

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών

Κεφάλαιο 4

Ασκήσεις

Άσκηση 1

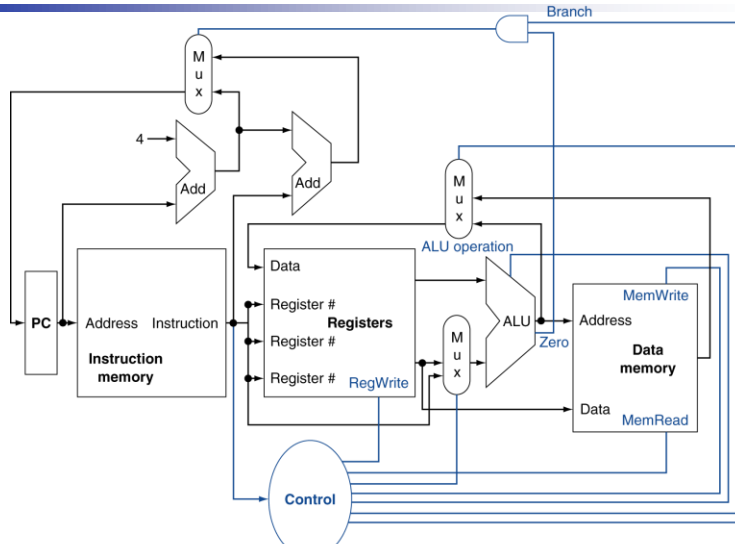
- a. `add Rd, Rs, Rt`
- b. `lw Rt, Offset(Rs)`

1. Ποιες είναι οι τιμές των σημάτων ελέγχου για την εντολή;
2. Ποια μπλοκ του επεξεργαστή εκτελούν χρήσιμη λειτουργία και ποια όχι;
3. Ποια είναι η κρίσιμη διαδρομή της εντολής;

I-mem	Adder	Mux	ALU	Reg	D-mem	Control
400ps	100ps	30ps	120ps	200ps	350ps	100ps

Άσκηση 1

- a. add Rd, Rs, Rt
- b. lw Rt, Offset(Rs)



I-mem	Adder	Mux	ALU	Reg	D-mem	Control
400ps	100ps	30ps	120ps	200ps	350ps	100ps

Άσκηση 1: λύση

Επ. 1

	RegWrite	MemRead	ALUMux	MemWrite	AluOp	RegMux	Branch
a	1	0	0	0	ADD	1	0
b	1	1	1	0	ADD	0	0

Επ. 2

	PC	I-Mem	RegFile	ALU	Add4	Addbr	D-Mem
a	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι	Όχι
b	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Ναι	Όχι	Ναι

Επ. 3

- a. I-Mem+Reg+Mux+ALU+Mux+Reg = 400ps + 200ps + 30ps + 120ps + 30ps + 200ps = 980ps
- b. I-Mem+Reg+Mux+ALU+D-Mem+Mux+Reg = 400ps + 200ps + 120ps + 350ps + 30ps + 200ps = 1300ps

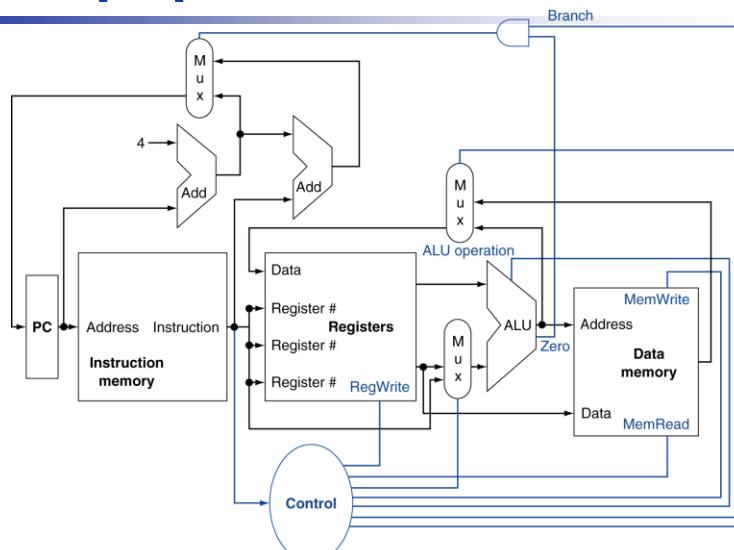
Άσκηση 2

- Βελτίωση επεξεργαστή – Συμβιβασμός κόστους/απόδοσης
- α. Αντικατάσταση αθροιστών με ταχύτερα κυκλώματα: -20ps καθυστέρηση, +20 μον. κόστους για τους αθροιστές
 - β. Μεγαλύτερο αρχείο καταχωρητών: +100ps καθυστέρηση, +120 μον. κόστους για τους καταχωρητές, 5% λιγότερες εντολές load/store
1. Ποιος είναι ο χρόνος κύκλου του ρολογιού πριν και μετά τη βελτίωση;
 2. Ποια είναι η επιτάχυνση που επιτυγχάνεται με τη βελτίωση;
 3. Συγκρίνετε το λόγο κόστους/απόδοση πριν και μετά τη βελτίωση;

	I-mem	Adder	Mux	ALU	Reg	D-mem	Control
Χρόνος	400ps	100ps	30ps	120ps	200ps	350ps	100ps
Κόστος	1000	30	10	100	200	2000	500

Ο επεξεργαστής — 5

Άσκηση 2



I-mem	Adder	Mux	ALU	Reg	D-mem	Control
400ps	100ps	30ps	120ps	200ps	350ps	100ps

6

Άσκηση 2: λύση

- Ερ. 1
- Πριν τη βελτίωση:
 - Κρίσιμο μονοπάτι (εντολή LW): I-Mem, Regs, ALU, Data Memory, Mux (write to Regs), Regs
 - Χρόνος κύκλου ρολογιού = $400\text{ps} + 200\text{ps} + 120\text{ps} + 350\text{ps} + 30\text{ps} + 200\text{ps} = 1300\text{ps}$
- Μετά τη βελτίωση:
 - α. Ο χρόνος κύκλου του ρολογιού δεν αλλάζει γιατί οι αθροιστές είναι εκτός του κρίσιμου μονοπατιού
 - (Σημείωση: εάν θεωρήσουμε ότι η βελτίωση των αθροιστών επηρεάζει και το χρόνο εκτέλεσης της ALU τότε το κρίσιμο μονοπάτι μειώνεται κατά 20 ps)
 - β. Το κρίσιμο μονοπάτι αυξάνεται κατά 200 ps λόγω της βελτίωσης στο αρχείο καταχωρητών
 - Χρόνος κύκλου ρολογιού = $1300\text{ps} + 200\text{ps} = 1500\text{ps}$
- Ερ. 2
 - α. Υπολογίζουμε την επιτάχυνση με βάση το χρόνο κύκλου ρολογιού
 $\text{Speedup} = 1300/1500 = 0.87$
 - β. Έστω ότι ο αριθμός των εντολών πριν τη βελτίωση ήταν K, τότε ο αριθμός των εντολών μετά τη βελτίωση θα είναι $0.95 * K$.
Επομένως, υπολογίζουμε την επιτάχυνση με βάση το χρόνο εκτέλεσης του προγράμματος
 $\text{Speedup} = (K * 1300) / (0.95 * K * 1500) = 0.9$. Επομένως, δεν υπάρχει επιτάχυνση

Ο επεξεργαστής — 7

Άσκηση 2: λύση, συν.

- Ερ. 3
- Πριν τη βελτίωση:
 - Συνολικό κόστος: I-Mem, Regs, Control, ALU, D-Mem, 2 Adders, 3 Mux
 - Κόστος = $1000 + 200 + 500 + 100 + 2000 + 2 * 30 + 3 * 10 = 3890$
- Μετά τη βελτίωση:
 - α. Το κόστος αυξάνεται κατά $2 * 20$ λόγω των αθροιστών
 - Κόστος = $3890 + 2 * 20 = 3930$
 - Σχετικό κόστος = $3930/3890 = 1.01$
 - Σχετικό κόστος/επιτάχυνση = $1.01/0.9 = 1.12$

 - β. Το κόστος αυξάνεται κατά 120 λόγω του αρχείου καταχωρητών
 - Κόστος = $3890 + 120 = 4010$ Σχετικό κόστος = 1.03
 - Σχετικό κόστος/επιτάχυνση = $1.03/0.9 = 1.14$
 - Πληρώνουμε περισσότερα και έχουμε και χειρότερη απόδοση!

Ο επεξεργαστής — 8

Άσκηση 3

Έστω ότι η ανάλυση των εντολών που εκτελούνται σε ένα πρόγραμμα:

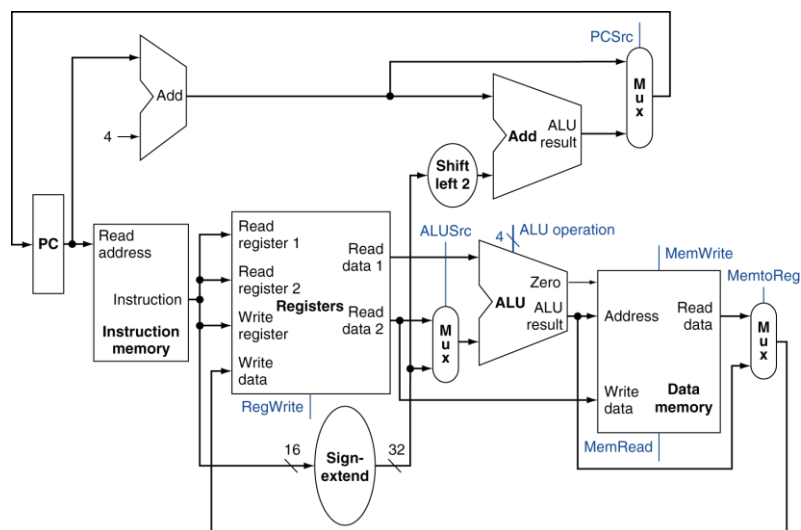
add	addi	and	beq	lw	sw
30%	15%	5%	15%	20%	15%

1. Σε ποιο κλάσμα όλων των κύκλων χρησιμοποιείται η μνήμη δεδομένων;
2. Σε ποιο κλάσμα όλων των κύκλων εκτελεί χρήσιμη λειτουργία το κύκλωμα επέκτασης προσήμου;
3. Αν μπορούσαμε να βελτιώσουμε το χρόνο εκτέλεσης ενός από τα μπλοκ της διαδρομής δεδομένων κατά 10%, ποιο μπλοκ θα επιλέγαμε;

I-mem	Adder	Mux	ALU	Reg	D-mem	Sign extend	Shift left 2
400ps	100ps	30ps	120ps	200ps	350ps	20ps	0

Ο επεξεργαστής — 9

Άσκηση 3



Ο επεξεργαστής — 10

Άσκηση 3: λύση

- Ερ. 1:
 - Η μνήμη δεδομένων χρησιμοποιείται στις εντολές lw και sw. Άρα, στο 35% των κύκλων.
- Ερ. 2:
 - Το κύκλωμα επέκτασης προσήμου παράγει κάποιο αποτέλεσμα σε όλες τις εντολές, αλλά ουσιαστικά το αποτέλεσμά του χρησιμοποιείται στις εντολές: addi (για το immediate operand), beq (για τη διεύθυνση μετατόπισης της διακλάδωσης), lw και sw (για τη διεύθυνση μετατόπισης στην προσπέλαση της μνήμης). Άρα, στο 65% των κύκλων
- Ερ. 3:
 - Έχουμε 2 επιλογές: (α) να βελτιώσουμε το μπλοκ με το μεγαλύτερο χρόνο εκτέλεσης, δηλαδή l-mem ή (β) να βελτιώσουμε το αρχείο καταχωρητών που συμμετέχει δύο φορές στο κρίσιμο μονοπάτι.
 - Και στις 2 περιπτώσεις η βελτίωση του κρίσιμου μονοπατιού είναι 40ps.

Ο επεξεργαστής — 11

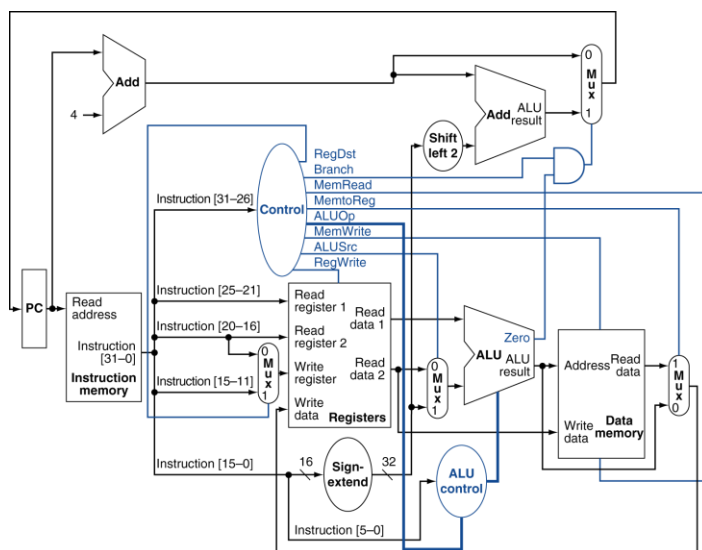
Άσκηση 4

- a. `lw $1, 40($6)`
- b. `label: bne $1, $2, Label`

1. Ποιες είναι οι τιμές των σημάτων Read register 1 και Read Register 2;
2. Ποια είναι η τιμή του σήματος Write register;
3. Ποια είναι η τιμή των σημάτων RegDst, MemRead & RegWrite;

Ο επεξεργαστής — 12

Άσκηση 4



Ο επεξεργαστής — 13

Άσκηση 4: λύση

- Ερ. 1
 - α. Read register 1 = 6, Read Register 2 = 1;
 - β. Read register 1 = 1, Read Register 2 = 2;
- Ερ. 2
 - α. Write register = 1
 - β. Ανάλογα με την τιμή του σήματος επιλογής του πολυπλέκτη RegDst. Δεν έχει σημασία γιατί η beq δεν γράφει σε καταχωρητή.
- Ερ. 3
 - α. RegDst = 0, MemRead = 1, RegWrite = 1
 - β. RegDst = X, MemRead = 0, RegWrite = 0

Ο επεξεργαστής — 14

Άσκηση 5

- Επεξεργαστής με διοχέτευση:

	IF	ID	EX	MEM	WB
a	300ps	400ps	350ps	500ps	100ps
b	200ps	150ps	120ps	190ps	140ps

1. Ποιος είναι ο χρόνος κύκλου ρολογιού του επεξεργαστή με διοχέτευση και χωρίς διοχέτευση;
2. Ποιος είναι ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης μιας εντολής lw στον επεξεργαστή με διοχέτευση και χωρίς διοχέτευση;
3. Εάν μπορούσατε να μειώσετε στο μισό την καθυστέρηση ενός σταδίου της διοχέτευσης, ποιο στάδιο θα επιλέγατε και ποιος είναι ο νέος χρόνος κύκλου ρολογιού

Ο επεξεργαστής — 15

Άσκηση 5, συν.

- Επεξεργαστής με διοχέτευση:

	IF	ID	EX	MEM	WB
a	300ps	400ps	350ps	500ps	100ps
b	200ps	150ps	120ps	190ps	140ps

4. Συγκρίνετε την απόδοση του επεξεργαστή με ή χωρίς διοχέτευση με την απόδοση ενός επεξεργαστή πολλών κύκλων (όπου κάθε εντολή εκτελεί μόνο τα στάδια που χρειάζεται). Υπολογίστε τον χρόνο κύκλου ρολογιού και τον χρόνο εκτέλεσης προγράμματος
 - Θεωρήστε ότι τα προγράμματα εκτελούν το παρακάτω μίγμα εντολών

ALU	beq	lw	sw
50%	25%	15%	10%

Ο επεξεργαστής — 16

Άσκηση 5: λύση

- Ερ. 1:
- Χωρίς διοχέτευση:
 - α. χρόνος κύκλου ρολογιού = $300ps + 400ps + 350ps + 500ps + 100ps = 1650ps$
 - β. χρόνος κύκλου ρολογιού = $200ps + 150ps + 120ps + 190ps + 140ps = 800ps$
- Με διοχέτευση:
 - α. χρόνος κύκλου ρολογιού = $500ps$ (ο χρόνος του σταδίου MEM)
 - β. χρόνος κύκλου ρολογιού = $200ps$ (ο χρόνος του σταδίου IF)
- Ερ. 2:
- Χωρίς διοχέτευση (η lw περιλαμβάνει την εκτέλεση όλων των σταδίων):
 - α. συνολικός χρόνος εκτέλεσης = $1650ps$
 - β. συνολικός χρόνος εκτέλεσης = $800ps$
- Με διοχέτευση (χρόνος εκτέλεσης των 5 σταδίων):
 - α. συνολικός χρόνος εκτέλεσης = $5 \cdot 500 = 2500ps$
 - β. συνολικός χρόνος εκτέλεσης = $5 \cdot 200 = 1000ps$
- Ερ. 3:
- Θα επιλέγαμε το στάδιο με το μεγαλύτερο χρόνο εκτέλεσης
- α. Στάδιο MEM. Χρόνος κύκλου ρολογιού = 400 (στάδιο ID)
- β. Στάδιο IF. Χρόνος κύκλου ρολογιού = 190 (στάδιο MEM)

Ο επεξεργαστής — 17

Άσκηση 5: λύση, συν.

- Ερ. 4:
- Χωρίς διοχέτευση:
 - α. χρόνος κύκλου ρολογιού = $1650ps$
 - χρόνος εκτέλεσης προγράμματος = $1650 \cdot K$ (όπου K ο αριθμός των εντολών)
 - β. χρόνος κύκλου ρολογιού = $800ps$
 - χρόνος εκτέλεσης προγράμματος = $800 \cdot K$
- Με διοχέτευση: σε κάθε κύκλο ρολογιού εκτελείται μία εντολή
 - α. χρόνος κύκλου ρολογιού = $500ps$
 - χρόνος εκτέλεσης προγράμματος = $500 \cdot K$ (συν $4 \cdot 500$ για να γεμίσει το pipeline, αμελητέος χρόνος)
 - β. χρόνος κύκλου ρολογιού = $200ps$
 - χρόνος εκτέλεσης προγράμματος = $200 \cdot K$ (συν $4 \cdot 200$ για να γεμίσει το pipeline, αμελητέος χρόνος)
- Πολλών κύκλων: έχει τον ίδιο κύκλο ρολογιού με τον επεξεργαστή με διοχέτευση. Οι εντολές lw εκτελούνται σε 5 κύκλους, οι sw σε 4 cycles (χωρίς WB), οι ALU σε 4 cycles (χωρίς MEM) και οι beq σε 3 cycles (χωρίς MEM και WB).
 - α. χρόνος κύκλου ρολογιού = $500ps$
 - χρόνος εκτέλεσης προγράμματος = $(15\% \cdot 2500 + 10\% \cdot 2000 + 50\% \cdot 2000 + 25\% \cdot 1500) \cdot K = 1950 \cdot K$
 - β. χρόνος κύκλου ρολογιού = $200ps$
 - χρόνος εκτέλεσης προγράμματος = $(15\% \cdot 1000 + 10\% \cdot 800 + 50\% \cdot 800 + 25\% \cdot 600) \cdot K = 780 \cdot K$

Ο επεξεργαστής — 18