Arquitecturas y Organización de Computadoras I

4: Microarquitectura/Organización: Segmentación (paralelismo a nivel de instrucciones)

Rafael Ignacio Zurita

Depto. Ingeniería de Computadoras

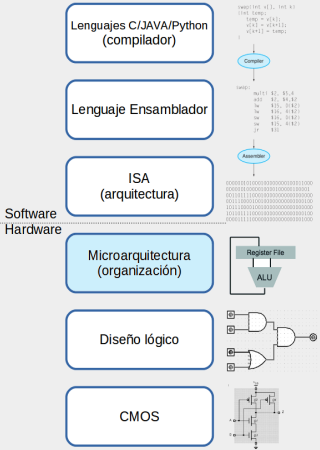
October 19, 2020

Segmentación (Pipeling)

- Ejemplo de segmentación y paralelismo en una lavandería
- Camino de datos segmentado (microarquitectura MIPS)
- Mejora del rendimiento
- Ejemplo con una única instruccion: lw
- Unidad de Control: generación de señales
- Ejemplo de una secuencia de instrucciones
- Problemas que surgen con la segmentación (HAZARDS)

» Temario

Microarquitectura segmentada (pipeling)



- Concepto de Paralelismo a nivel de instrucciones
- Mejora la productividad (no la latencia)
- Se maximiza el uso de las unidades funcionales
- Mejora el ciclo de reloj (frecuencia de reloj)

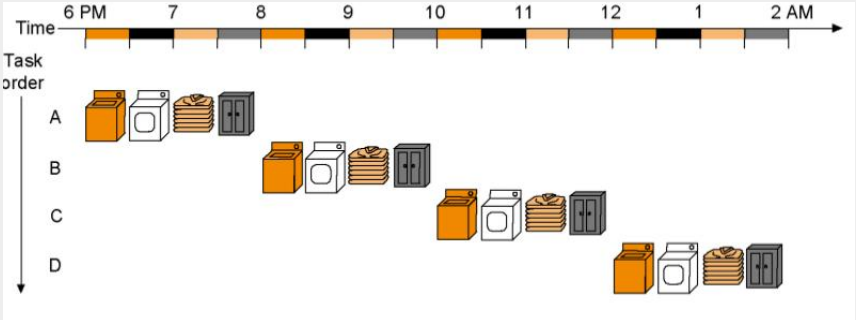
Segmentación (Pipeling)

- Ejemplo de segmentación y paralelismo en una lavandería
- Camino de datos segmentado (microarquitectura MIPS)
- Mejora del rendimiento
- Ejemplo con una única instruccion: lw
- Unidad de Control: generación de señales
- Ejemplo de una secuencia de instrucciones
- Problemas que surgen con la segmentación (HAZARDS)

» Implementación de la Microarquitectura

Ejemplo de la lavandería

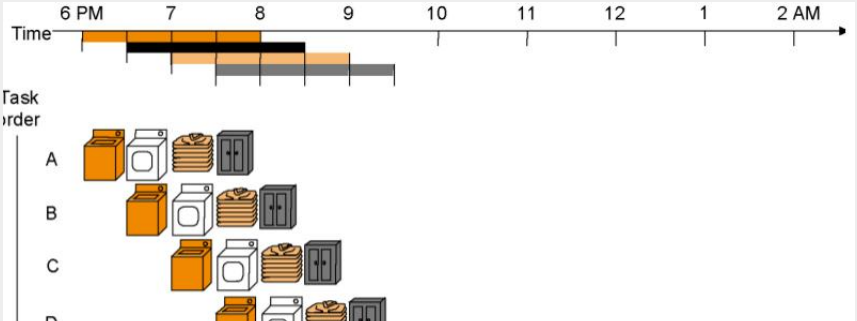
- Problema de trabajo
  - Cuatro etapas de tareas
  - Tiempos balanceados (aprox. 30 min.)
  - Secuencia fija de pasos
  - Tiempo total para n trabajos = (n * 2hs.)



» Implementación de la Microarquitectura

Ejemplo de la lavandería

* Optimizacion real
  * Las unidades operan independientemente
  * Se pueden utilizar unidades al mismo tiempo
  * Tiempo promedio por lavado similar al anterior
  * Tiempo total para n cargas = aprox. (n * tiempo por etapa)



Segmentación (Pipeling)

- Ejemplo de segmentación y paralelismo en una lavandería
- **Camino de datos segmentado (microarquitectura MIPS)**
- Mejora del rendimiento
- Ejemplo con una única instruccion: lw
- Unidad de Control: generación de señales
- Ejemplo de una secuencia de instrucciones
- Problemas que surgen con la segmentación (HAZARDS)

» Implementación de la Microarquitectura

Microarquitectura segmentada

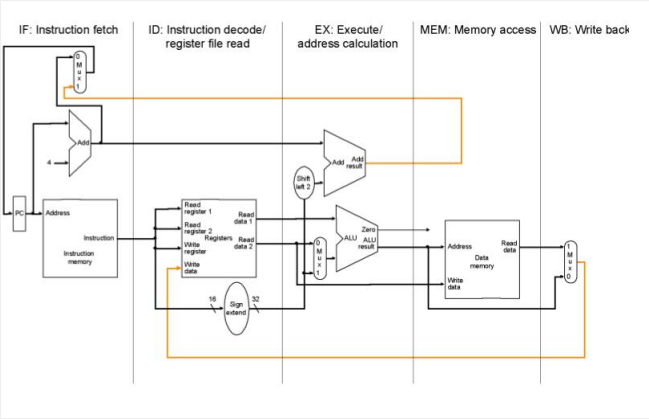
- Uso de varias unidades al mismo
- Compartir elementos entre diferentes instrucciones
- **Paralelismo a nivel de instrucciones**

Precondiciones

- Diseño del conjunto de instrucciones
  - Instrucciones de ancho fijo (idealmente)
  - Pocos formatos de instrucciones
  - Operandos en memoria sólo para instrucciones de carga y almacenamiento
  - Datos alineados
- Origen de los problemas
  - Instrucciones con longitud variable
  - Datos no alineados

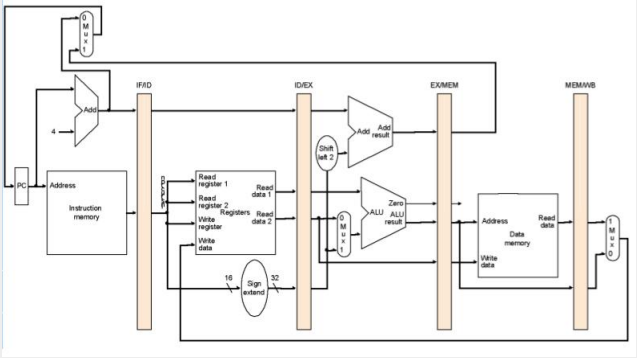
» Implementación de la Microarquitectura

Camino de datos de un ciclo



» Implementación de la Microarquitectura

Camino de datos segmentado



» Camino de datos segmentado

Camino de datos segmentado

- Idea clave: aumentar la productividad (no la latencia)
- Hardware mas complejo: registros de la microarquitectura
- Posibilita un incremento de la frecuencia del reloj

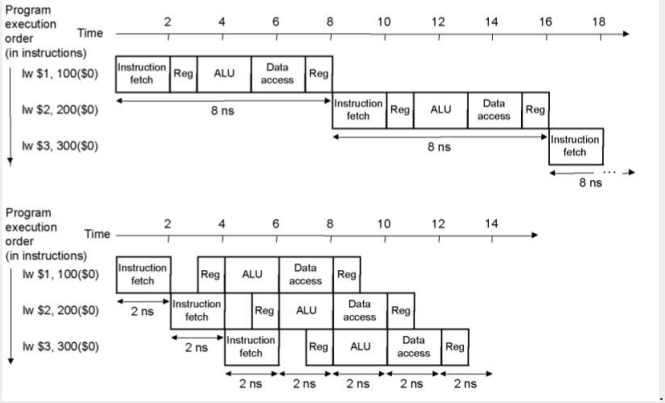
Segmentación (Pipeling)

- Ejemplo de segmentación y paralelismo en una lavandería
- Camino de datos segmentado (microarquitectura MIPS)
- **Mejora del rendimiento**
- Ejemplo con una única instruccion: lw
- Unidad de Control: generación de señales
- Ejemplo de una secuencia de instrucciones
- Problemas que surgen con la segmentación (HAZARDS)

» Mejora del rendimiento con la segmentación

Tiempo de ejecución

Ciclo único vs. ejecución segmentada



Tiempo de ejecución = Número de instrucciones × CPI × Tiempo de ciclo

o bien, dado que la frecuencia es el inverso del tiempo de ciclo:

$$\text{Tiempo de ejecución} = \frac{\text{Número de instrucciones} \times \text{CPI}}{\text{Frecuencia de reloj}}$$

Estas fórmulas son especialmente útiles porque distinguen los tres factores claves que influyen en las prestaciones. Estas fórmulas se pueden utilizar para comparar dos realizaciones diferentes o para evaluar un diseño alternativo si se conoce el impacto en estos tres parámetros.

Componentes de las prestaciones	Unidades de medida
Tiempo de ejecución de CPU de un programa	Segundos por programa
Número de instrucciones	Número de instrucciones ejecutadas por el programa
Ciclos por instrucción (CPI)	Número medio de ciclos por instrucción
Tiempo de ciclo del reloj	Segundos por ciclo de reloj

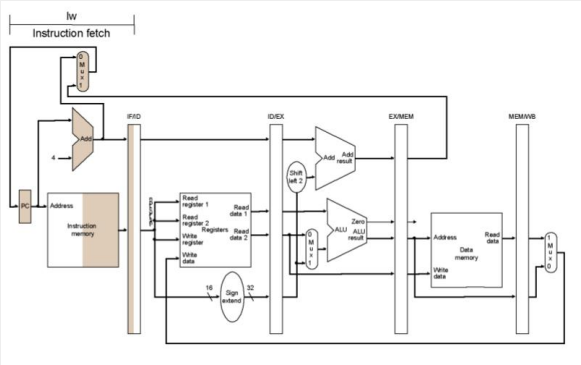
La microarquitectura segmentada mejora la **duración del ciclo de reloj (frecuencia del reloj)**

Segmentación (Pipeling)

- Ejemplo de segmentación y paralelismo en una lavandería
- Camino de datos segmentado (microarquitectura MIPS)
- Mejora del rendimiento
- **Ejemplo con una única instruccion: lw**
- Unidad de Control: generación de señales
- Ejemplo de una secuencia de instrucciones
- Problemas que surgen con la segmentación (HAZARDS)

» Ejemplo con una única instruccion: lw

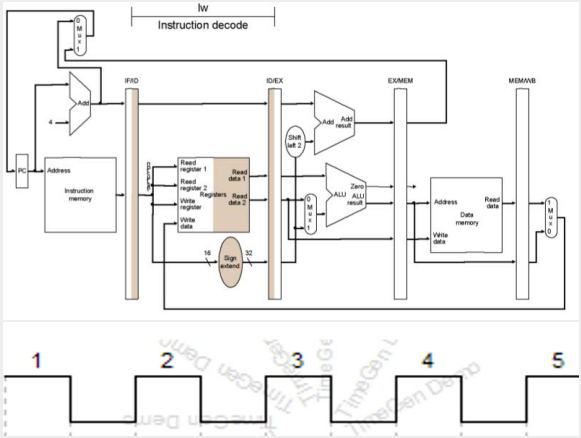
* PC es calculado en la primera etapa



» Ejemplo con una única instruccion: lw

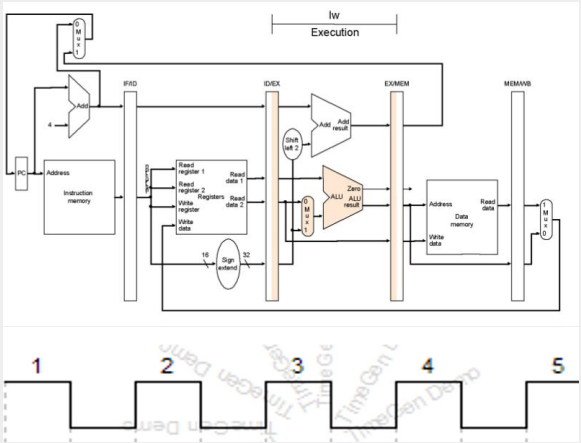
Etapas

- Decodificar la instrucción
- Leer datos del archivo de registros



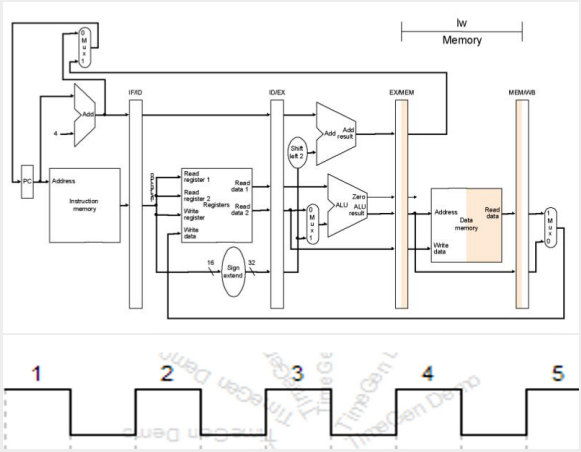
» Ejemplo con una única instruccion: lw

* Calculo de la dirección efectiva



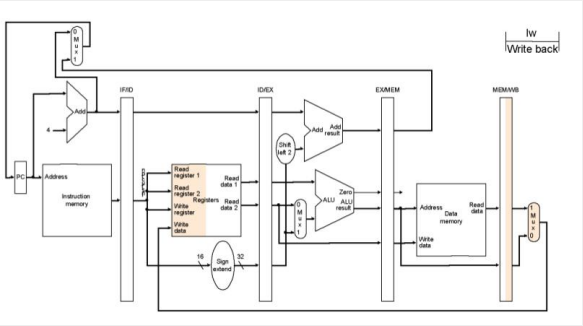
» Ejemplo con una única instruccion: lw

* Acceso a la memoria de datos



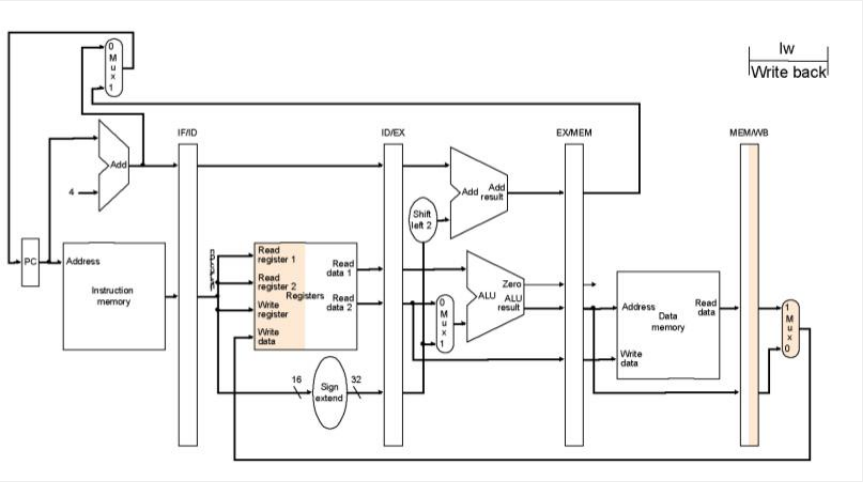
» Ejemplo con una única instruccion: lw

* Escritura del dato en el archivo de registros



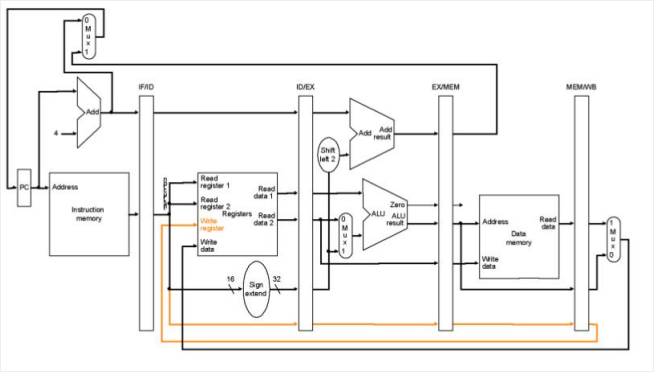
» Ejemplo con una única instruccion: lw

- ¿Cómo pueden llegar las señales del registro destino?



» Ejemplo con una única instruccion: lw

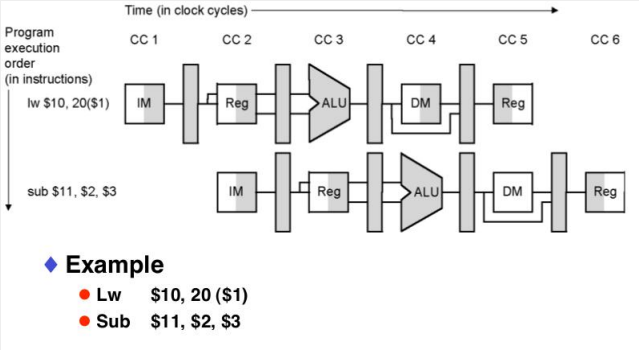
- **¿Cómo pueden llegar las señales del registro destino?**
- Utilizando registros de la microarquitectura entre las etapas
- Las señales son copiadas entre las etapas



» Implementación de la Microarquitectura

Representación visual del camino segmentado

* Orientado a los recursos utilizados
* Diagrama simplificado

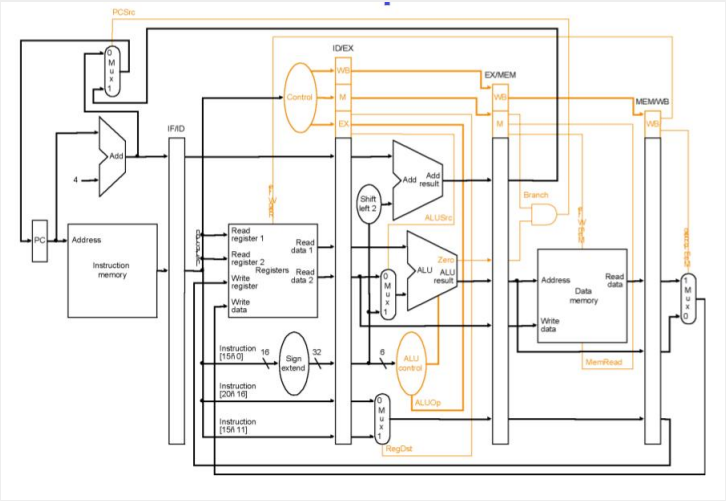


Segmentación (Pipeling)

- Ejemplo de segmentación y paralelismo en una lavandería
- Camino de datos segmentado (microarquitectura MIPS)
- Mejora del rendimiento
- Ejemplo con una única instruccion: lw
- **Unidad de Control: generación de señales**
- Ejemplo de una secuencia de instrucciones
- Problemas que surgen con la segmentación (HAZARDS)

» Implementación de la Microarquitectura

Unidad de control: generación de las señales



Segmentación (Pipeling)

- Ejemplo de segmentación y paralelismo en una lavandería
- Camino de datos segmentado (microarquitectura MIPS)
- Mejora del rendimiento
- Ejemplo con una única instruccion: lw
- Unidad de Control: generación de señales
- **Ejemplo de una secuencia de instrucciones**
- Problemas que surgen con la segmentación (HAZARDS)

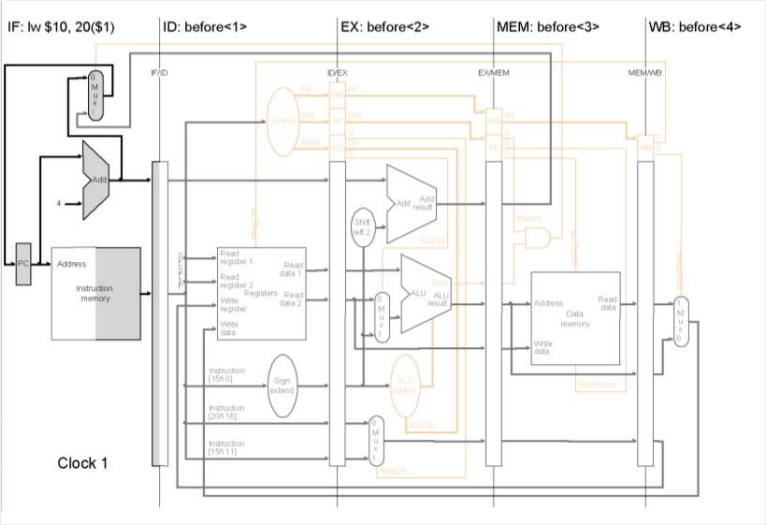
» Implementación de la Microarquitectura

Ejemplo de una secuencia de instrucciones

- lw $10, 20 ($1)
- sub $11, $2, $3
- and $12, $4, $5
- or $13, $6, $7
- add $14, $8, $9

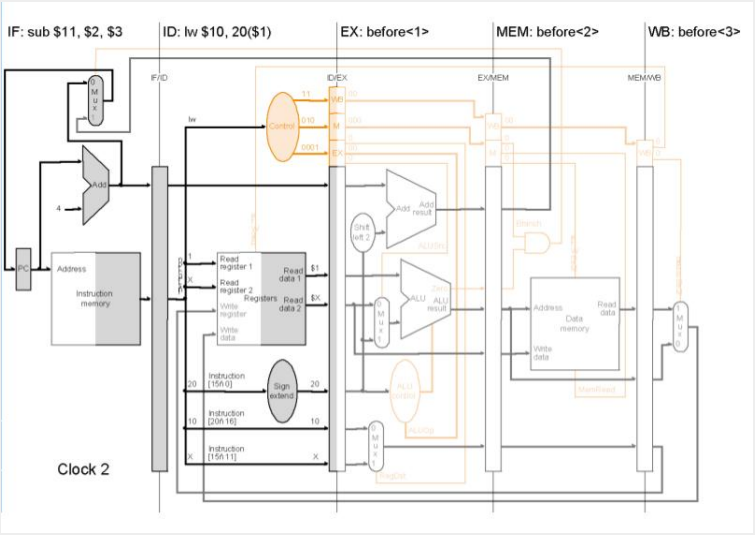
» Ejemplo de una secuencia de instrucciones

- lw $10, 20 ($1)
- sub $11, $2, $3
- and $12, $4, $5
- or $13, $6, $7
- add $14, $8, $9



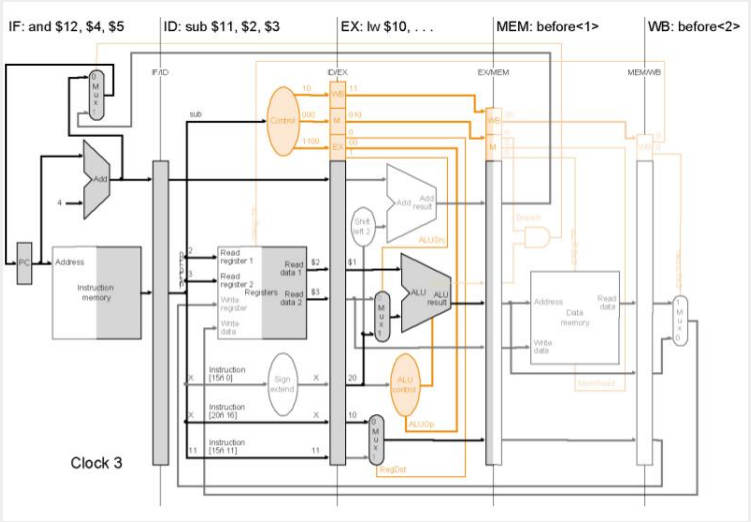
» Ejemplo de una secuencia de instrucciones

- lw $10, 20 ($1)
- sub $11, $2, $3
- and $12, $4, $5
- or $13, $6, $7
- add $14, $8, $9



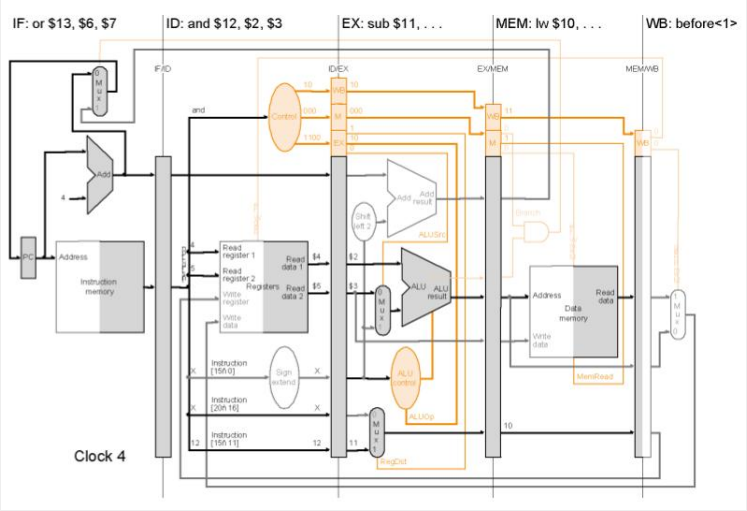
» Ejemplo de una secuencia de instrucciones

- lw $10, 20 ($1)
- sub $11, $2, $3
- and $12, $4, $5
- or $13, $6, $7
- add $14, $8, $9



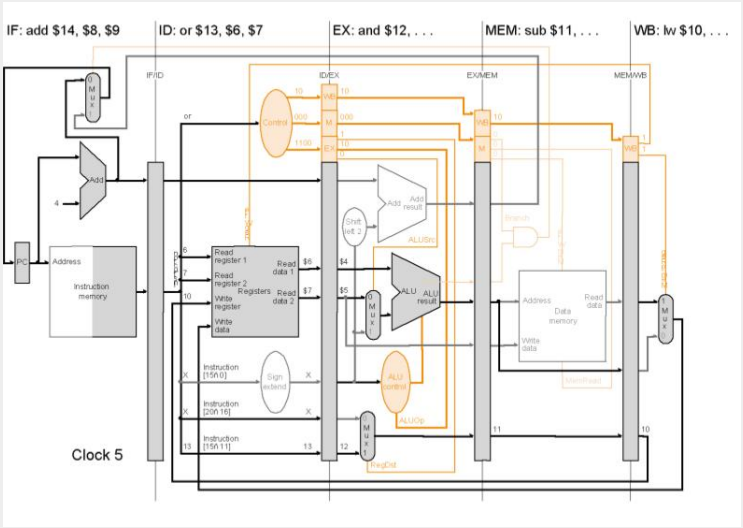
» Ejemplo de una secuencia de instrucciones

- lw $10, 20 ($1)
- sub $11, $2, $3
- and $12, $4, $5
- or $13, $6, $7
- add $14, $8, $9



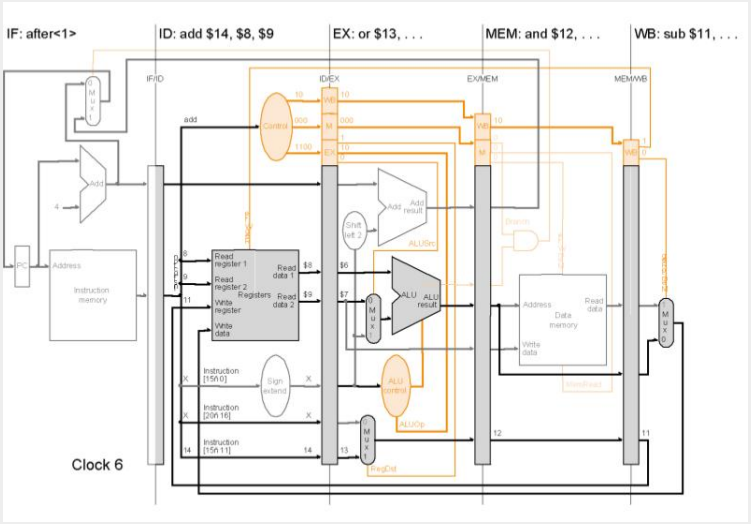
» Ejemplo de una secuencia de instrucciones

- lw $10, 20 ($1)
- sub $11, $2, $3
- and $12, $4, $5
- or $13, $6, $7
- add $14, $8, $9



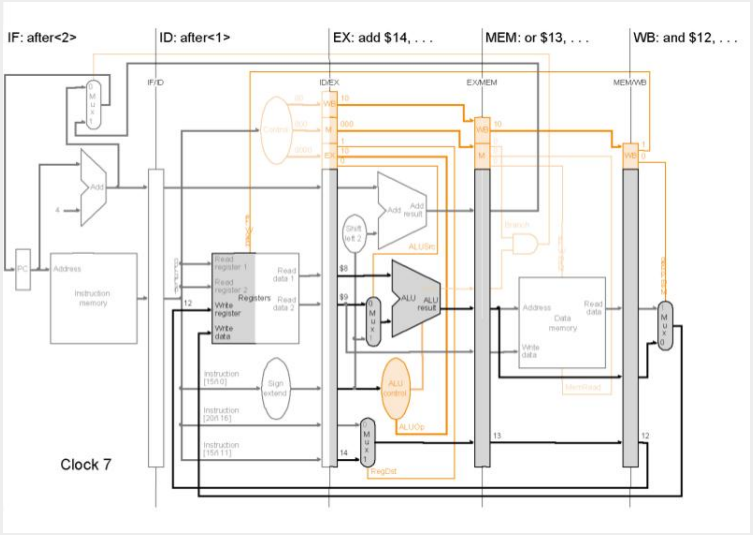
» Ejemplo de una secuencia de instrucciones

- lw $10, 20 ($1)
- sub $11, $2, $3
- and $12, $4, $5
- or $13, $6, $7
- add $14, $8, $9



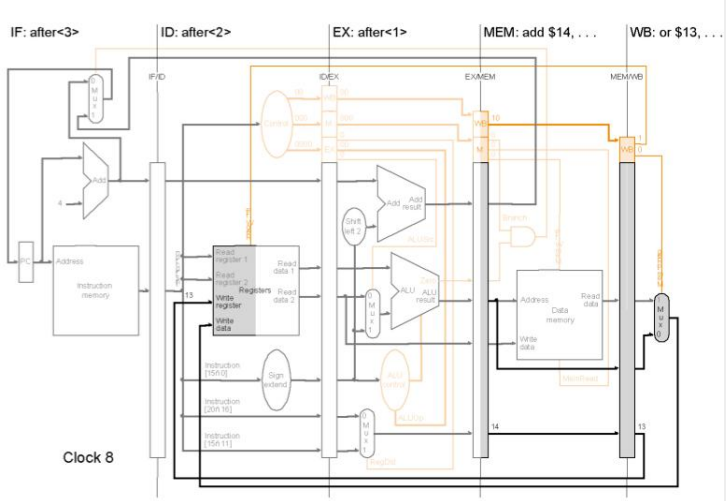
» Ejemplo de una secuencia de instrucciones

- lw $10, 20 ($1)
- sub $11, $2, $3
- and $12, $4, $5
- or $13, $6, $7
- add $14, $8, $9



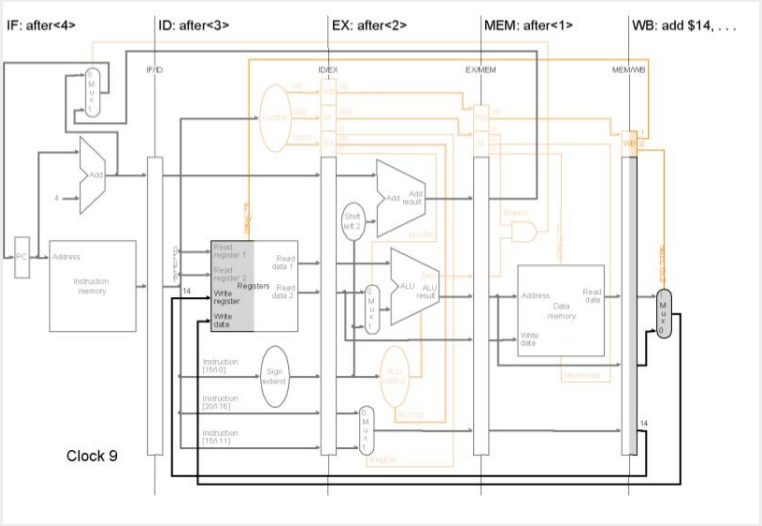
» Ejemplo de una secuencia de instrucciones

- lw $10, 20 ($1)
- sub $11, $2, $3
- and $12, $4, $5
- or $13, $6, $7
- add $14, $8, $9



» Ejemplo de una secuencia de instrucciones

- lw $10, 20 ($1)
- sub $11, $2, $3
- and $12, $4, $5
- or $13, $6, $7
- add $14, $8, $9



Segmentación (Pipeling)

- Ejemplo de segmentación y paralelismo en una lavandería
- Camino de datos segmentado (microarquitectura MIPS)
- Mejora del rendimiento
- Ejemplo con una única instruccion: lw
- Unidad de Control: generación de señales
- Ejemplo de una secuencia de instrucciones
- **Problemas que surgen con la segmentación (HAZARDS)**

» Problemas de la segmentación (HAZARDS)

y sus soluciones o alternativas

- Estructurales: dos o más instrucciones intentando utilizar una misma unidad
- Datos: dependencias

Formas de tratarlos

- Compilador
  - Reordenar instrucciones
  - Agregar detenciones (instrucciones nop)
- Unidad de control
  - Detectar el problema (hazard)
  - Realizar una o más detenciones (stall), o
  - Reenvío de señales entre etapas (Forwarding)

» Problemas de la segmentación (HAZARDS)

y sus soluciones o alternativas

Ejemplo de una dependencia de datos (data hazard)

Secuencia de instrucciones

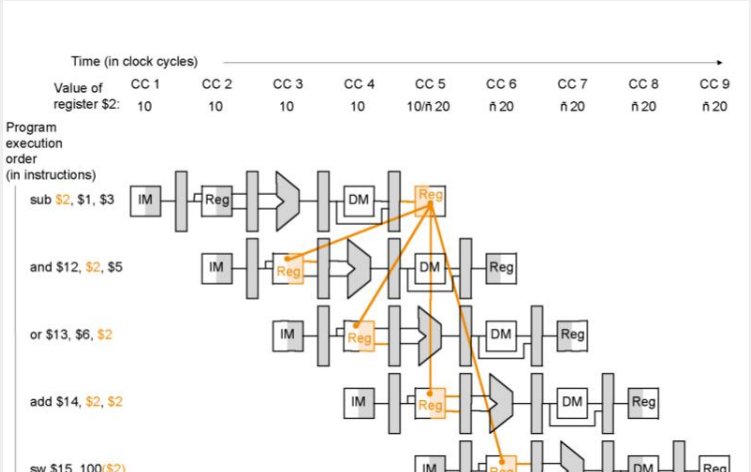
```
SUB   $2,  $1,  $3
AND   $12, $2,  $5
OR    $13, $6,  $2
ADD   $14, $2,  $2
SW    $15, 100 ($2)
```

» Problemas de la segmentación (HAZARDS)

y sus soluciones o alternativas

Ejemplo de una dependencia de datos (data hazard)

Visión del problema en el camino de datos



» Problemas de la segmentación (HAZARDS)

y sus soluciones o alternativas

Ejemplo de una dependencia de datos (data hazard)

Solución 1: Resuelta por el compilador puede demorar algunas instrucciones

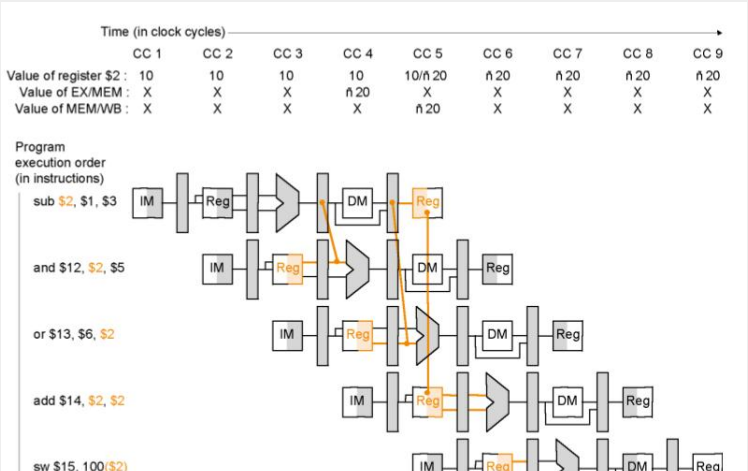
```
SUB   $2,   $1,   $3
NOP
NOP
AND   $12,  $2,   $5
OR    $13,  $6,   $2
ADD   $14,  $2,   $2
SW    $15,  100 ($2)
```

» Problemas de la segmentación (HAZARDS)

y sus soluciones o alternativas

Ejemplo de una dependencia de datos (data hazard)

Solución 1: Unidad de control mas compleja (forwarding)



» Hazards: Cuando no puede evitarse la detencción

- Delay slot: Se necesita una solución arquitectural (en MIPS lo soluciona el compilador)
- Dependencias inevitables (el dato no está disponible en ninguna etapa)

» Consejos y preguntas

* ¿Preguntas?

» Bibliografía

Libros

* David. Patterson John L. Hennessy (1995), ORGANIZACIÓN Y DISEÑO DE COMPUTADORES La interfaz hardware/software, McGraw-Hill (8 copias en biblioteca).