

병렬 공간 데이터베이스의 질의 처리를 위한 비용 모델의 설계

안성우^o 서영덕 홍봉희
부산대학교 컴퓨터공학과

(swan.ydseo.bhhong)@hyowon.cc.pusan.ac.kr

The Design of the Cost Model for Query Processing in Parallel Spatial Databases

Sung-Woo Ahn^o Young-Dok Seo Bong-Hee Hong
Dept. of Computer Engineering, Pusan National University

요 약

비용모델과 추정(Cost Model and Estimation)은 모든 DBMS에서 성능 측정을 하기 위한 기본적인 도구이다. 지금까지의 질의 수행에 대한 비용모델을 제시하는 연구가 많이 있었지만 대부분의 연구가 특정 부분에 대한 비용-CPU비용, 색인 방법에 대한 I/O횟수, I/O비용 등-만을 고려함으로써 질의를 수행하는데 필요한 전체적인 비용을 산출하는데 부족한 점이 있었다. 그리고 병렬 공간 DBMS에 대한 비용모델을 산출하는 연구가 아직까지 이루어지지 않았다.

이 논문에서는 병렬 공간 DBMS에서 질의를 처리하는데 드는 전체적인 비용을 산출하고 있다. 기존의 연구에서 제시하고 있는 비용모델을 적용하고, 병렬 컴퓨터와 공간 데이터가 결합되었을 때의 고려사항을 추가하여 병렬 공간 DBMS에 적합한 전체적인 비용모델을 산출함으로써 병렬 공간 DBMS에서의 효율적인 질의수행에 대한 다른 연구를 수행할 때 비용모델에 대한 초석을 제공한다.

1. 서론

비용모델과 추정(Cost Model and Estimation)은 모든 DBMS에서 성능 측정을 하기 위한 기본적인 도구로서, 질의에 대한 정확한 비용모델 산출을 통해, 첫째, 다양한 입력 데이터 집합과 크기에 대해서 데이터 구조의 동작에 대한 이해를 쉽게 할 수 있고(structure evaluation), 둘째, 다른 비용모델 간의 비교 시에 객관적인 비교 포인트의 역할을 할 수 있다(benchmarking). 셋째, 효율적인 비용모델을 제시함으로써 복잡한 질의 비용과 실행 순서를 평가하기 위한 질의 최적화기의 입력으로써 사용될 수 있다(query optimization)[1].

지금까지 질의 수행에 대한 비용모델을 제시하는 연구가 많이 있었지만 대부분의 연구가 특정 부분에 대한 비용-CPU비용, 색인 방법에 대한 I/O 횟수, I/O 비용 등-만을 고려함으로써 질의를 수행하는데 필요한 전체적인 비용을 산출하는데 부족한 점이 있었다. 그리고 RDBMS, 단일 공간 DBMS에서의 비용모델에 대한 연구는 많이 있었지만 병렬 공간 DBMS에 대한 연구는 이루어지지 않았다.

이 논문에서는 위와 같은 문제에 접근하여 비용모델을 제시하는 기존의 연구에서 이루어졌던 부분적인 비용모델을 참조하여 병렬 DBMS 와 공간 DBMS에서의 고려사항을 적용하고 병렬 공간 DBMS에서의 전체적인 비용모델을 산출하는 방법을 사용하여 병렬 공간 DBMS에 적용 가능한 전체적인 비용모델을 제시함으로써 inter-query 수행 방법의 최적화에 대한 비용모델 산출을 위한 초석을 제공하고 자 한다. 그리고 공간 DBMS에서의 비용을 CPU 비용, I/O 비용, Network 비용으로 나누어서 각각의 비용 요소에 대해서 세분화하여 기존의 비용모델을 적용하고 질의의 종류, 공간 연산의 종류, 디스크의 개수에 따른 비용모델의 통합을 통하여 전체적인 비용을 산출할 수 있도록 한다. 또한, 질의의 처리 방식을 단일 질의를 여러 개의 CPU에서 처리하는 intra-query를 대상으로 선택, 조인 질의를 처리하

는 비용모델을 제시함으로써 병렬 공간 DBMS에 대한 inter-query 수행의 최적화를 할 수 있는 비용모델을 제시할 수 있는 초석을 제공할 수 있도록 한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 비용모델을 산출하기 위한 하드웨어 구성과 질의의 종류에 대해서 언급하고, 3장에서는 지금까지 연구된 비용모델에 대해서 살펴본다. 4장에서는 실제 이 연구에서 사용된 비용 변수들을 분류, 분석하여 각 비용 변수들에 대한 비용을 제안하고 5장에서는 4장에서 제안한 비용 변수들을 적용하여 공간 DBMS에서의 전체 비용모델을 제시한다. 마지막으로 6장에서는 결론과 향후 연구과제에 대한 제안을 한다.

2. 연구대상

하드웨어 환경

비용모델을 산출하기 위한 하드웨어 환경은 그림 1.2와 같다.

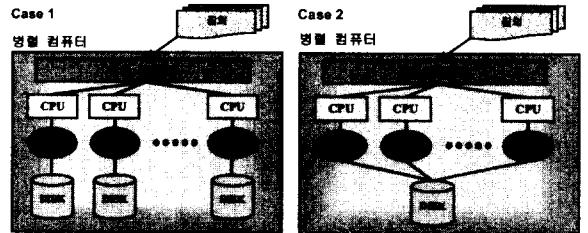


그림 1. 다중 디스크 환경

그림 2. 단일(전역) 디스크 환경

그림 1과 2는 모두 여러 개의 CPU에서 질의를 처리하는 병렬 컴퓨터로 동일하나 디스크의 사용에서 차이점이 있다. 그림 1은 하나의 CPU에 하나의 디스크를 할당하여 각각의 디스크에는 공간 데이터 집합이 다분리되어서 분산되어 있는 경우이다. 그림 2는 모든 CPU가 하나의 전용 디스크를 공유하고 있는 경우이다. 두 가지의 환경이 각각 질의 처리 시의 I/O비용이 다르게 처리되어야 하므로 본 논문에서는 두 가지의 경우 모두에 대해서 비용을 산출한다.

질의의 종류

CPU에 할당되는 질의는 단일 질의(intra-query)에 대한 선택질의(point, range 질의)와 조인질의를 대상으로 한다.

3. 관련연구

비용모델을 분류하면 크게 RDBMS에서의 비용모델과 공간DBMS에서의 비용모델로 나눌 수 있다. RDBMS에서의 비용모델은 [2] 등이 있으며, 공간 DBMS에서의 비용모델은 [1],[3],[4] 등이 있다.

[2]는 병렬 RDBMS에서의 질의 최적화를 다루는 연구로 순차 실행시의 비용 산출과 병렬 실행시의 비용 산출에 대한 비교를 하고 있고 비용을 산출하기 위해서 비용모델과 heuristic function, search algorithm을 제시하고 있다. 비용을 산출할 때 operator tree를 이용하여 각 노드의 연산에 필요한 비용을 계산하고 있다. 그러나 이 연구는 색인 방법에 대해서는 고려하고 있지 않고 공간 데이터의 특성에 대한 고려가 없기 때문에 공간 DBMS에 그대로 적용하기는 어렵다.

[1]과 [3]은 공간 DBMS에서의 비용모델을 제시하고 있다. [1]은 공간 질의에 대해서 선택, 조인질의를 모두 고려하고 있고, 공간 데이터의 특성(non-uniform data set)에 대해서도 고려를 하고 있다. 또한, R-tree 색인의 속성에 대한 지식이 없어도 비용모델을 적용할 수 있도록 하고 있다. 그러나 [5]는 조인질의만을 대상으로 하고 있고 공간 데이터의 특성에 대해서는 고려를 하고 있지 않다. 대신 버퍼링을 적용하였을 때의 조인질의에 대한 비용을 상세히 제시하고 있다. 두 연구 모두 R-tree에서의 질의에 대한 노드 액세스, 디스크 액세스 비용에 기반하여 비용모델을 산출하는 한계를 가지고 있다.

위에서 살펴 본 바와 같이 현재까지의 공간 DBMS에 대한 비용모델은 주로 색인방법(R-tree)에 기반한 조인질의에 대한 디스크 I/O 횟수를 산출하는 연구[3],[4]가 주류를 이루고 있다. 또한, 공간 데이터 집합이 uniform하다고 가정을 하고 비용을 산출하는 연구가 대부분이어서 non-uniform 데이터 집합에 대해서는 비용모델을 그대로 적용하기가 어렵다. 그리고 병렬 시스템에 대한 공간 데이터를 처리하는 비용모델은 아직 연구가 행해지지 않고 있다. 그러나 최근 하드웨어의 가격이 낮아지면서 병렬 프로세서 시스템이 많이 보급되고, 실시간 처리의 비중이 높아짐에 따라 병렬 시스템에서의 공간 데이터 처리에 관한 비용 모델을 산출하는 것이 필요하다.

4. 비용변수

4.1. 비용변수의 분류

이 논문에서 제안하는 비용 변수의 분류는 표 1과 같다. 먼저 CPU비용에 대한 고려 요소는 CPU 하나 당 비용, CPU의 개수 증가에 따른 성능, CPU간의 부하 균등화 비용을 들 수 있다. I/O관련 비용에 대한 고려 요소는 질의의 종류에 따른 I/O비용이 다르기 때문에 선택질의, 조인질의에 대한 비용이 있고, 버퍼링의 적용여부가 선택질의에서는 크게 영향을 받지 않지만 조인질의에 대해서는 크게 영향을 미치게 되므로 버퍼링 적용시의 I/O비용을 산출해야 한다. 이 논문에서는 조인질의에 대해서 버퍼링을 적용한 I/O비용을 적용한다. 그리고 실제 데이터 집합에서는 non-uniform 데이터가 많기 때문에 non-uniform 데이터 집합에 대한 비용도 고려를 해야 한다. 이 논문에서는 선택질의 시의 I/O비용에서 non-uniform 데이터 집합을 고려한 I/O비용을 적용한다. I/O비용의 산출 시 다중 디스크 환경에서는 디스크 노드 간의 데이터 교환 시의 비용도 고려 요소가 된다. 마지막으로 Network관련 비용은 CPU간의 메시지 교환 시의 비용을 고려하도록 한다.

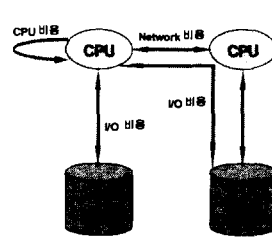
그림 3과 4에서와 같이 병렬 공간 DBMS에서의 비용은 CPU관련 비용 + I/O관련 비용 + Network관련 비용으로 나눌 수 있다. 그림 3은 다중 디스크에서의 비용 변수에 대한 것으로 그림 4의 단일 디스크에서의 비용 변수와 다른 것은 동일하나 I/O비용에서 차이를 보인다. 즉,

공간 데이터 집합이 각 디스크에 다분리되어서 한 CPU가 다른 CPU에 연결되어 있는 디스크에 있는 데이터를 요청할 때 그 디스크를 바로 액세스할 수 있는 것이 아니라 다른CPU를 통해서 액세스를 해야 하므로 단일 디스크 기반의 I/O 비용과 다르게 해석을 해야 한다. 이 경우의 I/O비용에 대해서는 4.2.2에서 다루고 있다.

표 1. 비용 변수의 분류

CPU 관련	한 CPU의 비용
	CPU 개수의 증가에 따른 성능 CPU 간의 부하 균등화에 따른 비용
I/O 관련	버퍼링 적용에 따른 I/O비용 Non-uniform 데이터 집합을 처리하기 위한 비용 디스크 노드간의 데이터 교환 비용
	Network 관련

Case 1



Case 2

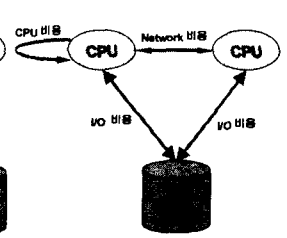


그림 3. 다중 디스크에서의 비용 그림 4. 단일 디스크에서의 비용
각각의 비용 고려요소는 4.2.1부터 4.2.3까지에서 분석하도록 한다.

4.2. 비용변수의 분석

4.2.1. CPU관련 비용

먼저 하나의 CPU에 대한 비용을 살펴보면 다음과 같다. 관련연구 [2]의 비용 산출식의 의해서 각 CPU의 질의 처리시의 비용 C_i 와 CPU하나 당 평균 비용 $A(C)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$C_i = \sum_{we \text{ PREDI}} receive_w + t_i + \sum_{we \text{ SUCCI}} send_w \dots\dots\dots(1)$$

$$A(C) = (1/n) \cdot \sum_{i=1}^n C_i \dots\dots\dots(2)$$

위의 비용모델에서 한 가지 더 고려해야 할 사항으로 t_i 는 기존의 RDBMS에서와 달리 공간 DBMS에서는 어떤 공간 연산을 처리하느냐에 따라서 CPU비용의 차이가 많이 나게 된다. 따라서 각 공간 연산에 대한 t_i 의 비용을 더 자세히 나타낼 필요가 있다. 다음으로 CPU개수의 증가에 따른 성능(N_C)도 고려할 수 있다.

$$N_C \propto k \cdot \log(n \cdot A(C)) \dots\dots\dots(3)$$

N_C 는 CPU개수의 증가에 따라 성능이 일차함수 형태로 증가하는 것이 아니라 CPU 연산간의 병목현상 등의 이유로 어느 일정한 비율로 증가하다가 증가비율이 서서히 감소하는 로그함수 형태를 취한다.

식(2)에서 중요하게 살펴되어야 할 점이 $A(C)$ 를 전체 CPU 비용을 산출하는 비용모델에 그대로 적용할 수 없다는 것이다. $A(C)$ 는 CPU 하나 당 질의 처리 시에 드는 평균 비용으로 부하 균등화가 제대로 되지 않았다면 각각의 CPU가 질의 처리를 끝내는 시간의 차이는 많이 난다. 따라서 CPU 하나 당 질의 처리 시에 드는 비용을 산출할 때에는 모든 CPU비용 중 가장 오랜 시간이 걸리는 CPU의 비용(critical path time)을 적용해야 한다. 식(4)의 $C_{critical}(T)$ 는 이 비용을 나타내고 있다.

$$C_{critical}(T) = \max\{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\} \dots\dots\dots(4)$$

CPU관련 비용에서 마지막으로 살펴볼 수 있는 것이 CPU간의 부하 균등화 비용이다.

부하 균등화에 대한 비용모델을 나타내는 식은 (5)와 같다.

$$C_{LB} \propto \frac{1}{N_{Message} \cdot D_{Granularity}} \propto D_{Skew}$$

$$\Rightarrow C_{LB} = a \cdot \frac{D_{Skew}}{N_{Message} \cdot D_{Granularity}} \dots\dots\dots(5)$$

식(6)에서 식(5)까지의 비용모델에서 질의처리 시에 드는 총 CPU비용을 산출할 수 있다.

$$C_{total}(T) = C_{LB} + C_{critical}(T) \dots\dots\dots(6)$$

식(6)에서 C_{LB} 와 $C_{critical}(T)$ 는 서로 반비례의 관계가 있다. 즉, 동일 질의에 대해서 C_{LB} 의 값이 커지게 되면 부하 균등화 효과가 커지므로 $C_{critical}(T)$ 의 값은 감소하게 된다. 반대로 C_{LB} 의 값이 작아지게 되면 부하 균등화 효과가 상대적으로 작아지므로 $C_{critical}(T)$ 의 값은 증가하게 된다. 따라서 $C_{total}(T)$ 를 최소화하는 C_{LB} 와 $C_{critical}(T)$ 의 짝을 찾아내는 것이 중요하다.

4.2.2. I/O관련 비용

I/O관련 비용은 선택질의와 조인질의로 나누어서 산출하도록 한다.

선택질의

선택질의의 시의 I/O비용은 관련연구[1],[3]에 의해서 R-tree색인을 사용하였을 때의 노드 액세스 비용에 기반한 비용모델을 사용한다. 선택질의의 시의 노드 액세스 비용은 디스크 액세스 비용으로 간주하여도 정확성에 대한 손실 없이 적용할 수 있다[1].

연구[1]에서 non-uniform 데이터 집합을 처리하기 위해서 고려하고 있는 사항이 D_{R_i} 과 N_{R_i} 이 교체하는 것이다. 즉, [1]에서 제시하고 있는 비용모델에서 D_{R_i} 은 데이터 집합에 대한 평균 밀도 값이기 때문에 non-uniform 데이터 집합에 대해서는 부정확한 비용이 산출되게 된다. 따라서, D_{R_i} 을 실제 밀도 값 D'_{R_i} 로 교체를 해야 하는데 여기에 대한 효율적인 샘플링 알고리즘은 기존의 연구에서 제시하고 있다[1].

non-uniform 데이터 집합을 고려한 비용모델은 (7)과 같다[1].

$$DA' = 1 + \sum_{j=1}^{\lceil \log_i \frac{N_{R_i}}{f} \rceil} \left\{ \frac{N'_{R_i}}{f^j} \prod_{i=1}^n \left(\left(D'_{R_{i,j}} \cdot \frac{f^j}{N_{R_i}} \right)^{1/n} + q_i \right) \right\}$$

where $N'_{R_i} = \left(\frac{D'_{R_i}}{D_{R_i}} \right) \cdot N_{R_i} \dots\dots(7)$

식(7)에 의해서 선택질의에 대한 디스크 액세스 시의 시간에 대한 비용을 산출할 수 있다.

$$T(DA') = DA' \times B\mu \dots\dots(8)$$

여기서 $T(DA')$ 는 디스크 액세스에 드는 전체 비용을 말하고 μ 는 바이트 당 데이터 전송 시간을 의미한다.

조인질의

조인질의의 시의 I/O비용은 관련연구[3]에서 제시하는 비용모델을 사용한다. 여기서는 Depth-First 알고리즘을 사용하는 R-tree색인을 이용할 때 조인질의의 I/O횟수를 산출하는데, 먼저 버퍼링을 하지 않았을 때의 I/O비용을 먼저 산출하고(ZEIO), ZEIO를 이용하여 버퍼링을 고려한 I/O비용(EIO)을 산출하고 있다. 비용모델은 식(9)과 같다.

$$EIO = n + m + (ZEIO - n - m) \times P\{x \geq b\} \dots\dots(9)$$

식(9)에서 조인질의의 시의 I/O시간 비용을 산출할 수 있다.

$$T(EIO) = EIO \times B\mu \dots\dots(10)$$

노드간의 데이터 교환 시의 비용

I/O관련 비용 중 마지막으로 살펴볼 내용은 그림 1에서 제시한 다중 디스크 구조에서 데이터가 각 디스크에 디플러스터링 되어 있는 경우 다른 CPU에 연결되어 있는 디스크에서 데이터를 가져 올 때의 비용을 산출하는 것이다.

노드간의 데이터 교환 시의 비용은 식(11)과 같이 정의한다.

$$Dt = D_{t\text{send}} = D_{t\text{receive}} = \gamma + B\delta \dots\dots(11)$$

4.2.3. Network관련 비용

Network관련 비용은 CPU간의 메시지 교환 시의 비용으로 정의할 수 있다. 식(12)는 메시지를 주고 받을 때의 비용을 나타낸 것으로 [2]에서도 찾아볼 수 있다.

$$Ct = C_{t\text{send}} = C_{t\text{receive}} = \alpha + B\beta \dots\dots(12)$$

$$C_{t\text{total}} = N_{\text{message}} \times Ct \dots\dots(13)$$

식(12)에 따른 전체 메시지 비용은 식(13)과 같이 정의할 수 있다. 즉, 전체 메시지 비용은 하나의 메시지를 보낼 때의 비용 C_t 와 총 메시지의 개수 N_{message} 의 곱으로 표시할 수 있다.

5. 전체 비용모델

4장에서 각 비용관련 변수에 대해서 비용을 산출하는 비용모델을 유도하였다. 앞에서 유도한 모델을 이용해서 표 3.에서는 조건에 따른 전체 비용모델을 제시하고 있다.

표 3. 질의 환경에 따른 전체 비용모델

질의 종류		비용 모델	비고
공간 연산의 종류		$(6) + ((9) \text{ or } (11)) + ((12) \text{ or } \text{none}) + (14)$	연산의 종류에 따라 (6)에서 t_i 값을 변화
질의의 종류	선택질의	$(6) + (9) + ((12) \text{ or } \text{none}) + (14)$	(9)와 (11) 중 (9)를 선택
	조인질의	$(6) + ((11) + ((12) \text{ or } \text{none}) + (14))$	(9)와 (11) 중 (11)을 선택
디스크 개수	단일	$(6) + ((9) \text{ or } (11)) + (14)$	(12)와 none 중 none을 선택
	다중	$(6) + ((9) \text{ or } (11)) + (12) + (14)$	(12)와 none 중 (12)를 선택

6. 결론 및 향후연구

지금까지 질의를 처리하는데 대한 비용을 산출하기 위해서 많은 연구가 있어 왔다. 그러나 기존의 비용모델에서는 질의를 수행하는데 드는 전체 비용을 산출하기 보다는 관심의 대상이 되는 특정한 비용-CPU비용, I/O비용 등-만을 고려한 비용만을 산출하고 있다. 또한, 기존의 비용모델에 대한 연구에서 병렬 공간 DBMS에 대한 연구는 지금까지 이루어지지 않았고 공간 데이터 집합의 특성과 병렬 컴퓨터의 특성 때문에 기존의 연구에서 사용된 비용모델을 그대로 적용하기가 어려운 문제가 있었다.

이 논문에서는 위와 같은 기존 연구에서의 문제점을 해결하기 위해 병렬 공간 DBMS에서 질의를 처리하는데 드는 전체적인 비용을 산출하고 있다. 기존의 연구에서 제시하고 있는 비용모델을 적용하고, 병렬 컴퓨터와 공간 데이터가 결합되었을 때의 고려사항을 추가하여 병렬 공간 DBMS에 적합한 전체적인 비용모델을 산출하고 있다.

향후 연구과제로 이 논문에서 제시한 비용모델에서의 각 비용변수에 대한 세부적인 정제과정이 필요하고, 제안한 비용모델에 대한 실험을 통하여 비용모델의 결과 비용과 실제 실험 결과 비용과의 비교를 통한 정확성과 효율성을 입증하는 것이 필요하다.

7. 참고 문헌

- [1]. Y. Theodoridis, E. Stefanakis, T. Sellis, "Efficient Cost Models for Spatial Queries Using R-trees", IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, Vol. 12, 2000, p1 ~ 30
- [2]. S. Ganguly, A. Goel, A. Silberschatz, "Efficient and Accurate Cost Models for Parallel Query Optimization", PODS'96, Montreal Quebec Canada, p172 ~ 181
- [3]. Y. W. Huang, N. Jing, E. A. Rundensteiner, "A Cost Model for Estimating the Performance of Spatial Joins Using R-trees", Proc. of the 9th Inter. Conf. On SSDBM'97
- [4]. Y. Theodoridis, T. Sellis, "A Model for the Prediction of R-tree Performance", PODS '96, Montreal Quebec Canada, p161 ~ 171
- [5]. 서영덕, 김진덕, 홍봉희, "R-tree를 이용한 병렬공간 조인의 텍스트 생성/탐단 알고리즘의 구현 및 성능평가", 정보과학회 '98 가을 학술 발표 논문집[1] Vol 25 No 2, p111 ~ 113
- [6]. 김진덕, 홍봉희, "단일/다중할당 공간 색인에서 병렬 공간 조인의 성능 평가", 정보과학회 논문지, Vol. 26, NO.6, JUNE 1999, p763 ~ 779