Guía de Solución para el Trabajo Práctico Número 2

Arquitectura de Computadoras 25/03/2026

Problemas Propuestos

4) 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?

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).

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?

Soluciones Completas

4)

a) El primer dato a tener en cuenta es la composición del Benchmark: 30 % Carga, 40 % Aritméticas, 10 % Salto y 20 % Punto Flotante.

CPI_c: Ciclos promedio por instrucción de Carga.
CPI_a: Ciclos promedio por instrucción Aritmética.
CPI_s: Ciclos promedio por instrucción de Salto.
CPI_{pf}: Ciclos promedio por instrucción de Punto Flotante.

Máquina Uno

$$CPI = 30\,\%\ CPI_c + 40\,\%\ CPI_a + 10\,\%\ CPI_s + 20\,\%\ CPI_{pf}$$

$$CPI = 0,3 * 6 + 0,4 * 9 + 0.1 * 4 + 0,2 * 5 = \mathbf{6,8}$$

Máquina Dos

$$CPI = 30\,\%\ CPI_c + 40\,\%\ CPI_a + 10\,\%\ CPI_s + 20\,\%\ CPI_{pf}$$

$$CPI = 0,3 * 8 + 0,4 * 7 + 0.1 * 2 + 0,2 * 4 = \mathbf{6,2}$$

b) Para calcular el tiempo de ejecución del benchmark en cada una de las máquinas es necesario además del CPI promedio en cada una de las mismas (calculado en el apartado anterior), la frecuencia de cada máquina y la cantidad de instrucciones que el compilador de cada una de las máquinas genera al procesar el programa de benchmark. Siendo I cantidad total de instrucciones, CPI ciclo promedio por instrucción y F la frecuencia de reloj.

Máquina Uno

$$t = \frac{I * CPI}{F} = \frac{200 * 10^6 * 6,8}{2 * 10^9} = \mathbf{0,68\ segundos}$$

Maquina Dos

$$t = \frac{I * CPI}{F} = \frac{180 * 10^6 * 6,2}{2,5 * 10^9} = \mathbf{0,446\ segundos}$$

c) Para que el tiempo de ejecución del benchmark sea el mismo en ambas máquinas haciendo modificaciones sólo en la primera, debemos igualar el tiempo de ejecución de la misma a 0,446 segundos (el tiempo calculado en el apartado anterior para la segunda máquina). Luego podemos despejar el valor del CPI y ver cuanto debería ser el CPI promedio para alcanzar este tiempo de ejecución en la máquina uno:

$$CPI_{Nuevo} = \frac{t * F}{I} = 0,446seg * \frac{2 * 10^9 MHz}{200 * 10^6} = \mathbf{4,46}$$

Siendo t el tiempo de ejecución del benchmark, I la cantidad total de instrucciones y F la frecuencia de reloj. De esta manera podemos calcular la diferencia entre el CPI que se desea alcanzar y el CPI original para la máquina uno y ver en cuanto es necesario disminuir el CPI de las instrucciones de carga.

$$CPI - CPI_{Nuevo} = 6,8 - 4,46 = \mathbf{2,34}$$

Dado que las instrucciones de carga sólo representan 1,8 en el CPI original $6 * 0,3$, vemos que no se puede alcanzar el tiempo bajando sólo las operaciones de carga. Es decir, que hasta eliminado completamente las instrucciones de carga no lograríamos bajar el CPI promedio en más de 1,8.

d) Como se calculó en el apartado anterior para poder igualar los tiempos de ejecución del benchmark en ambas máquinas, realizando cambios sólo en la primera, es necesario que el CPI promedio de la primera máquina sea igual a 4,46.

En este caso como las instrucciones aritméticas de enteros representan 3,6 dentro del CPI $0,4 * 9$ es posible bajar el CPI promedio de 6,8 a 4,46 alterando sólo el CPI de este tipo de instrucción (es necesario reducir 2,34).
De esta manera, sabiendo el CPI que queremos alcanzar (4,46) y tomando como incógnita el nuevo CPI_{anuevo} para las instrucciones aritméticas de enteros podemos calcularlo utilizando la misma ecuación que en el primer apartado.

$$CPI = 30\,\%\ CPI_c + 40\,\%\ CPI_a + 10\,\%\ CPI_s + 20\,\%\ CPI_{pf}$$

$$CPI = 0,3 * 6 + 0,4 * CPI_{anuevo} + 0.1 * 4 + 0,2 * 5 = \mathbf{4,46}$$

$$4,46 = 1,8 + 0,4 * CPI_{anuevo} + 0.4 + 1 = 3.2 + 0,4 * CPI_{anuevo}$$

$$CPI_{anuevo} = \frac{4,46 - 3,2}{0,4} = \frac{1,26}{0,4} = \mathbf{3,15}$$

Por lo tanto, para lograr igualar el tiempo de ejecución del benchmark en ambas máquinas, alterando sólo el CPI de las instrucciones aritméticas de enteros, es necesario que el mismo sea igual a 3,15.

11)

a) Este apartado puede ser resuelto utilizando la ley de Amdahl, en donde la incógnita es el porcentaje F sobre el que se aplica la mejora. Por ello, el primer paso sería ubicar los datos correspondientes a la aceleración deseada (A), y cuánto es la mejora aplicada (S).
La mejora aplicada se encuentra en el enunciado, y es igual a 10, y la aceleración deseada se encuentra en el apartado (. . . incrementar su performance al doble. . .) y es igual a 2.
Por lo que, reemplazamos A y S en la ecuación de Amdahl, y obtenemos el resultado:

$$A = \frac{1}{1 - F + \frac{F}{S}} \Rightarrow 2 = \frac{1}{1 - F + \frac{F}{10}} \Rightarrow 0,5 = 1 - F + 0,1 * F \Rightarrow 0,5 = 0,9 * F \Rightarrow F = \frac{0,5}{0,9} = \mathbf{0,555}$$

Por lo tanto, el porcentaje de mejora multimedia que debería tener el programa es de 55.5 %.

b) Ahora, el porcentaje de mejora multimedia, que es de 55.5 %, se ejecuta 10 veces más rápido, lo que significa que su influencia en el tiempo de ejecución total se redujo a 5.55 %. Y conociendo que el tiempo total se redujo al 50 % (el doble de performance), calculamos el porcentaje de tiempo dedicado a multimedia:

$$5,55/50 = 0,111 \Rightarrow \mathbf{11,1}\,\%$$

c) La máxima aceleración posible, se obtendría considerando que la mejora aplicada es infinita, y por lo tanto que el tiempo dedicado a multimedia se reduce a cero. En esta situación, el tiempo se ve reducido a un 44.5 %, que es el porcentaje de tiempo original que no es afectado por la mejora. Entonces, la máxima aceleración posible será igual a

$$\frac{1}{0,445} = \mathbf{2,25}$$

14)

a) El ejercicio parte de una fórmula simplificada para el consumo de potencia:

$$P = C * f * V^2$$

Del enunciado se sabe que:

- La frecuencia inicial, llamémosle f_1, es de 3,2 GHz.
- La frecuencia nueva, llamémosle f_2, es de 4,7 GHz.
- La tensión nominal inicial, llamémosle V_1 es de 1,2 V.
- La capacitancia total de la versión nueva, llamémosle C_2, es el 80 % de la capacitancia inicial, a la que llamamos C_1. Entonces, podemos expresar que $C_2 = 0,8 * C_1$.
- El consumo de potencia que queremos lograr, al cual llamamos P_2, debe ser el 60 % del consumo original, al cual llamamos P_1. Entonces, podemos expresar que $P_2 = 0,6 * P_1$.
- La incógnita que debemos encontrar es el nuevo valor de tensión nominal, al cual llamaremos V_2.

Con todos estos datos, lo que nos queda es plantear las ecuaciones:

$$P_2 = 0,6 * P_1 \Rightarrow C_2 * f_2 * (V_2)^2 = 0,6 * C_1 * f_1 * (V_1)^2 \Rightarrow 0,8 * C_1 * 4,7 * (V_2)^2 = 0,6 * C_1 * 3,2 * 1,2^2$$

$$(V_2)^2 = \frac{0,5882}{0,8} = 0,735 \Rightarrow V = \sqrt{0,735} = \mathbf{0,857\ Volts}.$$

b) En este caso, los datos que nos proporciona el enunciado nos dicen que:

- Sabemos la tensión nominal de la nueva versión, que es 1,859 Volts.
- Queremos que el consumo de potencia de la nueva versión sea el mismo que el original, o sea que $P_2 = P_1$.
- Y que lo que vamos a variar, o sea nuestra incógnita, es la nueva frecuencia, o sea f_2.

Con todos estos datos, lo que nos queda es plantear las ecuaciones:

$$P_2 = P1 \Rightarrow C_2 * f_2 * (V_2)^2 = C_1 * f_1 * (V_1)^2 \Rightarrow (0,8 * C_1) * f_2 * (0,857)^2 = C_1 * 3,2 * 1,2^2$$

$$0,587 * f_2 = 4,608 \Rightarrow f_2 = \frac{4,608}{0,587} = \mathbf{7,84\ GHz}.$$