

인포스테이션 환경에서 세만틱 프리페칭을 이용한 캐쉬 관리 기법*

강상원⁰ 류제혁 길준민 김성석 황종선

고려대학교 컴퓨터학과

{swkang⁰, jhryu, jmgil, sskim, hwang}@disys.korea.ac.kr

Cache Management Scheme using Semantic Prefetching in Infostation Environments

Sang-Won Kang⁰ Je-Hyuk Ryu Joon-Min Gil Sung-Suk Kim Chong-Sun Hwang

Department of Computer Science and Engineering, Korea University

요약

무선 환경에서 데이터 통신을 원하는 사용자의 요구는 점차 증가하고 있다. 현재까지의 셀룰러 환경은 음성통신을 위해 주로 이용되어 왔으나, 앞으로 주파수 대역폭을 높여 데이터 통신을 용이하게 할 수 있는 환경이 요구되고 있다. 이러한 환경을 위해 인포스테이션 개념이 도입되었고, 사용자가 필요로 하는 위치중속 데이터는 인포스테이션 환경을 기반으로 관리할 수 있다. 인포스테이션에서 기존의 프리페칭 기법은 많은 양의 데이터를 이동 클라이언트에게 전송할 수 있었지만, 실제 사용자의 기호에 맞는 질의가 분석되어 제공하는데는 어려움이 있다. 따라서, 본 논문에서는 사용자가 필요로 하는 위치중속 데이터와 세만틱 서술(semantic description)을 인포스테이션을 통해 프리페칭하는 기법으로 세만틱 프리페칭(semantic prefetching)을 제안한다. 또한, 인포스테이션을 통한 위치중속 데이터의 세만틱 프리페칭 기법과 이동 사용자가 필요로 하는 데이터를 관리할 수 있는 새로운 캐쉬 관리 기법을 제시한다. 본 논문은 세만틱 프리페칭 기법과 새로운 캐쉬관리기법을 통해 사용자가 필요로 하는 위치중속 데이터에 대한 캐쉬 적응율을 향상시키고 적절한 캐쉬 교체룰 가능하게 한다.

1. 서론

이동 클라이언트의 질의 위치에 따라서 질의 결과는 달라질 수 있는데 이와 같은 데이터를 위치중속 데이터(location dependent data)라고 한다 [1]. 즉, 위치중속 데이터는 이동 클라이언트의 위치에 따라 정해진 데이터가 제공된다. 이러한 연구에 대한 응용으로써 GIS(Geographic Information System)시스템을 예로 들 수 있다. 이 시스템은 자신의 위치를 파악한 후, 지역에 기반한 위치기반 서비스를 제공한다. 또한, 무선 장비를 이용하여 필요로 하는 정보의 위치를 확인하고 데이터를 얻는다. 특히 수많은 건물이 밀집된 도심에서 많은 양의 위치중속 데이터를 사용자에게 전송하기 위해서는 데이터 전송을 위한 새로운 메커니즘이 필요하다.

그러나, 셀룰러 시스템을 기반으로 하는 기존의 네트워크 구조는 음성통신에 초점을 맞추어 구축되었으므로, 데이터 통신을 위한 시스템으로 활용하는데 한계가 있다. 데이터 통신을 위한 네트워크 구조와 많은 양의 데이터를 사용자에게 효과적으로 전송하기 위해 인포스테이션 개념이 제안되었다[2]. 인포스테이션은 프리페칭 기법을 이용하여 이동 클라이언트가 인포스테이션 영역으로 진입할 때 필요한 데이터를 미리 전송 받아서 그 지역에서 자신의 이동 서비스를 수행한다. 한편, 인포스테이션에서의 프리페칭 기법과 비교하여 전통적인 캐쉬 기법에서는 사용자가 필요한 데이터를 캐쉬에 유지하여 관리하지만, 네트워크의 접속단절시 사용자가 필요로 하는 데이터를 얻지 못하는 한계가 있으므로 인포스테이션 환경에서의 프리페칭 기법을 대치하지 못한다.

실세계에서 사용자의 기호에 따른 위치기반 서비스를 제공하는 데이터의 지역성은 지역마다 여러 가지 형태로 나타난다. 인포스테이션 환경에서 이동 클라이언트에게 요구 데이터를 프리페칭할 때 이전 사용 정보를 이용하여 앞으로 사용하게 될 가능성이 높은 위치중속 데이터들을 미리 이동 클라이언트에게 보내준다면, 서버에 대한 질의를 줄이고 이동 클라이언트의 캐쉬 내에서 얻을 수 있는 정보의 적응율을 높일 수 있다.

본 논문에서는 인포스테이션 환경에서 위치중속 데이터에 대한 세만틱 서술을 이용한 세만틱 프리페칭 기법을 제안한다. 세만틱 프리페칭시 서버는 사용자가 필요로 할 수 있는 정보를 결정하여 미리 클라이언트로 보내므로 사용자가 질의를 던졌을 때 캐쉬 적응율을 높일 수 있다. 사용자는 해당 인포스테이션의 영역을 떠나면서 자신이 현재 영역에서 이용했던 데이터들에 관한 로그정보를 인포스테이션을 통해 서버에 업로드 한다. 그러면 서버는 그 정보를 갱신하고, 이동 클라이언트가 다시 이 영역을 방문했을 때 업로드한 로그파일을 근거로 사용자가 이용한 정보를 수집하여 세만틱 프리페칭을 수행한다. 그러나, 사용자가 질의를 던졌는데 해당 위치중속 데이터가 세만틱 프리페칭으로 전송 받은 데이터 중에 없다면, 낮은 무선 대역폭을 사용하는 기지국(base station)을 통해 데이터를 전송 받아야 한다. 인포스테이션의 프리페칭에 의해서 필요한 데이터를 전송받기 때문에, 기지국을 통한 데이터의 전송은 부가적인 비용을 초래한다.

따라서, 인포스테이션에서는 기지국을 통한 데이터의 전송을 최소화하여야 한다. 만약 이동 클라이언트가 캐쉬를 유지하면, 캐쉬 내에 이동 클라이언트가 필요로 하는 정보를 유지할 수 있으므로 기지국을 통한 데이터의 전송을 줄일 수 있고, 더욱이 캐쉬 적응율이 높아질수록 그러한 데이터 전송은 더욱 줄일 수 있다. 따라서, 본 논문의 방법은 세만틱 프리페칭 기반 세만틱 캐쉬 기법을 이용하여 이동 클라이언트의 접속단절 시에도 필요한 데이터를 얻어서 데이터를 효율적으로 관리할 수 있고 위치중속 데이터에 대한 세만틱 서술을 이용하여 이동 클라이언트의 위치에 따라 효율적인 서비스를 제공할 것으로 기대된다.

2. 관련 연구

캐쉬기법과 세만틱 캐쉬기법을 이용하여 네트워크의 트래픽을 최소화하고, 접속 단절(disconnection) 현상이 발생할 경우 최대한 클라이언트의 캐쉬를 활용할 수 있도록 캐쉬 교체 기법은 효과적으로 사용해 보려는 시도가 있었다 [3]. 또한, 프리페칭을 사용하여 캐쉬 손실을 줄이고 데이터의 정확성을 높이는 연구[5]와 많은 데이터를 인포스테이션을 통해 전달하는 기법이 있었다 [6].

2.1 캐쉬와 세만틱 캐쉬

기존의 캐쉬기법은 페이지 캐쉬를 기본으로 한다. 최근에는 사용자의 기호나 의미론적인 접근을 통해 정보를 얻고자 하는 노력이 진행되고 있다. 세만틱 캐쉬기법에서는 이동 컴퓨팅 환경에서 데이터와 세만틱 서술을 이용하여 접속 단절 상황을 극복하였다. 세만틱 캐쉬는 그 구성 집합요소가 $S_0 : \{S_0, S_1, S_2, S_3, S_4\}$ 로 구성된다[7]. 몇 가지 질의에 대한 예를 들어보면 다음과 같다.

예 1)

· 질의 1 : 현 위치에서 반경 5킬로미터 안에 있는 호텔을 찾아라.

$S1 : \text{Select Hname From Hotel Where } (Lx-5 \leq hxpos \leq Lx+5) \wedge (Ly-5 \leq hypos \leq Ly+5)$

· 질의 2 : 현 위치에서 반경 10킬로미터 안에 있는 5시부터 8시까지 영업을 하는 백화점 이름과 매장의 유형을 찾아라.

$S2 : \text{Select Dname, Type From Dep_Store Where } (Lx-10 \leq dxpos \leq Lx+10) \wedge (Ly-10 \leq dypos \leq Ly+10) \wedge (5 \leq time \leq 8)$

· 질의 3 : 현 위치에서 반경 5킬로미터 안에 있는 객실료가 5만원 이하인 호텔을 찾아라.

$S3 : \text{Select Hname, Room From Hotel Where } (Lx-5 \leq hxpos \leq Lx+5) \wedge (Ly-5 \leq hypos \leq Ly+5) \wedge (Price < 5)$

위의 예와 같이 위치정보에 대해 정확한 좌표 값이나 영역을 알 수 있다면, 이동 클라이언트는 이 좌표 값이나 영역을 기반으로 질의에 대한 수식(predicate)을 얻을 수 있고, 앞에서 언급한 원소들을 이용하여 사용자가 원하는 결과를 얻을 수 있다. 또한, 위치중속 데이터를 효과적으로 캐쉬에서 교체하기 위한 연구는 Manhattan distance 기법[4]과 세만틱 캐쉬 기법에서의 FAR(furthest Away Replacement)캐쉬교체 기법으로 제안되었다[7].

* 이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구 되었음. (KRF-2001-041-E00239)

2.2 프리페칭

프리페칭은 캐쉬 손실이 일어날 경우를 줄이고 무선대역폭의 소비를 줄이기 위한 방법으로 신속한 데이터 사용을 지원한다. 따라서, 프리페칭의 이용은 절의에 대한 빠른 응답시간을 제공할 수 있어서 높은 작업효율성을 기대할 수 있다. 프리페칭의 성능은 프리페칭하는 데이터의 정확도에 의존한다. 그러나, 프리페칭시 일어날 수 있는 데이터의 동기화 문제와 지연시간이라는 단점이 발생한다. 서로 다른 네트워크로 인한 속도지연으로 데이터 동기화가 실패할 우려가 있으며 관련 사용자들의 일정한 패턴분석이 어렵다[5].

2.3 인포스테이션

인포스테이션의 출현은 높은 주파수 대역을 사용하여 많은 양의 데이터를 높은 대역폭을 이용하여 빠른 전송속도로 사용자에게 제공하는데 초점이 있다[6]. 인포스테이션 환경은 기존의 셀룰러 시스템에 기반하여 기존의 기지국보다 상위 레벨에 높은 대역을 갖는 인포스테이션을 제공함으로써 데이터의 속도와 양을 보장한다. 인포스테이션 환경은 최근의 휴대전화로서의 용도가 아닌 무선 이동 데이터 장비의 집적인 향상을 보장해 줄 수 있는 새로운 네트워크 구조이다.

3. 시스템 모델

제안하는 모델은 인포스테이션의 영역을 기반으로 하여 크게 이동 클라이언트 부분과 서버 부분으로 나누어 진다. 하나의 인포스테이션은 높은 주파수 대역을 이용한 데이터 전송을 지원한다. 본 논문에서는 이동 클라이언트가 위치중속 데이터를 필요로 할 때 데이터를 서버로부터 얻을 수 있는 시스템 모델을 사용한다.

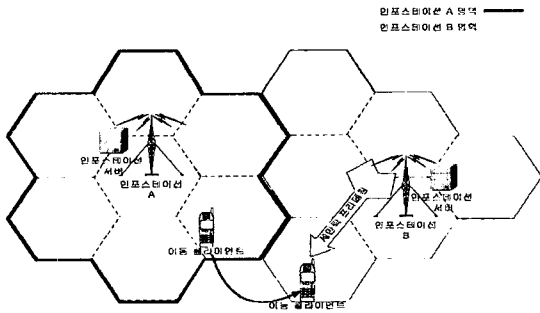


그림 1 제안하는 모델

그림 1의 시스템 모델에서 각 요소의 기능들은 다음과 같다.

- 인포스테이션 : 높은 주파수 대역폭을 이용하여 데이터를 전송하고 몇 개의 셀을 포함하는 영역을 담당한다.
- 서버 : 해당 영역에서 사용자가 사용할 위치중속데이터와 세만틱 서술을 이동 클라이언트에게 세만틱 프리페칭한다.
- 이동 클라이언트 : 해당 영역과 관련된 위치중속데이터와 세만틱 서술을 캐쉬에 유지한다.

세만틱 프리페칭에 기반하여 서버와 이동 클라이언트간의 관계를 단계별로 살펴보면 다음과 같다

표 1 세만틱 프리페칭 기반 캐쉬의 수행 단계

단계	이동 클라이언트	서버
단계1	- 이동 클라이언트가 인포스테이션 영역에서 다른 인포스테이션의 영역으로 진입한다.	- 서버는 이전에 남기고 간 사용자 로그 파일을 이용하여 필요한 데이터를 수집하고 이동 클라이언트에게 데이터와 세만틱 서술을 전송한다. (세만틱 프리페칭)
단계2	- 프리페칭 받은 데이터들과 세만틱 서술을 이동 클라이언트가 유지하는 현재 캐쉬내용과 비교하여 교체한다.	- 현재 인포스테이션 영역의 서버는 이동 클라이언트가 영역으로 진입할 때 한번만 프리페칭하면 된다.
단계3	- 이동 클라이언트는 이 인포스테이션의 영역을 벗어나면서 자신의 캐쉬정보를 바탕으로 로그 정보(사용자가 사용한 정보에 대한 기록)를 서버에게 보낸다.	- 서버는 이동 클라이언트가 보낸 로그 정보를 이용하여 로그 정보를 갱신하고 유지한다.

표 1의 수행 단계에 따라 이동 클라이언트는 인포스테이션의 영역에서 네트워크의 접속단절 상태에서도 교체된 캐쉬 데이터를 바탕으로 절의에 대한 필요한 정보를 얻는다. 그리고, 서버는 나중에 이동 클라이언트가 다시 이 영역을 방문할 때 파일의 로그정보를 바탕으로 데이터와 세만틱 서술을 프리페칭한다.

4. 세만틱 프리페칭

이동 클라이언트의 캐쉬에 저장되는 내용은 절의에 일치하는 정보이어야 한다. 서버에서는 인포스테이션을 통해 앞으로 사용자가 필요하게 될 정보와 이 정보의 내용을 표현하는 세만틱 서술 $F_d = (F_R, F_A, F_P, F_L, F_C)$ 를 이동 클라이언트에게 보낸다. 여기서, F_R 은 관계(relation)를 표현하고, F_A 는 속성(attribute)을 정의한다. F_P 를 사용하여 수식(predicate)으로 표현하고 해당 이동 클라이언트가 이전에 방문한 위치(location)를 F_L 로 나타내어 위치별위를 표현할 수 있다. F_C 는 이전 방문 위치에서 만족하는 내용(contents)이다. 본 논문에서는 AND, OR 연산과 합병 정렬을 통해 위치중속데이터와 세만틱 서술에 대한 합병과 캐쉬교체 전략을 제안한다.

4.1 위치중속 데이터를 위한 이동 클라이언트-서버 구조

서버는 이동 클라이언트가 해당 인포스테이션의 영역으로 진입할 때, 이동 클라이언트가 필요로 할 위치중속 데이터를 선달하게 되는데 이때 전달하는 데이터는 그 인포스테이션 영역에서 이동 클라이언트가 필요로 하는 정보이어야 한다. 따라서, 인포스테이션을 통해 서버는 이동 클라이언트에게 정확한 정보를 제공해 주어야 하는데, 이동 클라이언트가 이전에 이 영역을 벗어나면서 남긴 로그파일의 내용을 참고해야 한다.

서버에서는 이동 클라이언트가 해당 인포스테이션의 영역으로 진입하고 있다가 것을 인식하면, 필요하게 될 위치중속 데이터를 모아 인포스테이션의 높은 주파수 대역폭을 이용하여 위치중속 데이터를 전송한다.

한편, 이동 클라이언트는 인포스테이션을 통해서 자신이 필요로 하는 위치중속 데이터를 서버로부터 전송받는다. 이동 클라이언트의 캐쉬에는 해당 인포스테이션 영역으로 진입 이전에 자신이 사용했던 위치중속 데이터와 세만틱 서술을 갖고 있다. 이동 클라이언트는 자신의 캐쉬에 저장하고 있는 데이터, 세만틱 서술을 서버로부터 프리페칭 받은 데이터, 세만틱 서술과 다음과 같이 비교하고 실제로 필요한 데이터만 유지한다.

실제로 서버로부터 프리페칭 받은 세만틱 서술과 캐쉬에서 유지하고 있는 세만틱 서술은 AND, OR 연산과 합병정렬의 수행을 통해 이동 클라이언트의 캐쉬 크기와 내용을 결정한다. 이것이 결정되면 이동 클라이언트는 해당 인포스테이션 영역에서 자신이 필요로 하는 정보만을 캐쉬에 저장하게 된다. 이때 이동 클라이언트는 교집합 부분과 빈도수가 많은 정보에 우선순위를 두어 캐쉬를 구성한다. 이러한 상황에서 위치중속데이터는 F_d 와 S_d 에 영향을 받는다. F_d 은 이전에 사용자가 영역 내에서 절의를 던진 위치의 좌표값, S_d 은 현재 사용자가 절의를 던져 캐쉬에 저장된 위치의 좌표값을 나타낸다. 이동 클라이언트는 인포스테이션의 영역을 여러 방향에서 진입할 수 있으나 절의의 위치에 따라 원하는 정보를 얻을 수 있다.

먼저 양쪽의 세만틱 서술을 비교하여 교집합인 부분과 나머지 부분은 5개의 세만틱 서술의 위소를 포함하는 집합의 테이블로 그림 2와 같이 구성한다. 여기서 F_{di} 는 프리페칭 받은 세만틱 서술을 나타내고, S_{di} 는 캐쉬의 세만틱 서술을 나타낸다. 이때, HOT과 COLD의 순서는 빈도수에 따라 결정된다.

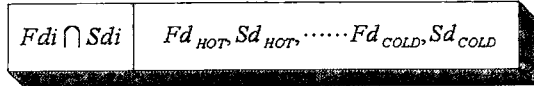


그림 2 세만틱 서술의 테이블

그림 2의 테이블을 이용하여 서버와 이동 클라이언트의 데이터에서 필요한 위치중속 데이터를 캐쉬에 저장한다. 이때, 캐쉬에 저장되는 데이터는 사용자의 절의에 일치하는 데이터이므로 세만틱 서술 테이블을 만족한다. 이 데이터와 세만틱 서술은 양쪽의 일치하는 부분과 절의 빈도가 높은 정도에 따라 캐쉬에 구성되어 있으므로, 이동 클라이언트가 이 인포스테이션의 영역에서 활동하고 있다면 유효하게 모두 사용할 수 있다.

4.2 절의 처리와 캐쉬 관리 기법

이동 클라이언트의 캐쉬에 있는 데이터가 사용자가 던진 절의를 모두 만족한다면 로컬 영역에서 그대로 캐쉬내의 데이터를 얻을 수 있다. 그러나, 실제로 사용자가 던진 절의는 캐쉬 내에 없는 경우가 생기게 되는데 이때는 결국 기지국과의 통신에 의해서 필요한 데이터를 전송 받아야 한다. 기지국은 이

나머지 질의(remainder query)이 필요한 데이터를 서버에서 받아 이동 클라이언트로 보낸다. 기지국간에는 실제로 유선으로 연결되어 있으므로 위치종속 데이터에 대한 부족한 정보를 얻는 것은 기존의 인포스테이션에서 다루던 방식과 유사하게 수행된다.

실제 이동 클라이언트의 캐쉬 크기는 제한되어 있다. 따라서, 서버에서 받은 많은 양의 데이터를 그대로 수용하기보다는 실제로 필요한 데이터만을 여과해서 관리하는 것이 중요하다. HOT 데이터와 HOT 세만틱 서술은 사용자가 던진 쿼리에 대해 빈도수가 높은 정보를 나타내며, COLD 데이터와 COLD 세만틱 서술은 쿼리에 대해 빈도수가 낮은 정보를 나타낸다. 본 논문에서 제안하는 캐쉬 교체 기법을 위한 캐쉬 관리는 아래와 같이 구성된다.

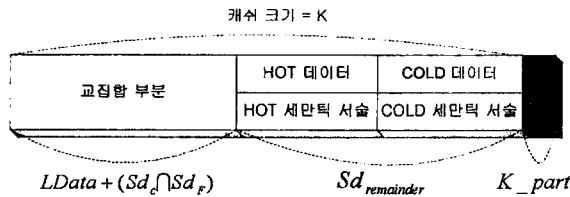


그림 3 캐쉬 관리

그림 3에서 캐쉬 크기는 임의의 K값으로 표현되며, 교집합 부분은 $LData + (Sd_i \cap Sd_f)$ 로 나타낸다. 캐쉬 크기에서 교집합을 제외한 나머지 부분은 $Sd_{remainder}$, 캐쉬 크기를 넘는 부분은 K_part 라 한다. 그림 3의 구성은 데이터와 세만틱 서술로 구성된다. 캐쉬 크기를 넘는 K_part 부분의 데이터는 캐쉬 구성시 버린다.

서버와 이동 클라이언트의 수행 알고리즘은 아래와 같다.

<알고리즘 1> 서버

Mobile : 이동 클라이언트
 LData_F : 프리페치할 위치종속데이터
 Sd_F : 프리페치할 세만틱 서술
 Log_file : 사용자가 사용한 데이터들에 대한 정보를 유지
 M_{data} : 질의에 대해 이동 클라이언트가 사용한 데이터 원소
 M_{sd} : 질의에 대한 이동 클라이언트의 세만틱 서술 원소

```

Declare Mobile, LDataF, SdF, Log_file, Mdata, Msd
Function Find_data
LDataF = Empty
If Mobile = 1(이동 클라이언트가 인포스테이션 영역으로 진입할 때)
    Read Log_file
    Select Mdata, Msd
    LDataF ← Mdata
    SdF ← Msd
Else if Mobile = 0(이동 클라이언트가 인포스테이션 영역을 벗어날 때)
    Collect Mdata, Msd
    Write Log_file
    Save Log_file
Function Send_data
LDataF = Full, SdF = Full
Send LDataF, SdF
    
```

<알고리즘 2> 이동 클라이언트

LData_i : 현재 캐쉬에 있는 위치종속데이터
 Sd_i : 현재 캐쉬에 있는 세만틱 서술
 LData_c : 캐쉬에 저장할 최종 위치종속데이터
 Sd_c : 캐쉬에 저장할 최종 세만틱 서술
 Sd_{remainder} : 일치하지 않는 나머지 세만틱 서술
 K_part : 캐쉬크기를 넘는 부분(캐쉬 크기는 임의의 K값)
 LData_i+Sd_i : 현재 자신의 캐쉬 내용
 LData_F+Sd_F : 서버로부터 받는 내용

```

Declare LDatai, Sdi, LDatac, Sdc, Sdremainder, LDataF, SdF, K_part
LDatac, Sdc = 0
Function Receive_data
    add LDataF to LDatai
    add SdF to Sdi
Function Compare_data SdF, Sdi
    If SdF ∩ Sdi
        Sdc ← (SdF ∩ Sdi)
        Sdremainder ← ((SdF ∪ Sdi) - (SdF ∩ Sdi))
        Sort Sdremainder in descending order
        according to the query access
        Sdc ← Sdremainder
    Else if Sort SdF, Sdi in decreasing order
        according to the query access
Function Select_data LDatai, LDataF using Sdc
    LDatac ← LDatai, LDataF
Function Delete_data
    If LDatac + Sdc ≤ K
        case 1 : (Mobile = 1)
            LDatac, Sdc → save the Cache
        case 2 : (Mobile = 0)
            LDatac, Sdc → upload the Log_file
    Else if LDatac + Sdc > K
        then K_part(Sdc, LDatac) → delete
    
```

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 사용자가 필요로 하는 위치종속 데이터와 세만틱 서술을 포함하여 프리페칭하는 세만틱 프리페칭 기법과 캐쉬교체 전략을 제안했다. 무선 환경에서 이동 클라이언트가 필요로 하는 위치종속 데이터를 얻기 위해서 인포스테이션을 이용함으로써 네트워크의 트래픽을 줄인다. 또한 높은 주파수 대역을 이용하여 필요로 하는 많은 정보를 미리 세만틱 프리페칭하여 이동 클라이언트의 캐쉬 내에서 사용자가 던진 질의에 대한 정보를 얻을 수 있다.

향후 연구과제로써 본 연구에서 제안한 기법에 대한 분석 및 사용자의 이동속도와 방향성을 모두 고려한 새로운 세만틱 프리페칭 기법을 개발하고자 한다. 제안하는 기법은 차세대 데이터 통신을 위한 모델로 적용할 수 있다.

참고문헌

- [1] M. H. Dunham and V. Kumar, "Location dependent data and its management in mobile databases," *Proc. of the Ninth Int. Workshop on Database and Expert Systems Applications*, pp. 414-419, 1998.
- [2] D. J. Goodman, J. Borrás, N. B. Mandayam, and R. D. Yates, "INFOSTATIONS: A new system model for data and messaging services," *Proc. of IEEE VTC '97*, Volume. 2, pp. 969-973, 1997.
- [3] A. M. Keller and J. Basu, "A predicate-based caching scheme for client-server database architectures," *The VLDB Journal*, Vol. 5, No. 2, pp. 35-47, 1996.
- [4] S. Dar, M. J. Franklin, B. T. Jonsson, D. Srivatava, and M. Tan, "Semantic data caching and replacement," *Proc. of the VLDB Conf.*, pp. 330-341, 1996.
- [5] George Liu, "Exploitation of location-dependent caching and prefetching techniques for supporting mobile computing and communications," *Proc. of the Sixth Int. Conf. on Wireless Communications*, pp. 11-13, 1994.
- [6] A. L. Iacono and C. Rose, "INFOSTATIONS: new perspectives on wireless data networks," Technical Report pp. 1-60, WINLAB, Rutgers, The State University of New Jersey, 2001.
- [7] Q. Ren and M. H. Dunham, "Using semantic caching to manage location dependent data in mobile computing," *Proc. of the Sixth Annual Int. Conf. on Mobile Computing and Networking*, pp. 210-221, 2000.