

1 (3 puntos) Sea una unidad de disco duro de brazo móvil con las siguientes características:

- 8 superficies, 1.000 cilindros y 800 sectores por pista.
- Sectores de 1.024 bytes de información neta.
- Velocidad de rotación: 7.500 rpm.
- Velocidad de transferencia: 120 MB/s ($120 \cdot 10^6$ bytes/s).
- Tiempo que emplea en mover la cabeza de una pista a otra consecutiva: 0,02 ms.
- Tiempo de estabilización de las cabezas: 0,2 ms.

Suponiendo que en el instante $t=0$ las cabezas de grabación están al comienzo del sector absoluto 5.006.200, calcule el tiempo que se emplea en la lectura de los sectores absolutos 2.001.400 a 2.002.199

SOLUCIÓN

a) Las coordenadas CHS del sector absoluto 5.006.200 son (782, 1, 600):

$$5.006.200 \div (800 \times 8) = 782$$

$$5.006.200 \bmod (800 \times 8) = 1.400$$

$$1.400 \div (800) = 1$$

$$1.400 \bmod (800) = 600$$

Las coordenadas CHS del sector absoluto 2.001.400 son (312, 5, 600):

$$200.001.400 \div (800 \times 8) = 312$$

$$200.001.400 \bmod (800 \times 8) = 4.600$$

$$4.600 \div (800) = 5$$

$$4.600 \bmod (800) = 600$$

El tiempo que tarda el disco en dar una vuelta es $(60 \times 1.000 \text{ ms/m}) / 7.500 \text{ rpm} = 8 \text{ ms}$. El tiempo que tarda en avanzar un sector es $8 \text{ ms} / 800 = 0,01 \text{ ms}$.

Lectura del sector (312, 5, 600):

Tiempo de búsqueda = $(782 - 312) \cdot 0,02 \text{ ms} + 0,2 \text{ ms} = 470 \cdot 0,02 + 0,2 \text{ ms} = 9,6 \text{ ms}$. Durante este tiempo, el disco avanza $9,6 / 0,01 = 960$ sectores quedando ante el sector $(600 + 960) \bmod 800 = 760$. El tiempo de latencia es $(800 - 760 + 600) \cdot 0,01 = 6,4 \text{ ms}$. La lectura del sector se completa en el instante $t = 9,6 \text{ ms} + 6,4 \text{ ms} + 0,01 \text{ ms} = 16,01 \text{ ms}$.

Los 2.002.199 - 2.001.400 = 799 sectores restantes son consecutivos y pertenecen a las superficies 5 y 6 del cilindro 312, por tanto su tiempo de acceso es nulo y su lectura se completa en el instante $t = 16,01 \text{ ms} + 799 \cdot 0,1 \text{ ms} = 24 \text{ ms}$.

2 (7 puntos) Sea un computador de 64 bits con capacidad de procesamiento de 2.000 MIPS y con un sistema de interrupciones con 8 niveles de prioridad cuya SRI tiene una duración equivalente a 6 instrucciones.

Este computador tiene conectado dos periféricos con las siguientes características:

Disco: opera por interrupciones

- Velocidad de transferencia: $80 \cdot 10^6$ bytes/s.
- Tiempo medio de acceso: 5 ms.
- Registro de datos de 64 bits.
- Tamaño del sector: 4.096 bytes.
- La rutina de inicio de operación ejecuta 100 instrucciones.
- En la rutina de tratamiento de interrupción se ejecutan 94 instrucciones.
- La rutina de fin de operación ejecuta 200 instrucciones.

Red: opera por DMA en modo ráfaga.

- Velocidad de transmisión de 1 Gb/s por segundo (10^9 bits/s).
- Buffer de 4 registros de datos de 64 bits.

- El protocolo de concesión/liberación de buses consume un total de 2 ns.
- El tiempo de un ciclo de acceso a memoria principal es de 2 ns/palabra .
- Bloques de 1.024 bytes.
- La rutina de inicio de operación ejecuta 300 instrucciones.
- La rutina de tratamiento de interrupción (o de fin de operación) ejecuta 244 instrucciones.

a) (1 punto) Determine el número máximo de instrucciones que podría ejecutar la rutina de tratamiento de interrupción de la unidad de disco para que ambos periféricos puedan operar simultáneamente.

A partir del tiempo $t=0$ comienza la recepción de un fichero de 800 KB por la unidad de red que, a medida que se van recibiendo sus datos, se almacena en sectores aleatorios del disco duro.

b) (2 puntos) Calcule la duración total de la recepción y escritura en el disco del fichero.

c) (2 puntos) Calcule el porcentaje de tiempo de CPU consumido por la recepción y escritura del fichero.

En $t=0$ comienza además la ejecución de un programa con prioridad cero que no realiza operaciones de E/S.

d) (1 punto) Calcule en qué instante concluirá dicho programa si requiere la ejecución de 3.000.000.000 instrucciones.

e) (1 punto) Indique qué ocurriría con la recepción y escritura del fichero si en el instante $t=3$ ms el programa aumentara su prioridad al nivel máximo y recalcule el instante en que concluiría la ejecución del programa.

SOLUCIÓN

a) Para que ambos periféricos puedan operar simultáneamente, la capacidad de procesamiento consumida por las interrupciones de la unidad de disco y por los ciclos de DMA de la unidad de red no puede superar la capacidad del procesador, 2.000 MIPS. Las interrupciones de la unidad de disco consumen el equivalente a 6 instrucciones debido a la SRI más las X_{max} instrucciones que la RTI podría ejecutar como máximo. Los ciclos de DMA generados por la unidad de red consumen $2ns + 4 \cdot 2ns = 10ns$ que equivalen a la ejecución de 20 instrucciones.

$$CP_{disco} = FREC_{int} \times (6I + X_{max}) = \frac{80 \cdot 10^6 \text{ B/s}}{8 \text{ B}} \times (6I + X_{max})$$

$$CP_{red} = FREC_{dma} \times 20I = \frac{10^9 \text{ bits/s}}{4 \times 64 \text{ bits}} \times 20I = 78.125.000I/s = 78,125 \text{ MIPS}$$

$$CP_{disco} + CP_{red} \leq 2.000 \text{ MIPS}$$

$$10 \cdot 10^6 s^{-1} \times (6I + X_{max}) + 78,125 \cdot 10^6 I/s \leq 2.000 \cdot 10^6 I/s$$

$$X_{max} \leq 186,1875 \text{ I}$$

La rutina de interrupción de la unidad de disco podrá ejecutar 186 instrucciones como máximo.

b) Como la capacidad de procesamiento de la CPU es de 2.000 MIPS, una instrucción se ejecuta en 0,5 ns. Por lo tanto, la SRI tarda 3 ns, las rutinas de inicio y fin de la unidad de disco tardan 50 ns y 100 ns respectivamente, y la rutina de inicio de la red dura 150 ns. La RTI del disco tarda 47 ns y la de la red tarda 122 ns.

El tamaño del fichero, 800 KB, corresponde a 200 operaciones de disco (4 KB/bloque) y 800 de red (1.024 B/bloque). Las operaciones de E/S se suceden de forma que cuando se completa la recepción de los primeros 4 KB por la red (4 operaciones de recepción) se arranca la primera operación de escritura en el disco y se continúa con la recepción del resto del fichero por la red, ya que pueden funcionar en paralelo. Teniendo en cuenta la diferencia de velocidades de transferencia y el tiempo de acceso de la unidad de disco, la recepción de la mayor parte del fichero se completará durante la primera operación de disco por lo que la escritura del resto de los sectores en el disco se producirá sin esperas. El tiempo total de operación será el de las 4 primeras operaciones de red para recibir el primer bloque de disco más las 200 operaciones del disco.

$$t_{opTotal} = 4 \times t_{opred} + 200 \times t_{opdisco}$$

Tiempo de operación de la red:

$$t_{opred} = t_{ini} + t_{acc} + t_{transf} + t_{dma} + t_{int} = 150 \text{ ns} + 0 + \frac{1.024 \text{ B} \times 8 \text{ b/B}}{10^9 \text{ b/s}} + (2 + 4 \times 2) \text{ ns} + (3 + 122) \text{ ns} = 8.327 \text{ ns}$$

Tiempo de operación del disco:

$$t_{opdisco} = t_{ini} + t_{acc} + t_{transf} + t_{fin} = 50 \text{ ns} + 5 \text{ ms} + \frac{4.096 \text{ B}}{80 \cdot 10^6 \text{ B/s}} + 100 \text{ ns} = 5.051.350 \text{ ns}$$

Por lo que el tiempo de operación total es:

$$t_{opTotal} = 4 \times t_{opred} + 200 \times t_{opdisco} = 4 \times 8.327 \text{ ns} + 200 \times 5.051.350 \text{ ns} = 1.010.270.000 \text{ ns}$$

c) El tiempo de CPU consumido por toda la operación es la suma de los tiempos de CPU consumidos por las 200 + 800 operaciones necesarias para la transferencia del fichero.

Tiempo de ocupación de CPU durante una operación de disco:

$$T_{CPUdisco} = t_{ini} + n^{o}int \times (t_{sri} + t_{rti}) + t_{fin}$$

$$t_{CPUdisco} = 50 \text{ ns} + \frac{4.096B}{8B} \text{ int} \times (3 + 47)ns/int + 100ns = 25.750 \text{ ns}$$

Tiempo de ocupación de CPU durante una operación de red:

$$T_{CPUred} = t_{ini} + n^{o}DMA \times (t_{conc} + 4 \times t_{ciclo}) + (t_{sri} + t_{rti})$$

$$t_{CPUred} = 150 \text{ ns} + \frac{1.024B}{4 \times 8B} \text{ dma} \times (2 + 4 \times 2)ns/dma + (3 + 122) \text{ ns} = 595 \text{ ns}$$

Por lo que el tiempo total de ocupación de CPU es:

$$t_{CPUTot} = 200 \times t_{CPUdisco} + 800 \times t_{CPUred} = 200 \times 25.750 \text{ ns} + 800 \times 595 \text{ ns} = 5.626.000 \text{ ns}$$

$$\text{El porcentaje de tiempo de CPU consumido es: } \frac{5.626.000 \text{ ns}}{1.010.270.000 \text{ ns}} \times 100 \approx 0,56 \%$$

d) Sin tener en cuenta la transferencia del fichero, el programa necesita $3 \cdot 10^9 I \times 0,5ns/I = 1,5$ segundos, pero se verá retrasado 5.626.000ns por las operaciones de E/S, por lo que concluirá en el instante $t=1,505626$ segundos.

e) En el instante $t=3$ ms habrían concluido 360 operaciones de red ($\frac{3.000.000ns}{8.327 \text{ ns/opred}} \approx 360,27$), se estaría ejecutando la 361 y se habría iniciado la primera operación de disco sin haber concluido su tiempo de acceso (5 ms). Al elevar la prioridad de ejecución del programa al nivel máximo, se bloquearían todas las interrupciones hasta su final. Los ciclos de DMA de la operación de red en curso no se verían afectados, pero su rutina de fin de operación se vería bloqueada y no se iniciarían las demás, por lo que se perderían los datos correspondientes. Así mismo, la operación de disco fallaría y tendría que ser reiniciada tras la ejecución del programa (salvo que se abortara toda la operación).

El programa tardaría en ejecutarse 1,5 segundos más el tiempo de cpu consumido por 361 operaciones de red, salvo la rutina de interrupción de la última, y más el tiempo de inicio de la primera operación de disco: $t = 1,5s + 361 \times 595ns - (3ns + 122ns) + 50ns = 1,500214720$ segundos.