

**1** [3 puntos] Sea un disco duro con una velocidad de transferencia 40 MB/s ( $40 \times 10^6$  bytes/s), su buffer es un registro de datos de 64 bits y con el que se opera mediante interrupciones.

a) Se conectan *dos* de estos discos duros a un procesador capaz de ejecutar 1000 MIPS. Si la secuencia de reconocimiento de interrupciones, SRI, dura 5 ns y se desea que puedan operar simultáneamente, ¿cuántas instrucciones como máximo se podrán ejecutar en su rutina de interrupción, RTI (o Rut-Int)?

b) Sea uno de estos discos duros y una tarjeta de red que funciona también mediante interrupciones y que tiene también como buffer un registro de datos de 64 bits, ambos de nuevo conectados a un procesador de 1000 MIPS. Si la SRI dura 5 ns, la RTI del disco ejecuta 40 instrucciones y la RTI de la red ejecuta 50 instrucciones, calcule la velocidad máxima a la que puede operar la red para que puedan trabajar simultáneamente.

## SOLUCIÓN

a) Tiempo entre interrupciones de cada disco:

$$\frac{64 \text{ bits}}{40 \cdot 8 \cdot 10^6 \text{ bits/s}} = 200 \text{ ns, como son dos discos, } 100 \text{ ns.}$$

Tiempo necesario para ejecutar una instrucción:

$$\frac{1}{1000 \text{ MIPS}} \Rightarrow 1 \text{ ns por instr.}$$

Atender cada interrupción supone realizar la SRI y ejecutar la RTI, por lo que no podrá ejecutar más de:

$$\frac{100 \text{ ns} - 5 \text{ ns}}{1 \text{ ns/instr.}} = 95 \text{ instrucciones}$$

b) La suma del consumo de CPU de ambos periféricos debe ser menor el máximo de 1.000 MIPS. El consumo de CPU para cada interrupción viene dado por la duración de la SRI y la RTI, por lo que calculamos el número de interrupciones por segundo que genera el disco y de ahí obtenemos el número máximo de interrupciones que puede generar la red. Sabiendo que se produce una interrupción cada 64 bits obtenemos la velocidad de transferencia máxima.

$$\frac{40 \times 8 \times 10^6 \text{ bits/s}}{64 \text{ bits}} = 5 \cdot 10^6 \text{ Int/s}$$

$$5 \cdot 10^6 (5 + 40) + X(5 + 50) < 1000 \cdot 10^6$$

$$X = \frac{1000 \cdot 10^6 - 225 \cdot 10^6}{55} = 14,1 \cdot 10^6 \text{ Int/s} \Rightarrow 902,4 \text{ Mbits/s}$$

**2** [7 puntos] Sea un computador de 32 bits con una CPU capaz de ejecutar 1.000 MIPS y con un mecanismo de interrupciones cuya SRI tiene una duración de 5 ns.

a) Este computador tiene conectado una unidad de disco duro con las siguientes características:

- Velocidad de transferencia:  $25 \cdot 10^6$  bytes/s.
- Tiempo medio de acceso: 5 ms.
- Buffer: un registro de datos de 32 bits.
- Bloques: 1.024 bytes.

El módulo de E/S de la unidad de disco opera mediante interrupciones con las siguientes características:

- La rutina de programación de una operación de E/S ejecuta 100 instrucciones.
- La rutina de fin de una operación de E/S ejecuta 90 instrucciones.
- En la rutina de interrupción, RTI (o Rut-Int), se ejecutan 50 instrucciones.

a.1) Calcule el número máximo de discos que pueden operar simultáneamente.

a.2) Calcule el tiempo de CPU que se dedica a la lectura de un bloque.

a.3) Calcule el tiempo total de lectura de un bloque.

b) Este computador dispone también de una conexión a una red que opera mediante DMA –en modo ráfaga, dado el tamaño de su buffer– con las siguientes características:

- Velocidad de transferencia: 1 Gbit/s ( $10^9$  bits/s).
- Buffer: 4 registros de datos de 32 bits

- Bloque: de tamaño variable.
- Las rutinas de inicio y fin de una operación de E/S tienen 100 y 150 instrucciones respectivamente.
- El protocolo de concesión/liberación de buses consume un total de 2 ns.
- El tiempo de acceso a memoria principal de una palabra es de 50 ns.

**b.1)** Calcule el tiempo total para la transmisión de un bloque de 1.024 bytes.

**b.2)** Calcule el tiempo total de CPU, indicando el que se emplea en la ejecución de instrucciones propiamente dichas y el que corresponde al tiempo que suponemos que pierde de ejecutar por los DMAs.

**b.3)** Calcule el tiempo total necesario para leer un archivo 16 KB del disco duro y enviarlo por la red. Haga las suposiciones que crea necesarias e indíquelas en su respuesta.

## SOLUCIÓN

**a)**

**a.1)** Se calcula la capacidad de proceso que requiere la atención a las interrupciones de un disco y se obtiene el número de discos que pueden operar simultáneamente.

$$\begin{aligned}
 \text{Capacidad\_de\_proceso/ud.} &= \text{Frec}_{Int} \times \text{instrucciones/Int} = \\
 &= \frac{25 \cdot 10^6 \text{ B/s}}{4 \text{ B/Int}} \times (5 + 50) \text{ instrucciones/Int} = \\
 &= 343,75 \text{ MIPS/ud.}
 \end{aligned}$$

$$\text{Número\_de\_discos} = \left\lceil \frac{1.000 \text{ MIPS}}{343,75 \text{ MIPS/ud.}} \right\rceil = 2 \text{ uds.}$$

**a.2)** El módulo de entrada/salida solicitará 256 interrupciones para transferir los 1.024 bytes del bloque. Además hay que contabilizar las rutinas de inicio y fin de operación.

$$\begin{aligned}
 t_{CPU\_disco} &= 100 \text{ instrucciones} + 256 \text{ interrupciones} \times (5 + 50) \text{ instrucciones/interrupción} \\
 &+ (5 + 90) \text{ instrucciones/interrupción}_{fin} = 14.275 \text{ instrucciones} \\
 &\rightarrow 14.275 \text{ ns}
 \end{aligned}$$

**a.3)** Para realizar la operación de lectura de un bloque, en primer lugar habrá que programar la lectura lo que supone la ejecución de la rutina de inicio de operación.

Tras el tiempo de acceso de 5 ms se comienza la lectura de los 1.024 bytes del bloque y finalmente la rutina de tratamiento de interrupción que transfiere el los últimos 4 bytes y la que finaliza la operación.

$$t_{operación\_disco} = 100 \text{ ns} + 5 \text{ ms} + \frac{1.024 \text{ bytes}}{25 \cdot 10^6 \text{ bytes/s}} + (5 + 50) \text{ ns} + (5 + 90) \text{ ns} = 5,041210 \text{ ms}$$

**b)**

**b.1)** Para transmitir un bloque en primer lugar se programará la operación, lo que supone ejecutar las 100 instrucciones de la rutina de inicio de operación. Igualmente se ejecutará la rutina de fin de operación, 150 instrucciones. Por lo tanto, el total de CPU invertido en la ejecución de instrucciones propiamente dichas es de 250 instrucciones.

Para contabilizar el tiempo que se invierte en los DMAs, tendremos en cuenta que el buffer del dispositivo es de 4 palabras, por lo que se producirán ráfagas de 4 accesos a memoria. Por lo tanto, la duración de un DMA es  $4 \cdot 50 \text{ ns} + 2 \text{ ns} = 202 \text{ ns}$ . El número de ráfagas o DMAs será el tamaño de bloque dividido por el tamaño del buffer, 8 ráfagas. Por lo tanto, el tiempo total invertido en los accesos por DMA será  $8 \cdot 202 \text{ ns} = 1.616 \text{ ns}$

**b.2)** La duración total de una operación de red será la suma de los tiempos de inicio y fin más el tiempo de transferencia de los 1.024 bytes del bloque, a lo que podemos añadir el tiempo de una ráfaga de DMA, que corresponde en este caso al llenado del primer buffer, dado que es un periférico de salida.

$$t_{operación\_red} = 100 \text{ ns} + 202 \text{ ns} + \frac{1.024 \text{ bytes}}{125 \cdot 10^6 \text{ bytes/s}} + 150 \text{ ns} = 8.644 \text{ ns}$$

**b.3)** En este caso ambos periféricos tiene el mismo tamaño de bloque y, por la tanto, se necesitará el mismo número de operaciones de ambos periféricos: 16 KB a 1 KB por operación son 16 operaciones de disco duro y también 16 operaciones de red.

Supuesto un almacenamiento temporal en memoria suficiente, es fácil comprobar que es viable el funcionamiento simultáneo de ambos periféricos. Emplearemos esta opción, aunque consideramos igualmente válida la opción del funcionamiento secuencial. En nuestro supuesto, cada vez que se dispone de un bloque de 1 KB leído desde el disco se puede enviar a través de la red, a la vez que el disco sigue funcionando en la siguiente operación. Por tanto, el tiempo total será 16 operaciones de disco más el de la última de la red:

$$\begin{aligned} t_{total\_transf16KBdisco \rightarrow red} &= 16 \times t_{operacion\_disco} + 1 \times t_{operacion\_red} \\ &= 16 \times 5.041.210 \text{ ns} + 1 \times 8,644 \text{ ns} \end{aligned}$$