数据库系统

哈尔滨工业大学（深圳）

第21讲 数据库查询优化技术

本讲学习什么?

基本内容

1. 为什么要及什么是查询优化?
2. 查询优化的基本思路
3. 逻辑查询优化
4. 物理查询优化

重点与难点

- 理解查询优化的整体思路是什么?
- 理解并掌握基于关系代数进行逻辑查询优化的方法和原则
- 理解物理查询优化中的代价估算方法

什么是查询优化?

(1)为什么需要查询优化

关系数据库的执行效率问题

➢一个例子:

$$\pi_{Sname}(\sigma_{SC.C\#=Course.C\# \wedge Student.S\#=SC.S\# \wedge Cname='DB'}(Student \times SC \times Course))$$

- Student: 10000个学生记录(每年2500，四年)
- Course: 1000门课程记录
- SC: 10000*50条选课记录(注：10000学生，每人选50门课程)
- Student× SC×Course

10000*50*10000*1000条记录=$5*10^{12}$条记录

什么是查询优化?

(1)为什么需要查询优化

关系代数操作执行次序对效率的影响

➢如下三条关系代数语句表示同样的检索需求，但哪一个更好呢?

$\pi_{S\#,Sname,Score}(\sigma_{Cname="DB"}((Student \bowtie SC) \bowtie Course))$

10000　500000

500000　1000

500000

$\pi_{S\#,Sname,Score}(Student \bowtie (SC \bowtie (\sigma_{Cname="DB"}(Course))))$

1000

500000　1

10000　2500(约)

2500(约)

关系代数操作次序是否很重要呢?

$\pi_{S\#,Sname,Score}(\pi_{S\#,Sname}(Student) \bowtie (SC \bowtie (\pi_{C\#}(\sigma_{Cname="DB"}(Course)))))$

查询优化

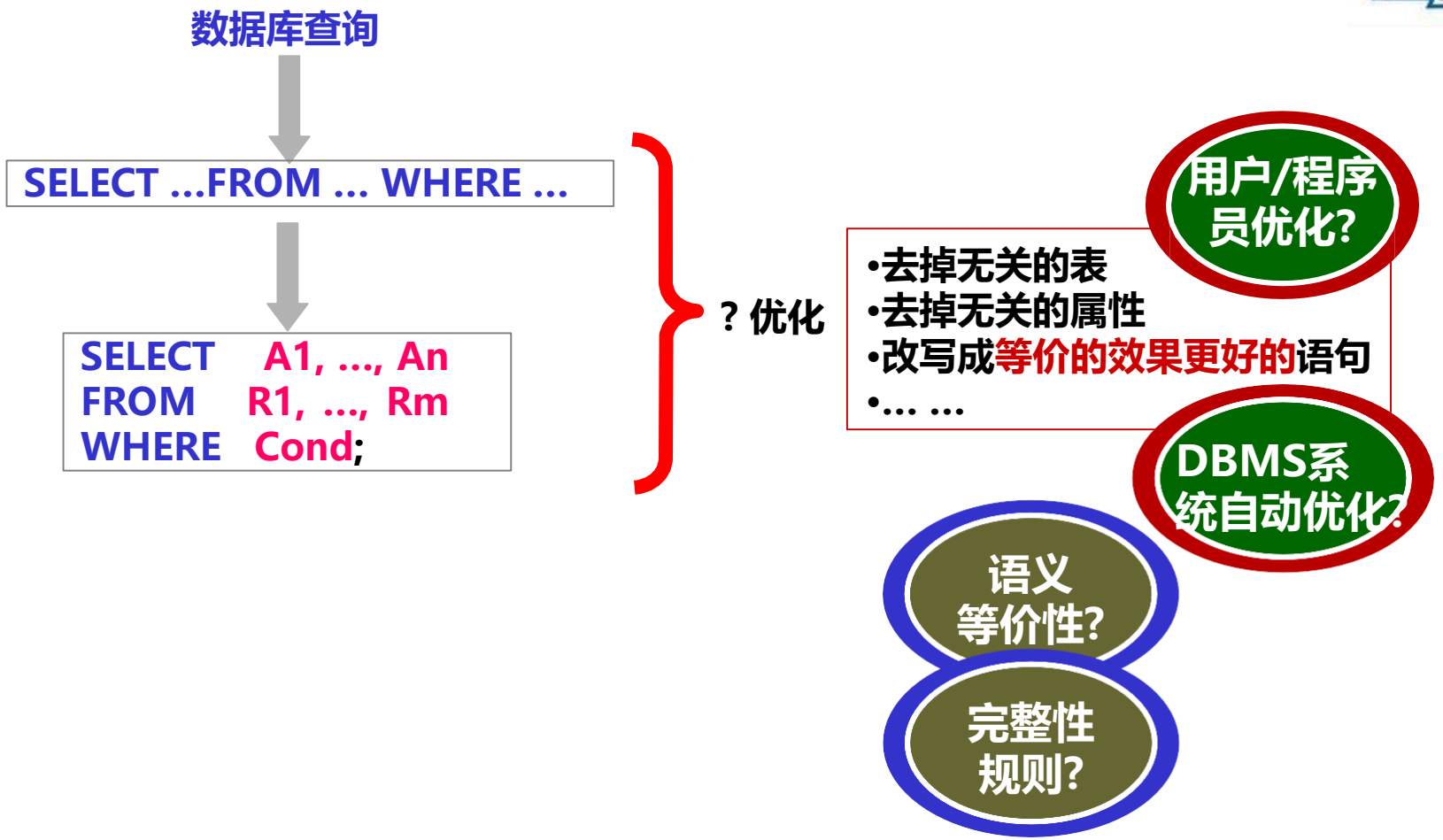
“如何使数据库查询的执行时间最短?”

三个层面进行优化:

- **语义优化:** 利用模型的语义及完整性规则，优化查询。
- **语法优化---逻辑层优化:** 利用语法结构，优化操作执行顺序;
- **执行优化---物理层优化:** 存取路径和执行算法的选择与执行次序优化;

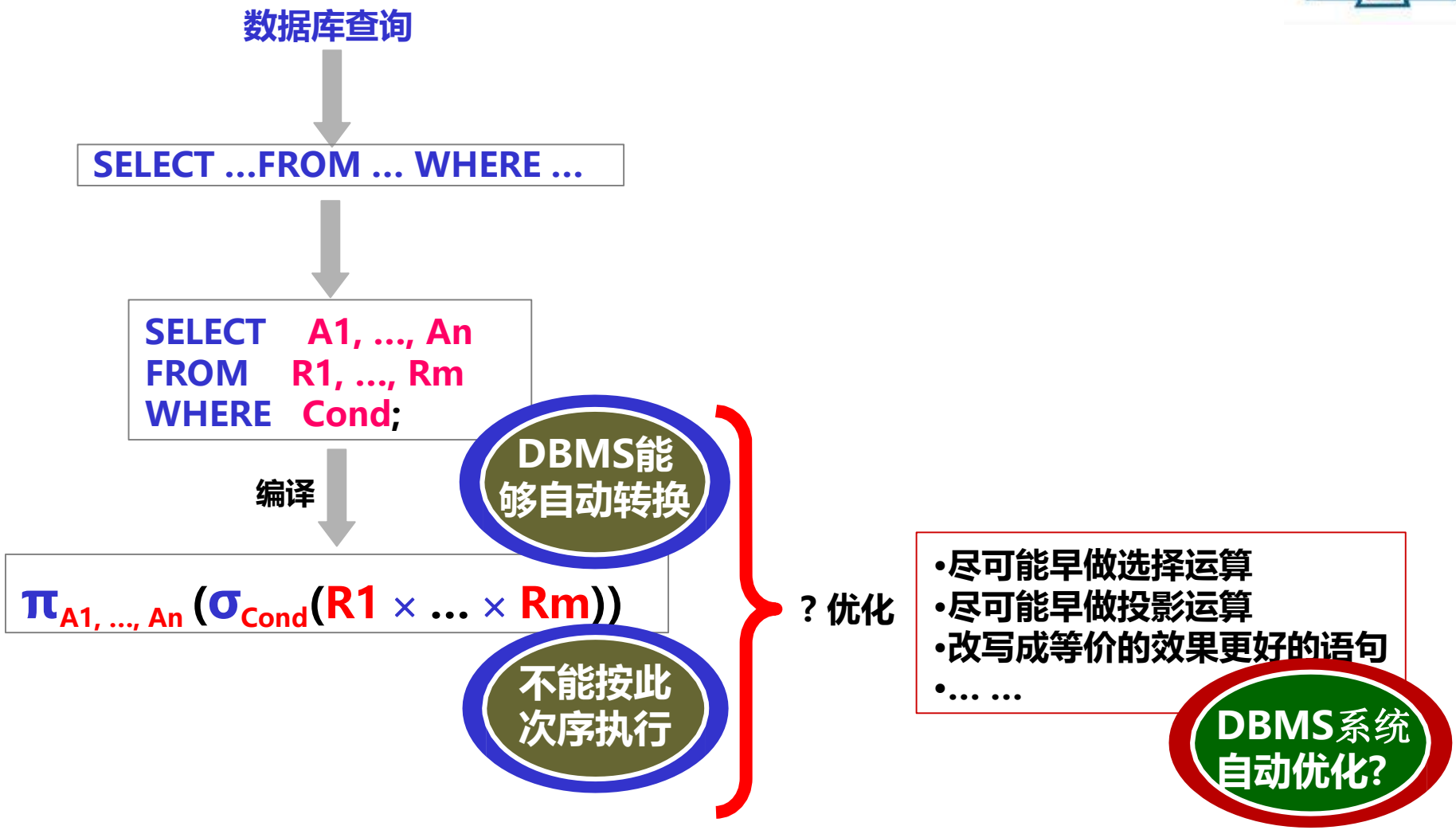
查询优化的总体思路

(1)语义优化---内容等价性



查询优化的总体思路

(2)语法优化(逻辑层优化)---语法等价性



查询优化的总体思路

(2)语法优化(逻辑层优化)---语法等价性

```
SELECT   A1, …, An
FROM     R1, …, Rm
WHERE    Cond;
```

编译

$\pi_{A1,\ldots,An}(\sigma_{Cond}(R1 \times \ldots \times Rm))$

语法优化/逻辑优化

$\pi_{A1,\ldots,An}(\sigma_{Cond}(\pi_{a1}(\sigma_{Cond1}(R1)) \times \ldots \times \pi_{am}(\sigma_{Condm}(Rm))))$

逻辑查询计划
--初步可按此执行

语法等价性?

逻辑优化/语法优化

基本思想：改变关系代数的操作次序：尽可能早做选择和投影运算

关系代数的五种基本操作中哪两个能够交换次序呢?

次序改变前后两个表达式的等价性问题

关系代数表达式的等价变换定理及其证明**(略)**

关系代数表达式的优化算法? –逻辑查询计划形成

查询优化的总体思路

(3)执行优化(物理层优化)

```
SELECT  A1, …, An  FROM  R1, …, Rm
WHERE  Cond;
```

编译

$\pi_{A1, \ldots, An}(\sigma_{Cond}(R1 \times \ldots \times Rm))$

语法优化　逻辑层优化

$\pi_{A1, \ldots, An}(\sigma_{Cond}(\pi_{a1}(\sigma_{Cond1}(R1)) \times \ldots \times \pi_{am}(\sigma_{Condm}(Rm))))$

逻辑查询计划

执行优化　物理层优化

为每一个关系代数操作**选取**优化的执行层**例行程序**, 形成物理查询计划

物理查询计划 --基于不同算法的实现程序构造

执行引擎: 依查询计划调用相应的**例行程序**进行处理,并返回结果

物理优化/执行优化

获取数据库的相关信息(定期统计)

选取相应的执行层例行程序

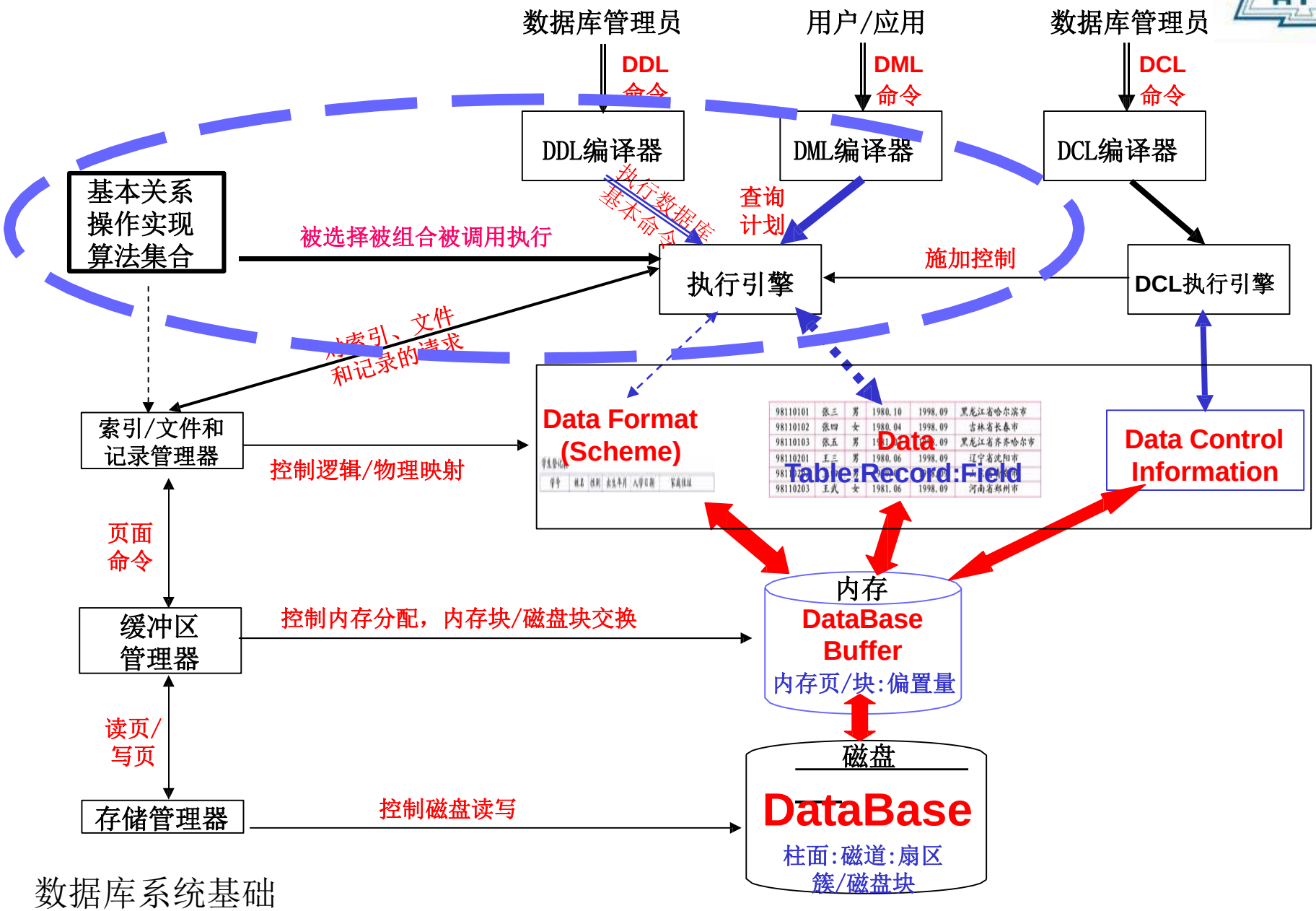
实现同一关系操作的不同例行程序库

依据相关信息进行代价估算,并选择代价最少的例行程序及确定相应的参数

形成查询计划：以基本的例行程序为基本，确定这些例行程序的执行顺序

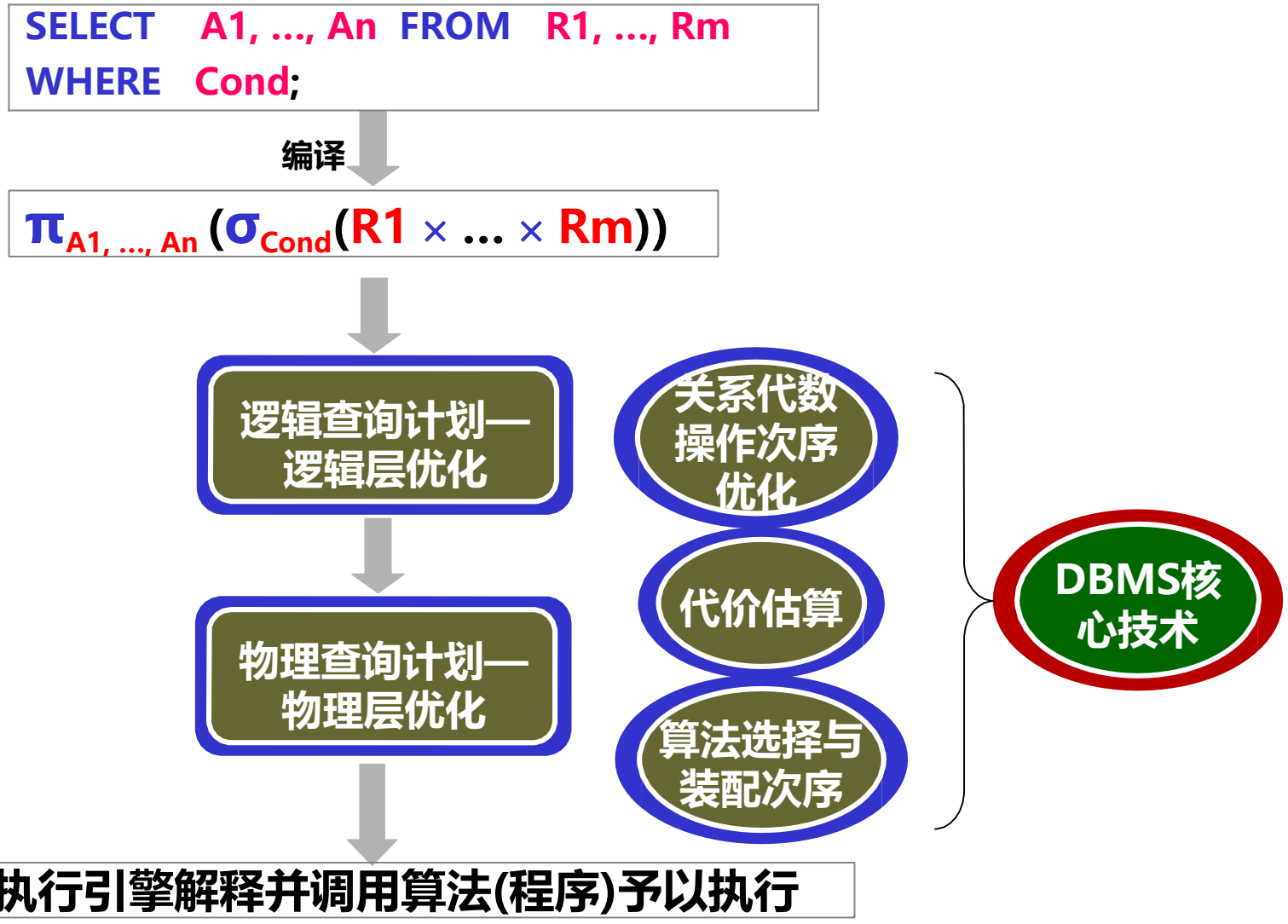
查询优化的总体思路

(4)在DBMS中的位置



查询优化的总体思路

(5)简要回顾



逻辑层查询优化(暨关系代数操作优化)

(1)逻辑查询优化—总体思路

```
SELECT   A1, …, An
FROM     R1, …, Rm
WHERE    Cond;
```

编译

$$\pi_{A1,\ldots,An}(\sigma_{Cond}(R1 \times \ldots \times Rm))$$

语法优化/逻辑优化

$$\pi_{A1,\ldots,An}(\sigma_{Cond}(\pi_{a1}(\sigma_{Cond1}(R1)) \times \ldots \times \pi_{am}(\sigma_{Condm}(Rm))))$$

逻辑查询计划
--初步可按此执行

语法等价性，即形式上等价性

逻辑优化/语法优化

基本思想：改变关系代数的操作次序：尽可能早做选择和投影运算

关系代数的五种基本操作中哪两个能够交换次序呢?

次序改变前后两个表达式的等价性问题

关系代数表达式的等价变换定理及其证明**(略)**

关系代数表达式的优化算法? –逻辑查询计划形成

逻辑层查询优化(暨关系代数操作优化)

(2)一个待优化的示例背景

[示例]考虑一图书馆的关系数据库。

BOOKS（TITLE，AUTHOR，PNAME, LC_NO）

注：PNAME为出版社名，LC_NO为图书馆图书编目号

PUBLISHERS（PNAME，PADDR，PCITY）

注： PADDR为出版社地址，PCITY为出版社所在地

BORROWERS（NAME，ADDR，CITY，CARD_NO）

注： NAME为读者名，ADDR为读者所在地址，CITY为读者所在城市，CARD_NO为图书证号。

LOANS（CARD_NO，LC_NO，DATE）

注： DATE为借出日期

➢为方便用户使用，定义了视图XLOANS:

$$XLOANS = \Pi_S(\sigma_F(LOANS \times BORROWERS \times BOOKS))$$

$$S = TITLE, AUTHOR, PNAME, LC\_NO, NAME, ADDR, CITY, CARD\_NO, DATE$$

$$F = (BORROWERS.CARD\_NO = LOANS.CARD\_NO) \wedge (BOOKS.LC\_NO = LOANS.LC\_NO)$$

逻辑层查询优化(暨关系代数操作优化)

(3)用语法树表达关系代数表达式

查询： **“查出1978年1月1日前被借出的所有书的书名”**

“SELECT Title FROM XLOANS WHERE Date<=1/1/78”

$\Pi_{TITLE}(\sigma_{DATE<=\text{“1/1/78”}}(XLOANS))$

语法树

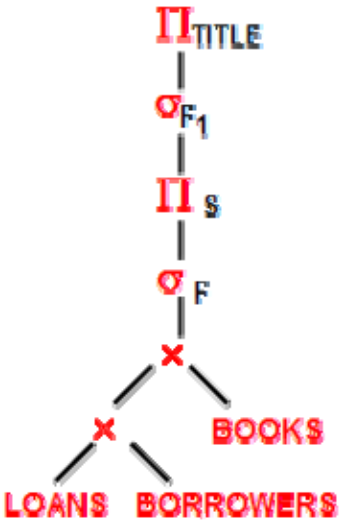
Π_{TITLE}

|

$\sigma_{DATE \le 1/1/78}$

|

XLOANS



由树叶向树根反映了操作先后次序

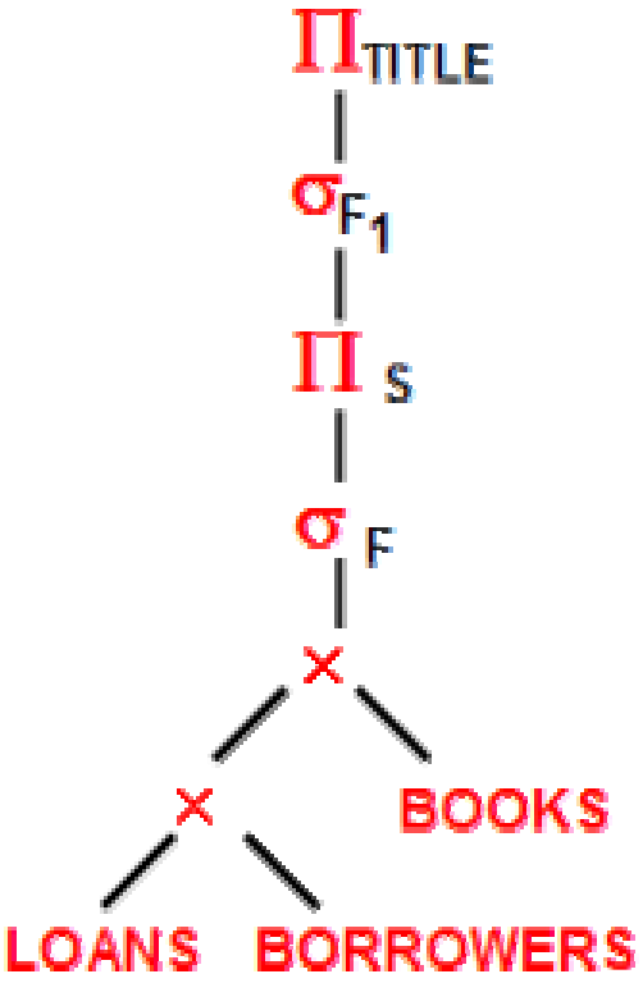
其中：$F = F_2 \wedge F_3$；F_1 = “DATE ≤ 1/1/78”；

F_2 = “BORROWERS.CARD_NO = LOANS.CARD_NO”；

F_3 = “BOOKS.LC_NO = LOANS.LC_NO”。

逻辑层查询优化(暨关系代数操作优化)

(4)逻辑层优化策略



逻辑优化的策略

(1)尽可能地早做选择和投影：可使中间结果变小，节省几个数量级的执行时间。

(2)把选择与投影串接起来：一元运算序列可一起执行，只需对整个关系扫描一遍。

(3)把投影与其前或后的二元运算结合起来：在第一次用关系时去掉一些无关属性，可以避免多次扫描整个关系。

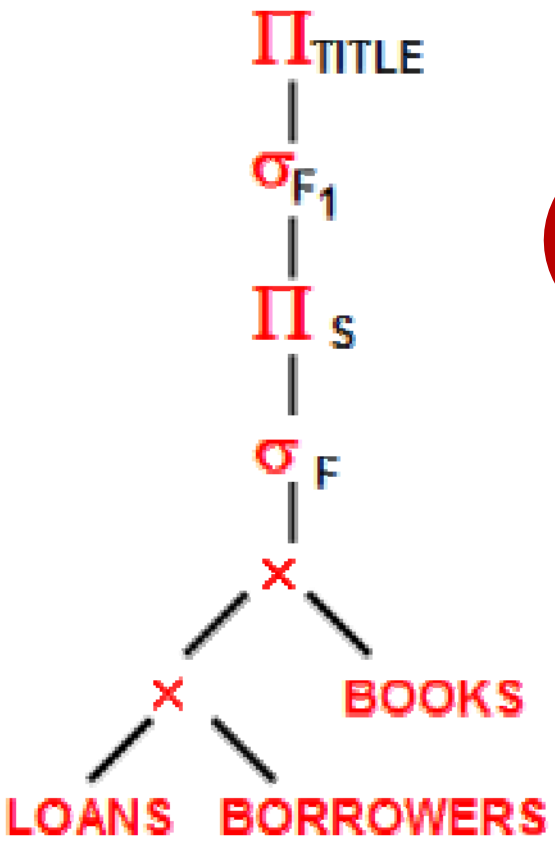
(4)把某些选择与其前的笛卡尔积合并成一个连接：当R×S前有选择运算且其中有条件是R、S属性间比较的运算时，可将其转化为连接运算可节省时间。

(5)执行连接运算前对关系做适当预处理：文件排序、建立临时索引等，可使两关系公共值高效联接。

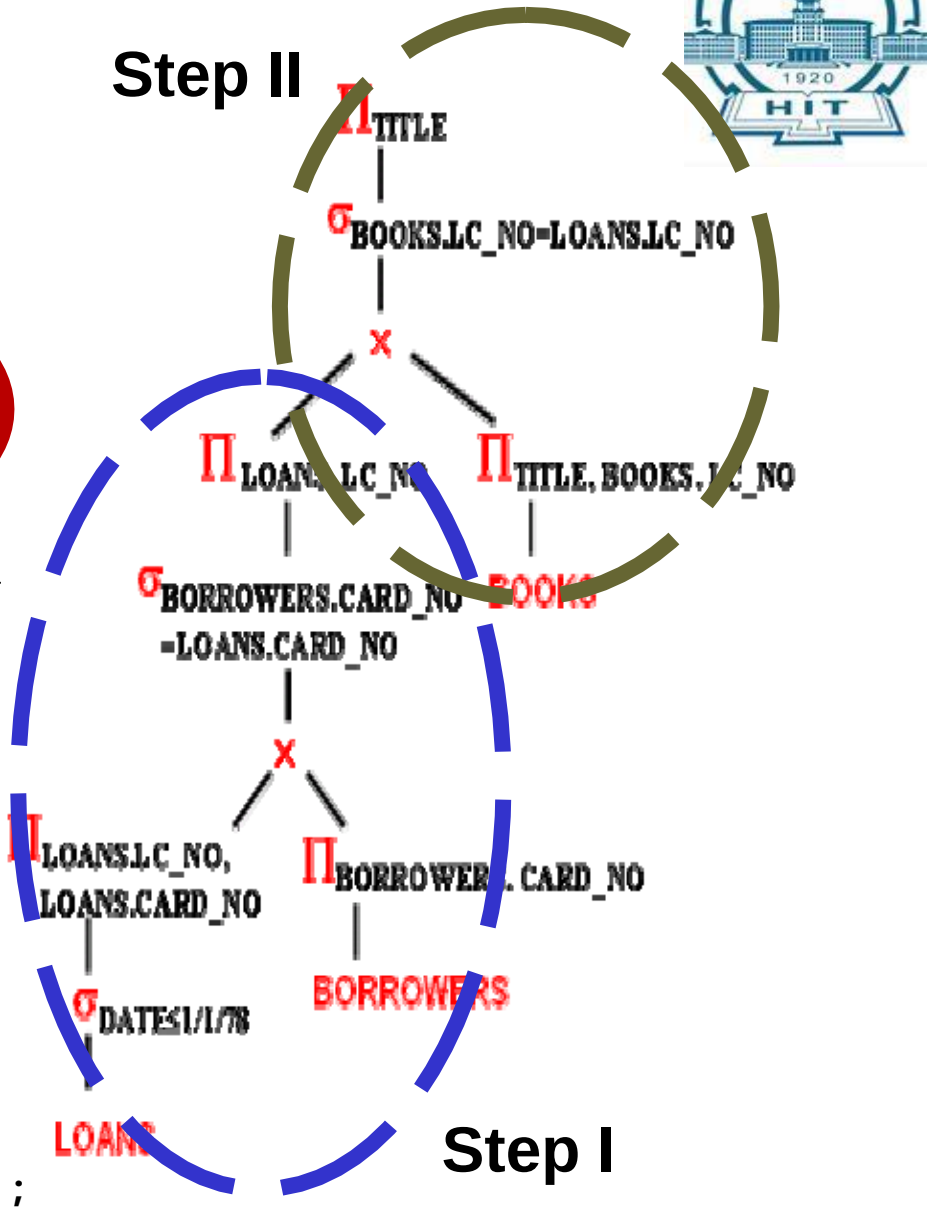
(6)找出表达式里的公共子表达式：若公共子表达式结果不大，则预先计算，以后可读入此结果，节时多，尤当视图情况下有用。

逻辑层查询优化(暨关系代数操作优化)

(5)示例的优化结果示意



转化为
逻辑优化
语法树



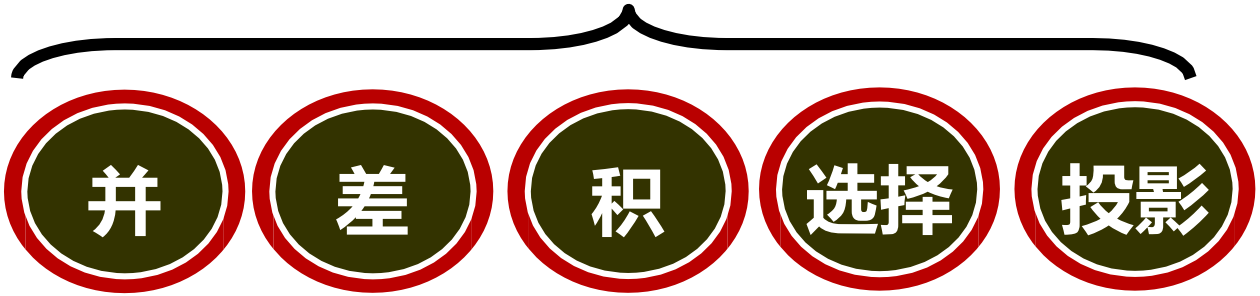
其中: $F = F_2 \wedge F_3$; F_1 = "DATE ≤ 1/1/78" ;
F_2 = "BORROWERS.CARD_NO = LOANS.CARD_NO" ;
F_3 = "BOOKS.LC_NO = LOANS.LC_NO" 。

关系代数操作次序交换的等价性

(1)拟解决的问题?

“哪些关系代数操作能够交换次序”

这里仅考虑基本操作，其他操作如&(R), γ(R), τ(R)等暂不考虑



“两两组合交换，验证组合前后是否等价?”

✓等价--可交换

✓不等价--不可交换

关系代数交换定理

关系代数操作次序交换的等价性

(2)什么是关系操作次序交换的等价性?

[定义] 设E_1, E_2是两个关系操作表达式。若E_1, E_2表示相同的映射，即当E_1, E_2的同名变量代入相同关系后产生相同的结果(映像集合)，则说E_1, E_2是等价的，记为$E_1 \equiv E_2$ 。

家庭

丈夫	妻子	子女
李基	王方	李键
张鹏	刘玉	张睿
张鹏	刘玉	张峰

家庭

丈夫	子女	妻子
李基	李键	王方
张鹏	张峰	刘玉
张鹏	张睿	刘玉

关系代数操作次序交换的等价性

(3)哪些关系操作次序可以交换?

定理L1：连接与连接，积与积的交换律

设E_1, E_2是关系代数表达式， F是E_1, E_2中属性的附加限制条件，则有：

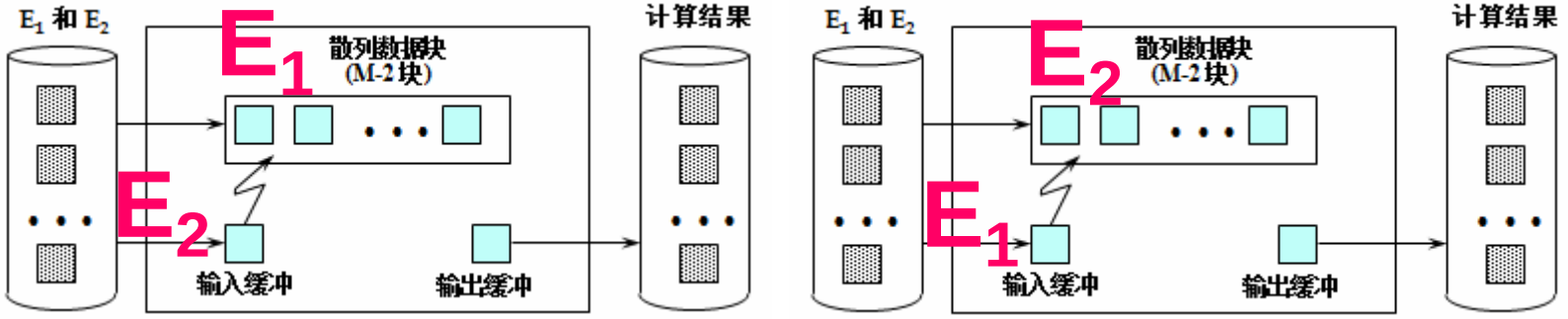
(1) $E_1 \underset{F}{\bowtie} E_2 \equiv E_2 \underset{F}{\bowtie} E_1$

(2) $E_1 \bowtie E_2 \equiv E_2 \bowtie E_1$

(3) $E_1 \times E_2 \equiv E_2 \times E_1$

注：并运算、交运算也有这种交换律

这个定理似乎没有什么用哟？真的吗



通常，我们选择结果集合小的表达式，先装入内存。

关系代数操作次序交换的等价性

(3)哪些关系操作次序可以交换?

定理L2：连接与连接、积和积的结合律

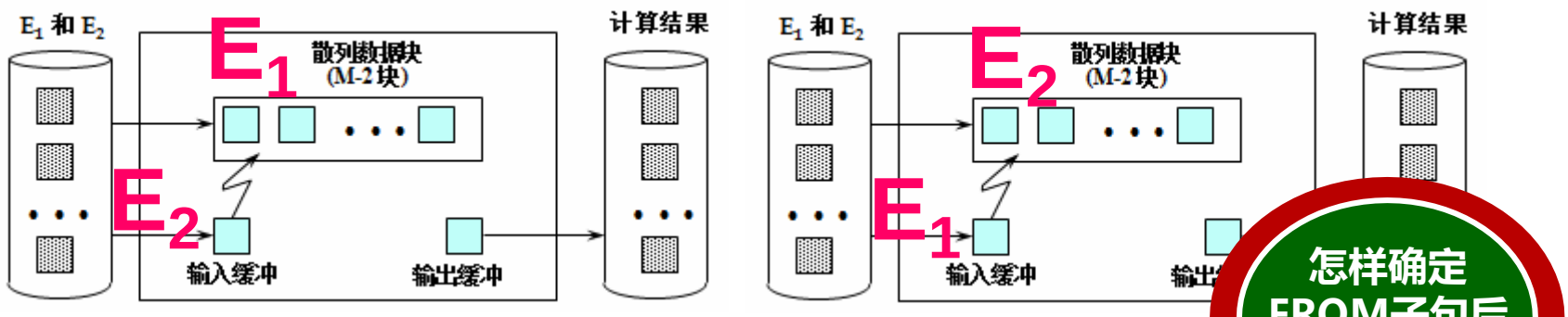
若E_1, E_2, E_3是关系代数表达式，F_1，F_2是条件，则有：

(1) $(E_1 \underset{F_1}{\bowtie} E_2) \underset{F_2}{\bowtie} E_3 \equiv E_1 \underset{F_1}{\bowtie} (E_2 \underset{F_2}{\bowtie} E_3)$

(2) $(E_1 \bowtie E_2) \bowtie E_3 \equiv E_1 \bowtie (E_2 \bowtie E_3)$

(3) $(E_1 \times E_2) \times E_3 \equiv E_1 \times (E_2 \times E_3)$

注：并运算、交运算也有这种结合律



SELECT * FROM R1, R2, R3, R4 WHERE …

通常，我们选择结果集合小的表达式，先计算。

关系代数操作次序交换的等价性

(3)哪些关系操作次序可以交换?

定理L3：投影串接律

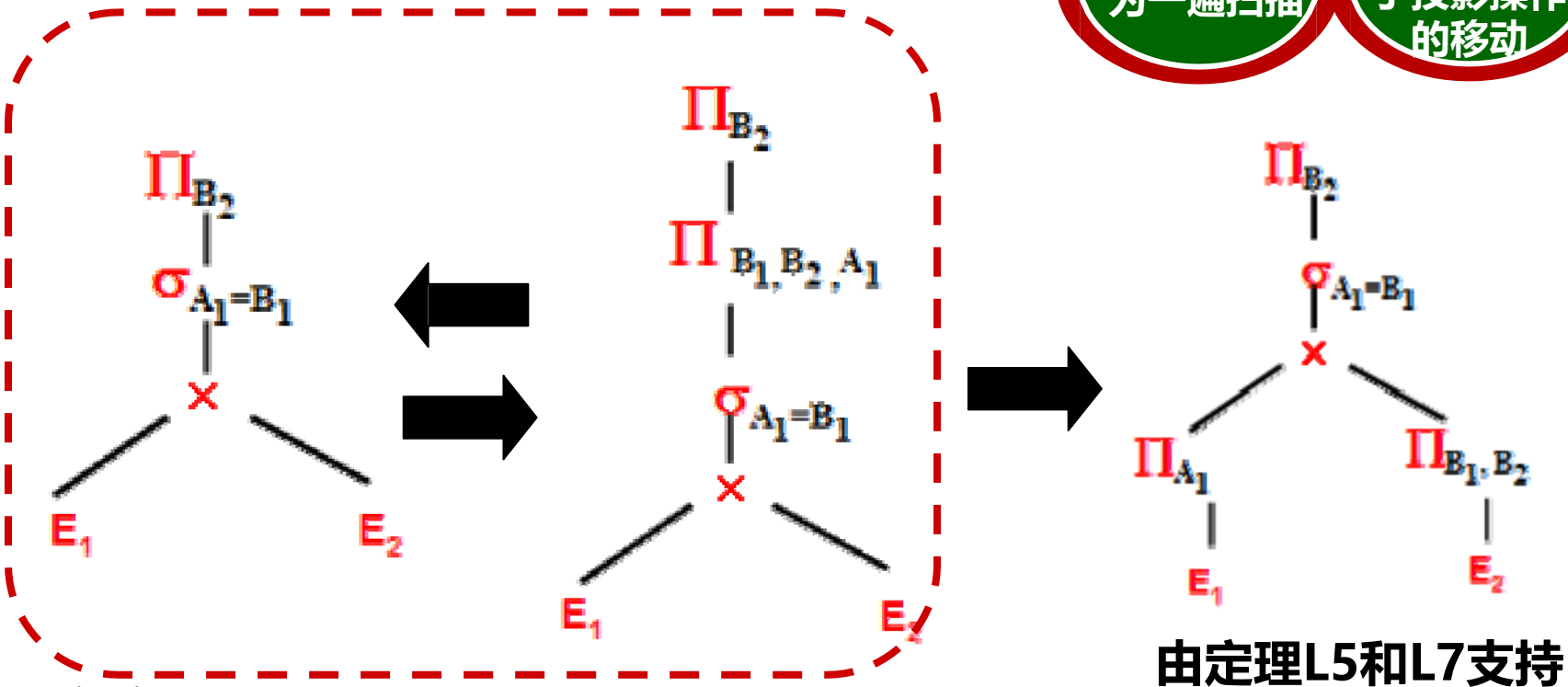
设属性集$\{A_1,\ldots,A_n\} \subseteq \{B_1,\ldots,B_m\}$, E是表达式，则有：

$$\pi_{A_1,\ldots,A_n}(\pi_{B_1,\ldots,B_m}(E)) \equiv \pi_{A_1,\ldots,A_n}(E)$$

此定理可双向使用。

两遍扫描变为一遍扫描

属性扩展便于投影操作的移动



由定理L5和L7支持

关系代数操作次序交换的等价性

(3)哪些关系操作次序可以交换?

定理L4：选择串接律

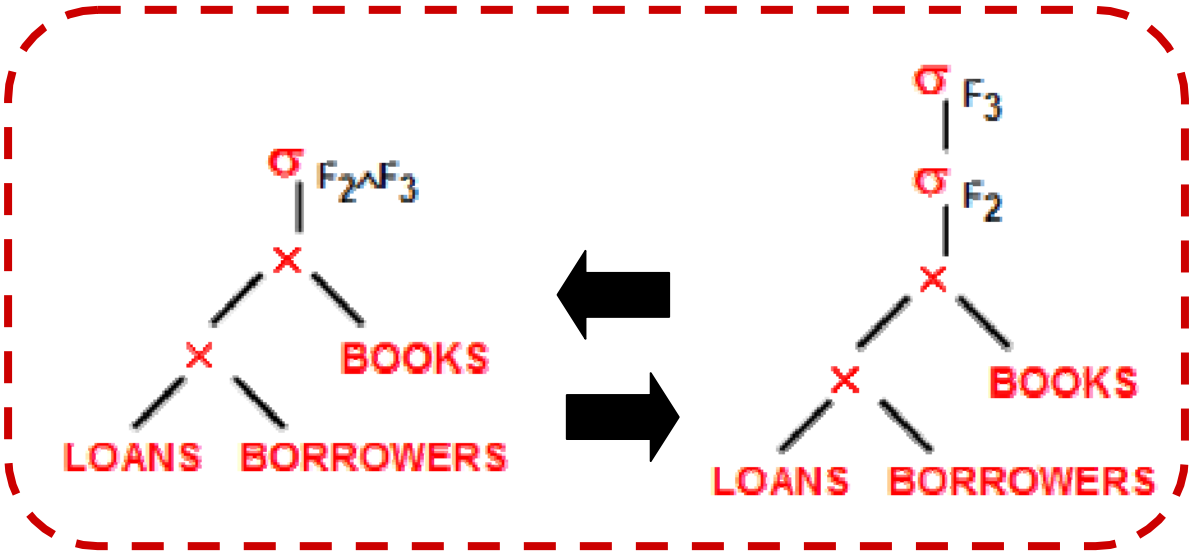
若E是关系代数表达式，F_1, F_2是条件，则有：

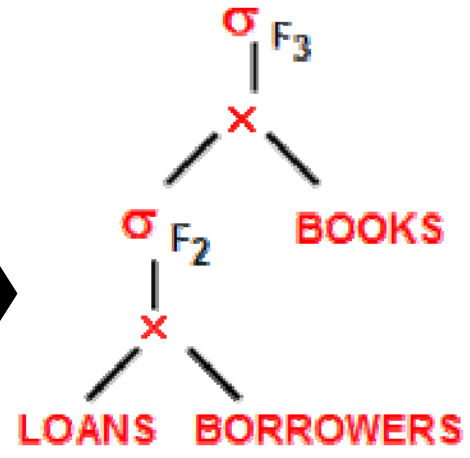
$$\sigma_{F_1}(\sigma_{F_2}(E)) \equiv \sigma_{F_1 \wedge F_2}(E)$$

此定理可双向使用。

两遍扫描变为一遍扫描

分解复杂操作便于选择操作的移动





由定理L6实现

F_2 = “BORROWERS.CARD_NO = LOANS.CARD_NO”；

F_3 = “BOOKS.LC_NO = LOANS.LC_NO”。

关系代数操作次序交换的等价性

(3)哪些关系操作次序可以交换?

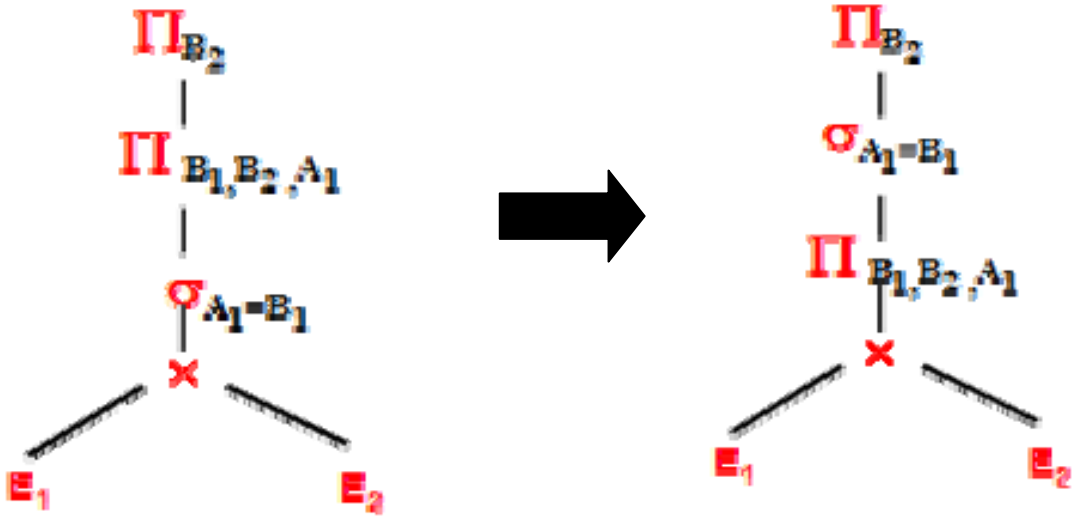
定理L5：选择和投影交换律

设条件F只涉及属性$\{A_1,\ldots, A_n\}$， E是关系表达式，则有：

$$\pi_{A_1,..,A_n}(\sigma_F(E)) \equiv \sigma_F(\pi_{A_1,..,A_n}(E))$$

更一般地，若F还涉及不属于$\{A_1,..,A_n\}$的属性$\{B_1,..,B_m\}$，则：

$$\pi_{A_1,..,A_n}(\sigma_F(E)) \equiv \pi_{A_1,..,A_n}(\sigma_F(\pi_{A_1,..,A_nB_1,..,B_m}(E)))$$



关系代数操作次序交换的等价性

(3)哪些关系操作次序可以交换?

定理L6：选择和积的交换律

设E_1, E_2是关系代数表达式 (1)若条件F只涉及E_1中的属性，则有：

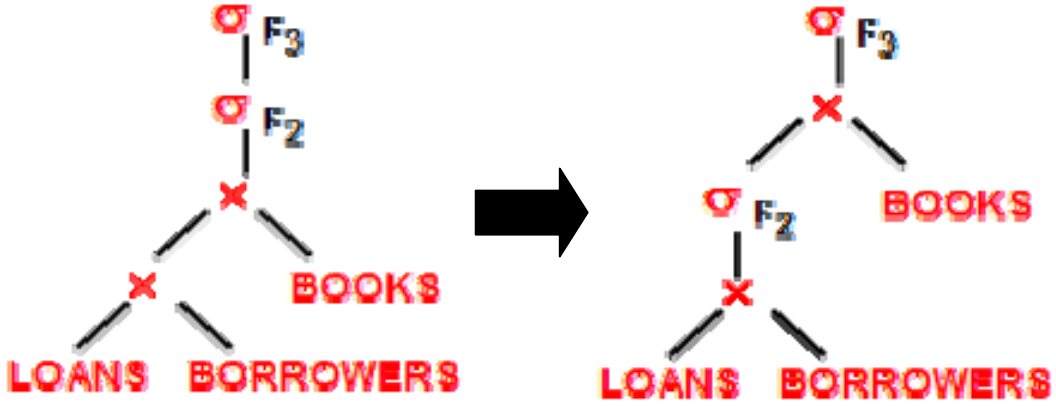
$$\sigma_F(E_1 \times E_2) \equiv \sigma_F(E_1) \times E_2$$

(2)若$F = F_1 \wedge F_2$，F_1, F_2分别只涉及E_1, E_2中属性，则有：

$$\sigma_F(E_1 \times E_2) \equiv \sigma_{F_1}(E_1) \times \sigma_{F_2}(E_2)$$

(3)若$F = F_1 \wedge F_2$，F_1只涉及E_1中属性，而F_2涉及E_1, E_2中属性，则有：

$$\sigma_F(E_1 \times E_2) \equiv \sigma_{F_2}(\sigma_{F_1}(E_1) \times E_2)$$



“尽可能地”早做选择

F_2= “BORROWERS.CARD_NO = LOANS.CARD_NO”；
F_3= “BOOKS.LC_NO = LOANS.LC_NO”。

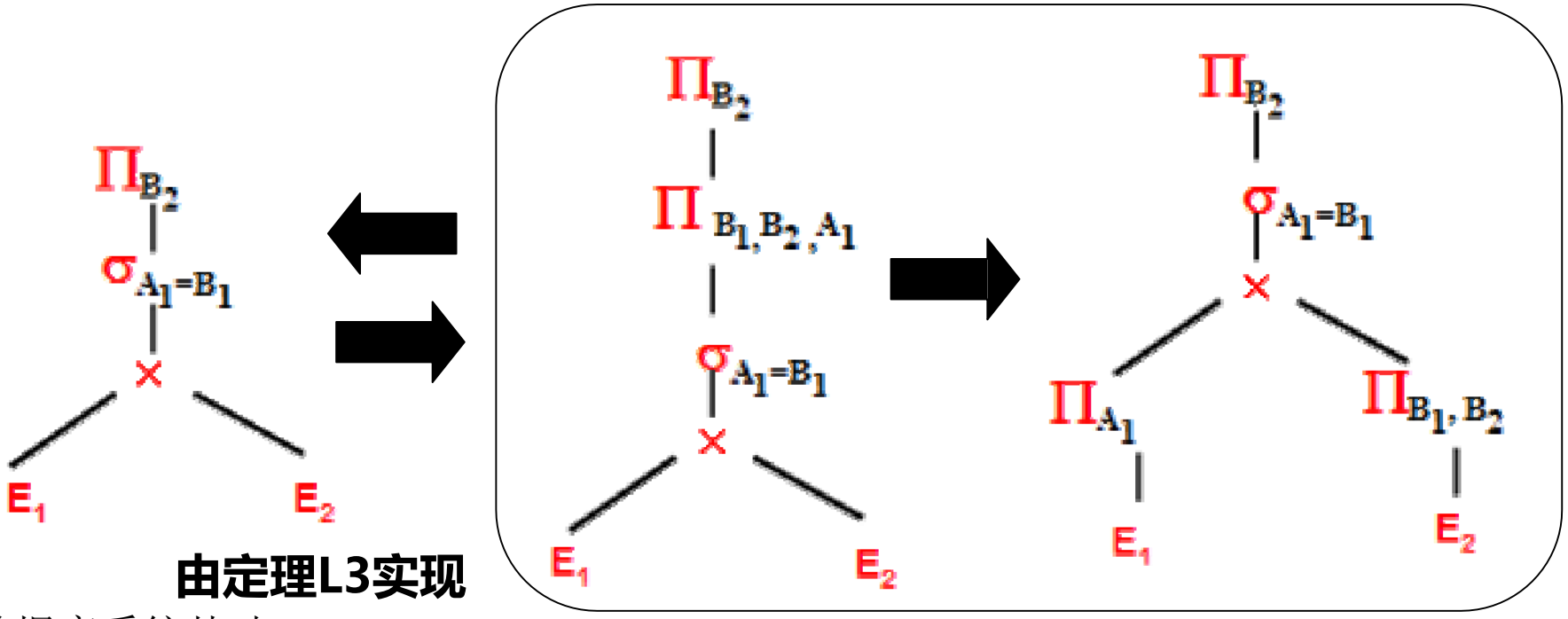
关系代数操作次序交换的等价性

(3)哪些关系操作次序可以交换?

定理L7：投影和积的交换律

设E_1，E_2为两关系代数表达式，$A_1,\ldots,A_n$是出现在E_1或E_2中的一些属性，其中$B_1,\ldots,B_m$出现在E_1中，剩余的属性$C_1,\ldots,C_k$出现在E_2中，则有：

$$\pi_{A_1,..,A_n}(E_1 \times E_2) \equiv \pi_{B_1,..,B_m}(E_1) \times \pi_{C_1,..,C_k}(E_2)$$



由定理L3实现

关系代数操作次序交换的等价性

(3)哪些关系操作次序可以交换?

定理L8：选择和并的交换律

设关系代数表达式 $E = E_1 \cup E_2$，F是条件，则有：

$$\sigma_F(E_1 \cup E_2) \equiv \sigma_F(E_1) \cup \sigma_F(E_2)$$

注意：此定理要求E_1，E_2是并相容的

定理L9：选择和差的交换律

设关系代数表达式 $E = E_1 - E_2$，F是条件，则有：

$$\sigma_F(E_1 - E_2) \equiv \sigma_F(E_1) - \sigma_F(E_2)$$

降低中间结果

关系代数操作次序交换的等价性

(3)哪些关系操作次序可以交换?

L10：投影和并的交换律

设关系代数表达式 $E = E_1 \cup E_2$，$A_1,\ldots, A_n$是E中的一些属性，则有：

$$\pi_{A_1,..,A_n}(E_1 \cup E_2) \equiv \pi_{A_1,..,A_n}(E_1) \cup \pi_{A_1,..,A_n}(E_2)$$

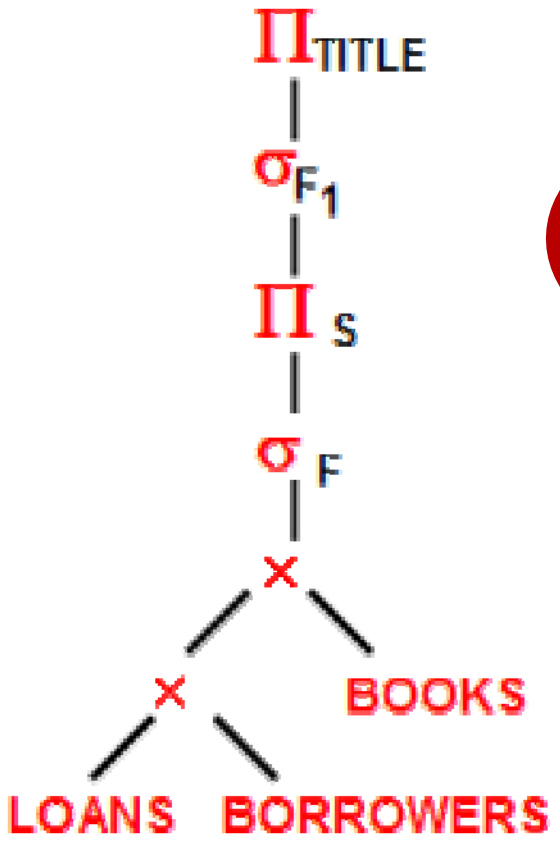
问：投影和集差运算有交换律吗?

$$\pi_{A_1,..,A_n}(E_1 - E_2) \equiv \pi_{A_1,..,A_n}(E_1) - \pi_{A_1,..,A_n}(E_2)$$

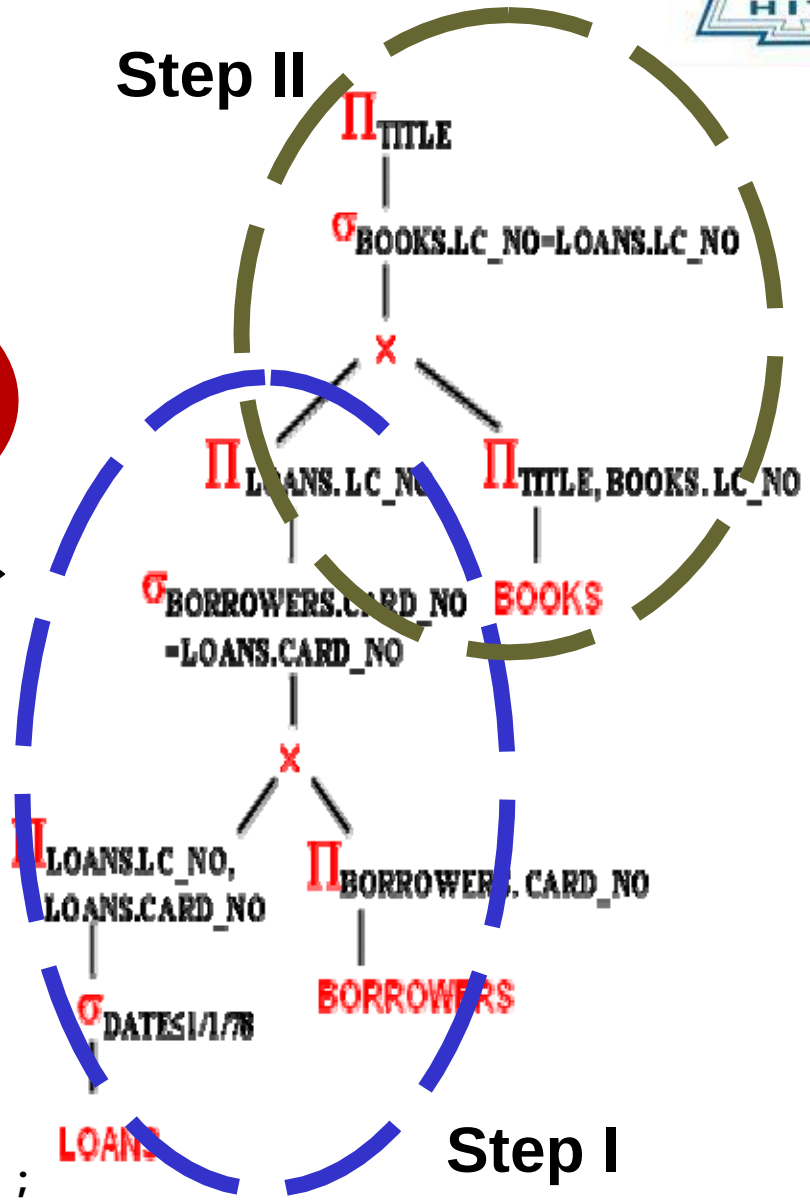
这个是不成立的，为什么呢?

关系代数操作次序交换的等价性

(4)怎样运用定理呢?



怎样运用定理呢?



其中: $F = F_2 \wedge F_3$; F_1 = "DATE ≤ 1/1/78" ;
F_2 = "BORROWERS.CARD_NO = LOANS.CARD_NO" ;
F_3 = "BOOKS.LC_NO = LOANS.LC_NO" 。

基于关系代数的查询优化算法及示例

(1)算法表达

Algorithm：关系代数表达式的优化算法
Input：一个关系代数表达式的语法树
Output：计算该表达式的程序
Method：

(S1)依据定理L4，把形如$\sigma_{F1\wedge F2\wedge \ldots \wedge Fn}(E))$的选择表达式变成串接形式$\sigma_{F1}(\sigma_{F2}(\ldots(\sigma_{Fn}(E))))$.

(S2)对每个选择，依据定理L4至L9，尽可能把它移至树的底部。

(S3)对每个投影，依据定理L3，L7，L10和L5，尽可能把它移至树的底部。如 果一个投影是对某表达式所有属性进行的，则去掉之。

(S4)依据定理L4至L5把串接的选择和投影组合为单个选择、单个投影，或者 一选择后跟一个投影。

(S5)对修改后的语法树，将其内结点按以下方式分组： 每个二元运算结点(积、并、差、连接等)和其所有一元运算直接祖先结点放在 一组；对于其后代结点，若后代结点是一串一元运算且以树叶为终点，则将这 些一元运算结点放在该组中；若该二元运算结点是笛卡儿积，且其后代结点不 能和它组合成等连接，则不能将后代结点归入该组。

(S6)产生一个程序：它以每组结点为一步，但后代组先执行。

基于关系代数的查询优化算法及示例

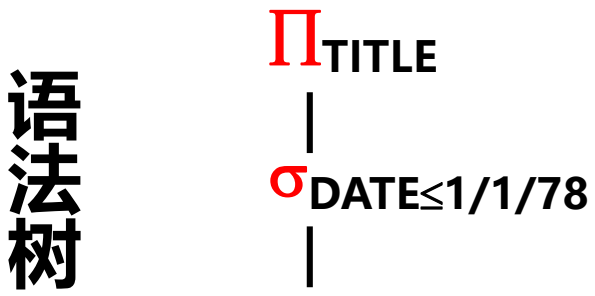
(2)示例

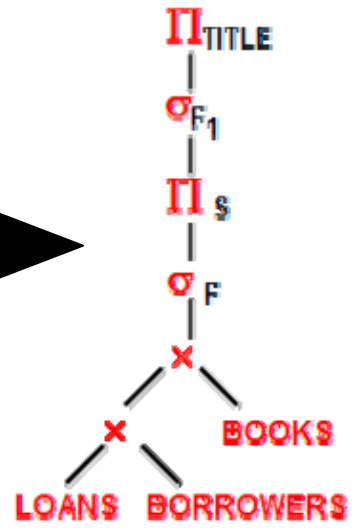
查询： “查出1978年1月1日前被借出的所有书的书名”

“SELECT Title FROM XLOANS WHERE Date<=1/1/78”

$\Pi_{TITLE}(\sigma_{DATE<=\text{“1/1/78”}}(XLOANS))$

语法树





由树叶向树根反映了操作先后次序

```
CREATE VIEW XLOANS as SELECT
* FROM LOANS, BORROWERS,
BOOKS WHERE
BORROWERS.CARD_NO =
LOANS.CARD_NO AND
BOOKS.LC_NO = LOANS.LC_NO
```

其中：$F = F_2 \wedge F_3$；F_1 = “DATE ≤ 1/1/78”；

F_2 = “BORROWERS.CARD_NO = LOANS.CARD_NO”；

F_3 = “BOOKS.LC_NO = LOANS.LC_NO”。

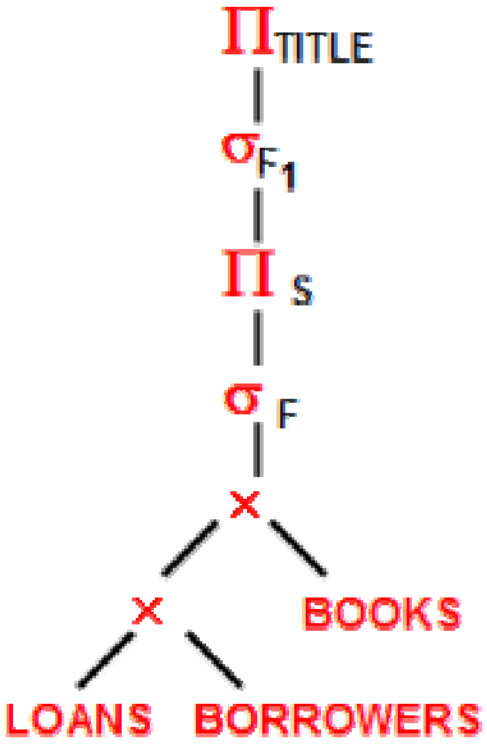
S = TITLE, AUTHOR, PNAME, LC_NO, NAME, ADDR, CITY, CARD_NO, DATE

基于关系代数的查询优化算法及示例

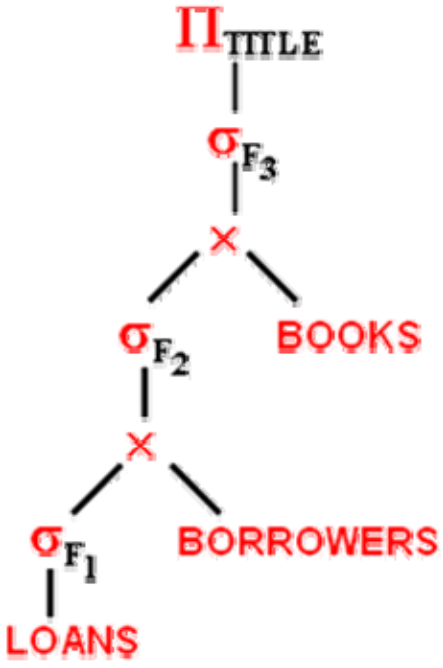
⑵示例

(1)依据定理L4，把形如$\sigma_{F1\wedge F2\wedge \ldots \wedge Fn}(E)$)的选择表达式变成串接形式$\sigma_{F1}(\sigma_{F2}(\ldots(\sigma_{Fn}(E))))$.

(2)对每个选择，依据定理L4至L9，尽可能把它移至树的底部。



- $\sigma_{F2\wedge F3} = \sigma_{F2}(\sigma_{F3})$
- σ_{F1} 通过交换移动到底部
- σ_{F2} 通过交换移动到底部
- $\Pi_{TITLE}(\Pi_S) = \Pi_{TITLE}$



其中：$F = F_2 \wedge F_3$；F_1 = “DATE ≤ 1/1/78”；

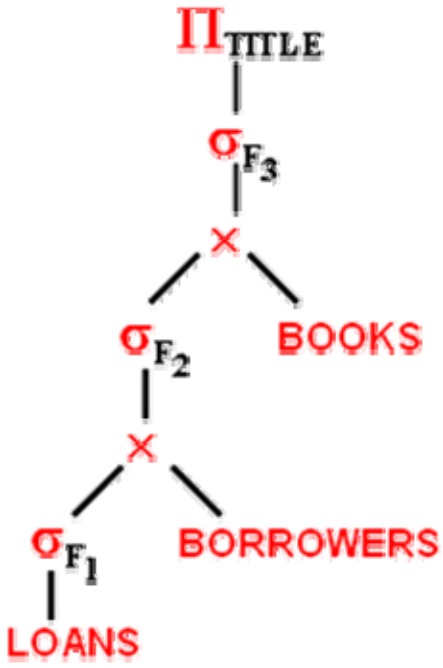
F_2 = “BORROWERS.CARD_NO = LOANS.CARD_NO”；

F_3 = “BOOKS.LC_NO = LOANS.LC_NO”。

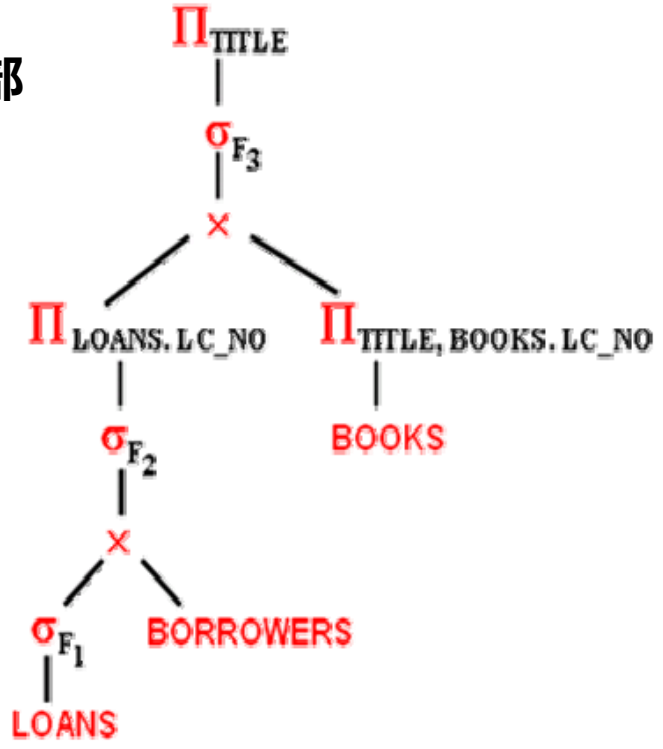
基于关系代数的查询优化算法及示例

(2)示例

(S3)对每个投影，依据定理L3，L7，L10和L5，尽可能把它移至树的底部。如果一个投影是对某表达式所有属性进行的，则去掉之。



- $\Pi_{TITLE} = \Pi_{TITLE}(\Pi_{TITLE,BOOKS.LC\_NO,LOANS.LC\_NO})$
  使其包含F_3涉及的属性
- $\Pi_{TITLE,BOOKS.LC_NO}$移动到底部
- $\Pi_{LOANS.LC.NO}$移动到底部

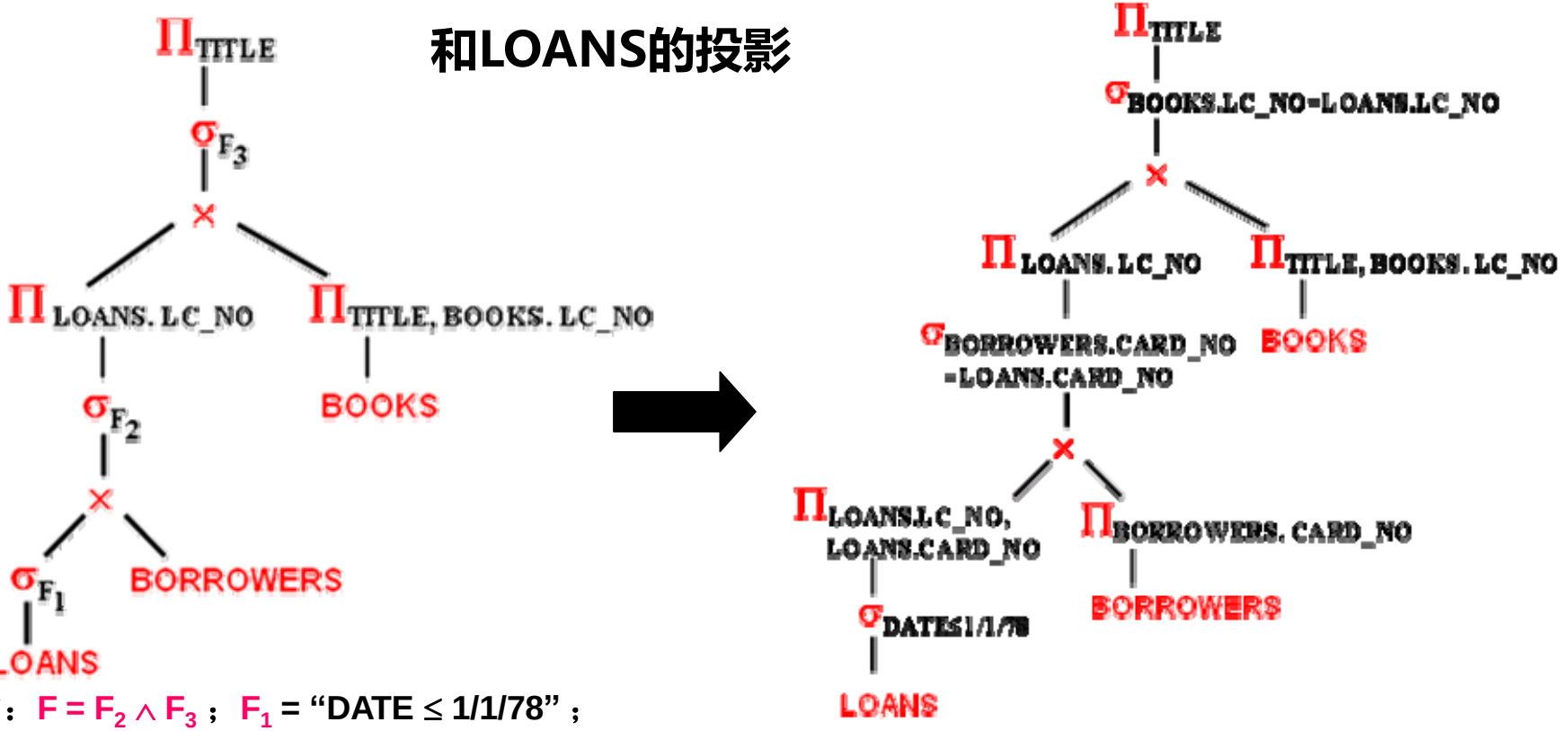


其中：$F = F_2 \wedge F_3$；F_1 = “DATE ≤ 1/1/78”；
F_2 = “BORROWERS.CARD_NO = LOANS.CARD_NO”；
F_3 = “BOOKS.LC_NO = LOANS.LC_NO”。

基于关系代数的查询优化算法及示例

(2)示例

•类似处理BORROWERS和LOANS的投影



其中：$F = F_2 \wedge F_3$；F_1 = “DATE ≤ 1/1/78”；

F_2 = “BORROWERS.CARD_NO = LOANS.CARD_NO”；

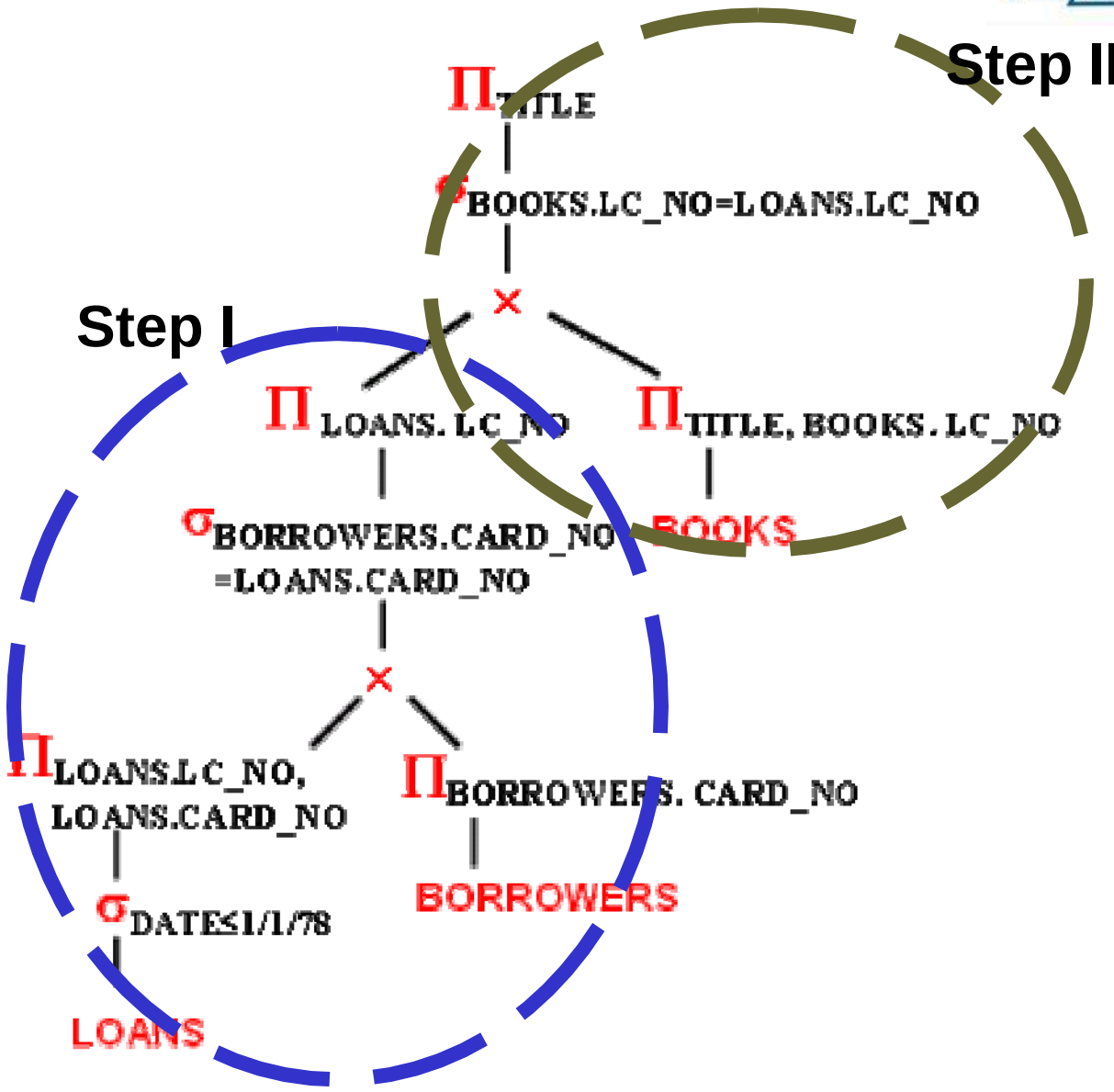
F_3 = “BOOKS.LC_NO = LOANS.LC_NO”。

基于关系代数的查询优化算法及示例

(2)示例

(S5)按以下方式分组：
每个二元运算结点 (积、并、差、连接等) 和其所有一元运算直接祖先结点放在一组；对 于其后代结点，若后代 结点是一串一元运算且 以树叶为终点，则将这 些一元运算结点放在该 组中；若该二元运算结 点是笛卡儿积，且其后代结点不能和它组合成 等连接，则不能将后代 结点归入该组。

(S6)产生一个程序：它 以每组结点为一步，但 后代组先执行。

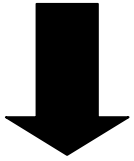


基于关系代数的查询优化算法及示例

(3)复杂SQL语句的处理问题

“SELECT A, SUM(B) FROM R1, …,Rm WHERE Condition1 GROUP BY A HAVING Condition 3 ORDER BY A”;

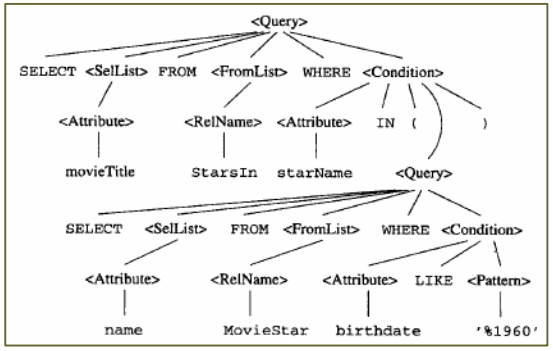
教材中关系代数的分组聚集运算符号



?

$$\tau_A(\Pi_{A,X}({}_A g_{X \leftarrow SUM(B)}(\gamma_A(\sigma_{condition1}(R_1 \times \ldots \times R_m)))))$$

```
SELECT movieTitle
FROM StarsIn
WHERE starName IN (
    SELECT name
    FROM MovieStar
    WHERE birthdate LIKE '%1960'
);
```



分组、聚集和排序运算有交换律吗?

嵌套查询如何处理呢?

自学

物理层查询优化(暨物理实现算法选择与次序优化)

(1)物理查询优化—总体思路

为什么要物理查询优化?

一个例子：$\sigma_{Cname=“数据结构”}(Course)$ 的执行方案

方案1：表空间扫描方法

直接对Course表进行扫描，从第一条检索到最后一条，将满足 条件的记录找出

方案2：利用Course上的Cname排序索引的方法

利用排序索引可以进行诸如二分查找等快速检索，找到相应的 索引项，依据指针将满足条件的记录找出

➢**当条件更复杂时，可选择的方案还会更多**

究竟用哪一个算法的程序来执行?为什么如此选择?

物理查询运算符

❒获取关系元组的操作

✓TableScan(R) ---表空间扫描算法
✓SortTableScan(R)---表空间扫描排序算法
✓IndexScan(R)---索引扫描算法
✓SortIndexScan(R)---索引扫描排序算法

物理查询运算符通常是关系代数操作符的一个特定实现

❒关系操作的各种实现算法

✓ $\sigma_F(R)$, $\pi_\alpha(R)$, $\delta(R)$, $\gamma(R)$, $\tau(R)$,集合上的操作：$\cup_S$, $\cap_S$, $-_S$, 包上的操作：$\cup_B$, $\cap_B$, $-_B$, 积，连接：PRODUCT， JOIN

✓一趟算法、两趟算法；基于索引算法、基于散列算法、基于排序算法；

❒迭代器构造--流水化、物化；

物理层查询优化(暨物理实现算法选择与次序优化)

(1)物理查询优化—总体思路

SELECT A1, …, An FROM R1, …, Rm
WHERE Cond;

编译

$\pi_{A1, \ldots, An}(\sigma_{Cond}(R1 \times \ldots \times Rm))$

语法优化 逻辑层优化

$\pi_{A1, \ldots, An}(\sigma_{Cond}(\pi_{attr}(\sigma_{Cond1}(R1)) \times \ldots \times \pi_{attm}(\sigma_{Condm}(Rm))))$

逻辑查询计划

执行优化

物理层优化

为每一个关系代数操作**选取**优化的执行层**例行程序**, 形成物理查询计划

物理查询计划 --基于不同算法的实现程序构造

执行引擎: 依查询计划调用相应的**例行程序**进行处理,并返回结果

物理优化/执行优化

获取数据库的相关信息(定期统计)

选取相应的执行层例行程序

实现同一关系操作的不同例行程序库

依据相关信息进行代价估算,并选择代价最少的例行程序及确定相应的参数

形成查询计划：以基本的例行程序为基本，确定这些例行程序的执行顺序

物理层查询优化(暨物理实现算法选择与次序优化)

(2)如何衡量一个物理查询计划的好与坏?

DBMS如何衡量物理查询计划的优劣呢?

衡量I/O访问次数

衡量CPU的占用时间

内存使用代价(与缓冲区数目与大小的匹配)

中间结果存储代价

计算量(如搜索记录、合并记录、排序记录、字段值的计算等)

网络通信量

… …

- **依据什么信息来计算这些方案的上述各种指标呢?**

物理层查询优化(暨物理实现算法选择与次序优化)

(3)依据什么信息判断物理查询计划的好与坏?

依据数据库的一些统计信息---存放在数据字典或系统目录中的

- **T_R或T(R)：关系R的元组数目；**
- **B_R或B(R)：关系R的磁盘块数目；**
- **l_R或l(R)：关系R的每个元组的字节数；**
- **f_R或f(R)：R的块因子，即一块能够存储的R的元组数目**
- **V(A, R)：R中属性A出现不同值的数目，即 $\Pi_A(R)$ 的数目.**
- **SC(A, R)：R中属性A的选择基数，满足A上等值条件的平均记录数**
- **b：每个磁盘块的字节数；**
- **... ...**

➢ **DBMS依据上述统计信息对DB操作的各种物理查询计划进行评估，以确定最优的计划予以执行。**

➢ **上述信息如何获得呢?**

物理层查询优化(暨物理实现算法选择与次序优化)

(4)如何收集这些信息?

- 当一个表装入内存和创建索引的时候，统计信息不是被自动收集的，必须由DBA使用特定的命令来完成信息统计，这些命令就是收集统计信息并把其存入系统目录中的实用程序
- 随着表的更新操作，统计信息可能会过时，过时的统计信息会使DBMS确定方案时决策错误，因此要求DBA定期的对有频繁更新操作的Table进行统计
- DBA要熟悉统计信息收集命令的使用，并定期执行

- IBM DB2使用Runstats收集统计信息

```
RUNSTATS ON TABLE username.tablename
  [ WITH DISTRIBUTION [ AND DETAILED ]
 { INDEXES ALL | INDEX indexname} ] ;
```

- 例如，收集SCT数据库的Student表的统计信息

```
Runstats on table SCT.student ;
```

物理层查询优化(暨物理实现算法选择与次序优化)

(4)如何收集这些信息?

- **Oracle使用Analyze命令收集统计信息并将其放入系统表中**

```
ANALYZE  { INDEX | TABLE | CLUSTER }
  { indexname | tablename | clustername }
  COMPUTE STATISTICS
  { FOR TABLE | FOR ALL [ INDEXED ]  COLUMNS [SIZE n] } ;
```

- **例如，收集SCT数据库的Student表的统计信息**

```
Analyze  table  student  compute statistics  for table ;
```

有了统计信息，如何进行代价估算呢?

R_1 Join R_2 Join … Join R_n 的连接顺序确定问题?

物理查询计划的形成:

- **理想: 寻找最优的查询计划;**
- **现实: 避免最差的查询计划.**

(1)什么是代价估算?

代价估算

已知表达式E中的各个关系的统计信息

- T_R或T(R)：关系R的元组数目；
- B_R或B(R)：关系R的磁盘块数目；
- l_R或l(R)：关系R的每个元组的字节数；
- f_R或f(R)：R的块因子，即一块能够存储的R的元组数目
- V(R, A)：R中属性A出现不同值的数目，即 $\Pi_A(R)$ 的数目.
- SC(R, A)：R中属性A的选择基数，满足A上等值条件的平均记录数

“给定一个表达式E，如何计算E的元组数目T(E)以及属性A上不同值的数目V(E,A)?”

- 在E实际获得之前计算T(A),V(E,A)等是很难的事情；
- 因而，要“估算”，代价估算

代价估算

(2)投影运算的代价估算?

“估算一个投影 $\pi_L(R)$ 的大小”

- **简单：$T(\pi_L(R)) = T(R)$**
- **投影运算只是对列有所取舍，并未对行有所变化，如并未消除重复**
- **投影运算并未减少行数，但可能有效地减少了存储结果关系的块数**
- **例如：磁盘块大小=1024 Byte**

  R的元组长度=100 Byte, 8元组/块，T(R)=10,000, 则

  B(R) = 10000/8 = 1250;

  $\pi_L(R)$的元组长度=20 Byte, 50元组/块，则

  $B(\pi_L(R)) = 10000/50 = 200$;

代价估算

(3)不同选择运算的代价估算?

“估算选择运算 $S = \sigma_{A=c}(R)$的大小”

- T(S) 介于 0 to T(R)–V(R,A)+1之间

  ---最多：A属性不同值的元组都只存在一个，剩余的都是A=c的元组

  估计: T(S) = T(R) / V(R,A)

  ---A属性不同值的元组数假设是平均分布的

  当不知道V(R,A)时，估计：T(S) = T(R)/10.

“估算选择运算 $S = \sigma_{A<c}(R)$的大小”

T(S) 介于 0 to T(R) 之间

---最多：所有元组都满足条件

估计: T(S) = T(R)/2

---直觉，应有一半的元组，

实际应用的估计： T(S) = T(R)/3

代价估算

(3)不同选择运算的代价估算?

“估算选择运算 S = $\sigma_{A=10\ AND\ B<20}(R)$的大小”

- **估计：T(S) = T(R)/(V(R, A)*3)**

  --- $\sigma_{A=10\ AND\ B<20}(R) = \sigma_{B<20}(\sigma_{A=10}(R))$

  ---A=10，得出T(S) = T(R)/V(R,A);

  ---B<20，得出T(S) = T(S)/3

“估算选择运算 S = $\sigma_{C1\ or\ C2}(R)$的大小”

- **估计：T(S)=$n(1-(1-m_1/n)(1-m_2/n))$**

  ---R有n个元组，其中有m_1个满足C1，有m_2个满足C2

  ---$(1-m_1/n)$是不满足C1的那些元组，$(1-m_2/n)$是不满足C2的那些元组

  ---两数之积是不在S中的那部分R的元组，1减去这个积就是属于S的那部分元组出现的概率。

代价估算

(3)不同选择运算的代价估算?

“估算选择运算 S = $\sigma_{A=10\ OR\ B<20}$(R)的大小”

- **估计：T(S)=n(1-(1-m_1/n)(1-m_2/n))**
  - **n = T(R)=10000，V(R,A)=50，**
    m_1=T(R)/V(R,A)=10000/50=200;
    m_2=T(R)/3 = 10000/3 ≈ 3333
    (有m_1个满足C1, 有m_2个满足C2，
    (1-m_1/n)(1-m_2/n)不满足这个条件的元组的概率
    1- (1-m_1/n)(1-m_2/n)满足这个条件的元组的概率)
  - **复杂估计：**
    T(S)=10000*(1-(1-200/10000)(1-3333/10000) ≈ 3466
  - **简单估计：T(S)= T(R)/3 = 10000/3 ≈ 3333**

代价估算

(4)连接运算的代价估算?

“估算连接运算 S = R(X,Y) Natural Join S(Y,Z)的大小”

- **估计：T (S)=T(R)T(S)/max(V(R,Y),V(S,Y))**
  - **---假定V(R,Y)>=V(S,Y),R中元组r和S中元组有相同Y值的概率=1/V(R,Y)**
  - **---假定V(R,Y)<V(S,Y),R中元组r和S中元组有相同Y值的概率=1/V(S,Y)**
  - **---则，在Y上相等的概率 = 1/max(V(R,Y),V(S,Y))**

- **例：T(R)=10000, T(S)=50000, V(R, Y) = 500, V(S, Y)=1000**

估计：T(S)=10000*50000/1000=500000。

代价估计

- T(R)--R的元祖个数，V(R, A)—R中属性A上出现的不同值的数目
- 判断满足单一条件元组出现的概率
  - ✓出现等于某一个值的概率 = 1 / V(R,A), 或者简单的概率 = 1/10
  - ✓出现不等于某一个值的概率 = 1 – 1/V(R,A), 或者简单的概率 = 1-1/10
  - ✓出现小于某一个值的概率直觉上 = 1/2, 实际处理概率=1/3
- 判断满足多个条件的元组出现的概率
  - ✓如果是“与”，则将满足两个条件的概率相乘
  - ✓如果是“或”，则=(1-(1-m_1/n)(1-m_2/n)，不出现满足条件1的元组的概率(1-m_1/n)，不出现满足条件2的元组的概率(1-m_2/n)，二者相乘是不同时出现的概率，则1- (1-m_1/n)(1-m_2/n)即为去掉不同时出现的概率，即为或条件的概率。
- 复杂的表达式可以依上原则进行估算，确定估算公式。

回顾本讲学习了什么?

SELECT A1, …, An FROM R1, …, Rm
WHERE Cond;

编译

$\pi_{A1, \ldots, An}(\sigma_{Cond}(R1 \times \ldots \times Rm))$

语法优化 逻辑层优化

$\pi_{A1, \ldots, An}(\sigma_{Cond}(\pi_{a11}(\sigma_{Cond1}(R1)) \times \ldots \times \pi_{amn}(\sigma_{Condm}(Rm))))$

逻辑查询计划

执行优化 物理层优化

为每一个关系代数操作**选取**优化的执行层**例行程序**, 形成物理查询计划

物理查询计划
--基于不同算法的实现程序构造

执行引擎: 依查询计划调用相应的**例行程序**进行处理,并返回结果

逻辑层优化
- 关系代数操作次序优化

物理层优化
- 代价估算
- 算法选择与装配次序

DBMS核心技术