POLITECNICO DI MILANO

High Performance Processors and Systems

Dynamic Scheduling

- Tomasulo Vs Scoreboard -

Marco D. Santambrogio: marco.santambrogio@polimi.it

HPPS

Outline

- Dynamic Scheduling: just a brief remind
- Scorebord
  - Exercise
- Tomasulo
  - Exercise

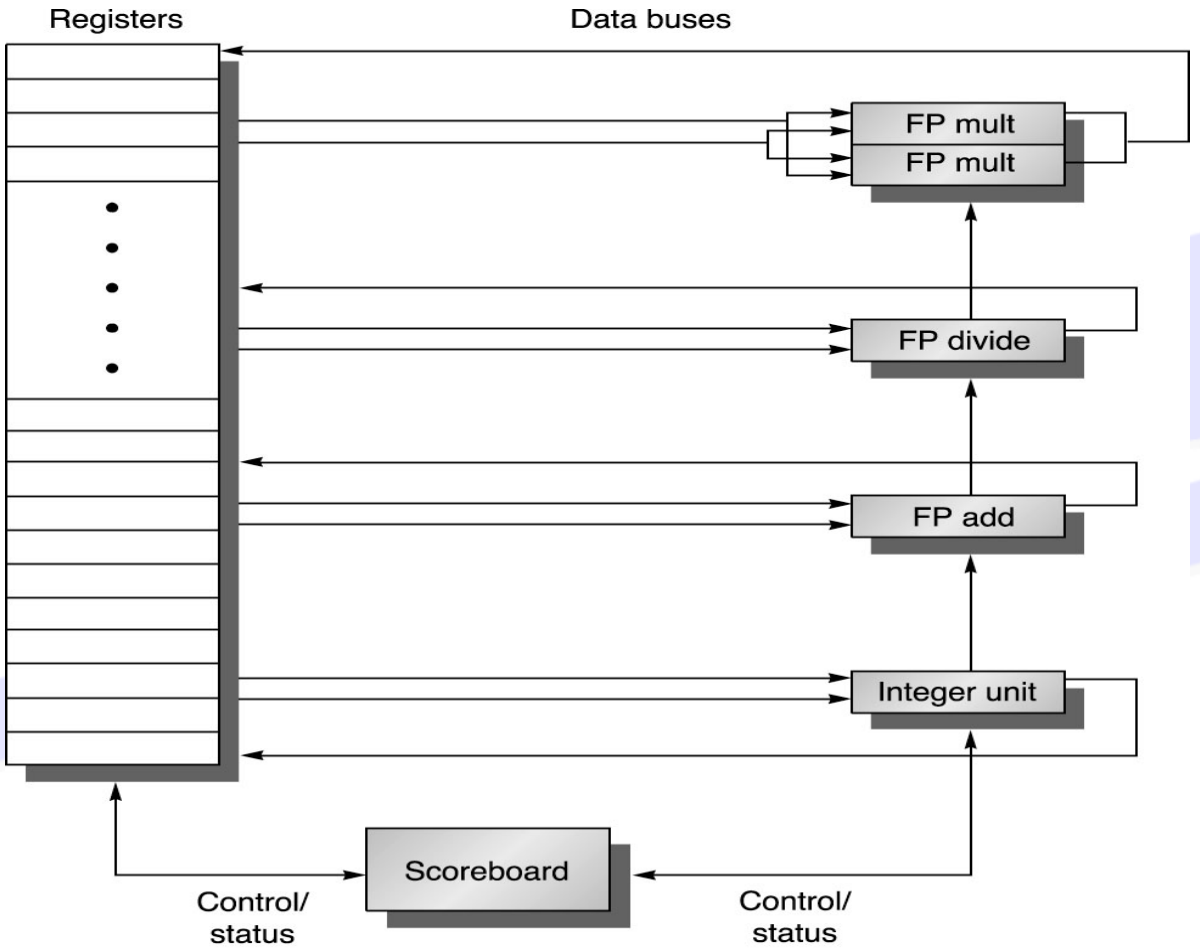
HPPS

Dynamic Scheduling

- Scheduling separates dependent instructions
  - Static – performed by the compiler
  - Dynamic – performed by the hardware
- Advantages of dynamic scheduling
  - Handles dependences unknown at compile time
  - Simplifies the compiler
  - Optimization is done at run time
- Disadvantages
  - Can not eliminate true data dependences

HiPS

MIPS with Scoreboard



© 2003 Elsevier Science (USA). All rights reserved.

Exercise

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Scoreboard – Clk=1

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk	Et	Ist			Issue	Read Op	Exec Co.	Write R.
Mult1													addd	1			
mult2													multd				
Add1	YES	ADD	F0	F2	F4			YES	YES		S1		multd				
Add2													addd				
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14										
ADD1																	

Scoreboard – Clk=14

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk	Et	Ist
Mult1	NO										
mult2	NO										
Add1	NO										
Add2	NO										
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14				

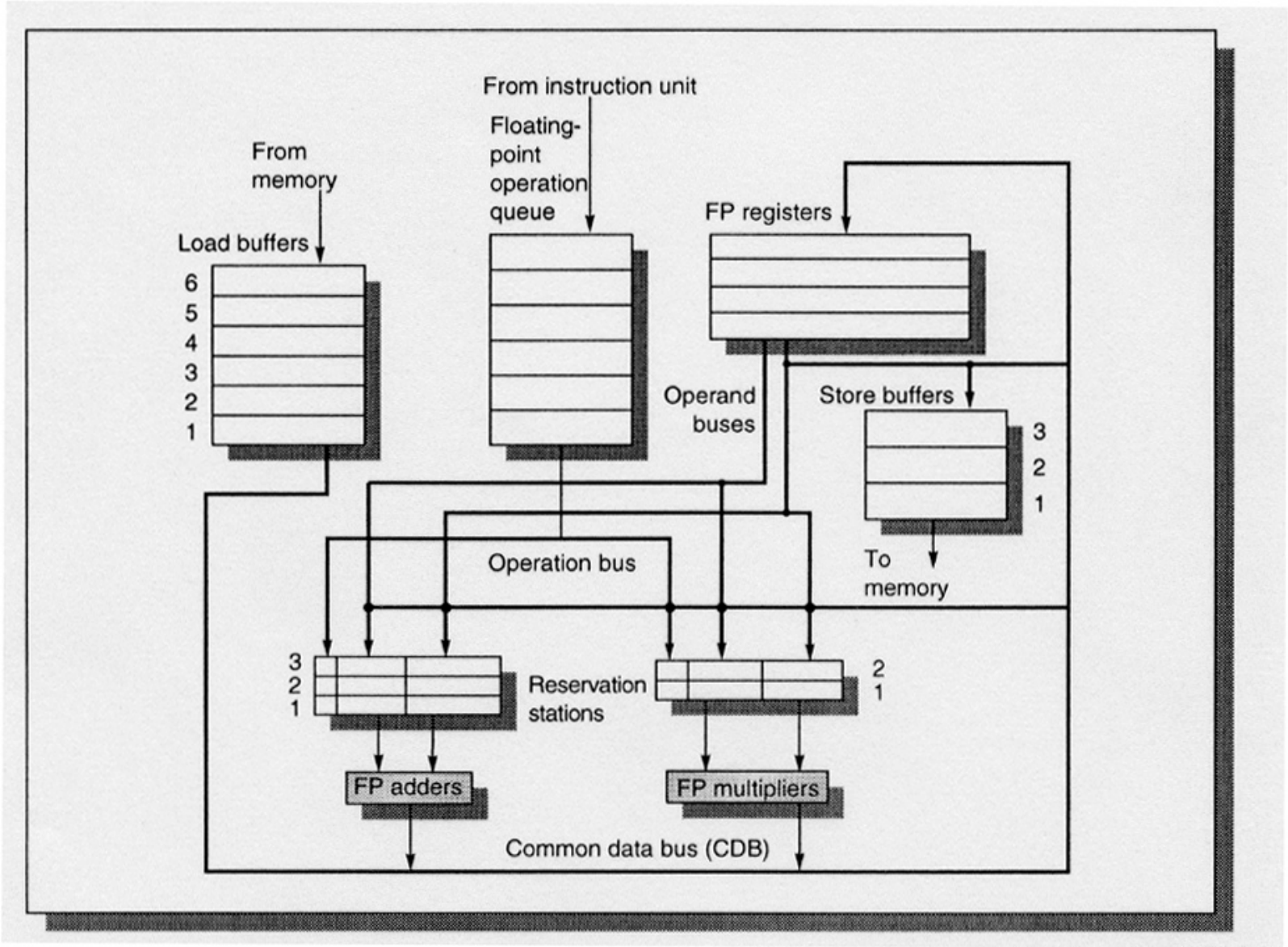
	Issue	Read Op	Exec Co.	Write R.
addd	1	2	4	5
multd	2	3	7	8
multd	3	9	13	14
addd	6	7	9	10

Tomasulo Approach

- Another approach to eliminate stalls
  - Combines scoreboard with
  - Register renaming (to avoid WAR and WAW)
- Designed for the IBM 360/91
  - High FP performance for the whole 360 family
  - Four double precision FP registers
  - Long memory access and long FP delays
- Can support overlapped execution of multiple iterations of a loop

HPPS

Tomasulo Approach



Stages

- Issue
  - Empty reservation station or buffer
  - Send operands to the reservation station
  - Use name of reservation station for operands
- Execute
  - Execute operation if operands are available
  - Monitor CDB for availability of operands
- Write result
  - When result is available, write it to the CDB

Exercise

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Tomasulo – Clk=1

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime			Issue	Exec Co.	Write R.
mult1								addd	1		
mult2								multd			
add1	ADD	R(F2)	R(F4)					multd			
add2								addd			
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14				
ADD1											

Tomasulo – Clk=2

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime			Issue	Exec Co.	Write R.
mult1	MULT	R(F6)	R(F8)					addd	1		
mult2								multd	2		
add1	ADD	R(F2)	R(F4)			1		multd			
add2								addd			
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14				
ADD1	MULT1										

Tomasulo – Clk=3

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime			Issue	Exec Co.	Write R.
mult1	MULT	R(F6)	R(F8)			3		addd	1	3	
mult2	MULT			ADD1	MULT1			multd	2		
add1	ADD	R(F2)	R(F4)			0		multd	3		
add2								addd			

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
ADD1	MULT1				MULT2		

Tomasulo – Clk=4

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime			Issue	Exec Co.	Write R.
mult1	MULT	R(F6)	R(F8)			2		**addd**	1	3	4
mult2	MULT	M(A1)		✓	MULT1			**multd**	2		
add1								**multd**	3		
add2	ADD	R(F12)	R(F14)					**addd**	4		
F0	**F2**	**F4**	**F6**	**F8**	**F10**	**F12**	**F14**				
ADD2	MULT1				MULT2						

Tomasulo – Clk=5

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime			Issue	Exec Co.	Write R.
mult1	MULT	R(F6)	R(F8)			1		**addd**	1	3	4
mult2	MULT	M(A1)			MULT1			**multd**	2		
add1								**multd**	3		
add2	ADD	R(F12)	R(F14)			1		**addd**	4		
F0	**F2**	**F4**	**F6**	**F8**	**F10**	**F12**	**F14**				
ADD2	MULT1				MULT2						

Tomasulo – Clk=6

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime	
mult1	MULT	R(F6)	R(F8)			0	
mult2	MULT	M(A1)			MU		
add1							
add2	ADD	R(F12)	R(F14)			0	
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
ADD2	MULT1				MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	
multd	3		
addd	4	6	

Tomasulo – Clk=7

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime			Issue	Exec Co.	Write R.
mult1	MULT	R(F6)	R(F8)			0		**addd**	1	3	4
mult2	MULT	M(A1)			MULT1			**multd**	2	6	
add1								**multd**	3		
add2								**addd**	4		7
F0	**F2**	**F4**	**F6**	**F8**	**F10**	**F12**	**F14**				
	MULT1				MULT2						

Tomasulo – Clk=8

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime			Issue	Exec Co.	Write R.
mult1								addd	1	3	4
mult2	MULT	M(A1)	M(M1)		✓			multd	2	6	8
add1								multd	3		
add2								addd	4	6	7
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14				
					MULT2						

Tomasulo – Clk=9

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime	
mult1							
mult2						3	
add1							
add2							
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
					MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	8
multd	3		
addd	4	6	7

Tomasulo – Clk=10

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime			Issue	Exec Co.	Write R.
mult1								addd	1	3	4
mult2						2		multd	2	6	8
add1								multd	3		
add2								addd	4	6	7
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14				
					MULT2						

Tomasulo – Clk=11

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime	
mult1							
mult2						1	
add1							
add2							
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
					MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	8
multd	3		
addd	4	6	7

Tomasulo – Clk=12

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime	
mult1							
mult2						0	
add1							
add2							
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
					MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	8
multd	3	12	
addd	4	6	7

Tomasulo – Clk=13

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime	
mult1							
mult2							
add1							
add2							
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
					MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	8
multd	3	12	13
addd	4	6	7

Scoreboard Vs Tomasulo

	Issue	Read Op	Exec Co.	Write R.
addd	1	2	4	5
multd	2	3	7	8
multd	3	9	13	14
addd	6	7	9	10

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	8
multd	3	12	13
addd	4	6	7

- Can we do better?
  - YES!!!... Lets go back to clk6 with Tomasulo...

Time tuner...

Tomasulo – Clk=6

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime	
mult1	MULT	R(F6)	R(F8)			0	
mult2	MULT	M(A1)			MU		
add1							
add2	ADD	R(F12)	R(F14)			0	
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
ADD2	MULT1				MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	
multd	3		
addd	4	6	

Tomasulo – Clk=7

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime			issue	Exec Co.	Write R.
mult1								**addd**	1	3	4
mult2	MULT	M(A1)	M(M1)					**multd**	2	6	7
add1								**multd**	3		
add2	ADD	R(F12)	R(F14)			0		**addd**	4	6	
F0	**F2**	**F4**	**F6**	**F8**	**F10**	**F12**	**F14**				
ADD2					MULT2						

Tomasulo – Clk=8

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime	
mult1							
mult2	MULT	M(A1)	M(M1)			3	
add1							
add2							
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
					MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	7
multd	3		
addd	4	6	8

Tomasulo – Clk=9

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime	
mult1							
mult2	MULT	M(A1)	M(M1)			2	
add1							
add2							
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
					MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	7
multd	3		
addd	4	6	8

Tomasulo – Clk=10

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime	
mult1							
mult2	MULT	M(A1)	M(M1)			1	
add1							
add2							
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
					MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	7
multd	3		
addd	4	6	8

Tomasulo – Clk=11

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime	
mult1							
mult2	MULT	M(A1)	M(M1)			0	
add1							
add2							
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
					MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	7
multd	3	11	
addd	4	6	8

Tomasulo – Clk=12

S1: ADDD F0, F2, F4

S2: MULTD F2, F6, F8

S3: MULTD F10, F0, F2

S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime	
mult1							
mult2							
add1							
add2							
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
					MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	7
multd	3	11	12
addd	4	6	8

HPPS

Scoreboard Vs Tomasulo – Clk=1

S1: ADDD F0, F2, F4
S2: MULTD F2, F6, F8
S3: MULTD F10, F0, F2
S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk	Et	Ist			Issue	Read Op	Exec Co.	Write R.
Mult1													addd	1			
mult2													multd				
Add1	YES	ADD	F0	F2	F4			YES	YES		S1		multd				
Add2													addd				
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14										
ADD1																	

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime			Issue	Exec Co.	Write R.
mult1								addd	1		
mult2								multd			
add1	ADD	R(F2)	R(F4)					multd			
add2								addd			
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14				
ADD1											

Scoreboard Vs Tomasulo – Clk=2

S1: ADDD F0, F2, F4
S2: MULTD F2, F6, F8
S3: MULTD F10, F0, F2
S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk	Et	Ist
Mult1	YES	MULT	F2	F6	F8			YES	YES		S2
mult2	NO										
Add1	YES	ADD	F0	F2	F4			YES	YES	2	S1
Add2	NO										

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
ADD1	MULT1						

	Issue	Read Op	Exec Co.	Write R.
addd	1	2		
multd	2			
multd				
addd				

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime
mult1	MULT	R(F6)	R(F8)			
mult2						
add1	ADD	R(F2)	R(F4)			1
add2						

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
ADD1	MULT1						

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1		
multd	2		
multd			
addd			

Scoreboard Vs Tomasulo – Clk=3

S1: ADDD F0, F2, F4
S2: MULTD F2, F6, F8
S3: MULTD F10, F0, F2
S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk	Et	Ist
Mult1	YES	MULT	F2	F6	F8			YES	YES	4	S2
mult2	YES	MULT	F10	F0	F2	ADD1	MULT1	NO	NO		S3
Add1	YES	ADD	F0	F2	F4			NO	NO	1	S1
Add2	NO										

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
ADD1	MULT1				MULT2		

	Issue	Read Op	Exec Co.	Write R.
addd	1	2		
multd	2	3		
multd	3			
addd				

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime
mult1	MULT	R(F6)	R(F8)			3
mult2	MULT			ADD1	MULT1	
add1	ADD	R(F2)	R(F4)			0
add2						

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
ADD1	MULT1				MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	
multd	2		
multd	3		
addd			

Scoreboard Vs Tomasulo – Clk=4

S1: ADDD F0, F2, F4
S2: MULTD F2, F6, F8
S3: MULTD F10, F0, F2
S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk	Et	Ist
Mult1	YES	MULT	F2	F6	F8			NO	NO	3	S2
mult2	YES	MULT	F10	F0	F2	ADD1	MULT1	NO	NO		S3
Add1	YES	ADD	F0	F2	F4			NO	NO	0	S1
Add2	NO										

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
ADD1	MULT1				MULT2		

	Issue	Read Op	Exec Co.	Write R.
addd	1	2	4	
multd	2	3		
multd	3			
addd				

WAW

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime
mult1	MULT	R(F6)	R(F8)			2
mult2	MULT	M(A1)		✓	MULT1	
add1						
add2	ADD	R(F12)	R(F14)			

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
ADD2	MULT1				MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2		
multd	3		
addd	4		

Scoreboard Vs Tomasulo – Clk=5

S1: ADDD F0, F2, F4
S2: MULTD F2, F6, F8
S3: MULTD F10, F0, F2
S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk	Et	Ist
Mult1	YES	MULT	F2	F6	F8			NO	NO	2	S2
mult2	YES	MULT	F10	F0	F2	✓	MULT1	YES	NO		S3
Add1	NO										
Add2	NO										

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
	MULT1				MULT2		

	Issue	Read Op	Exec Co.	Write R.
addd	1	2	4	5
multd	2	3		
multd	3			
addd				

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime
mult1	MULT	R(F6)	R(F8)			1
mult2	MULT	M(A1)			MULT1	
add1						
add2	ADD	R(F12)	R(F14)			1

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
ADD2	MULT1				MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2		
multd	3		
addd	4		

Scoreboard Vs Tomasulo – Clk=6

S1: ADDD F0, F2, F4
S2: MULTD F2, F6, F8
S3: MULTD F10, F0, F2
S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk	Et	Ist
Mult1	YES	MULT	F2	F6	F8			NO	NO	1	S2
mult2	YES	MULT	F10	F0	F2		MULT1	YES	NO		S3
Add1	YES	ADD2	F0	F12	F14			YES	YES		S4
Add2	NO										

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
ADD1	MULT1				MULT2		

	Issue	Read Op	Exec Co.	Write R.
addd	1	2	4	5
multd	2	3		
multd	3			
addd	6			

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime
mult1	MULT	R(F6)	R(F8)			0
mult2	MULT	M(A1)			MU	
add1						
add2	ADD	R(F12)	R(F14)			0

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
ADD2	MULT1				MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	
multd	3		
addd	4	6	

Scoreboard Vs Tomasulo – Clk=7

S1: ADDD F0, F2, F4
S2: MULTD F2, F6, F8
S3: MULTD F10, F0, F2
S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk	Et	Jst
Mult1	YES	MULT	F2	F6	F8			NO	NO	0	S2
mult2	YES	MULT	F10	F0	F2		MULT1	YES	NO		S3
Add1	YES	ADD2	F0	F12	F14			YES	YES	2	S4
Add2	NO										

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
ADD1	MULT1				MULT2		

	Issue	Read Op	Exec Co.	Write R.
addd	1	2	4	5
multd	2	3	7	
multd	3			
addd	6	7		

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime
mult1						
mult2	MULT	M(A1)	M(M1)		✓	
add1						
add2	ADD	R(F12)	R(F14)			0

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
ADD2					MULT2		

	issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	7
multd	3		
addd	4	6	

Scoreboard Vs Tomasulo – Clk=8

S1: ADDD F0, F2, F4
S2: MULTD F2, F6, F8
S3: MULTD F10, F0, F2
S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk	Et	Ist
Mult1	NO										
mult2	YES	MULT	F10	F0	F2		✓	YES	YES		S3
Add1	YES	ADD2	F0	F12	F14			NO	NO	1	S4
Add2	NO										

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
ADD2					MULT2		

	Issue	Read Op	Exec Co.	Write R.
addd	1	2	4	5
multd	2	3	7	8
multd	3			
addd	6	7		

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime
mult1						
mult2	MULT	M(A1)	M(M1)			3
add1						
add2						

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
					MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	7
multd	3		
addd	4	6	8

Scoreboard Vs Tomasulo – Clk=9

S1: ADDD F0, F2, F4
S2: MULTD F2, F6, F8
S3: MULTD F10, F0, F2
S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk	Et	Ist
Mult1	NO										
mult2	YES	MULT	F10	F0	F2			YES	YES	4	S3
Add1	YES	ADD2	F0	F12	F14			NO	NO	0	S4
Add2	NO										

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
ADD2					MULT2		

	Issue	Read Op	Exec Co.	Write R.
addd	1	2	4	5
multd	2	3	7	8
multd	3	9		
addd	6	7	9	

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime
mult1						
mult2	MULT	M(A1)	M(M1)			2
add1						
add2						

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
					MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	7
multd	3		
addd	4	6	8

Scoreboard Vs Tomasulo – Clk=10

S1: ADDD F0, F2, F4
S2: MULTD F2, F6, F8
S3: MULTD F10, F0, F2
S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk	Et	Ist
Mult1	NO										
mult2	YES	MULT	F10	F0	F2			NO	NO	3	S3
Add1	NO										
Add2	NO										
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14				
					MULT2						

	Issue	Read Op	Exec Co.	Write R.
addd	1	2	4	5
multd	2	3	7	8
multd	3	9		
addd	6	7	9	10

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime
mult1						
mult2	MULT	M(A1)	M(M1)			1
add1						
add2						
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12 F14
					MULT2	

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	7
multd	3		
addd	4	6	8

Scoreboard Vs Tomasulo – Clk=11

S1: ADDD F0, F2, F4
S2: MULTD F2, F6, F8
S3: MULTD F10, F0, F2
S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk	Et	Ist
Mult1	NO										
mult2	YES	MULT	F10	F0	F2			NO	NO	2	S3
Add1	NO										
Add2	NO										

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
					MULT2		

	Issue	Read Op	Exec Co.	Write R.
addd	1	2	4	5
multd	2	3	7	8
multd	3	9		
addd	6	7	9	10

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime
mult1						
mult2	MULT	M(A1)	M(M1)			0
add1						
add2						

F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
					MULT2		

	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	7
multd	3	11	
addd	4	6	8

Scoreboard Vs Tomasulo – Clk=12

S1: ADDD F0, F2, F4
S2: MULTD F2, F6, F8
S3: MULTD F10, F0, F2
S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk	Et	Ist
Mult1	NO										
mult2	YES	MULT	F10	F0	F2			NO	NO	1	S3
Add1	NO										
Add2	NO										
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14				
					MULT2						

	Issue	Read Op	Exec Co.	Write R.
addd	1	2	4	5
multd	2	3	7	8
multd	3	9		
addd	6	7	9	10

Name	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Etime
mult1						
mult2						
add1						
add2						
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14
					MULT2		

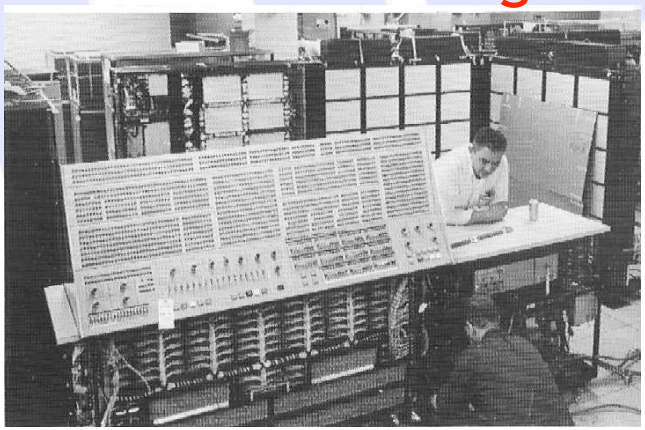
	Issue	Exec Co.	Write R.
addd	1	3	4
multd	2	6	7
multd	3	11	12
addd	4	6	8

Scoreboard Vs Tomasulo – Clk=13

S1: ADDD F0, F2, F4
S2: MULTD F2, F6, F8
S3: MULTD F10, F0, F2
S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk	Et	Ist			Issue	Read Op	Exec Co.	Write R.
Mult1	NO												**addd**	1	2	4	5
mult2	YES	MULT	F10	F0	F2			NO	NO	0	S3		**multd**	2	3	7	8
Add1	NO												**multd**	3	9	13	
Add2	NO												**addd**	6	7	9	10
F0	**F2**	**F4**	**F6**	**F8**	**F10**	**F12**	**F14**										
					MULT2												

Tomasulo's waiting...



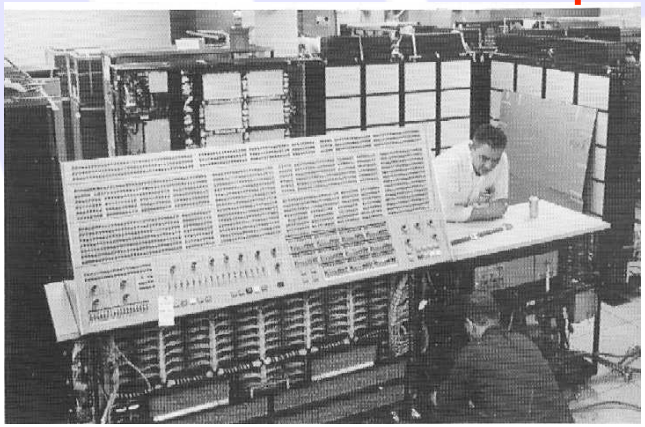
Scoreboard Vs Tomasulo – Clk=14

S1: ADDD F0, F2, F4
S2: MULTD F2, F6, F8
S3: MULTD F10, F0, F2
S4: ADDD F0, F12, F14

Name	Busy	Op	Fi	Fj	Fk	Qj	Qk	Rj	Rk	Et	Ist
Mult1	NO										
mult2	NO										
Add1	NO										
Add2	NO										
F0	F2	F4	F6	F8	F10	F12	F14				

	Issue	Read Op	Exec Co.	Write R.
addd	1	2	4	5
multd	2	3	7	8
multd	3	9	13	14
addd	6	7	9	10

Tomasulo's now sleeping...



Questions