

Índices

- Manter arquivos ordenados para permitir pesquisa binária → muito caro.
- Vantagens de se usar um índice simples para um arquivo de dados
 - adicionar registros muito mais rapidamente do que em um arquivo ordenado, desde que o índice seja suficientemente pequeno para ser mantido em memória principal.
- Vamos assumir que estas condições são válidas, e que o índice é carregado inteiro do disco (onde é mantido) para um vetor de registros denominado INDEX[].

4

Índices - exemplo

 índices simples → consiste simplesmente de vetores com chaves e campos de referência.

Exemplo: Suponha que temos uma enorme coleção de CD's, e desejamos acessá-los através de um arquivo. Para cada registro, manter as seguintes informações: Número:→ identificação

Título

Artista

Rótulo→nome da gravadora

Ano

54	5	l
143	4	l
210	3	
323	1	l
329	2	
400	0	

400 | Minas | Milton Nascimento | Emi-Odeon | 1975

1 323 | Falso brilhante | Elis Regina | Philips | 1976

2 329 | A Arte de | Chico Buarque | PolyGram | 1982 3 210 | Chico Canta | Chico Buarque | Philips | 1985

4 143 | A Arte de | Milton nascimento | Universal | 1988

5 | S4 | Geraes | Milton Nascimento | Emi-Odeon | 1976

INDEX Î

2



Manutenção de índices

- Criar dois arquivos: de índice e de dados(em disco)
 Os arquivos de dados e de índices são criados inicialmente como arquivos vazios. Estes arquivos serão posteriormente carregados com seus dados.
- Carregar o arquivo de índice para memória no vetor INDEX[]
 → leitura seqüencial do arquivo de índices
 - → carregar em um vetor
- 3. Buscar um registro
 - → fazer busca (binária) no vetor de índices
 - → obter referência para arquivo de dados
 - → ler registro no arquivo de dados
- 4. Operações

adição de registro

- » a inserção deve ser feita no arquivo de dados e no índice.
- > o índice deve ser mantido ordenado →pode ser necessário reorganizá-lo.

3



Manutenção de índices

4. Operações (continuação)

eliminação de registro

- remove do arquivo de dados, usando algum dos mecanismos de remoção já vistos; e também do índice.
- A remoção do registro do índice pode exigir a sua reorganização, ou podese simplesmente marcar os registros como removidos, sem removê-los de fato.

atualização de registro: a atualização cai em duas categorias:

- Mudar o valor da chave: pode exigir uma reorganização do arquivo índice e do arquivo de dados. Conceitualmente, pode ser tratada como uma remoção seguida de inserção de novo registro.
- Mudar o conteúdo: se a chave não foi alterada > alterar o arquivo de dados, sem mexer no índice.

.



Manutenção de índices (cont)

3. Operações (continuação)

atualizar índice no disco

- Quando a cópia em memória foi alterada (inserções e/ou remoções).
- O que acontece se esta atualização não é feita, ou é feita apenas parcialmente em disco? (Ex: o programa não terminou adequadamente).

Deve haver um mecanismo que permita saber se o índice está atualizado. Exemplo: Utilizando um flag "out-of-date"

- O flag é setado no arquivo índice mantido em disco assim que a sua cópia na memória é alterada.
- Esse flag pode ser mantido no registro header do arquivo índice, e deve setado assim que este é carregado na memória, e atualizado (resetado) sempre que o índice é resecrito no disco.
- Todo programa, antes de usar o índice, verifica o flag: se está setado, indica que o arquivo está desatualizado.
- se o programa detecta que o índice está desatualizado, deve existir uma função a ser ativada que reconstrua o índice a partir do arquivo de dados.

4

Índices muito grandes

Se o índice não cabe na memória, o seu acesso e manutenção precisa ser feito em memória secundária

- Não é mais aconselhável usar índices simples:
 - a busca binária pode exigir vários acessos (seek) a disco;
 - a necessidade de deslocar registros nas inserções e remoções de registros tornaria a manutenção do índice excessivamente cara.
- Utilizar:
- uma organização em hashing para o índice (caso a velocidade de acesso seja a prioridade máxima); ou
- árvores-B, caso se deseje combinar acesso por chaves e acesso seqüencial eficientemente.

6



Índice primário – Exemplo de custo de acesso

Tabela ordenada com r = 30.000 registros Disco com tamanho de bloco B = 1024 bytes Registros de tamanho fixo R = 100 bytes Fator de bloco bfr = $\lfloor B/R \rfloor = \lfloor 1024/100 \rfloor = 10$ registros por bloco Número de blocos do arquivo $\mathbf{b} = \lceil \mathbf{r/bfr} \rceil = \lceil 30.000/10 \rceil = 3.000 blocos$

Custo para pesquisa binária diretamente na tabela $\lceil \log_2 \mathbf{b} \rceil = \lceil \log 2 \ 3.000 \rceil = \frac{12 \text{ ac}}{2 \text{ c}}$

Supondo a construção de um índice principal para o arquivo acima

Supondo a construção de um indice principal para o arquivo acima Tamanho campo chave ordenação V = 9 bytes Tamanho de um ponteiro de bloco P = 6 bytes Tamanho de cada entrada do índice $R_i = (9+6) = 15$ bytes Tamanho de cada entrada do índice $R_i = (9+6) = 15$ bytes Fator de bloco do índice bř $_i = 15$ bytes Fator de bloco do índice bř $_i = 15$ bytes Piator de bloco do índice bř $_i = 15$ cou número de blocos do arquivo de dados $r_i = 3.000$ O número de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de blocos para o arquivo de índice é b $_i = 15$ cou húmero de índice é b $_i = 15$ cou húmero de índice é b $_i = 15$ cou húmero de índice é b $_i = 15$ cou húmero de índice é b $_i = 15$ cou húmero de índice é b $_i = 15$ cou húmero de índice é b $_i = 15$ cou húmero de índice é b $_i = 15$ cou húmero de índice é b $_i = 15$ cou húmero de índice é b $_i = 15$ cou húmero de índice é b $_i = 15$ cou húmero de índi

Custo para pesquisa binária no arquivo índice $\lceil \log_2 \mathbf{b_i} \rceil = \lceil \log_2 45 \rceil = 6$ acessos acesso a bloco adicional para a tabela de dados

7



Índices para acesso por múltiplas chaves

- Buscas via chave primaria são raras
 - Encontre o registro com ra 0218807!
- Rotineiramente se faz acesso a registros por chave secundaria
 - Encontre os alunos que nasceram entre 1987 e 1999.
- Um índice secundário é um arquivo ordenado contendo 2 campos:
 - a chave de busca (campo de indexação) e
 - a chave primária.
- A chave de busca, neste caso, não ordena o arquivo de dados.
- O <u>índice secundário referencia o índice primário</u> e não o registro físico no arquivo de dados.

8



Índices para acesso por múltiplas chaves

- Pode-se criar tantos índices quantas sejam as chaves de acesso.É possível implementar vários índices secundários para um arquivo.
- Cada índice dá uma visão diferente de um arquivo de dados.
 - → assim como um catálogo de biblioteca permite pesquisar livros por autor, título ou assunto.
- Utilizando esse tipo de índice pode-se realizar:
 - Buscas que sejam a união das respostas de índices secundários.
 - > Buscas que sejam a interseção das respostas de índices secundários

9



Índices secundários

Exemplo: Considerar o Index do exemplo anterior e criar índice para Artista

			•	
54	5	0	400 Minas Milton Nascimento Emi-	Odeon 1975
143	4	1	323 Falso brilhante Elis Regina Phili	ps 1976
210	3	2	329 A Arte de Chico Buarque Polyt	Gram 1982
323	1	3	210 Chico Canta Chico Buarque Ph	nilips 1985
329	2	4	143 A Arte de Milton nascimento L	Jniversal 1988
400	0	5	54 Geraes Milton Nascimento Emi-	Odeon 1976
INDE	Χ_			

C	hav	e p	rimária	í
Index para Artista		Ļ		ın
CHICO BUARQUE	2	10		≽(for
CHICO BUARQUE	3	29		Ne
ELIS REGINA	3.	23		
MILTON NASCIMEN		54		
MILTON NASCIMEN	1	43		N.F

MILTON NASCIMEN 400

dice secundário

- Campos chave na forma canônica → no mato que será usado na busca
 - > letras maiúsculas
 - ➤Tamanho max=15 catracteres
- Para exibir o nome no formato normal deve-se buscar o artista no arquivo de



Índices secundários Alterações nas operações básicas

Adição de registro de dados

- ightarrow inserir as entradas correspondentes nos índices primário e secundário.
 - → Nenhum problema se os índices estão na RAM.
 - → pode exigir que registros sejam deslocados, para criar uma posição de inserção, ou que um vetor de ponteiros para as estruturas seja re-arranjado.
- ightarrow o campo **chave** no índice secundário ightarrow armazenado na forma canônica
 - → o valor pode ser truncado porque o tamanho da chave deve ser mantido fixo
 - → a forma canônica deve levar em consideração esta restrição de tamanho para que a busca no índice funcione corretamente.
- → Obervações
 - → Diferença entre os índices primário e secundário → no secundário pode ocorrer duplicação de chaves
 - → Chaves duplicadas devem ser mantidas agrupadas e ordenadas mantendo a mesma ordem em que aparecem no INDEX (chave primária).



Índices secundários

Alterações nas operações básicas

Eliminação de registro de dados

- Remoção do registro do arquivo de dados e de todos os índices
- Rearranjo dos registros remanescentes nos índices primário e
- Alternativa para reduzir o rearranjo:
 - Atualizar apenas o índice primário não eliminar a entrada correspondente ao registro do índice secundário \Rightarrow a busca retorna um valor inválido.
 - Como o índice secundário referencia o índice primário (e não o registro físico no arquivo de dados), se for feita uma busca por um registro já removido essa condição será acusada na busca pela chave primária feita no índice primário, e a não remoção da entrada do índice secundário.

12



Índices secundários Alterações nas operações básicas

- Vantagem na redução do rearranjo:
 - economia de tempo substancial quando vários índices secundários estão associados ao índice primário.
 - Se os índices estiverem sendo mantidos em disco, reduz o número de seek.
- Custo na redução do rearranjo no índice secundário→ O espaço ocupado por registros inválidos. Para reduzir o custo:
 - > Fazer "coletas de lixo" periódicas nos índices secundários.
 - > Se o arquivo de dados é muito volátil, utilizar árvore-B para a estrutura de índice secundário → permite remoção sem que seja necessário re-arranjar muitos registros.

13



Índices secundários Alterações nas operações básicas

Atualização de registro de dados

- Índices secundários não fazem referências diretas ao arquivo de dados
 →a atualização de registros afeta os índices secundários apenas se as chaves secundárias ou primárias forem alteradas.
- Existem 3 situações possíveis:
 - › a atualização alterou uma chave secundária→ reordenar o índice secundário para esta chave.
 - → a atualização alterou a chave primária→ reordenar o índice primário e corrigir os índices secundários (os campos de referência) → a atualização dos índices secundários não requer reorganização
 - ➤ alteração em outros campos → não afeta nenhum dos índices.

14



Busca usando múltiplas chaves

Aplicações das chaves secundárias

- → uso de uma ou mais chaves para localizar conjuntos de registros do arquivo de dados, fazendo uma busca em vários índices e uma combinação (AND e/ou OR) dos resultados.
- → Com o uso de índices secundários, este tipo de busca é simples e rápida, pois as operações lógicas são realizadas nos arquivos de índices, reduzindo assim os seeks.

15



Busca usando múltiplas chaves

Exemplo: arquivo de CDs, e dois arquivos secundários para ele, com chaves Artista e Rótulo.

Algumas consultas possíveis:

- Encontre CD com número= 54 (acesso por chave primária);
- Encontre CD's com Artista= "Chico Buarque" (chave secundária: Artista);
- > Encontre todos os CD's com Rótulo="Philips" (chave secundária: Rótulo).
- > Encontre Artista="Milton Nascimento"e Rótulo="Emi-Odeon"
 - Busca nos índices secundários: por Artista e por Rótulo
 - Fazer um AND dos resultados (referência à chaves primárias) retornadas.
 - Buscar no índice primário os endereços dos registros resultantes no arquivo de dados.
 - · Fazer seeks no arquivo de dados para buscar os registros.

16



Busca usando múltiplas chaves

Aplicações das chaves secundárias

- → Exemplo: arquivo de CDs, e dois arquivos secundários para ele, com chaves Artista
 - e Rótulo 0 400 | Minas | Milton Nascimento | Emi-Odeon | 1975
 - 1 323 | Falso brilhante | Elis Regina | Philips | 1976
 - 2 329 | A Arte de | Chico Buarque | PolyGram | 1982
 - 3 210 | Chico Canta | Chico Buarque | Philips | 1985 | 4 143 | A Arte de | Milton nascimento | Universal | 1988
 - 5 | 54 | Geraes | Milton Nascimento | Emi-Odeon | 1976

54	5
143	4
210	3
323	1
329	2
	_
400	0

CHICO BUARQUE	210
CHICO BUARQUE	329
ELIS REGINA	323
MILTON NASCIMEN	54
MILTON NASCIMEN	143
MILTON NASCIMEN	400

EMI-ODEON	54
EMI-ODEON	400
PHILIPS	210
PHILIPS	323
POLYGRAM	329
LINTVERSAL	143

17

Índice primário

Índices secundários



Busca usando múltiplas chaves

- 0 400 | Minas | Milton Nascimento | Emi-Odeon | 1975
- 1 323 | Falso brilhante | Elis Regina | Philips | 1976
- 2 329 | A Arte de | Chico Buarque | PolyGram | 1982
- | 3 | 210 | Chico Canta | Chico Buarque | Philips | 1985 | 4 | 143 | A Arte de | Milton nascimento | Universal | 1988 |
- 5 54 | Geraes | Milton Nascimento | Emi-Odeon|1976
- 210 3 323 1 329 2 400 0

143

Resultado da consulta:

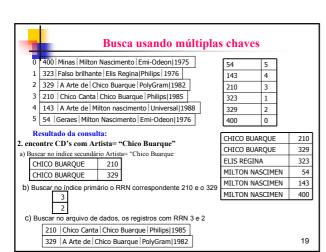
1. encontre CD com número= 54 (acesso pela chave primária);

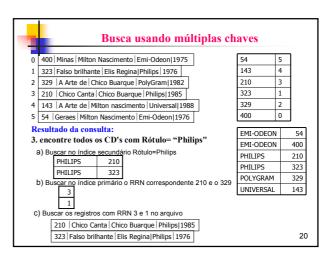
a) Buscar no índice primário o RRN correspondente ao 54

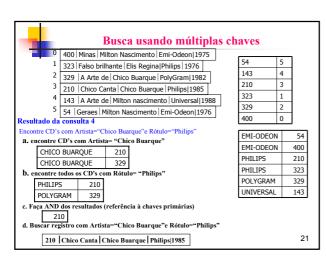
5

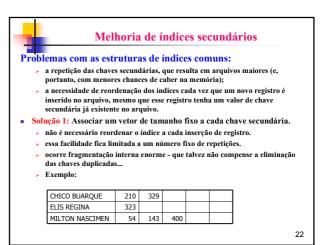
b) Buscar no arquivo de dados, o registro com RRN = 5

54 | Geraes | Milton Nascimento | Emi-Odeon | 1976











Solução 2: Ligar à lista de referências - Listas invertidas

- cada chave secundária é relacionada a uma lista encadeada das chaves primárias referenciadas
- redefinir o índice secundário de forma que ele seja composto por registros com 2 campos: um campo chave, e um campo com o RRN do primeiro registro na lista invertida.
- As referências às chaves primárias associadas a cada chave secundária são mantidas em um arquivo seqüencial separado, organizado segundo a entrada dos registros.
- O índice de chaves secundárias funciona da seguinte forma:
 - cada chave secundária leva a uma ou mais chaves primárias (daí o termo "invertida" > a chave secundária leva à lista de chaves primárias, a qual por sua vez leva aos registros...)

Melhoria	a de	índi	ices secundários: I	is	tas i	inver	tid
Solução 2: Ligar à l	ista de	refe	rências - Listas invertidas				
Exemplo: Consid	erand	o o a	rquivo de dados de Cds.		54		5
400 Minas Milton	Nascin	ento	Emi-Odeon 1975		143		4
323 Falso brilhant	te Elis I	Regina	Philips 1976		210		3
329 A Arte de C	hico Bu	arque	PolyGram 1982		323		1
210 Chico Canta	210 Chico Canta Chico Buarque Philips 1985			329		2	
143 A Arte de M	lilton na	scime	nto Universal 1988		400		0
54 Geraes Milton	n Nascir	nento	Emi-Odeon 1976		Índi	ce prin	nário
CHICO BUARQUE	210						_
CHICO BUARQUE	329				0		-1
FLIS REGINA	329		CHICO BUARQUE 3		1	525	-1
	54	≅	ELIS REGINA 1	+	2		-1
MILTON NASCIMEN		=	MILTON NASCIMEN 5		3	210	2
MILTON NASCIMEN	143				4	143	0
MILTON NASCIMEN	400				5	54	4
Índice secundário)		Índice secundário com	lis	ta inv	rertida	



Melhoria de índices secundários: Listas invertidas

- Vantagens:
 - o índice secundário só é alterado quando um registro com uma chave não existente é inserido, ou quando uma chave existente é alterada (nome trocado);
 - operações de eliminação, inserção ou alteração de registros já existentes implicam apenas na mudança do arquivo da lista invertida.
 - a ordenação do arquivo de índice secundário é mais rápida (menos registros)
 - o arquivo com a lista invertida nunca precisa ser ordenado, pois é seqüencial
- Problema:
 - registros associados não estão adjacentes podem ser necessários vários seeks para recuperar a lista. Esse problema só existe se não for possível manter a lista na memória.

25



Índices seletivos

- Uma das vantagens de índices secundários é que eles podem ser utilizados para " dividir" um arquivo em partes, de modo a fornecer visões distintas de um mesmo arquivo.
 - Por exemplo: CD's lançados depois de 1980.
 - Essa facilidade é útil quando o conteúdo de um arquivo pode ser dividido naturalmente e logicamente em categorias.

26



Associação do índice ao endereço físico do registro

- Em índices primários → a associação ocorre no momento em que o arquivo é criado.
 - > fornece acesso direto e, portanto, mais rápido, a um registro, dada a sua chave.
- Em índices secundários → associadas a um endereço apenas no momento em que são de fato usadas
 - Isso é possível visto que os índices não se referem diretamente ao endereço físico dos registros, mas ao índice primário.

27



Associação do índice ao endereço físico do registro

- Vantagens da associação apenas no último momento (latebinding)
 - mínima quantidade de reorganização quando os registros são adicionados ou excluídos.
 - Alterações importantes são feitas em um lugar em vez de em muitos lugares.
- Desvantagens da associação apenas no último momento
 - Isso implica em um acesso mais lento, principalmente se os índices estiverem em disco.
 - → pesquisa binária no índice secundário +
 - → pesquisa binária no índice primário

28



Exercícios

1- Escreva um algoritmo para uma função de busca de um registro em arquivos de índice simples.

Solução:

Se for de chaves primárias usar pesquisa binária.

Senão

- fazer busca binária no índice secundário
- obter todas as chaves acima ou abaixo da encontrada que sejam iguais e
- selecionar a chave primária do registro procurado.

4

Exercícios

2- Por que, para a eliminação de um registro do arquivo de dados, é possível eliminar o registro apenas do índice primário, e não do secundário?

Solução:

Porque o Índice secundário não aponta para um registro físico e sim para o Índice primário, assim quando a chave primária não existir (embora a chave secundária exista), saberemos que o registro não existe.

30



Exercícios

3- Explique a importância do flag "out-of-date" no header de um arquivo de índices utilizado num ambiente de multiprogramação.

Solução:

Esse flag é importante para garantir a consistência do arquivo de dados com o arquivo de índices, com vários programas que os acessam, pois indica que o arquivo de índices está atualizado de acordo com o arquivo de dados. Por exemplo, se houver uma queda do sistema, o flag indicará inconsistência caso o arquivo de índices não tenha sido atualizado (antes da queda). Neste caso, o arquivo de índices deve ser reconstruído, para garantir a consistência dos índices dos programas.



31

Exercícios

4- O que é uma lista invertida de índices? Quais são suas vantagens?

Solução:

É uma lista de chaves primárias associado a uma chave secundária.

Suas vantagens são:

- eliminar a repetição das chaves secundárias (uma chave secundária aponta para uma lista de chaves primárias).
 Isso permite economizar espaço.
- inserção ou eliminação de um registro → não é necessário alterar a tabela de índices secundários (movimentar os elementos ou reordená-los). Somente a lista invertida onde a chave primária será eliminada ou inserida, será atualizada.