

이동형 인터넷 기기를 위한 위임 정족수 기반의 복제 데이터 제어 기법[☆]

Proxy-Quorum Based Replication Control Schemes for Mobile Internet Systems

변 시 우*
Si-Woo Byun

요 약

무선 인터넷을 이용하여 사용자들은 공간적 제약 없이 중요한 정보를 신속하게 제공 받을 수 있지만, 무선 통신의 특성상 불안정하고 시간 지연된 서비스에 대한 불편이 있다. 이를 개선하기 위한 방안으로 데이터 복제 기법이 제안되었으나, 복제 데이터를 유지하기 위한 부담을 극복할 필요가 있다. 본 논문은 이동형 환경에서의 거래 안정성과 데이터 가용성 증대를 위한 새로운 복제 데이터 관리 기법을 제안한다. 제안된 위임 정족수 합의(Proxy Quorum Consensus) 모델은 프락시를 이용하여 불안정한 상태의 다수의 모바일 사이트에 직접적인 투표를 하지 않는 대신에, 미리 선출한 대표 정족 집단에 위임함으로써, 안정된 위임 투표(Proxy Voting)를 진행하는 제어 기법이다. 또한, 시뮬레이션과 성능 분석을 통하여 제안 기법이 기존의 복제 데이터 제어 기법에 비하여 처리 성능이 우수함을 검증하였다.

Abstract

Mobile Internet allows users to request critical information and receive swift responses at any places, but mobile users could suffer from unreliable and ill-timed services due to the characteristics of wireless media. One way that reduces possibility of the unsatisfactory services is data replication. Data Replication, however, inevitably induces the overhead of maintaining replica consistency which requires more expensive synchronization mechanism. We propose a new replicated data management scheme in distributed mobile environment. In order to alleviate negative impact of synchronization message overhead in fault-prone mobile Internet environment, we devise a new replication control scheme called *proxy quorum consensus* (PQC). PQC minimizes the message overhead by coordinating quorum access activities by means of *proxy mediated voting* (PMV) which exploits reliable proxy hosts instead of unreliable mobile hosts in voting process. We also propose a simulation model to show the performance of PQC. Based on the results of the performance evaluation, we conclude that PQC scheme outperforms the traditional schemes.

Keyword : Mobile Computing, Mobile Database, Replication Control, Proxy Quorum

1. 서론

인터넷과 무선 인터페이스를 탑재한 PDA, 자동차 운행 지원 시스템, 휴대 전화 등의 각종 이동 단말기들이 대중화됨에 따라, 이제 일반인도 이동형 컴퓨팅(Mobile Computing)[1]이라는 거대한 패러다임 속에서 일상생활을 영위하게 되었다. 이러

한 이동형 컴퓨팅 환경에서는 광대한 지역에 분산되어 있는 수많은 사용자로부터 발생하는 정보 접근에 신속히 응대할 수 있는 분산 정보 시스템이 반드시 필요하다. 일반적으로, 이러한 이동 컴퓨팅 환경의 구조는 그림 1과 같이 크게 유/무선망, 무선망에 위치한 모바일 호스트(mobile hosts), 유선망에 위치한 고정형 호스트(fixed host)로 구성된다. 모바일 호스트는 무선 통신 장치가 장착된 휴대용 컴퓨터이며, 소형 모바일 데이터베이스와 정보관리 도구들을 탑재하고, 수시로 여러 셀 간을 이동

* 정 회 원 : 안양대학교 디지털미디어학부 조교수
swbyun@aycc.anyang.ac.kr(제 1저자)

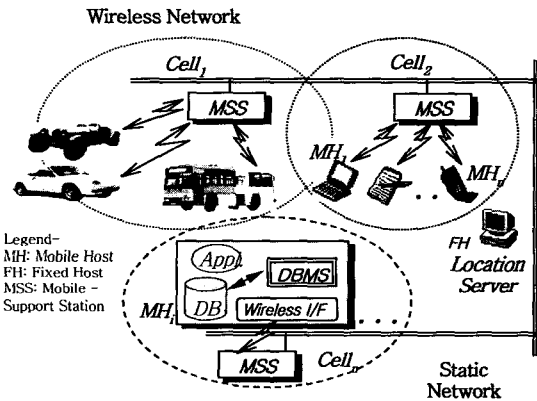
☆ 이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(2002-003-D00335).

하면서도 원하는 정보를 자유롭게 주고 받을 수 있다. 모바일 데이터베이스는 모바일 호스트에 운영 중인 여러 어플리케이션에서 발생한 모바일 트랜잭션을 처리하고 데이터의 일관성을 유지하는 역할을 한다. 고정형 호스트는 유선 망에 연결된 정보중계 또는 정보처리 컴퓨터들이다. 모바일 지원 스테이션(mobile support stations)은 무선 중계 장치가 추가적으로 탑재된 일종의 고정형 호스트로서 모바일 호스트와 유선망 사이의 정보 중계기 역할을 한다. 모바일 지원 스테이션은 해당 셀내에 위치한 다수의 모바일 호스트만을 대상으로 데이터 중계와 메시지 해석 등의 서비스를 지원한다.

2. 관련 연구

복제 데이터 관리기법에 대한 기존의 연구를 분류해 보면, 크게 Eager 규약과 Lazy 규약으로 접근 방향을 나눌 수 있다[6]. 먼저, Eager 규약은 데이터 수정시 모든 사이트의 갱신 연산이 완료되어야만 하나의 트랜잭션이 완료되는 동기적인(Synchronous) 규약이다. 반면에, Lazy 규약은 비동기적(Asynchronous)인 방법으로서 일단 로컬 트랜잭션의 수행을 마친 후에, 데이터가 중복된 모든 사이트로 수정전파 연산을 수행하는 방식이다. 본 연구는 Eager 규약의 접근 방식에 기반을 두고 있다.

기존의 Eager 규약 기반의 연구로서 초창기의 대표적인 주사본(Primary Copy)기법이 있었고, 후속 연구자들은 안정성을 강화하고 개선하여 정족수 합의(Quorum Consensus)기법을 제안하였다[7]. 주사본 기법은 중복 사본에 대하여 읽기/쓰기 연산을 하고자 할 때는 반드시 주사본 사이트의 동의를 얻어야 하는 기법이다. 정족수 합의 기법은 중복 사본을 사용하는 집단 내에서 읽기/쓰기에 필요한 정족수를 미리 설정한 후, 실제 연산 수행시에 이 정족 집단의 동의를 얻어서 관련 연산을 진행하는 기법으로서, Kumar의 트라기법[8], Cheung의 그리드-기법[9] 등의 기법이 있다. 기존의 Eager 규약 기반의 연구들은 데이터의 일관성 유지에 많은 비용이 소요되는 반면에 강한 일관성을 얻을 수 있는 장점이 있으며, 반대로 Lazy 규약은 비용이 적게 소요되는 반면에 데이터가 즉시 일치되지 못하므로 일관성 측면에서 단점이 존재한다. Oracle社, Sybase社, Microsoft社, IBM社 등과 같은 대부분의 상용 DBMS 벤더들은 임베디드 환경에 최적화된 DBMS와 동기화 제품을 판매하고 있다. Oracle 9i Lite와 iConnect[10], IBM Everyplace와 Sync Server[11], Sybase Ultralite와 MobiLink&SQL Remote [12]등이 대표적이다[13]. 또한, 포인트베이스社의 포인트베이스, IBM社의 클라우드스케이프 등의 자바를 기반으로 한 제품



(그림 1) 이동형 컴퓨팅 환경의 구성도

세계적인 시장조사 예측기관인 Gartner社의 자료에 따르면, 2003년도가 지나면서 임베디드 시스템 시장은 급속히 팽창하여, 곧바로 데스크탑 PC 시장을 추월할 것으로 예측하고 있다[2]. 그리고, 2005년까지 전 세계적으로 10억의 사용자가 모바일 단말기를 이용하여 접속할 것으로 예측한다[3]. 특히, 고급 임베디드 소프트웨어는 100%이상으로 급성장하고 있다[4]. 이 사실은 바로 임베디드 시스템 분야의 무한한 발전 가능성을 보여 준다. 이를 뒷받침하듯이, 세계적인 분석 기관인 IDC(International Data Corporation)사는 64%이상의 모바일 어플리케이션이 임베디드 데이터베이스가 필요하다고 보고했다[5].

도 시장에 출현하게 되었다[14].

3. 복제 데이터 관리 기법 제안

3.1 설계 목표

복제 관리 기법 중 *Lazy* 규약 기반의 방법들은 각 사이트가 자유롭게 데이터를 수정하는 것이 가능한 비동기식 방식이기 때문에 복제 방법 중 높은 자율성과 처리 지연성을 보장해 주는 장점이 있다. 그러나 비동기적인 특성으로 인하여 트랜잭션의 일치성이 낮으며, 트랜잭션의 직렬성이 취약해지는 단점이 있다. 특히, 너무 낙관적인 방식으로 처리하면, 데이터의 일관성 유지가 어렵고, 복구비용이 많이 소모된다. 반면에 *Eager* 기반 기법들은 동기화 방식이므로 처리 성능은 상대적으로 낮지만, 강한 일관성을 보장하고, 높은 거래 정확성을 보장 받을 수 있다. 실제 활용 측면에서 보면, 이동 환경에서 수행되는 트랜잭션의 빈도는 일반 유선 환경에 비하여 상대적으로 매우 낮으며, 다수 접속자 기반이 아닌 소수, 즉 1인 접속자 기반이며, 무거운 대량 처리가 아닌 짧고 가벼운 처리가 대부분이다. 초기 데이터 다운로드 같은 백로그드 연산마저도 초기에 사무실의 유선 접속 환경 내에서 동기화 된다. 이러한 현실을 감안하면, 이동환경 내에서는 높은 수준의 트랜잭션 처리 성능이 굳이 필요하지는 않다. 그러나 이동 정보기기 사용자는 생생한 현장의 데이터를 수집 후에 즉시 반영하고, 고객 앞에서는 가장 최신의 데이터를 보여 주어야 하므로, 사내의 유선 환경처럼 강한 일관성 보장 기법이 반드시 필요하다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 *Eager* 기반의 접근 방식을 취한다. 다만, 무선 환경의 속도가 많이 개선되었다고는 하지만, 상대적으로 유선에 비하여 느리므로, 동기화시 통신 메시지의 부담을 줄이는 등의 기법 개선 및 응답 시간 최소화 등의 고려도 필요하다. 다음은 본 연구가 추구하는 설계 목표이다.

- ① 높은 수준의 데이터 일관성을 유지한다.
- ② 복제 데이터 동기화시 안정성을 높인다.
- ③ 이동 단말기간의 통신 부담을 최소화한다.
- ④ 트랜잭션 철회율을 낮추고 처리 효율을 높인다.

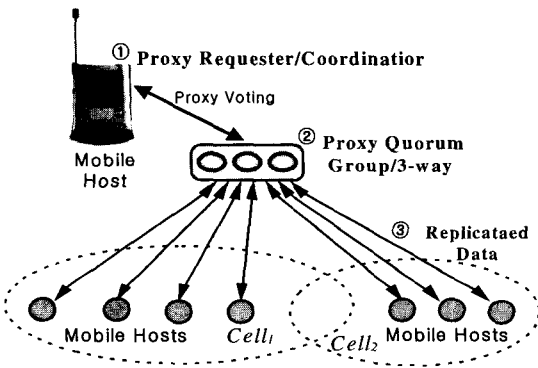
3.2 제안 기법

위에서 제시한 설계 목표 ①의 높은 수준 데이터 일관성 유지를 위하여 기본적으로 *Eager* 기반의 접근 방식을 취하므로, 기존의 *Lazy* 규약 기반의 방법에 비하여 매우 높은 데이터 일관성을 유지한다. 대표적인 *Eager* 기반의 기법인 주사본 기법은 하나의 주사본 사이트와 다수의 부 사본을 두고 운영한다. 읽기 연산은 거래가 발생한 사이트에서 바로 처리하고, 쓰기 연산은 주 사본 사이트를 통하여 처리한다. 따라서 주 사본 사이트가 다운되면, 복제 데이터에 대한 운영이 되지 않는다. 이러한 관점에서 간편한 주사본 기법보다 안정성이 보장된 정족수 합의 기법을 활용하여 설계한다. 정족수 합의 기법에서는 복제 데이터 관리의 주관이 특정 사이트에 있지 않고, 전체 사이트 중에서 일정 수준이상의 동의를 얻은 후 읽기 및 쓰기 연산을 진행할 수 있기 때문에 안정성이 상대적으로 매우 높다. 따라서 설계 목표 ②의 동기화시 안정성 항목을 만족시킬 수 있다.

그러나, 설계 목표 ①과 ②를 만족시키면서, 설계 목표 ③과 ④의 성능과 효율을 높이려면 더 개선할 필요가 있다. 먼저, 정족수 합의 기법은 미리 정한 정족수 수치에 따라서 비교적 많은 양의 메시지 통신이 발생하므로, 이 통신 부담을 최대한 줄여야 한다. 예를 들어, 복제 데이터를 사용하는 모바일 사이트의 총수가 100개이고, 미리 약속한 정족수가 60개이면, 트랜잭션 수행을 위하여 $60*n$ 번의 메시지 통신이 필요하다. 또한, 모바일 정보기기는 통신 장애 및 배터리 부족 등의 이유로 수시로 접속이 단절되거나 꺼져 있는 경우가 많다. 이러한 모바일 환경의 특성을 고려하면, 유선 환경을 가정한 기존의 정족수 합의 기법

은 무선 환경에서 좋은 성능을 기대하기 어렵다.

이러한 문제들을 개선하기 위하여 본 연구에서는 위임 정족수 합의(Proxy Quorum Consensus: PQC) 기법을 제안한다. 이 기법은 복제 데이터에 대한 읽기 또는 쓰기 연산이 발생하면, 불안정한 상태의 다수의 모바일 사이트에 직접적인 투표를 하지 않는 대신에, 미리 선출한 대표 집단에 위임함으로써, 안전하고 신속히 투표를 진행하여, 트랜잭션 수행을 완료하는 방법이다. 그림 2 일상에서의 예를 들면, 특정 현안에 대하여 일일이 개개인이 관여하지 않고, 위원회에 위임하면, 위원회 내부의 투표결과에 의하여 결정되는 방식이다.



(그림 2) Proxy Quorum Consensus Model

이 기법이 효율적인 이유는 기존의 정족수 합의 기법처럼 불안정한 상태의 다수의 정족 집단 형성을 요구하지 않고, 안정된 상태의 소수의 정족 집단을 형성하므로, 안정성이 높아지며, 메시지 통신 부하가 대폭 감소하기 때문이다. 예를 들어, 3 개(3-way)로 구성된 위임 정족 집단을 구성한다면, 위임 투표(Proxy Mediated Voting: PMV)에 $3*n$ 번의 메시지 통신이 필요하다. 또한, 위임된 정족 집단을 유선 망에 위치한 고정형 호스트를 활용할 수 있으므로, 안정성도 높아진다. 일반적으로 유선망의 호스트는 이동형 호스트 보다 최소 10배 이상의 처리 성능과 안정성이 보장되므로 높은 안정성과 처리 성능을 모두 제공할 수 있다. 또한, 위임된 고정 호스트는 모바일 호스트의

분포에 따라서 지역별로 분포시키게 되면, 전체적인 통신 거리가 짧아지며, 재해 복구차원의 안정성을 취할 수 있다. 즉, 통신비용 절감 및 응답 속도 향상과 높은 데이터 가용성을 얻을 수 있다. 이러한 특징들은 기존의 정족수 합의 기법이나 다른 복제 관리 기법과 다른 부분이다.

Procedure Proxy-Mediated-Voting-Manager:PMVM

Input: user transaction T on replicated data;

Output: return message, latest version copy;

Begin

/ 1. Proxy Quorum-Voting Phase */*

$proxy_hosts = U \{P_i \mid \text{replica of } T \text{ is stored at proxy host } P_i\};$

$Proxy_Quorum_Threshold = \lfloor (ph + 1) / 2 \rfloor;$

$affirmative_sites = \text{Collect_Affirmative_Votes}(proxy_hosts);$

if ((the number of $affirmative_sites$) <

$Proxy_Quorum_Threshold$) **then**

$\text{Send_MHTM}(MSG_ABORT, affirmative_sites);$

return false;

end if ;

/ 2. Proxy Quorum-Operation Phase */*

switch (operation type of T) {

case PQ_READ : */* case of read transaction */*

$\text{Send_MHTM}(MSG_COMMIT,$

$\{affirmative_sites\});$

return true with the latest copy in

$\{affirmative_sites\};$

case PQ_WRITE : */* case of write transaction */*

for all $PH_i \in \{affirmative_sites\}$ **do in parallel;**

$\text{Send_MHTM}(MSG_WRITE, PH_i);$

end_for;

$\text{Send_MHTM}(MSG_COMMIT, \{affirmative_sites\});$

return true;

End;

Legend-

ph : number of proxy hosts; PH : Proxy Host;

$\text{Collect_Affirm_Votes}(t)$: collect affirmative votes among a set of sites t ;

$\text{Send_MHTM}(M, S)$ send message M to Mobile Host Transaction Manger at Site S

(그림 3) Algorithm for Handling Proxy Mediated Voting

제안된 위임 정족수 합의 기법은 모바일 트랜잭션 관리 모듈, 복제 관리 모듈, 위임 투표 중재

모듈, 위임 투표 모듈 등으로 구성되며, 자세한 알고리즘을 축약한 기본적인 실행 순서는 다음과 같으며, 위임 투표(PMV) 알고리즘은 그림 3과 같다.

- 1) 모바일 사용자가 복제 데이터에 대한 읽기/쓰기 연산을 요청한다. 이제, 이 모바일 호스트는 요청 트랜잭션 수행에 있어서, 정족 집단 형성 및 처리의 중재자가 되어서 복제 관리의 총괄적인 진행을 한다.
- 2) 이 모바일 호스트는 위임 정족 집단(Proxy Quorum Group)에 속한 고정 호스트들에게 위임 투표(Proxy Voting)를 요청한다.
- 3) 위임 정족 집단의 호스트들은 현재 처리 중인 트랜잭션과 데이터들을 분석하여 허가/거부로 투표 결과를 전송하며, 읽기 연산의 경우 데이터도 함께 전송한다. 쓰기 연산인 경우는 데이터를 안전 기억 장치에 저장(pre-write)한다.
- 4) 모바일 호스트는 읽기 연산의 경우, 투표결과물을 분석하여, 미리 정한 합의 규정을 만족하면, 모바일 어플리케이션(사용자)에게 데이터를 전송한다. 쓰기 연산인 경우는 위임 정족 집단에 쓰기 확정 메시지(actual-write)를 보낸다.

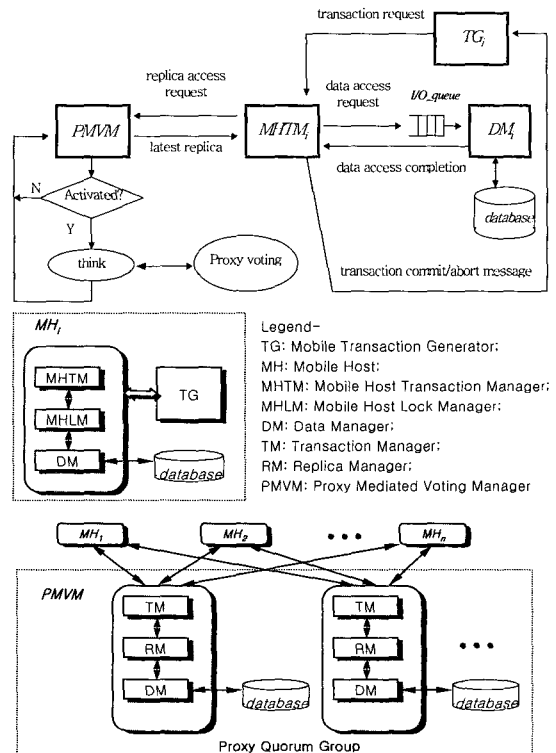
4. 시뮬레이션 및 성능 평가

성능을 검증하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며, 실험 결과를 분석해 보았다. 본 시뮬레이션 실험에 사용된 복제 관리 기법은 제안한 PQC와 대표적인 기법인 HQC와 GQC이며, CSIM[15] 시뮬레이션 언어를 사용하였다. 하드웨어 환경은 펜티엄4-1.6 CPU와 주 메모리 256M, 하드디스크 30G 이며, 윈도우 2000 서버를 사용하였다.

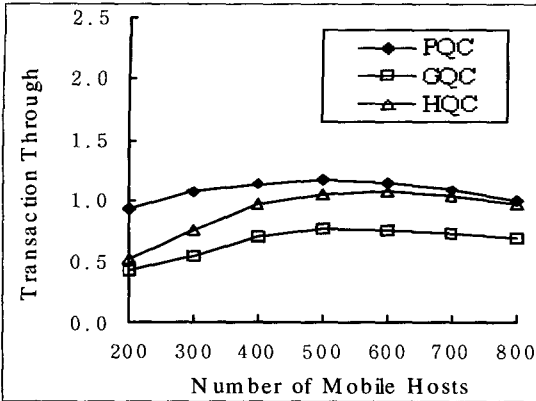
4.1 시뮬레이션 모델

시뮬레이션 모델과 시스템 처리 구조는 다음의

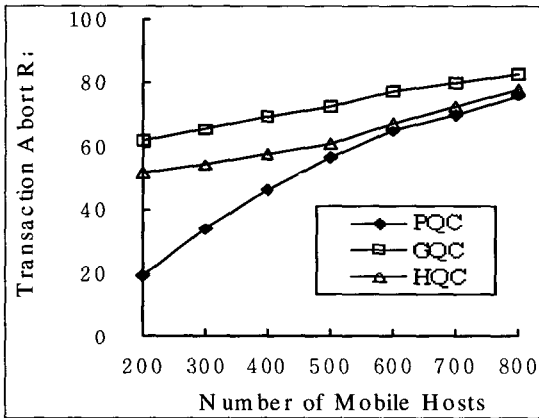
그림 4에서 보는 바와 같이 복제 데이터베이스 시스템 환경의 큐잉 모델에 기반하고 있다. 시뮬레이션 시스템은 트랜잭션 생성기(transaction generator: TG), 데이터 관리자(data manager:DM), 모바일 트랜잭션 관리자(mobile host transaction manager: MHTM), 그리고 프락시 위임 투표 관리자(proxy mediated voting manager:PMVM)로 구성된다. 트랜잭션 생성기는 지수 분포를 가지는 특정 시간 간격(inter_arrival_time)으로 트랜잭션을 생성시킨다. 모바일 트랜잭션 관리자는 트랜잭션의 생성부터 종료까지의 수행을 관리하며, 복제 데이터에 대한 접근요청이 발생하면 프락시 위임 투표 관리자를 호출한다. 프락시 위임 투표 관리자가 호출되면 관련 복제 데이터에 대하여 접근허가 판정 프로시저를 수행한 후 판정 결과를 모바일 트랜잭션 관리자에게 다시 돌려준다. 시뮬레이션의 주요 성능 평가 지표는 트랜잭션 처리치과 트랜잭션 철회율이다.



(그림 4) Simulation Model 및 시스템 처리 구조도



(그림 5) Transaction Throughput



(그림 6) Transaction Abort Ratio

4.2 실험 결과 및 분석

시뮬레이션은 3 종류의 다른 복제 데이터 관리 기법(PQC, HQC, GQC)를 대상으로 수행하다. 이 주요 실험은 모바일 호스트의 수가 복제 관리 기법들의 성능에 어떤 영향을 미치는 지를 분석하기 위한 것이다. 그림 5는 트랜잭션 처리치이며, 그림 6은 트랜잭션 철회율이다. 모바일 호스트의 수가 늘어날수록 점차로 트랜잭션 철회율이 증가함을 알 수 있는데, 이는 모바일 호스트의 수의 증가에 기인한 데이터 컨텐션의 증가 때문이다. 동일한 데이터 컨텐션 조건에서도 제안한 PQC 기법이 다른 HQC나 GQC 기법에 비하여 성능이 높은 이유는 프록시 중재 결정 방식에 의하여 복제 데이

터에 대한 과도한 메시지 오버헤드를 줄이고, 위임 정족수 생성 방식으로 쿼럼 생성을 원활하게 유도함으로써 결과적으로 트랜잭션 철회율을 낮출 수 있었기 때문이라고 분석된다. 이는 그림 6의 트랜잭션 철회율을 보면 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 과제

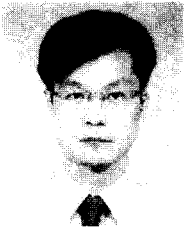
본 논문에서는 이동형 환경에서의 거래 안정성 및 데이터 가용성을 높이기 위한 새로운 복제 데이터 관리 기법을 제안하였다. 제안된 기법의 위임 정족수 합의 모델은 불안정한 상태의 다수의 모바일 사이트에 직접적인 투표를 하지 않는 대신에, 미리 선출한 대표 집단에 위임함으로써, 안정된 투표를 유도하고, 신속한 트랜잭션 처리를 가능하게 한다. 또한, 위임된 고정 호스트는 모바일 호스트의 분포에 준하여 지역별로 분포시키게 되면, 전체적인 통신 거리가 짧아지며, 재해복구 차원의 안정성을 취할 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션과 성능 분석을 통하여 제안된 복제 데이터 관리 기법이 기존 기법에 비하여 처리 성능이 우수함을 검증하였다. 향후 연구 과제는 시뮬레이션을 통하여 검증된 복제데이터 관리 모듈의 구현과 제약된 임베디드 시스템의 자원을 최소한도로 사용하는 최적화 방안의 연구가 포함된다.

참고문헌

- [1] Byun S., "Resilient Data Management for Replicated Mobile Database Systems," *Data and Knowledge Engineering*, pp. 43~55, 1999.
- [2] 조주현, "임베디드 시스템의 개발 환경," 정보처리 제9권제1호, pp. 120~126, 2002.
- [3] 김성훈 외, "유무선 통합 모바일 응용서버에 관한 연구," 정보과학회지 제20권 제6호, pp. 20~31, 2002.
- [4] 이정배, 이두원, "임베디드 시스템 동향," 정보처리 제9권 제1호, pp. 13~27, 2002.

- [5] 유제정, "Mobile Database란?," <http://www.mobilejava.co.kr/bbs/temp/lecture/j2me/mdb1.html>, 2003.
- [6] 최희영, 이귀상, 황부현, "중복 데이터베이스 시스템에서 갱신그래프를 이용한 동시성 제어," 정보처리학회논문지, 제9-D권 제4호, pp. 587~602, 2002.
- [7] Bernstein P., Hadzilacos V., Goodman N., "Concurrency control and recovery in database systems," Addison-Wesley, 1987.
- [8] Kumar, A., "Hierarchical quorum consensus: a new algorithm for managing replicated data," IEEE Trans. Comput., 40(9), pp. 996~1004, 1991.
- [9] Cheung S., Ammar M., Ahamad M. "The grid protocol: a high performance scheme for maintaining replicated data," 6th Data Eng., pp. 438~435, 1990.
- [10] Oracle, Oracle 9i Lite Administration Guide 5.0.1,A White Paper, 2002.
- [11] IBM, DB2 Sync Server Administration Guide 7.2.1, A White Paper, 2002.
- [12] Sybase, Synchronization Technologies for Mobile Computing, A White Paper, 2002.
- [13] 김상욱, 오세봉, 손성용, 이진호, "임베디드 DBMS 환경에서의 동기화를 위한 프레임워크," 정보과학회지, 제20권 제7호, 2002.
- [14] 제네시스(주), "Mobile DB로 J2ME Program 관련," <http://www.genesis.co.kr>, 2003.
- [15] D. Agrawal, A. Abbadi, "Resilient logical structures for efficient management of replicated data," Proceedings of the 18th VLDB, pp. 151~162, 1992.

● 저 자 소 개 ●



변 시 우

1989년 연세대학교 이과대학 전산과학과(공학사)

1991년 한국과학기술원 전산학과(공학석사)

1999년 한국과학기술원 전산학과(공학박사)

2000년~현재 : 안양대학교 디지털미디어학부 조교수

관심분야 : 분산 데이터베이스, 모바일 컴퓨팅, 임베디드 시스템, 전자상거래 등

E-mail : swbyun@aycc.anyang.ac.kr