



BAZE DE DATE

Procesarea interogărilor

Mihaela Elena Breabăn

© FII 2024-2025

Cuprins

- ▶ Etapele procesării interogărilor
- ▶ Expresii în algebra relațională
 - ▶ Operatori (revizitat)
 - ▶ Expresii
 - ▶ Echivalența expresiilor
- ▶ Estimarea costului interogării
- ▶ Algoritmi pentru evaluarea operatorilor/expresiilor în algebra relațională
- ▶ Oracle: planuri de execuție, statistici, indicații pentru optimizer

Etapele procesării interogărilor

► Compilarea interogării

► Analiza sintactică

► Parsare

- Arbore de parsare

► Analiza semantică

► Preprocesare și rescriere în AR

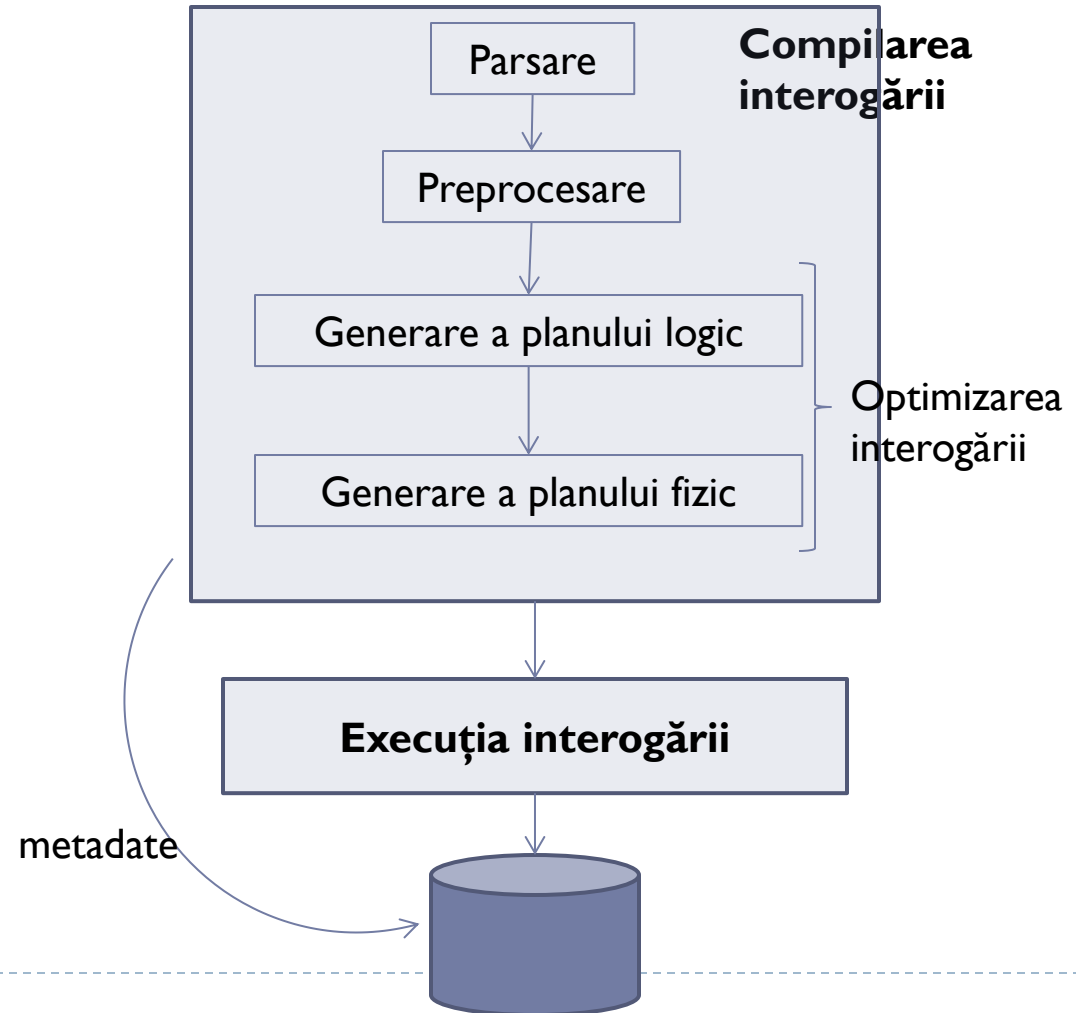
► Selecția reprezentării algebrice

- Plan logic

► Selecția algoritmilor și a ordinii

- Plan fizic

► Execuția planului fizic



Analiza sintactică

- ▶ Gramatică independentă de context

`<query> ::= <SFV> | (<query>)`

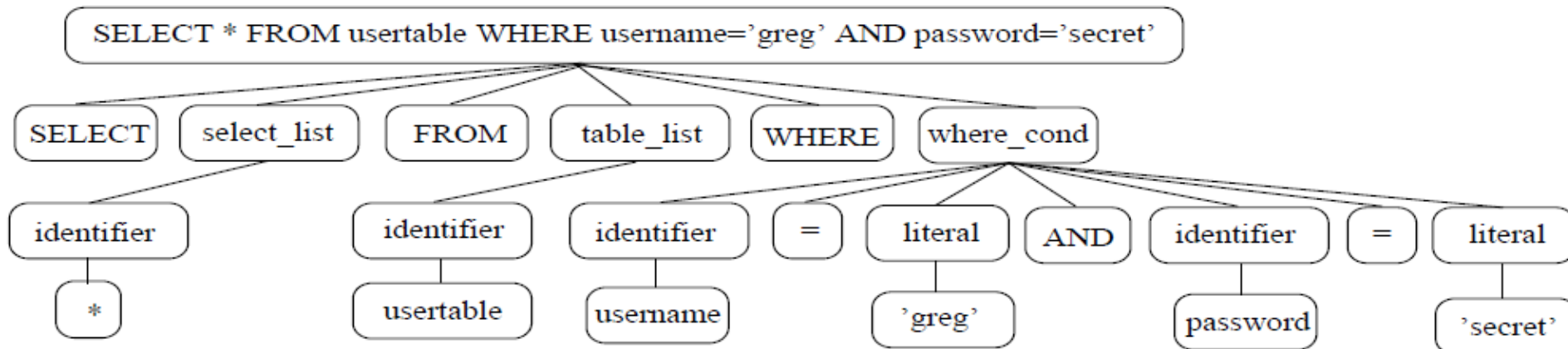
`<SFV> ::= SELECT <select_list> FROM <table_list> WHERE <where_cond>`

`<select_list> ::= <identifier>, <select_list> | <identifier>`

`<table_list> ::= <identifier>, <table_list> | <identifier >`

...

- ▶ Rezultatul parsării: arbore de parsare



- ▶ Gramatica SQL in forma BNF: <http://savage.net.au/SQL/index.html>

Analiza semantică

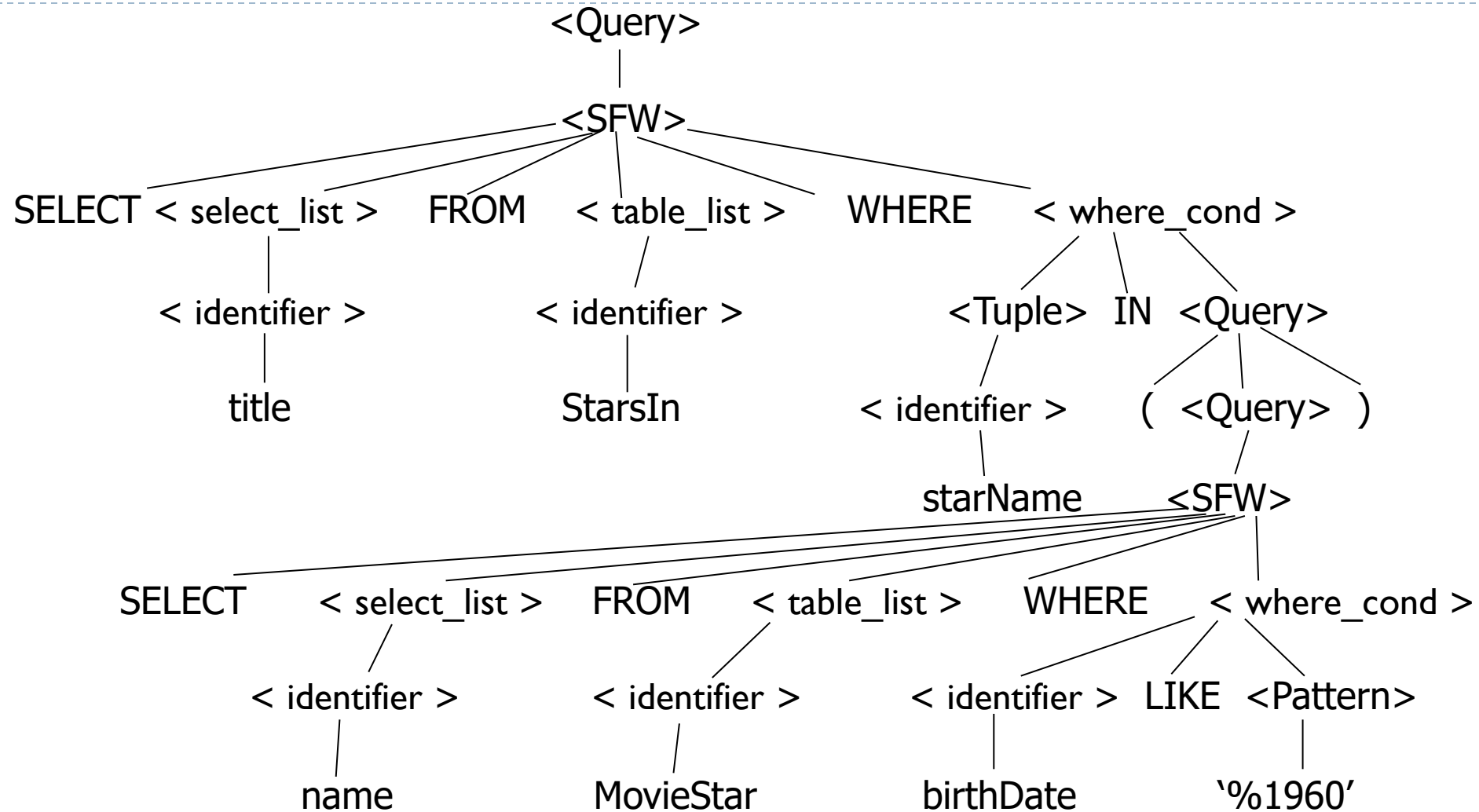
Preprocesare

- ▶ Rescrierea apelurilor la view-uri
- ▶ Verificarea existenței tabelelor
- ▶ Verificarea existenței atributelor și a ambiguității
- ▶ Verificarea tipurilor

Dacă arborele de parsare este valid el este transformat într-o expresie cu operatori din algebra relațională

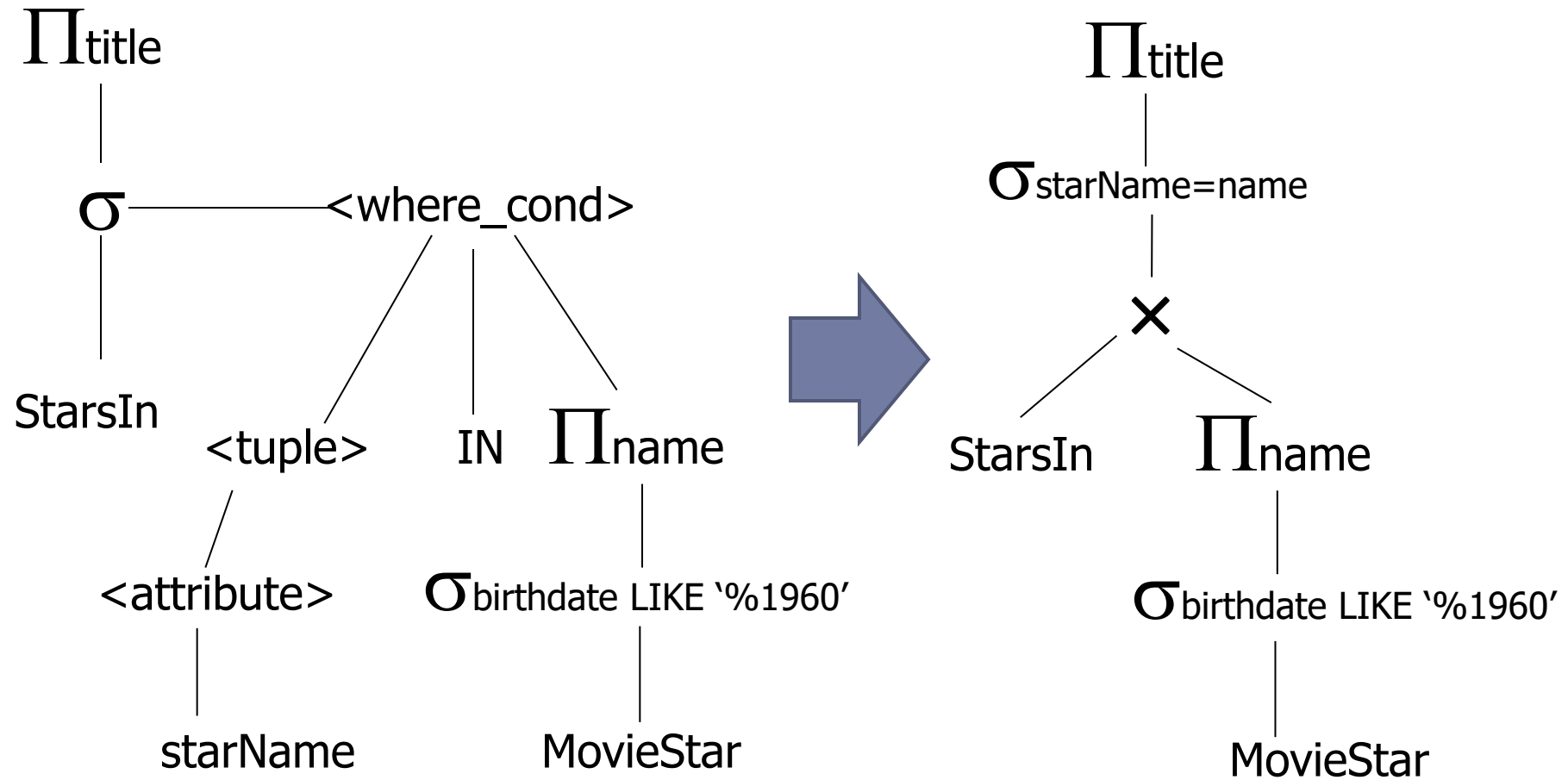
Analiza semantică

Rescriere în AR (1)



Analiza semantică

Rescriere în AR (2)



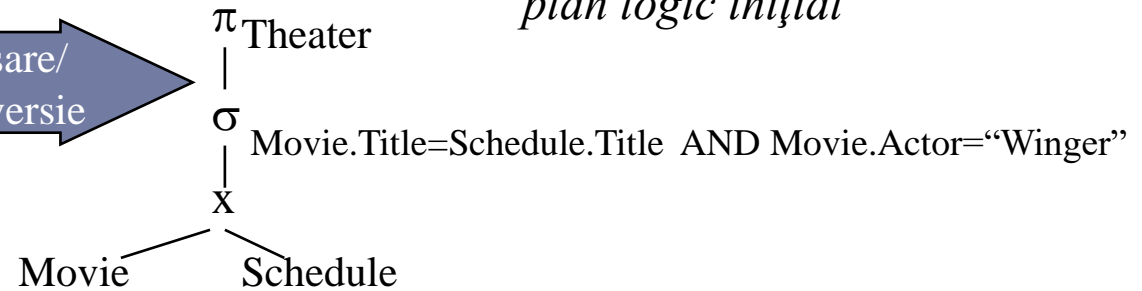
Analiza semantică

Optimizarea planului logic

```

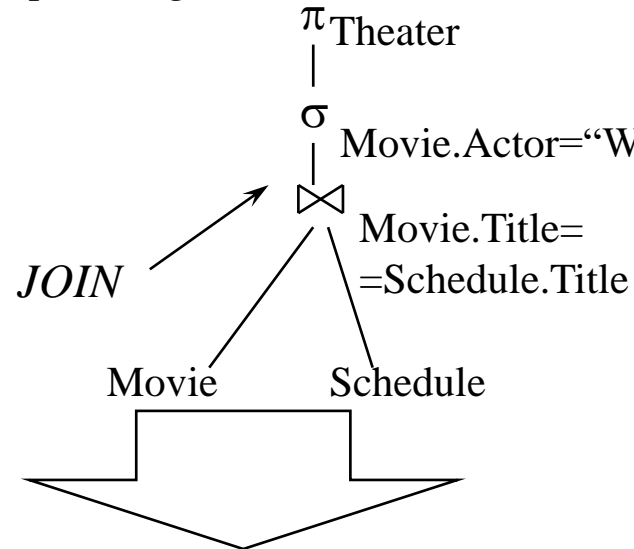
SELECT Theater
FROM Movie, Schedule
WHERE
  Movie.Title = Schedule.Title
  AND M.Actor="Winger"
  
```

Parsare/
Conversie



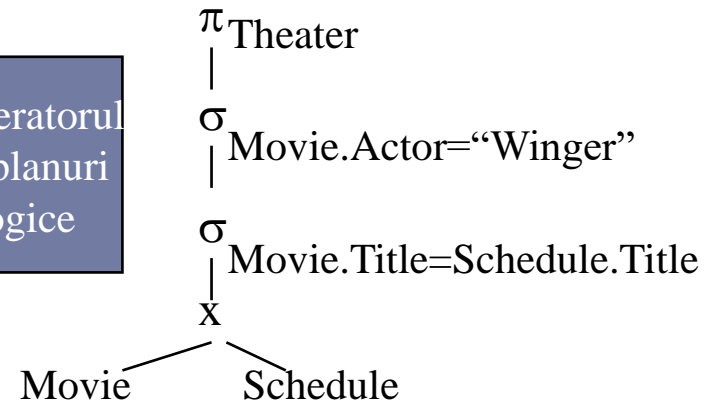
Generatorul de planuri logice
aplică rescrieri algebrice

alt plan logic



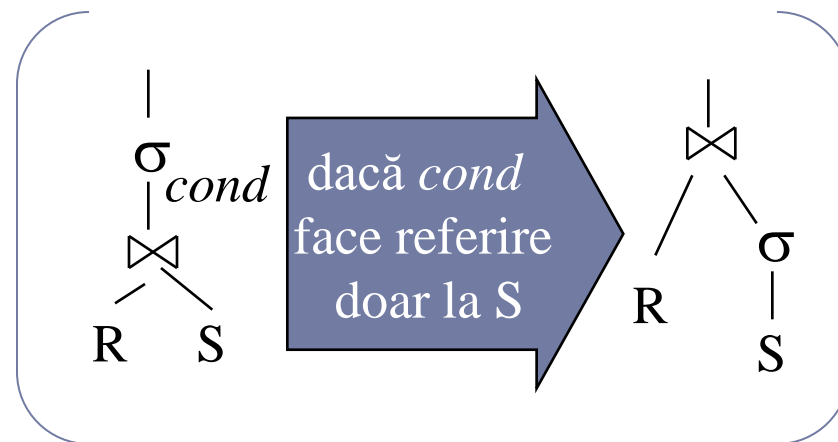
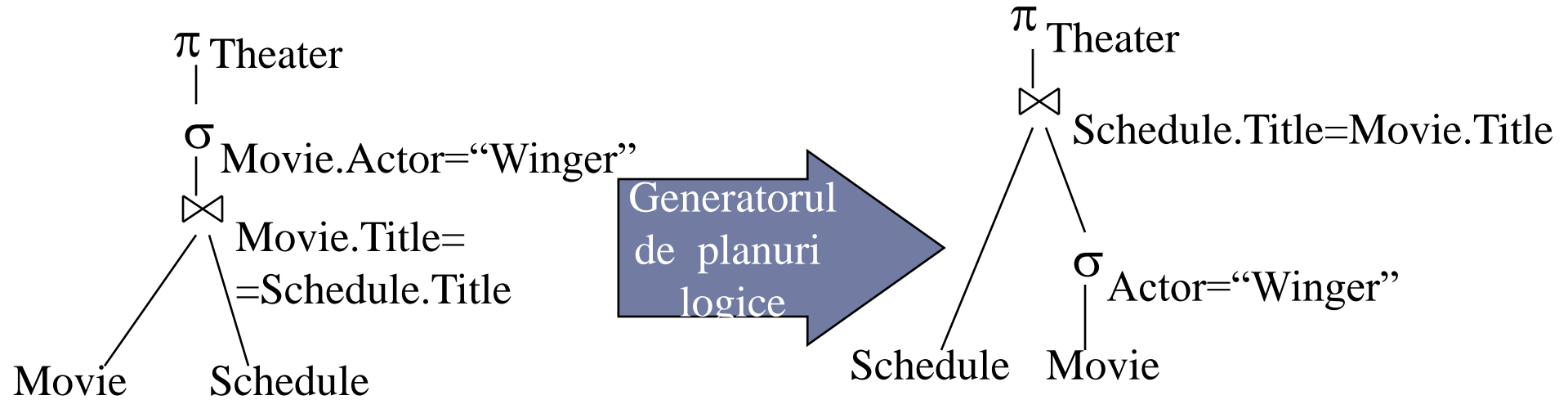
Generatorul
de planuri
logice

alt plan logic



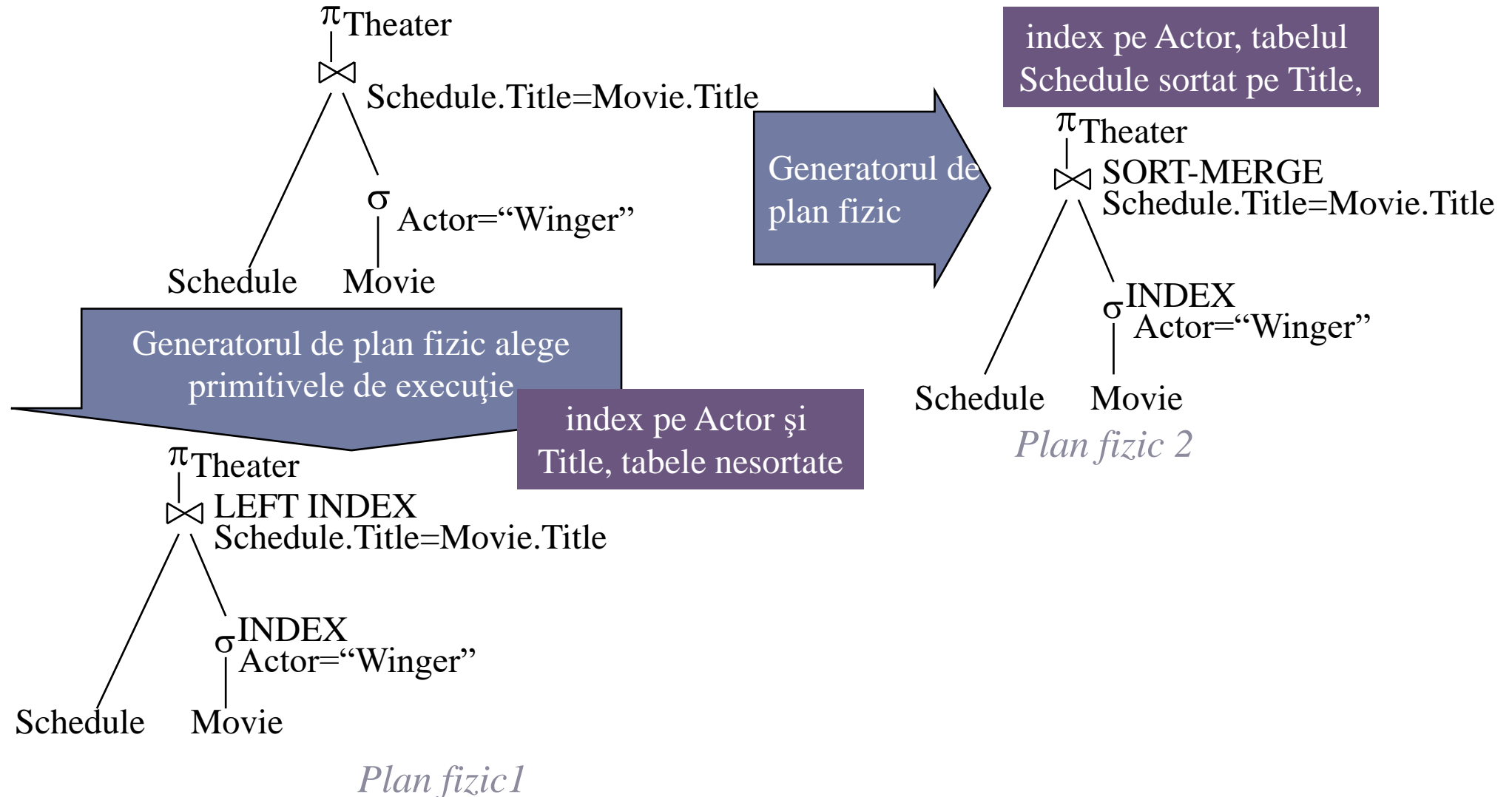
Analiza semantică

Optimizarea planului logic



Analiza semantică

Optimizarea planului fizic



Operatori în algebra relațională (revizitat)

- ▶ Șase operatori de bază
 - ▶ Selecția: σ
 - ▶ Proiecția: Π
 - ▶ Reuniunea: \cup
 - ▶ Diferența: $-$
 - ▶ Produsul cartezian: \times
 - ▶ Redenumirea: ρ
- ▶ Operatorii iau ca intrare una sau două relații și generează o nouă relație

Operatorul de selecție

► Relația r

A	B	C	D
α	α	1	7
α	β	5	7
β	β	12	3
β	β	23	10

► $\sigma_{A=B \wedge D > 5}(r)$

A	B	C	D
α	α	1	7
β	β	23	10

Operatorul de proiecție

► Relația r

A	B	C
α	10	1
α	20	1
β	30	1
β	40	2

► $\Pi_{A,C}(r)$

A	C
α	1
α	1
β	1
β	2

A	C
α	1
β	1
β	2

Operatorul reuniune

► Relațiile r și s

A	B
α	1
α	2
β	1

r

A	B
α	2
β	3

s

► $r \cup s$:

A	B
α	1
α	2
β	1
β	3

Operatorul diferență

► Relațiile r și s

A	B
α	1
α	2
β	1

r

A	B
α	2
β	3

s

► $r-s$

A	B
α	1
β	1

Produsul cartezian

► Relațiile r și s

A	B
α	1
β	2

r

C	D	E
α	10	a
β	10	a
β	20	b
γ	10	b

s

► $r \times s$

A	B	C	D	E
α	1	α	10	a
α	1	β	10	a
α	1	β	20	b
α	1	γ	10	b
β	2	α	10	a
β	2	β	10	a
β	2	β	20	b
β	2	γ	10	b

Operatorul de redenumire

▶ $\rho_X(E)$ - returnează expresia E sub numele X

▶ Dacă o expresie E în algebra relațională are aritate n atunci

$$\rho_{X(A_1, A_2, \dots, A_n)}(E)$$

returnează rezultatul expresiei E sub numele X și attributele redenumite în A_1, A_2, \dots, A_n

.

Compunerea operatorilor

► $\sigma_{A=C}(r \times s)$

1. $r \times s$

A	B	C	D	E
α	1	α	10	a
α	1	β	10	a
α	1	β	20	b
α	1	γ	10	b
β	2	α	10	a
β	2	β	10	a
β	2	β	20	b
β	2	γ	10	b

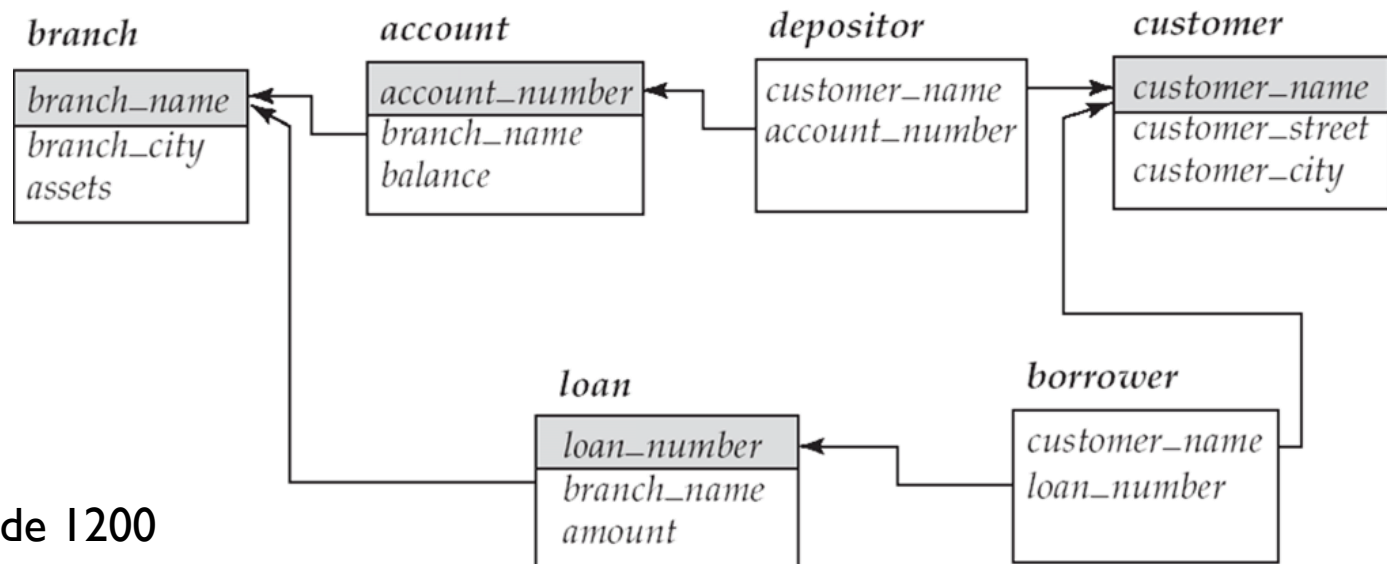
2. $\sigma_{A=C}(r \times s)$

A	B	C	D	E
α	1	α	10	a
β	2	β	10	a
β	2	β	20	b

Expresii în algebra relațională

- ▶ Cea mai simplă expresie este o relație în baza de date
- ▶ Fie E_1 și E_2 expresii în algebra relațională; următoarele sunt expresii în algebra relațională:
 - ▶ $E_1 \cup E_2$
 - ▶ $E_1 - E_2$
 - ▶ $E_1 \times E_2$
 - ▶ $\sigma_p(E_1)$, P este un predicat peste atribute din E_1
 - ▶ $\Pi_S(E_1)$, S este o listă de atribute din E_1
 - ▶ $\rho_x(E_1)$, x este noul nume pentru rezultatul lui E_1

Exprimarea interogărilor în algebra relațională



- ▶ Împumuturile (loan) mai mari de 1200

$$\sigma_{amount > 1200} (loan)$$

- ▶ Numărul împrumutului (loan_number) pentru împrumuturi mai mari de 1200

$$\Pi_{loan_number} (\sigma_{amount > 1200} (loan))$$

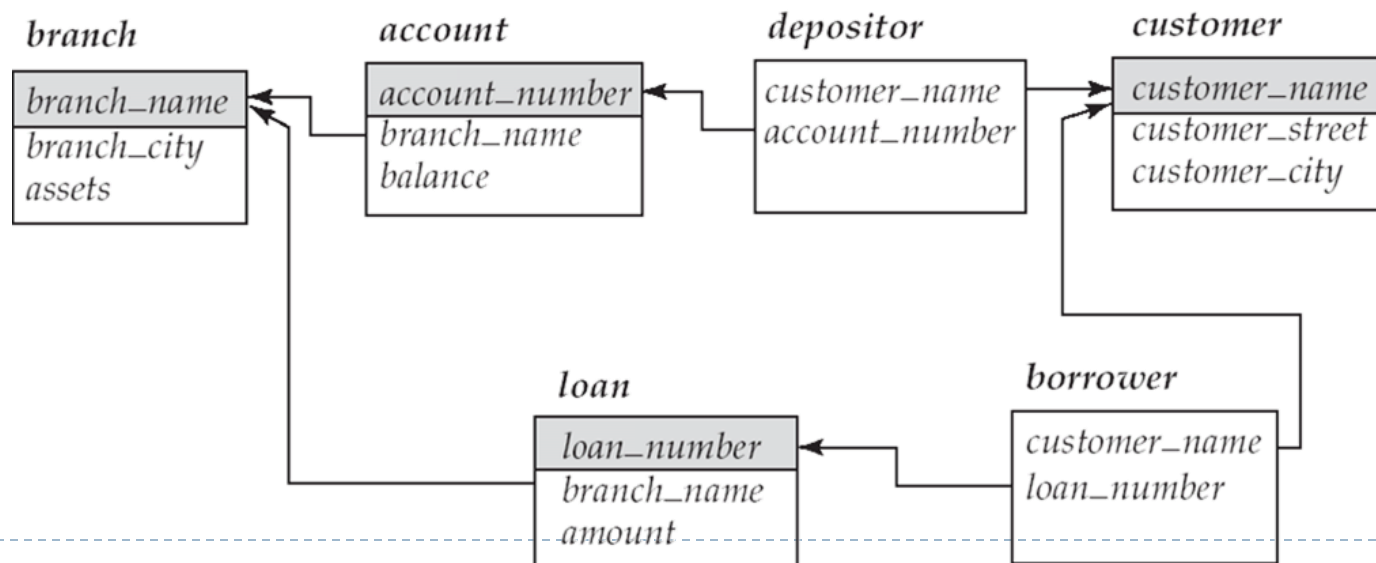
- ▶ Numele clienților care au un împrumut, un depozit sau ambele la bancă

$$\Pi_{customer_name} (borrower) \cup \Pi_{customer_name} (depositor)$$

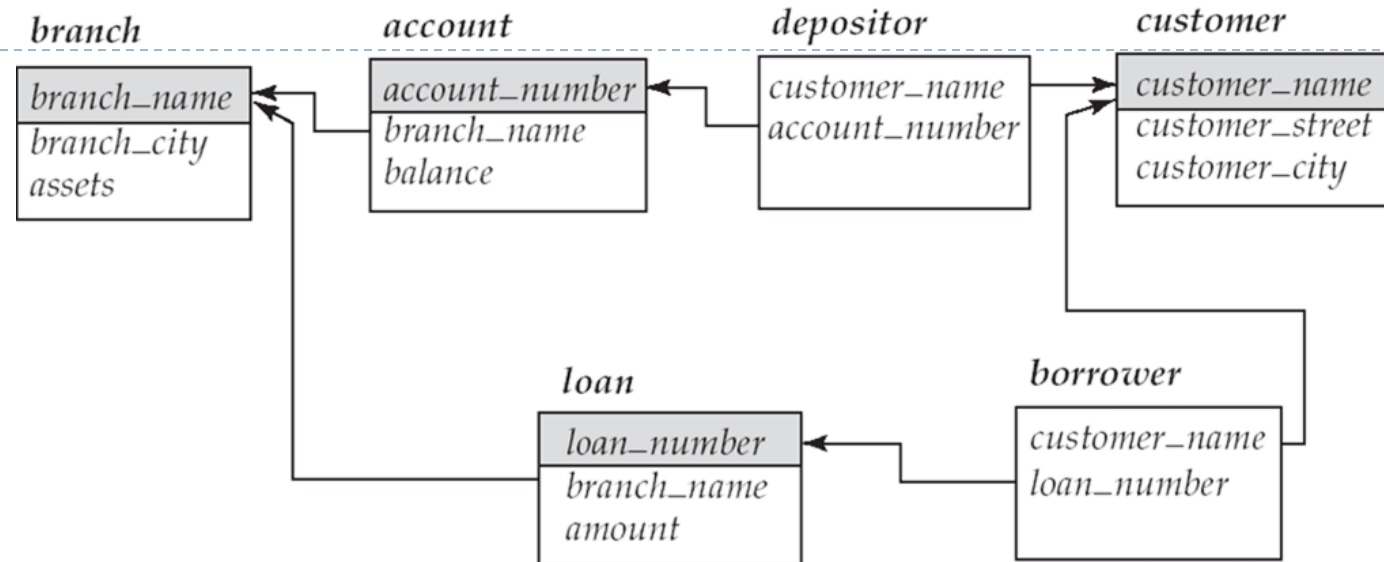
Interogări

► Numele tuturor clienților care au un împrumut la filiala Perryridge

- $\Pi_{\text{customer_name}} (\sigma_{\text{branch_name} = \text{"Perryridge"}} (\sigma_{\text{borrower.loan_number} = \text{loan.loan_number}} (\text{borrower} \times \text{loan})))$
- $\Pi_{\text{customer_name}} (\sigma_{\text{loan.loan_number} = \text{borrower.loan_number}} (\sigma_{\text{branch_name} = \text{"Perryridge"}} (\text{loan})) \times \text{borrower})$



Interogări



- ▶ Numele tuturor clienților care au un împrumut la filiala Perryridge dar nu au un depozit la nici o filială a băncii

$\Pi_{customer_name} (\sigma_{branch_name = "Perryridge"}$

$(\sigma_{borrower.loan_number = loan.loan_number}(borrower \times loan))) -$

$\Pi_{customer_name}(depositor)$

Operatori adiționali

- ▶ Intersecția pe mulțimi
 - ▶ Joinul natural
 - ▶ Agregarea
 - ▶ Joinul extern
 - ▶ Teta-joinul
-
- ▶ Toți cu excepția agregării pot fi exprimați utilizând operatori de bază

Intersecția pe mulțimi

► Relațiile r și s

A	B
α	1
α	2
β	1

r

A	B
α	2
β	3

s

► $r \cap s$

A	B
α	2

Joinul natural

- ▶ Relațiile r și s

A	B	C	D
α	1	α	a
β	2	γ	a
γ	4	β	b
α	1	γ	a
δ	2	β	b

r

B	D	E
1	a	α
3	a	β
1	a	γ
2	b	δ
3	b	ϵ

s

- ▶ $r \bowtie s$

A	B	C	D	E
α	1	α	a	α
α	1	α	a	γ
α	1	γ	a	α
α	1	γ	a	γ
δ	2	β	b	δ

- ▶ $\Pi_{r.A, r.B, r.C, r.D, s.E} (\sigma_{r.B = s.B \wedge r.D = s.D} (r \times s))$

Agregare

Exemplu

- ▶ Cea mai mare balanță din tabela account

account

<i>account_number</i>
<i>branch_name</i>
<i>balance</i>

$$\Pi_{balance}(account) - \Pi_{account.balance}$$
$$(\sigma_{account.balance < d.balance} (account \times \rho_d(account)))$$

Funcții de agregare și operatori

- ▶ Funcții de agregare:

- ▶ avg
- ▶ min
- ▶ max
- ▶ sum
- ▶ count
- ▶ var

- ▶ Operatorul de agregare în algebra relațională

$$G_1, G_2, \dots, G_n \mathcal{G}_{F_1(A_1), F_2(A_2), \dots, F_n(A_n)}(E)$$

- ▶ E – expresie în algebra relațională
- ▶ G_1, G_2, \dots, G_n o listă de atribute de grupare (poate fi goală)
- ▶ Fiecare F_i este o funcție de agregare
- ▶ Fiecare A_i este un atribut

Agregare

Exemplu

- ▶ relația r

A	B	C
α	α	7
α	β	7
β	β	3
β	β	10

- ▶ $g_{\text{sum}(c)}(r)$

sum(c)
27

- ▶ Care operații de agregare nu pot fi exprimate pe baza celorlalți operatori relaționali?

Join extern

relația loan

<i>loan_number</i>	<i>branch_name</i>	<i>amount</i>
L-170	Downtown	3000
L-230	Redwood	4000
L-260	Perryridge	1700

relația borrower

<i>customer_name</i>	<i>loan_number</i>
Jones	L-170
Smith	L-230
Hayes	L-155

- ▶ *loan* ⋈ *borrower* (join natural)

<i>loan_number</i>	<i>branch_name</i>	<i>amount</i>	<i>customer_name</i>
L-170	Downtown	3000	Jones
L-230	Redwood	4000	Smith

- ▶ *loan* ⋈_l *borrower* (join extern stânga)

<i>loan_number</i>	<i>branch_name</i>	<i>amount</i>	<i>customer_name</i>
L-170	Downtown	3000	Jones
L-230	Redwood	4000	Smith
L-260	Perryridge	1700	<i>null</i>

Join extern

➤ Join extern dreapta

loan ⋈_▷ *borrower*

<i>loan_number</i>	<i>branch_name</i>	<i>amount</i>	<i>customer_name</i>
L-170	Downtown	3000	Jones
L-230	Redwood	4000	Smith
L-155	<i>null</i>	<i>null</i>	Hayes

➤ Join extern plin

loan ⋈_◁ *borrower*

<i>loan_number</i>	<i>branch_name</i>	<i>amount</i>	<i>customer_name</i>
L-170	Downtown	3000	Jones
L-230	Redwood	4000	Smith
L-260	Perryridge	1700	<i>null</i>
L-155	<i>null</i>	<i>null</i>	Hayes

Exemple interogări

- ▶ Numele clienților care au un împrumut și un depozit la bancă

$$\Pi_{customer_name} (borrower) \cap \Pi_{customer_name} (depositor)$$

- ▶ Numele clienților care au un împrumut la bancă și suma împrumutată

$$\Pi_{customer_name, loan_number, amount} (borrower \bowtie loan)$$

- ▶ Clienții care au depozite la ambele filiale Downtown și Uptown

$$\Pi_{customer_name} (\sigma_{branch_name = \text{“Downtown”}} (depositor \bowtie account)) \cap \\ \Pi_{customer_name} (\sigma_{branch_name = \text{“Uptown”}} (depositor \bowtie account))$$

Echivalența expresiilor

- ▶ Două expresii în algebra relațională sunt echivalente dacă acestea generează același set de tuple pe orice instanță a bazei de date
 - ▶ ordinea tuplelor e irelevantă
- ▶ Obs: SQL lucrează cu multiseturi
 - ▶ în versiunea multiset a algebrei relaționale echivalența se verifică relativ la multiseturi de tuple

Reguli de echivalență

1. selecția pe bază de conjuncții e echivalentă cu o secvență de selecții

$$\sigma_{\theta_1 \wedge \theta_2}(E) = \sigma_{\theta_1}(\sigma_{\theta_2}(E))$$

2. operațiile de selecție sunt comutative

$$\sigma_{\theta_1}(\sigma_{\theta_2}(E)) = \sigma_{\theta_2}(\sigma_{\theta_1}(E))$$

3. într-un șir de proiecții consecutive doar ultima efectuată e necesară

$$\Pi_{L_1}(\Pi_{L_2}(\dots(\Pi_{L_n}(E))\dots)) = \Pi_{L_1}(E)$$

4. selecțiile pot fi combinate cu produsul cartezian și teta joinurile

- a. $\sigma_{\theta}(E_1 \times E_2) = E_1 \bowtie_{\theta} E_2$

- b. $\sigma_{\theta_1}(E_1 \bowtie_{\theta_2} E_2) = E_1 \bowtie_{\theta_1 \wedge \theta_2} E_2$

Reguli de echivalență

5. operațiile de tetra-join și de join natural sunt comutative

$$E_1 \bowtie_{\theta} E_2 = E_2 \bowtie_{\theta} E_1$$

6. a) Operațiile de join natural sunt asociative

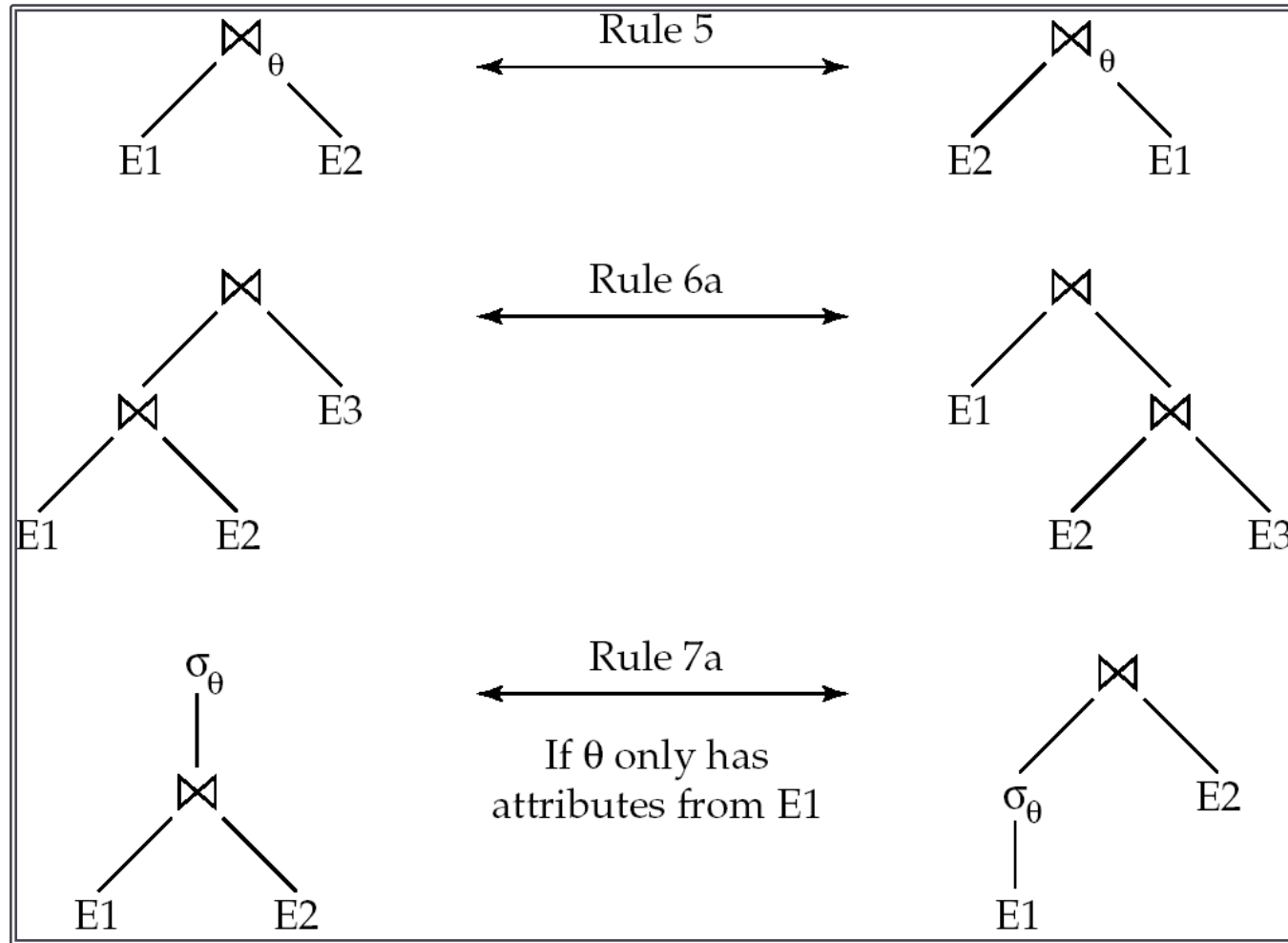
$$(E_1 \bowtie E_2) \bowtie E_3 = E_1 \bowtie (E_2 \bowtie E_3)$$

- b) Operațiile de tetra-join sunt asociative astfel:

$$(E_1 \bowtie_{\theta_1} E_2) \bowtie_{\theta_2 \wedge \theta_3} E_3 = E_1 \bowtie_{\theta_1 \wedge \theta_3} (E_2 \bowtie_{\theta_2} E_3)$$

unde θ_2 implică attribute doar din E_2 și E_3

Reguli de echivalență



Reguli de echivalență

7. Distribuția selecției asupra operatorului de theta-join

- a) când θ_0 implică atribute doar din una dintre expresiile (E_1) din join:

$$\sigma_{\theta_0}(E_1 \bowtie_{\theta} E_2) = (\sigma_{\theta_0}(E_1)) \bowtie_{\theta} E_2$$

- b) când θ_1 implică numai atribute din E_1 și θ_2 implică numai atribute din E_2 :

$$\sigma_{\theta_1 \wedge \theta_2}(E_1 \bowtie_{\theta} E_2) = (\sigma_{\theta_1}(E_1)) \bowtie_{\theta} (\sigma_{\theta_2}(E_2))$$

Reguli de echivalență

8. Distribuția proiecției asupra tetra-joinului

a) dacă θ implică numai atribute din $L_1 \cup L_2$:

$$\Pi_{L_1 \cup L_2}(E_1 \bowtie_{\theta} E_2) = (\Pi_{L_1}(E_1)) \bowtie_{\theta} (\Pi_{L_2}(E_2))$$

b) Fie joinul $E_1 \bowtie_{\theta} E_2$

Fie L_1 și L_2 mulțimi de atribute din E_1 și respectiv E_2

Fie L_3 atribute din E_1 care sunt implicate în condiția de join θ , dar nu sunt în $L_1 \cup L_2$,

Fie L_4 atribute din E_2 care sunt implicate în condiția de join θ , dar nu sunt în $L_1 \cup L_2$

$$\Pi_{L_1 \cup L_2}(E_1 \bowtie_{\theta} E_2) = \Pi_{L_1 \cup L_2}((\Pi_{L_1 \cup L_3}(E_1)) \bowtie_{\theta} (\Pi_{L_2 \cup L_4}(E_2)))$$

Reguli de echivalență

9. Operațiile de reuniune și intersecție pe mulțimi sunt comutative

$$E_1 \cup E_2 = E_2 \cup E_1$$

$$E_1 \cap E_2 = E_2 \cap E_1$$

10. Reuniunea și intersecția pe mulțimi sunt asociative

$$(E_1 \cup E_2) \cup E_3 = E_1 \cup (E_2 \cup E_3)$$

$$(E_1 \cap E_2) \cap E_3 = E_1 \cap (E_2 \cap E_3)$$

11. Selecția se distribuie peste \cup , \cap și $-$.

$$\sigma_\theta (E_1 - E_2) = \sigma_\theta (E_1) - \sigma_\theta(E_2)$$

similar pentru \cup și \cap în locul $-$

$$\sigma_\theta (E_1 - E_2) = \sigma_\theta(E_1) - E_2$$

similar pentru \cap în locul $-$, dar nu pentru \cup

12. Proiecția se distribuie peste reuniune

$$\Pi_L(E_1 \cup E_2) = (\Pi_L(E_1)) \cup (\Pi_L(E_2))$$



Optimizarea planului logic



Optimizări

Împingerea selecțiilor

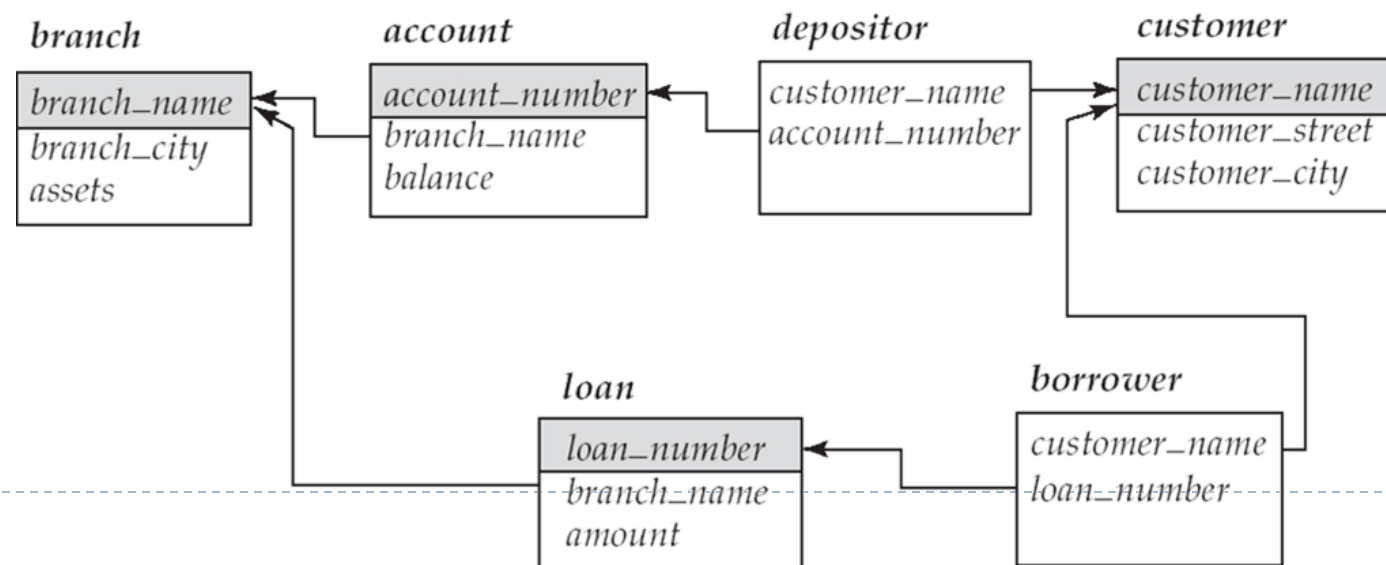
- ▶ Numele clienților care au un cont la o filială din Brooklyn

$\Pi_{customer_name}(\sigma_{branch_city = \text{“Brooklyn”}}(branch \bowtie (account \bowtie depositor)))$

- ▶ Pe baza regulii 7a

$\Pi_{customer_name}((\sigma_{branch_city = \text{“Brooklyn”}}(branch)) \bowtie (account \bowtie depositor))$

- ▶ Realizarea selecției în primele etape reduce dimensiunea relației care participă în join



Optimizări

Împingerea selecțiilor

- ▶ Numele clienților cu un cont la o filială din Brooklyn care are balanța peste 1000

$$\Pi_{customer_name}(\sigma_{branch_city = \text{“Brooklyn”} \wedge balance > 1000} (branch \bowtie (account \bowtie depositor)))$$

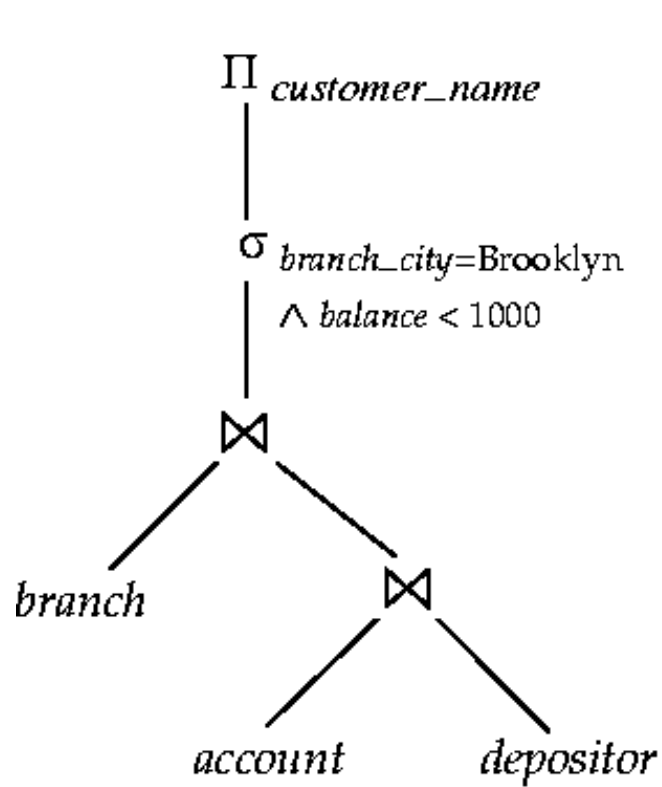
- ▶ Regula 6a (asociativitatea la join)

$$\Pi_{customer_name}((\sigma_{branch_city = \text{“Brooklyn”} \wedge balance > 1000} (branch \bowtie account)) \bowtie depositor)$$

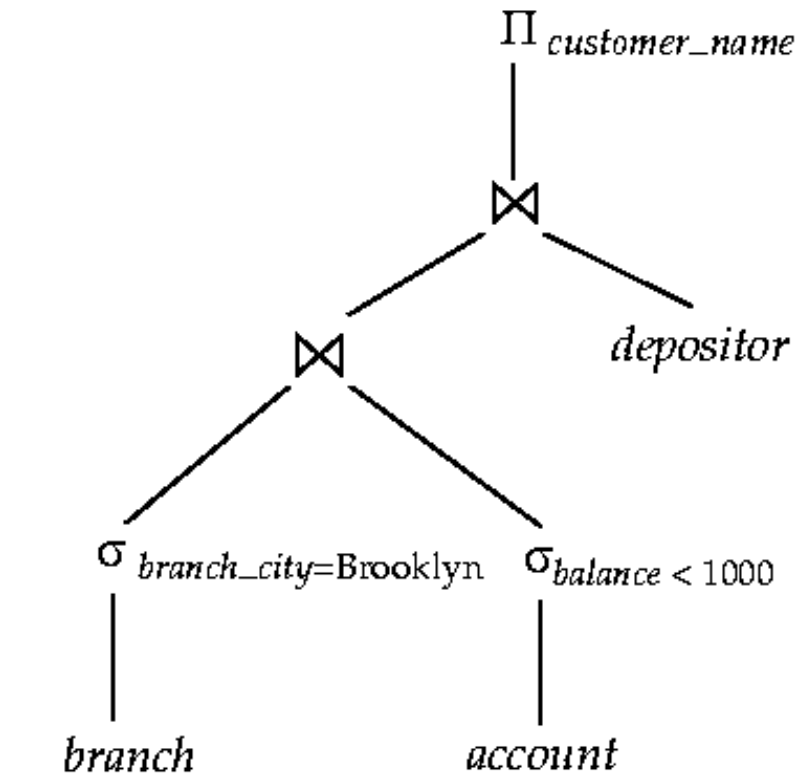
- ▶ A doua formă furnizează oportunitatea de a efectua selecția devreme

$$\sigma_{branch_city = \text{“Brooklyn”}} (branch) \bowtie \sigma_{balance > 1000} (account)$$

Vizualizare sub formă de arbori



(a) Initial expression tree



(b) Tree after multiple transformations

Optimizări

Împingerea proiecțiilor

$$\Pi_{customer_name}((\sigma_{branch_city = \text{“Brooklyn”}} (branch) \bowtie account) \bowtie depositor)$$

- ▶ Eliminarea atributelor care nu sunt necesare din rezultatele intermediare

$$\Pi_{customer_name} ((\Pi_{account_number} (\sigma_{branch_city = \text{“Brooklyn”}} (branch) \bowtie account) \bowtie depositor))$$

- ▶ Realizarea devreme a proiecției reduce dimensiunea relațiilor din join

Optimizări

Ordonarea joinurilor

- ▶ Pentru orice relații r_1, r_2 , și r_3 ,

$$(r_1 \bowtie r_2) \bowtie r_3 = r_1 \bowtie (r_2 \bowtie r_3)$$

- ▶ Dacă $r_2 \bowtie r_3$ are dimensiuni mari și $r_1 \bowtie r_2$ e de dimensiuni mai mici, alegem

$$(r_1 \bowtie r_2) \bowtie r_3$$

- ▶ Exemplu

$$\Pi_{customer_name} ((\sigma_{branch_city = \text{“Brooklyn”}}(branch)) \bowtie (account \bowtie depositor))$$

Numai un mic procent din clienți au conturi în filiale din Brooklyn deci e mai bine să se execute mai întâi

$$\sigma_{branch_city = \text{“Brooklyn”}}(branch) \bowtie account$$

- ▶ Pentru n relații există $(2(n - 1))! / (n - 1)!$ ordonări diferite pentru join.
 - ▶ $n = 7 \rightarrow 665280$, $n = 10 \rightarrow 176$ miliarde!
- ▶ Pentru a reduce numărul de ordonări supuse evaluării se poate utiliza programarea dinamică

Estimarea costurilor la nivelul planurilor logice

- ▶ l_r : dimensiunea unui tuplu din r .
- ▶ n_r : numărul de tuple în relația r .
- ▶ b_r : numărul de blocuri conținând tuple din r .
- ▶ f_r : *factorul de bloc* al lui r — nr. de tuple din r ce intră într-un bloc
- ▶ Dacă tuplele lui r sunt stocate împreună într-un fișier, atunci:

$$b_r = \left\lceil \frac{n_r}{f_r} \right\rceil$$

- ▶ $V(A, r)$: numărul de valori distincte care apar în r pentru atributul A ; e echivalent cu dimensiunea proiecției $\Pi_A(r)$ (pe seturi).
- ▶ Estimarea vizează numărul de tuple rezultat iar optimizarea vizează reducerea numărului și dimensiunii tuplelor cât mai devreme

Estimarea dimensiunii selecției

- ▶ $\sigma_{A=v}(r)$
 - ▶ $n_r / V(A,r)$: numărul de înregistrări ce satisfac selecția
 - ▶ pentru atribut cheie: 1
- ▶ $\sigma_{A \leq v}(r)$ (cazul $\sigma_{A \geq v}(r)$ este simetric)
 - ▶ dacă sunt disponibile $\min(A,r)$ și $\max(A,r)$
 - ▶ 0 dacă $v < \min(A,r)$
 - ▶ $n_r \cdot \frac{v - \min(A,r)}{\max(A,r) - \min(A,r)}$ altfel
 - ▶ dacă sunt disponibile histograme se poate rafina estimarea anterioară
 - ▶ în lipsa oricărei informații statistice dimensiunea se consideră a fi $n_r / 2$.

Estimarea dimensiunii selecțiilor complexe

- ▶ Selectivitatea unei condiții θ_i este probabilitatea ca un tuplu în relația r să satisfacă θ_i
 - ▶ dacă numărul de tuple ce satisfac θ_i este s_i , selectivitatea e s_i / n_r
- ▶ Conjunția (în ipoteza independenței)

$$\sigma_{\theta_1 \wedge \theta_2 \wedge \dots \wedge \theta_n}(r): n_r * \frac{s_1 * s_2 * \dots * s_n}{n_r^n}$$

- ▶ Disjuncția

$$\sigma_{\theta_1 \vee \theta_2 \vee \dots \vee \theta_n}(r): n_r * \left(1 - \left(1 - \frac{s_1}{n_r} \right) * \left(1 - \frac{s_2}{n_r} \right) * \dots * \left(1 - \frac{s_n}{n_r} \right) \right)$$

- ▶ Negația

$$\sigma_{\neg\theta}(r): n_r - \text{size}(\sigma_{\theta}(r))$$

Estimarea dimensiunii joinului

- ▶ pentru produsul cartezian $r \times s$: $n_r * n_s$ tuple, fiecare tuplu ocupă $s_r + s_s$ octeți
- ▶ pentru $r \bowtie s$
 - ▶ $R \cap S = \emptyset$: $n_r * n_s$
 - ▶ $R \cap S$ este o (super)cheie pentru R: $\leq n_s$
 - ▶ $R \cap S = \{A\}$ nu e cheie pentru R sau S: sau
$$\frac{n_r * n_s}{V(A, s)} \quad \frac{n_r * n_s}{V(A, r)}$$
 - ▶ minimul este considerat de acuratețe mai mare
 - ▶ dacă sunt disponibile histograme se calculează formulele anterioare pe fiecare celulă pentru cele două relații

Estimarea dimensiunii pentru alte operații

- ▶ Proiecția $\Pi_A(r) : V(A,r)$
- ▶ Agregarea: ${}_A\mathbf{g}_F(r) : V(A,r)$
- ▶ Operații pe mulțimi
 - ▶ $r \cup s : n_r + n_s$
 - ▶ $r \cap s : \min(n_r, n_s)$
 - ▶ $r - s : n_r$
- ▶ Join extern
 - ▶ $r \sqsupseteq s : \dim(r \bowtie s) + n_r$
 - ▶ $r \sqsupseteq \sqsubset s = \dim(r \bowtie s) + n_r + n_s$
- ▶ $\sigma_{\theta_1}(r) \cap \sigma_{\theta_2}(r)$ echivalent cu $\sigma_{\theta_1} \sigma_{\theta_2}(r)$

- ▶ Estimatorii furnizează în general margini superioare

Optimizarea planului fizic



Estimarea costului la nivelul planului fizic

- ▶ Costul e în general măsurat ca durata de timp necesară pentru returnarea răspunsului
- ▶ Accesul la disc este costul predominant
 - ▶ Numărul de căutări * t_S (timpul pentru o localizare a unui bloc pe disc)
 - ▶ Numărul de blocuri citite/scrise * t_T (timpul de transfer)
 - ▶ costul CPU e ignorat pentru simplitate
- ▶ Costul pentru transferul a b blocuri plus S căutări pe disc:
$$b * t_T + S * t_S$$

Algoritmi pentru selecție

- ▶ **Căutare liniară (full scan)**
 - ▶ cost: $b_r * t_T + t_S$
 - ▶ dacă selecția e pe un atribut cheie, costul estimativ: $b_r/2 * t_T + t_S$
 - ▶ poate fi aplicată indiferent de condiția de selecție, ordonarea înregistrărilor în fișier, existența indecșilor
- ▶ **Căutarea binară**
 - ▶ aplicabilă pentru condiții de selecție de tip egalitate pe atributul după care e ordonat fișierul
 - ▶ costul găsirii primului tuplu ce satisface condiția: $\lceil \log_2(b_r) \rceil * (t_T + t_S)$; dacă există mai multe tuple se adaugă timpul de transfer al blocurilor
- ▶ **Scanarea indexului – condiția de selecție = cheia de căutare a indexului**
 - ▶ index primar pe cheie candidat, egalitate: $(h_i + 1) * (t_T + t_S)$
 - ▶ index primar pe non-cheie, egalitate: $h_i * (t_T + t_S) + t_S + t_T * b$
 - ▶ index secundar, egalitate, n tuple returnate: $(h_i + n) * (t_T + t_S)$
 - ▶ index primar, comparație: $h_i * (t_T + t_S) + t_S + t_T * b$

Algoritmi pentru selecții complexe

- ▶ **Conjuncție:** $\sigma_{\theta_1 \wedge \theta_2 \wedge \dots \wedge \theta_n}(r)$
 - ▶ utilizarea unui index pentru θ_i și verificarea celorlalte condiții pe măsură ce tuplele sunt aduse în memorie
 - ▶ utilizarea unui index multi-cheie
 - ▶ intersecția identificatoarelor (pointerilor la înregistrări) returnați de indecșii asociați condițiilor urmată de citirea înregistrărilor

- ▶ **Disjuncție:** $\sigma_{\theta_1 \vee \theta_2 \vee \dots \vee \theta_n}(r)$
 - ▶ reuniunea identificatoarelor

Algoritmi pentru join

- ▶ Algoritmi:
 - ▶ join cu bucle imbricate (nested-loop join)
 - ▶ join indexat cu bucle imbricate
 - ▶ join cu fuziune (merge join)
 - ▶ join hash
- ▶ Alegerea se face pe baza estimării costului
- ▶ Sunt necesare estimări realizate la nivelul planului logic

Join cu bucle imbricate

- ▶ Pentru theta-join: $r \bowtie_{\theta} s$

for each tuplu t_r **in** r **do begin**

for each tuplu t_s **in** s **do begin**

if (t_r, t_s) satisface θ

 adaugă $t_r \cdot t_s$ la rezultat

end

end

- ▶ relația interioară – s
- ▶ relația exterioară – r
- ▶ Costul estimat: $(n_r * b_s + b_r) * t_T + (n_r + b_r) * t_S$

Join indexat cu bucle imbricate

- ▶ Căutările în index pot înlocui scanarea fișierelor dacă:
 - ▶ e un echi-join sau join natural
 - ▶ există un index pe atributul de join al relației interioare
- ▶ pentru fiecare tuplu t_r în relația exterioară r se utilizează indexul pentru localizarea tuplelor din s care satisfac condiția de join cu tuplul t_r
- ▶ costul: $b_r (t_r + t_s) + n_r * c$
 - ▶ c este costul parcurgerii indexului pentru a returna tuple din s care se potrivesc pentru un tuplu din r (echivalent cu selecția pe s cu condiția de join)
 - ▶ dacă există indecși pentru ambele relații, relația cu mai puține tuple va fi preferată drept relație exterioară în join
- ▶ **Exemplu**
 - ▶ $depositor \bowtie customer$, $depositor$ relație exterioară
 - ▶ $customer$ are asociat un index primar de tip B^+ -arbore pe atributul de join $customer-name$, cu 20 intrări pe nod
 - ▶ $customer$: 10,000 tuple ($f=25$), $depositor$: 5000 tuple ($f=50$)
 - ▶ costul: $100 + 5000 * 5 = 25,100$ blocuri transferate și căutări (corespondentul în joinul neindexat: 2,000,100 blocuri transferate și = 5100 căutări)

Join cu fuziune

- ▶ **Algoritm**

1. se sortează ambele relații în funcție de atributul de join
2. are loc fuziunea relațiilor

- ▶ **Poate fi utilizat doar pentru echi-joinuri**

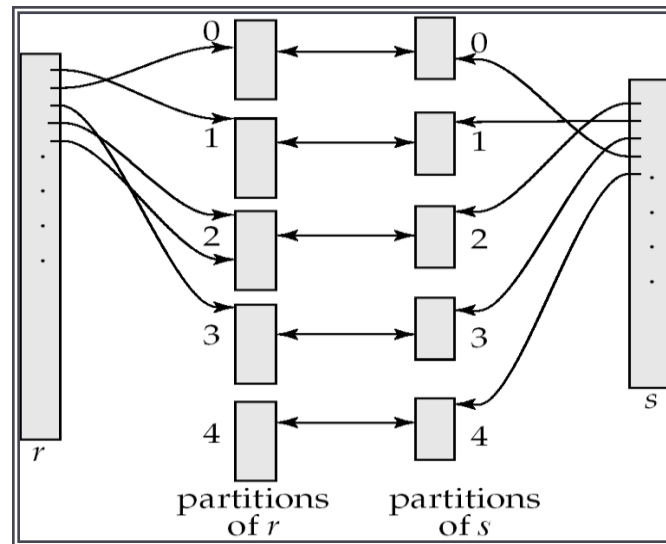
- ▶ **Costul:**

- ▶ $b_r + b_s$ blocuri transferate
- ▶ + costul sortării relațiilor

- ▶ **Join cu fuziune hibrid:** o relație este sortată iar a doua are un index secundar pe atributul de join de tip B⁺-arbore
 - ▶ relația sortată fuzionează cu intrările de pe nivelul frunză al arborelui

Join hash

- ▶ aplicabil pentru echi-join
- ▶ o funcție hash h ce ia la intrare attributele de join partiționează tuplele ambelor relații în blocuri ce încap în memorie
 - ▶ r_1, r_2, \dots, r_n
 - ▶ s_1, s_2, \dots, s_n
- ▶ tuplele din r_i sunt comparate doar cu tuplele din s_i



Joinuri complexe

- ▶ **Condiție de tip conjuncție:** $r \bowtie_{\theta_1 \wedge \theta_2 \wedge \dots \wedge \theta_n} S$
 - ▶ bucle imbricate cu verificarea tuturor condițiilor sau
 - ▶ se calculează un join mai simplu $r \bowtie_{\theta_i} S$ și se realizează selecția pentru celelalte condiții

- ▶ **Condiție de tip disjuncție:** $r \bowtie_{\theta_1 \vee \theta_2 \vee \dots \vee \theta_n} S$
 - ▶ bucle imbricate cu verificarea condițiilor sau
 - ▶ calculul reuniunii joinurilor individuale (aplicabil numai versiunii set a reuniunii)
 $(r \bowtie_{\theta_1} S) \cup (r \bowtie_{\theta_2} S) \cup \dots \cup (r \bowtie_{\theta_n} S)$

Eliminarea duplicatelor

- ▶ Sortarea tuplelor sau hashing
- ▶ Fiindca e costisitoare, SGBD-urile nu elimina duplicatele decat la cerere

Evaluarea expresiilor

- ▶ Operatorii sunt evaluați la nivelul arborelui (planului logic) începând de la ultimul nivel și urcând spre rădăcină
- ▶ Opțiuni:
 - ▶ Materializarea: (sub)expresiile sunt materializate sub forma unor relații stocate pe disc pentru a fi date ca intrare operatorilor de pe nivele superioare
 - ▶ Pipelining: tuple sunt date ca intrare operațiilor de pe nivele superioare imediat ce acestea sunt returnate în timpul procesării unui operator
 - nu e întotdeauna posibil (sortare, join hash)
 - ▶ varianta la cerere: nivelul superior solicită noi tuple
 - ▶ varianta la producător: operatorul scrie în buffer tuple iar părintele scoate din buffer (la umplerea bufferului există timpi de așteptare)

Planuri de executie Oracle

- ▶ Inregistreaza planul:

EXPLAIN PLAN

[SET STATEMENT_ID = <id>]

[INTO <table_name>]

FOR <sql_statement>;

- ▶ Pentru orice comanda DML

- ▶ Vizualizeaza planul:

SELECT * FROM table(dbms_xplan.display);

sau

select * from plan_table [where statement_id = <id>];

<http://www.oracle.com/technetwork/database/bi-datawarehousing/twp-explain-the-explain-plan-052011-393674.pdf>

Planuri de executie

Oracle-statistici

- ▶ **Table statistics**
 - ▶ Number of rows
 - ▶ Number of blocks
 - ▶ Average row length
- ▶ **Column statistics**
 - ▶ Number of distinct values (NDV) in column
 - ▶ Number of nulls in column
 - ▶ Data distribution (histogram)
- ▶ **Index statistics**
 - ▶ Number of leaf blocks
 - ▶ Levels
 - ▶ Clustering factor
- ▶ **System statistics**
 - ▶ I/O performance and utilization
 - ▶ CPU performance and utilization

Planuri de executie

Colectarea statisticilor

- ▶ Proceduri Oracle din pachetul DBMS_STATS:
 - ▶ GATHER_INDEX_STATS
 - ▶ Index statistics
 - ▶ GATHER_TABLE_STATS
 - ▶ Table, column, and index statistics
 - ▶ GATHER_SCHEMA_STATS
 - ▶ Statistics for all objects in a schema
 - ▶ GATHER_DATABASE_STATS
 - ▶ Statistics for all objects in a database
 - ▶ GATHER_SYSTEM_STATS
 - ▶ CPU and I/O statistics for the system

- ▶ http://docs.oracle.com/cd/B10500_01/server.920/a96533/stats.htm

Planuri de executie

Hints

- ▶ In cadrul unei comenzi DML este posibil a instrui optimizerul Oracle asupra planului de executie:

```
SELECT /*+ USE_MERGE(employees departments) */ * FROM employees, departments WHERE employees.department_id =  
    departments.department_id;
```

http://docs.oracle.com/cd/B19306_01/server.102/b14200/sql_elements006.htm

Bibliografie

- ▶ Capitolele 13 și 14 în *Avi Silberschatz Henry F. Korth S. Sudarshan. “Database System Concepts”*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math; 4th edition