

Arquitecturas y Organización de Computadoras I

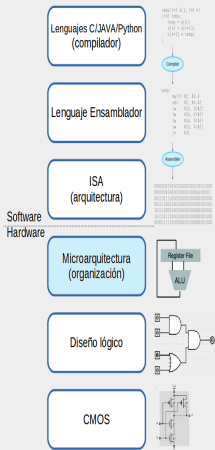
3: Microarquitectura/Organización: El camino de datos

Rafael Ignacio Zurita

Depto. Ingeniería de Computadoras

October 13, 2020

Microarquitectura



Como implementar una arquitectura en hardware **meta: costo, rendimiento, etc**

La microarquitectura está compuesta por registros, archivos de registros, control, ALU, multiplexores, decodificadores, etc.

Todos estos componentes son circuitos combinatoriales o circuitos secuenciales

Estos circuitos digitales son construídos físicamente en la actualidad con circuitos CMOS

» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

- * Al evaluar/definir el rendimiento de una computadora:
 - * La **Arquitectura y el compilador** definen la cantidad de instrucciones que se ejecutan de un programa
 - * La **Organización/Microarquitectura** definen:
 - * la cantidad de ciclos de reloj por instrucción
 - * el tiempo del período del reloj (y por lo tanto la frecuencia)
- * Los principios básicos de diseño de MIPS se observan en su microarquitectura:
 - * Hacer rápido el caso común
 - * La Simplicidad favorece a la Regularidad

» Implementación de la Microarquitectura

COMO se diseña una Microarquitectura (diseño del procesador)

1. Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)

» Implementación de la Microarquitectura

COMO se diseña una Microarquitectura (diseño del procesador)

1. Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)
 - * Obtener los requerimientos del camino de datos

» Implementación de la Microarquitectura

COMO se diseña una Microarquitectura (diseño del procesador)

1. Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)
 - * Obtener los requerimientos del camino de datos
2. Seleccionar los **componentes** y establecer la **metodología** del reloj

» Implementación de la Microarquitectura

COMO se diseña una Microarquitectura (diseño del procesador)

1. Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)
 - * Obtener los requerimientos del camino de datos
2. Seleccionar los **componentes** y establecer la **metodología** del reloj
 - * Ejemplo: registros, ALU. Flanco de subida.

» Implementación de la Microarquitectura

COMO se diseña una Microarquitectura (diseño del procesador)

1. Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)
 - * Obtener los requerimientos del camino de datos
2. Seleccionar los **componentes** y establecer la **metodología** del reloj
 - * Ejemplo: registros, ALU. Flanco de subida.
3. Diseñar el **camino de datos** para cumplir los requerimientos

» Implementación de la Microarquitectura

COMO se diseña una Microarquitectura (diseño del procesador)

1. Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)
 - * Obtener los requerimientos del camino de datos
2. Seleccionar los **componentes** y establecer la **metodología** del reloj
 - * Ejemplo: registros, ALU. Flanco de subida.
3. Diseñar el **camino de datos** para cumplir los requerimientos
 - * Ejemplo: conectar las señales de salida del archivo de registros con la ALU.

» Implementación de la Microarquitectura

COMO se diseña una Microarquitectura (diseño del procesador)

1. Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)
 - * Obtener los requerimientos del camino de datos
2. Seleccionar los **componentes** y establecer la **metodología** del reloj
 - * Ejemplo: registros, ALU. Flanco de subida.
3. Diseñar el **camino de datos** para cumplir los requerimientos
 - * Ejemplo: conectar las señales de salida del archivo de registros con la ALU.
4. Determinar las **señales de control** para cada instrucción

» Implementación de la Microarquitectura

COMO se diseña una Microarquitectura (diseño del procesador)

1. Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)
 - * Obtener los requerimientos del camino de datos
2. Seleccionar los **componentes** y establecer la **metodología** del reloj
 - * Ejemplo: registros, ALU. Flanco de subida.
3. Diseñar el **camino de datos** para cumplir los requerimientos
 - * Ejemplo: conectar las señales de salida del archivo de registros con la ALU.
4. Determinar las **señales de control** para cada instrucción
 - * Ejemplo: señales de "sumar" hacia la ALU, cuando hay que calcular la dirección efectiva

» Implementación de la Microarquitectura

COMO se diseña una Microarquitectura (diseño del procesador)

1. Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)
 - * Obtener los requerimientos del camino de datos
2. Seleccionar los **componentes** y establecer la **metodología** del reloj
 - * Ejemplo: registros, ALU. Flanco de subida.
3. Diseñar el **camino de datos** para cumplir los requerimientos
 - * Ejemplo: conectar las señales de salida del archivo de registros con la ALU.
4. Determinar las **señales de control** para cada instrucción
 - * Ejemplo: señales de "sumar" hacia la ALU, cuando hay que calcular la dirección efectiva
5. Diseñar la **lógica de control (unidad de control)** que genera las señales de control

» Implementación de la Microarquitectura

COMO se diseña una Microarquitectura (diseño del procesador)

1. Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)
 - * Obtener los requerimientos del camino de datos
2. Seleccionar los **componentes** y establecer la **metodología** del reloj
 - * Ejemplo: registros, ALU. Flanco de subida.
3. Diseñar el **camino de datos** para cumplir los requerimientos
 - * Ejemplo: conectar las señales de salida del archivo de registros con la ALU.
4. Determinar las **señales de control** para cada instrucción
 - * Ejemplo: señales de "sumar" hacia la ALU, cuando hay que calcular la dirección efectiva
5. Diseñar la **lógica de control (unidad de control)** que genera las señales de control
 - * Ejemplo: Circuito combinacional o máquina de estados

» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

1. Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)
 - * **Obtener los requerimientos del camino de datos**
2. Seleccionar los *componentes* y establecer la *metodología* del reloj
3. Componer el *camino de datos* para cumplir los requerimientos
4. Determinar las *señales de control* para cada instrucción
5. Componer la *lógica de control (unidad de control)* para generar las señales de control

» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

1. Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)

* Obtener los requerimientos del camino de datos

Assembly Code	Machine Code
lw \$t2, 32(\$0)	0x8C0A0020
add \$s0, \$s1, \$s2	0x02328020
addi \$t0, \$s3, -12	0x2268FFF4
sub \$t0, \$t3, \$t5	0x016D4022

Stored Program

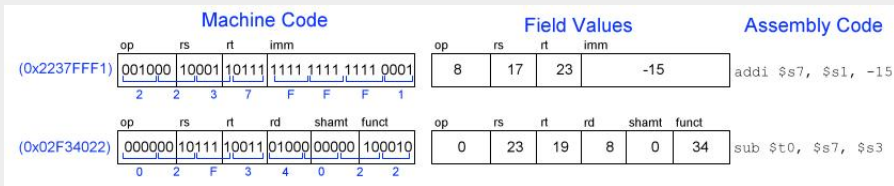
Address	Instructions
⋮	⋮
0040000C	0 1 6 D 4 0 2 2
00400008	2 2 6 8 F F F 4
00400004	0 2 3 2 8 0 2 0
00400000	8 C 0 A 0 0 2 0 ← PC
⋮	⋮

» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

1. Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)

* Obtener los requerimientos del camino de datos



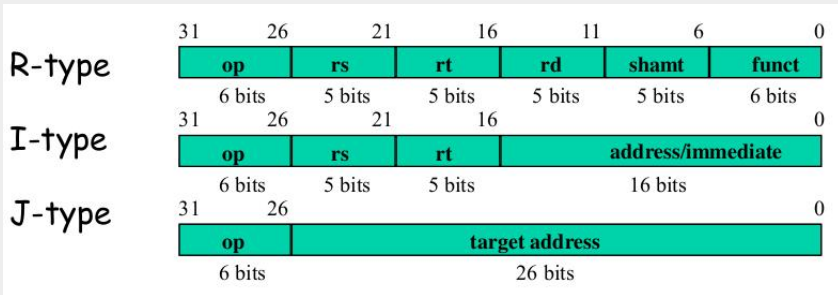
¿Qué tipos de instrucciones (formato) MIPS son las dos anteriores?

» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

1. Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)

- * Obtener los requerimientos del camino de datos



» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

1. Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)

- * **Obtener los requerimientos del camino de datos**

- * Para nuestro diseño contemplaremos un conjunto de instrucciones MIPS reducido:

1. De tipo-R: and, or, add, sub, slt
2. De carga y almacenamiento (tipo-i): lw, sw
3. De bifurcación (tipo-i): beq
4. De salto (tipo-j): j

» Implementación de la Microarquitectura

Multiple implementaciones para una misma arquitectura

1. Camino de datos de un único ciclo
 - * Cada instrucción se ejecuta en un único ciclo de reloj
2. Multiciclo
 - * Cada instrucción es dividida en una serie de pasos más cortos, y cada paso toma un ciclo de reloj
3. Segmentado (pipelined)
 - * Cada instrucción es dividida en una serie de pasos, cada paso toma un ciclo de reloj
 - * Múltiples instrucciones se ejecutan a la vez

» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

- * **REQUERIMIENTOS** Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)
- * Controlar la memoria
 - * Leer instrucciones
 - * Leer y escribir datos
- * Controlar el archivo de 32 registros
 - * Leer el valor de un registro (indicado por el campo rs)
 - * Leer el valor de un registro (indicado por el campo rt)
 - * Escribir un valor en un registro (indicado por el campo rd o rt)
- * Controlar el PC
- * Poder extender el signo de un número
- * Realizar operaciones aritméticas y lógicas
- * Poder sumar 4 al PC

» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

1. Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)
 - * Obtener los requerimientos del camino de datos
2. **Seleccionar los *componentes* y establecer la *metodología* del reloj**
3. Componer el *camino de datos* para cumplir los requerimientos
4. Determinar las *señales de control* para cada instrucción
5. Componer la *lógica de control (unidad de control)* para generar las señales de control

» Implementación de la Microarquitectura

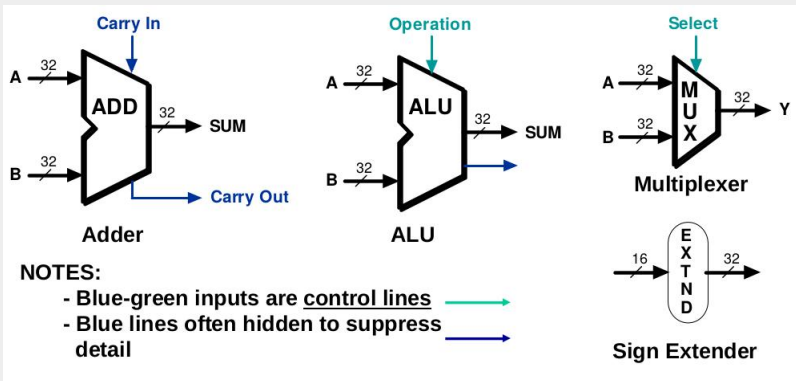
Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

- * **Seleccionar los *componentes***
- * Componentes combinacionales
 - * Sumador
 - * ALU
 - * Multiplexores
 - * Extensor de signo
- * Elementos de memoria
 - * Registros de la microarquitectura
 - * Archivo de registros
 - * Memoria

» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

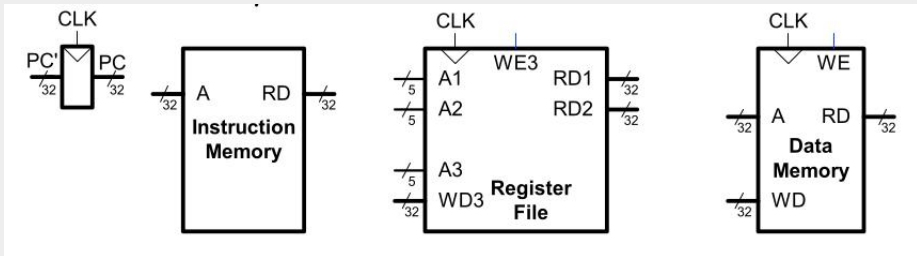
* Componentes Combinacionales



» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

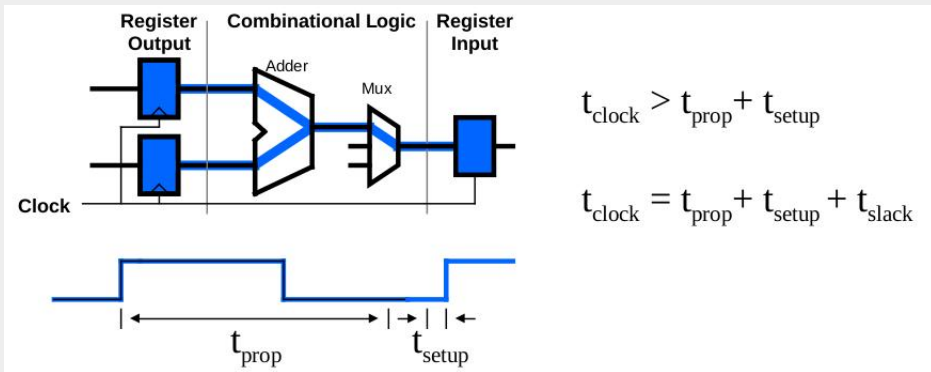
* Elementos de Memoria



» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

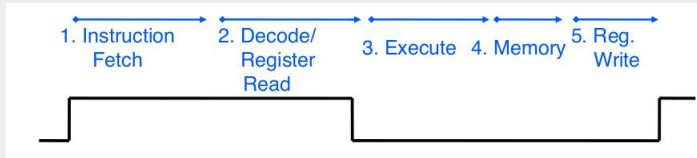
* Metodología del Reloj



» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

* Metodología del Reloj



» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

1. Analizar el conjunto de instrucciones (ISA)
 - * Obtener los requerimientos del camino de datos
2. Seleccionar los *componentes* y establecer la *metodología* del reloj
3. **Componer el *camino de datos* para cumplir los requerimientos**
4. Determinar las *señales de control* para cada instrucción
5. Componer la *lógica de control (unidad de control)* para generar las señales de control

» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

- * Componer el *camino de datos* para cumplir los requerimientos
- * Tareas del procesador que se deben implementar
 1. Leer una instrucción desde la memoria
- * ¿Cómo implementar estas tareas con un camino de datos hardware?

» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

- * Componer el *camino de datos* para cumplir los requerimientos
- * Tareas del procesador que se deben implementar
 1. Leer una instrucción desde la memoria
 2. Decodificar la instrucción y leer los valores de los registros involucrados
- * ¿Cómo implementar estas tareas con un camino de datos hardware?

» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

- * Componer el *camino de datos* para cumplir los requerimientos
- * Tareas del procesador que se deben implementar
 1. Leer una instrucción desde la memoria
 2. Decodificar la instrucción y leer los valores de los registros involucrados
 3. Incrementar el PC
- * ¿Cómo implementar estas tareas con un camino de datos hardware?

» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

- * Componer el *camino de datos* para cumplir los requerimientos
- * Tareas del procesador que se deben implementar
 1. Leer una instrucción desde la memoria
 2. Decodificar la instrucción y leer los valores de los registros involucrados
 3. Incrementar el PC
 4. Si es necesario, realizar una operación con la ALU
- * ¿Cómo implementar estas tareas con un camino de datos hardware?

» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

- * Componer el *camino de datos* para cumplir los requerimientos
- * Tareas del procesador que se deben implementar
 1. Leer una instrucción desde la memoria
 2. Decodificar la instrucción y leer los valores de los registros involucrados
 3. Incrementar el PC
 4. Si es necesario, realizar una operación con la ALU
 5. Si se calcula una dirección efectiva, realizar una operación de carga y almacenamiento
- * ¿Cómo implementar estas tareas con un camino de datos hardware?

» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

- * Componer el *camino de datos* para cumplir los requerimientos
- * Tareas del procesador que se deben implementar
 1. Leer una instrucción desde la memoria
 2. Decodificar la instrucción y leer los valores de los registros involucrados
 3. Incrementar el PC
 4. Si es necesario, realizar una operación con la ALU
 5. Si se calcula una dirección efectiva, realizar una operación de carga y almacenamiento
 6. Escribir los resultados en el archivo de registros (si es necesario)
- * ¿Cómo implementar estas tareas con un camino de datos hardware?

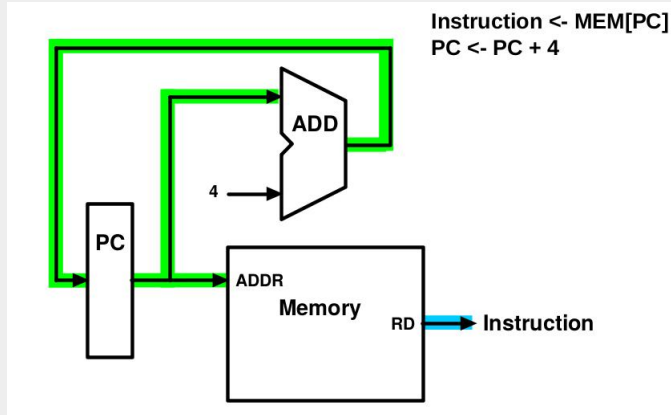
» Implementación de la Microarquitectura

Diseño de la Microarquitectura (diseño del procesador)

- * Componer el *camino de datos* para cumplir los requerimientos
- * Tareas del procesador que se deben implementar
 1. Leer una instrucción desde la memoria
 2. Decodificar la instrucción y leer los valores de los registros involucrados
 3. Incrementar el PC
 4. Si es necesario, realizar una operación con la ALU
 5. Si se calcula una dirección efectiva, realizar una operación de carga y almacenamiento
 6. Escribir los resultados en el archivo de registros (si es necesario)
 7. Escribir el nuevo valor del PC en el registro PC
- * ¿Cómo implementar estas tareas con un camino de datos hardware?

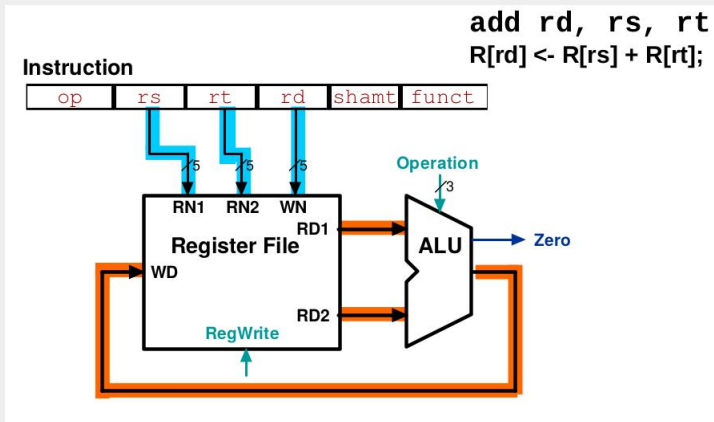
» Implementación de la Microarquitectura

Camino de datos para leer una instrucción desde la memoria



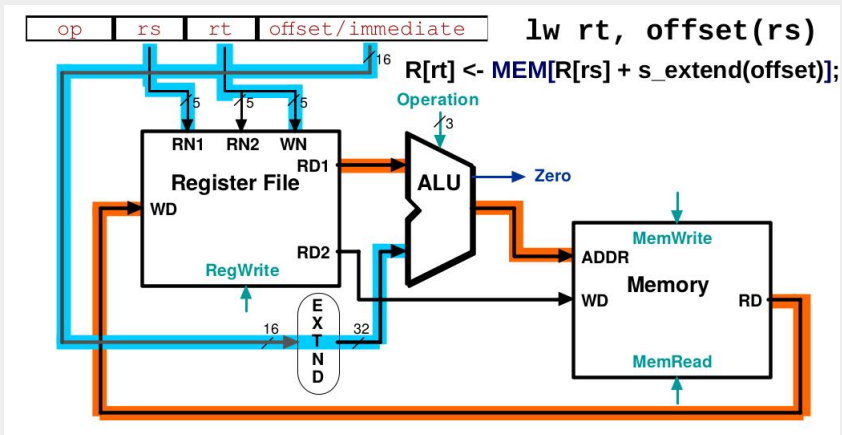
» Implementación de la Microarquitectura

Camino de datos ejecutar una operación de tipo R



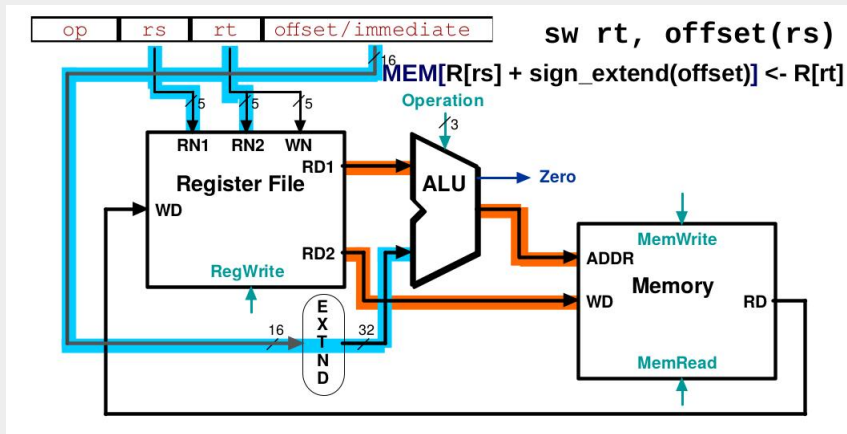
» Implementación de la Microarquitectura

Camino de datos ejecutar una operación de carga y almacenamiento



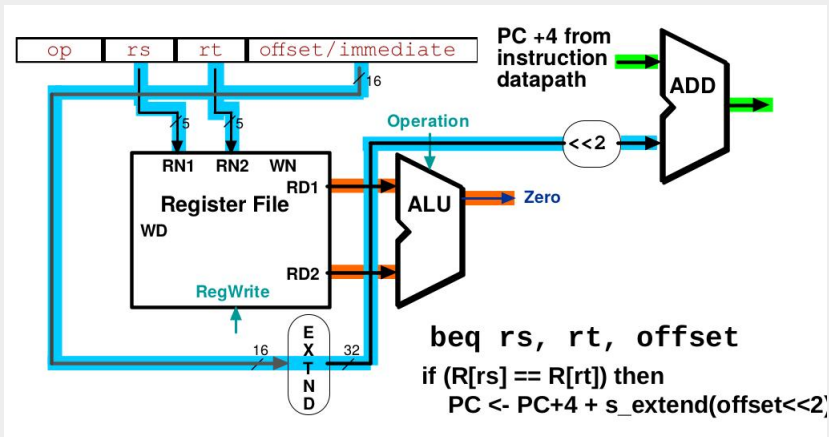
» Implementación de la Microarquitectura

Camino de datos ejecutar una operación de carga y almacenamiento



» Implementación de la Microarquitectura

Camino de datos ejecutar una operación de bifurcacion



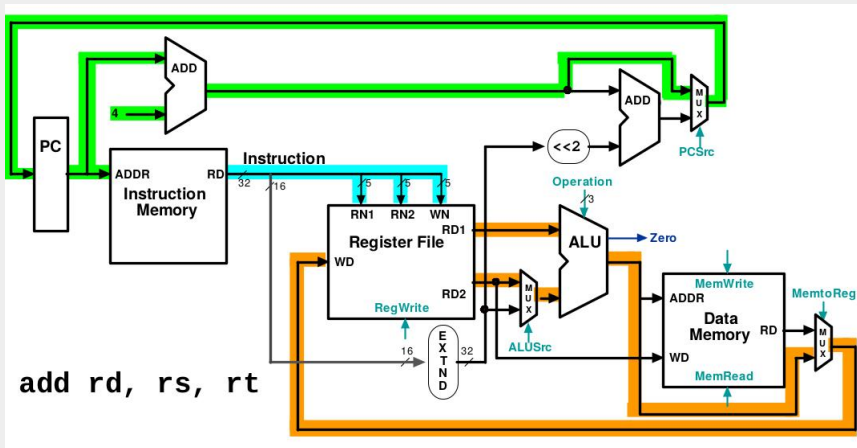
» Implementación de la Microarquitectura

Juntando todos los caminos de las diferentes instrucciones

- * Meta: unificar los caminos y componentes para cada función
 - * Leer instrucción
 - * Instrucciones de tipo R
 - * Instrucciones de carga y almacenamiento
 - * Instrucciones de bifurcacion
- * Se deben agregar multiplexores para seleccionar el dato correcto

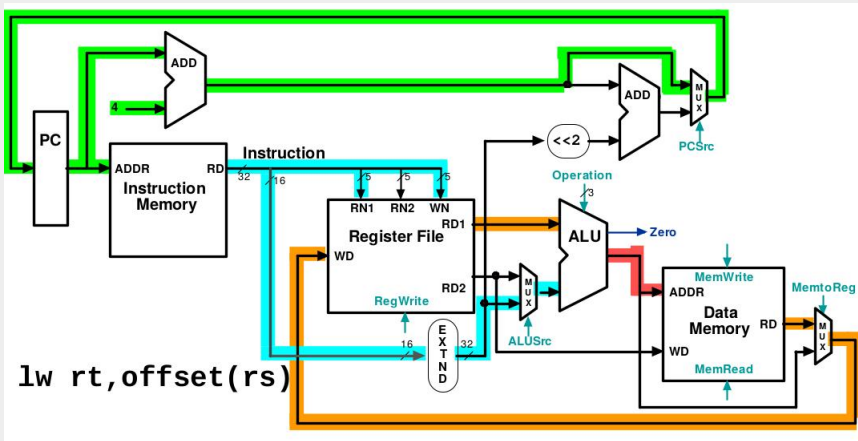
» Implementación de la Microarquitectura

Camino de datos combinado - tipo R



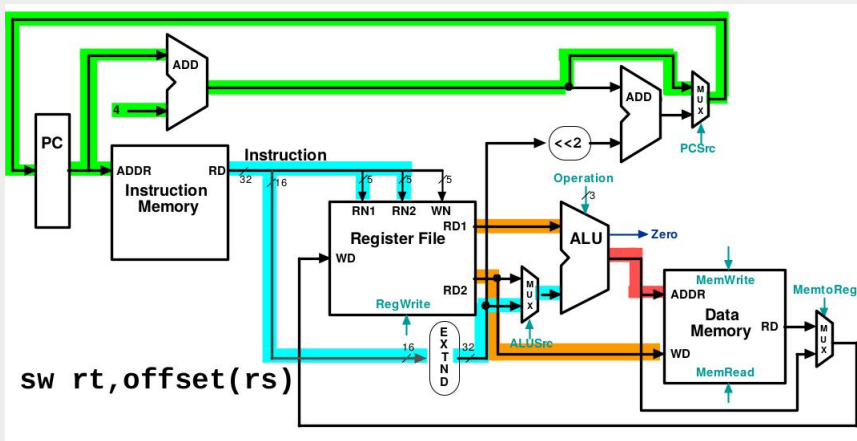
» Implementación de la Microarquitectura

Camino de datos combinado - instrucciones de carga



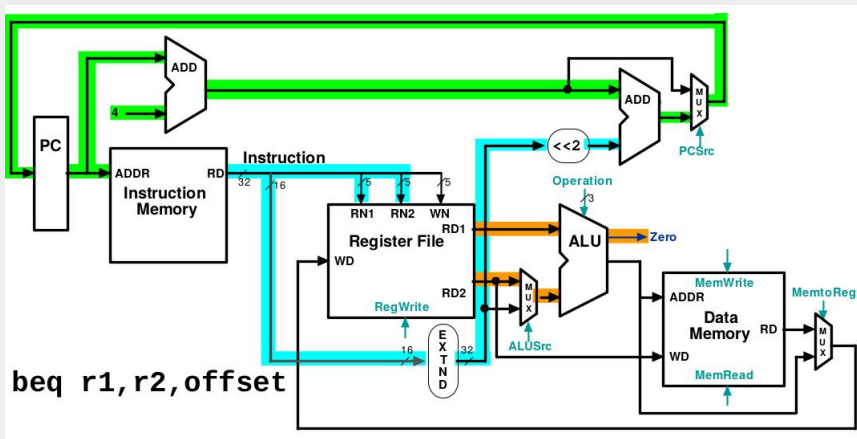
» Implementación de la Microarquitectura

Camino de datos combinado - instrucciones de almacenamiento



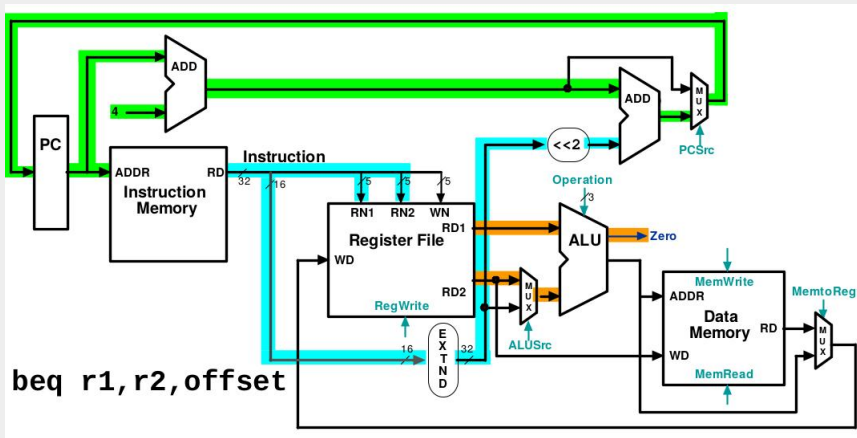
» Implementación de la Microarquitectura

Camino de datos combinado - instrucciones de bifurcacion



» Implementación de la Microarquitectura

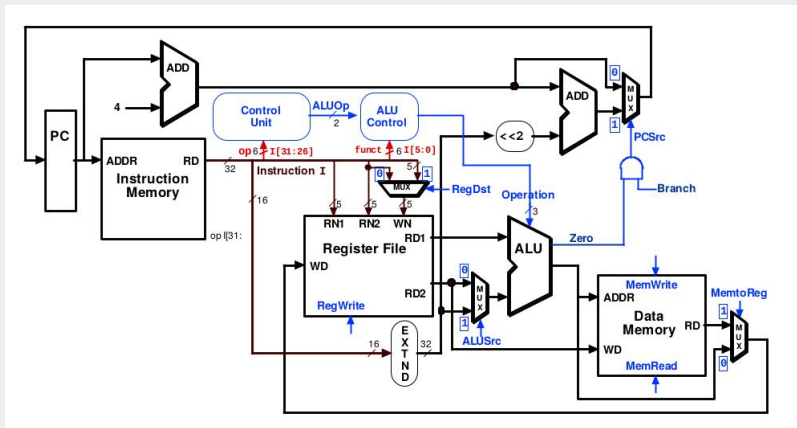
Camino de datos combinado - instrucciones de bifurcación



¿Qué falta en este camino de datos?

» Implementación de la Microarquitectura

Camino de datos completo - unidad de control



» Implementación de la Microarquitectura

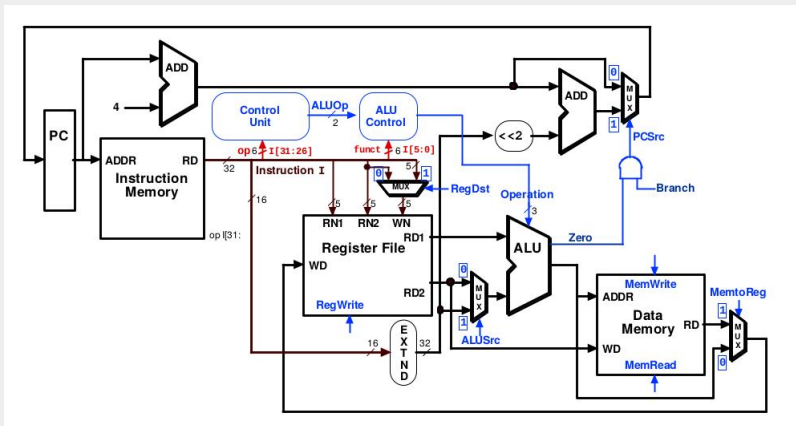
Unidad de control - señales hacia ALU

Instr. type	Operation	func t	Desired Action	ALU Ctl.	ALUOp
data transfer	lw	XXXXXX	add	010	00
data transfer	sw	XXXXXX	add	010	00
branch	beq	XXXXXX	subtract	110	01
r-type	add	100000	add	010	10
r-type	sub	100010	subtract	110	10
r-type	and	100100	and	000	10
r-type	or	100101	or	001	10
r-type	slt	101010	set on less than	111	10

» Implementación de la Microarquitectura

Camino de datos completo - ¿instrucción j?

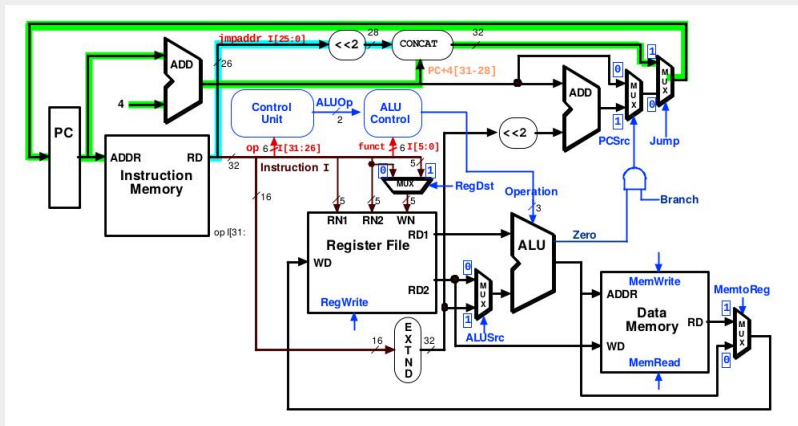
¿Qué modificaciones puede hacerse para agregar el tipo de instrucción j?



» Implementación de la Microarquitectura

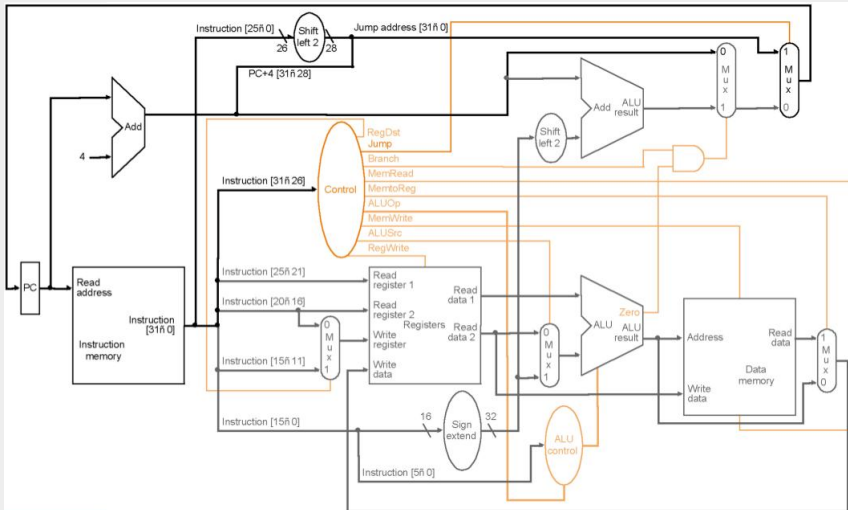
Camino de datos completo - ¿instrucción j?

¿Qué modificaciones puede hacerse para agregar el tipo de instrucción j?



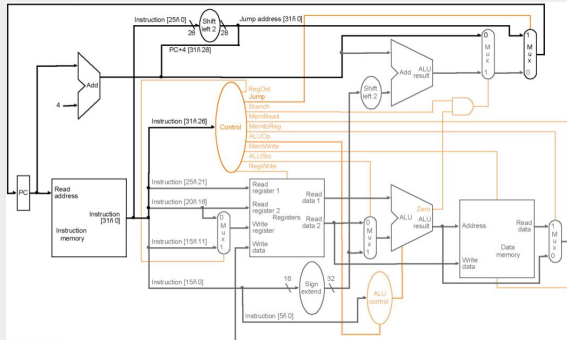
» Implementación de la Microarquitectura

Camino de datos completo - unidad de control



» Implementación de la Microarquitectura

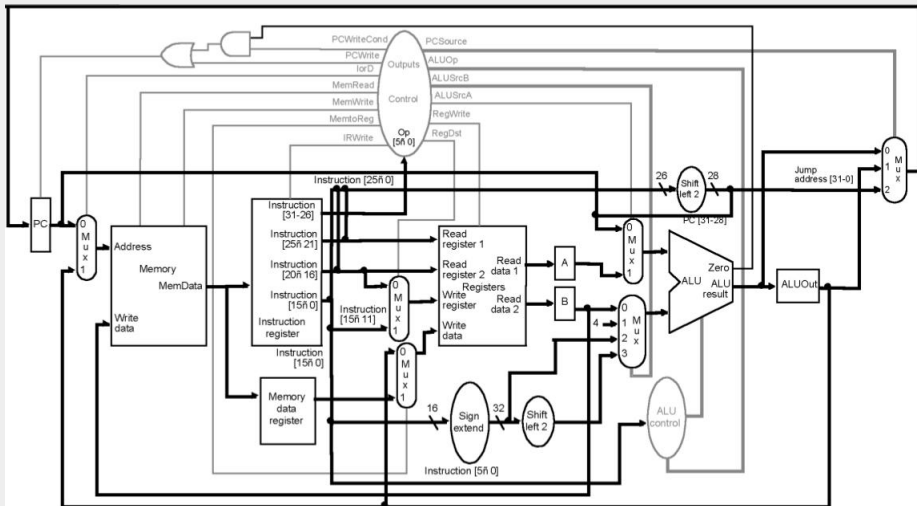
Microarquitectura multiciclo



¿Cuál es el problema en la microarquitectura de un único ciclo?

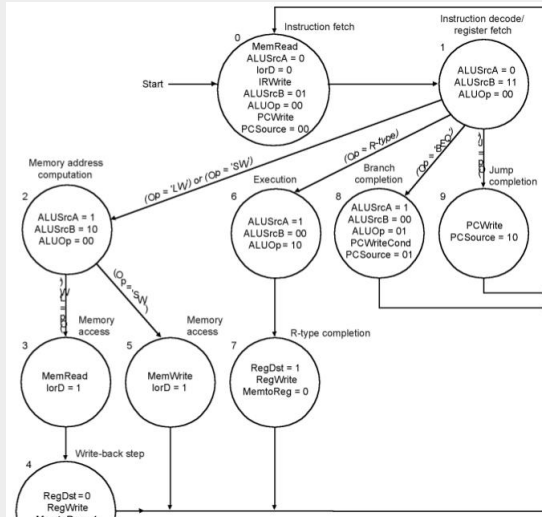
» Implementación de la Microarquitectura

Microarquitectura multiciclo



» Implementación de la Microarquitectura

Microarquitectura multiciclo



» 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).