

Modos de Direccionamiento

Cada instrucción debe contener la información que necesita el CPU para su ejecución:

- **Código de operación.** Especifica la operación a realizar (suma, resta, E/S, etc.) La operación se indica mediante un código binario.
- **Referencia a operandos fuente (dirección).** La operación puede involucrar uno o más operandos fuentes, es decir, operandos que son entradas para la instrucción.
- **Referencia al operando resultado (dirección).** La operación puede producir un resultado.
- **Referencia a la siguiente instrucción.** Le indica al CPU de donde va a captar la siguiente instrucción tras completarse la ejecución de la instrucción actual. La siguiente instrucción a captar está en memoria principal. En la mayoría de los casos, la siguiente instrucción sigue inmediatamente a la instrucción en ejecución. En tales casos no hay referencia explícita a la siguiente instrucción. Cuando sea necesaria una referencia explícita, debe suministrarse la dirección de memoria.

Los operandos fuente y resultado pueden estar en alguna de las siguientes áreas:

- **Memoria principal.** En este caso debe indicarse la dirección de la celda que contiene el operando
- **Registro del CPU.** Dependiendo de la arquitectura, el CPU contiene uno o más registros que pueden ser referenciados por las instrucciones de máquina. Si sólo existe un registro, la referencia al mismo puede ser implícita. Si existe más de uno, cada registro tendrá asignado un número único, y la instrucción debe contener el número del registro deseado.
- **Dispositivo de E/S.** La instrucción debe especificar el módulo y dispositivo de E/S para la operación. En el caso de E/S asignadas en memoria, se dará una dirección de memoria.

Hay dos aspectos importantes que debemos tomar en cuenta. El primero es cómo se especifica la dirección de un operando o referencia; y el segundo, cómo se organizan los bits de una instrucción para definir las direcciones de los operandos y la operación que realiza dicha instrucción. Nos gustaría poder referenciar un rango grande de posiciones de memoria principal o, en algunos sistemas, de memoria virtual. Para conseguir este objetivo se han empleado diversas técnicas de direccionamiento. Todas ellas implican algún compromiso entre el rango de direcciones y/o flexibilidad de direccionamiento de una parte, y por otro lado, el número de referencias a memoria y/o la complejidad del cálculo de las direcciones. En esta sección analizaremos las técnicas de direccionamiento más comunes:

- Inmediato
- Directo

- Indirecto
- Registro
- Indirecto con registro
- Con desplazamiento
- Pila

Para explicar estos modos de direccionamiento usaremos la siguiente notación:

A contenido del campo de dirección de la instrucción

EA dirección real o efectiva de la posición que contiene el operando que se referencia

(X) contenido de la posición X

Hay que resaltar que la mayoría de las arquitecturas de computadores ofrecen más de uno de estos modos de direccionamiento. La pregunta que surge entonces es cómo determina la unidad de control qué modo de direccionamiento se está empleando en cada instrucción. Se pueden adoptar varias alternativas. A menudo, se utilizan códigos de operación para indicar el tipo de direccionamiento que se usa. En otras ocasiones se utilizan uno o más bits del formato de instrucción para indicar el modo de direccionamiento (campo de modo). El valor del campo de modo determina qué modo de direccionamiento va a utilizarse.

Modo Inmediato

La forma más sencilla de direccionamiento es el inmediato, en el que el operando está presente en la propia instrucción. Es decir, el campo dirección en la instrucción contiene el operando.

Código Operación	A	...
------------------	---	-----

OPERANDO = A

Este modo puede utilizarse para definir y usar constantes, o para fijar valores iniciales de variables. Normalmente el número se almacena en complemento a dos; el bit más a la izquierda del campo de operando se utiliza como bit de signo. Cuando el operando se carga en el registro de datos, el bit de signo se replica hacia la izquierda hasta completar la longitud de la palabra de datos.

Ventaja: una vez captada la instrucción, no requiere una referencia a memoria para obtener el operando, ahorrándose pues un ciclo de memoria o de cache en el ciclo de instrucción.

Desventaja: el tamaño del número está restringido a la longitud del campo de direcciones.

Por ejemplo, suponga una palabra de 32 bits y el siguiente formato de instrucción que incluye un campo de dirección con modo inmediato:

Código operación	Operando 1	Operando 2	Operando Inmediato
6	5	5	16

¿Cuál es el rango de valores que pueden ser representados en el campo de direccionamiento inmediato?

Si se trata de números enteros representados usando Complemento a dos el rango de posibles valores representables está dado por:

$$[-2^{15} .. 2^{15}-1]$$

Si se trata de números naturales, entonces el rango es:

$$[0 .. 2^{16}-1]$$

Características del Modo Inmediato

- El operando está en la instrucción
- El operando es una constante a tiempo de ejecución
- No hay referencias adicionales a memoria después de la búsqueda de la instrucción
- El tamaño del operando está limitado al tamaño del campo de dirección

Modo Directo

Una forma sencilla de direccionamiento es el directo en el que el campo de dirección contiene la dirección efectiva del operando

Código Operación	A	...
------------------	---	-----

$$EA = A$$

$$\text{OPERANDO} = (A)$$

Este modo fue común en las primeras generaciones de computadores y aún se encuentra en un número pequeño de sistemas.

Ventaja: Sólo requiere una referencia a memoria para obtener el operando y no necesita ningún cálculo especial.

Desventaja: La limitación obvia es que proporciona un espacio limitado de direcciones.

Ejemplo: Suponga el siguiente formato de instrucción

Código operación	Operando	Operando Directo
6	5	21

El espacio de direcciones referenciable viene dado por el rango

$$[0 .. 2^{26}-1]$$

¿Qué hace el lenguaje ensamblador MIPS para manejar el direccionamiento directo?

El lenguaje ensamblador MIPS permite el uso de instrucciones de la forma

lw \$10, A

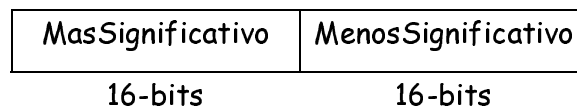
donde *A* es una dirección de memoria de 32 bits. Una instrucción de este estilo pudiera requerir el uso de más de una palabra para su representación. MIPS posee formatos de instrucción de tamaño fijo restringido a 32 bits, por lo tanto es imposible colocar una dirección de 32 bits en el formato de instrucción. El lenguaje ensamblador MIPS se encarga de traducir dicha instrucción en varias instrucciones:

lw \$10, A

lui \$1, 4097

lw \$10, MenosSignificativo(\$1)

donde



A

Características del Modo Directo

- La instrucción contiene la dirección efectiva del operando
- Un acceso adicional es requerido para obtener el operando
- El rango de direcciones está limitado por el ancho del campo que contiene la dirección del operando
- La dirección es una constante a tiempo de ejecución pero el operando en si puede variar a tiempo de ejecución

Modo Indirecto

El problema con el modo directo es que la longitud del campo de direcciones es normalmente menor que la longitud de la palabra, limitando de esta manera el rango de direcciones. Una solución es hacer que el campo de direcciones referencie la dirección de una palabra de memoria que contiene la dirección completa del operando. A esto se le conoce como modo indirecto

Código Operación	A	...
------------------	---	-----

$$EA = (A)$$

$$OPERANDO = ((A))$$

Ventaja: Permite acceder el espacio de direcciones. No hay limitación como en el caso anterior de modo directo.

Desventaja: La ejecución de la instrucción requiere de dos referencias a memoria para capturar el operando: una para captar su dirección y otra para obtener su valor.

Una variante al modo raramente utilizada es el modo indirecto de varios niveles. Esta aproximación no presenta realmente ninguna ventaja, y su desventaja principal es que pueden requerirse dos o más referencias para captar un operando.

Características del Modo Indirecto

- La instrucción contiene la dirección de memoria que contiene la dirección del operando
- Se requieren dos accesos a memoria para obtener el operando
- El rango de direcciones efectivas es de 2^n donde n es el ancho de la palabra
- El número de direcciones de memoria que puede ser usado para almacenar direcciones efectivas es de 2^k donde k es el ancho del campo dirección en la instrucción.

Modo Registro

Este modo es similar al directo. La única diferencia es que el campo de dirección referencia un registro en lugar de una dirección de memoria principal.

Código Operación	Rn	...
------------------	----	-----

$$EA = R_n$$

$$\text{OPERANDO} = (R_n)$$

Ventaja: Sólo es necesario un campo pequeño de direcciones en la instrucción y no se requieren referencias a memoria. El tiempo de acceso a un registro interno al CPU es mucho menor que el tiempo necesario para acceder memoria principal

Desventaja: El espacio de direcciones está muy limitado dado al pequeño número de registros que poseen las arquitecturas.

Ejemplo: Si tenemos 32 registros, cuántos bits requerirá el campo de dirección para indicar el número del registro al que se hace referencia?

Características del Modo Registro

- El campo de dirección dentro de la instrucción contiene el nombre o referencia de un registro.
- La dirección efectiva del operando está en la instrucción.
- No se requiere acceso a memoria para obtener el operando

Modo Indirecto con Registro

Este modo es similar al indirecto. La diferencia está en que en el indirecto el campo de dirección hace referencia a una posición de memoria que contiene la dirección del

operando y en el indirecto registro el campo de dirección hace referencia a un registro que contiene la dirección efectiva del operando.

Código Operación	Rn	...
------------------	----	-----

$$EA = (Rn)$$

$$OPERANDO = ((Rn))$$

Ventaja: emplea una referencia menos a memoria que el modo indirecto.

Desventaja: la ejecución de la instrucción requiere una referencia a memoria para capturar el operando.

Modo con Desplazamiento

Este modo combina las posibilidades de los modos directo e indirecto con registro. Requiere que las instrucciones tengan dos campos de dirección donde al menos uno de ellos es explícito. El valor contenido en uno de los campos de dirección se utiliza directamente. El otro campo de dirección o referencia implícita definida por el código de operación se refiere a un registro cuyo contenido se suma al primer campo de dirección para generar la dirección efectiva del operando.

Código Operación	Rn	A
------------------	----	---

$$EA = A + (Rn)$$

$$OPERANDO = (A + (Rn))$$

Hay tres formas distintas de modos con desplazamiento:

- Desplazamiento Relativo
- Desplazamiento con Registro Base
- Indexado

Desplazamiento Relativo

El registro referenciado implícitamente es el contador de programa (PC). La dirección de la actual instrucción se suma al campo de dirección para producir la dirección efectiva. Normalmente el campo de dirección se trata como un número en complemento a dos para esta operación. La dirección efectiva es un desplazamiento relativo a la dirección de la instrucción.

$$EA = A + (PC)$$

Ejemplo:

beq \$10, \$11, Lazo

Esta instrucción de MIPS es ensamblada en un formato conocido como tipo I de MIPS

Código operación	Operando 1	Operando 2	\pm desplazamiento
6	5	5	16

colocando en el campo desplazamiento la cantidad de palabras que debe desplazarse desde la instrucción actual para poder llegar a la dirección Lazo.

Desplazamiento con Registro Base

El registro referenciado contiene una dirección de memoria y el campo de dirección contiene un desplazamiento desde dicha dirección. La referencia al registro puede ser explícita o implícita.

$$EA = A + (Rn)$$

Ejemplo:

`lw $10, 100($5)`

la dirección efectiva del segundo operando viene dado por $100 + (\$5)$

Modo Indexado

El campo de dirección referencia una dirección de memoria y el registro contiene un desplazamiento desde dicha dirección.

`lw $10, A($5)`

¿Qué hace el lenguaje ensamblador MIPS para permitir este modo?

Traduce la instrucción en las siguientes instrucciones

`lui $1, 4097`

`addu $1, $1, $5`

`lw $10, MenosSignificativoA($5)`