

Tutorías con Grupos Reducidos (TGR)

Parte 1: Evaluación de prestaciones

ESTRUCTURA DE COMPUTADORES

Grupo de Arquitectura de Computadores (GAC)

Índice

- 1 Definición de métricas de rendimiento
- 2 Evaluación y comparación de rendimiento
- 3 Ejercicios

Índice

- 1 Definición de métricas de rendimiento
- 2 Evaluación y comparación de rendimiento
- 3 Ejercicios

Métricas de rendimiento

Tiempo de respuesta (latencia o tiempo de ejecución)

Tiempo entre el inicio y el final de una tarea. Para maximizar el rendimiento se minimiza el tiempo de ejecución de una tarea:

$$R_x = \frac{1}{\text{tiempo de ejecucion}_x}$$

Productividad

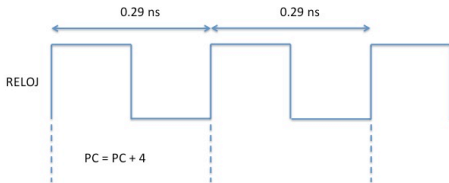
Cantidad de trabajo hecho en un cierto tiempo

Ciclo de reloj

Los procesadores tienen un reloj que funciona a una frecuencia concreta y determina el momento en que tienen lugar los eventos

Ejemplo

Intel® Core™ i7-990X processor Extreme Edition: 3.46 GHz core speed



Métricas de rendimiento

Tiempo de ejecución de CPU

$$\textit{Tiempo de CPU} = \textit{ciclos de CPU} \times \textit{tiempo de ciclo}$$

$$\textit{Tiempo de CPU} = \frac{\textit{ciclos de CPU}}{\textit{frecuencia de reloj}}$$

El compilador genera las instrucciones para ejecutar y el procesador las ejecuta. El número de ciclos de reloj requerido por un programa es:

$$\textit{ciclos de CPU} = \textit{instrucciones} \times \textit{media de ciclos por instruccion}$$

Métricas de rendimiento

Ciclo de reloj por instrucción (CPI)

Es el número medio de ciclos de reloj que una instrucción necesita para ejecutarse

Instrucciones diferentes pueden necesitar diferente cantidad de ciclos de reloj. El CPI proporciona una media:

$$CPI = \frac{\sum_{i=1}^m CPI_i NI_i}{N}$$

donde NI_i es el número total de instrucciones tipo i , CPI_i es el número de ciclos de reloj para esa clase de instrucciones, N es el número total de instrucciones, y m es el número total de tipos de instrucciones existentes.

Métricas de rendimiento

Ecuación básica del rendimiento

$$T_{cpu} = N \times CPI \times T = \frac{N \times CPI}{F}$$

donde T es el tiempo de ciclo y F la frecuencia de reloj.

Esta fórmula se puede utilizar para comparar dos realizaciones diferentes o para evaluar un diseño alternativo si se conoce el impacto de los tres parámetros

Métricas de rendimiento

MIPS: millones de instrucciones por segundo

$$MIPS = \frac{N}{T_{cpu} \times 10^6}$$

MFLOPS: millones de instrucciones en punto flotante por segundo

$$MFLOPS = \frac{NFP}{T_{cpu} \times 10^6}$$

Índice

- 1 Definición de métricas de rendimiento
- 2 Evaluación y comparación de rendimiento
- 3 Ejercicios

Comparación de rendimiento

Comparación de una máquina X con una máquina Y

$$R_x > R_y$$

$$\frac{1}{T_{exec_x}} > \frac{1}{T_{exec_y}}$$

$$T_{exec_x} < T_{exec_y}$$

Relación cuantitativa entre dos máquinas diferentes

$$n = \frac{R_x}{R_y}$$

la máquina X es n veces más rápida que la máquina Y

Índice

- 1 Definición de métricas de rendimiento
- 2 Evaluación y comparación de rendimiento
- 3 Ejercicios

Ejercicio 1

Enunciado:

*Un programa tarda 10 segundos en un ordenador **A**, el cual tiene un reloj de 100 MHz. Queremos construir una máquina **B**, con el mismo repertorio de instrucciones, que ejecuta el programa en 6 segundos. Si sabemos que la máquina B requiere 1,2 veces los ciclos de reloj que la máquina **A** necesitaba para ejecutar el programa, qué **frecuencia de reloj** debería tener la máquina **B**?*

Ejercicio 1

Solución:

$$\text{Tiempo de CPU}_A = \text{ciclos CPU}_A \times \text{tiempo de ciclo}$$

$$\text{Ciclos CPU}_A = 10 \times 100 \times 10^6 = 10^9 \text{ ciclos}$$

$$\text{Tiempo CPU}_B = \frac{1,2 \times \text{ciclos CPU}_A}{\text{Frecuencia de reloj CPU}_B}$$

$$\text{Frecuencia de reloj CPU}_B = \frac{1,2 \times 10^9}{6} = \mathbf{200 \text{ MHz}}$$

Ejercicio 2

Enunciado:

*Supongamos que se tienen dos implementaciones de la misma arquitectura del repertorio de instrucciones. La máquina **A** tiene un ciclo de reloj de 1ns y un CPI de 2,0 para un programa concreto, mientras que la máquina **B** tiene un tiempo de ciclo de 2ns y un CPI de 1,2 para el mismo programa ¿Qué máquina es **más rápida** para este programa? ¿**Cuánto** más rápida?.*

Ejercicio 2

Solución:

$NI = \text{Número de instrucciones.}$

$$\text{Tiempo de CPU}_A = \text{ciclos CPU}_A \times \text{tiempo de ciclo} = NI \times 2,0 \times 1ns$$

$$\text{Tiempo de CPU}_B = \text{ciclos CPU}_A \times \text{tiempo de ciclo} = NI \times 1,2 \times 2ns$$

$$\frac{\text{Rendimiento}_A}{\text{Rendimiento}_B} = \frac{\text{Tiempo de CPU}_B}{\text{Tiempo de CPU}_A} = \frac{2,4 \times NI}{2 \times NI} = \mathbf{1,2}$$

La máquina A es **1,2** veces más rápida que la máquina B.

Ejercicio 3

Enunciado:

Un diseñador de compiladores está intentando decidir entre dos secuencias de código para una máquina en particular. Para una declaración particular de un lenguaje de alto nivel, el diseñador del compilador está considerando dos secuencias de código que requieren el siguiente número total de instrucciones:

	Número de instrucciones		
Secuencia	A (CPI=1)	B (CPI=2)	C (CPI=3)
1	2	1	2
2	4	1	1

*¿Cuál es el **CPI (medio)** para cada secuencia?*

Ejercicio 3

Solución:

$$CPI_{medio} = \frac{\sum_{i=1}^m CPI_i NI_i}{N}$$

$$CPI_{sec1} = \frac{(2 \times 1) + (1 \times 2) + (2 \times 3)}{2 + 1 + 2} = 2$$

$$CPI_{sec2} = \frac{(4 \times 1) + (1 \times 2) + (1 \times 3)}{4 + 1 + 1} = 1,5$$

Ejercicio 4

Enunciado:

Considérese una máquina con tres tipos de instrucciones. Supongamos que medimos el código de un mismo programa para dos compiladores diferentes y obtenemos los siguientes valores:

	Número de instrucciones (millones)		
Compilador	A (CPI=1)	B (CPI=2)	C (CPI=3)
1	5	1	1
2	10	1	1

Asumiendo que la frecuencia de reloj de la máquina es de 500MHz,

- a) ¿Qué secuencia es más rápida de acuerdo con la métrica **MIPS**?
- b) ¿Y con respecto al **tiempo de ejecución**?

Ejercicio 4

Solución (a):

$$CPI_{sec1} = \frac{(5 \times 1 + 1 \times 2 + 1 \times 3) \times 10^3}{(5 + 1 + 1) \times 10^3} = \mathbf{1,43}$$

$$MIPS_{sec1} = \frac{500 \times 10^6}{1,43 \times 10^6} = \mathbf{349}$$

$$CPI_{sec2} = \frac{(10 \times 1 + 1 \times 2 + 1 \times 3) \times 10^3}{(10 + 1 + 1) \times 10^3} = \mathbf{1,25}$$

$$MIPS_{sec2} = \frac{500 \times 10^6}{1,25 \times 10^6} = \mathbf{400}$$

Ejercicio 4

Solución (b):

$$Tiempo\ CPU_{sec1} = \frac{(5 \times 1 + 1 \times 2 + 1 \times 3) \times 10^3}{500 \times 10^6} = \mathbf{0,00002s}$$

$$Tiempo\ CPU_{sec2} = \frac{(10 \times 1 + 1 \times 2 + 1 \times 3) \times 10^3}{500 \times 10^6} = \mathbf{0,00003s}$$

Ejercicio 5

Enunciado:

M1 y M2 son dos máquinas con el mismo compilador y repertorio de instrucciones (4 tipos: A, B, C y D). M1 tiene una frecuencia de reloj de 500 MHz y M2 de 750 MHz. El CPI medio para cada tipo de instrucción es:

Tipo	CPI M1	CPI M2
A	1	2
B	2	2
C	3	4
D	4	4

- a) Si las instrucciones ejecutadas en un programa se dividen equitativamente entre los 4 tipos, ¿cuánto más rápida es M2 respecto a M1?
- b) ¿A qué **frecuencia de reloj** tendría M1 el **mismo rendimiento** que M2?

Ejercicio 5

Solución (a):

$$\text{Tiempo CPU}_1 = NI \times \frac{(1 + 2 + 3 + 4)}{4} \times \frac{1}{500 \times 10^6} = \mathbf{5} \times NI \text{ ns}$$

$$\text{Tiempo CPU}_2 = NI \times \frac{(2 + 2 + 4 + 4)}{4} \times \frac{1}{750 \times 10^6} = \mathbf{4} \times NI \text{ ns}$$

La máquina 2 es **1,25** veces más rápida que la máquina 1.

Solución (b):

$$\frac{2,5}{F_1} = \frac{3}{750 \times 10^6} \Rightarrow F_1 = \frac{2,5}{3} \times 750 \times 10^6 = \mathbf{625 \text{ MHz}}$$

Ejercicio 6

Enunciado:

Considera 2 implementaciones diferentes, M1 y M2, del mismo repertorio de instrucciones. M1 es una implementación uniciclo con una frecuencia de reloj de 400 MHz y M2 una versión multiciclo a 1,2 GHz. Calcula que máquina es más rápida al ejecutar un programa de 1 millón de instrucciones con la siguiente información:

Instrucción	%	ciclos M2
Cargas	20 %	5
Almacenamientos	10 %	4
Operaciones ALU	50 %	4
Saltos condicionales	15 %	3
Saltos incondicionales	5 %	3

Ejercicio 6

Solución:

$$Tiempo CPU_1 = \frac{10^6 \times 1}{400 \times 10^6} = \mathbf{0,0025s}$$

$$Tiempo CPU_2 = \frac{10^6 \times (0,2 \times 5 + 0,1 \times 4 + 0,5 \times 4 + 0,15 \times 3 + 0,05 \times 3)}{1,2 \times 10^9} = \mathbf{0,003s}$$

Ejercicio 7

Enunciado:

Un diseñador de compiladores está intentando decidir entre dos secuencias de código para una máquina en particular. La frecuencia de reloj de la máquina es de 1,0 GHz. Para una declaración particular de un lenguaje de alto nivel, el diseñador del compilador está considerando dos secuencias de código que requieren el siguiente número de instrucciones:

Secuencia	Número de instrucciones (miles de millones)			
	A (CPI=1)	B (CPI=2)	C (CPI=3)	D (CPI=1)
secuencia 1	2	1	2	1
secuencia 2	1	1	4	2

- a) ¿Cuál de las 2 secuencias es más rápida y por qué?
- b) Calcula los **MFLOPS** para ambas secuencias suponiendo que las instrucciones **A** y **C** son de punto flotante.

Ejercicio 7

Solución (a):

$$\text{Tiempo CPU}_1 = 10^9 \times (2 \times 1 + 1 \times 2 + 2 \times 3 + 1 \times 1) \times \frac{1}{10^9} = \mathbf{11s}$$

$$\text{Tiempo CPU}_2 = 10^9 \times (1 \times 1 + 1 \times 2 + 4 \times 3 + 2 \times 1) \times \frac{1}{10^9} = \mathbf{17s}$$

Solución (b):

$$\text{MFLOPS}_1 = \frac{10^9 \times (2 + 6)}{11 \times 10^6} = \mathbf{727,2}$$

$$\text{MFLOPS}_2 = \frac{10^9 \times (1 + 12)}{17 \times 10^6} = \mathbf{764,7}$$

Aceleración

Aceleración (*Speedup*)

Medida del tiempo logrado tras incorporar una mejora al sistema

$$A = \frac{R_{despues}}{R_{antes}} = \frac{T_{antes}}{T_{despues}}$$

Es fundamental acotar la aceleración potencial a obtener con una posible mejora (que puede ser muy costosa).

Ley de Amdahl

Ley de Amdahl

La mejora obtenida en el rendimiento al utilizar una parte optimizada está limitada por la fracción de tiempo que se puede utilizar esa parte:

$$T_{despues} = \frac{T_{afectado}}{A_m} + T_{no_afectado}$$

$$A = \frac{T_{antes}}{T_{despues}} = \frac{1}{(1 - F_m) + \frac{F_m}{A_m}}$$

donde F_m es la fracción de tiempo afectada por la mejora y A_m es el factor de mejora.

Ejercicio 8

Enunciado:

Queremos mejorar el rendimiento de un computador introduciendo un coprocesador matemático que realice las operaciones aritméticas en la mitad de tiempo. Calcular la ganancia en velocidad del sistema para la ejecución de un programa sabiendo que el 60% de dicha ejecución se dedica al cálculo de operaciones aritméticas. Si el programa tardaba 12 segundos en ejecutarse sin la mejora, ¿cuánto tardará en ejecutarse sobre el sistema mejorado?

Ejercicio 8

Solución:

$$\frac{T_{antes}}{T_{despues}} = \frac{12s}{T_{despues}} = \frac{1}{(1 - 0,6) + \frac{0,6}{2}}$$

$$T_{despues} = 12 \times \left(0,4 + \frac{0,6}{2}\right) = \mathbf{8,4s}$$

Ejercicio 9

Enunciado:

Se mejora el diseño de un microprocesador para realizar todas las instrucciones de punto flotante 3 veces más rápido. Contesta a las siguientes cuestiones:

- a) ¿Cuál será la **aceleración obtenida** si la mitad del tiempo de ejecución de un programa se emplea en la ejecución de instrucciones de punto flotante?
- b) Se busca un programa de prueba que destaque la nueva unidad de punto flotante descrita en el apartado anterior, y se quiere que muestre un incremento de velocidad en su totalidad de 2. ¿Qué **parte del tiempo** de ejecución inicial deberían representar las instrucciones de punto flotante para conseguir este incremento de velocidad?

Ejercicio 9

Solución (a):

$$A = \frac{1}{(1 - F_m) + \frac{F_m}{A_m}} = \frac{1}{(1 - 0,5) + \frac{0,5}{3}} = \mathbf{1,5}$$

Solución (b):

$$2 = \frac{1}{(1 - F_m) + \frac{F_m}{3}} \Rightarrow 2 = \frac{3}{3 - 2 \times F_m} \Rightarrow F_m = \mathbf{0,75}$$

Ejercicio 10

Enunciado:

Una arquitectura dada tiene dos clases de instrucciones, tipo A y tipo B. Existen dos procesadores que implementan esta arquitectura, M1 y M2. El número de ciclos de reloj para cada una de las instrucciones en cada procesador es el siguiente:

	M1	M2
A	1	3
B	2	1
reloj	300MHz	400MHz

*El fabricante de M2 dice que su procesador es $4/3$ más rápido que M1 basándose en los resultados de tiempo obtenidos en un programa benchmark dado. Determinar la fracción (**tanto por cien**) de instrucciones de **tipo A** que usa dicho programa benchmark.*

Ejercicio 10

Solución:

$$\frac{4}{3} = \frac{(1x + 2(1 - x))/300 \times 10^6}{(3x + (1 - x))/400 \times 10^6} \Rightarrow 2x + 1 = 2 - x \Rightarrow x = \frac{1}{3}$$

Ejercicio 11

Enunciado:

Usando la información de la tabla para 2 posible realizaciones, M1 y M2, del mismo repertorio de instrucciones con una frecuencia de reloj de 1000MHz y 800MHz, respectivamente, y 2 compiladores, C1 y C2, conteste a las preguntas.

Tipo	CPI M1	CPI M2	Uso C1	Uso C2
A	4	1	30 %	40 %
B	6	2	60 %	10 %
C	8	3	10 %	50 %

- a) ¿Cuál es la máquina más rápida y cuánto?
- b) Si queremos mejorar el rendimiento de M1 y M2 un 20%, **qué instrucción** harías más rápida en cada caso y **cuánto**. Razona la respuesta.

Ejercicio 11

Solución (a):

$$\text{Tiempo } M1 = \frac{4 \times 0,3 + 6 \times 0,6 + 8 \times 0,1}{1000 \times 10^6} = \mathbf{5,6 \text{ ns/inst}}$$

$$\text{Tiempo } M2 = \frac{1 \times 0,4 + 2 \times 0,1 + 3 \times 0,5}{800 \times 10^6} = \mathbf{2,6 \text{ ns/inst}}$$

$$\frac{R_{M2}}{R_{M1}} = \frac{\text{Tiempo } M1}{\text{Tiempo } M2} = \frac{5,6}{2,6} = \mathbf{2,15}$$

Ejercicio 11

Solución (b):

$$1,25 = \frac{1}{(1 - 0,6) + \frac{0,6}{x}} \Rightarrow 0,5 + \frac{0,75}{x} = 1 \Rightarrow x = \mathbf{1,5}$$

$$CPI_B = \frac{6}{1,5} = \mathbf{4}$$

$$1,25 = \frac{1}{(0,5) + \frac{0,5}{x}} \Rightarrow 0,625 + \frac{0,625}{x} = 1 \Rightarrow x = \mathbf{1,67}$$

$$CPI_C = \frac{3}{1,67} = \mathbf{1.79}$$

Ejercicio 12

Enunciado:

Se está planteando realizar dos modificaciones en el diseño de un procesador:

- *Mejorar la ALU de enteros de manera que el CPI de las instrucciones aritmético-lógicas con enteros pase de 1 a 0.8.*
- *Mejorar el coprocesador en punto flotante para que las instrucciones en punto flotante se ejecuten al doble de velocidad.*

En este procesador se suele ejecutar un 45 % del tiempo instrucciones aritmético-lógica con enteros y el 10 % del tiempo de instrucciones en punto flotante.

- *a) Calcula la aceleración que se puede obtener con cada una de estas mejoras.*

Ejercicio 12

Solución (a):

$$A_{ALU} = \frac{1}{0,55 + \frac{0,45}{1,25}} = \mathbf{1,099}$$

$$A_{copfp} = \frac{1}{0,9 + \frac{0,1}{2}} = \mathbf{1,052}$$

Ejercicio 12

Apartado b

- *Ninguna de las dos mejoras sale demasiado costosa así que se plantea incorporar ambas al diseño. La utilización de las dos mejoras no se solapa, o se utiliza una o se utiliza la otra (las instrucciones de enteros no utilizan el hardware para punto flotante y las de punto flotante no utilizan la ALU de enteros). ¿Cómo sería la **ley de Amdahl que considera varias mejoras que no se solapan?***

Solución (b):

$$t_{despues} = (1 - \Sigma F)t_{antes} + \Sigma \frac{F}{G}t_{antes}$$

$$A = \frac{t_{antes}}{t_{despues}} = \frac{1}{(1 - \Sigma F) + \Sigma \frac{F}{G}}$$

Ejercicio 12

Apartado b

- *Ninguna de las dos mejoras sale demasiado costosa así que se plantea incorporar ambas al diseño. La utilización de las dos mejoras no se solapa, o se utiliza una o se utiliza la otra (las instrucciones de enteros no utilizan el hardware para punto flotante y las de punto flotante no utilizan la ALU de enteros). ¿Cómo sería la **ley de Amdahl que considera varias mejoras que no se solapan**?*

Solución (b):

$$t_{despues} = (1 - \Sigma F)t_{antes} + \Sigma \frac{F}{G}t_{antes}$$

$$A = \frac{t_{antes}}{t_{despues}} = \frac{1}{(1 - \Sigma F) + \Sigma \frac{F}{G}}$$

Ejercicio 12

Apartado c

- *¿Cuál sería la aceleración para nuestro caso considerando las dos mejoras en el diseño del procesador?*

Solución (c):

$$A = \frac{1}{(1 - 0,45 - 0,1) + \frac{0,45}{1,25} + \frac{0,1}{2}} = 1,16$$

Ejercicio 12

Apartado c

- *¿Cuál sería la aceleración para nuestro caso considerando las dos mejoras en el diseño del procesador?*

Solución (c):

$$A = \frac{1}{(1 - 0,45 - 0,1) + \frac{0,45}{1,25} + \frac{0,1}{2}} = \mathbf{1,16}$$