

## Sistemas de entrada e saída de dados

1. Considerar os dois dispositivos indicados na tabela:

Dispositivo	MTTF	MTTR
A	3 anos	1 dia
B	7 anos	3 dias

- Determinar o valor de MTBF para cada um dos dispositivos.
- Calcular a disponibilidade de cada dispositivo.
- Como se comporta a disponibilidade quando  $MTTR \rightarrow 0$ ? Trata-se de uma situação realista?
- Como se comporta a disponibilidade quando MTTR é muito elevado (i.e., difícil de reparar)? Esta situação implica que o dispositivo tem baixa disponibilidade?

2. As seguintes medidas foram efetuadas em dois computadores semelhantes, mas ligados a redes de tipo diferente:

Caraterística	Rede tipo A	Rede tipo B
Taxa máxima de transmissão	1,125 MB/s	10 MB/s
Latência de interconexão	21 $\mu$ s	56 $\mu$ s
Overhead de SW para envio	200 $\mu$ s	207 $\mu$ s
Overhead de SW para receção	241 $\mu$ s	360 $\mu$ s

A taxa máxima de transmissão representa a quantidade máxima de informação que pode ser transferida por unidade de tempo. A latência de interconexão é o atraso introduzido pela ligação física (cabo) e pelo processamento realizado pela placa de rede (em *hardware*). O envio e a receção de dados possuem ainda um *overhead* resultante do *software* que gere estas operações.

- Determinar, para cada tipo de rede, a latência computador-a-computador para uma mensagem de 250 bytes.
- Comentar a seguinte afirmação: “Por vezes a comunicação entre dois computadores é mais rápida utilizando uma rede do tipo A em vez de uma rede tipo B”.

3. Considerar dois sistemas diferentes destinados ao processamento de entrada/saída (E/S) de dados: o sistema A pode suportar 1500 operações de E/S por segundo e o sistema B pode suportar 1000 operações de E/S por segundo.

Os sistemas usam o mesmo processador, capaz de executar 12,5 MIPS (milhões de instruções por segundo). Assumir que cada transferência envolve 5 operações de E/S e que cada E/S requer 10000 instruções.

Determinar a taxa máxima de transferências por segundo (débito) de cada um dos sistemas.

4. Pretende-se enviar de um computador portátil para outro computador 100 ficheiros, com cerca de 40 MB cada, através de uma ligação sem fios a 5 Mbit/s. Antes de iniciar a transferência a energia na bateria é de 100 kJ. A placa de rede sem fios consome 5 W, enquanto transmite, e os restantes recursos

do portátil consomem 35 W. Antes da transferência de cada ficheiro são necessários 10 s para escolher o ficheiro a enviar.

Calcular quantos ficheiros completos se conseguem enviar antes de o computador ficar sem energia.

Nota:  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ .

5. Um modelo de discos magnéticos tem as seguintes características:

- capacidade de cada setor: 512 bytes;
- velocidade de rotação: 10000 RPM;
- tempo de busca médio: 6 ms;
- taxa de transferência: 50 MB/s;
- atraso introduzido pelo controlador: 0,2 ms.

a) Calcule o tempo médio de acesso ao disco para ler ou escrever um setor.

b) Após utilização verificou-se que o tempo de busca médio é afinal 25 % do valor anunciado. Calcule quanto melhora o tempo médio de acesso ao disco.

6. Assumir que um disco magnético tem as seguintes características:

- 10000 RPM, 416 setores (de 512 bytes) por cilindro;
- tempo de busca mínimo 2 ms e médio 8 ms;
- taxa de transferência 80 MB/s.

Ignorar os atrasos introduzidos pelo controlador.

a) Calcule o tempo necessário para transferir ficheiros de 200 KiB e de 400 KiB, assumindo que os respetivos setores estão dispostos em disco da maneira mais favorável possível.

Nota: Tenha em consideração a capacidade total de um cilindro.

b) Suponha agora que o ficheiro de 200 KiB ocupa setores escolhidos aleatoriamente. Determine o respetivo tempo de transferência.

7. Um programa executa repetidamente as seguintes tarefas:

1. Lê do disco um bloco de dados de 4 kB;
2. Processa estes dados;
3. Escreve o resultado (outro bloco de dados de 4 kB) num local aleatório do disco.

Os blocos são contíguos e localizam-se aleatoriamente numa pista do disco. O disco possui uma velocidade de rotação de 10000 RPM, o tempo de busca médio é 8 ms, a taxa de transferência é de 50 MB/s e o atraso introduzido pelo controlador do disco é 2 ms. O processamento dos dados demora 20 milhões de ciclos de relógio, sendo a frequência do sinal de relógio de 5 GHz. Assumir que nenhum outro programa está a usar o disco ou o processador e que não há sobreposição entre a operação do disco e o processamento dos dados.

Calcular o desempenho do sistema em blocos processados por segundo.

8. [Exame de 06-07-2011] Considere um computador com dois discos:

- Um disco magnético tradicional que roda a 3000 RPM, tem uma latência média de busca de 30 ms, uma latência de controlador de 10 ms e transfere dados a 20 MB/s.
- Um disco SSD que usando memória *Flash* consegue ler e escrever blocos de 4 kB a uma taxa de 10 MB/s, com uma latência de acesso desprezável.

Pretende-se projetar um controlador inteligente para alternar entre os discos consoante for mais eficaz. Justifique as suas respostas com cálculos.

- a) Considerando uma transferência de 40 KiB contíguos, qual é o tempo total de acesso para o disco SSD?
- b) Qual é o tempo de acesso da mesma transferência de 40 KiB contíguos no caso do disco magnético? Considere que após começar a transferência, eventuais mudanças de pista demoram um tempo negligenciável.
- c) Calcule o tamanho da transferência que o controlador inteligente deve usar como valor limite para decidir trocar entre o disco SSD e o disco magnético (i.e., o limiar de decisão).

9. A execução de um programa demora 90 s, dos quais 80 s são gastos pelo CPU, correspondendo os restantes 10 s ao tempo de E/S. Se durante cinco anos o tempo de CPU for melhorado 50 % em cada ano, permanecendo o tempo de E/S constante, determine qual será a melhoria do tempo de execução do programa após esses cinco anos.

10. Pretende-se determinar o impacto de usar *polling* para realizar transferências de dados com três periféricos diferentes. Assuma que a operação de *polling* consome 800 ciclos de relógio e que o CPU opera a 2 GHz. Determine a fracção de tempo de CPU consumida por *polling* em cada um dos três casos seguintes, assumindo que a operação é feita com uma periodicidade tal que não ocorre perda de dados e que os periféricos estão sempre potencialmente ocupados.

- a) Um rato deve ser examinado 50 vezes por segundo para garantir que nenhum movimento do utilizador é perdido.
- b) Um leitor de disquetes transfere dados para o processador em unidades de 16 bits e tem uma taxa de transferência de dados de 50 kB/s.
- c) Um disco duro transfere grupos de 4 palavras (4 bytes cada) a uma taxa de 8 MB/s.

11. Suponha que são usados o mesmo CPU e disco duro do exercício anterior, mas desta vez com E/S realizada por interrupção. O *overhead* de cada transferência, incluindo o atendimento da interrupção, é de 1000 ciclos de relógio. Determine a fracção média de tempo de CPU consumida se o disco duro transferir dados durante 5 % do tempo. Compare com o resultado do exercício anterior e comente.

12. Suponha que usamos o mesmo sistema dos problemas anteriores, mas desta vez usando *Direct Memory Access* (DMA). Assuma que o estabelecimento da transferência de DMA consome 2500 ciclos e o tratamento da interrupção de fim de DMA consome 500 ciclos. Se a transferência média for de 8 KiB, determine a fracção do tempo de CPU consumida se o disco estiver ativo 100 % do tempo. Ignore o impacto da eventual contenção no barramento entre CPU e controlador de DMA.

**13.** [Exame de 06-07-2011] Considere um computador com um CPU de 2 GHz e uma câmara de vídeo ligada por um barramento Firewire capaz de transferir blocos de 16 KiB a 800 MB/s. Pretende-se usar a estratégia de *polling* para transferir dados da câmara para memória.

- a) Considere um cenário em que o CPU tem de gastar 99 % do seu tempo em outras tarefas que não *polling*. Sabendo que uma operação de *polling* consome 200 ciclos, qual é o número máximo de operações de *polling* que podem ser realizadas num segundo?
- b) Considerando apenas as restrições impostas pelo barramento Firewire, qual é o número máximo de blocos de 16 KiB que podem ser lidos da câmara de vídeo num segundo?
- c) Com base nos cálculos anteriores, quantas operações de *polling* devem ser realizadas (por segundo) de forma a evitar perdas de dados e minimizar a ocupação de CPU?

**14.** Considere dois sistemas RAID (*Redundant Arrays of Inexpensive Disks*) destinados a armazenar 10 TB (sem contar com qualquer redundância). O sistema A usa tecnologia RAID 1 e o sistema B usa tecnologia RAID 5 com 4 discos num grupo de proteção.

- a) Determinar a capacidade de armazenamento que o sistema A deve ter a mais que B.
- b) Suponha que uma aplicação escreve um bloco de dados no disco e que o acesso a um bloco demora 30 ms. Qual é o tempo de escrita *no pior caso possível* em ambos os sistemas?
- c) Indicar, justificando, se o sistema A é mais fiável que o sistema B.

**15.** Considerar um computador com as seguintes características:

- O CPU executa 3000 MIPS;
- O barramento de acesso a memória possui uma taxa de transferência de 1000 MB/s;
- O programa do utilizador e o sistema operativo precisam de, respetivamente, 200000 e 100000 instruções por cada operação de E/S;
- O sub-sistema de armazenamento de dados é composto por  $N$  controladores de barramento SCSI Ultra32 com taxa de transferência de 320 MB/s, suportando cada um até 7 discos;
- O acesso a discos é feito com uma largura de banda de 75 MB/s e o tempo médio de busca mais a latência de rotação é 6 ms.

Considerar que a leitura dos discos se faz em blocos de 64 KiB situados em setores sequenciais na mesma pista. Assumir que não ocorrem conflitos de acesso a discos.

- a) Relativamente aos componentes fixos do sistema, CPU e barramento de memória, mostre que é o CPU que limita o desempenho do computador (*bottleneck*) calculando a taxa máxima de operações de E/S permitida por ambos.
- b) Calcule o tamanho mínimo de bloco que levaria a que fosse o barramento de memória o limitador do desempenho.
- c) Determine quantos discos e controladores são necessários para atingir a taxa de E/S calculada na alínea a). Para tal:
  - i. Calcule o tempo de acesso a disco e o número de acessos por unidade de tempo;
  - ii. Determine o número de discos;

- iii. Verifique que a largura de banda do controlador de disco é suficiente para suportar a taxa média de transferência de 7 discos e determine o número de controladores.

**16.** Considerar um sistema computacional com as seguintes características:

- o programa de um utilizador faz continuamente leituras de blocos de 64 KiB, requerendo 2 milhões de ciclos de relógio para processar cada bloco;
- o sistema operativo dispende 1 milhão de ciclos por cada operação de E/S;
- o barramento de acesso a memória possui uma taxa de transferência de 640 MB/s;
- o CPU opera a 3 GHz;
- o acesso a discos é feito com uma largura de banda de 64 MB/s e o tempo médio de busca mais a latência de rotação é 9 ms;
- existem 20 discos ligados ao barramento, cada um com o respetivo controlador (assumir que cada disco pode ser controlado de forma independente e ignorar conflitos no acesso aos discos).

Identificar o recurso (CPU, barramento de memória ou discos) que limita o desempenho.

Fim