Trabajo Práctico Número 2

Arquitectura de Computadoras 25/03/2026

Instrucciones

- Los problemas de ejercitación 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 problemas de enunciado y verificar la validez de la solución obtenida.
- Posteriormente, se tomará una evaluación con problemas similares a los de este práctico, la cual deberá ser resuelta en forma individual. La fecha de evaluación se encuentra en el sitio web de la materia.

Conceptos Involucrados

- Conceptos básicos de Arquitectura de Computadoras.
- Costo de los circuitos integrados.
- Performance. Métricas. Cómo elegir entre diferentes alternativas. Criterios.
- Ecuación de tiempo de ejecución de un procesador ($t = I * CPI * T$).
- Ley de Amdahl.
- Consumo de Energía.

Problemas propuestos

1) Califique las siguientes afirmaciones como verdaderas o falsas y justifique la respuesta:
   a) El sistema de memoria caché es transparente al programa de usuario.
   b) El sistema de memoria caché está basado exclusivamente en el principio de Localidad espacial.
   c) Cuando existe un Sistema Operativo, este es siempre el encargado de atender las interrupciones.
   d) El ensamblador lee y traduce las instrucciones de un programa en Lenguaje de Alto Nivel.
   e) Los programas de benchmarking brindan una buena aproximación del rendimiento de una máquina para las aplicaciones del usuario final.

2) *[Recomendado]* Suponga que usted debe decidir la compra de su próxima computadora, y debe elegir una de las siguientes opciones:
   - Una computadora de Apple, que usa un procesador de Intel, pero su propio compilador.
   - Una PC que usa un procesador de Intel de gama media.
   - Una PC que usa un procesador de AMD (pero que usa el mismo compilador que la anterior).
   - Una PC que usa el último procesador de Intel de gama alta (pero que tiene la misma arquitectura que el segundo y usa el mismo compilador).

   ¿Cuáles de las siguientes afirmaciones son correctas? Justifique su respuesta.
   a) La computadora más rápida será la que tenga mayor frecuencia de reloj.
   b) Como todas las PC usan el mismo set de instrucciones compatible con Intel, y ejecutan el mismo número de instrucciones para un mismo programa, la computadora más rápida será la que tenga mayor frecuencia de reloj.
   c) Como AMD usa diferentes técnicas que Intel para ejecutar las instrucciones, éstas pueden tener diferentes CPI promedio. Sin embargo, igual es posible afirmar cuál de las dos PC con procesadores Intel es más rápida mirando su frecuencia de reloj.
   d) Sólo observando los resultados de un benchmark con una carga de trabajo similar a la suya es posible obtener una estimación precisa de la performance de las computadoras.

3) *[Profundización]* Suponga que usted trabaja en una compañía que quiere lanzar al mercado un nuevo chip. Los costos fijos, que incluyen investigación y desarrollo, fabricación y equipamiento, etc., suman en total $450.000. El costo por oblea es de $6.000, y cada oblea puede ser cortada en 1200 dados. El factor de producción de los dados es del 50 %. Finalmente, los

dados son empaquetados y testeados, con un costo de $10 por chip. El factor de testeo es del 89 %, y sólo aquellos chips que pasan las pruebas serán vendidos a los clientes. Si el precio de venta es un 40 % mayor que el costo de fabricación, ¿Cuántos chips deben ser vendidos como mínimo para no tener pérdidas?

4) *[Recomendado]* Si dos máquinas con las características que se detallan abajo se comparan con un Benchmark compuesto por un 30 % de instrucciones de carga, un 40 % de instrucciones aritméticas enteras, un 10 % de instrucciones de salto y un 20 % de instrucciones de punto flotante.

Característica	**Máquina Uno**	**Máquina Dos**
CPI promedio para instrucciones de carga de datos	6	8
CPI promedio para instrucciones aritméticas enteras	9	7
CPI promedio para instrucciones de salto	4	2
CPI promedio para instrucciones de punto flotante	5	4
Cantidad de instrucciones del Benchmark	200×10^6	180×10^6
Frecuencia de reloj	2 GHz	2,5 GHz

Se pide que calcule:
a) Cantidad de ciclos de reloj promedio por instrucción (/CPI) para cada máquina para el Benchmark.
b) Tiempo de ejecución del Benchmark para cada máquina.
c) ¿Cuánto debe valer /CPI de las instrucciones de carga de la primera máquina para que el tiempo de ejecución del Benchmark sea el mismo en ambas máquinas?
d) ¿Cuánto debe valer /CPI de las instrucciones aritméticas de enteros de la primera máquina para que el tiempo de ejecución del Benchmark sea el mismo en ambas máquinas?

5) *[Recomendado]* Usted es el diseñador líder de un nuevo procesador. El diseño del procesador y su compilador están completos, y ahora le toca decidir si comienza a producir el diseño tal como está, o si invierte algún tiempo adicional en mejorarlo. Después de debatir con el equipo de hardware, se llega a las siguientes alternativas:

- Dejar el diseño como está, y llamarlo M_{BASE}. Este procesador tiene una frecuencia de reloj de 1,8 GHz, y posee la siguiente mezcla de instrucciones:

Tipo de Instrucciones	**CPI**	**Frecuencia**
A	2	40 %
B	3	25 %
C	3	25 %
D	5	10 %

- Optimizar el hardware, y llamar a este diseño M_{OPT}. El equipo de hardware asegura que puede aumentar la frecuencia de reloj a 2 GHZ, y modificar los ciclos de cada instrucción de la siguiente manera:

Tipo de Instrucciones	**CPI**	**Frecuencia**
A	2	40 %
B	2	25 %
C	3	25 %
D	4	10 %

a) ¿Cuál es el CPI para cada computadora?
b) ¿Cuáles son los MIPS de cada computadora?
c) ¿Cuánto más rápida es M_{OPT} que M_{BASE}?
d) El equipo de compilación escucha sobre el debate, y propone realizar una mejora sobre el compilador que aumenten la performance del diseño. A esta combinación de la máquina base con el compilador mejorado la llamaremos M_{COMP}. Las mejoras en las instrucciones de este compilador mejorado se estiman como se muestra a continuación:

Tipo de Instrucciones	Porcentaje de instrucciones ejecutadas con respecto a M_{BASE}
A	90 %
B	90 %
C	85 %
D	95 %

Por ejemplo, si M_{BASE} ejecutaba 500 instrucciones de tipo A, MCOMP ejecutará $450 = (500 * 0,9)$ instrucciones tipo A para el mismo programa. ¿Cuál es el CPI de M_{COMP}?

e) ¿Cuánto más rápida es M_{COMP} que M_{BASE}?

f) A su vez, el equipo de compilación asegura que es posible realizar tanto las mejoras en el compilador como en el hardware. Llamemos M_{AMBAS} a la computadora que implementa ambas mejoras. ¿Cuánto más rápida es M_{AMBAS} que M_{BASE}?

g) Finalmente, es responsabilidad suya decidir cuál de las mejoras incorporar. Ud. estima que implementar las mejoras llevará la siguiente cantidad de tiempo:

Máquina	Optimización	Tiempo de Implementación
M_{OPT}	Hardware	6 Meses
M_{COMP}	Software	6 Meses
M_{AMBAS}	Ambas	8 Meses

Sabiendo que la performance relativa de los procesadores mejora aproximadamente un 50 % por año, o lo que es lo mismo un 3,4 % por mes, y asumiendo que la performance de la computadora base es idéntica a la de sus competidores, ¿Cuál optimizaciones implementaría (en caso que decida implementar alguna) para ser mejor que sus competidores?

6) *[Recomendado]* Es importante recordar que para comparar el rendimiento de dos computadoras, utilizar un subconjunto de las variables intervinientes en la ecuación de performance lleva comúnmente a errores. Para ilustrar este concepto se consideran los siguientes datos correspondientes a la ejecución de un programa que consta de 5 millones de instrucciones para P1 y 1 millón de instrucciones para P2.

Procesador	Frecuencia	CPI
P1	4 GHz	0,9
P2	3 GHz	0,75

a) Un error habitual es considerar que el procesador con la mayor frecuencia es el de mejor performance. Verifique si esto se cumple para los procesadores P1 y P2.

b) Otro error común es considerar que el procesador que ejecuta el mayor número de instrucciones requiere un mayor tiempo de ejecución. Considerando que el procesador P1 ejecuta el programa de 1 millón de instrucciones, y considerando que el CPI de P1 y P2 no cambia, determine el número de instrucciones que podrá ejecutar P2 en el tiempo que P1 ejecuta 1 millón de instrucciones.

c) Una medida muchas veces utilizada para comparar la performance de dos procesadores son los MIPS (millones de instrucciones por segundo). De esta manera se asume que el procesador con mayor MIPS es el de mayor performance, verifique si esto se cumple para los procesadores P1 y P2.

7) Considere dos computadoras M1 y M2 en las cual se ejecutan dos programas entregando los tiempos de ejecución que se detallan en la siguiente tabla.

Programa	Tiempo en M1	Tiempo en M2
P1	2 Segundos	1,5 Segundos
P2	5 Segundos	10 Segundos

a) Suponga que la máquina M1 cuesta $500, y que M2 cuesta $800. Si necesitase ejecutar el Programa P1 un gran número de veces, ¿cuál computadora compraría en grandes cantidades? ¿Por qué?

b) Suponga que ahora Ud. dispone de muchas otras computadoras además de M1 y M2, todas con su costo y su tiempo de ejecución del Programa P1, el cual debe ser ejecutado un gran número de veces. ¿Podría usarse el costo dividido en el tiempo de ejecución como métrica

para tomar la decisión de compra? ¿Y el costo multiplicado por el tiempo de ejecución? Si ninguna de las dos fórmulas le resulta conveniente, presente un ejemplo simple que lo demuestre.

c) Suponga ahora que otro usuario requiere que el Programa P1 y el Programa P2 sean ejecutados la misma cantidad de veces. ¿Cuál computadora tiene mejor performance para esta carga de trabajo, y por cuánto? ¿Y cuál computadora tiene mejor relación costo-beneficio para esta carga de trabajo, y por cuánto?

d) Otro usuario requiere ejecutar el Programa P1 1600 veces por hora, y el tiempo restante dedicarlo a la ejecución del Programa P2. Si la computadora tiene la suficiente performance para ejecutar el Programa P1 el número de veces requerida, entonces la performance puede medirse como la cantidad de ejecuciones del Programa P2. ¿Cuál computadora es más rápida para esta carga de trabajo? ¿Cuál tiene mejor relación costo beneficio?

8) *[Profundización]* Considere el programa P, que se ejecuta en la máquina M (cuya frecuencia de reloj es 1 GHz) en 10 segundos. Se realiza una optimización sobre P, reemplazando todas las instancias donde se multiplica un valor por cuatro (mult X, X, 4) por dos instrucciones que suman X consigo mismo (suma X, X; suma X, X), y a esta optimización le llamamos P'. El CPI de una instrucción de multiplicación es 4, mientras que el CPI de una instrucción de suma es 1. El programa P' se ejecuta en la máquina M en 9 segundos. ¿Cuántas instrucciones de multiplicación fueron reemplazadas por el compilador?

9) Una aplicación desarrollada en Java es ejecutada en 15 segundos por una computadora de escritorio. Se anuncia un nuevo compilador de Java el cual requiere sólo el 60 % de las instrucciones utilizadas por el viejo compilador para la misma aplicación. Desafortunadamente, como contrapartida de estas mejoras se produce un incremento en el CPI en un 10 %. ¿Qué tan rápido podemos esperar que se ejecutada la aplicación utilizando el nuevo compilador? Elija una de las opciones y justifique su respuesta.

a) $(15 * 0,6)/1,1 = 8,2$
b) $15 * 0,6 * 1,1 = 9,9$
c) $(15 * 1,1)/0,6 = 27,5$

10) En clase de teoría, vieron un ejemplo de cómo mejoraría una computadora si se hiciese que la unidad de punto flotante sea cinco veces más rápida (Diapositiva 42 del Tema 02). Bajo ese mismo ejemplo, usted. Deberá:

a) Realizar una gráfica en la que se muestre la aceleración obtenida en función del porcentaje de tiempo del programa original que se usa para operaciones de punto flotante (en el ejemplo de clase, este valor era de 50 %).
b) ¿Para qué porcentaje se obtiene una aceleración igual a 2?
c) ¿Para qué porcentaje se obtiene una aceleración igual a 6,2?

11) Suponga que un equipo de diseño considera mejorar la performance de un CPU mediante el agregado de hardware MMX (MultiMedia Extension). Las instrucciones que corren en modo MMX se ejecutan 10 veces más rápido empleando el nuevo Hardware, en comparación al modo normal de ejecución. Se denomina "porcentaje de mejora multimedia" al porcentaje del tiempo que ocupa un programa en correr instrucciones ejecutables en modo MMX.

a) ¿Qué porcentaje de mejora multimedia debería tener un programa para incrementar su performance al doble empleando el agregado de hardware MMX?
b) ¿Qué porcentaje del tiempo de ejecución del CPU mejorado se ocupa en el modo MMX, suponiendo que se ha logrado duplicar su performance?
c) Para definir si conviene invertir más en la mejora de hardware en MMX, evalúe cuál es la máxima mejora de performance que se podría llegar a lograr, considerando el porcentaje calculado en el apartado (a).

12) Se realizaron mediciones sobre el consumo de energía de una notebook y los resultados obtenidos indican que el procesador es responsable del 50 % del consumo, la pantalla de un 30 %, el disco de un 10 % y todos los otros dispositivos del 10 % restante.

a) Suponiendo que es posible reducir el consumo del procesador a la mitad, ¿en cuánto se incrementaría la duración de la batería?
b) Suponiendo que se desea que la batería triplique su duración, ¿a cuánto debe reducirse el consumo del procesador

13) *[Recomendado]* El procesador de una computadora funciona con una frecuencia de reloj de

2,80 GHz, trabaja a una tensión nominal de 1,525 V, tiene 125 millones de transistores, con una actividad promedio del 30 %. Este procesador es reemplazado por otro, con una frecuencia de reloj de 1,86 GHz, que trabaja a una tensión nominal un 10 % menor, que tiene el doble de transistores, con una actividad promedio del 25 %.

a) Indique cuánto es la mejora en términos de energía disipada.
b) Indique cuál es el factor que más influye en esa mejora

14) Un determinado procesador posee una frecuencia de reloj de 3,2 GHz y una tensión nominal de 1,2 V, y se propone realizar una nueva versión del mismo, pero con una frecuencia de reloj de 4,7 GHz.
   a) Suponiendo que la capacitancia de la nueva versión es el 80 % de la capacitancia de la versión original, ¿cuál debería ser el valor de la tensión nominal de la nueva versión para que el consumo de potencia sea el 60 % del consumo original?
   b) Con el valor de tensión nominal calculado en el apartado anterior, ¿hasta cuánto es posible subir la frecuencia de reloj de esta nueva versión, para que el consumo de potencia sea igual al original?

Ejercicio a Desarrollar en Clase Práctica

Ejercicio 1 del Primer Parcial de 2016 (modificado)

15) Suponga que un programa necesita 820.000.000 de instrucciones para revisar la ortografía de un archivo grande. Este programa utiliza cuatro clases distintas de instrucciones, que requieren distintos ciclos de reloj para su ejecución. En la tabla siguiente se muestran las cantidades de instrucciones y de ciclos para cada grupo.

Clase de instrucción	Ciclos por instrucción	Cantidad de instrucciones
Saltos	3	150.000.000
Almacenamientos	4	185.000.000
Cargas	5	260.000.000
Aritméticas	4	225.000.000

   a) Si el tiempo total de ejecución de este programa es de 1,57 segundos, ¿Cuál es la duración, en segundos, de cada ciclo de reloj de esta máquina?
   b) Se observa que el 25 % de las instrucciones de carga preceden siempre a una instrucción aritmética que usa el dato que ha sido cargado. Para acelerar este programa, se considera agregar un nuevo tipo de instrucción de procesamiento en la cual uno de los operandos sea un valor de memoria. Esta nueva instrucción, que tomará 7 ciclos de reloj, reemplaza la secuencia mencionada de 2 instrucciones. Si la frecuencia de reloj es la misma para los dos casos. ¿Resultará de este cambio en una mejora de la performance sobre el diseño original? ¿Si así fuera, por cuánto?
   c) En caso de que hubiera una mejora en el caso anterior, ¿a qué se debe?

Soluciones propuestas

1) V, F, V, F, F.

2) F, F, F, V.

3) 50.000 Chips.

4)
   a) Máquina Uno = 6,8; Máquina Dos = 6,2.
   b) Máquina Uno = 0,68 seg; Máquina Dos = 0,446 seg.
   c) No se puede.
   d) CPI aritméticas = 3,15.

5)
   a) CPI (M_{BASE}) = 2,8; CPI (M_{OPT}) = 2,45.
   b) MIPS(M_{BASE}) = 642,85 MIPS; MIPS (M_{OPT}) = 816,33 MIPS.
   c) M_{OPT} es un 27 % más rápida que M_{BASE}.
   d) CPI (M_{COMP}) = 2,81.
   e) M_{COMP} es un 11,6 % más rápida que M_{BASE}.
   f) M_{AMBAS} es un 42,2 % mejor que M_{BASE}.
   g) Ambas mejoras.

6)
   a) P2 tiene mejor performance, a pesar de tener menor frecuencia de reloj.
   b) 900.000 instrucciones.
   c) P1 tiene más MIPS que P2.

7)
   a) Mejor relación costo-beneficio M1.
   b) Costo sobre tiempo no sirve. Costo por tiempo si puede ser un indicador aproximado.
   c) Mejor relación costo-beneficio M1.
   d) M1 80 ejecuciones de P2; M2 120 ejecuciones de P2. Mejor relación costo-beneficio M1.

8) 500 millones de multiplicaciones fueron reemplazadas.

9) b) $15 * 0,6 * 1,1 = 9,9$

10)
   a) ...
   b) 62,5. %
   c) No se puede.

11)
   a) F = 55,5 %.
   b) 11,1 %.
   c) 2,25.

12)
   a) 33 % de incremento.
   b) No es posible.

13)
   a) Mejora del 10,33 %.
   b) Frecuencia.

14)
   a) V2 = 0,857 V.
   b) f2 = 7,84 GHz.