

# 이동 컴퓨팅 환경에서 접속 상태를 고려한 선택적 캐쉬 일관성 유지 기법

김희숙, 황병연  
가톨릭대학교 컴퓨터공학과  
{hs\_kim, byhwang}@catholic.ac.kr

## Selective Cache Consistency Maintenance Schemes Considering the Connection States in Mobile Computing Environments

Hee-Sook Kim, Byung-Yeon Hwang  
Dept. of Computer Engineering, Catholic University of Korea

### 요 약

이동 컴퓨팅 환경에서 이동 호스트가 사용하는 캐쉬는 이동 호스트의 자치성을 증대시킴으로서 전력의 한계와 제한된 대역폭이라는 단점을 보완할 수 있는 중요한 장치로 사용된다. 하지만 서버 데이터와의 일관성 유지를 해야하는 부담을 가지게 된다. 본 연구에서는 기존의 일관성 유지 기법이 가지는 불필요한 데이터의 방송 문제점을 보완하고 오랜 접속 단절 후에 연결된 이동 호스트에 대해서는 서버가 보관하고 있던 지난 방송 정보를 전달함으로써 대역폭을 효율적으로 이용하면서 이동 호스트의 자치성을 증대시키는 캐쉬 유지 기법을 제안한다.

### 1. 서론

이동 컴퓨팅 환경이 발달함에 따라 사용자들은 시간과 장소에 구애받지 않고 컴퓨팅 작업을 수행하며 데이터베이스에 접근하는 것이 가능하게 되었다. 하지만 현재의 이동 컴퓨팅 기술은 제한된 통신 대역폭과 전력 공급의 한계, 이동 호스트의 이동 등의 제약으로 인해 접속 단절과 전송 가능한 데이터 양의 제한 등의 문제점들을 가지고 있다[1]. 이러한 문제점들에 대한 대안 중의 하나로 이동 호스트에 캐쉬를 유지하는 방법이 있다. 캐쉬를 사용하게 되면 서버와의 접속이 단절된 상황에서도 지속적으로 작업을 수행할 수 있게 되지만 서버 데이터와의 일관성을 유지해야하는 부담이 있다.

기존의 캐쉬 일관성 유지 기법인 주기적 무효화 보고 방송[2]의 경우는 오랜 접속 단절이 발생한 경우 캐쉬 내 전체 데이터의 무효화라는 문제점이 있다. 이를 보완하기 위한 서버요청 유효성 확인 기법들[3]의 경우는 오랜 접속 단절 후에 캐쉬 전체의

무효화를 방지할 수는 있지만 잘못된 무효화가 발생할 수 있다는 단점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 기존의 적응적 캐쉬 일관성 유지 기법[4]을 기반으로 이동 호스트의 자치성을 증대시키고 이동 호스트가 가지고 있지 않은 데이터에 대한 불필요한 무효화 방송을 방지하며, 오랜 접속 단절 후에 연결된 이동 호스트에 대해서는 특별히 서버가 보관하고 있던 지난 방송 정보를 전달함으로써 기존의 기법들이 가지고있던 단점들을 최소화 할 수 있는 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련연구를 기술하고, 3장에서 본 논문의 제안 기법인 선택적 캐쉬 일관성 유지 알고리즘을 다룬다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

### 2. 관련연구

#### 2.1 방송 타임스탬프 (Broadcasting Timestamps)

방송 타임스탬프 기법은 주기적으로 무효화 보고

를 방송함으로써 갱신 데이터에 대한 정보를 이동호스트로 전달한다[1]. 무효화 보고는 일정기간동안에 갱신된 데이터의 식별자와 해당 데이터가 마지막 갱신된 시점의 타임 스탬프의 쌍으로 이루어지게 된다. 이 기법은 짧은 접속 단절의 경우에는 좋은 기법이지만 오랜 단절 이후 다시 서버와 접속한 이동호스트는 무효화 보고만으로 자신의 캐쉬 내용에 대한 유효성을 확인할 수 없기 때문에 캐쉬 내용을 모두 무효화하게 되므로 좋지 못한 성능을 보인다.

## 2.2 SCC & SGC (Simple Checking Caching & Simple Grouping Caching)

방송 타임 스탬프 기법의 사용에 따른 단점을 보완하기 위해 제안된 기법이 SCC와 SGC이다.

SCC 기법은 무효화 보고만으로 캐쉬의 유효성 확인이 불가능할 경우에 서버로 캐쉬 유효성 확인 요청을 하는 기법이다. 유효성 확인을 원하는 데이터의 식별자와 마지막 무효화 보고 시점의 타임 스탬프 값을 전송하게 되며 서버에서는 이에 해당하는 정보를 요청한 이동 호스트에게 전송한다. 하지만 이 기법은 캐쉬 내에 데이터가 많을 경우 많은 양의 대역폭 소모를 가져오게 된다.

SGC 기법은 이러한 단점을 보완하기 위해 데이터들을 그룹화하고, 그룹의 식별자를 전송하는 방법을 사용한다. 하지만 이동 호스트 내의 데이터들이 갱신되지 않았을 경우에도 서버에서 그룹이 무효화되면, 이동 호스트내의 갱신 데이터가 있는 그룹 내의 모든 데이터가 무효화(false invalidation)된다.

## 2.3 적응적 캐쉬 유지 기법

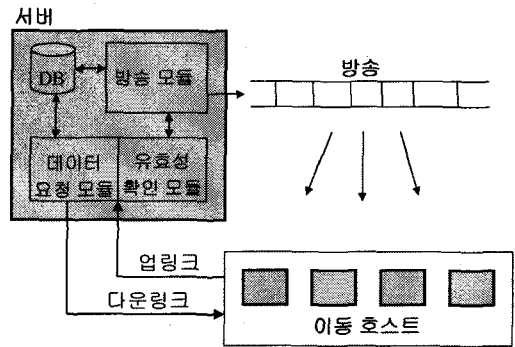
적응적 캐쉬 유지 기법[4]은 무효화 기법의 단점인 사용 빈도가 높은 데이터에 대한 무효화로 인한 빈번한 캐쉬 요청과 전파 기법의 단점인 접속 단절 시 높은 메시지 파손과 분실 가능성으로 인한 성능 저하를 보완하기 위한 기법이다.

따라서 무선 네트워크의 연결 상태에 따라 무효화와 전파 메시지의 방송 비율을 동적으로 조절하는 방법을 사용한다. 네트워크가 안정된 연결 상태를 유지할 때는 전파 메시지를 방송하여 캐쉬 요청을 감소시키고 서버의 응답 시간을 단축시키며 잦은 부분 단절 및 접속 단절이 발생하여 가용 통신 대역폭이 감소하면, 점차적으로 무효화 메시지의 방송 비율을 늘려 메시지 파손 및 손실 확률을 최소화한다. 하지만 이 기법의 경우, 이동 호스트에 존재하지 않

는 데이터에 대한 서버 측의 잦은 갱신으로 인해 전파가 수행될 경우 불필요한 데이터의 방송으로 인한 대역폭의 낭비가 심각해지며, 오랜 접속 단절 이후에는 기존의 기법들과 동일한 문제를 가지게 된다.

## 3. 선택적 캐쉬 일관성 유지 기법

서버는 적응적 캐쉬 유지 기법[4]에 기반 하여 주기적으로 데이터 갱신 정보를 방송하며, 이동 호스트는 이 정보를 수신하여 캐쉬의 데이터의 유효성 여부를 판단할 수 있게 된다. 트랜잭션을 수행한 데이터가 유효하지 않다면, 서버에 해당 데이터를 요청하게 되고 서버에서는 데이터 요청 모듈을 통해 해당 이동 호스트로 데이터를 전송한다. 오랜 접속 단절 후에 서버와 연결된 이동 호스트가 유효성 확인을 요청하면 유효성 확인 모듈에서는 지난 방송 정보를 해당 이동 호스트에 전송해주며 확인 요청 시점까지의 갱신 정보는 방송 모듈을 통해 방송된다. (그림 1)은 본 논문에서 제안하는 정보 전달 구조의 개괄적인 모습이다.



(그림 1) 캐쉬 일관성 유지 기법의 정보 전달 구조

서버에는 이동 호스트의 캐쉬에 대한 정보와 데이터 사용 빈도에 대한 정보를 담고있는 테이블을 유지함으로써 이동 호스트에 존재하지 않는 데이터에 대한 방송을 방지하고, 오랜 접속 단절 후에 서버와 연결된 이동 호스트에 대해서는 서버 요청 방법을 통해 관리해줌으로서 자치성의 확보와 기존 기법의 캐쉬 데이터의 무효화로 인한 문제점 보완으로 성능 향상을 꾀한다.

### 3.1 테이블을 사용한 방송 데이터 선별 기법

데이터에 대한 사용 가능성을 예측하여 방송해 주기 위해서 서버는 두 개의 테이블을 유지한다. <표 1>의 캐쉬 상태 테이블(이하 CST)은 각 이동 호스트 내에 존재하는 데이터에 대한 정보를 유지함으로써 이동호스트에는 존재하지 않는 데이터에 대한 갱신이 발생했을 때 이 데이터에 대한 갱신 정보를 방송하지 않도록 한다.

<표 1> 캐쉬 상태 테이블 (Cache State Table)

| 데이터 식별자 | MH1 | MH2 | MH3 | MH4 | MH5 | MH6 | ... |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1       | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0   |     |
| 2       | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 1   |     |
| 3       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |     |
| 4       | 1   | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   |     |
| ...     |     |     |     |     |     |     |     |

트랜잭션은 서버와 이동 호스트 모두에서 발생하지만 이동호스트에 보유된 데이터에 대해서만 방송을 수행하게 되면 불필요한 정보의 방송으로 인한 대역폭 감소의 효과를 얻을 수 있다. 이동 호스트가 데이터 요청으로 캐쉬에 해당 데이터를 가지게 되면 CST의 값을 1로 세팅하고, 캐쉬 교체 발생하거나 유효성 확인 불가로 인해 캐쉬에서 데이터가 버려지게 되면 0으로 세팅된다. 모든 이동 호스트가 0값을 가지게 되는 데이터는 서버에서 갱신이 발생하더라도 방송되지 않는다.

<표 2>의 데이터 접근 테이블(이하 DAT)은 이동 호스트와 서버에서 수행된 트랜잭션들의 데이터에 접근한 횟수를 기록한 테이블로 접근 횟수가 클수록 데이터가 전파될 확률이 높아진다.

<표 2> 데이터 접근 테이블 (Data Access Table)

| 데이터 식별자 | 이동 호스트 읽기 | 이동 호스트 갱신 | 서버 접근 |
|---------|-----------|-----------|-------|
| 1       | 0         | 0         | 30    |
| 2       | 12        | 4         | 0     |
| 3       | 3         | 1         | 0     |
| 4       | 8         | 8         | 2     |
| ...     |           |           |       |

서버에서 완료된 트랜잭션들에 사용된 데이터들

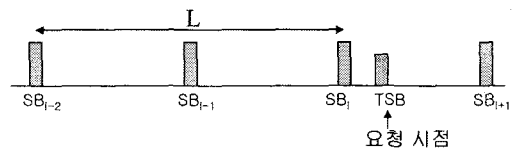
의 접근 횟수가 DAT에 기록되게 된다. 이동 호스트의 데이터 접근 횟수와 서버의 데이터 접근 횟수를 분리하여 이동 호스트의 접근 횟수만 데이터의 전파와 무효화를 결정할 수 있도록 하여 <표 2>의 경우에 데이터 1이 전파되지 않도록 방송 데이터의 분별력을 높일 수 있게 하였다. 또한 <표 2>의 데이터 2와 4의 경우와 같이 이동 호스트의 접근 횟수가 동일할 경우에는 읽기 횟수가 높은 데이터인 데이터 2에 우선 순위를 줄 수 있다. 따라서 이동 호스트에서 사용될 확률이 높은 데이터에 대한 보다 정확한 선별을 통해 캐쉬 적중률 향상과 데이터 요청 감소가 가능해 진다.

### 3.2 오랜 접속 단절 후 서버 요청을 통한 캐쉬 유지 기법

서버는 테이블을 사용한 데이터 선별 기법을 통해 생성된 갱신 정보를 주기적으로 방송(Selective Broadcast)한다. 또한 오랜 접속 단절 후에 서버와의 통신이 재개된 이동 호스트의 유효성 확인 요청에 대비하여 지난 방송 정보를 유지하고 있다. 서버가 요청 이동 호스트에 전송하기 위해 지난 방송 시점별로 정보를 보관하고 있는 모습을 <표 3>에서 보여주고 있다. 이동 호스트는 타임 스탬프와 갱신이 발생한 데이터의 식별자 정보를 받게 된다. (그림 2)는 주기적인 갱신 정보 방송 시점(SB)과 이동 호스트의 서버 요청으로 인한 비동기적 임시 방송(TSB)시점을 보여주고 있다. 서버가 보관하게 되는 방송 주기(L)는 알고리즘의 변수이다.

<표 3> 서버가 보관하고 있는 방송 정보

| 방송 시점             | 타임 스탬프 | 방송 데이터 식별자 |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------------|--------|------------|----|----|----|----|----|----|----|
| SB <sub>i-2</sub> | 9:00   | 1          | 10 | 15 | 22 |    |    |    |    |
| SB <sub>i-1</sub> | 9:20   | 30         |    |    |    |    |    |    |    |
| SB <sub>i</sub>   | 9:40   | 3          | 7  | 10 | 15 | 17 | 32 | 35 | 39 |
| TSB               | 9:45   | 1          | 7  | 19 |    |    |    |    |    |



(그림 2) 갱신 데이터 정보들의 방송 시점

이동호스트가 오랜 접속 단절 후에 서버와 통신

이 재개되면 이동 호스트는 서버에 유효성 확인을 요청하게 된다. 요청을 받은 서버는 보관하고 있던 일정 기간(L) 동안의 방송 정보를 요청한 이동 호스트로 전송해주고, 마지막 방송 시점부터 요청이 들어온 시점까지의 갱신정보를 모든 이동 호스트에 비동기적으로 방송해준다. 다음 방송에서는 비동기 방송 이후의 갱신 정보를 방송하게 된다.

L=3 이고, 8:40분에 마지막 방송을 받은 이동 호스트가 9:45분에 재접속 되었다고 가정해보자. 이동 호스트의 요청을 받은 서버는 보관하고 있던 방송 정보를 이동 호스트에 전송하기 위해 데이터를 다음과 같이 구성하게 된다. {1, <9:40, 3, 7, 10, 15, 17, 32, 35, 39>, <9:20, 30>, <9:00, 1, 22>}. 1은 요청에 의한 지난 방송 정보임을 알게 해주는 FLAG 값이고, 이후 타임 스탬프와 데이터 식별자가 차례로 전송되게 된다. 9:00분의 데이터 10과 15는 9:40분에 다시 방송되었기 때문에 전송하지 않는다. 이 정보를 전송한 후 서버는 9:40분부터 요청 시점인 9시 45분까지의 갱신 정보를 방송한다. 다음 방송 시점인 10:00에 방송되는 갱신 정보는 9:45분 이후의 갱신정보가 된다.

이 방법을 사용하게 되면 기존 기법들의 캐쉬 데이터의 무효화에 비해 캐쉬 손실을 줄이고 캐쉬 적중률을 향상시킴으로서 캐쉬를 효율적으로 유지할 수 있다.

#### 4. 결론 및 향후연구과제

본 논문은 기존의 캐쉬 일관성 유지 알고리즘들이 가지는 문제점을 보완하기 위해 적응적 캐쉬 일관성 유지 기법을 기반으로 테이블을 사용한 데이터 선별 기법과 오랜 접속 단절 후 서버 요청을 통한 캐쉬 유지 기법을 사용하는 선택적 캐쉬 일관성 유지 기법을 제안하였다.

이 기법을 사용함으로써 대역폭의 효율적 사용을 가능하게 하고, 이동 호스트에서 사용 확률이 높은 데이터의 캐쉬 적중률을 높임으로서 접속 단절 상태에서 서버에 의존하지 않고 이동 호스트가 컴퓨팅 할 수 있는 자치성의 향상을 가져올 수 있다.

향후 제안한 기법의 시뮬레이션을 통한 기존 기법들과의 비교 분석을 수행하고, 서버로의 요청으로 인한 업링크 데이터를 줄이는 기법에 대한 연구가 요구된다.

#### 참고문헌

- [1] J. Cai, K. Tan, and B. Ooi, "On Incremental Cache Coherency Schemes in Mobile Computing Environments", Proc. Int'l Conf. on Data Engineering, pp.114-123, 1997.
- [2] D. Barbara and T. Imielineski, "Sleepers and Workaholics: Caching Strategies in Mobile Environments", Proc. ACM SIGMOD Conf. on Management of Data, pp.1-12, 1994.
- [3] K. Wu, P. Yu, and M. Chen, "Energy-Efficient Caching for Wireless Mobile Computing", Proc. IEEE Int'l Conf. on Data Engineering, pp.336-343, 1996.
- [4] 남성현, 조성호, 황종선, "이동 컴퓨팅 환경하의 연결상태를 기반으로 한 적응적 캐쉬 유지 기법", Journal of Computer Science & Engineering Technology, Vol. 3 No. 1, 2001.