

Arquitectura y Organización de Computadores



TEMA 4 Rendimiento del sistema





Generales

- Conocer diferentes métricas del rendimiento de un computador

Específicos

- Diferenciar tiempo de respuesta y productividad como medidas de rendimiento de un computador
- Calcular el tiempo de CPU para la ejecución de una tarea
- Explicar cómo se reduce el tiempo de ejecución en función de avances tecnológicos, avances en compilación y avances en la arquitectura y microarquitectura
- Utilizar los informes proporcionados por SPEC para comparar dos máquinas y decidir cuál es mejor desde el punto de vista del rendimiento
- Aplicar la Ley de Amdahl para calcular la ganancia que se obtiene en el rendimiento de un computador al aplicar una técnica que mejora una parte de dicho computador



- ¿Qué entendemos por rendimiento?
- Medida del rendimiento de un sistema
- Mejoras en el rendimiento de un computador

Bibliografía

- Capítulo 1 del libro **Computer Architecture**, de Hennesy & Patterson
- Capítulo 1 del libro **Arquitectura de Computadores**, de J. Ortega
- **Arquitectura Computadores, un enfoque cuantitativo**, de Hennessy-Patterson
- www.spec.org

¿Qué entendemos por rendimiento?



Ejemplo:

Avión	Capacidad	Autonomía	Velocidad
Boeing 777	375	7450	980
Boeing 747	470	6675	980
Concorde	132	6435	2175
DC-8-50	146	14030	875

¿Cuál es el mejor avión?

¿Qué entendemos por rendimiento?



CRITERIOS

- *Tiempo de respuesta*: tiempo que tarda un computador en realizar una tarea
 - *Tiempo de CPU*: tiempo que interviene la CPU en la ejecución de una tarea
- *Productividad*: número de tareas realizadas por unidad de tiempo
- *Escalabilidad*: posibilidad de ampliar el sistema sin degradar las prestaciones
- *Eficiencia*: Relación entre las prestaciones y el coste

Medida del rendimiento de un sistema



Tiempo de respuesta:

Tiempo de CPU para un programa

$$T_{CPU} = Ciclos_total_programa \times T_{ciclo}$$

$$T_{CPU} = NI \times CPI \times T_{ciclo} = NI \times CPI \times 1/f$$

- NI = nº de instrucciones del programa
- CPI = nº medio de ciclos por instrucción
- T_{ciclo} = período de reloj del procesador
- f = frecuencia de reloj del procesador

Medida del rendimiento de un sistema



Tiempo de respuesta

$$CPI = \frac{\text{Ciclos}_{total_programa}}{NI} = \frac{\sum_{i=1}^n NI_i \times CPI_i}{NI}$$

- NI_i = n° de instrucciones del tipo i
- CPI_i = n° de ciclos necesarios para ejecutar una instrucción de tipo i

Medida del rendimiento de un sistema



Tiempo de respuesta: EJEMPLO

- ¿Cuál sería el T_{CPU} para el fragmento de código suponiendo que se ejecuta en un MIPS R3000 a 40MHz?

$$\begin{aligned}T_{CPU} &= 33 \text{ ciclos} / 40\text{MHz} \\ &= 0,825 * 10^{-6} \text{ segundos} \\ &= 0,825 \text{ microsegundos}\end{aligned}$$

- ¿Cuál sería el CPI para este programa?

$$\begin{aligned}CPI &= 33 \text{ ciclos} / 7 \text{ instruc.} = \\ &4,7\end{aligned}$$

INSTRUCCIÓN	ciclos
lui \$1, 4097	4
lw \$3, 0(\$1)	5
lw \$4, 4(\$1)	5
add \$5,\$4,\$3	4
sw \$5, 8(\$1)	5
mul \$5,\$4,\$3	6
sw \$5, 12(\$1)	4

Medida del rendimiento de un sistema



Tiempo de respuesta

¿De qué depende?

Compilador

Tecnología

$$T_{CPU} = NI \times CPI \times T_{ciclo} = NI \times CPI / f$$

Repertorio de
Instrucciones

Microarquitectura

Medida del rendimiento de un sistema



Tiempo de respuesta

- Cálculo del rendimiento de un procesador

$$\text{Rendimiento} = 1 / T_{CPU}$$

- Comparativa entre dos procesadores

$$\frac{\text{Rendimiento A}}{\text{Rendimiento B}} = \frac{T_B}{T_A}$$

**Nº de veces que es más
rápida A que B**

Medida del rendimiento de un sistema



Productividad: MIPS y MFLOPS

- Millones de Instrucciones por Segundo

$$MIPS = \frac{NI}{T_{CPU} \times 10^6} = \frac{f}{CPI \times 10^6}$$

- Millones de inst. por segundo en coma flotante

$$MFLOPS = \frac{Op_{FP}}{T_{CPU} \times 10^6}$$

Medida del rendimiento de un sistema



■ **Benchmarks**

- *Aplicaciones reales*: compiladores de C, editores como Word o Photoshop, etc.
- *Núcleos o kernels*: pequeños trozos de programas reales seleccionados para evaluar ciertas características
- *Programas "de juguete"*: programas pequeños, fáciles de escribir y de resultado conocido
- *Programas sintéticos*: programas que replican los porcentajes habituales de tipos de instrucciones, sin realizar ninguna tarea concreta

Medida del rendimiento de un sistema



- Conjunto de programas de prueba **SPEC** (Standard Performance Evaluation Corporation)
 - Fundado en 1988 por HP, MIPS y Sun entre otros
 - Conjuntos de programas:
 - SPEC89: 10 programas de prueba
 - SPEC 92: 6 programas enteros y 14 de coma flotante
 - SPEC 95: 10 programas enteros y 10 de coma flotante
 - SPEC2000: 11 programas enteros (Cint2000) y 14 de coma flotante (Cfp2000)
 - SPEC2006: 12 programas enteros (Cint2006) y 17 de coma flotante (Cfp2006)
 - Las prestaciones se miden con relación a una máquina de referencia
 - Se utiliza como parámetro global la media geométrica de los valores calculados para cada programa

Medida del rendimiento de un sistema



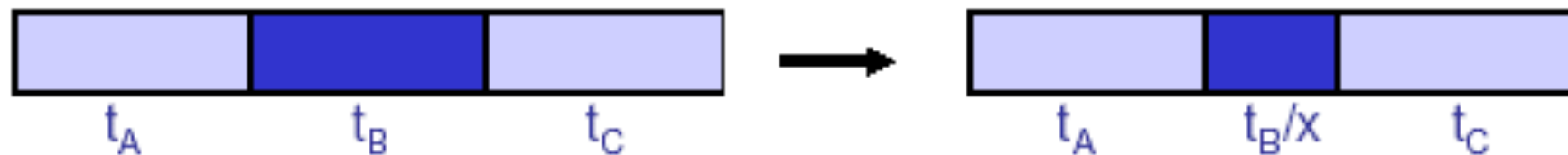
- Conjunto de programas de prueba **SPEC** (Standard Performance Evaluation Corporation)
 - Máquinas de referencia:
 - SPEC 92: VAX 11/780
 - SPEC 95: SPARCStation 10/40
 - SPEC2000: Estación de trabajo Ultra5_10, con procesador UltraSPARC II a 300MHz y 256 MB de memoria
 - SPEC2006: Estación de trabajo Sun Ultra Enterprise 2, con procesador UltraSPARC II a 296MHz y 2GB de memoria
 - Resultados obtenidos: *tiempos de respuesta* (tiempo de ejecución de cada programa) y *productividad* (nº de programas por unidad de tiempo)

Mejoras en el rendimiento de un computador



Un principio simple: Mejorar el caso más frecuente

- Cuando se aplica una técnica nueva al diseño de un computador, esta técnica normalmente mejora sólo ciertas partes de todas las involucradas en la ejecución de un programa



Mejoras en el rendimiento de un computador



Ley de Amdahl

- Permite evaluar hasta qué punto una mejora en un recurso o elemento de un computador se manifiesta en las prestaciones globales
- Para ello utiliza la *ganancia* (Speedup)

$$Ganancia = T_{antiguo} / T_{nuevo}$$

Mejoras en el rendimiento de un computador



Ley de Amdahl

- Si M es el factor de mejora de un cierto elemento y F_{mejora} la fracción del tiempo de ejecución durante la cual se aprovecha dicha mejora entonces

$$T_{nuevo} = T_{antiguo} \times [(1 - F_{mejora}) + F_{mejora} / M]$$

y la *ganancia* resulta

$$Ganancia = \frac{1}{(1 - F_{mejora}) + \frac{F_{mejora}}{M}}$$

Mejoras en el rendimiento de un computador



Ley de Amdahl

■ Ejemplo

- Para un determinado procesador se mejora la ejecución de las operaciones en coma flotante reduciendo su tiempo de ejecución a la mitad. ¿Cuál será la ganancia obtenida para un programa que tiene un 10% de operaciones en coma flotante?

$$Ganancia = \frac{1}{(1 - F_{mejora}) + \frac{F_{mejora}}{M}} = \frac{1}{0.9 + \frac{0.1}{2}} = 1.053$$