

Para incorporar a ligação ODBC entre um programa e um SGBD é necessário incluir uma biblioteca apropriada.

- ▶ recebe a chamada ODBC API do programa;
- ▶ comunica com o servidor (SGBD);
- ▶ recebe o resultado que é disponibilizado ao programa.

```
#include <sql.h>
#include <sqlext.h>
```

```
gcc exemplo_odbc.c -lodbc -o exemplo
```

- ▶ 1ª Forma Normal
- ▶ 2ª Forma Normal
- ▶ Objectivos na Concepção de Bases de Dados
- ▶ Dependências funcionais
- ▶ Decomposição
- ▶ Forma Normal de Boyce-Codd
- ▶ 3ª Forma Normal
- ▶ Dependências multi-valor
- ▶ 4ª Forma Normal
- ▶ Visão geral sobre o processo de concepção

1ª Forma Normal

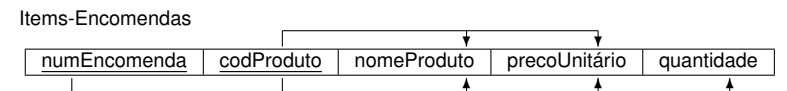
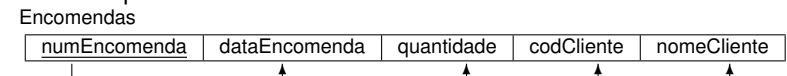
- ▶ Um esquema *R* diz-se na [1ª forma normal](#) se:
 - ▶ os domínios de todos os seus atributos são atómicos;
 - ▶ não pode haver repetição de registos.
- ▶ Um [domínio](#) é [atómico](#) se os seus elementos forem unidades indivisíveis.
Exemplo de domínios não atómicos:
 - ▶ Atributos “naturalmente” compostos: Nomes, Endereços, etc.
 - ▶ Atributos com várias partes: Números de telefones com indicativos; B.I. com o número de validação.
- ▶ Os valores não atómicos complicam o armazenamento e encorajam repetições desnecessárias de dados.

Daqui para a frente, assume-se que todas os esquemas de relações estão já na 1ª Forma Normal.

2ª Forma Normal

- ▶ Um esquema *R* diz-se na [2ª forma normal](#) se:
 - ▶ está na 1ª forma normal;
 - ▶ cada atributo não chave tem de depender da chave da tabela na totalidade, e não apenas de uma parte dessa chave.
 - ▶ se a chave primária é simples (um só atributo), então a relação está na 2ª forma normal.
 - ▶ se a chave primária é composta (mais do que um atributo) e existe um atributo que depende somente de parte da chave primária, então a relação não está na 2ª forma normal.

Por exemplo:



Daqui para a frente, assume-se que todas os esquemas de relações estão já na 2ª Forma Normal.

Objectivos na Concepção de Bases de Dados

Pretendem-se encontrar “bons” conjuntos de esquemas de relações para armazenar os dados.

Um “má” concepção pode levar a:

- ▶ Repetição de dados.
- ▶ Inconsistências devidas às operações de introdução, alteração, apagar de dados.
- ▶ Impossibilidade de representar certos tipos de informação.
- ▶ Dificuldade nas verificações de restrições de integridade.

Objectivos na Concepção:

- ▶ Evitar dados redundantes.
- ▶ Garantir que as relações relevantes sobre dados podem ser representadas.
- ▶ Facilitar a verificação de restrições de integridade.

2012/11/26 (v74)
233 / 308

Decomposição de Esquemas de Relações

As dependências funcionais podem servir para identificar, e para indicar o caminho para uma melhor concepção global

Substituir uma (ou mais) relações por um conjunto de relações “mais pequenas”

N.S.S.	Nome	Classificação	Horas Trab.
123-22	Abel	8	40
231-31	Silva	8	30
131-24	Sousa	5	30
434-26	Guiomar	5	32
612-67	Miguel	8	40

Classificação	Vencimento/h
8	10
5	7

menos redundância; mais fácil manter a consistência dos dados; é possível acrescentar novos pares Classificação/Vencimento.

2012/11/26 (v74)
235 / 308

Exemplo

Considere o esquema simples:

N.S.S.	Nome	Classificação	Vencimento/h	Horas Trab.
123-22	Abel	8	10	40
231-31	Silva	8	10	30
131-24	Sousa	5	7	30
434-26	Guiomar	5	7	32
612-67	Miguel	8	10	40

Vencimento/h depende de Classificação: este tipo de dependências (funcionais) entre atributos levanta problemas de:

- ▶ redundância:
 - ▶ Desperdiça-se espaço de armazenamento.
 - ▶ Dá azo a inconsistências.
 - ▶ Complica bastante a verificação da integridade dos dados.
- ▶ Dificuldade de representar certa informação
 - ▶ Não se pode armazenar informação de uma nova categoria de Classificação/Vencimento sem que haja um funcionário nessa categoria.

2012/11/26 (v74)
234 / 308

Problemas com a Decomposição de Esquemas de Relações

Ao fazer-se uma decomposição é necessário analisar se:

- ▶ a decomposição é necessária?
- ▶ a decomposição cria novos problemas?

- ▶ Formas normais
- ▶ Decomposição sem perdas
- ▶ Preservação das relações:
 - ▶ as restrições mantêm-se sem que seja necessário fazer junções entre relações;
 - ▶ as restrições verificam-se nas relações “menores”.

2012/11/26 (v74)
236 / 308

Exemplo

Considere o esquema simples:

Amigos = (nome, telefone, codigoPostal, localidade)

nome	telefone	codigoPostal	localidade
Maria	1111	2815	Caparica
João	2222	1000	Lisboa
Pedro	1112	1100	Lisboa
Ana	3333	2815	Caparica

- ▶ Redundância: os valores de codigoPostal e localidade são repetidos para cada amigo com um mesmo código postal.
 - ▶ Desperdiça-se espaço de armazenamento.
 - ▶ Dá azo a inconsistências.
 - ▶ Complica bastante a verificação da integridade dos dados.
- ▶ Dificuldade de representar certa informação.
 - ▶ Não se pode armazenar informação do código postal de uma localidade sem que hajam amigos dessa localidade. Podem usar-se valores nulos, mas estes são difíceis de gerir.

2012/11/26 (v74)
237 / 308

Decomposição

Decompor o esquema Amigos em:

Amigos1 = (nome, telefone, codigoPostal)

CPs = (codigoPostal, localidade)

Todos os atributos do esquema original (R) devem aparecer na decomposição em (R_1, R_2):

$$R = R_1 \cup R_2$$

Definição (Decomposição sem perdas)

Para todas as (instâncias de) relações r que “façam sentido” sobre o esquema R :

$$r = \Pi_{R_1}(r) \bowtie \Pi_{R_2}(r)$$

Note-se que o “façam sentido” depende do problema concreto.

2012/11/26 (v74)
238 / 308

Exemplo de decomposição sem perdas

Decomposição de Amigos em Amigos1 e CPs:

r

nome	telef.	CPostal	localidade
Maria	1111	2815	Caparica
João	2222	1000	Lisboa
Pedro	1112	1100	Lisboa
Ana	3333	2815	Caparica

$\Pi_{\text{Amigos1}}(r)$

nome	telef.	CPostal
Maria	1111	2815
João	2222	1000
Pedro	1112	1100
Ana	3333	2815

$\Pi_{\text{CPs}}(r)$

CPostal	localidade
2815	Caparica
1000	Lisboa
1100	Lisboa

$$\Pi_{\text{Amigos1}}(r) \bowtie \Pi_{\text{CPs}}(r) = r$$

2012/11/26 (v74)
239 / 308

Exemplo de decomposição com perdas

Decomposição de CPs em: CP1 = (CPostal) e Locs = (localidade)

r

CPostal	localidade
2815	Caparica
2815	Lisboa
1000	Caparica
1000	Lisboa
1100	Lisboa

\neq

$\Pi_{\text{CP1}}(r) \bowtie \Pi_{\text{Locs}}(r)$

CPostal	localidade
2815	Caparica
2815	Lisboa
1000	Caparica
1000	Lisboa
1100	Caparica
1100	Lisboa

$\Pi_{\text{CP1}}(r)$

CPostal
2815
1000
1100

$\Pi_{\text{Locs}}(r)$

localidade
Caparica
Lisboa

- ▶ Perdeu-se a informação de qual os CPs das localidades!
- ▶ Decompor parecia bom para evitar redundâncias.
- ▶ Mas decompor demais pode levar à perda de informação.

2012/11/26 (v74)
240 / 308

Outro exemplo com perdas

Decomposição de Amigos em: Amigos2 = (nome, telefone, localidade) e Loc = (localidade, CPostal).

r				$\Pi_{\text{Amigos2}}(r) \bowtie \Pi_{\text{Loc}}(r)$			
nome	telef.	CPostal	localidade	nome	telef.	CPostal	localidade
Maria	1111	2815	Caparica	Maria	1111	2815	Caparica
João	2222	1000	Lisboa	João	2222	1000	Lisboa
João	2222	1100	Lisboa	João	2222	1100	Lisboa
Pedro	1112	1000	Lisboa	Pedro	1112	1000	Lisboa
Pedro	1112	1100	Lisboa	Pedro	1112	1100	Lisboa
Ana	3333	2815	Caparica	Ana	3333	2815	Caparica

$\Pi_{\text{Amigos2}}(r)$		
nome	telef.	localidade
Maria	1111	Caparica
João	2222	Lisboa
Pedro	1112	Lisboa
Ana	3333	Caparica

$\Pi_{\text{Loc}}(r)$	
localidade	CPostal
Caparica	2815
Lisboa	1000
Lisboa	1100

- ▶ Perdeu-se a informação de qual é o CP do João (e do Pedro)!
- ▶ O que torna esta decomposição diferente da primeira?

Temos de ter critérios que nos permitam decompor uma relação, sem perda de informação.

2012/11/26 (v74)
241 / 308

2012/11/26 (v74)
242 / 308

Objectivo: um bom conjunto de relações

Este objectivo pode ser atingido utilizando o seguinte “algoritmo”.

- ▶ Decidir se o esquema R já está num “bom” formato.
- ▶ Se não estiver, decompor R num conjunto de esquemas $\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ tal que:
 - ▶ cada um deles está num “bom” formato;
 - ▶ A decomposição é sem perdas.
- ▶ A teoria é baseada em:
 - ▶ Dependências funcionais;
 - ▶ Dependências multi-valor

Dependências funcionais

- ▶ Restrições sobre o conjunto de relações possíveis.
- ▶ Exige que os valores num conjunto de atributos determinem univocamente os valores noutra conjunto de atributos.
- ▶ São uma generalização da noção de chave.

Definição (Dependência Funcional)

Seja R o esquema duma relação e $\alpha \subseteq R$ e $\beta \subseteq R$. A dependência funcional:

$$\alpha \rightarrow \beta$$

é verdadeira em R sse, para toda a relação possível (i.e. “que faça sentido”) $r(R)$, sempre que dois tuplos t_1 e t_2 de r têm os mesmos valores em α , também têm os mesmos valores em β :

$$\forall t_1, t_2 \in r(R) \quad t_1[\alpha] = t_2[\alpha] \Rightarrow t_1[\beta] = t_2[\beta]$$

2012/11/26 (v74)
243 / 308

2012/11/26 (v74)
244 / 308

Dependências Funcionais (continuação)

- ▶ De forma equivalente.
A dependência funcional $\alpha \rightarrow \beta$ é verdadeira em R sse

$$\forall a \in \text{dom}(\alpha) \quad \Pi_{\beta}(\sigma_{\alpha=a}(r))$$

tem no máximo 1 tuplo.

- ▶ Exemplo: Seja $r(A, B)$:

A	B
1	4
1	5
3	7

Nesta instância, $A \rightarrow B$ não é verdadeira, mas $B \rightarrow A$ é.

Dependências Funcionais

A	B	C	D
a ₁	b ₁	c ₁	d ₁
a ₁	b ₁	c ₁	d ₂
a ₁	b ₂	c ₂	d ₁
a ₂	b ₁	c ₃	d ₂

$AB \rightarrow C$ $AB \not\rightarrow D$

- ▶ AB não é uma chave
- ▶ A verificação para uma dada instância da relação não valida uma dependência funcional
- ▶ As dependências funcionais são restrições de integridade que tem de ser satisfeitas por todos os valores possíveis no esquema de relações.

2012/11/26 (v74)
245 / 308

Dependências Funcionais

Casos extremos

- ▶ $\{\} \rightarrow \alpha$
Só se verifica se na relação r todos os tuplos têm o mesmo valor em α (nunca deve ser permitido).
- ▶ $\alpha \rightarrow \{\}$
Verifica-se para toda a relação r e conjunto de atributos α .

Dependência Trivial Diz-se que uma dependência é **trivial** se é satisfeita por todas as relações (quer façam sentido ou não) sobre um esquema.

Por exemplo:

$\text{nomeCliente}, \text{numEmprestimo} \rightarrow \text{nomeCliente}$
 $\text{nomeCliente} \rightarrow \text{nomeCliente}$

Em geral, $\alpha \rightarrow \beta$ é trivial se $\beta \subseteq \alpha$.

2012/11/26 (v74)
246 / 308

Dependências Funcionais

Chaves, são dependências funcionais.

- ▶ K é uma **super-chave** no esquema R sse $K \rightarrow R$.
- ▶ K é uma **chave candidata** em R sse $K \rightarrow R$, e para nenhum $\alpha \subset K$, $\alpha \rightarrow R$.

As dependências funcionais permitem expressar restrições, que não podem ser expressas somente através dos conceitos de chave.

Por exemplo, em (nomeCliente, numEmprestimo, nomeBalcao, quantia).

- ▶ Espera-se que as seguintes dependências sejam verdadeiras:
 $\text{numEmprestimo} \rightarrow \text{quantia}$
 $\text{numEmprestimo} \rightarrow \text{nomeBalcao}$
- ▶ Mas não se espera que a dependência abaixo seja verdadeira:
 $\text{numEmprestimo} \rightarrow \text{nomeCliente}$

2012/11/26 (v74)
247 / 308

Uso de Dependências Funcionais

Usam-se dependências funcionais para:

- ▶ testar (instâncias de) relações, para verificar se “fazem sentido” de acordo com as dependências funcionais.

Definição (Satisfação de Dependência Funcional)

Se uma relação r torna verdadeiras todas as dependências dum conjunto F , então diz-se que r **satisfaz** F .

- ▶ Especificar restrições sobre as relações.

Definição (Dependência Funcional Verdadeira)

Diz-se que F é **verdadeira em R** se todas as relações (possíveis) sobre R satisfazem as dependências em F .

Nota: Uma instância particular duma relação pode satisfazer uma dependência funcional mesmo que a dependência não seja verdadeira no esquema. Por exemplo, uma instância particular (em que, por acaso, nenhum empréstimo tenha mais que um cliente) satisfaz: $\text{numEmprestimo} \rightarrow \text{nomeCliente}$.

2012/11/26 (v74)
248 / 308

Fecho de um Conjunto de Dependências Funcionais

Dado um conjunto F de dependências, há outras dependências que são logicamente implicadas por F . Por exemplo, se $A \rightarrow B$ e $B \rightarrow C$, então, ter-se-á $A \rightarrow C$.

Definição (Fecho de F)

Ao conjunto de todas as dependências funcionais implicadas por F chama-se **fecho** de F (denotado por F^+).

Podem encontrar-se todas as dependências em F^+ por aplicação dos Axiomas de Armstrong.

Definição (Axiomas de Armstrong)

- ▶ Se $\beta \subseteq \alpha$, então $\alpha \rightarrow \beta$ **(reflexividade)**
- ▶ Se $\alpha \rightarrow \beta$, então $\gamma\alpha \rightarrow \gamma\beta$ **(aumento)**
- ▶ Se $\alpha \rightarrow \beta$, e $\beta \rightarrow \gamma$, então $\alpha \rightarrow \gamma$ **(transitividade)**

Estes regras são:

- ▶ **coerentes**, isto é, só geram dependências que pertencem a F^+
- ▶ **completas**, isto é, geram todas as dependências pertencentes a F^+

2012/11/26 (v74)
249 / 308

Construção de F^+

Para calcular o fecho de um conjunto de dependências F podemos aplicar o seguinte algoritmo:

$F^+ := F$

repete

para cada uma das dependências funcionais $f \in F^+$ **faz**
aplicar reflexividade e aumento em f
adicionar os resultados a F^+

para cada par de dependências $f_1, f_2 \in F^+$ **faz**

se f_1 e f_2 podem combinar-se por transitividade
então adicionar a dependência resultante a F^+

até que F^+ não mude mais

NOTA: Veremos, mais tarde, outro procedimento para esta problema

2012/11/26 (v74)
251 / 308

Exemplo

Sejam

$$R = (A, B, C, G, H, I)$$

e

$$F = \{A \rightarrow B, A \rightarrow C, CG \rightarrow H, CG \rightarrow I, B \rightarrow H\}.$$

Podemos obter alguns dos elementos de F^+ , aplicando os axiomas de Armstrong.

- ▶ $A \rightarrow H$, por transitividade a partir de $A \rightarrow B$ e $B \rightarrow H$.
- ▶ $AG \rightarrow I$, por aumento de $A \rightarrow C$ com G , obtendo-se $AG \rightarrow CG$, de seguida, por transitividade com $CG \rightarrow I$.
- ▶ $CG \rightarrow HI$, por aumento de $CG \rightarrow I$ inferindo $CG \rightarrow CGI$, de seguida por aumento de $CG \rightarrow H$ inferindo $CGI \rightarrow HI$, e depois transitividade.

2012/11/26 (v74)
250 / 308

Fecho de Dependências

Podemos facilitar a construção de F^+ usando mais algumas regras coerentes:

- ▶ Se $\alpha \rightarrow \beta$ e $\alpha \rightarrow \gamma$, então $\alpha \rightarrow \beta\gamma$ **(união)**
- ▶ Se $\alpha \rightarrow \beta\gamma$, então $\alpha \rightarrow \beta$ e $\alpha \rightarrow \gamma$ **(decomposição)**
- ▶ Se $\alpha \rightarrow \beta$ e $\gamma\beta \rightarrow \delta$, então $\alpha\gamma \rightarrow \delta$ **(pseudo-transitividade)**

Estas regras adicionais podem-se derivar dos Axiomas de Armstrong.

2012/11/26 (v74)
252 / 308

Fecho de um Conjunto de Atributos

Dado um conjunto de atributos α , define-se o fecho de α sobre F .

Definição (Fecho de um Conjunto de Atributos)

Dado um conjunto de dependências funcionais F , e $\alpha \subseteq R$, define-se o **fecho de α sobre F** , denotado por α^+ , como sendo o conjunto de atributos que dependem funcionalmente de α dado F , isto é:

$$\alpha \rightarrow \beta \in F^+ \quad \text{sse} \quad \beta \subseteq \alpha^+$$

Algoritmo para calcular α^+ .

$\alpha^+ := \alpha$

repete

para cada $\beta \rightarrow \gamma \in F$ **faz**

se $\beta \subseteq \alpha^+$ **então** $\alpha^+ := \alpha^+ \cup \gamma$

até que α^+ não mude mais

2012/11/26 (v74)
253 / 308

Exemplo de fecho de atributos

▶ $R = (A, B, C, G, H, I)$

▶ $F = \{A \rightarrow B, A \rightarrow C, CG \rightarrow H, CG \rightarrow I, B \rightarrow H\}$

▶ cálculo de $(AG)^+$

1. $(AG)^+ := AG$

2. $(AG)^+ := ABCG$ $(A \rightarrow C \text{ e } A \rightarrow B)$

3. $(AG)^+ := ABCGH$ $(CG \rightarrow H \text{ e } CG \subseteq ABCG)$

4. $(AG)^+ := ABCGHI$ $(CG \rightarrow I \text{ e } CG \subseteq ABCGH)$

$(AG)^+$ já não muda mais dado que já inclui todos os atributos de R .

2012/11/26 (v74)
254 / 308

Uso de fecho de atributos

O cálculo do fecho de atributos pode ser usado para vários fins:

- ▶ **Testar super-Chaves:** para testar se α é super-chave, calcular α^+ , e verificar se α^+ contém todos os atributos de R .
 - ▶ Será AG super-chave?
 - ▶ E algum subconjunto próprio de AG é super-chave?
- ▶ **Testar dependências funcionais:** para verificar se a dependência $\alpha \rightarrow \beta$ é verdadeira (isto é pertence a F^+), basta verificar se $\beta \subseteq \alpha^+$, para um dado α^+ .
- ▶ **Cálculo do fecho de F :** para cada $\gamma \subseteq R$, calcular γ^+ . Para cada $S \subseteq \gamma^+$, devolver como resultado a dependência $\gamma \rightarrow S$.

2012/11/26 (v74)
255 / 308

Cobertura Canónica

- ▶ Um conjunto de dependências, podem conter algumas delas que são redundantes (por se inferirem das outras). Por exemplo:
 $A \rightarrow C$ é redundante em: $\{A \rightarrow B, B \rightarrow C, A \rightarrow C\}$. Porquê?
- ▶ Partes de dependências também podem ser redundantes. Por exemplo:
 - ▶ $\{A \rightarrow B, B \rightarrow C, A \rightarrow CD\}$ pode ser simplificado para $\{A \rightarrow B, B \rightarrow C, A \rightarrow D\}$. Porquê?
 - ▶ $\{A \rightarrow B, B \rightarrow C, AC \rightarrow D\}$ pode ser simplificado para $\{A \rightarrow B, B \rightarrow C, A \rightarrow D\}$. Porquê?
- ▶ Intuitivamente, uma [cobertura canónica](#) de F é um conjunto “minimal” de dependências, equivalente a F , e em que nenhuma dependência tem partes redundantes.

2012/11/26 (v74)
256 / 308

Atributos dispensáveis

Considere o conjunto de dependências F e a dependência $\alpha \rightarrow \beta \in F$.

Definição (Atributo dispensável à esquerda)

O atributo A é dispensável à esquerda em α se $A \in \alpha$ e F implica $(F - \{\alpha \rightarrow \beta\}) \cup \{(\alpha - A) \rightarrow \beta\}$.

Definição (Atributo dispensável à direita)

O atributo A é dispensável à direita em β se $A \in \beta$, e o conjunto $(F - \{\alpha \rightarrow \beta\}) \cup \{\alpha \rightarrow (\beta - A)\}$ implica F .

Nota: a implicação na direção oposta é trivial em ambos os casos.

Exemplos:

- ▶ Dado $F = \{A \rightarrow C, AB \rightarrow C\}$, B é dispensável em $AB \rightarrow C$ porque $A \rightarrow C$ implica $AB \rightarrow C$.
- ▶ Dado $F = \{A \rightarrow C, AB \rightarrow CD\}$, C é dispensável em $AB \rightarrow CD$ pois com $A \rightarrow C$, $AB \rightarrow CD$ pode ser inferido de $AB \rightarrow D$.

2012/11/26 (v74)
257 / 308

Teste para atributos dispensáveis

Considere o conjunto F de dependências, e a dependência $\alpha \rightarrow \beta \in F$.

- ▶ Para testar se $A \in \alpha$ é dispensável em α , basta:

1. calcular $(\alpha - A)^+$ usando as dependências em F ;
2. verificar se $(\alpha - A)^+$ contém A . Se contém, então A é dispensável.

- ▶ Para testar se $A \in \beta$ é dispensável em β , basta:

1. calcular α^+ usando as dependências em $F' = (F - \{\alpha \rightarrow \beta\}) \cup \{\alpha \rightarrow (\beta - A)\}$;
2. verificar se α^+ contém A . Se contém, então A é dispensável.

2012/11/26 (v74)
258 / 308

Cobertura Canónica

Definição (Cobertura Canónica)

Uma cobertura canónica de F é um conjunto de dependências F_c tal que:

- ▶ F implica todas as dependências em F_c , e
- ▶ F_c implica todas as dependências em F , e
- ▶ Nenhuma dependência em F_c contém atributos dispensáveis, e
- ▶ O lado esquerdo de cada dependência em F_c é único.

Uma cobertura canónica de F é o conjunto de dependências funcionais com o mesmo poder expressivo que F e mínimo, isto é com o menor número de dependências funcionais possível.

2012/11/26 (v74)
259 / 308

Cálculo da Cobertura Canónica

Para calcular uma cobertura canónica de F :

$F_c := F$

repete

Usar a regra da união para substituir as dependências em F_c , $\alpha_1 \rightarrow \beta_1$ e $\alpha_1 \rightarrow \beta_2$ por $\alpha_1 \rightarrow \beta_1\beta_2$

enquanto há dependências com atributos dispensáveis **faz**

Encontrar dependências $\alpha \rightarrow \beta$ com atributos dispensáveis (em α ou β)

Quando se encontra atributo dispensável, apaga-se de $\alpha \rightarrow \beta$

fimenquanto

até que F_c não muda.

Nota: A regra da união pode tornar-se aplicável depois de retirados alguns atributos dispensáveis. Por isso há que re-aplicá-la.

2012/11/26 (v74)
260 / 308

Exemplo de cálculo de cobertura canónica

- ▶ $R = (A, B, C)$
- ▶ $F = \{A \rightarrow BC, B \rightarrow C, A \rightarrow B, AB \rightarrow C\}$
- ▶ cálculo de F_c :
 1. Combinar $A \rightarrow BC$ e $A \rightarrow B$ para obter $A \rightarrow BC$;
 2. $F_c = \{A \rightarrow BC, B \rightarrow C, AB \rightarrow C\}$;
 3. A é dispensável em $AB \rightarrow C$ porque $B \rightarrow C$ implica $AB \rightarrow C$;
 4. $F_c = \{A \rightarrow BC, B \rightarrow C\}$;
 5. C é dispensável em $A \rightarrow BC$ pois $A \rightarrow BC$ é implicado por $A \rightarrow B$ e $B \rightarrow C$;
 6. $F_c = \{A \rightarrow B, B \rightarrow C\}$;
 7. Não há mais atributos dispensáveis. Verifica-se também que F_c não muda mais
- ▶ A cobertura canónica é: $F_c = \{A \rightarrow B, B \rightarrow C\}$.

2012/11/26 (v74)
261 / 308

Exemplo

Concepção de um esquema de base de dados, avaliação do mesmo, e sua (se necessário) transformação num “bom” esquema.

- ▶ Concepção: Considere o esquema simples: Amigos = (nome, telef, codPostal, localidade). E uma sua instância:

nome	telef	codPostal	localidade
Maria	1111	2815	Caparica
João	2222	1000	Lisboa
Pedro	1112	1100	Lisboa
Ana	3333	2815	Caparica

- ▶ Redundância: os valores de (codPostal, localidade) são repetidos para cada amigo com um mesmo código postal;
 - ▶ Desperdiça-se espaço de armazenamento;
 - ▶ Dá azo a inconsistências;
 - ▶ Complica bastante a verificação da integridade dos dados
- ▶ Dificuldade de representar certa informação: Não se pode armazenar informação do código postal de uma localidade sem que hajam amigos dessa localidade.
 - ▶ Podem usar-se valores nulos, mas estes são difíceis de gerir.

2012/11/26 (v74)
263 / 308

Objectivos com a Concepção de BDs Relacionais

- ▶ Pretende-se encontrar “bons” conjuntos de esquemas relações, para armazenar os dados.
- ▶ Uma “má” concepção pode levar a:
 - ▶ Repetição de dados;
 - ▶ Impossibilidade de representar certos tipos de informação;
 - ▶ Dificuldade na verificação da integridade.
- ▶ Objectivos da concepção (para atingir um “bom” esquema):
 - ▶ Evitar dados redundantes;
 - ▶ Garantir que as relações relevantes sobre dados podem ser representadas;
 - ▶ Facilitar a verificação de restrições de integridade.

2012/11/26 (v74)
262 / 308

Objectivos da Normalização

Após a concepção (e antes da implementação num dado SGBD), pretende-se obter um “bom” esquema. Temos então que:

- ▶ Avaliar: decidir se o um dado esquema R já está num “bom” formato.
- ▶ Transformar (normalizar): se não estiver, decompor R num conjunto de esquemas $\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ tal que:
 - ▶ cada um deles está num “bom” formato;
 - ▶ a decomposição é sem perdas.
- ▶ A **normalização** é baseada em:
 - ▶ [dependências funcionais](#);
 - ▶ [dependências multi-valor](#).

2012/11/26 (v74)
264 / 308

Exemplo - Decomposição

- ▶ Decompor o esquema Amigos em:
 $\text{Amigos1} = (\underline{\text{nome}}, \text{telef}, \text{codPostal})$
 $\text{CPs} = (\underline{\text{codPostal}}, \text{localidade})$

Uma qualquer decomposição tem de preservar a informação, contida no esquema inicial.

- ▶ **Não pode haver perda de atributos:** todos os atributos do esquema original (R) têm que aparecer na decomposição (R_1, R_2), isto é, $R = R_1 \cup R_2$.
- ▶ **Decomposição sem perdas:** para todas as relações possíveis r sobre o esquema R tem de se verificar que:

$$r = \Pi_{R_1}(r) \bowtie \Pi_{R_2}(r)$$

A decomposição de R em R_1 e R_2 é sem perdas sse pelo menos uma das dependências abaixo pertence a F^+ :

- ▶ $R_1 \cap R_2 \rightarrow R_1$
- ▶ $R_1 \cap R_2 \rightarrow R_2$

2012/11/26 (v74)
265 / 308

Exemplo de decomposição sem perdas

Decomposição de Amigos em:

$\text{Amigos1} = (\underline{\text{nome}}, \text{telef}, \text{codPostal})$
 $\text{CPs} = (\underline{\text{codPostal}}, \text{localidade})$

r			
nome	telef	codPostal	localidade
Maria	1111	2815	Caparica
João	2222	1000	Lisboa
Pedro	1112	1100	Lisboa
Ana	3333	2815	Caparica

$\Pi_{\text{Amigos1}}(r)$		
nome	telef	codPostal
Maria	1111	2815
João	2222	1000
Pedro	1112	1100
Ana	3333	2815

$\Pi_{\text{CPs}}(r)$	
codPostal	localidade
2815	Caparica
1000	Lisboa
1100	Lisboa

Verifica-se que:

$$\Pi_{\text{Amigos1}}(r) \bowtie \Pi_{\text{CPs}}(r) = r$$

Notar que é válida a dependência: $\text{codPostal} \rightarrow \text{localidade}$, isto é, verifica-se $R_1 \cap R_2 \rightarrow R_2$.

2012/11/26 (v74)
266 / 308

Exemplo de decomposição com perdas

Decomposição de Amigos em:

$\text{Amigos2} = (\underline{\text{nome}}, \text{telef}, \text{localidade})$
 $\text{Loc} = (\text{localidade}, \underline{\text{codPostal}})$

r			
nome	telef	codPostal	localidade
Maria	1111	2815	Caparica
João	2222	1000	Lisboa
Pedro	1112	1100	Lisboa
Ana	3333	2815	Caparica

$\Pi_{\text{Amigos2}}(r) \bowtie \Pi_{\text{Loc}}(r)$			
nome	telef	codPostal	localidade
Maria	1111	2815	Caparica
João	2222	1000	Lisboa
João	2222	1100	Lisboa
Pedro	1112	1000	Lisboa
Pedro	1112	1100	Lisboa
Ana	3333	2815	Caparica

$\Pi_{\text{Amigos2}}(r)$		
nome	telef	localidade
Maria	1111	Caparica
João	2222	Lisboa
Pedro	1112	Lisboa
Ana	3333	Caparica

$\Pi_{\text{CPs}}(r)$	
localidade	codPostal
Caparica	2815
Lisboa	1000
Lisboa	1100

Note-se que nenhuma das duas dependências seguintes é válida:

- ▶ $\text{localidade} \rightarrow \text{nome}, \text{telefone}$, isto é, $R_1 \cap R_2 \not\rightarrow R_1$.
- ▶ $\text{localidade} \rightarrow \text{codPostal}$, isto é, $R_1 \cap R_2 \not\rightarrow R_2$.

2012/11/26 (v74)
267 / 308

Normalização por uso de Dependências

Quando se decompõe um esquema R com dependências F , em R_1, R_2, \dots, R_n quer-se:

- ▶ **Decomposição sem perdas.** Por forma a não se perder informação.
- ▶ **Não haja redundância.** Ver-se-à mais à frente como ...
- ▶ **Preservação de dependências.** Por forma a que verificação das dependências possa ser feita de forma eficiente.

Seja F_i o conjunto de dependências de F^+ que só contém atributos de R_i .

A decomposição preserva as dependências se

$$(F_1 \cup F_2 \cup \dots \cup F_n)^+ = F^+$$

Sem preservação de dependências, a garantia de integridade pode obrigar à computação de junções, sempre que se adicionam, apagam ou actualizam relações da base de dados. Tal pode tornar-se bastante ineficiente.

2012/11/26 (v74)
268 / 308

Exemplo

- ▶ Sejam $R = (A, B, C)$ e $F = \{A \rightarrow B, B \rightarrow C\}$.
- ▶ Decomposição 1: $R_1 = (A, B), R_2 = (B, C)$:
 - ▶ Decomposição sem perdas: $R_1 \cap R_2 = \{B\}$ e $B \rightarrow BC$;
 - ▶ Preserva as dependências.
- ▶ Decomposição 2: $R_1 = (A, B), R_2 = (A, C)$:
 - ▶ Decomposição sem perdas: $R_1 \cap R_2 = \{A\}$ e $A \rightarrow AB$;
 - ▶ Não preserva as dependências. Não se pode verificar $B \rightarrow C$ sem calcular $R_1 \bowtie R_2$.

2012/11/26 (v74)
269 / 308

Forma Normal de Boyce-Codd

Definição (Forma Normal de Boyce-Codd)

Um esquema R diz-se na Forma Normal de Boyce-Codd, BCNF, relativamente a um conjunto de dependências F , sse para toda a dependência em F^+ da forma $\alpha \rightarrow \beta$, onde $\alpha \subseteq R$ e $\beta \subseteq R$, pelo menos uma das seguintes condições é verdadeira:

- ▶ $\alpha \rightarrow \beta$ é trivial, isto é, $\beta \subseteq \alpha$.
- ▶ α é super-chave de R , isto é, $\alpha \rightarrow R$.

Evita redundâncias

Verificação de dependências funcionais definidas sobre atributos de R , limita-se à verificação de chaves.

2012/11/26 (v74)
271 / 308

Teste de Preservação de Dependências

Para verificar se $\alpha \rightarrow \beta$ é preservada na decomposição R em R_1, R_2, \dots, R_n aplica-se o seguinte teste:

```
res :=  $\alpha$ 
enquanto (houver alterações em res) faz
  para cada  $R_i$  na decomposição faz
     $t := (res \cap R_i)^+ \cap R_i$ 
     $res := res \cup t$ 
  fimpara
fimenquanto
```

Se res contém todos os atributos em β , então $\alpha \rightarrow \beta$ é preservada.

Aplica-se este teste a todas as dependências de F , para verificar se a decomposição preserva as dependências.

Ao contrário do cálculo de F^+ ou de $(F_1 \cup F_2 \cup \dots \cup F_n)^+$, que têm ambos complexidade exponencial, este procedimento tem complexidade polinomial.

2012/11/26 (v74)
270 / 308

BCNF — Exemplo/Exercício

- ▶ $R = (A, B, C), F = \{A \rightarrow B, B \rightarrow C\}$.
- ▶ Chave, $\{A\}$.
- ▶ R não está em BCNF.
- ▶ Decomposição em $R_1 = (A, B), R_2 = (B, C)$.
 - ▶ R_1 e R_2 estão na BCNF.
 - ▶ Decomposição sem perdas.
 - ▶ Preserva as dependências.

2012/11/26 (v74)
272 / 308