

Evaluación del rendimiento de sistemas informáticos

J. Daniel García Sánchez (coordinador)
David Expósito Singh
Javier García Blas
Óscar Pérez Alonso
J. Manuel Pérez Lobato

Arquitectura de Computadores
Grupo ARCOS
Departamento de Informática
Universidad Carlos III de Madrid

1. Estructura del módulo

Este módulo se estructura en dos lecciones:

1. **Tendencias y evaluación del rendimiento.** Presenta las tendencias tecnológicas, de potencia y energía así como las tendencias en cuanto a costes. También introduce los conceptos básicos de evaluación del rendimiento.
2. **Almacenamiento y fiabilidad.** Presenta una perspectiva histórica del almacenamiento y de los conceptos de fiabilidad y disponibilidad. Además, combina ambos aspectos presentando los sistemas de almacenamiento RAID.

2. Tendencias y evaluación

Esta lección tiene la siguiente estructura general:

1. Tendencias tecnológicas.
2. Tendencias en potencia y energía.
3. Tendencias en coste.
4. Evaluación del rendimiento.

2.1. Tendencias tecnológicas

Es importante reconocer que los distintos cambios tecnológicos tienen impacto en el diseño la arquitectura del procesador. En particular hay dos observaciones muy relevantes.

Por una parte, las prestaciones de los procesadores han mejorado en el pasado a un ritmo mucho mayor que el de las memorias y los sistemas de almacenamiento. Esto sitúa mucha presión en el acceso a los datos y justifica la incorporación de jerarquías en los sistemas de memoria para mitigar este problema.

Por otra parte, tanto en los procesadores como en las memorias y los sistemas de almacenamiento, el ancho de banda y *throughput* ha mejorado a una tasa mucho mayor que la latencia. Para ocultar el problema de la latencia el diseño de los procesadores hace uso extensivo del paralelismo a nivel de instrucción.

2.2. Tendencias en potencia y energía

De forma general, la energía puede verse como la potencia consumida a lo largo del tiempo. Por tanto, la métrica adecuada a la hora de comparar mejoras en un sistema suele ser la energía, puesto que es la que tiene en cuenta las eventuales mejoras en el tiempo de procesamiento de las aplicaciones.

En las actuales tecnologías CMOS el consumo de energía se deriva de la conmutación de transistores. Por esta razón se presta especial atención a los conceptos de energía dinámica y potencia dinámica. Ambas dependen de la carga capacitiva y del voltaje, pero solamente la potencia depende además de la frecuencia de conmutación.

A la hora de reducir potencia y energía estas observaciones son importantes. Por una parte una forma de reducir potencia y energía es reduciendo el voltaje de operación. Por esta razón los procesadores han pasado de operar a 5 V a operar a valores cercanos a 1 V. Otro mecanismo usado en el diseño es reducir el número de transistores conectados a una salida puesto que de esta forma se reduce la carga capacitiva.

Aún así, la evolución de los procesadores, cada vez más complejos, ha estado marcada por un incremento en el número de transistores e incrementos de la frecuencia, lo que ha implicado un paso de los 2 W del Intel 80386 a los 130W de un Intel Core i7. Este es también una de las razones por las que a partir de mediados de la década de los 2000 la frecuencia de reloj se encuentra estancada entre los 3 y los 4 GHz.

2.3. Tendencias en coste

Existen varias razones por las que el coste de fabricación de los computadores en general, y de los procesadores en particular, se reduce a lo largo del tiempo.

Una razón muy importante viene derivada del principio de la curva de aprendizaje. Según este principio el rendimiento de un proceso de fabricación se incrementa a lo largo del tiempo. Como el rendimiento es el porcentaje de dispositivos que sobrevive al proceso de fabricación, una mejora en el rendimiento se traduce siempre en una reducción del coste de fabricación.

Otra razón para la reducción de los costes es el volumen de fabricación. Como regla general cuanto mayor es el volumen fabricado, más se reduce el coste unitario.

Por último, cuando varios fabricantes compiten en el segmento de un mismo producto la competencia también ejerce una fuerza que reduce el coste debido a una mayor competencia.

2.4. Evaluación del rendimiento

La definición de rendimiento no es única y depende del contexto. Por ejemplo, para ciertas aplicaciones un mayor rendimiento significa realizar un determinado trabajo en menor tiempo (reducción de la latencia). Sin embargo, para otras aplicaciones un mejor rendimiento significa poder procesar un mayor número de transacciones por unidad de tiempo (aumento de la tasa de procesamiento o *throughput*).

Es muy importante resaltar que la única métrica realmente fiable para comparar el rendimiento de dos computadores se basa en la ejecución de programas reales en ambos sistemas.

Una aproximación para la evaluación de sistemas de cómputo bastante usada es la ejecución de *benchmarks*. Se trata de un conjunto de programas que se usan para evaluar el rendimiento de un

sistema. Algunas aproximaciones para la construcción de benchmarks son el uso de *kernels*, programas de juguete o el uso de *benchmarks sintéticos*. Otros *benchmarks* usan aplicaciones más reales. En general muchos de estos *benchmarks* son de propósito específico orientados a segmentos concretos.

Cuando se trata de estimar la aceleración que se obtiene en un sistema al mejorar uno de sus elementos, la *Ley de Amdahl* ayuda a realizar esta estimación si se puede estimar la aceleración del elemento de la mejora y el porcentaje de participación de dicho elemento en el sistema. Esta ley tiene múltiples aplicaciones que van desde las mejoras en el diseño del procesador y su impacto en el juego de instrucciones hasta el impacto de la paralelización de un segmento de un programa.

Una forma de expresar la velocidad de procesamiento es midiendo los ciclos por instrucción (*CPI*). Cuanto menor es el valor medio de esta métrica mayor rendimiento exhibe el procesador ejecutando una cierta aplicación. Es muy importante no olvidar el el valor del *CPI* será distinto en la ejecución de distintas aplicaciones. En general, el tiempo necesario para ejecutar una aplicaciones depende de su *CPI*, del número de instrucciones ejecutadas y del periodo del reloj. Por otra parte, no todas las instrucciones requieren el mismo número de ciclos para ejecutarse, por lo que se suelen agregar por categorías y realizar una suma ponderada para calcular el *CPI* global.

3. Almacenamiento y fiabilidad

Esta lección tiene la siguiente estructura general:

1. Almacenamiento.
2. Fiabilidad y disponibilidad.
3. Sistemas RAID.

3.1. Almacenamiento

Los discos magnéticos siguen siendo el sistema preferido para el almacenamiento secundario. Aunque en algunos entornos comienzan a ser parcialmente sustituidos por otras tecnologías de almacenamiento masivo (como las memorias *flash*) siguen siendo la opción preferida para los sistemas de almacenamiento corporativo. En general, un disco magnético ofrece una elevada capacidad de almacenamiento, y un tiempo de acceso que depende la secuencia de posiciones de los datos accedidos.

Las características de los discos han ido evolucionando a lo largo del tiempo. En una primera etapa (1956-1970) se trataba de dispositivos con interfaces propietarias diseñados para computadores centrales. A partir de los años 70 emergen los discos de 5.25 pulgadas con interfaces estandarizadas. Su comercialización masiva coincide con la aparición den los años 80 de los computadores personales. Finalmente, la popularización a partir de los 90 de computadores portátiles y otros dispositivos personales contribuye a mejoras, incluyendo cada vez mayores reducciones de tamaño.

3.2. Fiabilidad y disponibilidad

La fiabilidad se define la probabilidad de que un sistema siga funcionando correctamente y sin fallos en un momento del tiempo. En general, si la tasa de errores es constante el sistema en cuestión sigue una fiabilidad con función distribución exponencial. En el material adjunto se explica como se puede determinar a partir de la fiabilidad individual las fiabilidades de los sistemas serie y los sistemas paralelos. Observe que los sistemas serie tienden a reducir la fiabilidad global, puesto que introducen puntos de fallo único. Sin embargo, los sistemas paralelos tienden a mejorar la fiabilidad global, puesto que introducen redundancia.

La disponibilidad, por el contrario, se define como la probabilidad de que el sistema esté funcionando en un instante determinado de tiempo, aunque para esto, haya tenido que sufrir operaciones de mantenimiento en el pasado. La disponibilidad se puede determinar fácilmente a partir de el tiempo medio hasta fallo (TMF) y el tiempo medio de reparación (TMR).

Observe que en general la fiabilidad considera el intervalo de tiempo $[0, t]$, mientras que la disponibilidad considera exclusivamente el instante de tiempo t .

3.3. Sistemas RAID

Un sistema RAID (*Redundant Array of Inexpensive Disks*) es un sistema que usa varios discos para ofrecer una imagen única de un sistema de almacenamiento con mejores prestaciones en cuanto a fiabilidad. Como efecto lateral, algunas configuraciones ofrecen además mejoras en capacidad de almacenamiento y rendimiento.

Algunas de las configuraciones más comunes son:

- **RAID 0:** Discos con reparto de bloques. Aunque no ofrecen ventajas en cuanto a tolerancia a fallos, sí que mejoran el ancho de banda.
- **RAID 1:** Discos en espejo. Pueden tolerar el fallo de un disco al ser el segundo disco una copia del primero. Además ofrecen mejoras en el ancho de banda de lectura.
- **RAID 4:** Discos con reparto de bloques y con un disco adicional para información de redundancia. Introduce un cuello de botella en las escrituras.
- **RAID 5:** Discos con reparto de bloques y con la información de redundancia repartida cíclicamente entre los discos. Mitiga el cuello de botella de RAID 4.