



Organização de Arquivos

SCE-183 – Algoritmos e Estruturas de Dados II



Modelos Abstratos de Dados

- Focar no conteúdo da informação, ao invés de no seu formato físico
 - As informações atuais tratadas pelos computadores (**som**, **imagens**, etc.) não se ajustam bem à metáfora de dados armazenados como seqüências de registros separados em campos



Modelos Abstratos de Dados

- É mais fácil pensar em dados deste tipo como **objetos que representam som, imagens, etc.** e que têm a sua própria maneira de serem manipulados
- O termo **modelo abstrato de dados** captura a noção de que o dado não precisa ser visto da forma como está armazenado - ou seja, permite uma **visão dos dados orientada à aplicação**, e não ao meio no qual eles estão armazenados



Registro Cabeçalho (*header record*)

- Em geral, é interessante manter **algumas informações sobre o arquivo** para uso futuro
 - Essas informações podem ser mantidas em um **cabeçalho no início do arquivo**
 - A existência de um registro cabeçalho torna um **arquivo um objeto auto-descrito**
 - O software pode acessar arquivos de forma mais flexível



Registro Cabeçalho (*header record*)

- Algumas informações típicas
 - Número de registros
 - Tamanho de cada registro
 - Nomes dos campos de cada registro
 - Tamanho dos campos
 - Datas de criação e atualização
- Pode-se colocar **informações elaboradas**



Registro Cabeçalho (*header record*)

- Desvantagem dessas abordagem?



Registro Cabeçalho (*header record*)

- Desvantagem dessas abordagem?
 - O software deve ser mais flexível e, portanto, sofisticado



Metadados

- São **dados que descrevem os dados primários** em um arquivo
- Exemplo: Formato **FITS** (*Flexible Image Transport System*)
 - Armazena imagens de astronomia
 - Um cabeçalho FITS é uma coleção de blocos de **2880 bytes** contendo registros de **80 bytes** ASCII, no qual cada registro contém um metadado
 - O FITS utiliza o formato ASCII para o cabeçalho e o formato binário para os dados primários
 - SIMPLE = T / Conforms to basic format
BITPIX = 16 / Bits per pixel
NAXIS = 2 / Number of axes
...
 - DATE = '22/09/1989 ' / Date of file written
TIME = '05:26:53' / Time of file written
END



Metadados

- Vantagens de incluir metadados junto com os dados
 - Torna viável o **acesso ao arquivo por terceiros** (conteúdo **auto-explicativo**)
 - Portabilidade
 - Define-se um padrão para todos os que geram/acessam certos tipos de arquivo
 - PDF, PS, HTML, TIFF
 - Permite conversão entre padrões



Metadados

- Bom uso para etiquetas e palavras-chave
 - *keyword=value*
- Se bem descrito, arquivo pode conter muitos dados de formatos e origens diferentes
 - Acesso orientado a objetos
 - “Extensibilidade”



Portabilidade e Padronização

- Formas de codificação de arquivos devem ser “bem vistas” por outras pessoas, softwares e computadores
- **Fatores que afetam portabilidade**
 - Diferenças entre sistemas operacionais
 - Diferenças entre arquiteturas de computadores
 - Etc.
- Muitas vezes são necessários **conversores de formatos**



Organização de arquivos para desempenho

- Organização de arquivos visando **desempenho**
 - Complexidade de espaço
 - Compressão e compactação de dados
 - Reuso de espaço
 - Complexidade de tempo
 - Ordenação e busca de dados



Compressão de dados

- A *compressão de dados* envolve a codificação da informação de modo que o arquivo ocupe menos espaço
 - Transmissão mais rápida
 - Processamento seqüencial mais rápido
 - Menos espaço para armazenamento
- Algumas técnicas são gerais, e outras específicas para certos tipos de dados, como voz, imagem ou texto
 - Técnicas reversíveis vs. irreversíveis
 - A variedade de técnicas é enorme



Técnicas

- Notação diferenciada
 - Redução de redundância
- Omissão de seqüências repetidas
 - Redução de redundância
- Códigos de tamanho variável
 - Código de Huffman

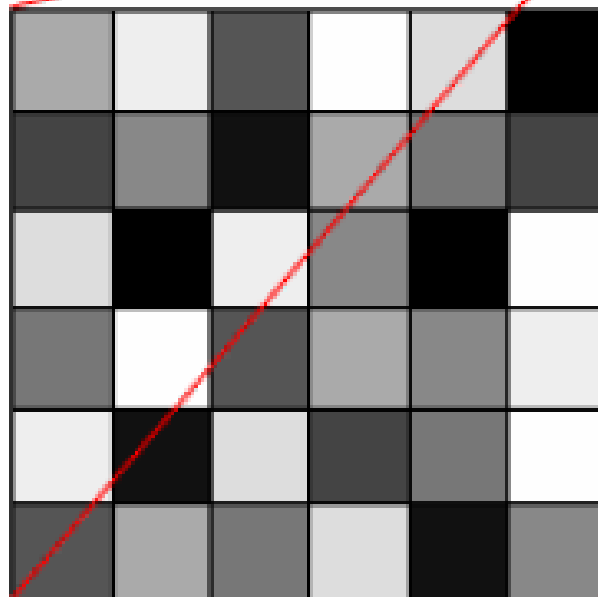
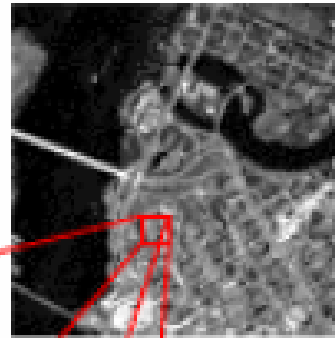


Notação diferenciada

- Exemplo

- Códigos de estado, armazenados na forma de texto: **2 bytes**
 - Por exemplo, como existem 50 estados nos EUA, pode-se armazenar os estados em 6 bits
 - É possível guardar a informação em **1 byte** e economizar 50% do espaço
- Desvantagens?
 - Legibilidade, codificação/decodificação

Omissão de seqüências repetidas



170	238	85	255	221	0
68	136	17	170	119	68
221	0	238	136	0	255
119	255	85	170	136	238
238	17	221	68	119	255
85	170	119	221	17	136



Omissão de seqüências repetidas

- Para a seqüência
 - 22 23 24 24 24 24 24 24 24 25 26 26 26
26 26 26 25 24
- Usando 0xff como código indicador de repetição (código de *run-length*)
 - 22 23 ff 24 07 25 ff 26 06 25 24



Omissão de seqüências repetidas

- Bom para dados esparsos ou com muita repetição
 - Imagens do céu, por exemplo
- Garante **redução de espaço sempre?**



Códigos de tamanho variável

- **Código de Huffman**
 - Exemplo de código de tamanho variável
 - Idéia: valores mais freqüentes são associados a códigos menores
- No código ASCII: 1 byte por caracter (fixo)
 - 'A' = 65 (8 bits)
 - Cadeia 'ABC' ocupa 3 bytes



Código de Huffman

- Se **letras que ocorrem com frequência têm códigos menores**, as cadeias tendem a ficar mais curtas
- Requer **informação sobre a frequência de ocorrência** de cada símbolo a ser codificado
 - Muito usado para codificar texto



Código de Huffman

- Exemplo

Alfabeto: {A, B, C, D}

Freqüência: $A > B > C = D$

Possível codificação:

A=0, B=110, C=10, D=111

Cadeia: ABACCD A

Código: 0110010101110

Codificação deve ser não ambígua

Ex. A=0, B=01, C=1

ACBA → 01010

É possível decodificar?



Código de Huffman

- Cada “prefixo” de um código identifica as possibilidades de codificação
 - Se primeiro bit é 0, então A; se 1, então B, C ou D, dependendo do próximo bit
 - Se segundo bit é 0, então C; se 1, então B ou D, dependendo do próximo bit
 - Se terceiro bit é 0, então B; se 1, então D
 - Quando o símbolo é determinado, começa-se novamente a partir do próximo bit

Símbolo	Código
A	0
B	110
C	10
D	111



Código de Huffman

- Como representar todas as mensagens possíveis de serem expressas em língua portuguesa
 - Como determinar os códigos de cada letra/sílaba/palavra?
 - Qual a unidade do “alfabeto”?



Código de Huffman

- Código de Huffman
 - Calcula-se a frequência de cada símbolo do alfabeto
 1. Encontre os dois símbolos que tem menor frequência (B/1 e D/1)
 2. O último símbolo de seus códigos deve diferenciá-los (B=0 e D=1)
 3. Combinam-se esses símbolos e somam-se suas frequências (BD/2, indicando ocorrência de B ou D)
 4. Repete-se o processo até restar um símbolo
 - C/2 e BD/2 → 0 para C e 1 para BD → CBD/4
 - A/3 e CBD/4 → 0 para A e 1 para CBD → ACBD/7

ABACCD A → Freq.: A/3, B/1, C/2 e D1

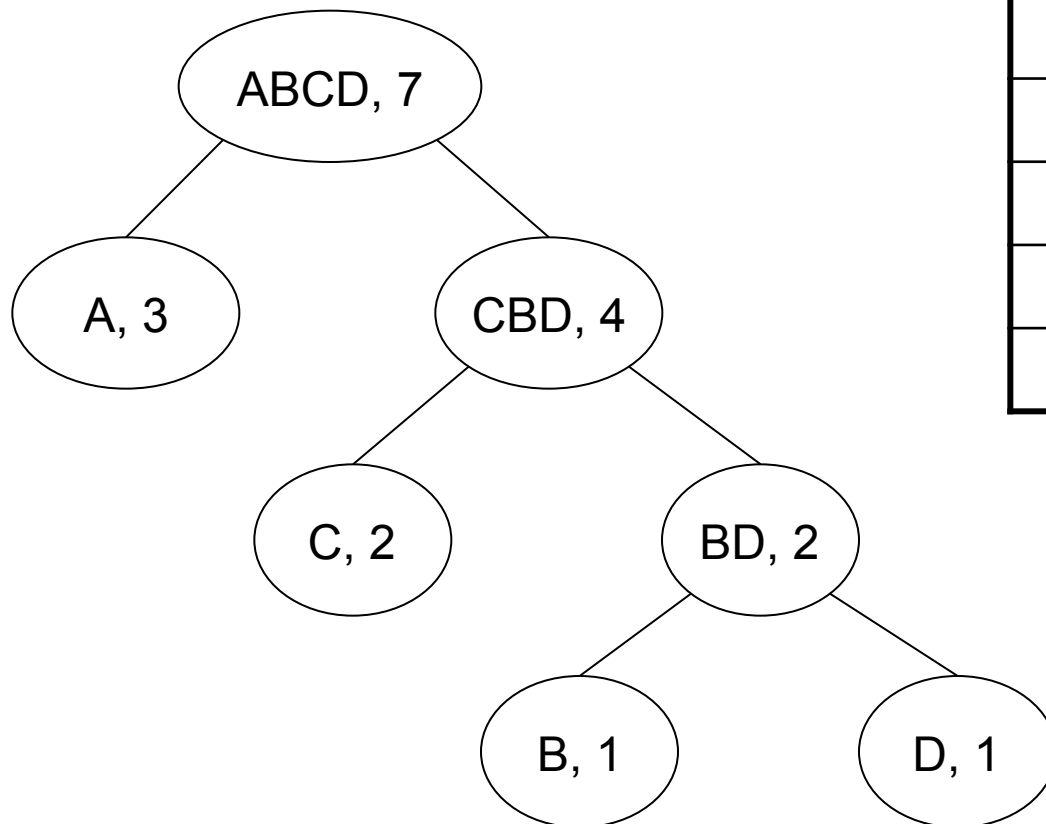


Código de Huffman

- Combinação de dois símbolos em 1
 - Árvore de Huffman
 - Construída passo a passo após cada combinação de símbolos
 - Árvore binária
 - Cada nó da árvore representa um símbolo (e sua frequência)
 - Cada nó folha representa um símbolo do alfabeto original
 - Ao se percorrer a árvore de uma folha X qualquer para a raiz, tem-se o código do símbolo X
 - Escalada por ramo esquerdo: 0 no início do código
 - Escalada por ramo direito: 1 no início do código

Código de Huffman

■ Exemplo



Símbolo	Código
A	0
B	110
C	10
D	111

Símbolos mais frequentes mais à esquerda e mais próximos da raiz



Código de Huffman

- Exercício: construir a árvore para os dados abaixo

Símbolo	Freqüência
A	15
B	6
C	7
D	12
E	25
F	4
G	6
H	1
I	15



Técnicas de compressão irreversíveis

- Até agora, todas as técnicas eram reversíveis
- Algumas são **irreversíveis**
 - Por exemplo, salvar uma imagem de 400 por 400 pixels como 100 por 100 pixels
- Onde se usa isso?



Manipulação de dados em arquivos

- Operações básicas que podemos fazer com os dados nos arquivos?



Manipulação de dados em arquivos

- Operações básicas que podemos fazer com os dados nos arquivos?
 - **Adição** de registros: relativamente simples
 - **Eliminação** de registros
 - **Atualização** de registros: eliminação e adição de um registro
- O que pode acontecer com o arquivo?



Compactação

- **Compactação**

- Busca por regiões do arquivo que não contêm dados
- Posterior recuperação desses espaços perdidos
- Os espaços vazios são provocados, por exemplo, pela eliminação de registros



Eliminação de registros

- Devem existir mecanismos que
 1. Permitam reconhecer áreas que foram apagadas
 2. Permitam recuperar e utilizar os espaços vazios
- Possibilidades?
 - Discussão em grupos de 2 alunos



Eliminação de registros

- Geralmente, áreas apagadas são marcadas com um **marcador especial**
- Quando o procedimento de compactação é ativado, o espaço de todos os registros marcados é recuperado de uma só vez
 - Maneira mais simples de compactar: executar um **programa de cópia de arquivos que "pule" os registros apagados** (se existe espaço suficiente para outro arquivo)

Processo de compactação: exemplo

FIGURE 5.3 Storage requirements of sample file using 64-byte fixed-length records. (a) Before deleting the second record. (b) After deleting the second record. (c) After compaction—the second record is gone.

```
Ames|John|123 Maple|Stillwater|OK|74075|.....  
Morrison|Sebastian|9035 South Hillcrest|Forest Village|OK|74820|  
Brown|Martha|625 Kimbark|Des Moines|IA|50311|.....
```

(a)

```
Ames|John|123 Maple|Stillwater|OK|74075|.....  
^|Morrison|Sebastian|9035 South Hillcrest|Forest Village|OK|74820|  
Brown|Martha|625 Kimbark|Des Moines|IA|50311|.....
```

(b)

```
Ames|John|123 Maple|Stillwater|OK|74075|.....  
Brown|Martha|625 Kimbark|Des Moines|IA|50311|.....
```

(c)



Recuperação dinâmica

- Muitas vezes, o **procedimento de compactação é esporádico**
 - Um registro apagado não fica disponível para uso imediatamente
- Em aplicações interativas que acessam **arquivos altamente voláteis**, pode ser necessário um **processo dinâmico de recuperação de espaços vazios**
 - Marcar registros apagados
 - Identificar e localizar os espaços antes ocupados por esses registros, sem buscas exaustivas



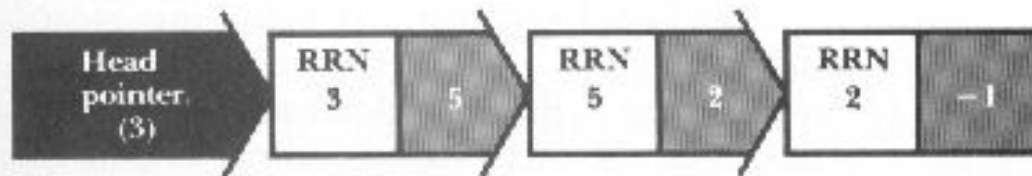
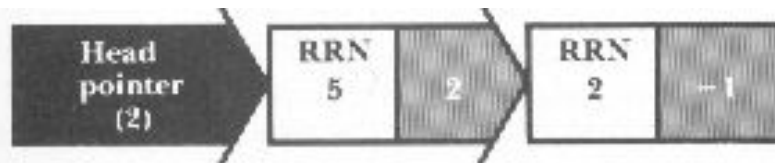
Como localizar os espaços vazios?

- Registros de tamanho fixo
 - **Lista encadeada** de registros eliminados no próprio arquivo
 - Lista constitui-se de espaços vagos, endereçados por meio de seus RRNs
 - Cabeça da lista está no *header* do arquivo
 - Um registro eliminado contém o RRN do próximo registro eliminado
 - Inserção e remoção ocorrem sempre no início da lista (pilha)

Registros de tamanho fixo



FIGURE 5.4 A linked list.



Pilha antes e depois da inserção do nó correspondente ao registro de RRN 3

Exemplo

List head (first available record) \rightarrow 5

0	1	2	3	4	5	6
Edwards . . .	Bates . . .	Wills . . .	*-1	Masters . . .	*3	Chavez . . .

(a)

List head (first available record) \rightarrow 1

0	1	2	3	4	5	6
Edwards . . .	*5	Wills . . .	*-1	Masters . . .	*3	Chavez . . .

(b)

List head (first available record) \rightarrow -1

0	1	2	3	4	5	6
Edwards . . .	<i>1st new rec</i>	Wills . . .	<i>3rd new rec</i>	Masters . . .	<i>2nd new rec</i>	Chavez . . .

(c)

FIGURE 5.5 Sample file showing linked lists of deleted records. (a) After deletion of records 3 and 5, in that order. (b) After deletion of records 3, 5, and 1, in that order. (c) After insertion of three new records.



Registros de tamanho fixo

- Por que se usa uma **pilha** e não uma fila ou outra estrutura de dados?
- A pilha poderia ser **mantida na memória principal**?
 - Vantagens?
 - Desvantagens?



Registros de tamanho variável

- Supondo arquivos com contagem de bytes antes de cada registro
- Marcação dos registros eliminados via um marcador especial
- Lista de registros eliminados... mas não dá para usar RRNs
 - Tem que se usar a posição de início no arquivo

Eliminação de registros

HEAD.FIRST_AVAIL: -1

```
40 Ames|John|123 Maple|Stillwater|OK|74075|64 Morrison|Sebastian  
19035 South Hillcrest|Forest Village|OK|74820|45 Brown|Martha|62  
5 Kimbark|Des Moines|IA|50311|
```

(a)

HEAD.FIRST_AVAIL: 43

```
40 Ames|John|123 Maple|Stillwater|OK|74075|64 *| -1.....  
.....45 Brown|Martha|62  
5 Kimbark|Des Moines|IA 50311|
```

(b)

FIGURE 5.6 A sample file for illustrating variable-length record deletion. (a) Original sample file stored in variable-length format with byte count (header record not included). (b) Sample file after deletion of the second record (periods show discarded characters).



Registros de tamanho variável

- Para recuperar registros, **não é possível usar uma pilha**
- É necessário uma **busca seqüencial na lista** para encontrar uma posição com espaço suficiente

Adição de um registro de 55 bytes: exemplo

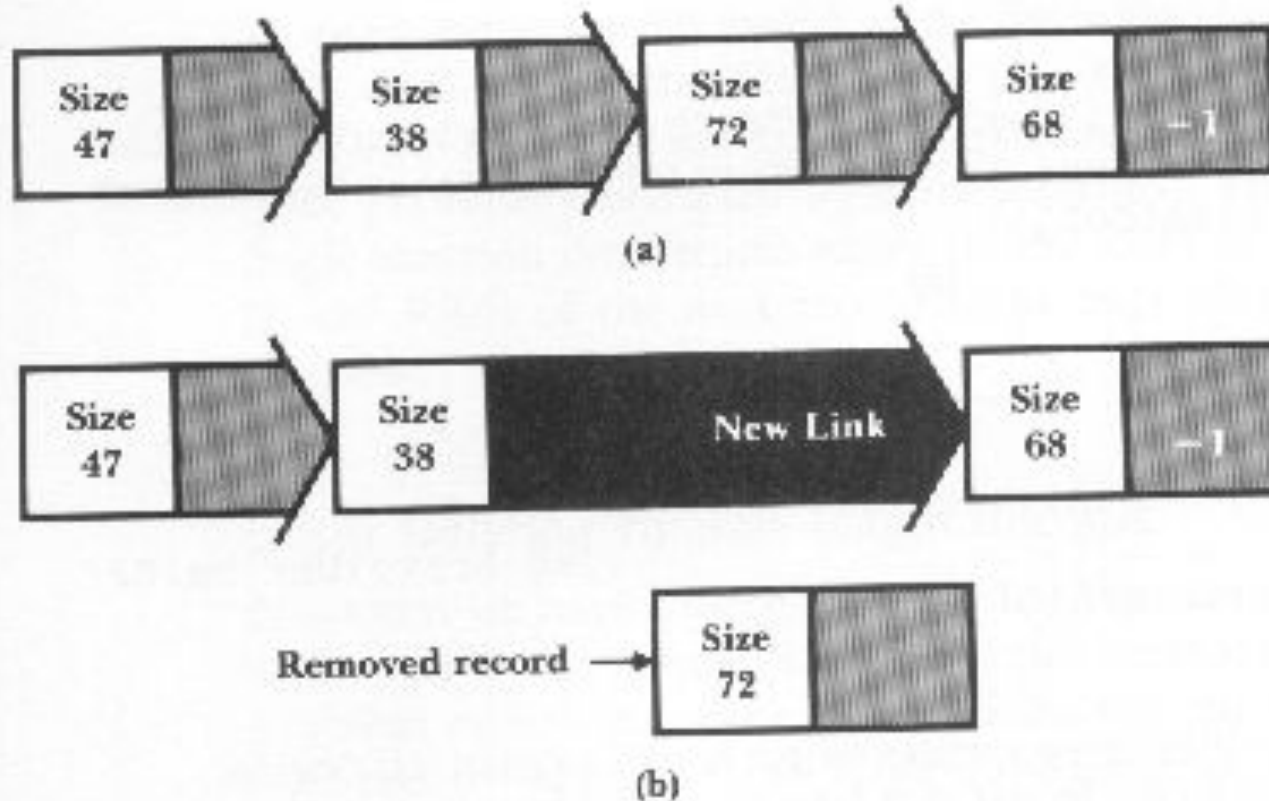


FIGURE 5.7 Removal of a record from an avial list with variable-length records. (a) Before removal. (b) After removal.



Registros de tamanho variável

- Estratégias de alocação de espaço
 - *First-fit*: pega-se o primeiro que servir, como feito anteriormente
 - Desvantagem?



Registros de tamanho variável

- Estratégias de alocação de espaço
 - *First-fit*: pega-se o primeiro que servir, como feito anteriormente
 - Desvantagem?
 - Fragmentação interna

Fragmentação interna

FIGURE 5.10 Illustration of fragmentation with variable-length records. (a) After deletion of the second record (unused characters in the deleted record are replaced by periods). (b) After the subsequent addition of the record for Al Ham.

```
HEAD.FIRST_AVAIL: 43
```

40 Ames | John | 123 Maple | Stillwater | OK | 74075 | 64 * | -1.....
.....45 Brown | Martha | 62
5 Kimbark | Des Moines | IA | 50311 |

(a)

```
HEAD.FIRST_AVAIL: -1
```

40 Ames | John | 123 Maple | Stillwater | OK | 74075 | 64 Ham | Al | 28 Elm | Ada |
OK | 7033245 Brown | Martha | 62
5 Kimbark | Des Moines | IA | 50311 |

(b)



Registros de tamanho variável

- Estratégias de alocação de espaço
 - *First-fit*: pega-se o primeiro que servir, como feito anteriormente
 - Soluções?



Registros de tamanho variável

- Estratégias de alocação de espaço
 - *First-fit*: pega-se o primeiro que servir, como feito anteriormente
 - Soluções?
 1. Colocar o espaço que sobrou na lista de espaços disponíveis
 2. Escolher o espaço mais justo possível

Combatendo a fragmentação

- Solução: colocar o espaço que sobrou na lista de espaços disponíveis
 - Parece uma **boa estratégia**, independentemente da forma que se escolhe o espaço

```
HEAD.FIRST_AVAIL: 43
└──────────────────┬──────────────────┘
                    |
                    v
40 Ames;John;123 Maple;Stillwater;OK;74075;35 * -1.....
.....26 Ham;Al;28 Elm;Ada;OK;70332;45 Brown;Martha;6
25 Kimbark;Des Moines;IA;50311;
```

FIGURE 5.11 Combatting internal fragmentation by putting the unused part of the deleted slot back on the avail list.



Registros de tamanho variável

- Solução: escolher o espaço mais justo possível
 - *Best-fit*: pega-se o mais justo
 - Desvantagem?



Registros de tamanho variável

- Solução: escolher o espaço mais justo possível
 - *Best-fit*: pega-se o mais justo
 - Desvantagem?
 - O espaço que sobra é tão pequeno que não dá para reutilizar
 - Fragmentação externa



Registros de tamanho variável

- Solução: escolher o espaço mais justo possível
 - *Best-fit*: pega-se o mais justo
 - É conveniente organizar a lista de forma ascendente?



Registros de tamanho variável

- Solução: escolher o maior espaço possível
 - *Worst-fit*: pega-se o maior
 - Diminui a fragmentação externa
 - Lista organizada de forma descendente?
 - O processamento pode ser mais simples



Registros de tamanho variável

- Outra forma de combater fragmentação externa
 - Junção de espaços vazios adjacentes
 - Qual a dificuldade desta abordagem?



Observações

- Estratégias de alocação só fazem sentido com registros de tamanho variável
- Se espaço está sendo desperdiçado como resultado de **fragmentação interna**, então a escolha é entre *first-fit* e *best-fit*
 - A estratégia *worst-fit* piora esse problema
- Se o espaço está sendo desperdiçado devido à **fragmentação externa**, deve-se considerar a *worst-fit*



Ordenação e busca em arquivos

- É relativamente fácil **buscar elementos em conjuntos ordenados**
- A ordenação pode ajudar a **diminuir o número de acessos a disco**



Ordenação e busca em arquivos

- Já vimos busca seqüencial
 - $O(n)$ → Muito ruim para acesso a disco!
- E a busca binária?
 - Modo de funcionamento?
 - Complexidade de tempo?



Busca binária

- **Dificuldade:** ordenar os dados em arquivo para se fazer a busca binária
- Alternativa: ordenar os dados em **RAM**
 - Ainda é necessário: **ler todo o arquivo e ter memória interna disponível**



Busca binária

- Limitações

- Registros de tamanho fixo
- Manter um arquivo ordenado é muito caro
- Requer **mais do que 1 ou 2 acessos**
 - Por exemplo, em um arquivo com 1.000 registros, são necessários aproximadamente 10 acessos em média → ainda é **ruim!**



Busca binária

- Exercício

- Implementar em C uma sub-rotina de busca binária em um arquivo ordenado por número USP

```
struct aluno {  
    char nome[50];  
    int nro_USP;  
}
```



Keysorting

- Ordenação por chaves
- Idéia básica
 - Não é necessário que se armazenem todos os dados na memória principal para se conseguir a ordenação
 - Basta que se armazenem as chaves



Keysorting

- Método

1. Cria-se na memória interna um vetor, em que cada posição tem uma chave do arquivo e um ponteiro para o respectivo registro no arquivo (RRN ou byte inicial)
2. Ordena-se o vetor na memória interna
3. Cria-se um novo arquivo com os registros na ordem em que aparecem no vetor ordenado na memória principal



Keysorting

- Limitações

- Inicialmente, é necessário ler as chaves de todos os registros no arquivo
- Depois, para se criar o novo arquivo, devem-se fazer vários *seeks* no arquivo para cada posição indicada no vetor ordenado
 - Mais uma leitura completa do arquivo
 - Não é uma leitura seqüencial
 - Alterna-se leitura no arquivo antigo e escrita no arquivo novo



Keysorting

- Questões

- Por que criar um novo arquivo?
- Não vale a pena usar o vetor ordenado como um índice?



Questão delicada

- Independendentemente do método de ordenação
 - O que fazer com os **espaços vazios** originados de registros eliminados?
 - E a **estrutura de dados** que os mantêm para que sejam reutilizados?
 - *Pinned records*