Trabajo Práctico Número 4

Arquitectura de Computadoras 15/04/2026

Instrucciones

- Los ejercicios propuestos en el presente trabajo práctico pueden ser resueltos en forma individual o grupal.
- El planteo de la solución debe realizarse basándose en lo aprendido en las clases teóricas.
- Puede utilizar las clases de consulta para consultar ejercicios de enunciado y verificar la validez de la solución obtenida.
- Posteriormente, se tomará una evaluación con ejercicios similares a los de este práctico, la cual deberá ser resuelta en forma individual. La fecha de la misma se encuentra en el sitio web de la materia.

Conceptos involucrados

- Distintos tipos de ISA: 0, 1 2 y 3 operandos.
- Diseño de Formatos de las instrucciones. Formatos fijos y Formatos variables.
- Métricas para Diseño de ISA.
- Tasa de accesos a memoria por instrucción. Accesos a memoria para datos y para instrucciones.

Problemas propuestos

1) Responda las siguientes preguntas, justificando en todos los casos su respuesta:
   a) ¿Es posible que haya una instrucción de un ISA que no posea código de operación?
   b) ¿Siempre es mejor que un ISA sea de formato fijo?
   c) Los saltos condicionales, ¿siempre evalúan la condición de salto revisando los flags del procesador?
   d) Se estudió que la simplicidad en el diseño del ISA favorece a la regularidad del mismo ¿Qué ventajas tiene que el diseño sea regular?
   e) Si la forma más rápida de acceder a datos es cuando los mismos se encuentran en registros ¿Por qué al diseñar un ISA se decide utilizar no más de 32 registros de propósito general?

2) *[Recomendado]* Se tienen cuatro tipos de máquinas en las cuales se desea calcular la siguiente expresión:

$$R = \frac{A + B * C}{A - E * C}$$

Las instrucciones disponibles para cada uno de los tipos de máquinas son las siguientes:

0 Operandos	1 Operando	2 Operandos	3 Operandos
PUSH M	LOAD M	MOVE X, Y	LOAD R1, M
POP M	STORE M	SUM X, Y	STORE R1, M
SUM	SUM M	RES X, Y	SUM R1, R2, R3
RES	RES M	MUL X, Y	RES R1, R2, R3
MUL	MUL M	DIV X, Y	MUL R1, R2, R3
DIV	DIV M		DIV R1, R2, R3

Donde M es una dirección de memoria de **20 bits**, X e Y son direcciones de **20 bits** o números de registro de **5 bits**, R1, R2 y R3 son números de registro de **5 bits** y los códigos de operación son de **6 bits**.
La máquina de cero operandos usa una pila (Stack), la de un operando usa un acumulador, la de dos operandos tiene 32 registros, e instrucciones en las que cada operando puede estar en un registro o en memoria, mientras que la de tres operandos tiene 32 registros, e instrucciones para cargar los registros y para operar los mismos.
En todos los casos se trata de máquinas de **32 bits** con longitudes de instrucción múltiplos de **32 bits**. Se pueden utilizar las posiciones de memoria auxiliares que se desee.

En cada apartado se pide que escriba el programa correspondiente al caso, especificando cuántos bits necesita cada computadora para almacenar el programa propuesto y cuántos accesos a memoria se requieren para completarlo.

a) Máquina de 0 operandos.
b) Máquina de 1 operandos.
c) Máquina de 2 operandos, minimizando la cantidad de instrucciones del programa.
d) Máquina de 2 operandos, minimizando la cantidad de accesos a memoria del programa.
e) Máquina de 3 operandos.
f) ¿Cuál puede concluir usted que es la máquina más rápida para ejecutar este programa?

3) Dado el siguiente programa para la máquina de 2 operandos del ejercicio anterior, y sabiendo que A, B, C, etc. son valores numéricos cargados en direcciones de memoria:

```
MOVE R1, B                  SUM R6, R6
MOVE R2, R1                 RES R1, R3
MUL R2, R2                  MUL R1, R6
MUL R1, R2                  RES R1, R2
MUL R2, R2                  MUL R3, R5
MOVE R3, D                  DIV R1, R3
MOVE R4, R3                 SUM R5, R5
MUL R4, R4                  SUM R5, R3
MOVE R5, A                  DIV R2, R5
SUM R5, R5                  MOVE S, R1
MOVE R6, C                  MOVE T, R2 (fin)
SUM R6, R6 (sigue)
```

a) Exprese mediante una o más ecuaciones los cálculos realizados por el programa.
b) Escriba un programa para la máquina de un operando que realice el mismo cálculo.
c) Escriba un programa para la máquina de cero operando que realice el mismo cálculo.

4) *[Recomendado]* Diseñe un ISA para una máquina de 32 bits que posea las siguientes características:

- Un espacio total de direcciones de 256 MiB.
- Un espacio individual de datos para cada programa de 4 MiB.
- 64 registros de propósito general.
- 5 Instrucciones que requieren una dirección de memoria global como operando.
- 6 Instrucciones que requieren un registro y una dirección de memoria local como operandos.
- 78 Instrucciones que requieren tres registros como operandos.
- 53 Instrucciones que requieren dos registros y una constante como operandos.
- 37 Instrucciones que no requieren operandos.

a) Mencione un ejemplo de cada tipo de instrucción.
b) ¿Qué formato daría a cada tipo de instrucción?
c) ¿Qué Códigos de Operación asignaría a cada formato?
d) ¿Agregaría una instrucción que utilice una dirección global?

5) *[Recomendado]* Se desea diseñar el set de instrucciones de una máquina de 32 bits y se debe definir el manejo de las constantes inmediatas. Un estudio realizado sobre los programas a ejecutar indica que la cantidad de bits requeridos para las mismas varía según la siguiente tabla:

Cantidad de bits	Porcentual
0 a 8	25 %
9 a 16	55 %
16 a 24	15 %
24 a 32	5 %

La búsqueda de una palabra en memoria demora un ciclo T y la decodificación y ejecución de una instrucción demora dos ciclos T adicionales a la búsqueda de la o las palabras en memoria. Ud. dispone de las siguientes opciones:

- Utilizar los 16 bits disponibles de la única palabra de la instrucción, desdoblando las operaciones con constantes grandes en dos instrucciones.
- Hacer que todas las instrucciones con constantes inmediatas tengan dos palabras, acomodando la constante en la segunda palabra.

¿Cuál de las dos opciones es mejor? Justifique su respuesta.

6) Se desea diseñar el set de instrucciones de una máquina que posee un banco de 8 registros de propósito general de 16 bits. Debe usted decidir el formato de las 13 instrucciones que operan con constantes inmediatas, buscando maximizar la velocidad de ejecución de las mismas, sabiendo que los accesos a memoria demoran 1T tanto para datos como para instrucciones, y que la decodificación y ejecución de las mismas demoran 2T adicionales a la búsqueda de la instrucción. Para ayudarlo en la decisión usted dispone de la tabla en la que se muestra una estadística con el porcentaje de operaciones y el tamaño de constante que requieren las mismas.

Tamaño de Cte	Cantidad
2	17 %
4	15 %
6	16 %
8	9 %

Tamaño de Cte.	Cantidad
10	4 %
12	10 %
14	7 %
16	22 %

7) Un estudio sobre las estructuras de los lenguajes de alto nivel sugiere que las llamadas a procedimientos son unas de las operaciones más costosas. Se propone una optimización que reduce los loads y los stores asociados con las llamadas a procedimientos y el retorno de los mismos. Las experiencias realizadas al respecto arrojan los siguientes resultados:
   - El 30 % de las instrucciones de la versión sin optimizar son loads o stores.
   - La versión optimizada ejecuta 2/3 de la cantidad de loads y stores de la versión sin optimizar.
   - Para todas las otras instrucciones la cuenta dinámica de ejecución es la misma.
   - La frecuencia de reloj de la versión sin optimizar es un 5 % mayor
   - Todas las instrucciones (incluyendo loads y stores) demoran un ciclo de reloj.

   Con todos estos datos, ¿cuál de las dos versiones es más rápida? Justifique su decisión.

8) *[Recomendado]* Dados los siguientes datos estadísticos obtenidos para un procesador, de los programas de prueba gcc y spice:

Tipo de Instrucción	$\overline{CPI}$	gcc	spice
Aritméticas	1,0	48 %	50 %
Transferencias de Datos	1,4	33 %	41 %
Saltos Condicionales	1,7	17 %	8 %
Saltos Incondicionales	1,2	2 %	1 %

   a) Calcule el CPI promedio para cada uno de los programas.
   b) Suponiendo que la cantidad de instrucciones ejecutadas por gcc es de 100 millones, ¿cuántos accesos a memoria se realizarán?
   c) Calcule una tasa de accesos a memoria por instrucción para cada uno de los programas.
   d) ¿Qué porcentaje del total de accesos a memoria está destinado al acceso a datos en gcc?
   e) Suponiendo que dos tercios de las instrucciones de transferencias de datos en gcc son loads, ¿qué porcentaje del total de accesos a memoria está destinado al acceso a lecturas de memoria?

9) *[Recomendado]* Considere implantar una mejora a la arquitectura de un procesador para agregar el modo de direccionamiento actualizado para las instrucciones de transferencia de datos. Si se ejecuta gcc en la nueva arquitectura, un 25 % de las instrucciones de transferencia de datos podrán hacer uso de las nuevas instrucciones, disminuyendo una instrucción aritmética por cada instrucción de transferencia que cambia de formato viejo a nuevo. Si para soportar el nuevo formato se incrementa el tiempo del ciclo de instrucción en un 10 %, y se consideran las frecuencias y $\overline{CPI}$ que se indican a continuación para cada tipo de instrucción, indique cuál es el porcentaje de mejora en el tiempo de ejecución de gcc.

Tipo de Instrucción	% gcc	$\overline{CPI}$
Aritméticas	48 %	1,0
Transferencias de datos	33 %	1,4
Saltos condicionales	17 %	1,7
Saltos incondicionales	2 %	1,2

Ejercicio a Desarrollar en Clase Práctica

Problema del Primer Parcial de 2003

10) Usted desea abrir un restaurante muy especial en el que se venderán únicamente ravioles. Su estrategia para lograr el éxito consiste en permitir a los clientes elegir cuántos ravioles quieren en su plato. Se tomaron estadísticas sobre el consumo de ravioles por parte de los clientes y se obtuvo la siguiente tabla:

Cantidad de Ravioles	Porcentaje de Clientes
1 a 5	5 %
6 a 10	25 %
11 a 15	60 %
16 a 20	7 %
21 a 30	3 %

Antes de abrir el restaurante, es necesario tomar una decisión sobre la vajilla a comprar. Su proveedor de platos le pasó la siguiente cotización:

- Los platos medianos, que contienen hasta 15 ravioles, cuestan $5.
- Los platos grandes, que contienen hasta 30 ravioles, cuestan $10.

Adicionalmente, usted deberá considerar que:

- Para cada tipo de platos que se defina comprar hay que tener un 10 % adicional por roturas y rotaciones.
- En total se prevé un máximo de 100 clientes comiendo simultáneamente.
- Se comprará además una única máquina lavavajillas preparada para un único tipo de platos (a elección suya), que cuesta $500. Si se desea que sea útil para otro tipo de platos, hay que comprar un dispositivo adicional que cuesta $200.

Con todos estos datos, Ud. deberá elegir entre las siguientes alternativas:

- Comprar platos medianos y grandes.
- Comprar sólo platos grandes.
- Comprar sólo platos medianos (y si alguien pide más de 15 ravioles, se le sirve en dos platos)

a) Calcule el costo total de cada alternativa.
b) ¿Cuál de las alternativas es más económica? ¿Cuánto más económica es que las demás?
c) ¿Encuentra alguna similitud entre este caso y alguno de los criterios de diseño que se puede utilizar para un ISA? Explique brevemente.

Soluciones propuestas

1) ...

2)
   a) Un programa de 12 instrucciones que ocupa 48 bytes, con 41 accesos a memoria.
   b) Un programa de 11 instrucciones que ocupa 44 bytes, con 22 accesos a memoria.
   c) Un programa de 6 instrucciones que ocupa 48 bytes, con 29 accesos a memoria.
   d) Un programa de 9 instrucciones que ocupa 36 bytes, con 14 accesos a memoria.
   e) Un programa de 10 instrucciones que ocupa 40 bytes, con 15 accesos a memoria.
   f) La que ejecute en menor tiempo.

3)
   a)

$$S = \frac{4C * (B^3 - D) - B^4}{D * 2A} \qquad T = \frac{B^4}{4A + D * 2A}$$

   b) ...
   c) ...

4)
   a) jump; load; add; addi; nop.
   b) Formato 1: 4 bits para el opcode y 28 para la dirección.
      Formato 2: 4 bits para el opcode, 6 bits para el registro y 22 para la dirección.
      Formato 3: 4 bits de prefijo, 6 bits para cada registro, 7 bits para el opcode y 3 bits sin uso.
      Formato 4: 4 bits de prefijo, 6 bits para el registro, 10 bits para la constante y 6 bits para el opcode.
      Formato 5: 4 bits de prefijo, 22 bits sin uso y 6 bits de opcode.
   c) Formato 1: 0011 al 0111; Formato 2: 1000 al 1101; Formato 3: 000000 al 1001110; Formato 4: 000000 al 110101; Formato 5: 000000 al 100101.
   d) Si, pero solo si la mejora lo justifica.

5) Conviene utilizar una sola palabra y hacer dos operaciones en constantes grandes.

6) Conviene utilizar dos palabras en todas las instrucciones con constantes.

7) La versión optimizada es 5,8 % más rápido que el original.

8)
   a) 1,255 y 1,222.
   b) 133 millones.
   c) 1,33 y 1,41.
   d) 24,8 %.
   e) 91,7 %.

9) La versión nueva es un 2,69 % más lenta que la versión Original.