

## Processamento de Consultas em Bancos de Dados Distribuídos

IN1128/IF694 – Bancos de Dados Distribuídos e Móveis  
 Ana Carolina Salgado – acs@cin.ufpe.br  
 Bernadette Farias Lôscio – bfl@cin.ufpe.br



Cin.ufpe.br

## Visão geral do processamento de consultas



Cin.ufpe.br

## Introdução

- O grande sucesso dos SGBDs tem origem, principalmente, na facilidade que eles oferecem para organizar e acessar os dados de maneira transparente, ou seja, sem preocupações com a localização física dos dados
- Um componente fundamental dos SGBDs é o processador de consultas!



## O processador de consultas

- Tem como função:
  - Transformar uma consulta de alto nível (cálculo relacional - declarativa) em uma consulta equivalente de baixo nível (álgebra relacional - procedural)
  - Escolher a estratégia de processamento de consulta com o menor custo de recursos computacionais
  - Buscar entre muitas transformações equivalentes e corretas
- No caso de BD Distribuído, a consulta deve ser estendida com operações de comunicação e otimização



## Consulta centralizada

EMP(ENO, ENAME, TITLE) Empregados  
 ASG(ENO, PNO, RESP, DUR) Empregados e Projetos

Encontre os nomes dos empregados que gerenciam um projeto

```
SELECT ENAME
FROM EMP, ASG
WHERE EMP.ENO = ASG.ENO
AND RESP = 'Manager'
```

Consultas equivalentes em álgebra relacional

$\Pi_{ENAME}(\sigma_{RESP='Manager'}(\sigma_{EMP.ENO=ASG.ENO}(EMP \times ASG)))$   
 and

$\Pi_{ENAME}(EMP \bowtie_{ENO} (\sigma_{RESP='Manager'}(ASG)))$

## Consulta distribuída

Seja a consulta a seguir: "Recupere os nomes dos empregados que são gerentes"

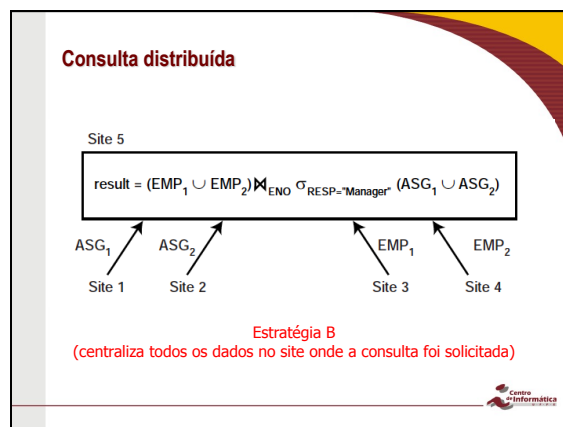
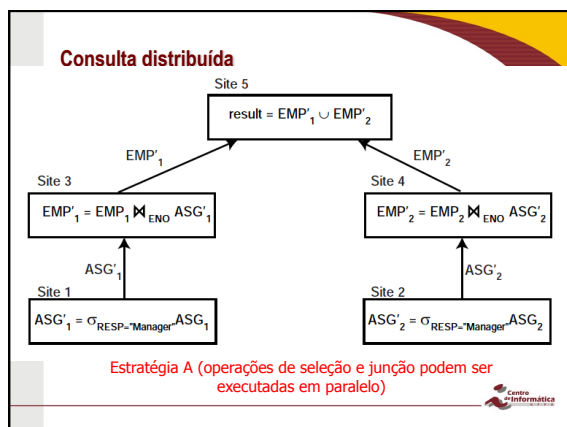
$\Pi_{ENAME}(EMP \bowtie_{ENO} (\sigma_{RESP='Manager'}(ASG)))$

As relações EMP e ASG são fragmentadas como se segue:

$EMP_1 = \sigma_{ENO \leq 'E3'}(EMP)$  Armazenado no site 1  
 $EMP_2 = \sigma_{ENO > 'E3'}(EMP)$  Armazenado no site 2  
 $ASG_1 = \sigma_{ENO \leq 'E3'}(ASG)$  Armazenado no site 3  
 $ASG_2 = \sigma_{ENO > 'E3'}(ASG)$  Armazenado no site 4

E o resultado da consulta é esperado no site 5!





- ### Consulta distribuída
- Modelo de custo
    - Acesso a tupla: 1 unid.
    - Transferência de tupla: 10 unid.
    - Relação EMP contém 400 tuplas
    - Relação ASG contém 1000 tuplas
    - Os dados são uniformemente distribuídos em cada site
    - Existem 20 empregados que são gerentes na relação ASG

### Consulta distribuída

**Custo total da estratégia A**

1. Produce ASG' by selecting ASG requires	$(10 + 10) * tupacc$	=	20
2. Transfer ASG' to the sites of EMP requires	$(10 + 10) * tuptrans$	=	200
3. Produce EMP' by joining ASG' and EMP requires	$(10 + 10) * tupacc * 2$	=	40
4. Transfer EMP' to result site requires	$(10 + 10) * tuptrans$	=	200
The total cost is			460

**Custo total da estratégia B**

1. Transfer EMP to site 5 requires	$400 * tuptrans$	=	4,000
2. Transfer ASG to site 5 requires	$1000 * tuptrans$	=	10,000
3. Produce ASG' by selecting ASG requires	$1000 * tupacc$	=	1,000
4. Join EMP and ASG' requires	$400 * 20 * tupacc$	=	8,000
The total cost is			23,000

- ### Objetivos do processamento de consultas distribuídas
- Dar ao usuário a impressão de que a consulta é realizada em um único banco de dados
  - Transformar uma consulta em alto nível definida para um BD Distribuído (que parece ser um único BD) em uma estratégia de execução eficiente (expressa em uma linguagem de mais baixo nível) a ser executada nos bancos de dados locais

- ### Objetivos do processamento de consultas distribuídas
- Otimização das consultas
    - para uma mesma consulta de alto nível podem existir muitas estratégias de execução diferentes – aquela que minimiza o consumo de recursos deve ser escolhida
  - Medidas de consumo
    - custo total (CPU, E/S e comunicação): soma de todos os tempos que incidem no processamento das operações de consulta em diversos sites e na comunicação entre eles
    - tempo de resposta da consulta: tempo decorrido para execução da consulta
      - As operações podem ser executadas em paralelo em diversos sites: tempo de resposta de uma consulta pode ser menor que o custo total

### Objetivos do processamento de consultas distribuídas

- **Objetivo da otimização de consultas distribuídas se reduz ao problema de minimizar os custos de comunicação de forma geral**
  - Otimização local pode ser feita de forma independente
- **Atualmente buscamos uma combinação ponderada dos 3 tipos de custo (CPU, E/S e comunicação)**
  - Redes de comunicação estão cada vez mais rápidas!



### Complexidade de operações da álgebra relacional

- **Álgebra relacional é a base para expressar o processamento de uma consulta**
  - A complexidade dos operadores da álgebra relacional afetam diretamente o tempo de execução de uma consulta e ditam alguns princípios úteis ao processamento
    - A complexidade é definida em termos da cardinalidade das relações
    - Os operadores mais seletivos (reduzem a cardinalidade) devem ser executados primeiro
    - Operadores devem ser ordenados pela complexidade de forma crescente (o prod. cartesiano deve ficar para o final)



### Caracterização de processadores de consulta

- **Características que podem ser usadas para comparar os processadores de consulta**
- **Aplicam-se a BD Centralizado e BD Distribuído**
  - Linguagens, Tipos de Otimização, Momento da otimização, Estatísticas
- **Aplicam-se apenas a BD Distribuído**
  - Sites de decisão, Exploração da Topologia da Rede, Exploração de fragmentos replicados, Uso de semijunções



### Linguagens

- **SGBDs relacionais oferecem muitas possibilidades de otimização**
  - Pode ser baseada no cálculo relacional ou na álgebra relacional
  - Exige uma fase adicional para decompor uma consulta expressa em cálculo relacional para álgebra relacional
- **SGBDs de objetos utilizam o cálculo de objetos sendo uma extensão do cálculo relacional**
  - decomposição em álgebra de objetos também é necessária
- **Linguagens para BD Distribuído**
  - alguma forma interna da álgebra relacional ampliada com primitivas de comunicação



### Tipos de otimização

- **Buscar em todo o espaço de solução (calculando o custo de execução de cada estratégia) para selecionar aquela com custo mínimo**
- **Pode incorrer em um custo de processamento significativo**
- **Outras soluções podem ser usadas a fim de encontrar uma boa solução sem ser necessariamente a melhor solução**
  - Utilizar heurísticas para diminuir o espaço de possibilidades



### Momento da otimização

- **Estática (antes da execução da consulta)**
  - ocorre em tempo de compilação
  - o custo elevado pode ser amortizado por conta das várias execuções da consulta
  - usa apenas estatísticas do banco de dados
    - não é possível considerar informações sobre as relações intermediárias – estas informações não estão disponíveis!



### Momento da otimização

#### ■ Dinâmica

- ocorre em tempo de execução
- podendo em qualquer ponto da execução escolher a melhor estratégia de execução considerando o conhecimento preciso dos resultados – nem sempre as estatísticas são precisas!
- pode fazer uso de informações sobre as relações intermediárias
- **desvantagem:** a otimização é uma tarefa cara e deverá ser realizada cada vez que a consulta for executada



### Sincronização da otimização

#### ■ Híbrida

- procura oferecer as vantagens da estática
- utiliza a abordagem dinâmica quando detectar em tempo de execução uma diferença grande entre o custo previsto (baseado nas estatísticas) e as relações intermediárias reais



### Estatísticas

- Otimização dinâmica: faz uso de estatísticas para determinar os operadores a serem executados primeiro
- Otimização estática: o tamanho das relações intermediárias é estimado com base nas informações estatísticas
- As estatísticas para a otimização de consultas são definidas com base nos fragmentos, incluindo cardinalidade e tamanho dos fragmentos, bem como o tamanho e o número de valores distintos de cada atributo
- Atualização periódica das estatísticas leva a uma "reotimização" no caso da otimização estática



### Sites de decisão

- A decisão da estratégia a ser aplicada pode ser tomada por um ou vários sites
- abordagem de decisão centralizada (usualmente usada)
  - Mais simples, um único site toma a decisão.
  - Requer o conhecimento de todo o banco de dados distribuído
- Abordagem distribuída
  - Vários sites tomam a decisão
  - Requer apenas informações locais
- Abordagens híbridas
  - Um único site toma a decisão mais importante
  - O restante toma decisões locais



### Exploração da topologia de rede

- Em redes remotas, a função de custo pode estar restrita a comunicação de dados, que é o fator dominante
- A otimização de consultas pode ser dividida em dois problemas:
  - execução global, baseada na comunicação entre sites
  - execução local, baseado em algoritmo de consulta centralizado
- Em redes locais, os custos de comunicação são mais reduzidos
  - Nesse caso, o processador de consultas distribuídas pode aumentar o paralelismo na execução das consultas



### Exploração de fragmentos replicados

- Consultas distribuídas definidas sobre relações globais são mapeadas em consultas sobre os fragmentos físicos
  - Localização: é o processo de localizar os dados(fragmentos) envolvidos em uma consulta
- Para fins de confiabilidade é útil ter fragmentos replicados
  - Alguns algoritmos de otimização exploram a existência de fragmentos replicados em tempo de execução visando diminuir o custo de comunicação
  - O algoritmo torna-se mais complexo porque aumenta o número de possibilidades de estratégias de execução



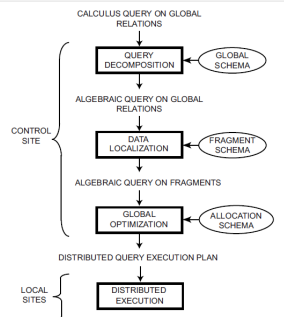
## O uso de semijunções

- Quando o principal componente de custo é a comunicação, uma semijunção é útil para melhorar o processamento, pois reduz o tamanho dos dados a serem trocados na rede
- Porém, pode resultar no aumento de troca de mensagens e do tempo de processamento local!

Um semijunção da relação  $R$  definida sobre o conjunto de atributos  $A$  pela relação  $S$  definida sobre o conjunto de atributos  $B$  é o subconjunto das tuplas de  $R$  que participam da junção de  $R$  com  $S$



## Camadas do processamento de consultas



Cada camada resolve um problema bem definido!



## Camadas do processamento de consultas

- A entrada é uma consulta definida sobre relações globais (a distribuição fica transparente)
- Os três primeiros níveis mapeiam a consulta de entrada em um plano de execução de consulta distribuída
  - A decomposição da consulta e a localização dos dados correspondem a reescrita da consulta
- As três primeiras atividades são executadas por um site de controle central e usam informações sobre o esquema armazenadas no diretório global
- O quarto nível é responsável pela execução da consulta distribuída (o plano é executado e a resposta é retornada ao usuário)
  - Isto é feito pelos sites locais e pelo site de controle!



## Decomposição de consultas

- Decomposição da consulta de cálculo algébrico em uma consulta algébrica sobre relações globais
- As técnicas utilizadas por essa camada são as de um SGBD centralizado
- 4 etapas sucessivas:
  - A consulta de cálculo é reescrita de forma normalizada adequada a manipulação subsequente
  - A consulta normalizada é analisada semanticamente, de forma que as consultas incorretas sejam detectadas e rejeitadas o quanto antes
  - As consultas corretas são simplificadas, eliminando predicados redundantes
  - A consulta em cálculo é reestruturada para uma consulta algébrica



## Localização de dados

- Entrada: consulta algébrica sobre relações distribuídas
- Localizar dados com o uso de informações de distribuição de dados
- Determinar que fragmentos estão envolvidos na consulta e transformar a consulta distribuída em uma consulta sobre fragmentos



## Otimização de consultas globais

- Entrada: consulta algébrica sobre os fragmentos
- Encontrar a melhor estratégia de execução possível
- A estratégia de execução pode ser descrita como operações de álgebra relacional e primitivas de comunicação para transferências de dados entre sites
- A estratégia consiste em ordenar as operações, incluindo as de comunicação, para minimizar o custo computacional
- Saída: Plano de execução de consulta distribuída



### Otimização de consultas locais

- Entrada: operações de álgebra relacional da estratégia definida
- Executado por todos os sites que têm fragmentos envolvidos na consulta
- Cada subconsulta realizada em um site, chamada consulta local, é otimizada com uso do esquema local
- A otimização local emprega os algoritmos de sistemas centralizados



### Conclusão

- Existem várias formas de executar uma consulta!
- O processador de consultas é o responsável por encontrar uma forma eficiente de execução de uma consulta
- O processador de consultas utiliza dados do sistema para estimar o custo de cada plano de execução
- É muito importante avaliar e otimizar as consultas, pois o desempenho do sistema pode ser drasticamente afetado dependendo do plano de execução escolhido

