

Sortarea rezultatului interogărilor

- `ORDER BY column [ASC | DESC] [, ...]`

```
SELECT cname, sname, grade
FROM Courses C
      INNER JOIN Enrolled E ON C.cid = E.cid
      INNER JOIN Students S ON E.sid = S.sid
ORDER BY cname, grade DESC , sname
```

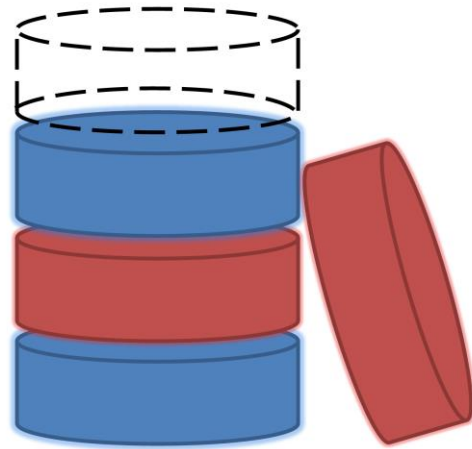
Sortarea rezultatului interogărilor

- Rezultatul e sortat după orice câmp din clauza SELECT, inclusiv expresii sau agregări:

```
SELECT gr, Count(*) as StudNo  
FROM Students C  
GROUP BY gr  
ORDER BY StudNo
```

Rafinarea structurii bazelor de date

(Dependențe funcționale)



3

Structura bazei de date

=

Structura relațiilor

+

Constrângeri

Exemplu: relația *MovieList*

<i>Title</i>	<i>Director</i>	<i>Cinema</i>	<i>Phone</i>	<i>Time</i>
The Hobbit	Jackson	Florin Piersic	441111	11:30
The Lord of the Rings 3	Jackson	Florin Piersic	441111	14:30
Adventures of Tintin	Spielberg	Victoria	442222	11:30
The Lord of the Rings 3	Jackson	Victoria	442222	14:00
War Horse	Spielberg	Victoria	442222	16:30

Constrângeri:

- Fiecare film are un regizor
- Fiecare cinematograf are un număr de telefon
- Fiecare cinematograf începe proiecția unui singur film al un moment dat

Proiectare defectuoasă!

<i>Title</i>	<i>Director</i>	<i>Cinema</i>	<i>Phone</i>	<i>Time</i>
The Hobbit	Jackson	Florin Piersic	441111	11:30
The Lord of the Rings 3	Jackson	Florin Piersic	441111	14:30
Adventures of Tintin	Spielberg	Victoria	442222	11:30
The Lord of the Rings 3	Jackson	Victoria	442222	14:00
War Horse	Spielberg	Victoria	442222	16:30

Anomalie de inserare

Anomalie de ștergere

Anomalie de actualizare

Rafinarea unei structuri defectuoase prin *descompunerea* în mai multe structuri “bune”

Movies

<i>Title</i>	<i>Director</i>
The Hobbit	Jackson
The Lord of the Rings 3	Jackson
Adventures of Tintin	Spielberg
War Horse	Spielberg

Screens

<i>Cinema</i>	<i>Time</i>	<i>Title</i>
Florin Piersic	11:30	The Hobbit
Florin Piersic	14:30	The Lord of the Rings 3
Victoria	11:30	Adventures of Tintin
Victoria	14:00	The Lord of the Rings 3
Victoria	16:30	War Horse

Cinema

<i>Cinema</i>	<i>Phone</i>
Florin Piersic	441111
Victoria	442222

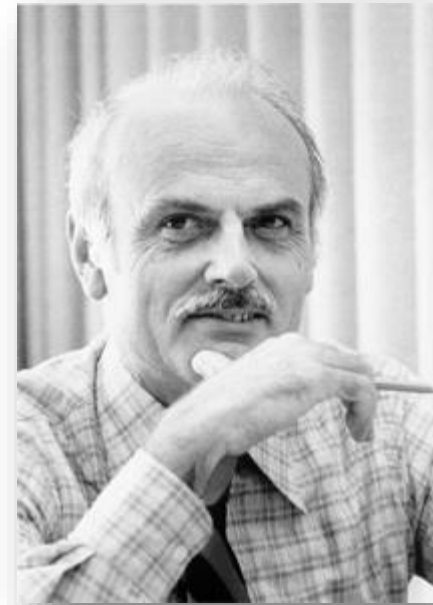
- ✓ Anomalie de **inserare**
- ✓ Anomalie de **ștergere**
- ✓ Anomalie de **actualizare**

Cum determinăm
dacă o structură este
“*bună*” sau “*defectuoasă*”?

Cum transformăm
o structură *defectuoasă*
într-una *bună*?

Teoria *dependențelor funcționale* furnizează o abordare sistematică a celor două întrebări

Introdusă de
Edgar Frank Codd în:



*“A relational model for large shared data banks”,
Com. of the ACM, 13(6), 1970, pp.377-387.*

Dependențe funcționale

$$\alpha \rightarrow \beta$$

α, β sunt submulțimi de attribute ale R

“ α determină funcțional β ”

sau

“ β depinde functional de α ”

Definiție dependențe funcționale

Dependența funcțională $\alpha \rightarrow \beta$ este satisfăcută de R dacă și numai dacă

pentru *orice* instanță a lui R,

oricare două tupluri t_1 și t_2 pentru care
valorile lui α sunt identice

vor avea de asemenea valori identice pentru β .

O dependență funcțională

$$\alpha \rightarrow \beta$$

este **trivială** dacă

$$\alpha \supseteq \beta.$$

<i>Title</i>	<i>Director</i>	<i>Cinema</i>	<i>Phone</i>	<i>Time</i>
The Hobbit	Jackson	Florin Piersic	441111	11:30
The Lord of the Rings 3	Jackson	Florin Piersic	441111	14:30
Adventures of Tintin	Spielberg	Victoria	442222	11:30
The Lord of the Rings 3	Jackson	Victoria	442222	14:00
War Horse	Spielberg	Victoria	442222	16:30

Dependențe funcționale pentru relația *MovieList*:

1. Title → Director
2. Cinema → Phone
3. Cinema, Time → Title

Fie r instanța unei relații R

- Spunem că r **satisfacă DF** $\alpha \rightarrow \beta$ dacă pentru orice pereche de tupluri t_1 și t_2 din r astfel încât $\pi_\alpha(t_1) = \pi_\alpha(t_2)$, este de asemenea adevărat că $\pi_\beta(t_1) = \pi_\beta(t_2)$.

sau

$$\forall t_1, t_2 \in r$$

$$\pi_\alpha(t_1) = \pi_\alpha(t_2) \Rightarrow \pi_\beta(t_1) = \pi_\beta(t_2) *$$

* $\pi_\alpha(t)$ este proiecția atributelor α pentru tuplul t

Fie r instanța unei relații R

- o DF f este satisfăcută pe R dacă și numai dacă orice instanță r a lui R satisface f
- r nu respectă o DF f dacă r nu satisface f .
- r este o instanță legală a lui R dacă r satisface toate dependențele funcționale definite pentru R .

Exemplu: *Movie*(*Title*, *Director*, *Composer*)

<i>Title</i>	<i>Director</i>	<i>Composer</i>
Schindler's List	Spielberg	Williams
Saving Private Ryan	Spielberg	Williams
North by Northwest	Hitchcock	Herrmann
Angela's Ashes	Parker	Williams
Vertigo	Hitchcock	Herrmann

- DF *composer* → *director* nu este respectată de relația *Movie*
- *r* satisface DF *director* → *composer*

Acest lucru nu înseamnă că *director* → *composer* e respectat de *Movie*!

Problema implicației

Putem deduce că o DF f e respectată de R pe baza unei mulțimi de DF F ?

Exemplu: în *MovieList*, avem

$$F = \{ \begin{array}{l} \text{Title} \rightarrow \text{Director} \\ \text{Cinema} \rightarrow \text{Phone} \\ \text{Cinema, Time} \rightarrow \text{Title} \end{array} \}$$

- $\text{Time} \rightarrow \text{Director}$ este respectată?
- Dar $\text{Cinema, Time} \rightarrow \text{Director}$?

F implică logic pe f

notat prin

$$\mathbf{F} \Rightarrow \mathbf{f}$$

daca fiecare instanță r a relației R
ce satisface F
satisfice și f

F & G : mulțimi de dependențe funcționale
 f : dependența funcțională

F implică logic G

notat prin

$$\mathbf{F \Rightarrow G}$$

dacă $F \Rightarrow g$ pentru fiecare $g \in G$

Închiderea lui F

(notată prin F^+)

este mulțimea tuturor DF implicate de F

$$F^+ = \{f \mid F \Rightarrow f\}$$

F și G sunt **echivalente**

(notat prin $F \equiv G$)

dacă

$$F^+ = G^+$$

(adică $F \Rightarrow G$ și $G \Rightarrow F$)

Axiomele lui Armstrong

Fie $\alpha, \beta, \gamma \subseteq R$

Reflexivitate: Dacă $\beta \subseteq \alpha$, atunci $\alpha \rightarrow \beta$

Augmentare: Dacă $\alpha \rightarrow \beta$, atunci $\alpha\gamma \rightarrow \beta\gamma$

Tranzitivitate: Dacă $\alpha \rightarrow \beta$ și $\beta \rightarrow \gamma$, atunci $\alpha \rightarrow \gamma$

Sistemul axiomelor lui Armstrong
este

Corect

(Orice FD derivată este implicată de F)

&

Complet

(Toate DF din F^+ pot fi derivate)

Exemplu: Fie $R(A, B, C, D, E)$ cu mulțimea

$$F = \{A \rightarrow C; B \rightarrow C; CD \rightarrow E\}.$$

Arătați că $F \Rightarrow AD \rightarrow E$

Soluție:

1. $A \rightarrow C$ (dat)
2. $AD \rightarrow CD$ (augmentare cu (1))
3. $CD \rightarrow E$ (dat)
4. $AD \rightarrow E$ (tranzitivitate cu (2) și (3))

Reguli de inferență adiționale

Reuniunea:

Dacă $\alpha \rightarrow \beta$ și $\alpha \rightarrow \gamma$, atunci $\alpha \rightarrow \beta\gamma$

Descompunerea:

Dacă $\alpha \rightarrow \beta$, atunci $\alpha \rightarrow \beta'$ pentru orice $\beta' \subseteq \beta$

Exemplu: Arătați că $\{A \rightarrow BCD\} \equiv \{A \rightarrow B; A \rightarrow C; A \rightarrow D\}$

Fie $F = \{A \rightarrow BCD\}$

Fie $G = \{A \rightarrow B; A \rightarrow C; A \rightarrow D\}$

Prin regula de descompunere avem

$$F \Rightarrow A \rightarrow B,$$

$$F \Rightarrow A \rightarrow C, \text{ si}$$

$$F \Rightarrow A \rightarrow D$$

Prin urmare $F \Rightarrow G$

Din regula reuniunii avem

$$\{A \rightarrow B; A \rightarrow C\} \Rightarrow A \rightarrow BC \text{ si}$$

$$\{A \rightarrow BC; A \rightarrow D\} \Rightarrow A \rightarrow BCD$$

Prin urmare $G \Rightarrow F$, deci $F \equiv G$

Superchei, chei & attribute prime

- O mulțime de attribute α reprezintă o **supercheie** a relației R (având mulțimea de DF F) dacă

$$F \Rightarrow \alpha \rightarrow R.$$

- O mulțime de attribute α e o **cheie** a relației R dacă

(1) α este o supercheie, și

(2) nici o submulțime a lui α nu e supercheie

(adică, pentru fiecare $\beta \subset \alpha$, $\beta \rightarrow R \notin F^+$)

- Un atribut $A \in R$ se numește atribut **prim** dacă A face parte dintr-o cheie a lui R ; în caz contrar, A se numește atribut **neprim**.

- Considerăm din nou relația

MovieList (Title, Director, Cinema, Phone, Time)

cu DF

- (1) Cinema, Time \rightarrow Title
- (2) Cinema \rightarrow Phone
- (3) Title \rightarrow Director

- {Cinema, Time} este singura **cheie** a relației *MovieList*.
- Cinema și Time sunt singurele attribute **prime** din *MovieList*.
- Orice mulțime ce include {Cinema; Time} e **supercheie**
a *MovieList*.

Închiderea atributelor

Fie $\alpha \subseteq R$ și F o mulțime de DF satisfăcute pe R

■ **Închiderea lui α** (cu respectarea mulțimii F de DF), notată cu α^+ , este mulțimea de attribute ce sunt determinate funcțional din α pe baza dependențelor funcționale din F ; adică

$$\alpha^+ = \{A \in R \mid F \Rightarrow \alpha \rightarrow A\}$$

■ Se observă că $F \Rightarrow \alpha \rightarrow \beta$ dacă și numai dacă $\beta \subseteq \alpha^+$ (cu respectarea DF din F)

Algorithm pt determinarea închiderii atributelor

Input: α, F

Output: α^+ (w.r.t. F)

Compute a sequence of sets of attrs $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_k, \alpha_{k+1}$ as follows:

$$\alpha_0 = \alpha$$

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i \cup \gamma \text{ such that there is some FD } \beta \rightarrow \gamma \in F \text{ and } \beta \subseteq \alpha_i$$

Terminate the computation once

$$\alpha_{k+1} = \alpha_k \text{ for some } k$$

Return α_k

Input: α, F

Output: α^+ (w.r.t. F)

Compute a sequence of sets of attrs $\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_k, \alpha_{k+1}$ as follows:

$$\alpha_0 = \alpha$$

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i \cup \gamma \text{ such that there is some FD } \beta \rightarrow \gamma \in F \text{ and } \beta \subseteq \alpha_i$$

Terminate the computation once $\alpha_{k+1} = \alpha_k$ for some k

Return α_k

Exemple: Fie $F = \{A \rightarrow C; B \rightarrow C; CD \rightarrow E\}$, aratati ca $F \Rightarrow AD \rightarrow E$

<i>i</i>	α_i	<i>FD folosit</i>
0	AD	dat
1	ACD	$A \rightarrow C$
2	ACDE	$CD \rightarrow E$
3	ACDE	-

Deci $AD^+ = ACDE$. Deoarece $E \in AD^+$, rezulta ca $F \Rightarrow AD \rightarrow E$

Descompunerea relațiilor

Descompunerea unei relații R

este o mulțime de (sub)relații

$$\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$$

astfel încât fiecare $R_i \subseteq R$ și $R = \cup R_i$

Dacă r este o instanță din R ,
atunci r se descompune în

$$\{r_1, r_2, \dots, r_n\},$$

unde fiecare $r_i = \pi_{R_i}(r)$

Proprietățile descompunerii relațiilor

1. Descompunerea trebuie să **păstreze informațiile**

- Datele din relația originală \equiv Datele din relațiile descompunerii
- Crucial pentru păstrarea consistenței datelor!

2. Descompunerea trebuie să **respecte toate DF**

- Dependențele funcționale din relația originală \equiv reuniunea dependențelor funcționale din relațiile descompunerii
- Facilitează verificarea violărilor DF

1. Descompunerea trebuie să păstreze informațiile

Cu alte cuvinte:
putem reconstrui r
prin jonctiunea proiecțiilor sale
 $\{r_1, r_2, \dots, r_n\}$

Observatie: daca $\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ e o descompunere a R ,
atunci pentru orice instanta r din R , avem

$$r \subseteq \pi_{R_1}(r) \otimes \pi_{R_2}(r) \otimes \dots \otimes \pi_{R_n}(r)$$

Descompunerea relațiilor

$$\begin{aligned} &\{ M_1 = (\text{Cinema}, \text{Time}) \\ &\quad M_2 = (\text{Time}, \text{Title}), \\ &\quad M_3 = (\text{Title}, \text{Director}), \\ &\quad M_4 = (\text{Cinema}, \text{Phone}) \} \end{aligned}$$

e o descompunere a:

MovieList(Title, Director, Cinema, Phone, Time)

Exemplu: relația *MovieList*

<i>Title</i>	<i>Director</i>	<i>Cinema</i>	<i>Phone</i>	<i>Time</i>
The Hobbit	Jackson	Florin Piersic	441111	11:30
The Lord of the Rings 3	Jackson	Florin Piersic	441111	14:30
Adventures of Tintin	Spielberg	Victoria	442222	11:30
The Lord of the Rings 3	Jackson	Victoria	442222	14:00
War Horse	Spielberg	Victoria	442222	16:30

Constrângeri:

- Fiecare film are un regizor
- Fiecare cinematograf are un număr de telefon
- Fiecare cinematograf începe proiecția unui singur film al un moment dat

MovieList(Title, Director, Cinema, Phone, Time)

M1

<i>Cinema</i>	<i>Time</i>
Florin Piersic	11:30
Florin Piersic	14:30
Victoria	11:30
Victoria	14:00
Victoria	16:30

M2

<i>Time</i>	<i>Title</i>
11:30	The Hobbit
14:30	The Lord of the Rings 3
11:30	Adventures of Tintin
14:00	The Lord of the Rings 3
16:30	War Horse

M3

<i>Title</i>	<i>Director</i>
The Hobbit	Jackson
The Lord of the Rings 3	Jackson
Adventures of Tintin	Spielberg
War Horse	Spielberg

M4

<i>Cinema</i>	<i>Phone</i>
Florin Piersic	441111
Victoria	442222

<i>Title</i>	<i>Director</i>	<i>Cinema</i>	<i>Phone</i>	<i>Time</i>
The Hobbit	Jackson	Florin Piersic	441111	11:30
The Hobbit	Jackson	Victoria	442222	11:30
The Lord of the Rings 3	Jackson	Florin Piersic	441111	14:30
Adventures of Tintin	Spielberg	Florin Piersic	441111	11:30
Adventures of Tintin	Spielberg	Victoria	442222	11:30
The Lord of the Rings 3	Jackson	Victoria	442222	14:00
War Horse	Spielberg	Victoria	442222	16:30

Descompunere cu joncțiune fără pierderi (Lossless - Join Decomposition)

O descompunere a R (având DF F) în
 $\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$
este o

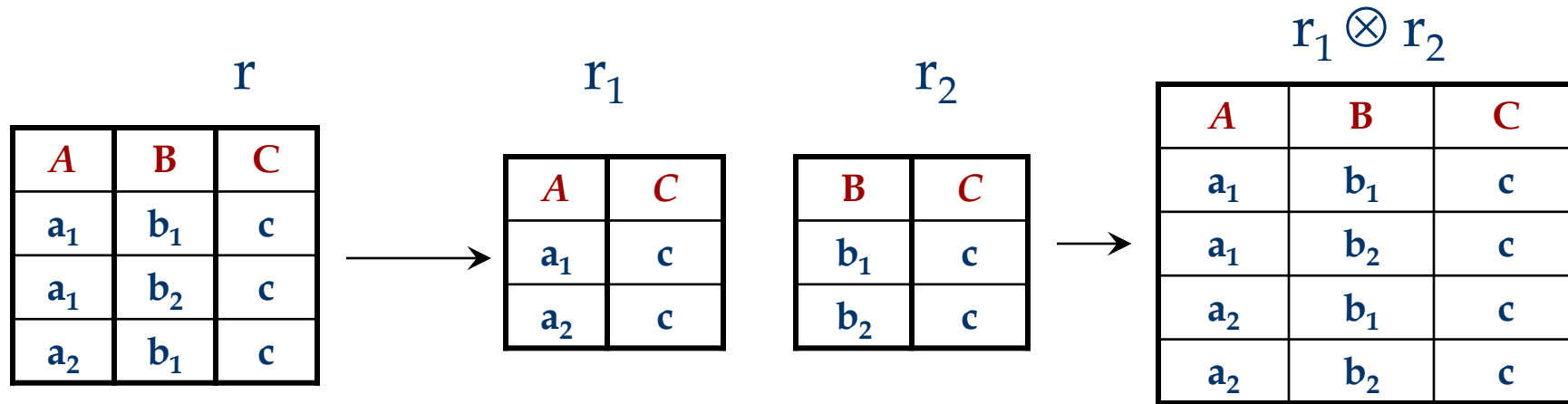
descompunere cu joncțiuni fără pierderi
cu respectarea mulțimii F

dacă

$$\pi_{R_1}(r) \otimes \pi_{R_2}(r) \otimes \dots \otimes \pi_{R_n}(r) = r$$

pentru orice instanță r din R ce satisface F .

Fie descompunere lui $R(A,B,C)$
in $\{R_1(AC), R_2(BC)\}$



- Deoarece $r \subset r_1 \otimes r_2$, descompunerea **nu**
este cu joncțiuni fără pierderi
(*lossy decomposition*)

Întrebarea 1

*Cum determinăm dacă $\{R_1, R_2\}$
este o descompunere cu joncțiuni fără
pierderi a lui R ?*

Întrebarea 2

*Cum descompunem R în $\{R_1, R_2\}$ astfel
încât aceasta e
cu joncțiuni fără pierderi?*

Întrebarea 1

*Cum determinăm dacă $\{R_1, R_2\}$
este o descompunere cu joncțiuni fără
pierderi a lui R ?*

Teorema: Descompunerea lui R (cu mulțimea F de DF) în $\{R_1, R_2\}$ este cu joncțiuni fără pierderi cu respectarea mulțimii F dacă și numai dacă :

$$F \Rightarrow R_1 \cap R_2 \rightarrow R_1$$

sau

$$F \Rightarrow R_1 \cap R_2 \rightarrow R_2$$

Întrebarea 2

Cum descompunem R în $\{R_1, R_2\}$ astfel încât aceasta e cu joncțiuni fără pierderi?

Corolar: Dacă $\alpha \rightarrow \beta$ este satisfăcută pe R și $\alpha \cap \beta = \emptyset$, atunci descompunerea lui R în $\{R - \beta, \alpha\beta\}$ este o descompunere cu joncțiuni fără pierderi.

Teoremă

Dacă

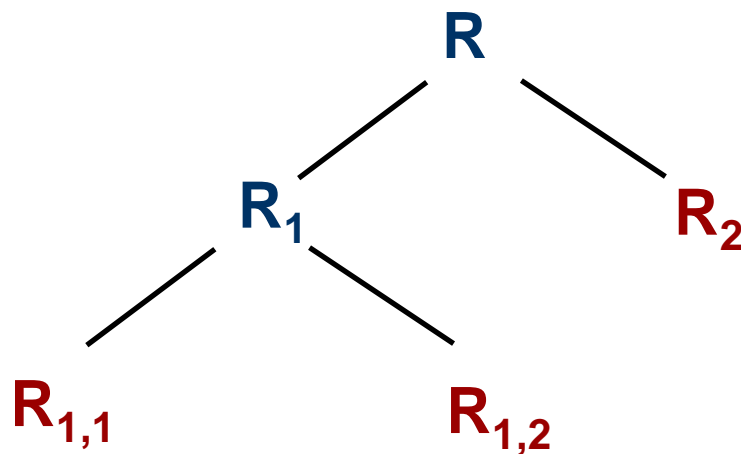
$\{\mathbf{R}_1, \mathbf{R}_2\}$ este o descompunere cu joncțiuni fără pierderi a lui \mathbf{R} ,

și dacă

$\{\mathbf{R}_{1,1}, \mathbf{R}_{1,2}\}$ e o descompunere cu joncțiuni fără pierderi a lui \mathbf{R}_1 ,

atunci

$\{\mathbf{R}_{1,1}, \mathbf{R}_{1,2}, \mathbf{R}_2\}$ e o descompunere cu joncțiuni fără pierderi a \mathbf{R} :



MovieList

<i>Title</i>	<i>Director</i>	<i>Cinema</i>	<i>Phone</i>	<i>Time</i>
The Hobbit	Jackson	Florin Piersic	441111	11:30
The Lord of the Rings 3	Jackson	Florin Piersic	441111	14:30
Adventures of Tintin	Spielberg	Victoria	442222	11:30
War Horse	Spielberg	Victoria	442222	14:00
The Lord of the Rings 3	Jackson	Victoria	442222	16:30

Cinema-Screens

<i>Cinema</i>	<i>Phone</i>	<i>Time</i>	<i>Title</i>
F. Piersic	441111	11:30	The Hobbit
F. Piersic	441111	14:30	The Lord of the Rings 3
Victoria	442222	11:30	Adventures of Tintin
Victoria	442222	14:00	War Horse
Victoria	442222	16:30	The Lord of the Rings 3

Movie

<i>Title</i>	<i>Director</i>
The Hobbit	Jackson
The Lord of the Rings 3	Jackson
Adventures of Tintin	Spielberg
War Horse	Spielberg

Movie

<i>Title</i>	<i>Director</i>
The Hobbit	Jackson
The Lord of the Rings 3	Jackson
Adventures of Tintin	Spielberg
War Horse	Spielberg

Cinema-Screens

<i>Cinema</i>	<i>Phone</i>	<i>Time</i>	<i>Title</i>
F. Piersic	441111	11:30	The Hobbit
F. Piersic	441111	14:30	The Lord of the Rings 3
Victoria	442222	11:30	Adventures of Tintin
Victoria	442222	14:00	War Horse
Victoria	442222	16:30	The Lord of the Rings 3

Screens

<i>Cinema</i>	<i>Time</i>	<i>Title</i>
F. Piersic	11:30	The Hobbit
F. Piersic	14:30	Saving Private Ryan
Victoria	11:30	Adventures of Tintin
Victoria	14:00	War Horse
Victoria	16:30	Saving Private Ryan

Cinema

<i>Cinema</i>	<i>Phone</i>
F. Piersic	441111
Victoria	442222

Proiecția dependențelor funcționale

- Proiecția mulțimii F pe α (notată prin F_α) este mulțimea acelor dependențe din F^+ care implică doar attribute din α , adică:

$$F_\alpha = \{ \beta \rightarrow \gamma \in F^+ \mid \beta\gamma \subseteq \alpha \}$$

- Algoritm pentru determinare proiecției DF:

Input: α, F

Output: F_α

result = \emptyset ;

for each $\beta \subseteq \alpha$ do

$T = \beta^+$ (w.r.t. F)

 result = result $\cup \{ \beta \rightarrow T \cap \alpha \}$

return result

Complexitatea
e exponențială

Descompunere cu păstrarea dependențelor

Descompunerea $\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$ a relației R e cu **păstrarea dependențelor** dacă $(F_{R_1} \cup F_{R_2} \cup \dots \cup F_{R_n})$ și F sunt echivalente, adică:

$$(F_{R_1} \cup F_{R_2} \cup \dots \cup F_{R_n}) \Rightarrow F \text{ și}$$
$$F \Rightarrow (F_{R_1} \cup F_{R_2} \cup \dots \cup F_{R_n})$$