

Técnicas hardware para extraer más paralelismo de instrucciones

- ❖ El paralelismo extraído por el compilador está limitado por las bifurcaciones que no son fácilmente predecibles
- ❖ Diversas técnicas ayudan a superar esa limitación
 - Instrucciones condicionales
 - Ejecución **especulativa** de instrucciones
 - ✓ Se ejecuta una instrucción sin que haya seguridad de que deba ejecutarse

Instrucciones condicionales..

- ❖ Son instrucciones cuyo significado es de la forma
if Condición then Operación else NOP
- ❖ Los procesadores Alpha, MIPS, PowerPC y SPARC tienen una instrucción *move* condicional
- ❖ Principal ventaja:
 - Estas instrucciones permiten **eliminar bifurcaciones**.
Ejemplo:

BNEZ	R1,L		
MOV	R2,R3	⇒	CMOVZ R2, R3, R1
L:	...		
 - ✓ La eliminación de las bifurcaciones **facilita el movimiento de código y, con ello, la planificación global**

Instrucciones condicionales..

❖ Inconvenientes

- La instrucción consume un ciclo de reloj aunque no haga ninguna operación
- Cuando para llegar a una instrucción se tienen que cumplir **varias condiciones**, suprimir las bifurcaciones e introducir instrucciones condicionales requiere **instrucciones adicionales para calcular las condiciones**
- Mayor complejidad de estas instrucciones =>
 - ✓ Mayor CPI que para la instrucción equivalente no condicional
 - ✓ O disminuir la frecuencia del reloj de la CPU

Instrucciones condicionales

- ❖ La mayoría de los procesadores sólo implementan unas **pocas** instrucciones condicionales **sencillas**
- ❖ Suelen funcionar bien
 - Cuando la **secuencia de instrucciones** dependiente de una bifurcación es **pequeña**
 - En los procesadores **superescalares**
 - ✓ Las instrucciones de bifurcación se emiten solas, lo que provoca burbujas que podrían ser ocupadas por instrucciones condicionales

Ejecución especulativa

- ❖ Los resultados no se consideran definitivos o visibles al resto del sistema hasta que se ha determinado la validez de la especulación
- ❖ La probabilidad de que las especulaciones sean acertadas ha de ser alta
 - De no ser así, el rendimiento podría empeorar por el tiempo gastado en:
 - ✓ Ejecutar instrucciones sin deber
 - ✓ Tareas para recuperar el sistema de los efectos de esas ejecuciones indebidas

Especulación soportada por el compilador con ayuda hardware..

- ❖ El **compilador** puede realizar movimientos especulativos de código
 - Colocar antes de una bifurcación una instrucción que depende de dicha bifurcación pero que previsiblemente se ejecutará
- ❖ Principales **limitaciones**
 - Hay que respetar las dependencias de datos
 - ✓ **Ni las instrucciones especulativas ni las interrupciones** generadas por ellas pueden hacer **modificaciones irreversibles** del estado del procesador
- ❖ Diversas **técnicas hardware** pueden **ayudar** a hacer efectivo el código especulativo generado por el compilador (bits para marcar las instrucciones especulativas, registros para almacenar resultados no definitivos, etc.)

Ejecución especulativa basada en hardware..

❖ Combina tres ideas clave:

- Predicción dinámica de bifurcaciones
- Especulación (ejecutar instrucciones antes de resolver las bifurcaciones de las que dependen)
- Planificación dinámica (tipo Tomasulo, p. ej.)

❖ Ventajas sobre la especulación basada en el compilador

- Más flexibilidad en el orden de las instrucciones (tienden a ejecutarse en cuanto están disponibles sus operandos)
- [sigue]

Ejecución especulativa basada en hardware (ventajas)..

- La **dirección** de muchas **referencias a memoria** y, por tanto, **la existencia o no de dependencias**, **no se conoce en tiempo de compilación** (pero sí en **tiempo de ejecución**) =>
 - ✓ el **hardware** puede hacer **cambios de orden**, en instrucciones con referencia a memoria, **imposibles para el compilador**
- La predicción dinámica de bifurcaciones es más eficiente que la estática
 - ✓ La especulación requiere un gran porcentaje de aciertos en las predicciones de las bifurcaciones

Ejecución especulativa basada en hardware (ventajas)

- Capacidad para mantener precisas las interrupciones
- No se necesita código compensatorio
- Especulación basada en
 - ✓ Hardware: no hay que recompilar el código compilado para otra máquina compatible
 - El mismo código se ejecutará eficientemente
 - ✓ Software: el mismo código no se ejecutará eficientemente (hay que recompilar)

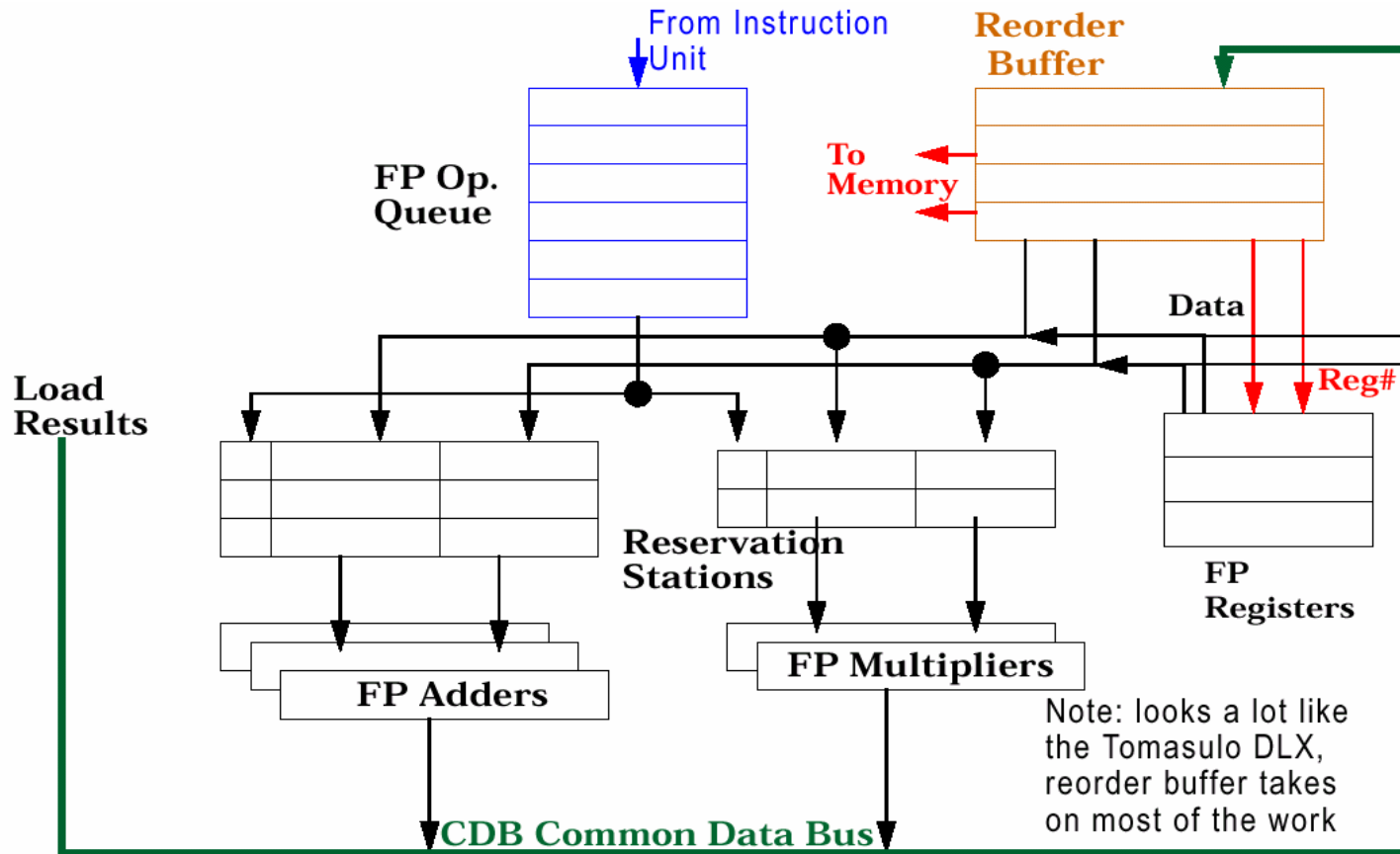
Ejecución especulativa basada en hardware..

- ❖ Principal inconveniente: complejidad del hardware
- ❖ Aproximación a la especulación basada en hardware
 - Especulación => **Ejecución fuera de orden**
 - Pero **las instrucciones dejan de ser especulativas en orden**
 - Una instrucción puede terminar su ejecución antes de dejar de ser especulativa
 - ✓ Hay que **separar** el proceso de **terminar la ejecución** del proceso por el que **la instrucción deja de ser especulativa**
 - Las instrucciones especulativas no deben hacer modificaciones irreversibles del estado

Implementación hardware de la ejecución especulativa: DLX FP especulativo

- ❖ Extensión del hardware del método de Tomasulo
- ❖ Hay que añadir:
 - Una etapa **COMMIT** en que las instrucciones dejan de ser especulativas (pasan a ser *comprometidas*)
 - El llamado **REORDER BUFFER (ROB)** para guardar las instrucciones y los **resultados** de las **instrucciones ejecutadas pero no comprometidas**
 - ✓ Similar a las estaciones de reserva
 - ✓ Integra las funciones de los buffers de carga y almacenamiento del algoritmo de Tomasulo

DLX FP especulativo



DLX FP especulativo: *reorder buffer*

- ❖ En cada entrada del ROB son destacables tres campos:
 - Tipo de instrucción:
 - ✓ bifurcación (no hay resultado destino)
 - ✓ almacenamiento (resultado en memoria)
 - ✓ carga y aritmético-lógica (resultado en registro)
 - Destino: identificación de registro o posición de memoria destino del resultado
 - ✓ Ello permite que el ROB sustituya a las estaciones de reserva en la redenominación de registros
 - Valor: Almacena el valor del resultado hasta que la instrucción deja de ser especulativa

DLX FP especulativo: etapas..

❖ ISSUE (a menudo llamada DISPATCH)

- Tomar instrucción de la cola de operaciones de FP (en este estudio nos limitamos a instrucciones de punto flotante)
- Esperar a que haya una **estación de reserva libre** para la operación y un **hueco en el ROB**. Entonces
 - ✓ **Emitir** la instrucción: enviarla a la estación de reserva y al ROB
 - El identificador de la entrada del ROB se anota en un campo adicional de la estación de reserva
 - ✓ **Enviar los operandos** (si están en los registros, en el ROB o en el CDB) **a la estación de reserva**

DLX FP especulativo: etapas..

❖ EJECUCIÓN (a veces llamada ISSUE)

- Si los operandos están disponibles en la estación de reserva, ejecutar la operación
- Si no, mirar el bus común de datos (CDB) para tomar el valor de los operandos cuando las unidades funcionales los coloquen en el bus
 - ✓ Esto soluciona las dependencias RAW

DLX FP especulativo: etapas..

❖ WRITE RESULT

- Esperar a que el CDB quede libre. Entonces:
 - ✓ Escribir el resultado en el CDB
 - Adjuntar al resultado el identificador de la entrada de la instrucción en el *reorder buffer*
 - ✓ Llevar el resultado del CDB al *reorder buffer* y a las estaciones de reserva que lo estaban esperando
 - ✓ Marcar la estación de reserva como disponible

DLX FP especulativo: etapas

❖ COMMIT (también llamada COMPLETION o GRADUATION)

- Si instrucción que alcanza la cabecera del ROB *es*
 - ✓ una bifurcación predicha incorrectamente:
 - La **especulación** fue **equivocada**
 - Hay que **vaciar** el *reorder buffer* y continuar la ejecución en la instrucción correcta
 - ✓ otra instrucción y el resultado está en el ROB
 - **Actualizar** el registro o memoria con el resultado
 - **Retirar** la instrucción del ROB

DLX FP especulativo: estructura detallada..

- ❖ Estaciones de reserva (RS): como en Tomasulo salvo que:
 - **Qj (Qk)** no identifica la estación de reserva sino la **entrada del ROB** de la instrucción que producirá el valor del operando fuente S1 (S2)
 - Se añade un campo **Dest** para el identificador de la entrada del ROB correspondiente a la instrucción
- ❖ Tabla registros FP-resultados (trr)
 - Por cada registro se tiene el **identificador** de la **entrada del ROB** de la **instrucción** cuyo **resultado** tiene como **destino** el registro. Un **cero** indica que **ninguna** instrucción en el ROB tiene ese registro como destino.

DLX FP especulativo: estructura detallada

- ❖ CDB. Dos partes:
 - Valor
 - Reorder: identificador de la entrada en el ROB de la instrucción que ha escrito el valor
- ❖ *Reorder buffer* (ROB). Campos por entrada:
 - Busy
 - Instrucción
 - Estado (etapa en la que se encuentra la instrucción)
 - Destino
 - ✓ Identificador del registro o posición de memoria destino del resultado
 - Valor
 - ✓ Almacena el valor del resultado hasta que la instrucción deja de ser especulativa

DLX FP especulativo: comportamiento detallado..

❖ Etapa ISSUE

- Esperar a que una entrada del ROB, **b**, y una estación de reserva, **r**, estén libres. Entonces:
 - ✓ $\text{ROB}[b].\text{Busy} \leftarrow \text{yes}; \text{ROB}[b].\text{Destino} \leftarrow \text{'D'}; \text{trr}[\text{'D'}] \leftarrow b;$
 $\text{RS}[r].\text{Busy} \leftarrow \text{yes}; \text{RS}[r].\text{Dest} \leftarrow b; \text{RS}[r].\text{Op} \leftarrow \text{oper};$
if $\text{trr}[\text{'S1'}] = 0$ **then** $\text{RS}[r].V_j \leftarrow S1$ **else**
 if $\text{ROB}[\text{trr}[\text{'S1'}]].\text{Valor} \neq \emptyset$ **then** $\text{RS}[r].V_j \leftarrow \text{ROB}[\text{trr}[\text{'S1'}]].\text{Valor}$
 else if $\text{CDB}.\text{Reorder} = \text{trr}[\text{'S1'}]$ **then** $\text{RS}[r].V_j \leftarrow \text{CDB}.\text{Valor};$
 else $\text{RS}[r].Q_j \leftarrow \text{trr}[\text{'S1'}];$
if $\text{trr}[\text{'S2'}] = 0$ **then** $\text{RS}[r].V_k \leftarrow S2$ **else**
 if $\text{ROB}[\text{trr}[\text{'S2'}]].\text{Valor} \neq \emptyset$ **then** $\text{RS}[r].V_k \leftarrow \text{ROB}[\text{trr}[\text{'S2'}]].\text{Valor}$
 else if $\text{CDB}.\text{Reorder} = \text{trr}[\text{'S2'}]$ **then** $\text{RS}[r].V_k \leftarrow \text{CDB}.\text{Valor};$
 else $\text{RS}[r].Q_k \leftarrow \text{trr}[\text{'S2'}];$

DLX FP especulativo: comportamiento detallado..

❖ Etapa EJECUCIÓN

- Ejecutar la operación cuando los operandos y la FU estén disponibles, es decir, cuando
 - ✓ $(RS[r].Q_j = 0) \text{ and } (RS[r].Q_k = 0) \text{ and } (FU \text{ disponible})$

❖ Etapa WRITE RESULT

- Esperar a que la ejecución de la instrucción haya terminado y el CDB esté disponible. Entonces:
 - ✓ $CDB.Valor \leftarrow result; CDB.Reorder \leftarrow b;$
 $\forall x \text{ if } RS[x].Q_j = b \text{ then } \{RS[x].V_j \leftarrow result; RS[x].Q_j \leftarrow 0\};$
 $\forall x \text{ if } RS[x].Q_k = b \text{ then } \{RS[x].V_k \leftarrow result; RS[x].Q_k \leftarrow 0\};$
 $RS[r].busy \leftarrow no;$
 $ROB[b].Valor \leftarrow result;$

DLX FP especulativo: comportamiento detallado..

❖ Etapa COMMIT

- Esperar a que la instrucción esté en la cabecera (entrada que llamaremos h) del ROB y haya terminado su ejecución.

Entonces:

✓ **if** (ROB[h].Instrucción = Branch) and (bifurcación mal predicha) **then** {vaciar el ROB y la trr;
actualizar el PC con la dirección del sucesor correcto} **else**
if (ROB[h].Instrucción = Store) **then**
Mem[ROB[h].Destino] $\leftarrow$ ROB[h].Valor **else**
Reg[ROB[h].Destino] $\leftarrow$ ROB[h].Valor;
trr[ROB[h].Destino] $\leftarrow$ 0; ROB[h].Busy $\leftarrow$ no

DLX FP especulativo: ejemplo

Ciclo 1

R S	r	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest
	Add1							
	Add2							
	Mult1							
R O B	Mult2							
	b	Busy	Instrucción		Estado	Destino	Valor	
	1	Yes	LD F6, 34(R2)		Issue	F6		
	2							
	3							
	4							
	5							
	6							
		F0	F2	F4	F6	F8	F10	...
	trr				1			
	Reg							
		CDB.Reorder =			CDB.Valor =			

DLX FP especulativo: ejemplo

Ciclo 2

R S	r	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest
	Add1							
	Add2							
	Mult1							
	Mult2							
R O B	b	Busy	Instrucción		Estado	Destino	Valor	
	1	Yes	LD F6, 34(R2)		Ejec (1 d 2)	F6		
	2	Yes	LD F2, 45(R3)		Issue	F2		
	3							
	4							
	5							
	6							
		F0	F2	F4	F6	F8	F10	...
	trr		2		1			
	Reg							
		CDB.Reorder =			CDB.Valor =			

DLX FP especulativo: ejemplo

Ciclo 3

R S	r	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest
	Add1							
	Add2							
	Mult1	Yes	MULTD		<F4>	#2		#3
	Mult2							
R O B	b	Busy	Instrucción		Estado	Destino	Valor	
	1	Yes	LD F6, 34(R2)		Ejec (2 d 2)	F6		
	2	Yes	LD F2, 45(R3)		Ejec (1 d 2)	F2		
	3	Yes	MULTD F0,F2,F4		Issue	F0		
	4							
	5							
	6							
		F0	F2	F4	F6	F8	F10	...
	trr	3	2		1			
	Reg							
		CDB.Reorder =			CDB.Valor =			

DLX FP especulativo: ejemplo

Ciclo 4

R S	r	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest
	Add1	Yes	SUBD	<34+R2>			#2	#4
	Add2							
	Mult1	Yes	MULTD		<F4>	#2		#3
R O B	Mult2							
	b	Busy	Instrucción		Estado	Destino	Valor	
	1	Yes	LD F6, 34(R2)		WR	F6	<34+R2>	
	2	Yes	LD F2, 45(R3)		Ejec (2 d 2)	F2		
	3	Yes	MULTD F0,F2,F4		Issue	F0		
	4	Yes	SUBD F8,F6,F2		Issue	F8		
	5							
	6							
		F0	F2	F4	F6	F8	F10	...
	trr	3	2		1	4		
	Reg							
		CDB.Reorder = 1			CDB.Valor = <34+R2>			

DLX FP especulativo: ejemplo

Ciclo 5

R S	r	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest
	Add1	Yes	SUBD	<34+R2>	<45+R3>		0	#4
	Add2							
	Mult1	Yes	MULTD	<45+R3>	<F4>	0		#3
	Mult2	Yes	DIVD		<34+R2>	#3		#5
R O B	b	Busy	Instrucción		Estado	Destino	Valor	
	1	No	LD F6, 34(R2)		Commit	F6	<34+R2>	
	2	Yes	LD F2, 45(R3)		WR	F2	<45+R3>	
	3	Yes	MULTD F0, F2, F4		Issue	F0		
	4	Yes	SUBD F8, F6, F2		Issue	F8		
	5	Yes	DIVD F10, F0, F6		Issue	F10		
	6							
		F0	F2	F4	F6	F8	F10	...
	trr	3	2		0	4	5	
	Reg				<34+R2>			
	CDB.Reorder = 2				CDB.Valor = <45+R3>			

DLX FP especulativo: ejemplo

Ciclo 6

RS	r	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest
	Add1	Yes	SUBD	<34+R2>	<45+R3>		0	#4
	Add2	Yes	ADDD		<45+R3>	#4		#6
	Mult1	Yes	MULTD	<45+R3>	<F4>	0		#3
ROB	Mult2	Yes	DIVD		<34+R2>	#3		#5
	b	Busy	Instrucción		Estado	Destino	Valor	
	1	No	LD F6, 34(R2)		Commit	F6	<34+R2>	
	2	No	LD F2, 45(R3)		Commit	F2	<45+R3>	
	3	Yes	MULTD F0, F2, F4		Ejec (1 d 10)	F0		
	4	Yes	SUBD F8, F6, F2		Ejec (1 d 2)	F8		
	5	Yes	DIVD F10, F0, F6		Issue	F10		
	6	Yes	ADDD F6, F8, F2		Issue	F6		
		F0	F2	F4	F6	F8	F10	...
	trr	3	0		6	4	5	
	Reg		<45+R3>		<34+R2>			
		CDB.Reorder =			CDB.Valor =			

DLX FP especulativo: ejemplo

Ciclo 8

RS	r	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest	
	Add1	No	SUBD	<34+R2>	<45+R3>		0	#4	
	Add2	Yes	ADDD	#1 - #2	<45+R3>	0		#6	
	Mult1	Yes	MULTD	<45+R3>	<F4>	0		#3	
	Mult2	Yes	DIVD		<34+R2>	#3		#5	
ROB	b	Busy	Instrucción		Estado	Destino	Valor		
	1	No	LD F6, 34(R2)		Commit	F6	<34+R2>		
	2	No	LD F2, 45(R3)		Commit	F2	<45+R3>		
	3	Yes	MULTD F0, F2, F4		Ejec (3 d 10)	F0			
	4	Yes	SUBD F8, F6, F2		WR	F8	#1 - #2		
	5	Yes	DIVD F10, F0, F6		Issue	F10			
	6	Yes	ADDD F6, F8, F2		Issue	F6			
		F0	F2	F4	F6	F8	F10	...	
	trr	3	0		6	4	5		
	Reg		<45+R3>		<34+R2>				
		CDB.Reorder = 4				CDB.Valor = #1 - #2			

DLX FP especulativo: ejemplo

Ciclo 10

RS	r	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest	
	Add1	No	SUBD	<34+R2>	<45+R3>		0	#4	
	Add2	Yes	ADDD	#1 - #2	<45+R3>	0		#6	
	Mult1	Yes	MULTD	<45+R3>	<F4>	0		#3	
	Mult2	Yes	DIVD		<34+R2>	#3		#5	
ROB	b	Busy	Instrucción		Estado	Destino	Valor		
	1	No	LD F6, 34(R2)		Commit	F6	<34+R2>		
	2	No	LD F2, 45(R3)		Commit	F2	<45+R3>		
	3	Yes	MULTD F0, F2, F4		Ejec (5 d 10)	F0			
	4	Yes	SUBD F8, F6, F2		WR	F8	#1 - #2		
	5	Yes	DIVD F10, F0, F6		Issue	F10			
	6	Yes	ADDD F6, F8, F2		Ejec (2 d 2)	F6			
		F0	F2	F4	F6	F8	F10	...	
	trr	3	0		6	4	5		
	Reg		<45+R3>		<34+R2>				
		CDB.Reorder =				CDB.Valor =			

DLX FP especulativo: ejemplo

Ciclo 11

RS	r	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest	
	Add1	No	SUBD	<34+R2>	<45+R3>		0	#4	
	Add2	No	ADDD	#1 - #2	<45+R3>	0		#6	
	Mult1	Yes	MULTD	<45+R3>	<F4>	0		#3	
	Mult2	Yes	DIVD		<34+R2>	#3		#5	
ROB	b	Busy	Instrucción		Estado	Destino	Valor		
	1	No	LD F6, 34(R2)		Commit	F6	<34+R2>		
	2	No	LD F2, 45(R3)		Commit	F2	<45+R3>		
	3	Yes	MULTD F0, F2, F4		Ejec (6 d 10)	F0			
	4	Yes	SUBD F8, F6, F2		WR	F8	#1 - #2		
	5	Yes	DIVD F10, F0, F6		Issue	F10			
	6	Yes	ADDD F6, F8, F2		WR	F6	#4 + #2		
		F0	F2	F4	F6	F8	F10	...	
	trr	3	0		6	4	5		
	Reg		<45+R3>		<34+R2>				
		CDB.Reorder = 6				CDB.Valor = #4 + #2			

DLX FP especulativo: ejemplo

Ciclo 15

RS	r	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest
	Add1	No	SUBD	<34+R2>	<45+R3>		0	#4
	Add2	No	ADDD	#1 - #2	<45+R3>	0		#6
	Mult1	Yes	MULTD	<45+R3>	<F4>	0		#3
ROB	Mult2	Yes	DIVD		<34+R2>	#3		#5
	b	Busy	Instrucción		Estado	Destino	Valor	
	1	No	LD F6, 34(R2)		Commit	F6	<34+R2>	
	2	No	LD F2, 45(R3)		Commit	F2	<45+R3>	
	3	Yes	MULTD F0, F2, F4		Ejec (10 d 10)	F0		
	4	Yes	SUBD F8, F6, F2		WR	F8	#1 - #2	
	5	Yes	DIVD F10, F0, F6		Issue	F10		
	6	Yes	ADDD F6, F8, F2		WR	F6	#4 + #2	
		F0	F2	F4	F6	F8	F10	...
	trr	3	0		6	4	5	
	Reg		<45+R3>		<34+R2>			
		CDB.Reorder =				CDB.Valor =		

DLX FP especulativo: ejemplo

Ciclo 16

RS	r	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest
	Add1	No	SUBD	<34+R2>	<45+R3>		0	#4
	Add2	No	ADDD	#1 - #2	<45+R3>	0		#6
	Mult1	No	MULTD	<45+R3>	<F4>	0		#3
ROB	Mult2	Yes	DIVD	#2 * <F4>	<34+R2>	0		#5
	b	Busy	Instrucción		Estado	Destino	Valor	
	1	No	LD F6, 34(R2)		Commit	F6	<34+R2>	
	2	No	LD F2, 45(R3)		Commit	F2	<45+R3>	
	3	Yes	MULTD F0, F2, F4		WR	F0	#2 * <F4>	
	4	Yes	SUBD F8, F6, F2		WR	F8	#1 - #2	
	5	Yes	DIVD F10, F0, F6		Issue	F10		
	6	Yes	ADDD F6, F8, F2		WR	F6	#4 + #2	
		F0	F2	F4	F6	F8	F10	...
	trr	3	0		6	4	5	
	Reg		<45+R3>		<34+R2>			
		CDB.Reorder = 3			CDB.Valor = #2 * <F4>			

DLX FP especulativo: ejemplo

Ciclo 17

RS	r	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest
	Add1	No	SUBD	<34+R2>	<45+R3>		0	#4
	Add2	No	ADDD	#1 - #2	<45+R3>	0		#6
	Mult1	No	MULTD	<45+R3>	<F4>	0		#3
ROB	Mult2	Yes	DIVD	#2 * <F4>	<34+R2>	0		#5
	b	Busy	Instrucción		Estado	Destino	Valor	
	1	No	LD F6, 34(R2)		Commit	F6	<34+R2>	
	2	No	LD F2, 45(R3)		Commit	F2	<45+R3>	
	3	No	MULTD F0, F2, F4		Commit	F0	#2 * <F4>	
	4	Yes	SUBD F8, F6, F2		WR	F8	#1 - #2	
	5	Yes	DIVD F10, F0, F6		Ejec (1 d 40)	F10		
	6	Yes	ADDD F6, F8, F2		WR	F6	#4 + #2	
		F0	F2	F4	F6	F8	F10	...
	trr	0	0		6	4	5	
	Reg	#2 * <F4>	<45+R3>		<34+R2>			
		CDB.Reorder =			CDB.Valor =			

DLX FP especulativo: ejemplo

Ciclo 18

RS	r	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest
	Add1	No	SUBD	<34+R2>	<45+R3>		0	#4
	Add2	No	ADDD	#1 - #2	<45+R3>	0		#6
	Mult1	No	MULTD	<45+R3>	<F4>	0		#3
ROB	Mult2	Yes	DIVD	#2 * <F4>	<34+R2>	0		#5
	b	Busy	Instrucción		Estado	Destino	Valor	
	1	No	LD F6, 34(R2)		Commit	F6	<34+R2>	
	2	No	LD F2, 45(R3)		Commit	F2	<45+R3>	
	3	No	MULTD F0, F2, F4		Commit	F0	#2 * <F4>	
	4	No	SUBD F8, F6, F2		Commit	F8	#1 - #2	
	5	Yes	DIVD F10, F0, F6		Ejec (2 d 40)	F10		
	6	Yes	ADDD F6, F8, F2		WR	F6	#4 + #2	
		F0	F2	F4	F6	F8	F10	...
	trr	0	0		6	0	5	
	Reg	#2 * <F4>	<45+R3>		<34+R2>	#1 - #2		
		CDB.Reorder =			CDB.Valor =			

DLX FP especulativo: ejemplo

Ciclo 56

RS	r	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest
	Add1	No	SUBD	<34+R2>	<45+R3>		0	#4
	Add2	No	ADDD	#1 - #2	<45+R3>	0		#6
	Mult1	No	MULTD	<45+R3>	<F4>	0		#3
ROB	Mult2	Yes	DIVD	#2 * <F4>	<34+R2>	0		#5
	b	Busy	Instrucción		Estado	Destino	Valor	
	1	No	LD F6, 34(R2)		Commit	F6	<34+R2>	
	2	No	LD F2, 45(R3)		Commit	F2	<45+R3>	
	3	No	MULTD F0, F2, F4		Commit	F0	#2 * <F4>	
	4	No	SUBD F8, F6, F2		Commit	F8	#1 - #2	
	5	Yes	DIVD F10, F0, F6		Ejec (40 d 40)	F10		
	6	Yes	ADDD F6, F8, F2		WR	F6	#4 + #2	
		F0	F2	F4	F6	F8	F10	...
	trr	0	0		6	0	5	
	Reg	#2 * <F4>	<45+R3>		<34+R2>	#1 - #2		
		CDB.Reorder =			CDB.Valor =			

DLX FP especulativo: ejemplo

Ciclo 57

R S	r	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest
	Add1	No	SUBD	<34+R2>	<45+R3>		0	#4
	Add2	No	ADDD	#1 - #2	<45+R3>	0		#6
	Mult1	No	MULTD	<45+R3>	<F4>	0		#3
R O B	Mult2	No	DIVD	#2 * <F4>	<34+R2>	0		#5
	b	Busy	Instrucción		Estado	Destino	Valor	
	1	No	LD F6, 34(R2)		Commit	F6	<34+R2>	
	2	No	LD F2, 45(R3)		Commit	F2	<45+R3>	
	3	No	MULTD F0, F2, F4		Commit	F0	#2 * <F4>	
	4	No	SUBD F8, F6, F2		Commit	F8	#1 - #2	
	5	Yes	DIVD F10, F0, F6		WR	F10	#3 - #1	
	6	Yes	ADDD F6, F8, F2		WR	F6	#4 + #2	
		F0	F2	F4	F6	F8	F10	...
	trr	0	0		6	0	5	
	Reg	#2 * <F4>	<45+R3>		<34+R2>	#1 - #2		
		CDB.Reorder = 5			CDB.Valor = #3 - #1			

DLX FP especulativo: ejemplo

Ciclo 58

R S	r	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest
	Add1	No	SUBD	<34+R2>	<45+R3>		0	#4
	Add2	No	ADDD	#1 - #2	<45+R3>	0		#6
	Mult1	No	MULTD	<45+R3>	<F4>	0		#3
	Mult2	No	DIVD	#2 * <F4>	<34+R2>	0		#5
R O B	b	Busy	Instrucción		Estado	Destino	Valor	
	1	No	LD F6, 34(R2)		Commit	F6	<34+R2>	
	2	No	LD F2, 45(R3)		Commit	F2	<45+R3>	
	3	No	MULTD F0, F2, F4		Commit	F0	#2 * <F4>	
	4	No	SUBD F8, F6, F2		Commit	F8	#1 - #2	
	5	No	DIVD F10, F0, F6		Commit	F10	#3 - #1	
	6	Yes	ADDD F6, F8, F2		WR	F6	#4 + #2	
		F0	F2	F4	F6	F8	F10	...
	trr	0	0		6	0	0	
	Reg	#2 * <F4>	<45+R3>		<34+R2>	#1 - #2	#3 - #1	
	CDB.Reorder =				CDB.Valor =			

DLX FP especulativo: ejemplo

Ciclo 59

R S	r	Busy	Op	Vj	Vk	Qj	Qk	Dest
	Add1	No	SUBD	<34+R2>	<45+R3>		0	#4
	Add2	No	ADDD	#1 - #2	<45+R3>	0		#6
	Mult1	No	MULTD	<45+R3>	<F4>	0		#3
R O B	Mult2	No	DIVD	#2 * <F4>	<34+R2>	0		#5
	b	Busy	Instrucción		Estado	Destino	Valor	
	1	No	LD F6, 34(R2)		Commit	F6	<34+R2>	
	2	No	LD F2, 45(R3)		Commit	F2	<45+R3>	
	3	No	MULTD F0, F2, F4		Commit	F0	#2 * <F4>	
	4	No	SUBD F8, F6, F2		Commit	F8	#1 - #2	
	5	No	DIVD F10, F0, F6		Commit	F10	#3 - #1	
	6	No	ADDD F6, F8, F2		Commit	F6	#4 + #2	
		F0	F2	F4	F6	F8	F10	...
	trr	0	0		0	0	0	
	Reg	#2 * <F4>	<45+R3>		#4 + #2	#1 - #2	#3 - #1	
		CDB.Reorder =			CDB.Valor =			

ROB y precisión de las interrupciones

- ❖ El ROB permite conseguir interrupciones precisas
 - Los cambios del estado del modelo secuencial no son definitivos hasta que las instrucciones terminan la etapa *commit* (lo cual ocurre en orden)
 - Las interrupciones provocadas por una instrucción
 - ✓ Se anotan en el ROB
 - ✓ No se atienden hasta que la instrucción está en la cabecera del *reorder buffer*

Especulación en procesadores de emisión múltiple

❖ Dificultades por superar:

- Decidir qué instrucciones pueden ser emitidas en el mismo ciclo
- Renombrar los registros de varias instrucciones en un mismo ciclo
- Es preciso aumentar la anchura del CDB
 - ✓ Mayor dificultad para observar desde las estaciones de reserva lo que se escribe en el CDB