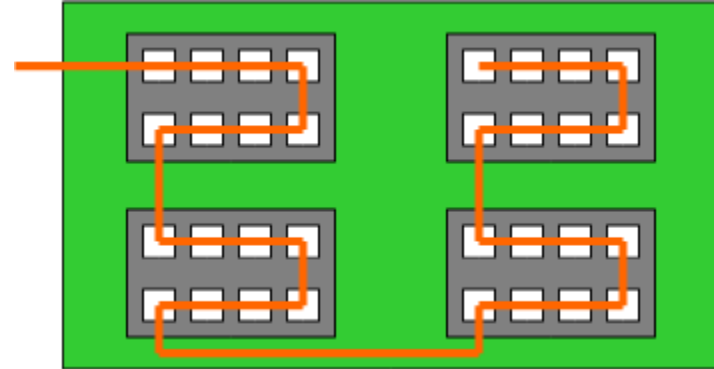
Παράδειγμα ανίχνευσης σφάλματος stuck-at-X

- Έστω μια πύλη OR είναι κολλημένη στο 1, δηλαδή για κάθε είσοδο, έχει στην έξοδο το '1'.
- Αν θέλουμε να ανιχνεύσουμε αυτό το σφάλμα θα δώσουμε το διάνυσμα ελέγχου (test vector) 00, οπότε ενώ κανονικά θα είχαμε '0' στο αποτέλεσμα, θα δούμε το '1'.
- Αν θέλαμε να ελέγχουμε το stuck-at-0, τότε θα χρησιμοποιούσαμε το διάνυσμα ελέγχου 01 (ή 10 ή 11), οπότε ενώ θα περιμέναμε να έχουμε στην έξοδο το '1' θα είχαμε το '0'.



Ανίχνευση ή σάρωση ορίων (boundary scan)

- Είναι γνωστή και ως JTAG (joint test action group).
- Πρότυπο που ορίζει ακολουθία ρυθμίσεων και ελέγχου για την αλυσίδα σάρωσης.
- Απλοποιεί τη δοκιμή πολλαπλών chip στο ίδιο board.
 - Οι καταχωρητές μπορούν να ρυθμιστούν για να υποστηρίξουν μια αλυσίδα ανίχνευσης.
 - Χρησιμοποιείται για αποσφαλμάτωση και προσομοιωτές στο κύκλωμα.



2 πλεονεκτήματα:

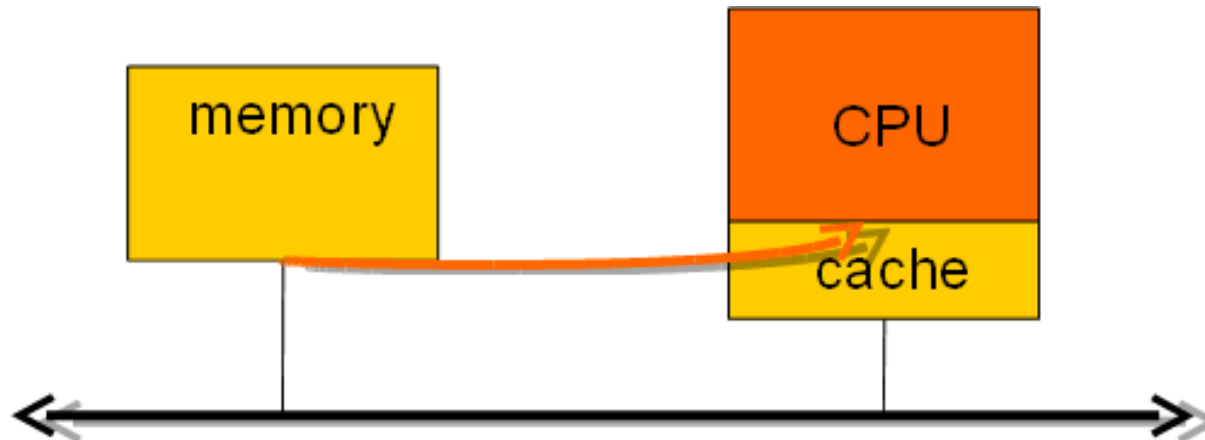
Επιτρέπει την παρατήρηση και τον έλεγχο

Επιτρέπει στα chip της κάρτας να λειτουργούν ανεξάρτητα.



Ανάλυση απόδοσης σε επίπεδο συστήματος

- Εξαρτάται από κάθε στοιχείο:
 - CPU.
 - Cache.
 - Bus.
 - Main memory.
 - I/O device.



Μέτρηση απόδοσης χρησιμοποιώντας το εύρος ζώνης

- Το εύρος ζώνης συνδέεται με πολλά στοιχεία:
 - Μνήμη.
 - Διαύλους
 - Επεξεργαστή.
- Διαφορετικά τμήματα του συστήματος εκτελούνται σε διαφορετικούς ρυθμούς χρόνου.
- Διαφορετικά συστατικά μπορεί να έχουν διαφορετικά πλάτη λέξεων (bus, memory).

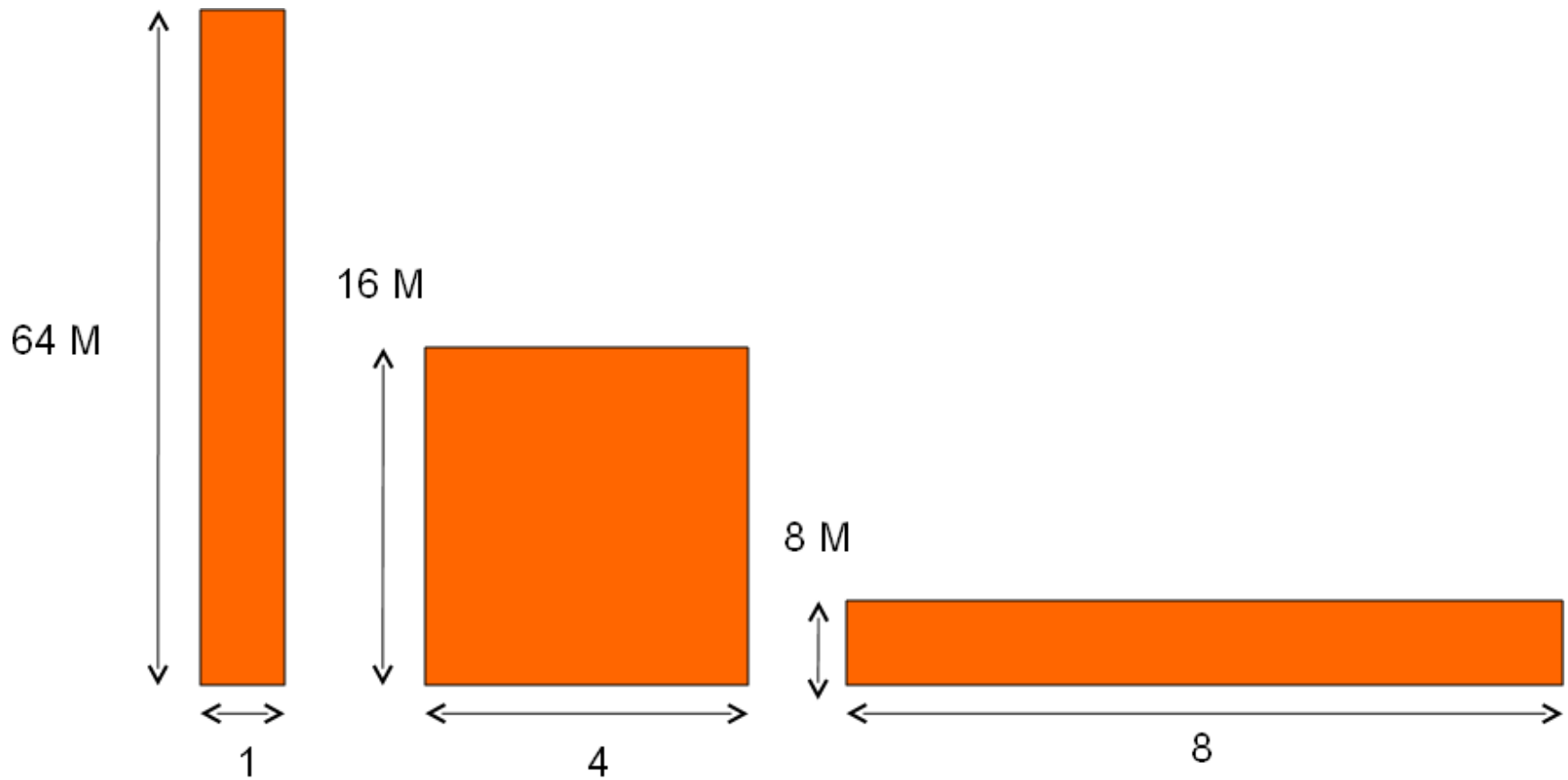


Εύρος ζώνης και μεταφορές

- Video frame: $320 \times 240 \times 3 = 230,400$ bytes.
 - Απαιτεί μεταφορά κάθε in $1/30$ sec.
- Αν η μεταφορά είναι $1 \text{ byte}/\mu\text{sec}$, $0.23 \text{ sec per frame}$.
 - Πολύ αργή και δε μας καλύπτει τις ανάγκες..
- Αύξηση εύρους ζώνης:
 - Αύξηση πλάτους διαύλου.
 - Αύξηση συχνότητας ρολογιού διαύλου.



Οργανώσεις μνήμης που αντιστοιχούν στο ίδιο μέγεθος



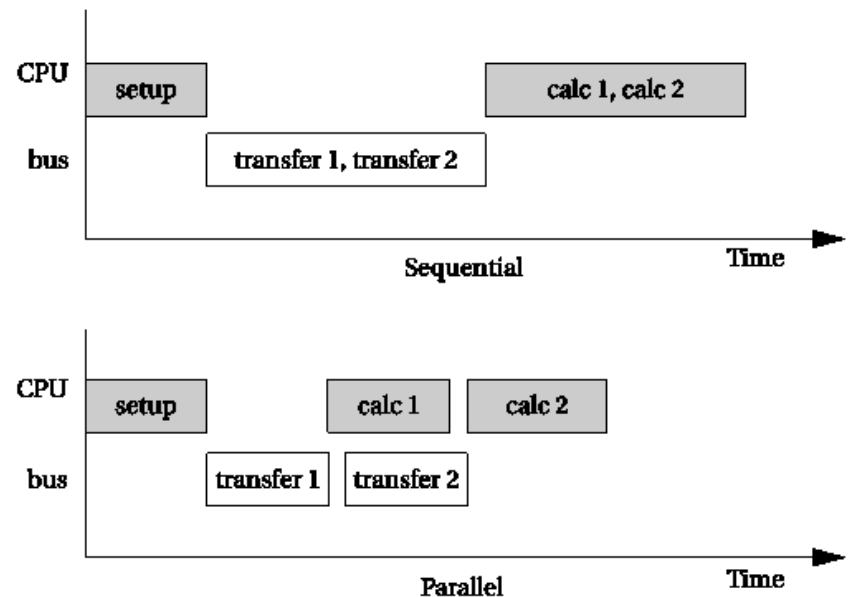
Χρόνοι πρόσβασης μνήμης

- Η κάθε μνήμη έχει συγκεκριμένους χρόνους πρόσβασης, όπως αναφέρονται στο αντίστοιχο datasheet.
 - Ο ρυθμός μεταφοράς ριπής, επιτρέπει την πολύ γρήγορη ανάγνωση διαδοχικών διευθύνσεων μνήμης.



Παραλληλοποίηση

- Επιτάχυνση της μεταφοράς δεδομένων με παραλληλία
- Η DMA παρέχει παραλληλία και είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν η CPU δε χρησιμοποιεί το δίαυλο.



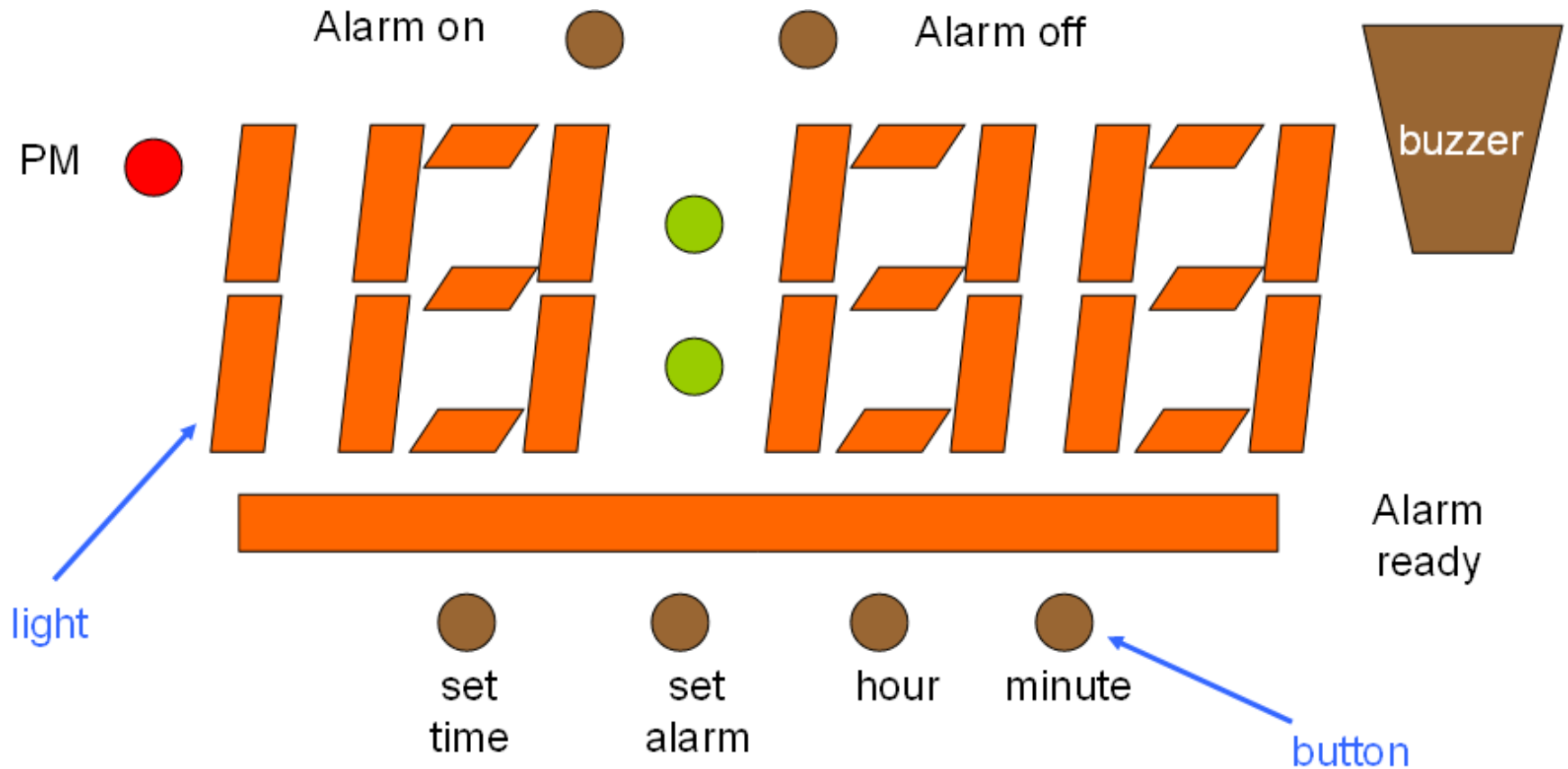
Παράρτημα



Παράδειγμα Σχεδίασης: Ρολόι Ξυπνητήρι



Alarm clock interface



© 2008 Wayne Wolf

Overheads for *Computers as Components 2nd ed.*



Operations

- Set time: hold set time, depress hour, minute.
- Set alarm time: hold set alarm, depress hour, minute.
- Turn alarm on/off: depress alarm on/off.

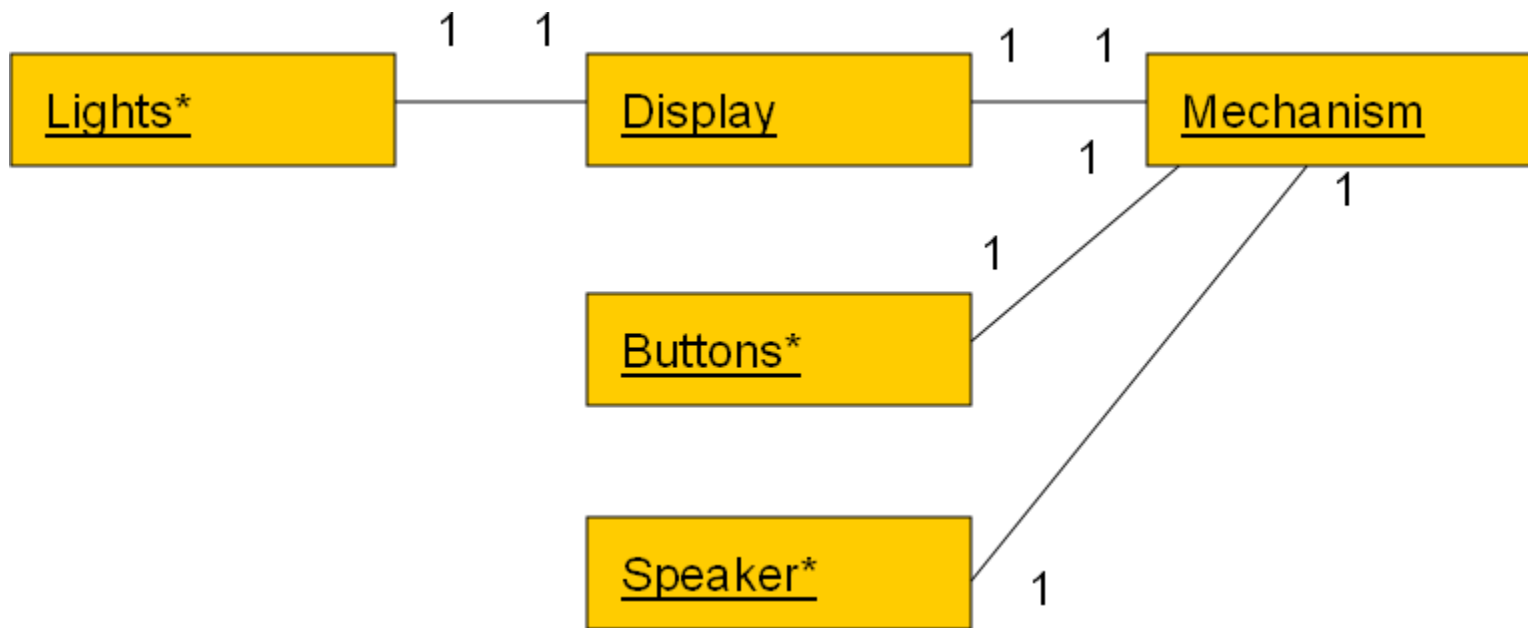


Alarm clock requirements

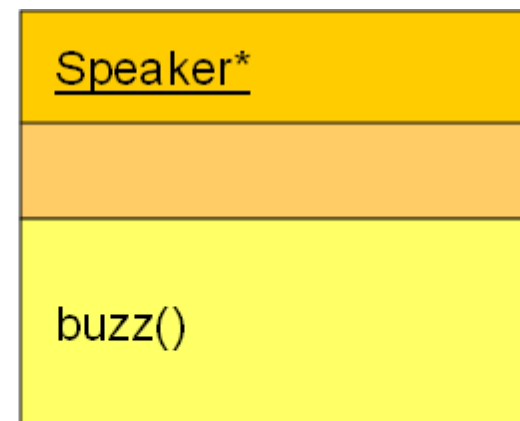
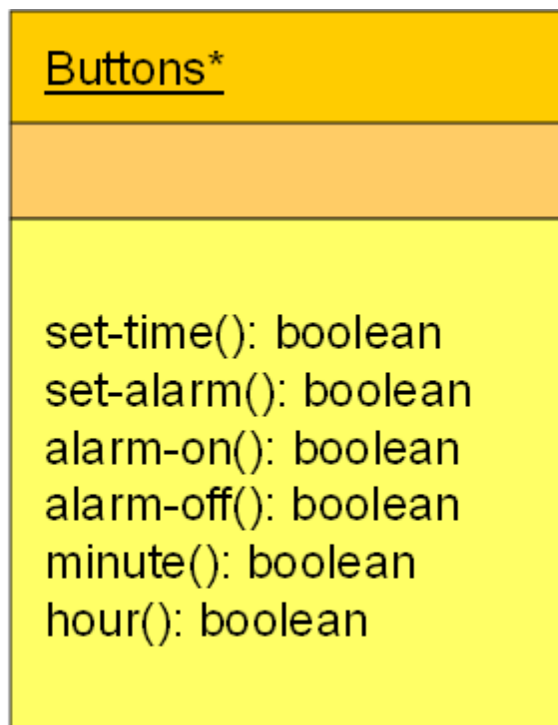
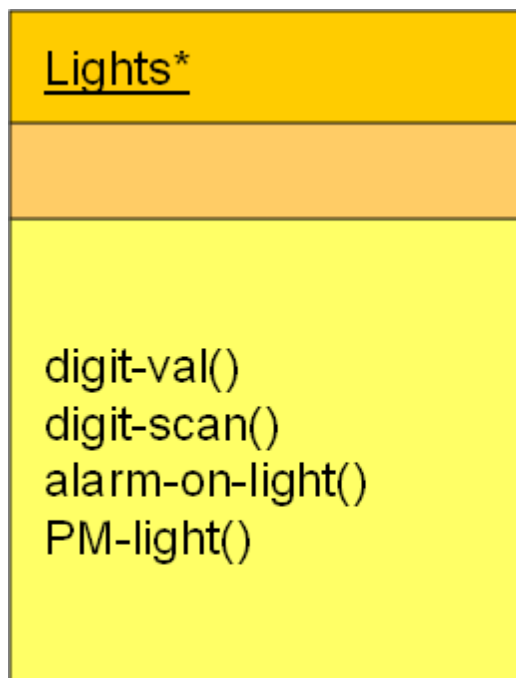
name	alarm clock
purpose	24-hour digital clock with one alarm
inputs	set time, set alarm, hour, minute, alarm on/off
outputs	four-digit display, PM indicator, alarm ready, buzzer
functions	keep time, set time, set alarm, turn alarm on/off, activate buzzer by alarm
performance	hours and digits, no seconds; not high precision
manufacturing	consumer product
cost	
power	AC
physical	fits on stand
size/weight	



Alarm clock class diagram



Alarm clock physical classes



Display class

Display

time[4]: integer
alarm-indicator: boolean
PM-indicator: boolean

set-time()
alarm-light-on()
alarm-light-off()
PM-light-on()
PM-light-off()



Mechanism class

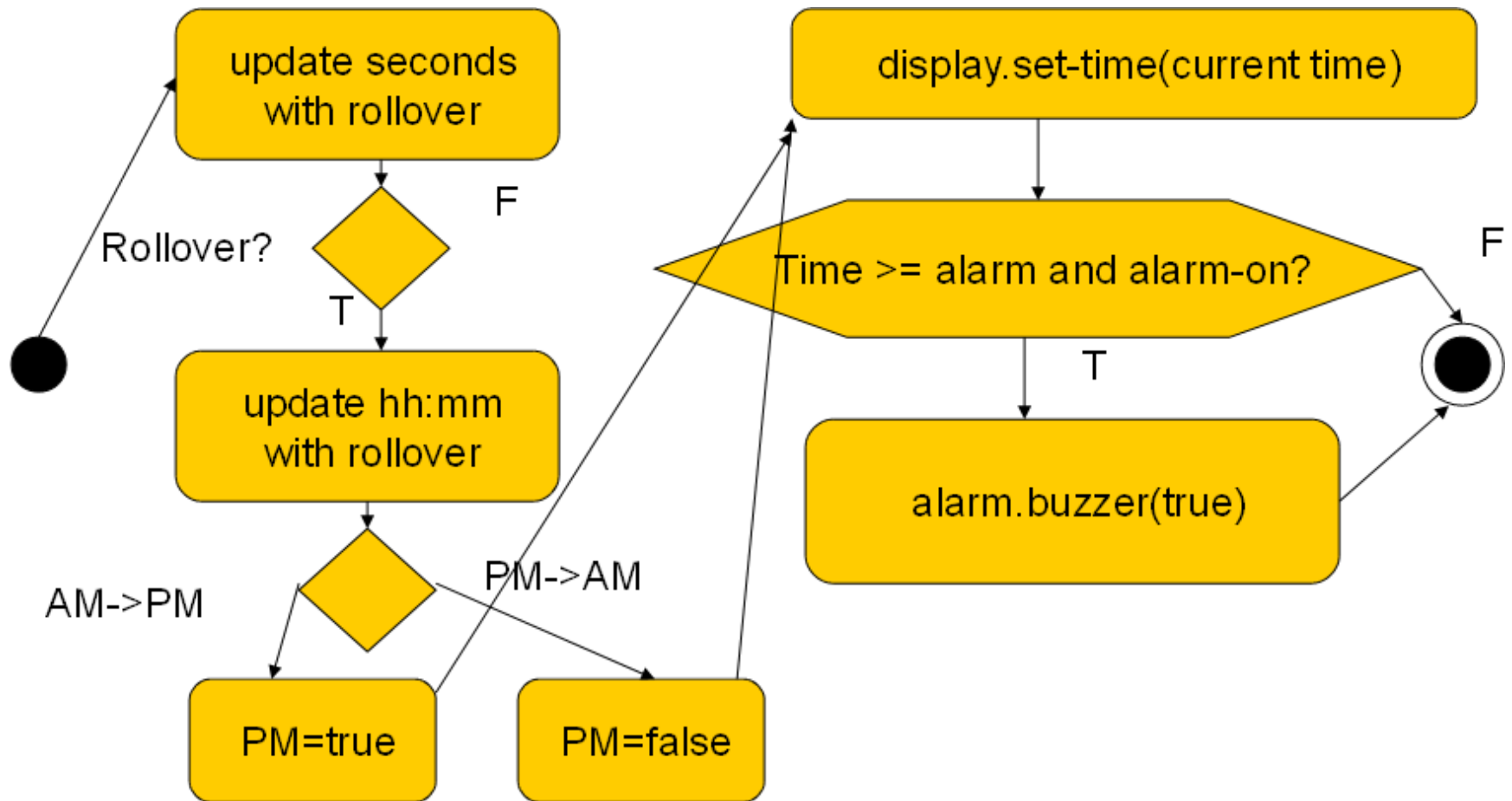
Mechanism

Seconds: integer
PM: boolean
tens-hours, ones-hours: boolean
tens-minutes, ones-minutes: boolean
alarm-ready: boolean
alarm-tens-hours, alarm-ones-hours:
boolean
alarm-tens-minutes, alarm-ones-minutes:
boolean

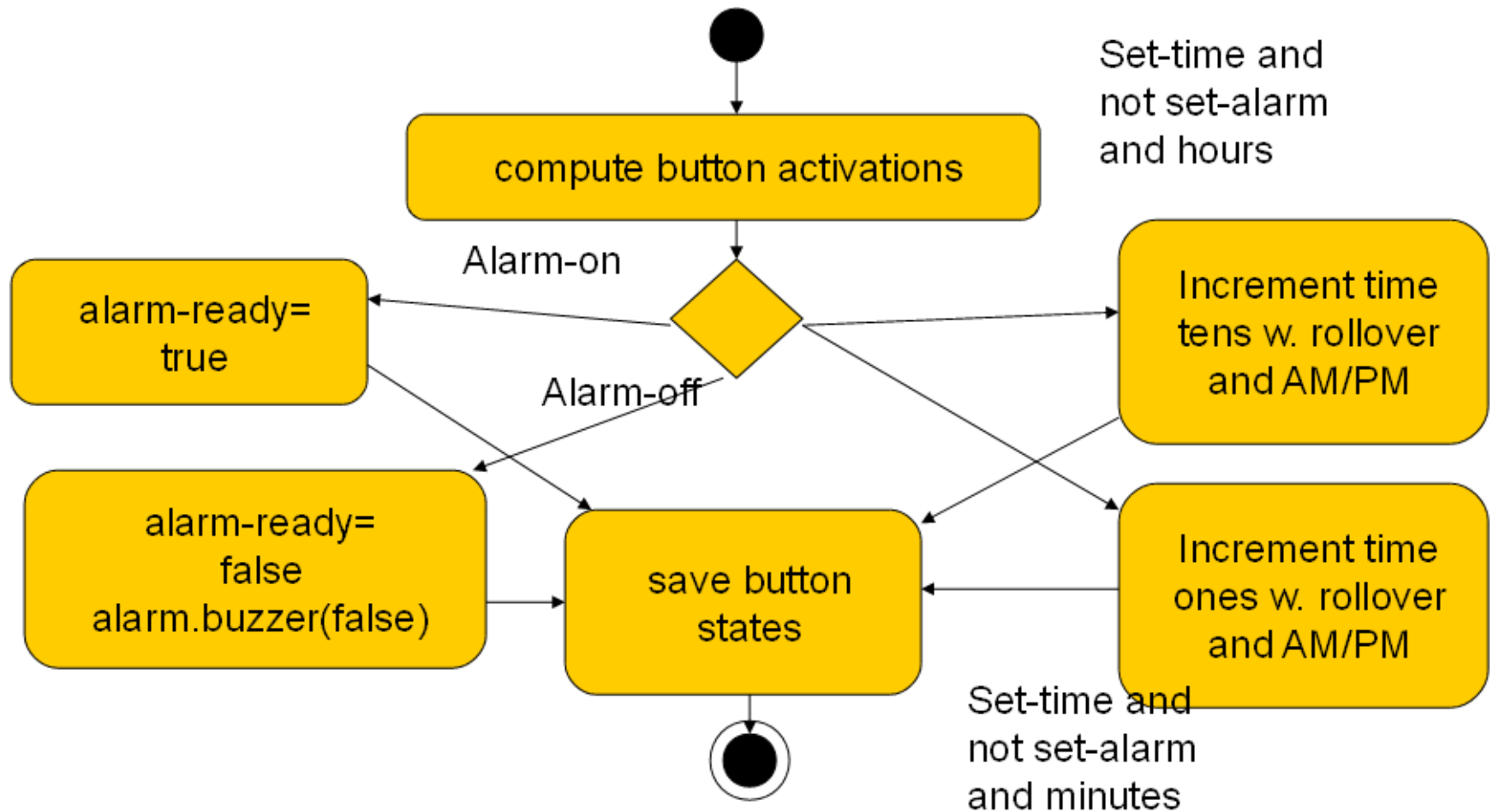
scan-keyboard()
update-time()



Update-time behavior



Scan-keyboard behavior



System architecture

- Includes:
 - periodic behavior (clock);
 - aperiodic behavior (buttons, buzzer activation).
- Two major software components:
 - interrupt-driven routine updates time;
 - foreground program deals with buttons, commands.



Interrupt-driven routine

- Timer probably can't handle one-minute interrupt interval.
- Use software variable to convert interrupt frequency to seconds.



Foreground program

Operates as while loop:

```
while (TRUE) {  
    read_buttons(button_values);  
    process_command(button_values);  
    check_alarm();  
}
```



Testing

- Component testing:
 - test interrupt code on the platform;
 - can test foreground program using a mock-up.
- System testing:
 - relatively few components to integrate;
 - check clock accuracy;
 - check recognition of buttons, buzzer, etc.



Βιβλιογραφία

Χρησιμοποιήθηκε υλικό από παρουσιάσεις των:

- Wayne Wolf, *Overheads for Computers as Components 2nd ed.*, 2008 [4.2 – 4.9]



Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

