

Fundamentos de Arquitectura de Computadores

Relación de Problemas Temas 4 y 5

1. Suponga que tenemos un programa de prueba que se ejecuta en 100 segundos de tiempo transcurrido (elapsed time), correspondiendo 90 de estos segundos a tiempo de CPU y el resto a tiempo de E/S. Si la eficiencia de la CPU aumenta un 50% cada año durante los próximos 5 años, pero el tiempo de E/S no se reduce, ¿cuánto más rápido será nuestro programa al final de los 5 años?

Sabemos que

Tiempo transcurrido = tiempo CPU + tiempo de E/S

$100 = 90 + \text{tiempo de E/S}$

Tiempo de E/S = 10 segundos

Los nuevos tiempos de CPU y los tiempos transcurridos resultantes se muestran en la siguiente tabla:

Después de n años	Tiempo de CPU	Tiempo de E/S	Tiempo transcurrido	% tiempo E/S
0	90 segundos	10 segundos	100 segundos	10%
1	$90/1.5 = 60$ segundos	10 segundos	70 segundos	14%
2	$60/1.5 = 40$ segundos	10 segundos	50 segundos	20%
3	$40/1.5 = 27$ segundos	10 segundos	37 segundos	27%
4	$27/1.5 = 18$ segundos	10 segundos	28 segundos	36%
5	$18/1.5 = 12$ segundos	10 segundos	22 segundos	45%

La mejora del rendimiento de la CPU en los cinco años es

$$90/12 = 7.5$$

Sin embargo, la mejora en el tiempo transcurrido es tan sólo

$$100 / 22 = 4.5$$

Y el tiempo de E/S ha aumentado del 10% al 45% del tiempo transcurrido

2. Un controlador de DMA está transmitiendo, mediante robo de ciclos, caracteres a memoria desde un periférico a una velocidad de 19200 bps (bits/seg). Por su parte la CPU realiza la búsqueda de las instrucciones con una velocidad de 2 millones de instrucciones por segundo (2 MIP). ¿En qué porcentaje se reduce la velocidad del procesador debido al controlador de DMA?

Suponer una longitud de palabra de M bits y que la CPU emplea, en promedio, N ciclos para ejecutar una instrucción.

En la estrategia por *robo de ciclos* cuando el DMA toma el control del bus lo retiene durante un solo ciclo, transmite una palabra y libera el bus.

Hay que realizar las siguientes operaciones:

- Calcular el número de ciclos por segundo que el DMA roba a la CPU
- Determinar el número de instrucciones que la CPU deja de ejecutar debido a los ciclos que le roba el DMA
- Calcular la penalización, en porcentaje, que ese número de instrucciones no ejecutados supone a la CPU:

$$\% = \frac{(\text{Reducción nº de instrucciones})}{(\text{Instrucciones sin DMA})} \cdot 100$$

Donde el numerador será el valor calculado en el punto “c” y el denominar será el número de ciclos que ejecuta la CPU si dispusiese de forma exclusiva de todos los ciclos de reloj.

- Si el controlador de DMA trasmite a una velocidad de 19200bps y la longitud de palabra es M , el número de palabras por segundo que se trasmiten es de
 $19200/M$ palabras/s \rightarrow ciclos/s que deja de ejecutar (los roba el DMA, en cada ciclo trasmite una palabra!!)
- Estos ciclos suponen un número de instrucciones que la CPU deja de ejecutar cada segundo. Como la CPU emplea una media de N ciclos en ejecutar una instrucción, tendremos:

$$\frac{\frac{19200}{M} \text{ ciclos/s}}{N \text{ ciclos/instruc}} = \frac{19200}{M \cdot N} \text{ instruc/s}$$

- Recordemos que el valor anterior era el numerador de la ecuación que buscamos resolver. El denominador lo proporciona el problema: 2 millones de instrucciones por segundo:

$$\% = \frac{\frac{19200}{M \cdot N} \text{ instruc/s}}{2 \cdot 10^6 \text{ instruc/s}} \cdot 100; \% = \frac{1920000}{M \cdot N \cdot 2 \cdot 10^6} = \frac{0.96}{M \cdot N} \%$$

Por ejemplo, suponiendo una longitud de palabra de 8bits y que las instrucciones tardan 2 ciclos de media en ejecutarse, se obtienen una reducción de velocidad de tan solo el 0,06%.

3. Un formato típico para disquetes de 3,5 pulgadas tiene dos superficies, ochenta cilindros, dieciocho sectores por pista y quinientos doce bytes por sector. Calcule la capacidad total, y, suponiendo que el disco gira a 300 rpm (revoluciones por minuto), la tasa de transferencia. ¿Cuántos de estos disquetes serían necesarios para hacer una copia de seguridad de un disco de 60 MiB? Nota: El Mebibyte es la unidad de almacenamiento binario (2^{20}), frente al Megabyte que es decimal: (10^6).

Capacidad: $2 \times 80 \times 18 = 2.880$ sectores; $2.880 \times 0,5 = 1.440$ KiB (0,5 es la $\frac{1}{2}$ de un KiB).

Tasa de transferencia: $512 \times 18 = 9.216$ B/pista; $9.216 \times 300 / 60 = 46.080$ B/s.

Disquetes backup: $60 \times 1.024 \times 1.024 / 1.440 = 43.690,66$, es decir, 43.691 disquetes.

4. Estime el número de disquetes (con el formato de los anteriores ejercicios) necesarios para almacenar el texto contenido en un libro de 780 páginas que está compuesto a dos columnas, cada columna con 40 líneas y cada línea con 45 caracteres.

Estime asimismo el número de libros de ese volumen que pueden almacenarse en un CD-ROM (650 MiB) y en un DVD (4,7 GiB).

Estimación en formato ASCII (1 byte por carácter, símbolos del 0 al 255):

$(40 \text{ lín/pág.}) \cdot (45 \text{ carac/lín.}) \times (2 \text{ columnas}) = 3.600 \text{ carac/pág.} = 3.600 \text{ bytes/pág.}$

$(3.600 \text{ bytes/pág.}) \cdot (780 \text{ pág.}) = 2.808.000 \text{ bytes.}$

(Información extra: cuenta real de bytes en ficheros LaTeX $\rightarrow 2.885.780$)

$2.808.000 / (1.440 \cdot 1.024) = 1,9$ (2 disquetes)

CD: $650 \cdot 1.024 \cdot 1.024 / 2.808.000 = 242,7 \rightarrow 242$ libros.

DVD: $4,7 \cdot 1.024 \cdot 1.024 \cdot 1.024 / 2.808.000 = 1.797,2 \rightarrow 1.797$ libros.

5. Imagine que trabaja usted para una empresa que comercializa productos multimedia. La empresa dispone en Andorra de 10.000 películas grabadas en DVD y desea trasladarlas urgentemente a Madrid. Son 100 paquetes de 2 Kg cuyo transporte por carretera en 24 horas, con todos los gastos incluidos, tiene un coste de 500 €. Se le pide un estudio sobre la viabilidad de hacer el transporte de manera telemática, utilizando una línea ADSL de 3 Mb/s, cuyo coste es de 40 €/mes. Cada película ocupa, aproximadamente, 5 GiB. Compare ambos medios de transmisión: coste, tiempo y ancho de banda. (El carácter sospechoso de las actividades de su empresa y su postura ante él no forman parte de este ejercicio).

Con una tasa de transferencia de 3 Mb/s, el tiempo necesario para transferir 50.000 GiB es:

$(50.000 \cdot 2^{30} \cdot 8) / (3 \cdot 10^6 \cdot 3.600 \cdot 24) = 1.657 \text{ días} \approx 55,23 \text{ meses}$

Coste: $55,23 \cdot 40 = 2.209$ €

Ancho de banda de la transmisión por carretera:

$$(50.000 \cdot 2^{30}) / (24 \cdot 3.600) = 621.378.370 \text{ B/s} \approx 4.971 \text{ Mbps}$$

Resumen:

	Carretera	ADSL
Coste	500 €	2.209€
Tiempo	24 horas	4 años y 7 meses
Ancho de Banda	4.971 Mbps	3 Mbps

Moraleja: "Nunca subestimes el ancho de banda de una furgoneta que viaja cargada de cintas" (A.S. Tanenbaum: Computer Networks)

6. Explique, razonadamente, por qué la entrada/salida mediante interrupciones es adecuada para transferir caracteres a un monitor (pantalla alfanumérica), y no lo es para transferirlos a un disco. ¿Sería adecuada para un disquete? Considere los siguientes datos:

- La ejecución de la rutina de consulta de interrupciones requiere 100 ciclos de memoria de 200 ns.
- La ejecución de la rutina de servicio de la pantalla requiere 10 ciclos de memoria de 200 ns, y lo mismo la del disco.
- La pantalla escribe con una velocidad de 30 caracteres por segundo.
- La tasa de transferencia del disco es 10 MB/seg ($1 \text{ M} = 10^6$).
- Para el disquete, tenga en cuenta el resultado del problema 3

Haga los cálculos necesarios para justificar la respuesta (1 carácter = 1 Byte según el código ASCII). ¿Cuál es el método adecuado para el disco?

Llamando:

- T_i = tiempo para ejecución de la RCI y la RS (pantalla y/o disco);
- T_p = tiempo para escribir un carácter por la pantalla;
- T_d = tiempo para la transferencia de un carácter a o desde el disco;
- T_f = tiempo para la transferencia de un carácter a o desde el disquete;
- Inicialmente obtenemos:
 - $T_i = (100+10) \cdot 200 \text{ ns} = 22 \mu\text{s}$
 - $T_p = 1/30 = 33 \text{ ms} = 33 \cdot 10^6 \mu\text{s}$
 - $T_d = 10^6 / 10 \cdot 10^6 = 0,1 \mu\text{s}$
 - $T_f = 10^6 / 46.080 = 21,7 \mu\text{s}$
 - T_p/T_i : aproximadamente 1.500 (sobra tiempo: $T_{envío} > T_{procesamiento}$)
 - T_d/T_i : aproximadamente 0,0045 (no da tiempo)
 - T_f/T_i : aproximadamente 0,99 (tampoco da tiempo para el disquete)
- **O bien:** En 1 segundo, la suma de tiempos para servir a todas las interrupciones sería:
 - la pantalla recibe 30 bytes; $T_i \text{ total} = 30 \cdot 22 = 660 \mu\text{s}$
 - el disco transfiere 10^7 bytes; $T_i \text{ total} = 10^7 \cdot 22 / 10^6 = 220 \text{ segundos}$
 - el disquete transfiere 46.080 bytes; $T_i \text{ total} = 46.080 \cdot 22 / 10^6 = 1,014 \text{ s}$
- **O bien:** Tasa máxima de transferencia determinada por RCI y RS: $1\text{B}/22 \mu\text{s}$, aproximadamente, 45.455 B/s

Conclusión:

- Adecuado para pantalla: el porcentaje de uso de la CPU para la transferencia de caracteres es $100/1.500$, aproximadamente, 0,066%.
- Inviabile para el disco → Requiere el uso de DMA.
- Para el disquete también. Aunque no existiese la RCI (consulta por hardware, o mediante el controlador de interrupciones) y diese tiempo a ejecutar la RS resultaría un porcentaje alto de ocupación de la CPU.

7. Tenemos un disco magnético con 4 platos totalmente aprovechables para almacenar datos y que gira a 10.000rpm. Tiene 63 sectores de 512 bytes. El disco no puede cambiar instantáneamente de cabeza, por lo que no es capaz de leer sectores consecutivos de superficies distintas dentro del mismo cilindro. Es decir puede leer el sector 8 a continuación del sector 7 sin demoras cuando la lectura la realiza la misma cabeza pero no cuando estos dos sectores corresponden a cabezas distintas aunque sea dentro de un mismo cilindro, en cuyo caso debe esperar a la revolución siguiente

Calcular:

- a) La capacidad de cada pista

La capacidad de una pista (un círculo de sectores de una cara del disco) es el tamaño del sector por el número de sectores por pista (aunque no lo dice expresamente, cuando te dicen solo sectores se refiere siempre a sectores por pista), en este caso $63 \times 512 = 32256$ bytes, 31'5 Kb.

- b) La capacidad de cada cilindro

La capacidad de un cilindro es la de una pista por el número de caras útiles, en este caso $63 \times 512 \times 4 = 129024$ bytes, 126Kb

- c) El tiempo necesario para leer una pista

Si gira a 10.000 rpm, tardará $60/10.000 = 0,006$ segundos = 6 ms en una revolución y por tanto en leer una pista

- d) El tiempo mínimo necesario para leer todo un cilindro

Si no puede leer seguidas dos pistas con diferente cabeza, tenemos dos opciones, leemos los sectores 0, 1, 2...62 de una cabeza, esperamos una vuelta, y leemos el 0, 1, 2...,62 de la segunda, vuelta, tercera, vuelta y cuarta cabeza. Por tanto, necesitamos 7 (4-platos * 2-superficies - 1) vueltas para leer una pista, $7 \times 6 = 42$ ms

8. Sea una unidad de disco con las siguientes características: 1024 cilindros, 16 superficies, 80 sectores/pista, sectores de 512 bytes, velocidad de rotación de 8000 rpm, tiempo entre pistas igual a 0,05 ms y un tiempo de estabilización de las cabezas de 2ms. Calcule los tiempos mínimo, medio y máximo que tarda en completarse una operación de lectura o escritura en esta unidad de disco.

El tiempo mínimo se produce cuando la cabeza está en la misma pista en la que está almacenado el sector y no hay que esperar a que éste pase por debajo de la cabeza (el tiempo

de latencia es nulo). En este caso el tiempo mínimo es el de transferencia o recorrido de un sector.

El tiempo de rotación es el tiempo que tarda el disco en dar una vuelta completa. En este tiempo se recorren los 80 sectores que contiene una pista.

$$T_{\text{rot}} = 600/8.000 = 0.0075\text{s} = 7,5 \text{ ms}$$

$$T_{\text{min}} = t_{\text{sec}} = t_{\text{rot}}/\text{sect}_{\text{pista}} = 7,5 \text{ ms} / 80 = 0,09375 \text{ ms}$$

El tiempo máximo se produce cuando la cabeza está lo más alejada posible de la pista en la que hay que leer el sector y, se debe esperar una vuelta completa a que pase el sector objetivo por debajo de la cabeza (tiempo de latencia máximo).

$$T_{\text{max}} = T_{\text{max_busq}} + T_{\text{estabilización}} + T_{\text{max_lat}} + T_{\text{sec}} = 1.023 \cdot 0,05 + 2 + 7,5 + 0,09375 = 60,74375 \text{ ms}$$

El tiempo medio de una operación se produce cuando la cabeza tiene que recorrer la mitad de las pistas para acceder a la que tiene el sector deseado y se debe esperar media vuelta a que el sector objetivo de la lectura pase por debajo de la cabeza:

$$T_{\text{medio}} = T_{\text{med_busq}} + T_{\text{estabilización}} + T_{\text{med_lat}} + T_{\text{sec}} = 1.023/2 \cdot 0,05 + 2 + 7,5 / 2 + 0,09375 = 31,41875 \text{ ms}$$

9. Determinar el impacto de la sobrecarga de la encuesta en el caso de tres dispositivos diferentes, suponiendo que el número de ciclos que requiere una operación de encuesta es 100 y que el procesador trabaja con un reloj de 50 MHz.

- a) El ratón debe ser encuestado 30 veces por segundo para asegurar que no se pierde ningún movimiento realizado por el usuario.

Ciclos de reloj por segundo para realizar la encuesta = $30 \cdot 1000 = 3.000$ ciclos por segundo.
Fracción de ciclos de reloj consumidos por el procesador = $3000/50 \cdot 10^6 = 0.006\%$

- b) El CD transfiere datos al procesador en unidades de 16 bits a una velocidad de 50 KB/s. No debe perderse ningún dato.

$$V = 50\text{KB/s} / 2\text{B/encuesta} = 25\text{K encuestas/s} = 25 \cdot 2^{10} \text{ encuestas/s}$$

Y por tanto el número de ciclos es $25 \cdot 2^{10} \text{ encuestas/s} \cdot 100 \text{ ciclos/encuesta} = 25,6 \cdot 10^5 \text{ ciclos/s}$

$$\text{Y finalmente: } 25,6 \cdot 10^5 / 50 \cdot 10^6 = 5\%$$

- c) El disco duro transfiere datos en bloques de 4 bytes a una velocidad de 2MB/s. No debe perderse ningún dato.

Es similar al apartado anterior:

$$2\text{MB/s} / 4 \text{ B/encuesta} \cdot 100 \text{ ciclos/encuesta} = 51,2 \cdot 10^6 \text{ ciclos/s} / 50 \cdot 10^6 == 100\%$$

10. Se dispone de un sistema formado por un disco duro que trasfiere datos en bloques de 4 palabras (de 32 bits) a una velocidad de 4MB/s y un procesador que funciona a 500MHz. Suponed que el disco duro está siempre ocupado.

Determinar la porción de tiempo de CPU que se consume usando (a) E/S por interrupciones en la que la sobrecarga de cada transferencia incluida en la interrupción es de 500 ciclos de reloj, y (b) con un sistema DMA que necesita un tiempo de iniciación de 100.000 ciclos, y presenta un tamaño medio de transferencias del disco de 1KB

Primero calculamos el tiempo consumido por E/S interrupciones:

Sabemos que se realiza una interrupción por cada palabra que se quiere enviar, y que dicha interrupción ocupa 500 ciclos de reloj. La pregunta es ¿cuántas interrupciones necesitaré para mantener la velocidad de transferencia? O lo que es lo mismo, si envío 32·4 bits por interrupción ¿Cuántas palabras tengo que enviar por segundo para ajustarme a la tasa de transferencia?

$$4 \cdot 10^6 \text{ B/s} / 16 \text{ Bytes} = 250000 \text{ envíos de datos}$$

$$\text{Número de ciclos usados: } 250000 \cdot 500 = 125.000.000$$

$$\text{Porcentaje del total} = 125.000.000 / 500.000.000 = 0,25 \rightarrow \text{Un 25\% del tiempo total.}$$

Sin embargo, el DMA debe ser más eficiente. Solamente hace un robo de ciclo cada vez que quiera enviar un bloque, pero con bloques más grandes (1KB).

$$4 \cdot 10^6 \text{ B/s} / 1000 \text{ Bytes} = 4000 \text{ envíos de datos (muchos menos!!)}$$

$$\text{Número de ciclos usados} = 400 \cdot (500 + 100.000) \text{ ciclos} = 40.200.000$$

$$\text{Porcentaje del total} = 40.200.000 / 500.000.000 = 0,0804 \rightarrow \text{Un 8\% del total}$$

11. Se dispone de un sistema formado por un HDD que trasfiere datos en bloques de 4 palabras (32 bits) a velocidad de 4MB/s y un procesador que funciona a 500MHz. Suponed que el HDD está siempre ocupado. Determinar la porción de tiempo de CPU que se consume en E/S en cada uno de los siguientes casos:

- Usando E/S por interrupciones en la que la sobrecarga de cada transferencia incluida en la interrupción es de 500 ciclos de reloj.
- DMA con un tiempo de iniciación de 1000 ciclos, tiempo de tratamiento de la interrupción de 500 ciclos y tamaño medio de transferencias del disco de 8KB.

Solución:

1) Calcular el número de interrupciones por segundo necesarias para mantener la velocidad de transferencia: depende del ancho de banda (datos a transmitir por segundo) y de la cantidad de datos que se mandan por cada interrupción.

Para E/S por interrupciones: $(4 \times 10^6 \text{ B/seg}) / (2^4 \text{ B/Int}) = 250000 \text{ Int/seg}$

Para E/S por DMA: $(4 \times 10^6 \text{ B/seg}) / (8 \times 10^3 \text{ B/Int}) = 500 \text{ Int/seg}$

2) Calcular el número de ciclos que gastan en total todas esas interrupciones. Depende del tiempo de rutina de interrupción y del número de interrupciones por segundo.

Para E/S por interrupciones: $250000 \text{ Int/seg} \times 500 \text{ ciclos/seg} = 1.25 \times 10^8 \text{ ciclos/seg}$

Para E/S por DMA: $500 \text{ Int/seg} \times (1000+500) \text{ ciclos/Int} = 7.5 \times 10^5 \text{ ciclos/seg}$

3) Calcular el porcentaje de ciclos de las instrucciones con respecto al total.

Total $\Rightarrow 500 \text{ MHz} = 5 \times 10^8 \text{ ciclos/seg}$.

Para E/S por interrupciones: $1.25 / 500 = 0.25$ (**25% tiempo de CPU**)

Para E/S por DMA: $7.5 / 5 \times 10^3 = 0.0015$ (**0.15% tiempo de CPU**).