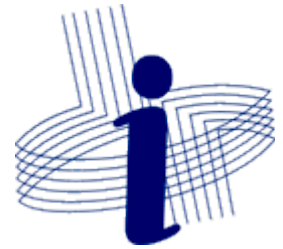




Universidade Federal de Viçosa
Departamento de Informática
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas



INF 112
Programação 2
Aula “10”
Ordenação – 5
Ordenação externa

Processamento de dados em memória externa

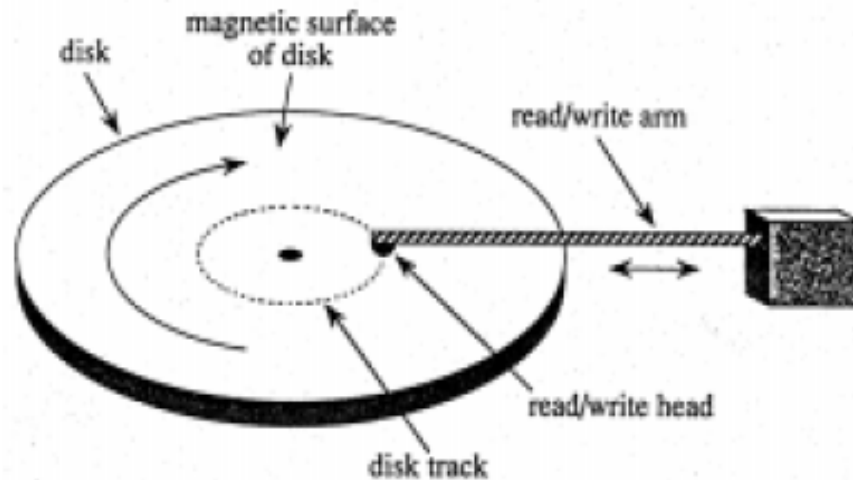
- Com a grande disponibilidade de dados, muitas vezes as informações não podem ser armazenadas e processadas inteiramente na memória principal dos computadores.
- Exemplos de grandes massas de dados: bancos de dados, imagens de satélite em alta resolução, vídeos, etc.

Processamento de dados em memória externa

- Tais dados precisam ser processados na **memória externa** dos computadores.
- Exemplos de memória externa: discos, fitas, DVDs, SSDs, etc.
- Problemas com a memória externa.
 - Alto custo de acesso aos dados.
 - Vários custos diferentes podem ser associados ao acesso (ex: custo de ler dados, custo de gravar, custo de posicionar a cabeça de gravação, etc).
 - Os custos dependem da tecnologia: ex: Disco vs SSD, Fita vs Disco.

Processamento de dados em memória externa

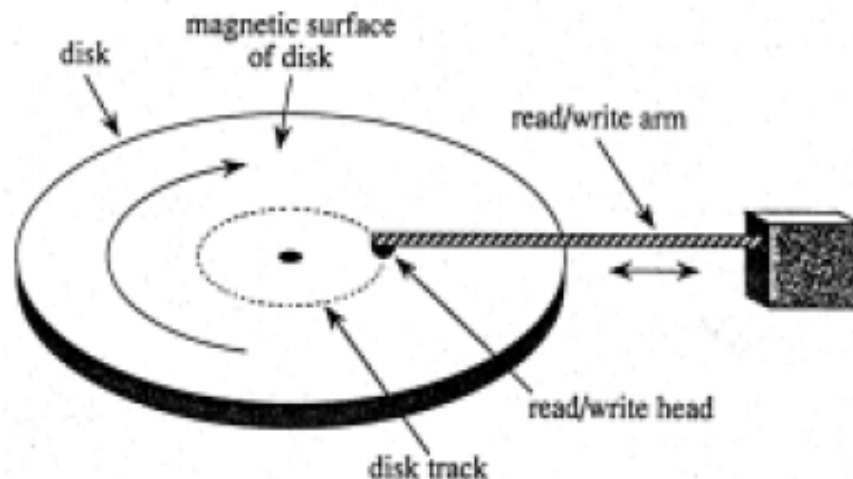
- Exemplo de memória externa: disco.
- Para acessar um elemento no disco, precisamos posicionar a cabeça de leitura do disco e esperar a posição onde o dado está passar sob a cabeça de leitura (operação de *seek*).



Fonte: External Memory Algorithms and Data Structures, Vitter

Processamento de dados em memória externa

- Após começar a ler os dados, eles podem ser acessados de forma sequencial sem a necessidade de fazer operações de *seek*.
- Para acelerar a leitura, ao tentar ler um elemento, o disco carrega não só esse elemento, mas um bloco de dados contendo tal elemento.



Fonte: External Memory Algorithms and Data Structures, Vitter

Processamento de dados em memória externa

- Tempo típico de seek em discos: 8 ms
- Suponha que um disco tenha taxa de transferência interna de 100MB/s.
- Vamos supor que o tamanho de bloco seja 4KB.
- Quanto tempo gastaríamos para fazer um seek e ler um inteiro (com 4 bytes do disco) ?
- Quanto tempo gastaríamos para fazer um seek e ler 10.000 inteiros do disco?

Processamento de dados em memória externa

- Tempo típico de seek em discos: 8 ms
- Suponha que um disco tenha taxa de transferência interna de 100MB/s.
- Vamos supor que o tamanho de bloco seja 4KB.
- Quanto tempo gastaríamos para fazer um seek e ler um inteiro (com 4 bytes do disco) ?
 - Vamos estimar de forma bem grosseira...
 - Tempo de seek: 8 ms
 - Quanto tempo gastamos para transferir um bloco:
 - Taxa de transferência = 100MB/s = $100 \cdot 1024$ KB/s = $100 \cdot 1024 / 4$ blocos/s = 25600 blocos/s.
 - para transferir 1 bloco gastamos: $1/25600$ s = 0.04 ms
 - Para fazer seek e ler 1 inteiro, gastamos $8 + 0.04$ ms = 8.04 ms
- Quanto tempo gastaríamos para fazer um seek e ler 10000 inteiros do disco?
 - 10000 inteiros podem ser armazenados em 9.76 blocos 10 leituras de blocos

• $R = 8 \text{ ms} + 0.04 \text{ ms} \cdot 10 = 8.4 \text{ ms}$



Processamento de dados em memória externa

- Note que o tempo de seek “pesa” MUITO na eficiência do acesso ao disco.
- Assim, o acesso “aleatório” ao disco é muito ineficiente.
- Imagine como seria o acesso a uma f t a... quanto tempo custaria fazer um acesso na última posição da f t a e, a seguir, acessar o primeiro elemento gravado nela?
- Na memória principal, esse problema é menos grave.

Processamento de dados em memória externa

Veja uma tabela com tempos típicos (e aproximados) de algumas operações em computadores (fonte: <http://norvig.com/21-days.html#answers>).

execute typical instruction	1 nanosec
fetch from L1 cache memory	0.5 nanosec
fetch from L2 cache memory	7 nanosec
fetch from main memory	100 nanosec
send 2K bytes over 1Gbps network	20,000 nanosec
read 1MB sequentially from memory	250,000 nanosec
fetch from new disk location (seek)	8,000,000 nanosec
read 1MB sequentially from disk	20,000,000 nanosec
send packet US to Europe and back	150,000,000 nanosec

Processamento de dados em memória externa

- No tempo gasto para fazer um acesso a disco dá para o processador executar quantas instruções?
- Suponha que uma pessoa gaste 5 segundos para pegar um livro em uma estante (que fica perto da mesa de trabalho). Imaginando que a estante é equivalente à “memória RAM” do local onde a pessoa trabalha, quanto tempo essa pessoa gastaria para pegar o livro na biblioteca (que seria equivalente ao “disco rígido”)?

Processamento de dados em memória externa

- No tempo gasto para fazer um acesso a disco dá para o processador executar quantas instruções?
 - R: 8000000
- Suponha que uma pessoa gaste 5 segundos para pegar um livro em uma estante (que fica perto da mesa de trabalho). Imaginando que a estante é equivalente à “memória RAM” do local onde a pessoa trabalha, quanto tempo essa pessoa gastaria para pegar o livro na biblioteca (que seria equivalente ao “disco rígido”)?
- Se a razão entre o tempo gasto para pegar o livro na biblioteca e o tempo para pegar o livro na estante fosse a mesma razão entre o tempo de acessar o disco e acessar a memória, o tempo gasto seria aproximadamente:
 - $(8,000,000/100)*5s = 400,000s = 111 \text{ horas} = 4.6 \text{ dias}$ (na metade desse tempo dá para viajar até o Japão de avião!)



Processamento de dados em memória externa

- Devido a essa ENORME diferença entre o custo de acesso ao disco e a execução de operações na CPU, normalmente os algoritmos projetados para trabalhar com dados na memória externa são avaliados com base no acesso a disco (desconsiderando o “tempo de cpu”).
- Assim, normalmente é preferível utilizar um algoritmo com complexidade de tempo de CPU mais alta mas que faça menos acesso a disco a usar um algoritmo muito eficiente em termos de CPU mas que realiza muitos acessos ao disco.

Ordenação em memória externa

- A seguir, vamos apresentar um exemplo de algoritmo para ordenar dados em memória externa.
- Material baseado no livro “Projeto de Algoritmos com Implementações em Pascal e C”, Nivio Ziviani

Ordenação em memória externa

- O método de ordenação externa mais importante é o método de ordenação por intercalação.
- Assim como no algoritmo MergeSort, a intercalação é utilizada como operação auxiliar do algoritmo de ordenação.

Ordenação em memória externa

- Em geral, os algoritmos para ordenação em memória externa usam a seguinte estratégia:
 - É realizada uma primeira passada sobre o arquivo, quebrando-o em blocos do tamanho da memória interna. Cada bloco é, então, ordenado com um método para memória interna.
 - Os blocos ordenados são intercalados, fazendo várias varreduras pelo arquivo. A cada varredura são criados blocos ordenados cada vez maiores.
 - O processo termina quando o arquivo estiver todo ordenado.
- Por motivos de eficiência, os algoritmos para ordenação externa devem procurar reduzir o número de varreduras realizadas.

Ordenação em memória externa

- A seguir, será apresentado o algoritmo de intercalação balanceada de vários caminhos.
- Seguindo os exemplos apresentados por Nivio Ziviani, vamos supor que o arquivo está armazenado em uma fita magnética (memória externa). A ideia pode ser facilmente adaptada para discos.
- Suponha que os dados a serem ordenados estejam em uma fita e sejam compostos por 22 caracteres. Vamos supor que a memória interna só pode armazenar 3 caracteres e que o computador tenha 6 unidades de fita.

Ordenação em memória externa

- Arquivo contendo os 22 registros originais:

Fita 1 Fita 2 Fita 3 . . .

I	N	T	E	R	C	A	L	A	C	A	O	B	A	L	A	N	C	E	A	D	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- Na primeira etapa do processo, o arquivo é lido (ou seja, a fita é varrida) de três em três registros, os registros são ordenados (na memória interna) e gravados em uma das fitas de saída. Vamos gravar dados em três fitas (intercalação de três caminhos).

fita 1:	I	N	T	A	C	O	A	D	E
fita 2:	C	E	R	A	B	L	A		
fita 3:	A	A	L	A	C	N			

Ordenação em memória externa

- A seguir, os blocos de três registros são intercalados (formando blocos com 9 registros).
- O primeiro registro (letra) de cada fita é lido para a memória interna.

fit 1:	I	N	T	A	C	O	A	D	E
fit 2:	C	E	R	A	B	L	A		
fit 3:	A	A	L	A	C	N			

Próximo registro da mesma fita

- O registro com a menor chave dentre as 3 é removido e escrito na fita de saída.
- O próximo registro da mesma fita é lido para a memória interna.

fit 1:	I	N	T	A	C	O	A	D	E
fit 2:	C	E	R	A	B	L	A		
fit 3:	X	A	L	A	C	N			

Ordenação em memória externa

- Quando o terceiro registro de um bloco é lido, a fita a que ele pertence fica inativa até que o terceiro registro das outras fitas seja lido e escrito na fita de saída.
- Nessa passada, vamos intercalar 3 blocos de 3 registros (letras), o que resultará num bloco de 9 registros na saída.

⇒ fita 4: *A A C E I L N R T*
fita 5: *A A A B C C L N O*
fita 6: *A A D E*

- A seguir, repetimos o processo de intercalar mais um bloco de 3 registros de cada uma das 3 fitas e escrevemos na próxima fita de saída (5).
- O processo continua até que todos os blocos de 3 registros tenham sido intercalados formando na saída um bloco de 9.

Ordenação em memória externa

- Mais um passo de intercalação completa essa ordenação.
- Quantas passadas são necessárias para ordenar um arquivo de tamanho arbitrário?

Ordenação em memória externa

- Quantas passadas são necessárias para ordenar um arquivo de tamanho arbitrário?
- Considere um arquivo com n registros e uma memória interna de tamanho m .
- A passada inicial pelo arquivo produz n/m blocos ordenados.
- Considere que $P(n)$ é o número de passadas para intercalação de blocos ordenados.
- Considere f passadas utilizadas em cada passada.
- Para uma intercalação de f caminhos o número de passadas é:

$$P(n) = \log_f (n/m)$$

Ordenação em memória externa

$$P(n) = \log_f (n/m)$$

- No exemplo dado, temos $n=22$, $m = 3$ e $f = 3$ o número de passadas é $\log_3(22/3) = 1.81$ (arredondando para cima) 2
- Note que, em cada varredura, o tamanho dos blocos fica f vezes maior!

Ordenação em memória externa

- Exercícios:
- Mostre a sequência de passos para a ordenação do arquivo abaixo em uma máquina com 4 unidades de f ta disponíveis e memória para 3 registros.

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- Calcule o número de varreduras necessárias para ordenar o arquivo do exercício anterior. O resultado está consistente com o seu exercício?

Ordenação em memória externa

- Exercícios:
- Mostre a sequência de passos para a ordenação do arquivo abaixo em uma máquina com 4 unidades de f ta disponíveis e memória para 3 registros.

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10,21,22 | 34,36,37 | 4,7,8
- 25,29,35 | 1,2,5 | 9
- Intercalando...

Saída: 10

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10, 21, 22 | 34, 36, 37 | 4, 7, 8
- 25, 29, 35 | 1, 2, 5 | 9
- Intercalando...

Saída: 10, 21

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10,21,22 | 34,36,37 | 4,7,8
- 25,29,35 | 1,2,5 | 9
- Intercalando...

Saída: 10, 21, 22

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10,21,22 | 34,36,37 | 4,7,8
- 25,29,35 | 1,2,5 | 9
- Intercalando...

Saída: 10, 21, 22, 25

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10,21,22 | 34,36,37 | 4,7,8
- 25,29 | 35 | 1,2,5 | 9
- Intercalando...

Saída: 10, 21, 22, 25, 29

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10,21,22 | 34,36,37 | 4,7,8
- 25,29,35 | 1,2,5 | 9
- Intercalando...

Saída: 10, 21, 22, 25,29, 35

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10,21,22 | 34 | 36,37 | 4,7,8
- 25,29,35 | 1,2,5 | 9
- Intercalando...

Fita1: 10, 21, 22, 25,29, 35

Fita 2: 1,

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10,21,22 | 34 | 36,37 | 4,7,8
- 25,29,35 | 1,2,5 | 9
- Intercalando...

Fita1: 10, 21, 22, 25,29, 35

Fita 2: 1,2,

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10,21,22 | 34 | 36,37 | 4,7,8
- 25,29,35 | 1,2,5 | 9
- Intercalando...

Fita1: 10, 21, 22, 25,29, 35

Fita 2: 1,2,5

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10,21,22 | 34 | 36,37 | 4,7,8
- 25,29,35 | 1,2,5 | 9
- Intercalando...

Fita1: 10, 21, 22, 25,29, 35

Fita 2: 1,2,5,34

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10,21,22 | 34,36,37 | 4,7,8
- 25,29,35 | 1,2,5 | 9
- Intercalando...

Fita1: 10, 21, 22, 25, 29, 35

Fita 2: 1,2,5,34,36

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10,21,22 | 34,36,37 | 4,7,8

- 25,29,35 | 1,2,5 | 9

- Intercalando...

Fita1: 10, 21, 22, 25, 29, 35

Fita 2: 1,2,5,34,36, 37

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10,21,22 | 34,36,37 | 4,7,8

- 25,29,35 | 1,2,5 | 9

- Intercalando...

Fita1: 10, 21, 22,25, 29, 35 | 4,

Fita 2: 1,2,5,34,36, 37

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10,21,22 | 34,36,37 | 4,7,8

- 25,29,35 | 1,2,5 | 9

- Intercalando...

Fita1: 10, 21, 22, 25,29, 35 | 4,7

Fita 2: 1,2,5,34,36, 37

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10,21,22 | 34,36,37 | 4,7,8

- 25,29,35 | 1,2,5 | 9

- Intercalando...

Fita1: 10, 21, 22, 25,29, 35 | 4,7,8

Fita 2: 1,2,5,34,36, 37

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10,21,22 | 34,36,37 | 4,7,8 |

- 25,29,35 | 1,2,5 | 9

- Intercalando...

Fita1: 10, 21, 22, 25,29, 35 | 4,7,8,9

Fita 2: 1,2,5,34,36, 37

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10, 21, 22, 25, 29, 35 | 4,7,8,9
- 1,2,5,34,36, 37
- Intercalando passada 2...

Fita1: 1,

Fita 2:

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10, 21, 22, 25, 29, 35 | 4,7,8,9
- 1,2,5,34,36, 37
- Intercalando passada 2...

Fita1: 1,2

Fita 2:

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10, 21, 22, 25, 29, 35 | 4,7,8,9

- 1,2,5,34,36, 37

- Intercalando passada 2...

Fita1: 1,2,5

Fita 2:

- Continuamos.....

Ordenação em memória externa

[10,21,22,25,29,35,34,36,37,5,1,2,4,7,8,9]

- 10, 21, 22, 25, 29, 35 | 4,7,8,9

- 1,2,5,34,36, 37

- Intercalando passada 2...

Fita1: 1,2,5,10,21,22,25,29,34,35,36,37

Fita 2: 4,7,8,9

- Intercalando passada 3...

1,2,4,5,7,8,9,10,21,22,25,29,34,35,36,37

Ordenação em memória externa

$$P(n) = \log_f (n/m)$$

- Calcule o número de varreduras necessárias para ordenar o arquivo do exercício anterior. O resultado está consistente com o seu exercício?

Ordenação em memória externa

$$P(n) = \log_f (n/m)$$

- Calcule o número de varreduras necessárias para ordenar o arquivo do exercício anterior. O resultado está consistente com o seu exercício?
- No exemplo dado, temos $n=16$, $m = 3$ e $f = 2$ o número de passadas é $\log_2(16/3) = 3$ (arredondando para cima)
- Note que, em cada varredura, o tamanho dos blocos fica f vezes maior!