

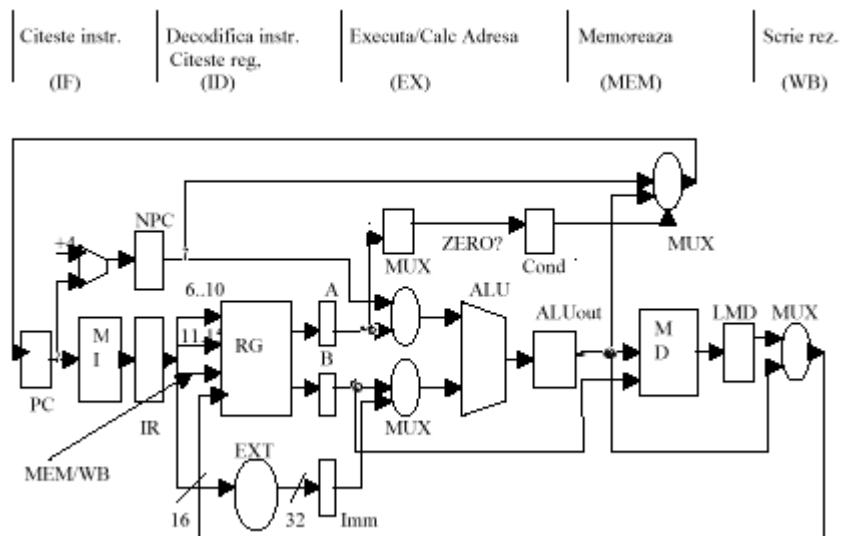
CURS 6. Proiectarea unui procesor care efectueaza o instructiune in mai multe cicluri de ceas

Se considera procesorul DLX/MIPS in varianta cu Memorie pentru Instructiuni (**MI**) si Memorie pentru Date (**MD**). Instructiunile se efectueaza in mai multe cicluri de ceas.

O analiza a a derularii in timp a instructiunilor va evidentia 5 faze posibile:

- Citeste instructiunea (Instruction Fetch – **IF**)
- Decodifica instructiunea/Citeste registrele generale (Instruction Decode – **ID**)
- Executa instructiunea/Calculeaza adresa (Instruction Execute – **EXE**)
- Memoreaza rezultatul in Memoria de date (Store Memory – **MEM**)
- Scrie rezultatul in registrul general (Write back - **WB**)

In scopul derularii instructiunilor in mai multe perioade de ceas, au fost introduse o serie de registre temporare, care nu fac parte din arhitectura si care nu sunt vizibile pentru programator.



Registrele temporare introduse sunt urmatoarele:

- **NPC** (Next Program Counter) pentru stocarea valorii urmatoare a Contorului Programului
- **A, B** si **Imm** – registre pentru stocarea operanzilor cititi din Registrele Generale si a operandului imediat dupa ce a fost prelucrat in circuitul de extindere **EXT**
- **ALUout** – registru pentru stocarea rezultatului obtinut in Unitatea Aritmetica Logica

- **Cond** – registru de un bit pentru stocarea rezultatului comparării cu 0 a conținutului lui A
- **LMD** – registru în care se stochează date citite din Memoria de Date

După cum se va vedea în derularea unora dintre instrucțiuni fazele MEM sau WB pot lipsi.

Etapele/Fazele derulării instrucțiunilor:

1. Citire Instrucțiune. (IF)

$$IR \leftarrow MI[PC]; \quad NPC \leftarrow PC + 4$$

2. Decodificare Instrucțiune/ Citire Registre Generale (ID)

$$A \leftarrow RG[IR_{6..10}]; \quad B \leftarrow RG[IR_{10..15}]; \quad Imm \leftarrow ((IR_{16})^{16} \# \# IR_{16..31})$$

3. Executie/Calcul Adresa Efectiva. (EX)

În funcție de codul operației UAL execută una dintre următoarele 4 operații:

3.1. Calcul Adresa Efectiva:

$$UALies \leftarrow A + Imm$$

3.2. Executie Instrucțiune R-R:

$$UALies \leftarrow A \text{ op } B$$

3.3. Executie Instrucțiune R-I:

$$UALies \leftarrow A \text{ op } Imm$$

3.4. Ramificare:

$$UALies \leftarrow NPC + Imm; \quad Cond \leftarrow (A \text{ op } 0)$$

“op” constituie un operator relational, de exemplu “=”, pentru instrucțiunea BEQZ. Arhitectura “citește/memorează”, pentru DLX permite combinarea operațiilor de execuție a instrucțiunii și de calcul al adresei efective într-un singur ciclu de ceas.

4. Accesul la Memoria de Date/Terminarea Ciclului de Ramificare (MEM)

În acest ciclu sunt active Încărcările, Stocările și Ramificările.

4.1. Încărcări/Stocări – Accese la memorie

$$LMD \leftarrow MD[UALies] \text{ sau } MD[UALies] \leftarrow B$$

4.2. Ramificare

$$\text{if}(cond) \text{ PC} \leftarrow UALies \text{ else } \text{PC} \leftarrow NPC$$

5. Scrie rezultatul (WB).

5.1. Instructiuni UAL: R-R

$RG[IR_{16..20}] \leftarrow UALies$

5.2. Instructiuni UAL: R-I

$RG[IR_{11..15}] \leftarrow UALies$

5.3. Instructiune Incarca:

$RG[IR_{11..15}] \leftarrow LMD$

Valoarea calculata in cadrul fiecarui ciclu este stocata la sfarsitul acestuia intr-un dispozitiv de memorare (memorie, registru general, PC, registre temporare: LMD, Imm, A, B, IR, NPC, ALUout, Cond) pentru a fi utilizata in ciclul urmator al instructiunii curente sau in cadrul instructiunii urmatoare. Registrele temporare pastreaza valorile intre ciclurile de ceas ale unei instructiuni, in timp ce alte elemente de memorare, care sunt parti vizibile ale starii masinii, pastreaza valorile intre instructiunile succesive.

Se poate observa ca PC este actualizat in cadrul ciclului MEM, in timp ce Registrul General destinatie este actualizat pe durata ciclului WB.

In aceasta implementare instructiunea de ramificare necesita 4 cicluri, iar celelalte instructiuni se executa in 5 cicluri. Daca procentul de aparitii ale instructiunii de ramificare este 12% se va obtine $CPI = 4,88$.

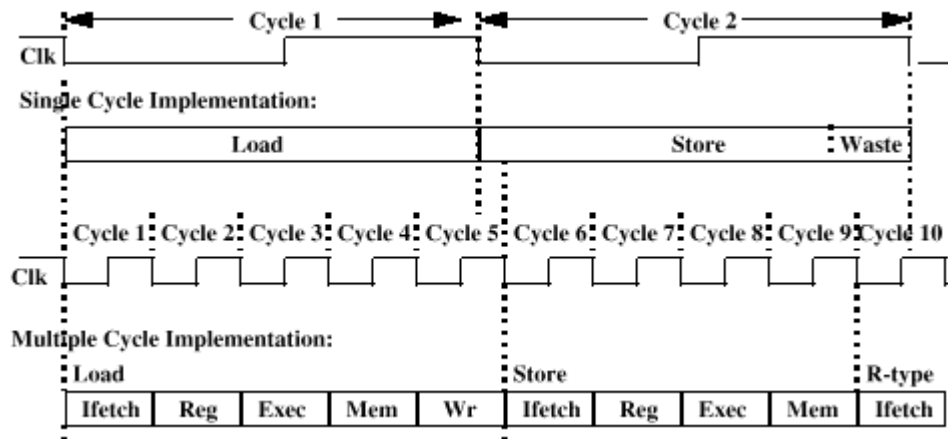
Aceasta implementare nu este optima nici sub aspectul performantei, nici sub aspectul cantitatii de hardware folosit.

CPI poate fi redus si mai mult prin terminarea instructiunilor UAL in ciclul MEM, intrucat ele sunt inactive in acest ciclu. Instructiunile UAL au o pondere de 44%, ceea ce va asigura un $CPI = 4,44$

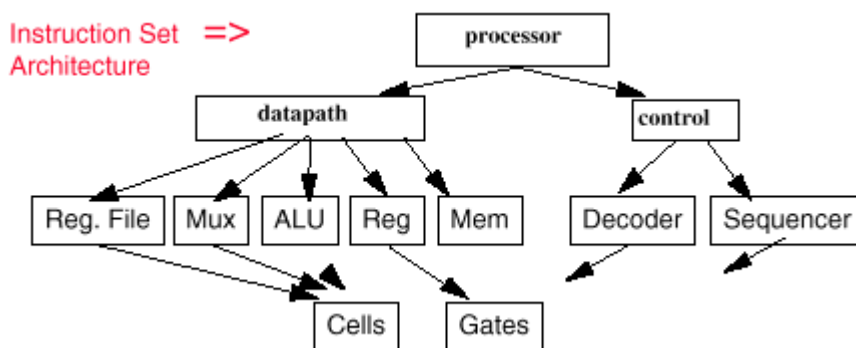
In continuare, incercarile de reducere a CPI vor conduce la aparitia mai multor activitati in cadrul fiecarui ciclu, ceea ce va impune cresterea perioadei ceasului. Se poate realiza un compromis intre CPI si perioada ceasului..

Se pot efectua, de asemenea, si unele reduceri de hardware:

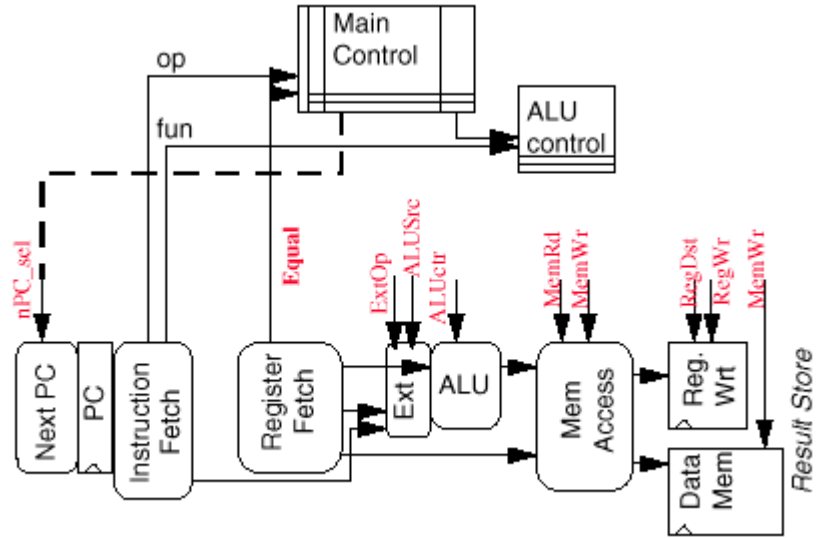
- cele doua UAL-uri se pot reduce la una singura, intrucat nu sunt active in acelasi ciclu;
- se poate utiliza o singura memorie pentru instructiuni si pentru date.



- **Proiectarea unui procesor se poate realiza in mai multe moduri:**
- **Bottom-up:**
 - se asambleaza componentele in cadrul unei tehnologii date, pentru a stabili sincronizarea/temporizarea critica
- **Top-down**
 - se specifica comportamentul componentelor pe baza cerintelor furnizate la nivel ridicat
- **Rafinare iterativa:**
 - se elaboreaza o solutie partiala, care se extinde si se imbunatateste

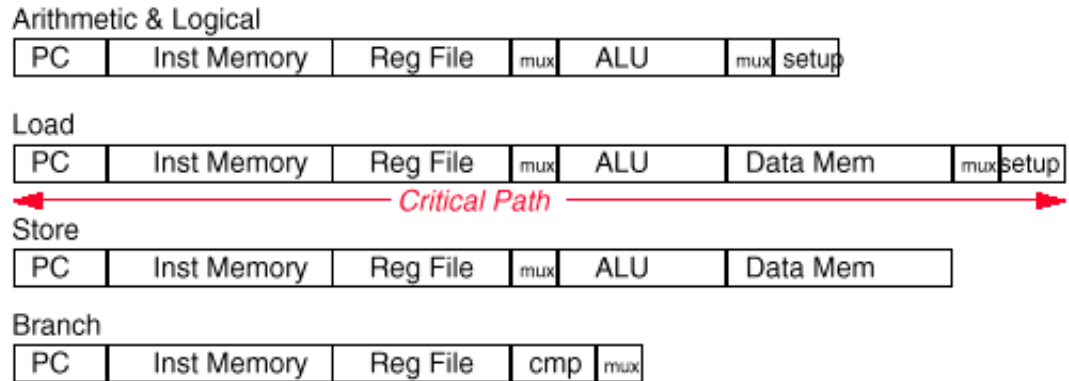


Reprezentarea abstracta a procesorului care opereaza intr-un singur ciclu de ceas



Se prezinta ca un automat secvential cu un numar finit de stari, starea fiind furnizata de catre PC

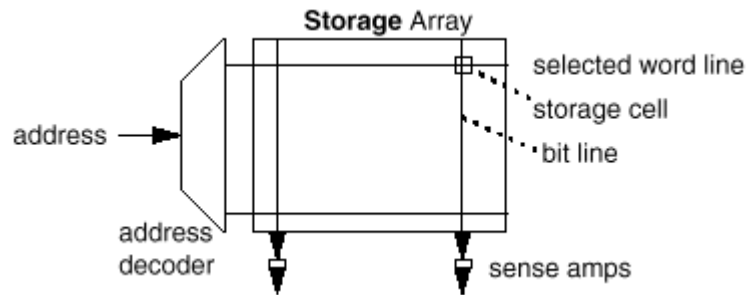
Duratele derularii diferitelor instructiuni in implementarea procesorului, care opereaza intr-un singur ciclu de ceas:



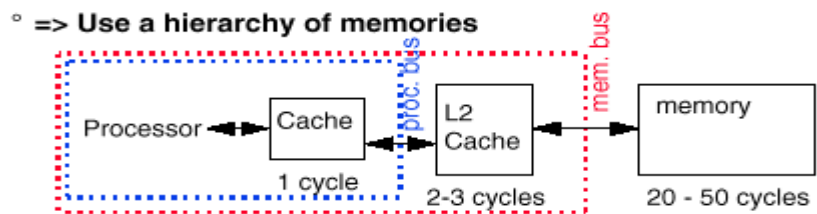
- Ciclul instructiunii este mare.
- Toate instructiunile se vor derula in același interval de timp ca și cea mai lentă.
- Memoria reală prezintă mai multe probleme decât memoria ideală.

Timpul de Acces la Memorie.

- Tehnologia și capacitatea determină timpul de acces: memoriile de capacitate mică au timp mic de acces, memoriile de capacitate mare au timp mare de acces

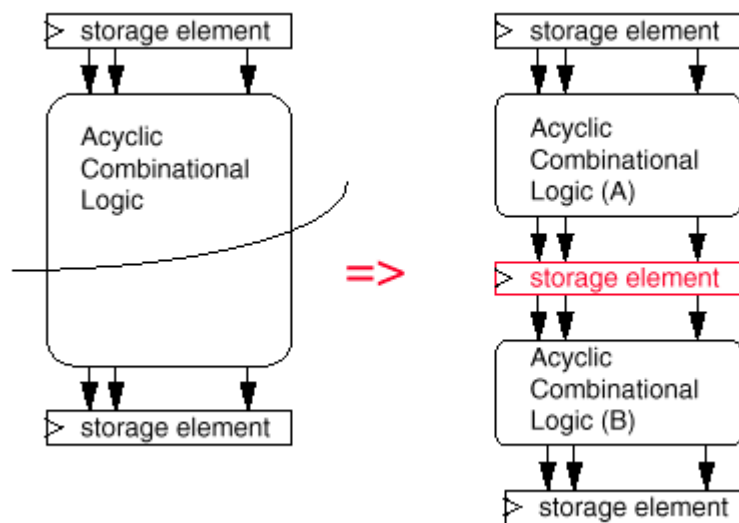


Comparatie intre fisierele/tablourile de registre generale si memorii



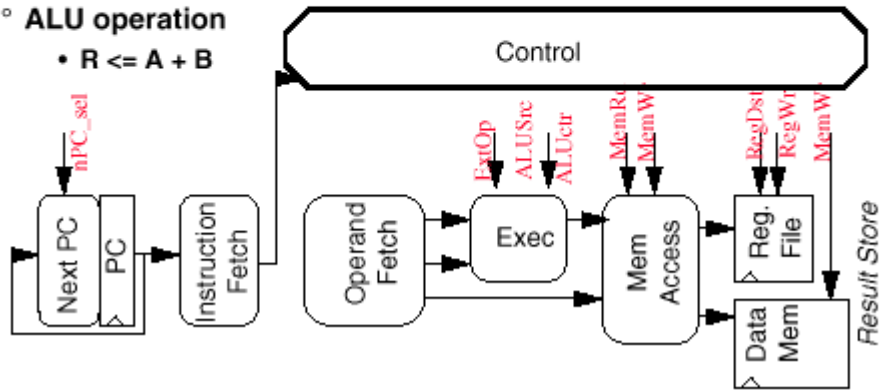
Reducerea duratei ciclului:

- se sectioneaza graful de dependenta combinational si se insereaza registre/latch-uri
- se efectueaza activitatea dintr-un ciclu lung in doua cicluri mai scurte:



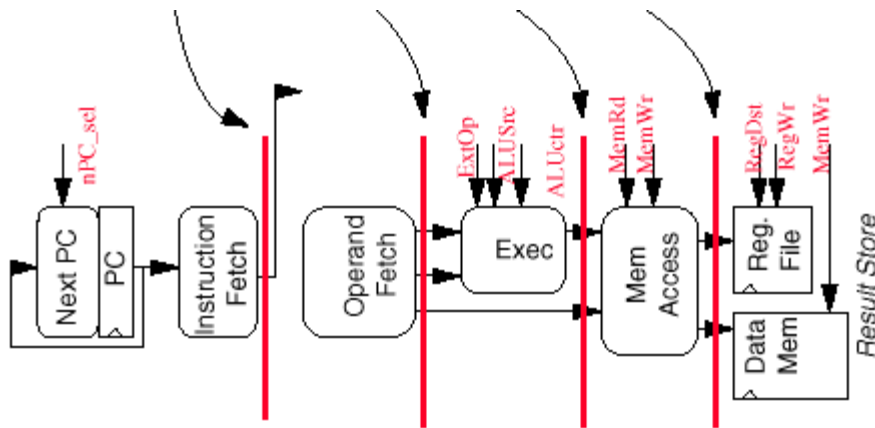
Limitarile principale ale procesorului care opereaza intr-un singur ciclu de ceas:

- Next address logic
 - $PC \leq \text{branch} ? PC + \text{offset} : PC + 4$
- Instruction Fetch
 - $\text{InstructionReg} \leq \text{Mem}[PC]$
- Register Access
 - $A \leq R[\text{rs}]$
- ALU operation
 - $R \leq A + B$

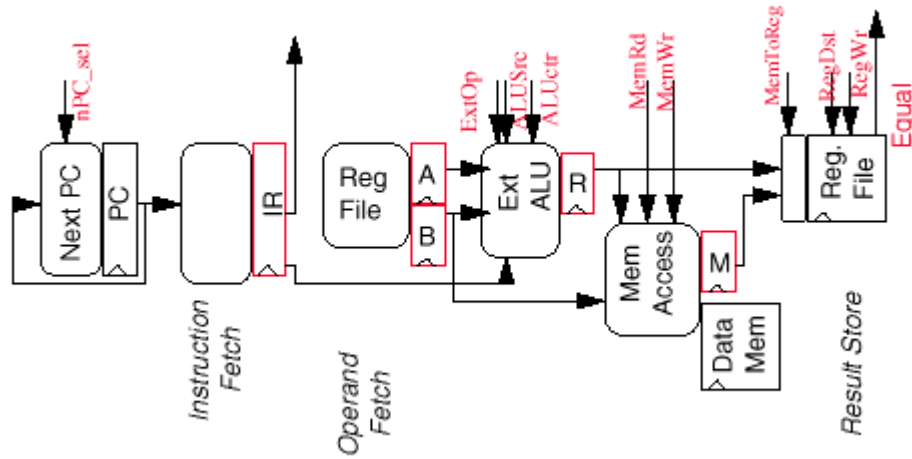


Sectionarea Unitatii de Executie avand CPI = 1

- Se introduc registre intre cei mai mici pasi



Exemplu de Unitate de executie care opereaza in mai multe cicluri de ceas



Care este “drumul critic”?

Proiectarea Procesorului Pas cu Pas (reluare):

1. ISA => Transferurile Logice între Registre (RTL)
2. Componentele Unitatii de Executie
3. RTL + Componente => Unitatea de Executie
4. RTL + Componente => Transferuri între Registre fizice (tratat in continuare)
5. Transferuri între Registre fizice => Comanda

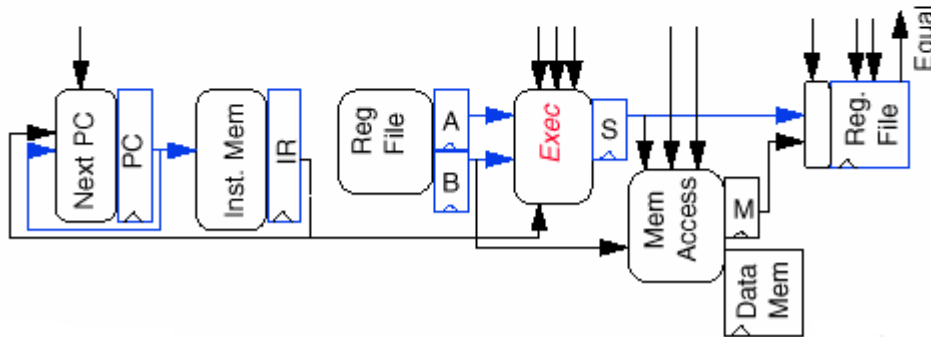
Pasul 4. Tipul R (add,sub,...)

◦ **Logical Register Transfer**

inst Logical Register Transfers
ADDU $R[rd] \leftarrow R[rs] + R[rt]; PC \leftarrow PC + 4$

◦ **Physical Register Transfers**

inst	<u>Physical Register Transfers</u>
	$IR \leftarrow MEM[pc]$
ADDU	$A \leftarrow R[rs]; B \leftarrow R[rt]$
	$S \leftarrow A + B$
	$R[rd] \leftarrow S; \quad PC \leftarrow PC + 4$



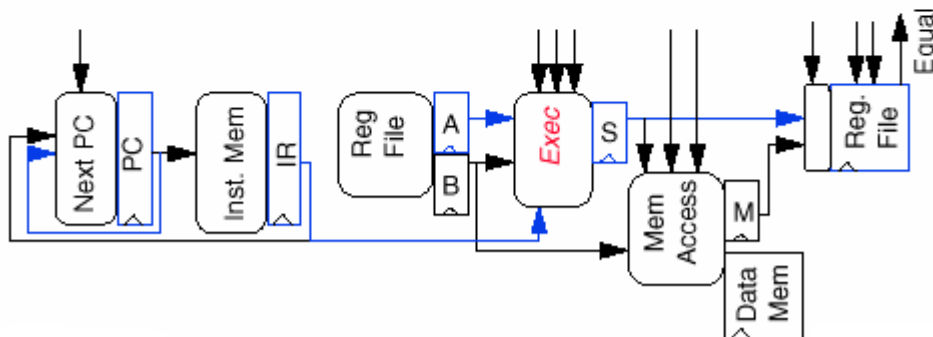
Pasul 4. Tipul I (andI, orI,...)

◦ **Logical Register Transfer**

inst Logical Register Transfers
ORI $R[rt] \leftarrow R[rs] \text{ OR } zx(1m16); PC \leftarrow PC + 4$

◦ **Physical Register Transfers**

inst	<u>Physical Register Transfers</u>
	$IR \leftarrow MEM[pc]$
ORI	$A \leftarrow R[rs]; B \leftarrow R[rt]$
	$S \leftarrow A \text{ or ZeroExt}(1m16)$
	$R[rt] \leftarrow S; \quad PC \leftarrow PC + 4$



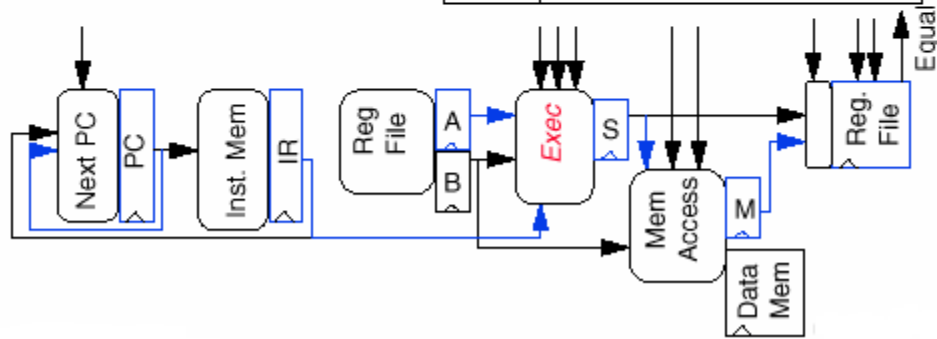
Pasul 4. Incarca (Load)

◦ **Logical Register Transfer**

inst Logical Register Transfers
 LW $R[rt] \leftarrow MEM(R[rs] + sx(1m16));$
 $PC \leftarrow PC + 4$

◦ **Physical Register Transfers**

<u>inst</u>	<u>Physical Register Transfers</u>
	$IR \leftarrow MEM[pc]$
LW	$A \leftarrow R[rs]; B \leftarrow R[rt]$
	$S \leftarrow A + SignEx(1m16)$
	$M \leftarrow MEM[S]$
	$R[rd] \leftarrow M; \quad PC \leftarrow PC + 4$



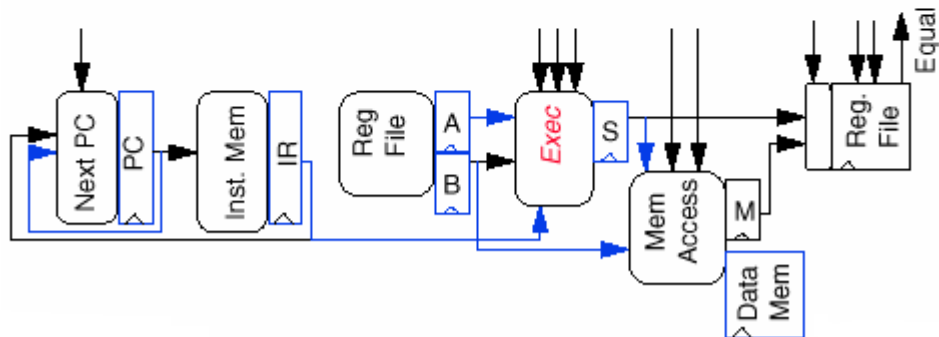
Pasul 4. Memoreaza(Store)

◦ **Logical Register Transfer**

inst Logical Register Transfers
 SW $MEM(R[rs] + sx(1m16)) \leftarrow R[rt];$
 $PC \leftarrow PC + 4$

◦ **Physical Register Transfers**

<u>inst</u>	<u>Physical Register Transfers</u>
	$IR \leftarrow MEM[pc]$
SW	$A \leftarrow R[rs]; B \leftarrow R[rt]$
	$S \leftarrow A + SignEx(1m16);$
	$MEM[S] \leftarrow B \quad PC \leftarrow PC + 4$



Pasul 4. Ramificare (Branch)

◦ Logical Register Transfer

```

inst   Logical Register Transfers
BEQ    if R[rs] == R[rt]
        then PC <- PC + sx(Im16) || 00
        else PC <- PC + 4
    
```

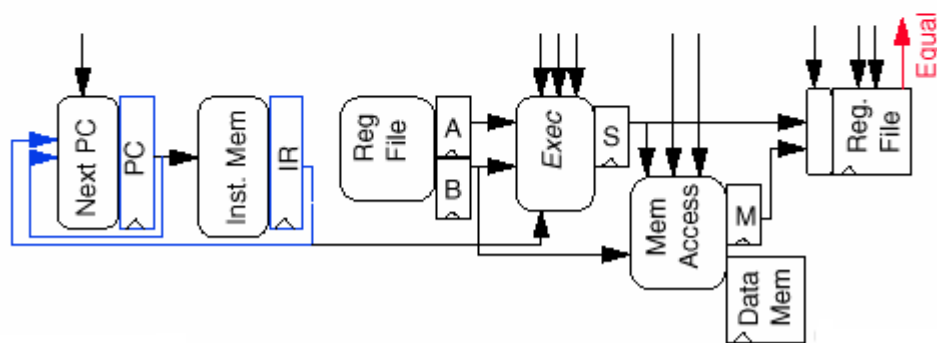
◦ Physical Register Transfers

```

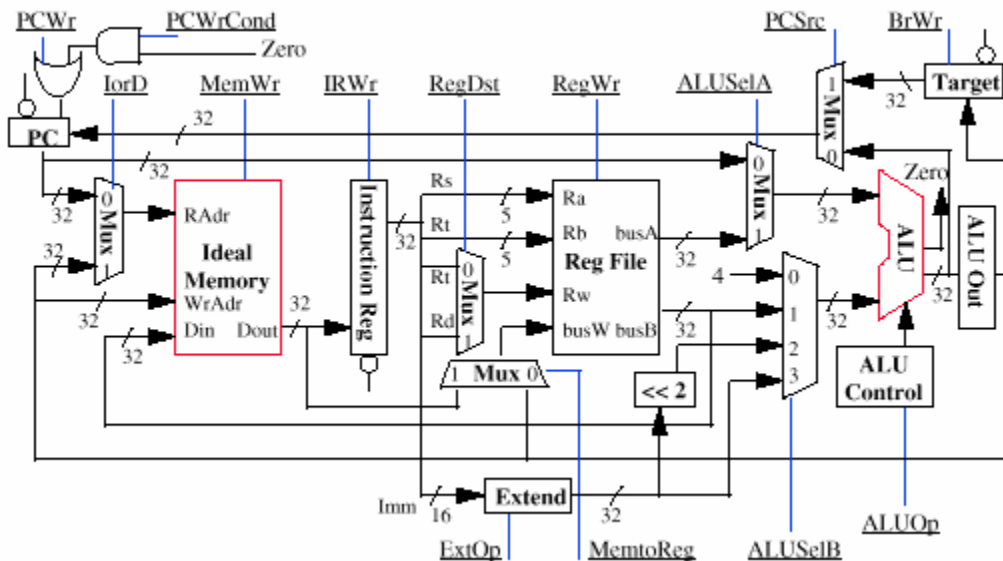
inst   Physical Register Transfers
        IR <- MEM[pc]
BEQIEq PC <- PC + 4
    
```

```

inst   Physical Register Transfers
        IR <- MEM[pc]
BEQIEq PC <- PC + sx(Im16) || 00
    
```



O reprezentare alternativa a Unitatii de Executie

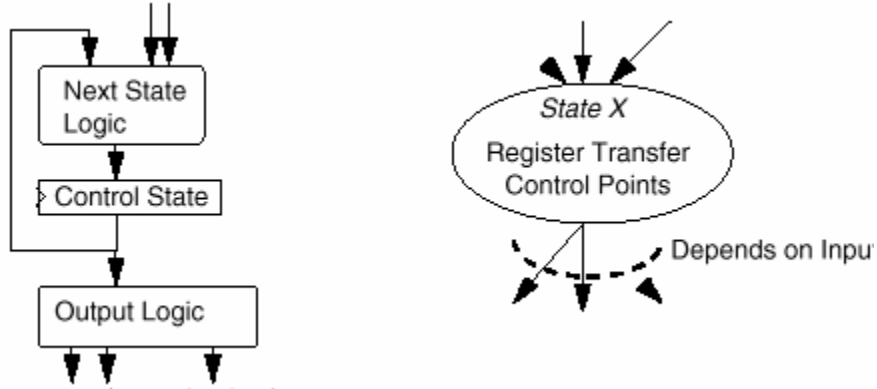


Se efectueaza urmatoarele reduceri de hardware:

- o singura memorie
- un singur sumator

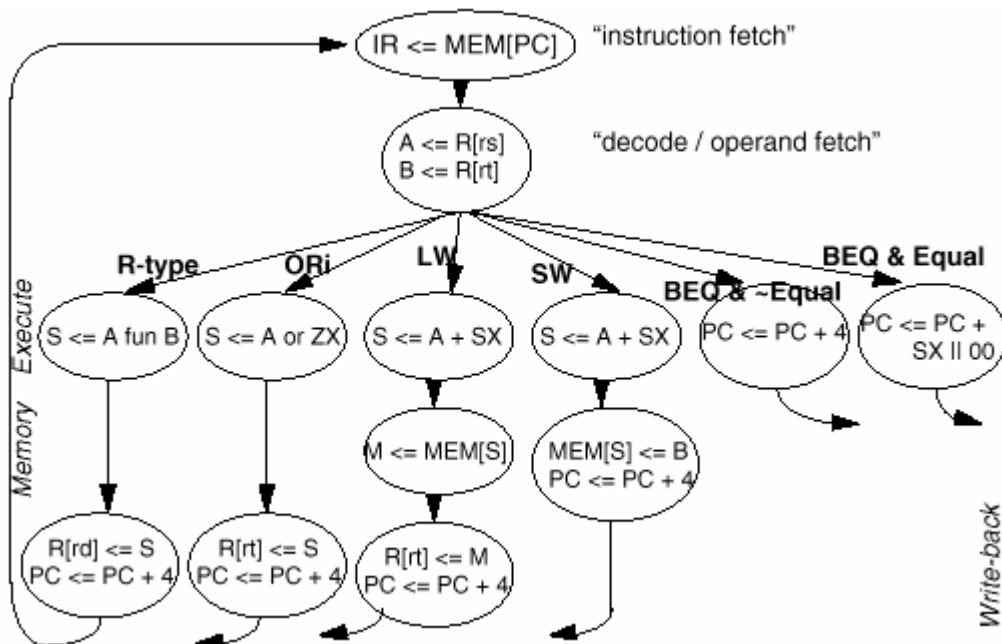
Modelul pentru comanda:

- Starea specifica punctele de comanda pentru Transferul intre Registre
- Transferul apare in momentul parasirii starii (pe acelasi front negativ)

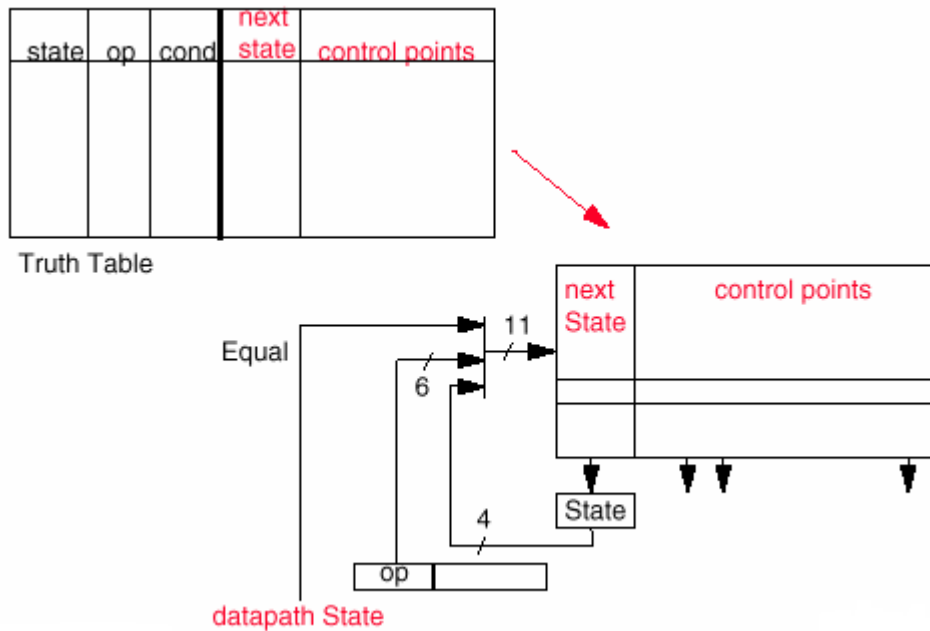


Intrari (conditii)
Iesiri (spre punctele de control)

Pasul 4. Specificatiile comenzii pentru procesorul care opereaza in mai multe cicluri de ceas

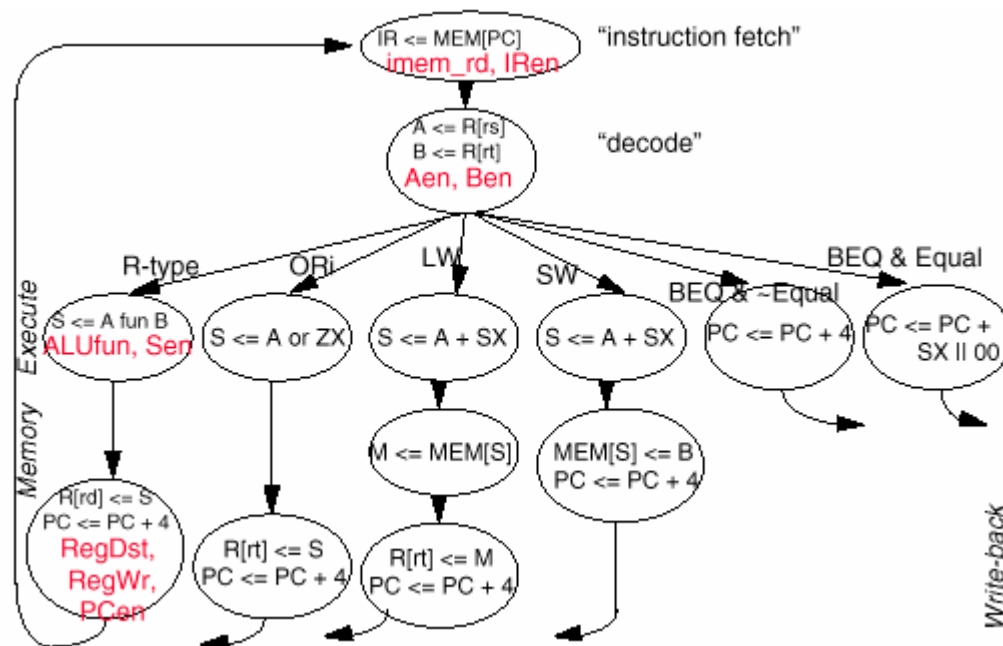


Comanda conventionala. Automatul cu Numar Finit de Stari

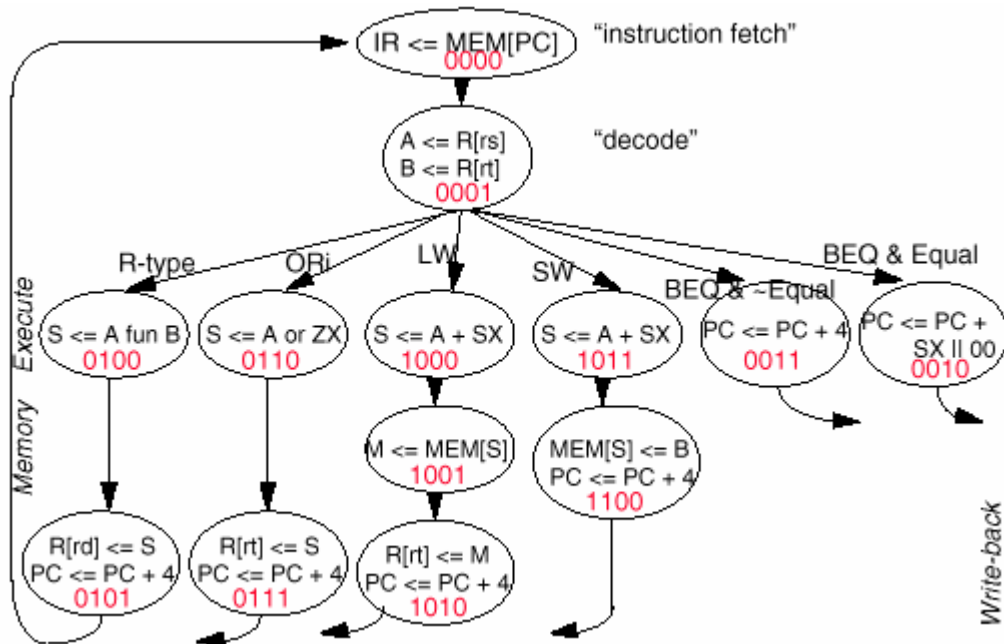


Pasul 5: Unitatea de Executie + Diagrama de Stare => Unitatea de Comanda.

- Translateaza Transferurile intre Registre in Puncte de Comanda
- Asigneaza Starile
- Construiește Unitatea de Comanda



Asignarea Starilor



Specificarea detaliata a comenzii

	State	Op field	Eq	Next	IR	PC en sel	Ops A B	Exec Ex Sr ALU S	Mem R W M	Write-Back M-R Wr Dst
	0000	??????	?	0001	1					
	0001	BEQ	0	0011			1 1			
	0001	BEQ	1	0010			1 1			
	0001	R-type	x	0100			1 1			<i>-all same in Moore machine</i>
	0001	orl	x	0110			1 1			
	0001	LW	x	1000			1 1			
	0001	SW	x	1011			1 1			
	0010	xxxxxx	x	0000		1 1				
	0011	xxxxxx	x	0000		1 0				
R:	0100	xxxxxx	x	0101				0 1 fun 1		
	0101	xxxxxx	x	0000		1 0				0 1 1
ORi:	0110	xxxxxx	x	0111				0 0 or 1		
	0111	xxxxxx	x	0000		1 0				0 1 0
LW:	1000	xxxxxx	x	1001				1 0 add 1		
	1001	xxxxxx	x	1010					1 0 0	
	1010	xxxxxx	x	0000		1 0				1 1 0
SW:	1011	xxxxxx	x	1100				1 0 add 1		
	1100	xxxxxx	x	0000		1 0			0 1	

Evaluarea Performantei

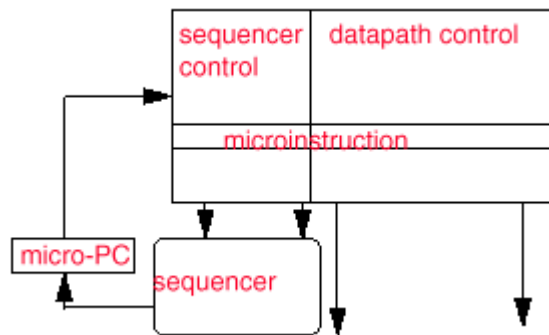
- Care este CPI mediu?
 - Diagrama de stari furnizeaza CPI pentru fiecare tip de instructiune.
 - Sarcina de lucru (workload) furnizeaza frecventa pentru fiecare tip.

Type	CPI _i for type	Frequency	CPI _i x freq _i
Arith/Logic	4	40%	1.6
Load	5	30%	1.5
Store	4	10%	0.4
branch	3	20%	0.6
Average CPI:4.1			

Proiectarea Unitatii de Comanda

- Diagramele de Stare definesc Unitatea de Comanda pentru un Set de Instructiuni ale Procesorului si sunt in cea mai mare masura structurate;
- Se utilizeaza aceasta structura pentru a construi un microsecventiator simplu
- Controlul se reduce la programarea acestui dispozitiv extrem de simplu

Microprogramare



Exemplu: Contor – Jump

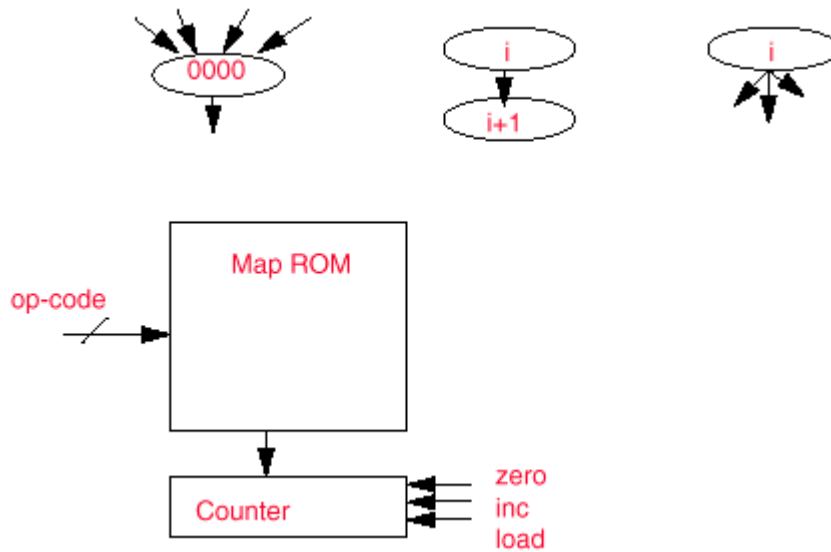
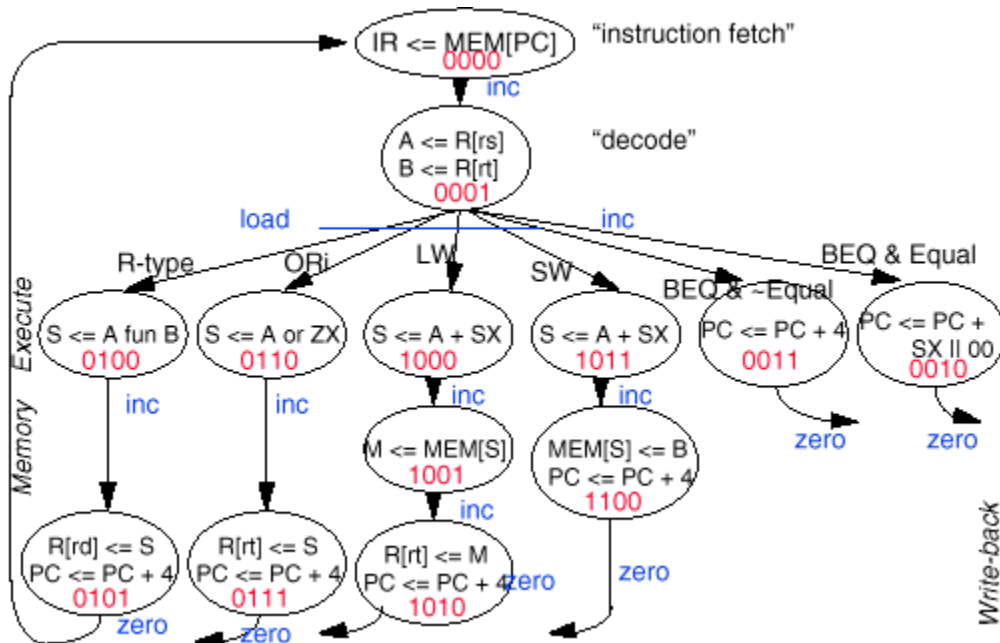
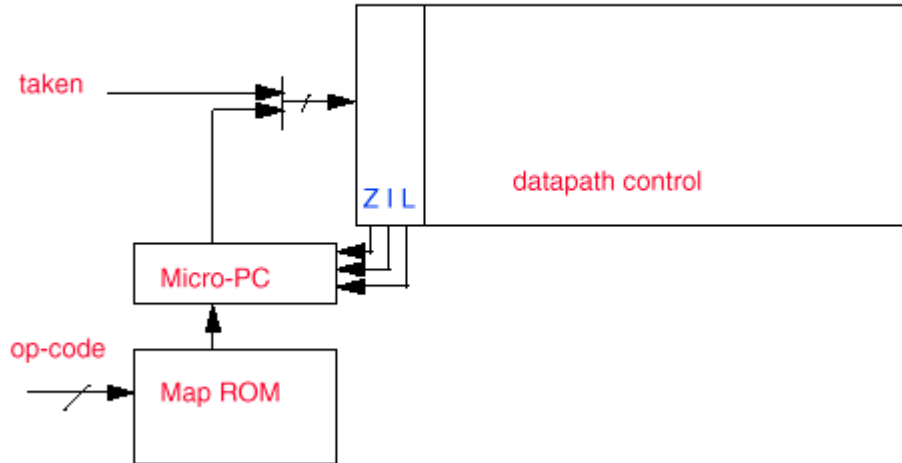


Diagrama de Stari (Contor – Jump)



Microsecventiatorul



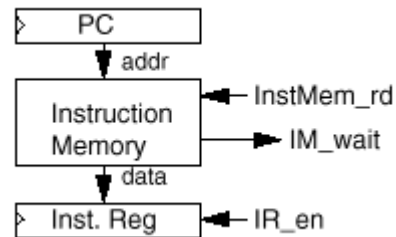
Specificatiile Controlului microprogramat

	μ PC	Taken	Next	IR	PC en sel	Ops A B	Exec Ex Sr ALU S	Mem R W M	Write-Back M-R Wr Dst
	0000	?	inc	1					
	0001	0	load						
	0001	1	inc						
	0010	x	zero	1	1				
BEG	0011	x	zero	1	0				
R:	0100	x	inc				0 1 fun 1		
	0101	x	zero	1	0				0 1 1
ORi:	0110	x	inc				0 0 or 1		
	0111	x	zero	1	0				0 1 0
LW:	1000	x	inc				1 0 add 1		
	1001	x	inc					1 0 0	
	1010	x	zero	1	0				1 1 0
SW:	1011	x	inc				1 0 add 1		
	1100	x	zero	1	0			0 1	

Maparea in ROM

R-type	000000	0100
BEQ	000100	0011
ori	001101	0110
LW	100011	1000
SW	101011	1011

Exemplu: Controlul Memoriei



Controlul are in vedere o memorie reala (non-ideala)

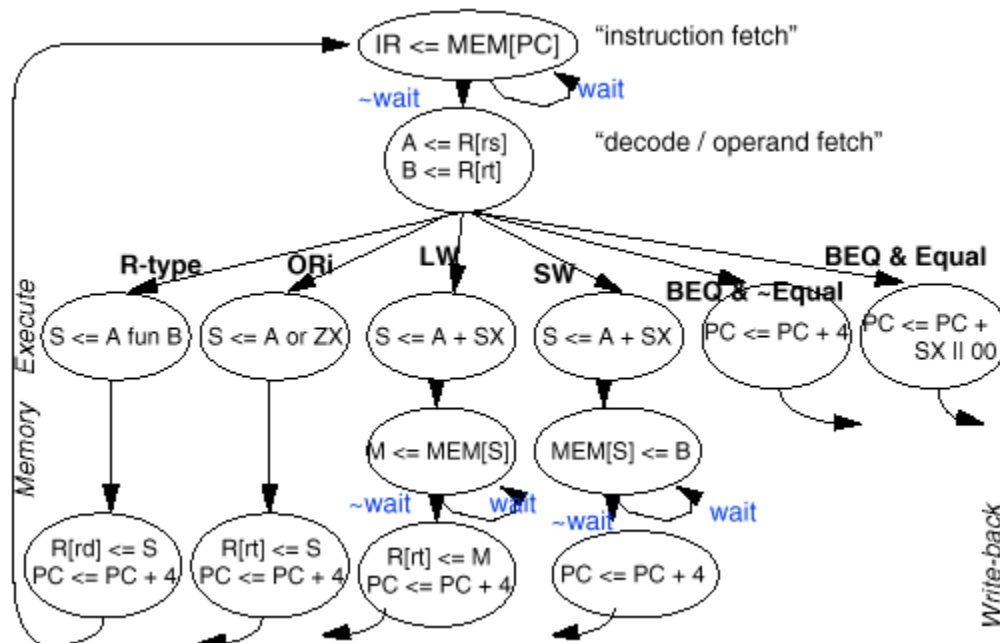
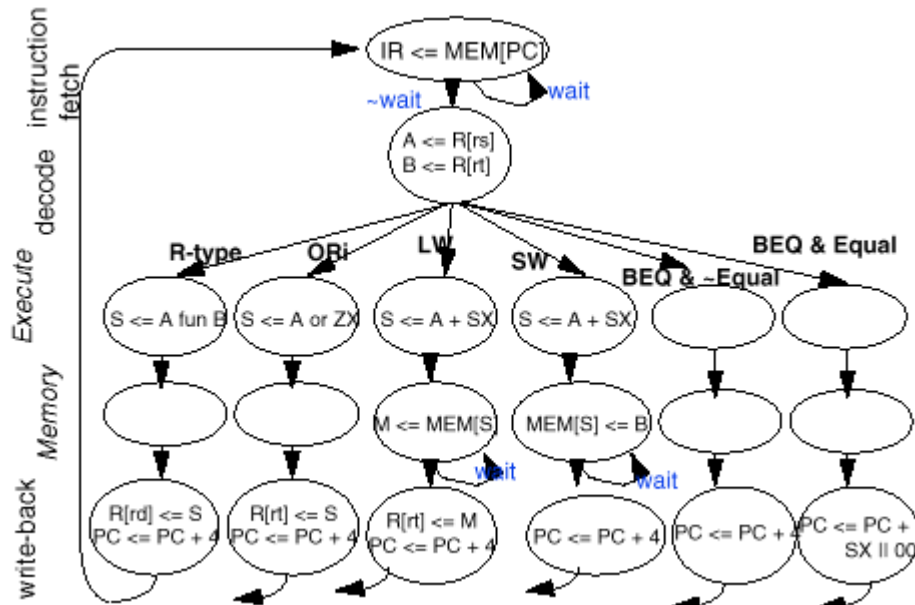
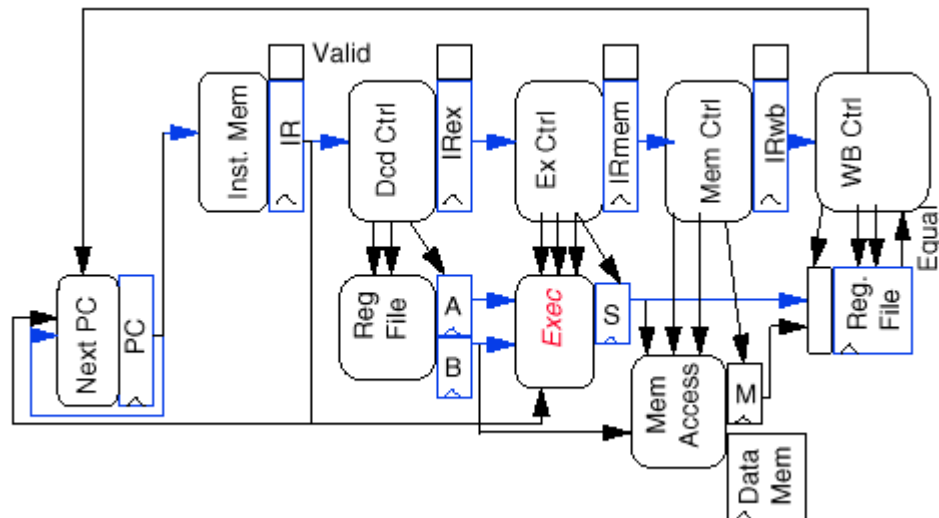


Diagrama de Stari – Comanda Reala



Comanda Timp – Stare

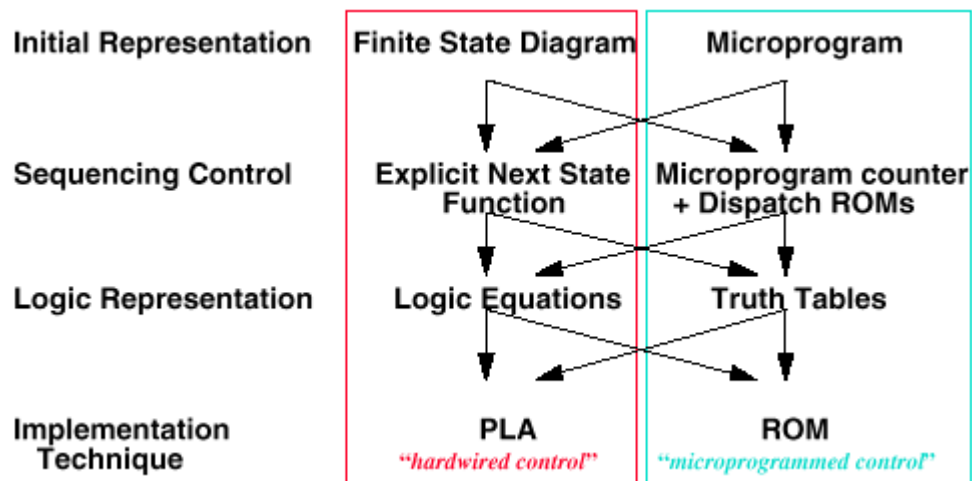
- Decodificare locala si comanda la ficcare etaj



Aspecte de baza privind Comanda

- Comanda poate fi proiectata folosind una dintre reprezentarile initiale
- Alegerea controlului secventei si a modului in care este reprezentata logica se pot efectua independent

Comanda poate fi implementata cu una dintre metodele date, folosind o tehnica de logica structurata



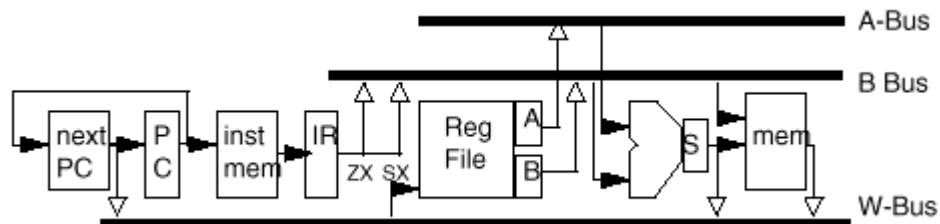
Sumar:

- **Dezavantajele Procesorului care Opereaza intr-un Singur Ciclu**
 - Durata mare a ciclului
 - Durata ciclului este mult prea mare pentru cea mai mare parte a instructiunilor, cu exceptia instructiunii Incarca
- **Procesorul care opereaza in mai multe Cicluri de Ceas**
 - Se sparg instructiunile in pasi mai mici
 - Se executa fiecare pas (in locul intregii instructiuni) intr-un ciclu
- **Se partitioneaza Unitatea de Executie in segmente de dimensiuni egale pentru a minimiza durata ciclului**
 - Se accepta circa 10 niveluri logice intre registre/latch-uri
- **Se urmareste aceeasi metoda, in 5 pasi, pentru proiectarea procesorului "real"**
- **Comanda este specificata printr-o diagrama finita de stari**

- **Diagramele de stari specializate se “transpun” usor intr-un microsecventiator**
 - Campuri simple “increment & branch”
 - Campuri de comanda a Unitatii de Executie
- **Proiectarea Comenzii se reduce la Microprogramare**
- **Comanda este mult mai complicata in cazurile urmatoare:**
 - Set Complex de Instructiuni
 - Unitati de executie cu restrictii (Vezi anexa)
- **Set de Instructiuni Simplu si o Unitate de Executie puternica => Comanda Simpla**
 - Se poate incerca simplificarea hardware-lui
 - In loc de a urmari cresterea de viteza => mai multe instructiuni simultan

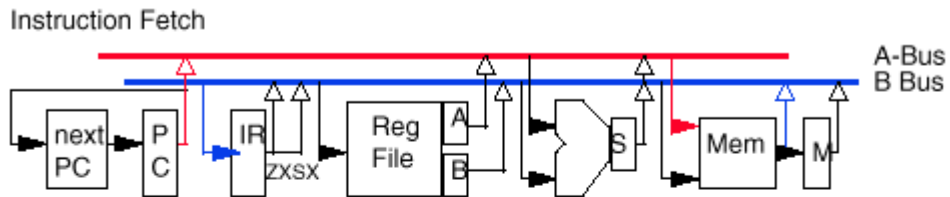
ANEXA

Unitate de Executie in Mai multe Cicluri

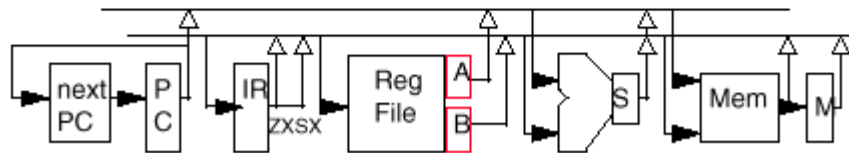


- In fiecare ciclu de ceas, fiecare Magistrala poate fi utilizata pentru transferul de la o singura sursa
- μ -instructiunea poate contine campurile B-Bus si W-Bus

Microarhitectura cu doua magistrale. Comentarii

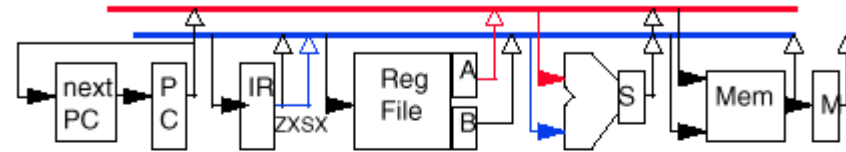


Decode / Operand Fetch

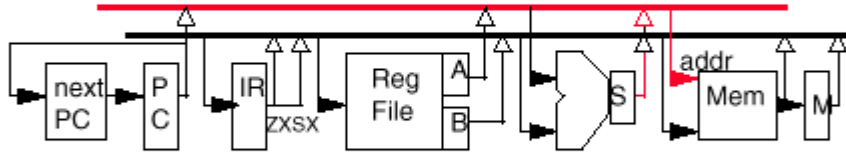


Load

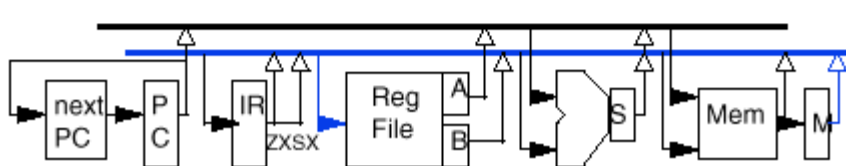
Execute



Mem



Write-back



Ce se poate spune despre urmatoarele situatii:

- O singura magistrala?
- Un singur sumator?
- Registre Generale cu un singur port?