

## Curso de Organización del Computador CI3815: Problemario de ejercicios

### Formatos y Conjunto de Instrucciones, Tipos de Direccionamiento

El objetivo de este y otros problemarios que estamos colocando a disposición de los estudiantes del curso de organización del computador, es que puedan poner en práctica los conocimientos adquiridos en las clases de teoría.

Si usted considera que hay un error en este material por favor comuníquese a los profesores de teoría para aclarar cualquier tipo de inconveniente y de ser el caso, realizar las correcciones que sean necesarias.

#### Formatos de Instrucción

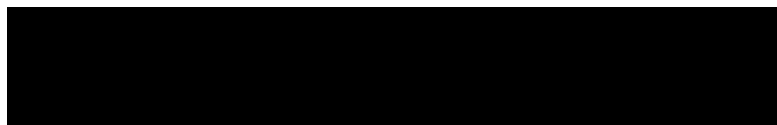
- 1) Realice el diseño de los formatos de instrucción que estén en la capacidad de soportar las siguientes características de un computador dado:
  - i) 6 instrucciones con dos operando, cada uno con una dirección de 15 bits y un número de registro de 3 bits,
  - ii) 400 instrucciones con una dirección de 15 bits y un número de registro de 3 bits,
  - iii) 62 instrucciones sin direcciones de operandos.

#### Respuesta

i) El formato para una instrucción de dos direcciones, tendrá un código de operación (Cod Op) y dos operandos (op1 y Op2), cada operando estará compuesto por un número de registro de 3 bits, y una dirección o desplazamiento de 15 bits, eso da un total de 18 bits de longitud para cada operando.

Se indica que en esta máquina existirán 6 instrucciones con estas características, por lo que hay que colocar un campo de código de operación que permita identificar al menos a 6 instrucciones diferentes. Para ello hay que identificar cuál es la potencia de dos más cercana que es mayor o igual al número 6, que corresponde al número 8 ( $6 < 8 = 2^3$ ). Dada esta información, si usamos 3 bits para el código de operación, podremos entonces colocar hasta 8 diferentes códigos de operación, con lo cual claramente podremos identificar a los 6 diferentes códigos de operación que se nos pide incluir en el formato.

Dando como resultado un formato de instrucción de 39 bits de longitud, distribuidos de la siguiente manera:

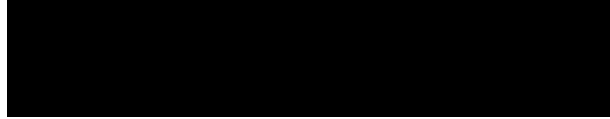


ii) El formato para una instrucción de una dirección, tendrá un código de operación y un operando, compuesto por un número de registro de 3 bits, y una dirección o desplazamiento de 15 bits, eso da un total de 18 bits de longitud para el operando.

Se indica que en esta máquina existirán 400 instrucciones con estas características, por lo que hay que colocar un campo de código de operación que permita identificar al menos a 400 instrucciones diferentes. Para ello hay que identificar cuál es la potencia de dos más cercana que es mayor o igual al número 400, que corresponde al número 512 ( $400 < 512 = 2^9$ ). Dada esta información entonces si usamos 9 bits para el código de operación podremos entonces colocar hasta 512 códigos de operación diferentes, con lo cual podremos identificar a los 400

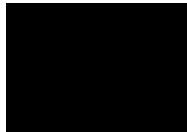
códigos de operación, que se nos pide incluir en el formato. Si empleamos solo 8 bits, entonces podremos diferenciar solamente a 256 instrucciones (  $2^8 = 256$  ), lo que claramente no es suficiente para el número de 400 instrucciones que se solicita en este ejercicio.

Dando como resultado un formato de instrucción de 27 bits de longitud, distribuidos de la siguiente manera:

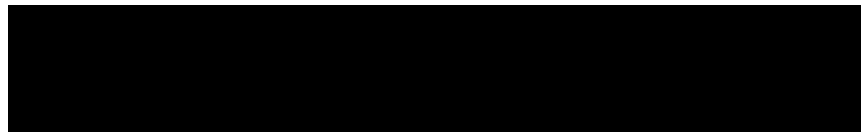


iii) El formato para una instrucción sin operandos, tendrá sólo un campo para el código de operación. Se indica que en esta máquina existirán 62 instrucciones con estas características, por lo que hay que colocar un campo de código de operación que permita identificar al menos a 62 instrucciones diferentes. Para ello hay que identificar cuál es la potencia de dos más cercana que es mayor o igual al número 62, que corresponde al número 64 (  $62 < 64 = 2^6$  ). Dada esta información entonces si usaremos 6 bits para el código de operación, por lo que podremos entonces colocar hasta 64 diferentes códigos de operación, con lo cual claramente podremos identificar a los 62 diferentes códigos de operación que se nos pide incluir en el formato.

Dando como resultado un formato de instrucción de 6 bits de longitud, distribuidos de la siguiente manera:



Aunque no es realmente lo que pide en el enunciado de la pregunta 1. Si así se desea, se pudiera diseñar un único formato de instrucción en el que pudieran ser representadas cualesquiera de los tipos de instrucción que aquí se han descrito por separado. En este caso lo que debe hacerse es diseñar un formato en que cualquiera de los campos especificados tenga cabida, para las especificaciones dadas en el enunciado de esta pregunta, esto implicaría un formato de instrucción con un código de operación de 9 bits, en los que puede ser representados cualquier código de operación de las instrucciones de 2, 1 y 0 operandos, en esta cuenta hay que verificar que en el formato más grande hay espacio para no sólo las 400 instrucciones iniciales de dos operandos, sino para el total de  $6+400+62 = 468$  instrucciones de todos y cada uno de los formatos iniciales. En relación a los operandos, debe existir espacio para las instrucciones con mayor número de operando, que en este caso son dos operandos, en los que cada uno tendrá un número de registro y una dirección, esto nos da finalmente un formato de 45 bits de longitud, distribuidos de la siguiente manera:



Este formato permite representar a cualquier instrucción de las especificadas en el enunciado, pero es poco eficiente y puede desperdiciar espacio de memoria en el caso de que se trabaje con muchas instrucciones de cero o una dirección. Otra opción es usar expansión de códigos, lo que pudiera llevar a usar menos bits en un formato único, al hacer una distribución inteligente de los códigos de operación disponibles para las diferentes instrucciones, pero esto se verá en otros problemas.

- 2) Describa el diseño de un formato de instrucciones que pueda emplear un código de operación con extensión, de forma tal, que se pueda codificar en una instrucción de 12 bits:
- 4 instrucciones con tres registros, con un número de registro de 3 bits,
  - 255 instrucciones con un registro
  - 16 instrucciones con 0 registros
- 3) Una máquina MCO posee instrucciones de 16 bits y direcciones de 6 bits. Algunas instrucciones tienen una dirección y otras 2. Si hay  $n$  instrucciones de 2 direcciones ¿Cuál es el número máximo de instrucciones de una dirección que se pueden definir en esta máquina MCO?
- 4) ¿Cuáles de los siguientes esquemas son razonables para la memoria de una computadora?

	Tamaño del bus de direcciones	Cantidad de celdas disponibles en la memoria	Cantidad de bits en cada celda de memoria
a)	10 bits de dirección	1024 celdas	8 bits por celda
b)	10 bits de dirección	1024 celdas	12 bits por celda
c)	9 bits de dirección	1024 celdas	10 bits por celda
d)	11 bits de dirección	1024 celdas	10 bits por celda
e)	10 bits de dirección	10 celdas	1024 bits por celda
f)	1024 bits de dirección	10 celdas	10 bits por celda

- 5) Una computadora W se equipa con 262144 palabras de memoria principal. ¿Por qué razón el fabricante puede haber escogido un número tan particular en lugar de emplear un número más fácil de recordar, como 250000?
- 6) Responda las siguientes preguntas:
- ¿Qué es y para qué sirve el código de operación en un formato de instrucción?
  - ¿Cómo se le llama al conjunto de bits dentro de una instrucción que indican donde está ubicado el o los datos que serán empleados para procesar la instrucción?
  - En un diseño de una computadora. ¿Es posible tener algún formato de instrucción que no tenga operandos? ¿Es posible tener uno en el que no se tenga código de operación?
  - ¿Qué entiende por ortogonalidad en un formato de instrucción en una computadora?
- 7) Se están evaluando diferentes opciones para la creación de una nueva computadora de propósito específico que posee una memoria con palabras de 32 bits. Se le pide que usted indique cuántos bits son necesarios para especificar una dirección de memoria para esta computadora, en cada uno de los siguientes posibles esquemas de memoria:
- Una memoria física de 4GB con direccionamiento a Byte.
  - Una memoria física de 8GB con direccionamiento a "medias palabras".
  - Una memoria física de 16GB con direccionamiento a palabra.
  - Una memoria física de 16GB con direccionamiento a Bytes.
  - Una memoria física de 16GB con direccionamiento a "medias palabras"..
  - Una memoria física de 32GB con direccionamiento a Bytes

- 8) Discuta y explique si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas, justificando claramente cada una de sus respuestas.
- Cuanto más formatos de instrucción existan, más sencilla es la Unidad de Control que los interpreta.
  - Si aumentamos el tamaño de la instrucción aumentamos el número de instrucciones que son extraídas por segundo de la memoria.
  - Sean dos programas A y B. Si el código de A es más largo, debido a que posee más instrucciones, que el de B, no se puede afirmar que el programa A se ejecutará en más tiempo que el programa B.
  - En general, no es posible determinar si una posición de la memoria principal contiene una instrucción o un operando tan solo con inspeccionar su contenido
  - iv) El programa que menos instrucciones tiene es el que menos espacio ocupa en memoria y el que más rápido se ejecuta.
- 9) Dada una arquitectura con palabras e instrucciones de b Bytes que trabaja con una memoria física de x Bytes, con direccionamiento a palabra:
- ¿Cuántos bits serán necesarios para especificar una dirección cualquiera de la memoria?
  - ¿Cuál sería el número máximo de instrucciones posibles suponiendo que todas ellas incluyan uno y sólo un operando con modo de direccionamiento directo a memoria?
  - ¿Cómo reescribiría las respuestas a las dos preguntas anteriores si x y b fuesen potencias de 2 (i.e.,  $X = 2^k$  y  $b = 2^l$ )?

### Tipos de direccionamiento

- 10) Suponga que luego de haber cargado un programa en el computador, se presenta la siguiente configuración del área de memoria M, que posee direccionamiento por bytes y tamaño de palabra de 4 bytes, que pertenece a una máquina de una dirección con un registro acumulador ACC. A partir de esta información indique cuál es la secuencia de valores que va pasando por el acumulador ACC si se ejecutan las siguientes instrucciones:

Memoria M

Dirección	Contenido
500	99
504	3
508	500

Próximas instrucciones a ejecutar en el programa

Instrucción 1) Carga indirecta 508  
Instrucción 2) Carga directa 504

Respuesta

ACC

99
3

Aquí se presentan los valores que va tomando el acumulador ACC a medida que se van ejecutando las instrucciones especificadas en el enunciado de la pregunta

- 11) Suponga que luego de haber cargado un programa en el computador, se presenta la siguiente configuración del área de memoria M, que posee direccionamiento por bytes y tamaño de palabra de 4 bytes, que pertenece a una máquina de una dirección con un registro acumulador ACC. A partir de esta información indique cuál es la secuencia de valores que va pasando por el acumulador ACC si se ejecutan las siguientes instrucciones:

Memoria M

Dirección	Contenido
300	308
304	30A
308	31C
30 <sup>a</sup>	320
31C	400
320	300

Próximas instrucciones a ejecutar en el programa

Carga Inmediata 300  
Carga directa 300  
Carga indirecta 300  
Carga Inmediata 304  
Carga directa 304  
Carga indirecta 320

- 12) Suponga que la dirección almacenada en el contador de programas se designa con el símbolo S1. La instrucción almacenada en la dirección indicada por la etiqueta S1, tiene a su vez un operando, al menos una parte de su dirección (referencia a operando) se representa por la etiqueta S2. La dirección exacta del operando que se necesita para ejecutar la instrucción está almacenado en una palabra de memoria que es representada por la etiqueta S3. Un registro Índice es identificado con la etiqueta S4. Dada esta nomenclatura de etiquetas, se le pide que usted indique: ¿ Cómo puede usted definir las direcciones de los operandos en esta arquitectura para los siguientes modos de direccionamiento:

- Directo =  $C(S2)$  ( La respuesta es  $C(S2)$  o el contenido de la etiqueta S2 )
- Indirecto
- Relativo al PC
- Indexado
- Relativo a un registro Base

Ayuda: Para expresar los valores de estos símbolos puede emplear el operador  $C(X)$  que se puede leer como el contenido de X, si X es una dirección de memoria el operador  $C(X)$  debe devolver cuál es el valor que está almacenado en la posición de memoria con dirección X

Veamos el siguiente ejemplo

Memoria

Dirección	Contenido
100	5
104	108
108	2
10A	100
10C	1

Si tenemos los símbolos D, E y F si al símbolo E le asignamos el valor 100 y luego hacemos la asignación  $D = C(E)$ , entonces el símbolo D tendrá un valor igual a 5. Si  $F = C(C(104))$ , entonces el símbolo F tendrá un valor de 2.

- 13) El campo de dirección de una instrucción contiene el valor decimal 28. Indique en que estructura dentro del computador se podrá encontrar el operando correspondiente a ese valor, si el tipo de direccionamiento que está usando la instrucción es alguno de los siguientes:

- Direccionamiento inmediato
- Direccionamiento directo
- Direccionamiento indirecto
- Direccionamiento relativo a un registro (aquí 28 no es el número del registro)
- Direccionamiento indirecto con registro (aquí 28 no es el número del registro)

14) Un computador de dos direcciones posee los siguientes tipos de direccionamiento:

- Direccionamiento INMediato (INM) El operando esta directamente en la instrucción
- Direccionamiento de REGistro (REG) El operando esta en un registro especificado por el operando
- Direccionamiento DIRecto (DIR) El datos se busca en memoria a partir de una dirección que está en la instrucción
- Direccionamiento INDirecto (IND) El datos se busca en una dirección que está en la memoria y que debe calcularse a partir de otra dirección que es la que está en la instrucción
- Direccionamiento Relativo A un Registro (RAR) La dirección del operando se calcula como un desplazamiento a partir del contenido de un registro de propósito general de la máquina.

Para las instrucciones que a continuación se describen, en las que el operando resultado siempre será el OP1 y los operandos fuentes serán OP2 y OP3 de existir, se le pide que usted indique cuantos accesos a memoria y cuantos accesos a registros deben hacerse en la máquina para ejecutar completamente cada una de las siguientes instrucciones:

	Código de operación	Operando 1	Operando 2	Operando 3	Función
i)	ADD OP1, OP2, OP3	DIR	IND	RAR	OP1 := OP2 + OP3
ii)	JUMP OP1	IND			PC := IND
iii)	MULT OP1 OP2	REG	RAR		REG := REG * RAR
iv)	SUB OP1, OP2, OP3	REG	REG	DIR	REG := REG - DIR
v)	LOAD OP1, OP2	REG	IND		REG := IND

15) Enumera todos los modos de direccionamiento que conozcas. ¿Es posible reducirlos a un mínimo? ¿Cuáles serían los modos imprescindibles? ¿Qué ventajas e inconvenientes presenta tener tan pocos modos de direccionamiento cuando se programa en un lenguaje de alto nivel?

### Conjunto de Instrucciones

16) Compare las máquinas de 0 , 1 , 2 y 3 direcciones escribiendo programas para calcular la siguiente expresión matemática:

$$H = ((C + B) * D) - (A / (E * F))$$

Puede asumir que Mem, A, B, C, D, E, y F son valores que están en posiciones de memoria de 16 bits de longitud y que X, Y y Z representan registros de cuatro bits que forman parte de la arquitectura de las respectivas máquinas asociadas a esta pregunta

Las instrucciones disponibles para cada máquina son:

0 Direcciones	1 Dirección	2 Direcciones	3 Direcciones
PUSH Mem	LOAD Mem	LOAD X. Mem	LOAD X. Mem
POP Mem	STORE Mem	STORE X, Mem	STORE X, Mem
ADD	ADD STORE Mem	MOV ( X<= Y )	MOV ( X<= Y )
SUB	Mem	ADD ( X<= X + Y )	ADD ( X<= Y + Z )
MUL	SUB Mem	SUB ( X<= X - Y )	SUB ( X<= Y - Z )
DIV	MUL Mem	MUL ( X<= X * Y )	MUL ( X<= Y * Z )
	DIV Mem	DIV ( X<= X / Y )	DIV ( X<= Y / Z )

La máquina de 0 direcciones usa una pila, la de una dirección usa un acumulador ACC y las otras dos poseen 16 registros de propósito general (R0 a R15) e instrucciones en las que cada operando puede estar en un registro o en memoria. Si suponemos que los códigos de operación tendrán 8 bits de longitud y que la longitud de la instrucción será múltiplo de 4 bits. Dada toda esta información se le pide que usted indique

- i) ¿Cuántas instrucciones posee cada uno de los programas para calcular el valor de H en cada una de las arquitecturas de las máquinas aquí descritas?
- ii) Indique ¿Qué ocurriría en las máquinas de 2 y 3 direcciones si en lugar de 16 registros de propósito general se contara sólo con sólo 4 de ellos?

Respuesta

Aquí sólo se presentará la respuesta para la máquina de 3 direcciones, se deja el resto para que sea resuelto por los estudiantes.

- i) Aquí se presenta el programa escrito para una máquina de tres direcciones:

```
LOAD R0 A
LOAD R1 B
LOAD R2 C
LOAD R3 D
LOAD R4 E
LOAD R5 F
ADD R6, R2, R1
MUL R7, R4, R5
MUL R8, R6, R3
DIV R9, R0, R7
SUB R10, R8, R9
STORE R10, Resultado
```

Total 12 Instrucciones

- 17) ¿Cómo pudiera colocarse en una posición de memoria el valor 0 (cero) si la computadora no posee una instrucción de borrar o de inicializar en 0 las posiciones de memoria o los registros?
- 18) Identifique un método para intercambiar el valor de dos variables sin usar una tercera variable o registro. Sugerencia: evalúe la utilización de la instrucción de O Exclusivo.

- 19) Considere una máquina muy sencilla, basada en una ALU que trabaja en complemento a 2, con valores de 16 bits y cuyo repertorio y formato de instrucción son como sigue:

Operación		Efecto	Flag	Opcode
ADD	u, v	$[u] \leftarrow [u] + [v]$	$Z \Leftrightarrow ([u] + [v] = 0)$	Opcode: 00
TST	u, v		$Z \Leftrightarrow ([u] = [v])$	Opcode: 01
MOV	u, v	$[u] \leftarrow [v]$	$Z \Leftrightarrow ([v] = 0)$	Opcode: 10
BSS	u	Si $Z = 1$ , $PC \leftarrow u$	$Z \leftarrow 1$ (siempre)	Opcode: 11

$$\underbrace{\text{Opcode}}_{2 \text{ bits}} \underbrace{\text{Dirección } u}_{7 \text{ bits}} \underbrace{\text{Dirección } v \text{ o } 0000000}_{7 \text{ bits}}$$

Donde u y v son direcciones de memoria (la arquitectura tiene direccionamiento a palabra), Z es el flag de cero, y PC el registro de próxima instrucción. Sabiendo que, a partir del byte 0 de la memoria se encuentra almacenada la siguiente secuencia hexadecimal se pide:

03 88 00 06 40 05 C5 80 C0 00 03 8B 00 01 00 00 00 06 00 05 00 04

- i) Definir la longitud de palabra más adecuada para la arquitectura de toda la máquina (justificando detalladamente la elección), y decir cuánta memoria física podría emplear la máquina como máximo.
  - ii) Suponiendo que se tratase de un fragmento de programa, "desensamblar" (escribiéndolo en lenguaje *Assembler*) el vuelco de memoria dado.
  - iii) Considerando que inicialmente el PC está en 0, explicar brevemente qué hace el fragmento. (Se espera aquí una explicación conceptual sencilla, por ejemplo: (El programa calcula la suma de los 7 primeros números naturales, dejando el resultado en la dirección de memoria 4F)
  - iv) Decir cuántos accesos a memoria deberían ser realizados en total durante la ejecución del fragmento.
  - v) Determinar cuántos valores diferentes llegarán a presentarse en el bus de direcciones de la máquina durante dicha ejecución.
- Puede asumir que si la próxima instrucción o dato a trabajar está más allá del programa especificado aquí, eso implica que el programa termina.

### Fuentes de Información consultadas para elaborar este material

Andrew S. Tanenbaum. Organización del Computador un enfoque estructurado. Tercera edición. Prentice Hall. 1990

William Stallings. Organización y arquitectura de computadores. Séptima edición. Prentice Hall. 2006.

Practica 3

[http://www.dc.uba.ar/materias/oc1/2007/c2/practica/enunciados/practica3.pdf/at\\_download/file](http://www.dc.uba.ar/materias/oc1/2007/c2/practica/enunciados/practica3.pdf/at_download/file)