

분산 공간 데이터베이스 시스템에서 R+ -tree를 이용한 병렬 분산 공간 조인 기법

김종현^{*}, 김재홍^{**}, 배해영^{*}

kjh1592@dblab.inha.ac.kr, jhong@youngdong.ac.kr, hybae@inha.ac.kr

^{*}인하대학교 전자계산공학과

^{**}영동대학교 컴퓨터공학전공

Parallel Distributed Spatial Join Method using R+ -tree In Distributed Spatial Database Systems

JongHyun Kim^{*}, JaeHong Kim^{**}, HaeYoung Bae^{*}

^{*}Dept. of Computer Science & Engineering, Inha University

^{**}Dept. of Computer Engineering, Youngdong University

요 약

여러 사이트에서 구축된 공간 데이터를 효율적으로 관리 및 공유하기 위해서는 대용량의 정보를 처리할 수 있는 분산 공간 데이터베이스 시스템의 사용이 필수적이다. 이러한 분산 공간 데이터베이스 시스템상에서의 분산 공간 조인 질의는 공간 데이터의 대용량성과 그 복잡성으로 인하여 공간 연산의 지역적 부하와 네트워크상의 전송 부하를 발생시킨다. 이러한 문제들 해결하기 위해 세미조인 기반의 공간 조인 기법들이 제안되었으나 공간 조인 연산을 특정 서버에서만 수행하여 병목현상을 발생시키기 때문에 결국 질의 처리시간이 증가된다.

본 논문은 이러한 분산 공간 데이터베이스 시스템에서 수행 비용이 많이 드는 원격 사이트간의 공간 조인 연산에 대해 R+ -tree 공간 색인을 사용하여 병렬적으로 수행하는 기법을 제안한다. 본 기법은 R+ -tree 공간 색인을 이용하여 공간 조인 연산의 대상이 되는 릴레이션들을 중첩이 없는 두개의 릴레이션들로 분할한 후 질의 수행에 참여하는 두 서버에 조인 연산을 분배하고 병렬적으로 처리하여 결과들을 병합한 다음 클라이언트에게 전송한다. 본 기법은 릴레이션을 분할하여 각 서버에서 공간 조인 연산을 병렬적으로 처리하므로 처리 비용을 절반으로 감소시키며, R+ -tree의 영역에 해당하는 객체들만 조인 연산에 참여하게 함으로써 네트워크 전송 비용을 감소시킨다.

1. 서론

국가 기본도의 제작이 완료됨에 따라 이를 바탕으로 한 공간 데이터 구축이 여러 분야에서 활발하게 일어나고 있다. 각 사이트에서 구축된 공간 데이터를 효율적으로 저장, 관리하고 여러 사이트에 산재하는 데이터들을 서로 공유하여 사용하기 위해서는 대용량의 정보를 처리할 수 있는 분산 공간 데이터베이스 시스템의 사용이 필수적이다[1, 2].

분산 공간 데이터베이스 시스템에서 분산 공간 조인 질의는 공간 데이터의 대용량성과 그 복잡성으로 인하여 공간 연산을 수행하는 서버 내에서 CPU 및 I/O상의 지역적 부하와 네트워크상의 전송 부하를 발생시켜 질의 처리시간이 증가되고 초기 응답시간이 지연되어 사용자의 만족도를 떨어뜨린다.

이러한 분산 공간 조인 질의 처리를 위해 기존의 문자 및 숫자 기반의 일반적인 분산 데이터베이스 시스템에서 사용되는 세미조인[1]을 기반으로 하는 여러가지 공간 조인 기법들이 제안되어 네트워크상의 전송 부하를 다소 줄이긴 했지만 여전히 공간 연산을 수행하는 부하 가운데 대부분을 차지하는 정제 연산(Refinement)[1]이 공간 연산을 수행하는 지역 서버에 집중되어 병목현상을 발생시켜 결과적으로 질의 처리시간이 증가된다.

본 논문은 이러한 분산된 환경의 대용량 공간 데이터베이스 시스템에서 수행 비용이 많이 드는 원격 사이트간의 공간 조인 연산시 R+ -tree[5] 공간 색인을 사용하여 공간 조인 연산을 두 서버에서 병렬적으로 수행하게 함으로써 공간 연산의 부하를 감소시키고 또한 조인 연산에 참여하는 객체들만을 전송함으로써 네트워크 상의 전송 부하를 줄이는 기법을 제안한다.

본 기법은 R+ -tree의 루트(root) 노드 레벨에서 각 엔트리들을 두개의 MBR 그룹으로 나눈 후, 각 서버의 릴레이션들을 MBR 그룹으로 이등분하여 조인 공간 연산을 분배하고 병렬적으로

처리하여 결과를 병합함으로써 최종 공간 조인 연산 결과를 반환한다. 본 기법은 분산 공간 데이터베이스 시스템에서 관리되어지고 있는 두 릴레이션들 간의 공간 조인 연산시 R+ -tree 공간 색인의 두개의 MBR 그룹들에 대해 릴레이션을 분할하여 조인을 병렬적으로 수행함으로써 공간 연산에 참여하는 공간 객체의 수를 절반으로 줄여 연산 비용을 감소시키며, 해당 MBR 그룹에 속하는 공간 객체만을 서로 전송하게 되므로 네트워크 전송 부하를 감소시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존에 제안된 세미조인 기반의 분산 공간 조인 기법과 단일 서버 내에 있는 두 릴레이션의 병렬 연쇄 조인에 사용되는 릴레이션 분할 기법에 대해 알아본다.

3장에서는 본 기법에서 가정하고 있는 적용 시스템의 기본적인 환경과 R+ -tree 공간 색인을 이용한 병렬 분산 공간 조인 기법에 대해 설명하고 4장에서는 본 기법의 성능을 기존의 분산 조인 기법과 비교하여 평가하며 5장에서 결론 및 향후 연구 과제를 설명한다.

2. 관련 연구

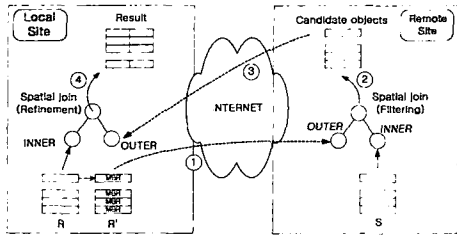
2.1. 분산 공간 조인 기법

일반적으로 관계형 분산 데이터베이스 시스템에서는 서로 떨어진 두 원격 사이트간의 질의 처리 시에 조인 연산은 세미조인(Semijoin)을 이용하여 수행한다. 세미 조인 기법을 사용하면 튜플의 전체 어트리뷰트가 아닌 조인에 관련된 어트리뷰트만을 프로젝션하여 전송하므로 네트워크 부하를 감소시키는 효과가 있다[4]. 세미조인 기반의 분산 공간 조인 기법은 [그림 2-1]과 같으며, 세미조인 기반의 공간 조인 연산을 처리하는 알고리즘은 다음과 같다.

1. 릴레이션 R에서 튜플 한 개를 읽어 공간 객체의 근사 정보를 S의 사이트로 전송한다.

* 본 연구는 정보통신부의 대학 S/W 연구센터 지원사업의 연구결과임.

2. S의 사이트에서 S와 전송 받은 근사 정보를 이용하여 여과연산을 수행하여 후보 객체 리스트인 S'를 생성한다.
3. S'를 R의 사이트로 전송한다.
4. R의 사이트에서 읽은 튜플과 S'와의 정제(Refinement) 연산을 수행하여 적합한 객체를 선별하여 조인한다.
5. 1 ~ 4의 과정을 R의 모든 객체에 대하여 수행한다.



[그림 2-1] MBR정보를 이용한 세미조인 기반의 분산 공간 조인 위의 알고리즘은 공간 연산의 수행을 두개의 사이트에서 두 번 중복해서 하지 않고, 여과연산과 정제연산으로 나누어 수행하지만, 공간 연산에서 가장 큰 부하로 작용하는 정제연산을 특정 서버에서 모두 처리하므로, CPU에 걸리는 부하를 균등하게 분산시키지 못하는 단점이 있다.

2.2. 분할 기반 공간 병합 조인

분할 기반 공간 병합 조인(PBSM Join : Partition Based Spatial-Merge Join)[2]기법은 기존에 단일 서버 내에서의 병렬 조인 기법으로 제시된 병렬 버전의 정렬 병합(Sort-Merge) 계열의 조인[6] 기법과 비슷하지만, 분할의 대상이 공간 릴레이션이라는 점과 릴레이션의 분할을 선행적인 값으로 하지 않고 이차원인 영역의 분할을 이용한다는 것이 다르다. PBSM 조인 기법은 일반적인 공간 연산의 수행단계와 같은 여과 단계와 정제 단계로 나뉘어 수행된다.

PBSM 조인 기법은 비용이 많이 드는 공간 조인 연산을 병렬로 수행할 수 있어 수행 시간을 단축시킬 수 있다. 하지만, 조인의 수행 전에 각 분할 영역에 포함되는 OID들의 리스트를 작성해야 하므로 초기 응답시간이 오래 걸리고, 중복된 OID 쌍을 제거해야 하는 추가 부담도 있으며, 지역적으로 편중된(Skewed) 객체들을 처리하는 것에 대해서는 특별한 대안이 없는 단점이 있다.

3. 분산 공간 데이터베이스에서 R+-tree를 이용한 병렬 분산 공간 조인 기법

본 장에서는 둘 이상의 원격 사이트에 분산되어있는 공간 데이터베이스에 대한 질의 수행 시 포함되는 분산 공간 조인 질의를 효율적으로 수행할 수 있는 R+-tree를 이용한 병렬 분산 공간 조인(PDSJR : Parallel Distributed Spatial Join using R+-tree) 기법에 대하여 설명한다. 본 기법은 분산 공간 조인 질의 중 INTERSECT 공간 연산에 대해 매우 효율적인 병렬 분산 공간 조인을 수행한다.

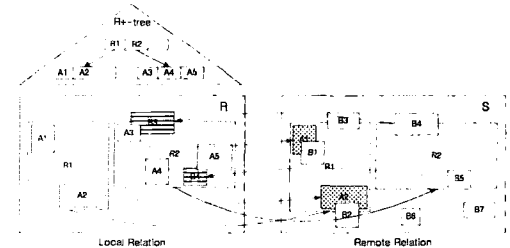
3.1. 적용 시스템의 기본 환경

공간 데이터는 일반적으로 그 종류에 따라 제작 및 갱신을 하는 사이트가 따로 정해져 있으며, 나머지 사이트에서 이를 가져와 자신이 가지고 있는 공간 데이터의 배경 데이터로 사용한다. 또한 일단 제작된 공간 데이터에 대해서는 추가적인 갱신 연산이 자주 발생하지 않는 특성을 가지고 있다. 이러한 공간 데이터가 가지고

있는 특징들을 기반으로 분산 공간 데이터베이스 시스템 내의 각 사이트들은 자신이 소유한 원본 공간 데이터 중 필요한 것을 읽기 전용(Read Only)으로 외부에 공유한다. 또한 각 서버는 공간 데이터가 가지고 있는 비정형성과 연산의 복잡성으로 인해 MBR이나 공간 색인 등이 필요하며 본 논문에서는 공간 조인 연산을 수행하게 되는 서버에 R+-tree 공간 색인이 구축되어 있다고 가정한다.

3.2. R+-tree를 이용한 릴레이션 분할 기법 및 전송 기법

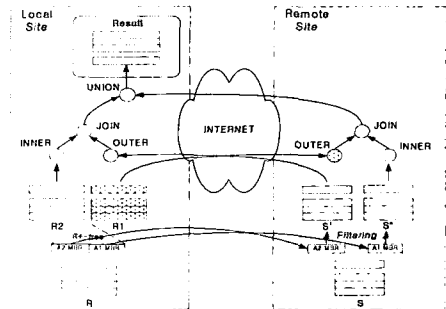
원격 사이트에 있는 두 릴레이션을 공간 조인 할 때는 객체를 전송하는 네트워크상의 전송 부하와 각 서버에서 공간 조인 연산을 수행하는 CPU 및 디스크 I/O 부하가 큰 문제가 된다. 본 기법에서는 R+-tree에서 내부 노드들의 영역 사이에 중첩 영역이 없다는 특성을 이용하여 루트 노드의 엔트리들을 해당 MBR값에 따라 2개의 그룹으로 분류한다. 그 후에 두개의 그룹중 한쪽 그룹에 포함되는 공간 객체들을 원격 사이트의 서버로 전송하여 공간 조인 연산을 수행하고 나머지 그룹의 MBR영역에 해당하는 원격 사이트의 공간 객체를 가져와서 병렬적으로 공간 조인 연산을 수행한다. 이때 네트워크 상의 전송 부하를 줄이기 위해서는 지역 사이트에서 전송하는 공간 객체와 원격 사이트에서 전송받는 공간 객체의 수가 같은 경우가 바람직하지만 공간 객체의 영역 분포와 크기는 임의적이므로 본 기법에서는 루트 노드 MBR 영역의 총합이 비슷하도록 2개의 그룹으로 나눔으로써 전송 객체의 수가 어느 한쪽으로부터 편중되는 것을 최대한 방지한다. [그림 3-1]은 PDSJR에서 제안하는 R+-tree를 이용한 릴레이션 분할 전송 예를 나타낸다.



[그림 3-1] R+-tree를 이용한 릴레이션 분할 전송 예

3.3. 분할된 릴레이션에 대한 공간 조인 연산의 병렬 수행 기법

PDSJR 기법은 크게 병렬 공간 조인 수행을 위한 릴레이션 분할 단계와 질의 실행 단계의 2단계로 나뉘어 수행되며, 전체적인 수행 방법은 [그림 3-2]와 같다.



[그림 3-2] R+-tree를 이용한 병렬 공간 조인 연산의 수행

PDSJR 기법의 릴레이션 분할 단계에서는 R+-tree 공간 색인을 이용하여 릴레이션을 이등분하며 질의 실행 단계에서는 원격 서버에게 분할된 MBR 그룹중 한쪽 그룹의 영역에 해당하는 객체들의 전송을 요구하여 그 그룹에 속하는 자신의 객체들과 공간 조인 연산을 수행한다. 이와 동시에 원격 사이트에서는 지역 사이트로부터 전송받은 공간 객체들과 해당 MBR 그룹에 속하는 자신의 객체들에 대해 공간 조인 연산을 수행한다. 각 사이트에서 수행된 두개의 공간 조인 연산의 결과 튜플들은 지역 사이트에서 병합(union)되어 최종적으로 클라이언트에게 전송된다.

[그림3-2]에서 설명하는 PDSJR 기법은 [그림 2-1]의 세미조인 기반의 분산 공간 조인 기법과 비교하여 조인의 조건인 공간 연산 중 비용이 많이 드는 정제 연산의 수행을 두 서버에서 나누어 수행함으로써 각 서버에 CPU 비용을 분담시키며, R+-tree 공간 색인의 루트 노드 단계에서 두개의 영역 그룹을 이용하여 릴레이션을 분할하므로 공간 조인 연산에 참여하는 원격 사이트의 공간 객체들을 줄이므로 네트워크 전송 비용을 절감할 수 있다.

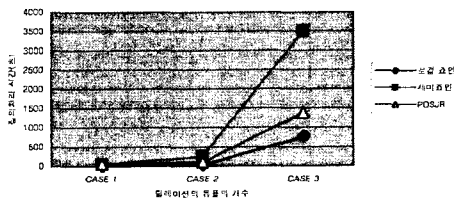
4. 성능 평가

본 평가에서 로컬 사이트에서의 조인, 세미조인, 그리고 PDSJR 기법을 비교하며, 평가에 사용된 릴레이션들은 [표 4-1]과 같다.

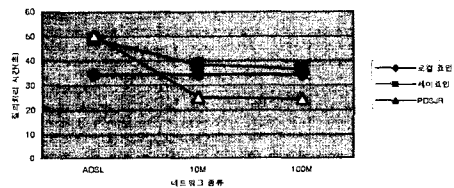
	릴레이션	전체크기(Kbyte)	튜플 총 개수 (개)
CASE 1	행정동계	1900	100
	지하철	147	112
CASE 2	강	700	1220
	골목길	800	1167
CASE 3	건물	5800	45232
	도로	5500	33379

[표 4-1] 성능 평가에 사용된 릴레이션의 정보

네트워크 환경이 ADSL일때 [표 4-1]의 각 경우에 대해 두 릴레이션간의 INTERSECT 연산을 수행한 결과는 [그림 4-1]과 같고, 네트워크 환경의 변화에 따른 CASE 2의 릴레이션에 대한 INTERSECT 연산의 결과는 [그림 4-2]와 같다.



[그림 4-1] 릴레이션의 크기 변화에 따른 성능의 변화



[그림 4-2] 네트워크 환경 변화에 따른 성능의 변화

위의 결과를 보면 릴레이션의 크기가 커짐에 따라 세미조인 기반의 기법보다 PDSJR 기법의 경우가 수행 시간의 증가 폭이 더 작은 것을 알 수 있다 또한, ADSL의 경우처럼 네트워크 환경이 좋지 않은 경우에는 PDSJR 기법이 세미 조인 기법과 비슷한 수행 성능을 보이지만 네트워크 환경이 좋아질수록 PDSJR 기법이 세미조인보다 더 나은 성능을 보임을 알 수 있으며, 100Mbps 환경에서는 공간 조인 연산을 병렬로 처리하는 PDSJR 기법이 로컬 사이트의 조인보다 빠르게 수행하는 것을 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서 제시한 PDSJR 기법은 분산 공간 조인 연산 수행시 R+-tree 공간 색인을 이용하여 릴레이션을 분할 후 조인 연산을 각 서버에 분배하여 병렬적으로 처리함으로써 공간 조인 연산 처리 시간을 단축시키며, R+-tree의 분할 영역에 해당하는 객체들에 대해서만 조인 연산을 수행하므로 전송되어야 할 객체수를 감소시켜 네트워크 전송 비용을 감소시키는 효과가 있다.

향후, 다양한 형태의 공간 조인 연산들의 처리 방법에 대한 연구가 필요하다.

6. 참고 문헌

- [1] Zhe Li, Kenneth A. Ross, "PERF Join: An Alternative To Two-way Semijoin And Bloomjoin," Proc. of Int'l Conf. on Information And Knowledge Management, pp. 137 - 144, 1995.
- [2] Jignesh M. Patel, David J. Dewitt, "Partition Based Spatial-Merge Join," Proc. Of ACM SIGMOD, Vol.25, Issue 2, pp. 259-270, 1996.
- [3] T. Brinkhoff, H. Kriegel, B. Seeger, "Efficient Processing of Spatial Joins Using R-Trees," Proc. of ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of data, Vol. 22, Issue 2, pp. 237-246, 1993.
- [4] M. Tamer Özsu, Patrick Valduriez, "Principles of Distributed Database Systems," Prentice Hall, 1991.
- [5] T. Sellis, N. Roussopoulos, C. Faloutsos, "R+-tree: A Dynamic Index for Multi-Dimensional Objects," Proc. of Int'l Conf. Very Large Data Bases, pp. 16-27, 1996.
- [6] Abraham Silberschatz, Henry F. Korth, S. Sudarshan, "Database System Concepts," Mc. Graw Hill, 1997.
- [7] Donovan A. Schneider, David J. Dewitt, "A Performance Evaluation of Four Parallel Join Algorithms in a Shared Nothing Multiprocessor Environment," Proc. of ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of data, Vol. 18, Issue 2, pp. 110-121, June 1989.
- [8] Guttman, A., "R-Trees: An Dynamic Index Structure for Spatial Searching," Proc. Of ACM SIGMOD Int'l Conf. on Management of Data, pp.47-57, 1984.
- [9] Hector Garcia-Molina, Jeffrey D Ulman, Jennifer Widom, "Database System Implementation," Prectice Hall, 2000.
- [10] 김홍연, "공간 데이터베이스 시스템을 위한 고비용 솔루션 질의 최적화," 공학 박사 학위 논문, 인하대학교, 1999.
- [11] 이완재, "분산 공간 데이터베이스 시스템에서의 효율적인 질의처리를 위한 병렬 연쇄 공간 조인 기법", 공학 석사 학위 논문, 인하대학교, 2001.