

주메모리 공간 저장 시스템 Xmas-SX 의 성능 평가

박장호, 이상호, 차상균
{jhpark, sangho, chask}@kdb.snu.ac.kr
서울대학교 전기공학부
지식 정보 넷 연구실

Performance Evaluation of a Main-Memory Spatial Storage System Xmas-SX

Jang Ho Park, Sangho Lee, Sang K. Cha
KINS (Knowledge and Information Net for Sharing) Laboratory
School of Electrical Engineering Seoul National University

요 약

Xmas-SX 는 지능형 교통 시스템, 이동통신과 같은 새로운 공간 응용 분야의 고성능 데이터베이스 요구를 만족시키기 위한 주메모리 공간 저장 시스템이다. 본 논문에서는 Xmas-SX 의 성능을, 디스크 기반 객체지향 DBMS 와의 비교를 통하여 평가한다. 갱신 연산과 공간 영역 질의를 대상으로 하였으며, 그 결과 Xmas-SX 가 갱신 연산의 경우 최고 수십 배 좋은 성능을 보였다. 공간 영역 질의의 경우에는 약간 좋은 성능을 보였다. 이를 통해 Xmas-SX 가 공간 데이터베이스에 대한 갱신 연산이 빈번한 응용분야에 적용 가능함을 보였다.

1. 서론

지능형 교통 시스템 (ITS, intelligent transportation system), 이동통신과 같은 새로운 공간 응용 분야는 공간데이터베이스에 대한 고성능 접근을 요구한다. 예를 들어, 지능형 교통 시스템 구축을 위한 필수 요소중 하나인 AVL (automatic vehicle location) 의 경우, 시간에 따라 변화하는 운반체의 위치를 실시간으로 갱신하면서, 여러가지 서비스 요구에 응답하여야 한다 [Wan98]. 이를 위해서는 운반체의 위치, 궤적, 그리고 교통량 등의 정보를 관리하는 데이터베이스가 상기한 서비스를 수용할 수 있는 고성능 요구 조건을 만족시켜야 한다.

Xmas-SX 는 이러한 고성능 응용 분야에 적용할 수 있도록, 주메모리 데이터베이스 구조에 기반하여 설계 구현된 공간 저장 시스템이다 [PKC+99]. 기존 디스크 기반 DBMS 들과는 달리, 모든 데이터가 주메모리에 상주하며, OpenGIS 의 geometry 데이터 모델 [BM+96] 및 공간 색인 등을 지원한다. Xmas-SX 는 트랜잭션 개념, 동시성 제어, 회복 관리 등을 제공하는 확장 용이 주메모리 저장 시스템 Xmas [PC+98]와, 공간 데이터 모델, 색인, 알고리즘 등을 제공하는 공간 데이터 관리층으로 구성된다.

본 논문은 Xmas-SX 의 성능을 디스크 기반 상용 객체지향 DBMS (이하 ODBMS)와 비교 평가한 결과를 기술한다. 데이터베이스는 점수, Point, LineString 으로 구성된 레코드 및 hash, R tree 색인을 갖는다. 갱신 연산 및 공간 영역 질의를 대상으로 성능 평가를 수행하였으며, 복수 개의 응용 프로그램이 Solaris 2.6 운영체제의 다중 쓰레드 환경에서 구동되도록 하였다. 모든 실험은, 4 개의 CPU 와 256 MB 메모리를 갖는 SUN Enterprise 3000 에서 수행되었으며, 로딩 및 데이터베이스 백업은 평균 검색/갱신 시간이 9.0/10.5 ms 인 SCSI 디스크를 이용하였다.

갱신 연산의 경우 Xmas-SX 가 ODBMS 보다 수십 배 빠른 성능을 보인다. Xmas-SX 의 경우 모든 데이터가 주메모리에 상

주하므로 트랜잭션 완료시 로그레코드를 디스크에 순차적으로 쓰면 되지만, ODBMS 의 경우 완료시 변경된 레코드를 디스크의 임의의 위치에 반영해야 하기 때문이다. 공간 영역 질의의 경우, 데이터가 모두 캐싱된 ODBMS 보다 Xmas-SX 가 약간 나은 성능을 보인다. 데이터가 모두 캐싱된 경우에는 포인터 스 위칭을 위한 비용을 제외하고는 주메모리 DBMS 와 디스크 기반 DBMS 의 차이가 없기 때문이다. 이러한 결과로부터, Xmas-SX 가 운반체 위치 관리와 같이 갱신 연산이 빈번한 공간 응용분야의 고성능 요구에 적합함을 확인할 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 Xmas-SX 의 시스템 구조 및 특징을 요약한다. 3 절에서는 성능 비교 시나리오에 대하여 자세히 기술하고, 4 절에서 성능 평가 결과를 보이고 분석한다. 5 절에서 결론 및 향후 과제를 제시한다.

2. Xmas-SX

그림 1 은 Xmas-SX 의 구조를 보인다. Xmas 는 트랜잭션 관리, 데이터 지속성, 동시성 제어, 회복관리 기능을 제공한다. 이러한 기능을 이용하여, 공간 데이터 관리층은 OpenGIS geometry 모델에서 제시된 주요한 공간 데이터 타입 및 연산자, R tree 등의 공간 색인을 지원한다. 마지막으로, 공간 데이터 관리층은 nearest neighbor query 와 같이 널리 쓰이는 공간 알고리즘의 라이브러리를 제공한다.

Xmas-SX 서버 프로세스는 복수 개의 트랜잭션을 동시에 수행하고, 또한 다중 프로세서 기계의 장점을 최대한 이용할 수 있도록 다중 쓰레드 구조를 갖는다. 트랜잭션은 관리자라고 불리는 모듈들의 상호작용을 통해 처리된다. 트랜잭션 관리자는 트랜잭션 시작, 완료, 회회를 담당한다. 데이터베이스 관리자는 메모리에 상주하는 데이터베이스에 대한 연산을 제공한다. 회복 관리자는 로깅과 체크포인트를 통하여 시스템 고장시 제

시작을 담당한다. 동시성 관리자는 2 단계 잠금 규약을 지원한다.

Xmas-SX의 데이터베이스는 컨테이너와 색인으로 구성된 다 컨테이너는 동일한 타입을 갖는 레코드들의 집합이다. 색인으로는 hash, T-tree, 그리고 R-tree 색인을 제공한다. 데이터베이스 dictionary는 각 컨테이너의 스키마 정보 및 물리적 저장 구조에 대한 정보를 관리한다.

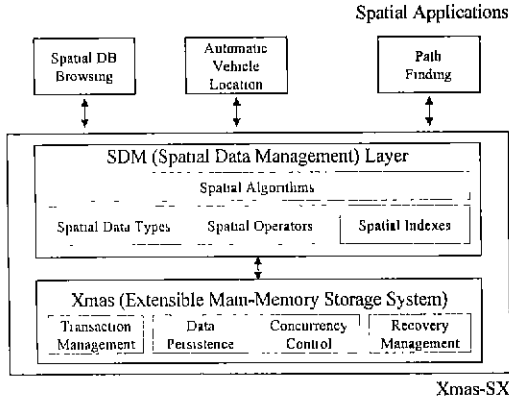


그림 1: Xmas-SX 구조

3. 성능 비교 실험

3.1 시스템 구조 비교

Xmas-SX의 성능을, 디스크 기반 ODBMS와의 비교를 통하여 평가하고자 한다. 실험에 사용된 ODBMS는, Xmas-SX와 비교하여 다음과 같은 구조상 차이점을 가지며, 이것이 성능에 영향을 미친다.

(1) 메모리 포인터 vs 포인터 스위칭

Xmas-SX는 데이터베이스가 메모리에 상주하는 것을 가정하고 설계하였으므로, 객체를 가리키는 OID로 메모리 포인터를 사용할 수 있다. 이때, 메모리 포인터는 Xmas-SX 데이터베이스 내의 위치에 대한 offset을 이용한 간단한 산술연산을 통하여 얻을 수 있다. 반면 ODBMS의 경우, 모든 데이터가 캐싱된 경우에도 객체에 대한 메모리상 표현과 디스크상 표현이 다르기 때문에 필연적으로 포인터 스위칭을 수반하게 된다.

(2) 로깅 vs 데이터 쓰기

Xmas-SX는 트랜잭션 완료시 변경된 데이터를 디스크에 반영하지 않고 단지 로그 레코드를 디스크에 순차적으로 기록한다. 데이터의 변경된 부분은 체크포인팅을 수행하는 과정에서 디스크에 반영된다. 반면, ODBMS의 경우, 트랜잭션 완료시 변경된 데이터를 디스크에 반영하도록 되어 있다. 이때 데이터는 디스크의 임의의 장소에 흩어져 있기 때문에, Xmas-SX의 로깅보다 많은 시간이 소요된다.

(3) 잠금 획득시 차이점

Xmas-SX는 잠금 획득이 하나의 함수 호출로 이루어진다. 반면, ODBMS는 별도의 잠금 서버에 프로세스간 통신을 통하여 잠금을 획득하여야 하므로, Xmas-SX에 비하여 많은 시간이 소요될 수 있다. 하지만, 본 실험에서는 잠금 서버가 동일한 기계 내에서 운용되고 있으므로 그 차이는 크지 않다

3.2 실험 시나리오

테스트 데이터베이스는 동일한 타입의 레코드를 저장하는 복수 개의 컨테이너를 갖는다. 각 레코드는 (integer ID, Point Location, LineString Shape)과 같은 구조를 갖도록 하였다. Location과 Shape은 1000x1000 크기의 정사각형 내의 임의의 위치에 존재하며, Shape은 10 개의 점으로 구성된다. ID에 대한 hash, 그리고 각각 Location 및 Shape에 대한 R tree, 이렇게 세 개의 색인을 구성한다

Xmas-SX는 각각 10,000 개의 레코드를 갖는 16 개의 컨테이너를 갖는데, 데이터베이스 크기는 72 MB이다. ODBMS는 각각 10,000 개의 레코드를 갖는 8 개의 컨테이너를 갖는데, 데이터베이스는 75 MB이다. 공정한 실험을 위해 데이터베이스 전체가 주메모리에 상주하도록 하여야 하므로, ODBMS의 경우 더 많은 컨테이너를 갖도록 구성할 수 없었다.

성능 측정 연산은 두 가지다. 갱신 연산은 hash 검색을 통하여 레코드를 찾은 후, Location 또는 Shape 필드를 임의의 값으로 갱신하였다. 이때, Location 또는 Shape 필드에 대한 R tree 색인도 갱신되는데, 이에 대한 로깅은 수행하지 않는다. 색인의 경우, 시스템 고장 후 재시작시에 레코드로부터 재구성할 수 있기 때문이다. 공간 영역 질의는, 전체 영역의 0.1% 크기의 질의 직사각형을 임의로 선정하여 overlap 되는 레코드를 찾아 읽도록 하였다.

모든 실험은 4 개의 167 MHz UltraSPARC CPU와 256 MB 메모리를 갖는 SUN Enterprise3000에서 수행하였다. 공정한 실험 결과를 위하여, 두 시스템이 모두 다중 쓰레드 환경에서 응용 프로그램을 수행하도록 하였고 Xmas-SX의 경우 로그 파일을, ODBMS의 경우 데이터베이스 파일을, 동일한 규격의 SCSI 디스크 (평균 검색/갱신 시간: 9.0/10.5 ms)에 저장하도록 하였다.

4. 성능 평가 결과 및 분석

4.1 갱신 성능

이름	값	Xmas-SX 고유
트랜잭션당 갱신	1, 10, 100	
쓰레드 개수	1, 2, 4, 8	16
Group commit		on

Location 또는 Shape을 갱신하도록 실험하였는데, 본 논문에서는 Location 갱신의 경우만 보인다. Shape의 경우에도 Location 갱신의 경우와 마찬가지로의 경향을 보였다. 실험의 변수는 위의 표와 같다. 트랜잭션당 갱신 개수, 동시에 수행되는 쓰레드의 개수를 변경시켰다. 최대 throughput을 측정하기 위하

여 잠금 충돌은 발생하지 않도록 실험하였다. Xmas-SX 의 경우에는 컨테이너가 16 개이므로 쓰레드의 수도 16 까지 실험하였고, 보다 높은 throughput 을 위하여 group commit 과 복수 로그 디스크를 이용하였다

4.2 공간 영역 질의 성능

그림 3에 공간 영역 질의 성능을 보였다 쓰레드의 개수는 하나로 하여 실험하였고, 1000 번 수행한 결과를 평균하였다. 이 경우, 로그 레코드를 발생시키지 않으며 또한 ODBMS 의 경우에도 모든 데이터가 메모리에 캐싱되도록 하였으므로 그림에서 보는 바와 같이 성능 차이는 크게 나지 않는다

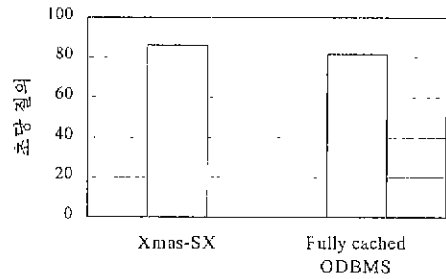
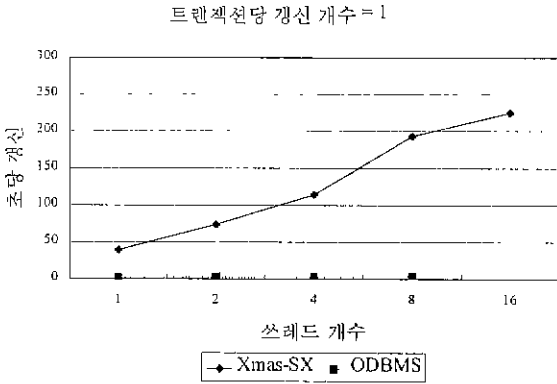


그림 3. 공간 영역 질의 성능

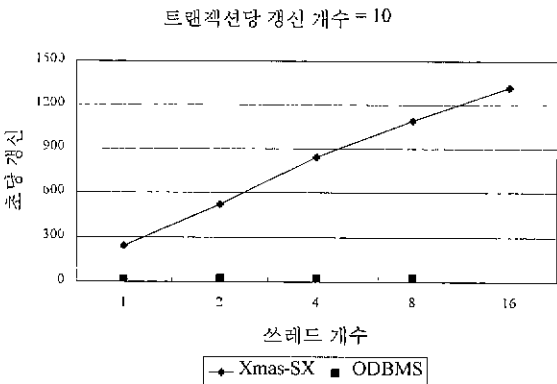


그림 2: 갱신 성능

그림 2에 각각 트랜잭션당 갱신 개수가 1, 10 인 경우의 성능을 보였다. 갱신 연산의 경우 Xmas-SX 가 ODBMS 보다 많은 수 십 배까지 빠른 성능을 보인다 Xmas-SX 의 경우 모든 데이터가 주메모리에 상주하므로 트랜잭션 완료시 로그레코드를 디스크에 순차적으로 쓰면 되지만, ODBMS 의 경우 완료시 변경된 레코드를 디스크의 임의의 위치에 반영해야 하기 때문이다 트랜잭션당 갱신 개수가 1 인 경우에는 성능 차이가 더욱 커진다 반면 트랜잭션당 갱신 개수가 100 인 경우에는 성능 차이가 5 배에서 10 배 정도 차이가 난다 이는 트랜잭션당 갱신 개수가 많을수록 생성되는 로그량이 많아지고, 반대로 ODBMS 의 경우에는 디스크 쓰기의 횟수가 상대적으로 줄어들기 때문이다.

Xmas-SX 의 경우 group commit 을 통하여 갱신 성능을 최고 두 배 이상 향상시킬 수 있음을 확인하였다 특히, 트랜잭션당 발생하는 로그량이 적은 경우, 즉 트랜잭션당 갱신 개수가 작은 경우 group commit 으로 인한 성능 개선 효과가 컸다.

5. 결론 및 향후 과제

Xmas-SX 는 새로운 공간 응용 분야의 고성능 데이터베이스 요구를 만족시키기 위한 주메모리 공간 저장 시스템이다. 본 논문에서는 Xmas-SX 의 성능을, 디스크 기반 객체지향 DBMS 와의 비교를 통하여 평가하였다. 갱신 연산과 공간 영역 질의를 대상으로 한 성능 비교에서, Xmas-SX 가 갱신 연산의 경우 최고 수십 배 좋은 성능을 보였다. 이를 통해 Xmas-SX 가 공간 데이터베이스에 대한 갱신 연산이 빈번한 응용분야에 적용 가능성을 보였다.

향후 연구로는, Xmas-SX 를 ODMG 객체 모델을 지원하도록 확장하는 방안과, 갱신 연산이 빈번한 응용 분야의 하나인 이동통신 위치 관리 데이터베이스와 같은 실제 분야에의 적용 등이 고려되고 있다

참고 문헌

[BM+96] K. Buehler, L. McKee, et al *The OpenGIS Guide. Introduction to Interoperable Geoprocessing* Technical Report. OpenGIS Consortium. Inc 1996.

[PC+98] Jang Ho Park, Sang K. Cha, et al. Xmas: An Extensible Main-Memory Storage System for High-Performance Applications. In *Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, pages 578-580, 1998.

[PKC+99] Jang Ho Park, Kihong Kim, Sang K. Cha, et al. A High-Performance Spatial Storage System Based on Main-Memory Database Architecture. In *Proceedings of DEXA'99 Conference*, 1999.

[Wan98] R.-M. Wang. A Real Time Fleet Management via GIS/GPS Platform. In *Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Transportation Systems*, 1998.