

# 이동 환경에서 영역기반의 네트워크 캐싱 효용성 분석

이화세<sup>†</sup>, 이승원<sup>\*\*</sup>, 박성호<sup>\*\*\*</sup>, 정기동<sup>\*\*\*\*</sup>

## 요 약

본 연구에서는 이동 환경에서 사용자들이 여러 베이스 스테이션(Base Station)을 빠르게 또는 느리게 이동하면서 비디오나 오디오 같은 연속 미디어 서비스를 요구할 때, 이를 위한 캐싱(Caching)이 효용성을 가지는지에 대해서 연구한다. 이동 환경에서 패킷의 단절과 네트워크의 오버헤드의 문제를 줄이고 전송 지연 시간을 최소화하기 위해, 영역(Domain) 기반의 계층적 캐쉬 구조를 제안하고, 이 구조에서 캐싱의 적용이 효용성을 가지는지를 알아본다. 그래서 이동 환경(Mobile Environment)에서 연속 미디어를 서비스 받는 사용자 환경과 계층적 네트워크 구조를 모델링하고 사용자의 이동성향과 캐싱 위치에 따른 캐싱의 효용성을 분석하여, 캐싱이 이동 환경에서 효용성을 제공하는지 연구한다. 그 결과 캐싱의 위치와 사용자들의 이동성향에 따라 히트율과 재배치 횟수의 변화가 크므로 캐싱의 적용성 있는 적용이 필요함을 알 수 있다.

## Analysis of Usefulness of Domain-Based Network Caching in Mobile Environment

Hawsei Lee<sup>†</sup>, Seungwon Lee<sup>\*\*</sup>, Seongho Park<sup>\*\*\*</sup>, Kidong Chung<sup>\*\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

When users of mobile environments move fast or slow into a number of base stations(BS) and request the services of continuous media data such as video or audio, this study examines what the caching has the usefulness in mobile environments. Namely, to reduce packet disconnections and network overheads in mobile environments and minimize transmission delay time, we propose domain-based hierarchical caching structure and study whether application of caching has the usefulness. So we have a model based on user environments and hierarchical network structure to process continuous media services, and analyze the usefulness of caching which depends on the mobile patterns of user and the locations of caching nodes. And then, we research whether caching offers the usefulness in mobile environments. As the result, we are able to see that an adaptable application of caching is needed because the hit ratio and the number of replacement vary in large according to mobile patterns of user and locations of caching.

**Key words:** Mobile Environment(이동환경), Proxy(프록시), Caching(캐싱), Domain(영역)

## 1. 서 론

셀룰러 네트워크, 휴대용 컴퓨터, 무선 LAN 등과

같은 무선통신 환경에 대한 많은 연구와 기술의 향상으로 이동성이 지원되는 단말기들에 대한 사용자들의 다양한 요구가 점차적으로 증가하고 있다. 이러한

※ 교신저자(Corresponding Author): 이화세, 주소: 경남 밀양시 내이동 1025-1(627-130), 전화: 055)350-5442, FAX: 055)350-5440, E-mail: hslee@mnu.ac.kr

접수일: 2003년 8월 25일, 완료일: 2003년 11월 10일

<sup>†</sup> 정회원, 밀양대학교 컴퓨터공학과 부교수

<sup>\*\*</sup> 부산대학교 대학원 전자계산학과 박사과정

(E-mail: swlee@pusan.ac.kr)

<sup>\*\*\*</sup> 정회원, 부산대학교 정보전산원 조교수

(E-mail: shpark@pusan.ac.kr)

<sup>\*\*\*\*</sup> 종신회원, 부산대학교 전자계산학과 교수

(E-mail: kdchung@melon.cs.pusan.ac.kr)

※ 본 연구는 밀양대학교 교내학술연구비의 지원으로 수행되었음.

요구는 이동성이 있는 단말기들이 네트워크 접속을 수시로 변경하더라도 연결의 중단 없이 계속해서 통신할 수 있도록 하는 네트워크 구조의 변화를 필요로 한다[1-3]. 일반적으로 프록시 또는 네트워크 캐싱은 사용자와 서버의 중간 지점에 캐시를 설치함으로써 네트워크 교통량과 서버의 오버헤드를 줄여 전체 시스템의 성능을 향상시키고 네트워크의 자원을 효율적으로 관리할 목적으로 소개되었다. 그래서 사용자의 요구를 원격지 서버에게 객체를 대리로 전달하고 사용자가 요구한 객체를 전송하는 역할을 한다[2-5]. 그리고 유선 환경에서 연속 미디어 응용을 위한 네트워크 캐싱의 경우 사용자의 접근 특성과 데이터의 특성 등을 고려한 연구들이 주를 이루고 있다[6]. 그러나 유선 환경에서의 네트워크 캐싱을 단순히 무선 환경에서도 그대로 적용한다면 사용자의 이동성과 이동 단말기의 특성(낮은 성능의 시스템 사양), 그리고 무선통신의 특성(저 대역폭, 높은 에러율, 잦은 끊김)으로 인하여 그 효율성은 떨어지게 된다. 따라서 이동 환경에서 사용자의 이동성을 고려한 새로운 네트워크 캐싱에 대한 연구가 필요하다[7-9]. 그러나 현재 이동 환경을 위한 네트워크 캐싱에 대한 연구는 주로 기존의 유선망 환경에 구현되어 있어, 웹 서버나 기존의 프록시 캐시의 부하를 완화시키는 것이 목적이며 네트워크 트래픽이 프록시 서버로 집중되는 병목 현상이나 프록시 서버에 문제가 발생할 경우 서비스가 중지되는 문제가 발생할 때의 해결방법은 명확하게 제시하지 못하고 있으며 또한 사용자들의 빠른 이동성과 연속 미디어 서비스는 고려하고 있지 않다[10-16].

이동 환경에서 사용자가 각 베이스 스테이션(Base Station)을 이동할 때 발생하는 핸드오프(Hand-off) 동안 사용자들은 서비스를 받지 못하는 현상이 발생한다. 이러한 제약은 연속미디어 서비스에서는 더욱 치명적일 수 있다. 이러한 문제점을 프록시를 이용한 네트워크 캐싱으로 극복하기 위해서 계층적 네트워크 캐싱 구조가 효율적일 것이다. 즉 네트워크 자원의 효율적인 사용을 위한 네트워크 캐싱의 본래 목적 이외에 이동 환경에서 핸드오프 시 발생하는 패킷 손실과 지연을 개선하기 위해서는 계층적 네트워크 캐싱 구조가 필요하다. 본 논문에서 제안하는 계층적 구조는 Mobile IP를 사용하여 이동성을 지원하며 백본(Backbone) 망에 연결된 두 단계로 된 영역(Domain) 기반의 계층적인 캐싱 구조이다. 첫째 영역 내

의 루트(Root) 라우터에 위치하는 프록시 캐싱은 네트워크 자원의 효율적인 사용을 위한 전통적인 네트워크 캐싱의 역할을 담당하여 네트워크의 트래픽과 서버의 부하를 감소시킨다. 둘째 중간(Intermediate) 라우터에 위치하는 중간 캐싱은 프록시 캐싱으로부터 상속된 캐싱을 담당하여 네트워크의 부하를 감소시키며 버퍼링을 통하여 핸드오프 때 발생하는 패킷 손실과 서비스 지연을 감소시킴으로써 사용자의 이동성을 고려하도록 한다. 그러나 LAN과 같은 영역 기반의 네트워크 환경에서 연속미디어 서비스를 위해서 계층적 캐싱 구조를 사용하는 경우에 있어서 영역 내에서 캐싱의 위치와 사용자의 이동 성향이 캐싱의 효율성에 어떤 영향을 주는지에 대한 연구는 아직 이루어져 있지 않은 상황이다. 제안된 구조에서 이동 환경과 연속미디어의 특성을 고려한 캐싱 기법에 대한 연구를 수행하기 이전에 본 논문에서는 이동 환경과 캐싱의 위치에 따른 효율성에 대한 연구를 먼저 살펴보고자 한다[17,18].

이동 환경에서의 네트워크 캐싱 기법에 대한 연구를 위해서는 이동 환경의 특징이 캐싱의 효율성에 어떤 영향을 주는지에 대한 연구가 필요하다. 이를 위해서 이동 환경에서 사용자들의 이동 패턴과 캐싱의 위치에 따른 다음과 같은 관점에서 연구가 반드시 필요하다.

● **캐싱 노드의 위치가 영역 내의 계층적 구조 상 어디에 배치하는 것이 적합한가?** : 네트워크 캐싱을 수행할 캐싱 노드의 위치는 유선 환경 상에서도 중요한 연구 과제이다. 본 연구는 이동 환경에서 영역 기반의 캐싱 구조에 대한 연구이므로 하나의 영역 내에서 캐싱 노드 위치와 어느 정도의 사용자 수에서 캐싱 기법의 효율성이 높아지는지에 대한 실험 연구가 필요하다.

● **사용자의 이동성 패턴에 따라 캐싱의 효율성의 변화가 있는가?** : 사용자의 이동성 패턴이란 임의의 영역 내에서 사용자들에 대한 이동성이 많은 사용자들과 이동성이 적은 사용자들 간의 비율을 말하는 것으로, 보통 고속도로나 사무실 밀집 지역과 같은 유동 인구가 많은 지역은 이동성이 많은 사용자의 비율이 높고, 주거 단지와 같은 유동 인구가 적은 지역은 이동성이 많은 사용자의 비율이 낮을 것이다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구로 이동 컴퓨팅 환경(Mobile Computing Environment)과 이동환경에서의 네트워크 캐싱을 살펴

보고, 3장에서는 연속 미디어의 이동 서비스 지원을 위한 네트워크 캐싱 구조를 제안하고 이를 실험하기 위해서 이동 사용자 환경과 네트워크 구조를 모델링한다. 4장에서는 모의실험을 통하여 캐싱 노드의 위치와 사용자의 이동 패턴에 따른 캐싱의 효율성을 분석하여 본다. 그리고 최종적으로 5장에서 결론 및 향후 연구해야 할 부분을 제시한다.

## 2. 관련연구

### 2.1 이동 컴퓨팅 환경

최근 무선 통신 기술의 발달과 휴대용 단말기의 급속한 보급으로 무선망의 활용이 일반화됨으로서 사용자 단말이 이동하는 도중에도 물리적인 위치에 상관없이 네트워크의 연결 및 서비스 제공을 지속시킬 수 있는 환경에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[1,19,20]. 이러한 환경을 이동 컴퓨팅 환경이라 하며 이는 고정 호스트(Fixed Host)들 및 유선망으로 구성되는 고정 네트워크(Fixed Network)와 위치를 이동하는 중에 무선 통신 매체를 통하여 고정 네트워크와 통신하는 이동 호스트(Mobile Host), 그리고 고정 네트워크에 접속하여 이동 호스트와의 통신을 관리하는 이동 지원국(MSS: Mobile Support Station) 등으로 구성된다. 이동 컴퓨팅 환경에서 사용자는 언제 어디서나 원하는 정보의 서비스를 유지할 수 있으나, 유선 환경보다 느린 전송속도, 데이터 전송의 불안정, 공유데이터의 일관성 유지, 그리고 이동 단말기의 성능에 따른 여러 제약조건(소형, 경량, 저 소비 전력 등의 시스템 사양으로 인하여 적은 메모리 용량과 처리성능이 낮은 터미널로 소프트웨어를 작동시켜야하고 데이터를 재생시켜야함)이 해결해야 할 중요한 문제점이다.

### 2.2 이동환경에서의 네트워크 캐싱

이동 환경에서의 캐싱 구조는 멀티미디어 객체를 전송하는 서비스의 경우에 유선망에서와 같은 높은 대역폭으로 서비스될 수 없으며, 유선망 환경에서와는 다른 사용자의 작업 패턴이나 공간적 시간적 이동성, 캐싱관리 기법, 적응성기법들에 대한 고려가 있어야 한다[7-9]. 따라서 이동 컴퓨팅 환경의 사용자에게 만족할 만한 수준의 서비스를 제공하기 위해서는, 유무선망 사이에 있어서 응용프로그램 계층에서

중재역할을 수행하는 프록시를 추가함으로써 무선 환경에 대한 적응성을 높일 수 있다. 이에 대한 연구들은 연속 미디어 서비스를 위한 것이 아니고 주로 이동 노드들의 성능에 따라서 프록시 서버가 파일의 양을 줄이거나 변화시킴으로써 멀티미디어 데이터 전송을 가능하게 하는 연구들이 주를 이루고 있으며 대표적으로 Webexpress[10], MOWGLI[11], BARWAN[12,13], WAP[14], UC Berkely의 Pythia와 Transend, Proxinet사의 Webproxy, Spyglass사의 Proxy Server 등이 있다[15,16]. 그러나 이러한 방법들은 주로 기존의 유선망 환경에 구현되어 있어, 웹서버나 기존의 프록시 캐시의 부하를 완화시키는 것이 목적이며 네트워크 트래픽이 프록시 서버로 집중되는 병목 현상이나 프록시 서버에 문제가 발생할 경우 서비스가 중지되는 문제가 발생할 수 있다.

## 3. 연속 미디어의 이동 서비스 지원을 위한 네트워크 환경

### 3.1 이동성 지원을 위한 네트워크 캐싱 구조

연속 미디어 응용에 이동성을 보장하기 위한 캐싱 정책은 전체 네트워크의 교통량을 줄이는 것과 이동성을 제공하는 무선 환경을 위한 빠른 핸드오프 처리를 제공해야 한다. 이 두 가지를 이루기 위한 방법으로 영역 기반의 계층적인 캐싱 구조를 제안한다. 그림 1은 이동 환경을 지원하는 영역기반의 네트워크 환경으로, 본 연구에서 고려하는 네트워크 캐싱의 형태는 백본 망에 여러 개의 영역이 연결되어 있고, 각 영역은 계층적인 캐싱 구조로 구성되어 있으며, 본 연구에

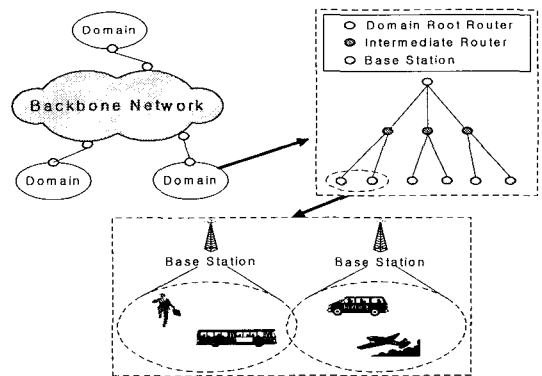


그림 1. 이동 환경을 지원하는 영역기반의 네트워크 환경

서 캐싱은 영역 내로 한정하여 연구하기로 한다.

그림 2는 그림 1에서와 같이 백본망에 연결된 한 영역내의 계층적 캐싱의 전체적인 구조를 나타내며 캐싱은 두 단계로 구성된다.

첫 번째 단계의 캐싱은 일반적인 프록시 캐싱으로 영역의 루트 라우터에 위치하며, 루트 라우터는 백본망과 영역내의 망을 연결하고 일반적인 프록시 캐싱을 담당한다. 이 프록시 캐싱은 연속 미디어 서버로부터의 네트워크 교통량을 감소시킴으로써 백본망의 전체 네트워크 교통량 줄일 수 있어 많은 사용자의 요구를 수용할 수 있도록 하며, 또한 영역 내의 사용자들의 미디어 서비스 요청 시 초기 지연 시간의 감소와 QoS의 향상에 밀접한 연관을 가진다.

두 번째 단계의 캐싱은 중간 캐싱으로써 영역 내의 중간 라우터들 중 하나인 중간 캐싱 라우터에 위치한다. 중간 캐싱 라우터는 이동 환경에서 이동 사용자가 이전에 위치한 베이스 스테이션과 현재 이동하게 된 베이스 스테이션, 그리고 영역내의 루트 라우터 사이를 연결해주는 라우터를 말하며, 그림 3은 중간 캐싱 라우터를 결정하는 방식을 나타낸다. 중간 캐싱은 좀더 사용자에게 가까운 위치에서, 연속 미디어 서비스를 요구하는 사용자에게 빠른 응답시간을 보장하며 베이스 스테이션간의 이동 시 빠른 핸드오프와 적은 패킷 손실을 보장하기 위한 방법이다. 중간 캐싱을 수행하는 중간 라우터는 자주 요구되는 연속 미디어에 대해서는 루트 라우터에게 캐싱을 요구하여, 인기 있는 연속 미디어를 상속받아 캐싱하도록 한다(일반적으로 VOD와 같은 연속 미디어 응용의 요구 분포는 Zipf 분포를 따른다). 그러면 이동하는 사용자들 중에 많은 사용자들이 인기 있는 연속 미디어를 서비스 받을 수 있을 것이다. 따라서 사용

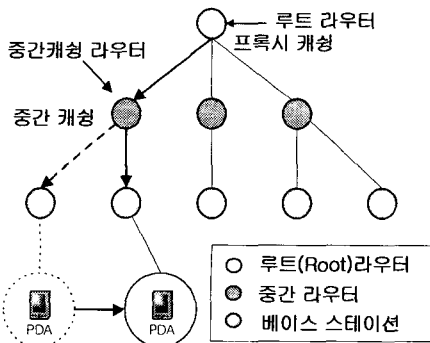


그림 2. 계층적 캐싱의 전체적인 구조

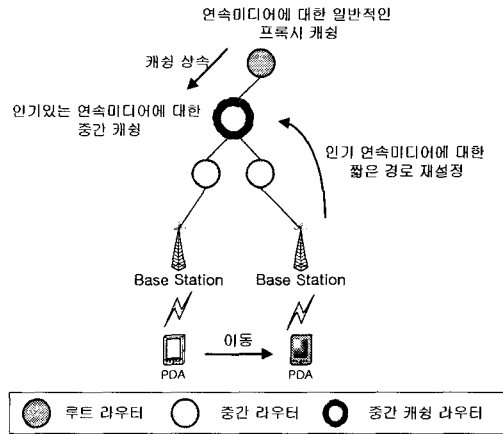


그림 3. 중간 캐싱

자와 좀더 가까운 위치에서 인기 있는 연속 미디어를 캐싱 함으로써 짧은 경로 재설정을 가능하게 하여, 많은 이동 사용자들에게 좀더 작은 지연 시간과 이동 시 적은 패킷 손실을 지원할 수 있게 된다.

### 3.2 이동 사용자와 네트워크 환경의 모델링

현재 이동 네트워크는 CDMA-2000과 IMT-2000과 같은 3GPP2의 표준화에 따른 서비스, 블루투스, 그리고 무선 랜과 같은 환경에서 제공되고 있다. 그러나 IP 기반의 네트워크와 연동되는 Mobile IP, All IP가 지원되는 네트워크 망의 부재와 여러 네트워크 구성 요소에 대한 설정의 어려움으로 인해 실제로 실험을 하기는 힘들다. 또한, 고정된 위치를 가지는 유선망과는 다르게 이동 환경에서의 사용자의 패턴에 대한 자료가 부족한 게 현실이다. 따라서 3.1절에서 제안된 구조가 이동환경에서 캐싱의 효율성을 가지는지 알아보기 위해서는 사용자들의 이동 패턴과 영역기반 계층적 네트워크 구조를 모델링 한다.

#### 3.2.1 사용자 모델링

사용자들이 이동환경에서 여러 셀 사이를 빠르게 혹은 느리게 이동하면서 연속미디어 서버에 대한 여러 요청들이 발생할 때, 사용자들의 이동 패턴에 대한 모델링을 하기 위해서 고려해야할 요인들을 전체적으로 반영하기란 현실적으로 매우 어려우므로 본 연구에서는 모델링 대상을 최대한 단순화한다. 그래서 이동환경, 네트워크 구조, 미디어 서버 개수, 이동 사용자들의 초기 위치, 단위 시간당 사용자들의 서비스 요구 수, 미디어들의 특성과 같은 관점에서 다음

과 같은 가정을 먼저 하도록 한다.

① 우선, 이 절에서 제시하는 사용자들의 이동 환경은 그림 4와 같이  $m \times m$  형태의 정방형 셀 구조에서 움직인다고 가정한다.

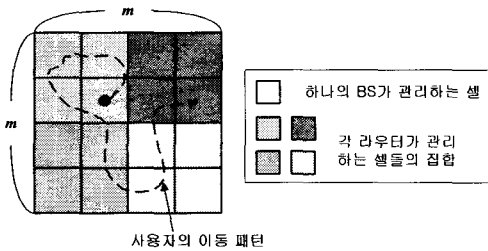


그림 4. 정방형의 셀들의 구조

② ①과 같은 셀 구조를 가지는 영역내의 네트워크 구조는 3.2.2절에서 제시 할 것이며, 본 연구는 영역 기반이기 때문에 영역의 크기가 어느 정도 한정되어 있어 그 크기를 고정시킨다.

③ 연속 미디어를 하나의 서버에서 서비스 받고, 각 이동 사용자들의 초기 위치는 임의로 설정된다고 가정한다. 그래서 일반적으로 연속 미디어 응용에서 단위 시간당 사용자들의 서비스 요구 수는 포아송 분포를 따르고, 서비스 요구 시간 간격은 포아송 과정은 따른다. 따라서 연속 미디어 서버에 대한 서비스 요구 시간 간격은 지수 분포를 사용하여 구할 수 있다. 그리고 일반적인 연속 미디어 응용에서 가정하듯이 연속 미디어들의 인기도에 따른 접근 확률은 Zipf 분포를 따르므로[21] 연속 미디어를 서비스 받고 있는 사용자가 각 셀에서 머무는 시간은 지수 분포를 따르게 되어 셀에서 머무는 시간(즉 상주시간)을 추출해 낼 수 있다.

④ 사용자가 각 셀에서 다음 이동할 셀의 선택은 그림 5와 같이 위치에 따른 확률<sup>1)</sup>을 고려하여 주위

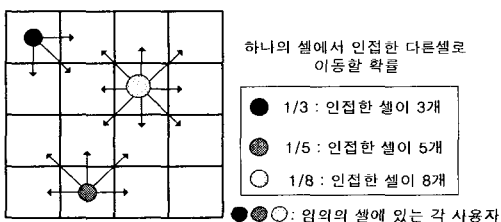


그림 5. 다음 이동할 셀의 선택 확률

1) 사용자가 있는 셀의 위치에 따라 이동할 확률은 1/3, 1/5, 1/8이 된다.

의 셀 중에 하나를 임의로 선택하여 이동하며, 이때 각 방향으로 이동할 확률은 동일하다고 가정한다.

⑤ 마지막으로 모델링의 단순화를 위하여 서비스를 요청한 사용자는 연속 미디어를 끝까지 서비스 받고, 모든 미디어의 길이는 동일하다고 가정한다.

이상과 같은 가정을 기반으로 하여 각 사용자의 이동 패턴과 전체 네트워크에서 사용자들의 패턴을 추출하여 이동 환경을 모델링 하도록 한다. 본 논문에서 사용한 모델링 과정은 다음과 같다.

① 각 사용자들의 연속 미디어 서비스 요구 시간을 추출한다. : 앞의 가정에서 단일 연속 미디어 서버에 대한 사용자들의 요구 도착 시간 간격은 지수 분포를 따른다. 따라서 첫 번째 사용자의 요구 도착 시간으로부터 누적 분포를 사용하면 각 사용자들의 서비스 요구 시간을 추출할 수 있다. 본 연구에서는 이를 위하여 지수 분포의 분포 함수를 사용하여 분포 발생기를 만들었다. 여기서 중요한 것은 지수 분포의 모수(지수분포에서는 평균의 역수)로서 시간 간격의 평균의 역수를 취하며 기호로는  $\lambda$ 를 사용한다. 수식 (1)과 (2)는 지수 분포의 분포함수와 그의 역함수를 나타낸다.

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x}, x > 0 \tag{1}$$

$$F^{-1}(U) = -\frac{1}{\lambda} \ln U \tag{2}$$

② 각 사용자가 선택한 연속 미디어의 인덱스를 추출한다. : 사용자가 선택한 미디어의 인덱스는 Zipf 분포에 따라 추출하도록 한다. 사용된 Zipf 분포의 분포함수는 수식 (3)과 같다. 여기서 일반적으로 VOD와 같은 연속 미디어의 경우 skew  $\theta$ 의 값은 0.271을 많이 사용한다.

$$F_i = \frac{1}{i^{1-\theta}} \quad (1 \leq i \leq n) \quad P_i = \frac{F_i}{\sum_j F_j} \tag{3}$$

③ 각 사용자가 초기에 위치할 셀의 선택한다. : 사용자가 연속 미디어 서비스를 요청할 때의 초기 셀을 선택한다. 이때 사용자의 이동 패턴에 대한 전체 패턴을 결정하여 이후에 사용할 평균 상주시간을 추출할 수 있다. 즉, 이동성이 많은(셀의 상주시간이 짧은) 사용자들과 이동성이 적은(셀의 상주시간이 긴) 사용자들 간의 비율을 조정하여, 각 사용자들의 평균 셀 상주시간을 추출할 수 있다. 이를 위해서 이동성이 많은 사용자들과 이동성이 적은 사용자들 간의 구분에 사용된 분기점(분기점 시간 값)이 필요하다.

즉, 주어진 분기 시간보다 적은 평균 상주시간을 가지면 이동성이 많은 사용자, 그렇지 않으면 이동성이 적은 사용자로 구분한다. 그림 6은 ③번까지의 과정으로 추출되는 결과를 예시한 것이다.

④ **사용자의 이동 패턴을 각 사용자별로 구성한다.** : 사용자의 이동 패턴을 다음의 두 단계를 거쳐 만든다. 첫 번째 단계는 사용자가 각 셀마다 상주한 시간을 구한다. 두 번째 단계는 사용자의 셀 상주시간이 각각 끝난 후에 이동할 다음 셀들을 첫 번째 단계의 결과와 연계해 결정한다.

| 서비스 요청 시간 | 선택 미디어 인덱스 | 초기 위치 셀 | 평균 셀 상주 시간 |
|-----------|------------|---------|------------|
| 91        | 42         | 4       | 3787       |
| 198       | 22         | 4       | 4333       |
| 287       | 30         | 1       | 4184       |
| 386       | 7          | 0       | 2563       |
| 399       | 92         | 3       | 292        |
| 503       | 38         | 5       | 6691       |

그림 6. 서비스 요청 패턴 추출 결과

⑤ **사용자의 셀 상주시간을 구한다.** : 한 사용자가 하나의 연속 미디어를 서비스 받는 동안 이동한

셀들의 히스토리를 작성하기 위해서는 우선 사용자가 각 셀마다 상주한 시간들을 구해야한다. 가정에서 셀에서의 상주시간은 지수분포를 따른다. 이때 지수 분포의 모수는 셀의 평균 상주시간의 역수를 사용한다. ①번의 과정과 마찬가지로 지수분포 발생기를 사용하여 사용자의 상주시간들을 추출해 낸다.

⑥ **사용자가 이동한 셀들의 위치를 추출한다.** : ⑤의 결과와 연계하여 각 사용자가 이동한 셀들을 추출해 낸다. 이때 결과는 ⑤번의 결과와 연계하여 추출해 낸다. 그림 7은 ③, ⑤, ⑥의 단계를 거쳐서 나온 각 사용자들의 이동 패턴을 나타낸다.

⑦ **두 가지 결과물을 사용하여 실험에 필요한 자료를 추출해 낸다.** : 그림 6과 그림 7 토대로 각 사용자의 전체 이동 과정을 추출할 수도 있고, 각 셀의 시간별 히스토리를 추출할 수도 있다. 그림 8은 4\*4 정방형 셀 구조에서 10번째 셀의 히스토리의 예로서 그중 일부를 보여주고 있다.

### 3.2.2 네트워크 구조 모델링

이동 환경에서 임의의 한 영역 내의 네트워크 구조는 각 레벨(Level)이  $m*m$ 인 정방형 셀 구조의 계층적 구조로 가정한다. 그리고 모델링의 단순화를 위하여 각 계층의 구조를 항상  $m*m$ 의 정방형으로 구

| 셀의 위치 | 셀에 들어온 시간 | 셀에서 나갈 시간  |
|-------|-----------|--|
| 4 0   | 5818      | 3 5818 7200  |
| 4 0   | 1273      | 3 1273 5511 7 5511 7200  |
| 1 0   | 2498      | 2 2498 7200  |
| 0 0   | 7200      |  |
| 2 0   | 3706      | 7 3706 4131 10 4131 6345 14 6345 7140 15 7140 7200                           |
| 12 0  | 2696      | 8 2696 2991 11 2991 3000 15 3000 3414 14 3414 6077 15 6077 7009 10 7009 7200 |

그림 7. 추출된 사용자들의 이동 패턴

| 선택한 비디오의 인덱스 | 셀에 들어왔을 때의 이미지 플레이 된 시간 | 셀에서 나갈 때 시간                       |
|--------------|-------------------------|-----------------------------------|
| video : 92   | video time : 1630       | start time : 2029 end time : 2142 |
| video : 85   | video time : 1270       | start time : 2114 end time : 2425 |
| video : 38   | video time : 1844       | start time : 2347 end time : 7703 |
| video : 8    | video time : 146        | start time : 2649 end time : 3902 |
| video : 7    | video time : 66         | start time : 2707 end time : 2877 |
| video : 92   | video time : 2354       | start time : 2753 end time : 2903 |
| video : 85   | video time : 1923       | start time : 2767 end time : 2895 |

그림 8. 4\*4 셀 구조에서 10번째 셀의 히스토리 예

성하도록  $m$ 의 값을  $2^x$  ( $x = 0, 1, 2, \dots$ 로 레벨을 의미)단 위로 설정하고 또한, 각 셀들은 항상 하위 셀에 4개씩 연결되는 구조를 사용하여 각 레벨의 셀의 개수를  $2^x * 2^x$ 개로 유지하도록 한다. 그래서 각 레벨간의 셀들의 개수는 4의 배수로 증가한다. 이와 같이하여 영역 내의 네트워크 구조를 모델링 한다. 그림 9는 4단계 계층으로 된 정방형 셀 구조의 계층적 네트워크 구조의 예를 보여준다. 각 레벨의 셀의 개수는 0레벨은 1개이고, 1레벨은  $2 * 2$ 개, 2레벨은  $2^2 * 2^2$ 개, 3레벨은  $2^3 * 2^3$ 개가 된다. 이때 0레벨의 셀은 루트 라우터가 되고, 3레벨의 셀들은 최하위 레벨인 베이스 스테이션들이 된다.

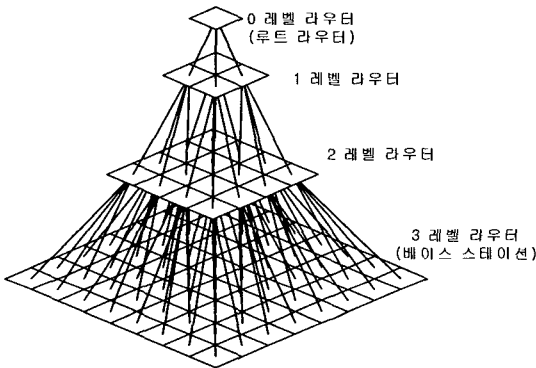


그림 9. 4 레벨 계층적 네트워크 구조

#### 4. 실험 및 분석

실험의 진행을 위하여 임의의 한 영역 내의 네트워크 구조는 3.2.2절에서 제안한 바와 같이 5단계 계층구조로 설정하여 최하위(베이스 스테이션) 레벨은  $16 * 16$ 개의 셀로 사용자들은 여기서 움직인다고 가정한다. 그러면, 이러한 환경을 토대로 필요한 사용자의 서비스 요구 시간 간격, 연속 미디어의 개수와 같은 환경 변수들을 설정한다. 그래서 두 가지 측면(캐싱의 위치와 사용자의 이동 패턴)에 따른 캐싱의 히트율과 재배치 횟수를 비교함으로써 서론에서 제시한 2가지 관점의 실험 연구를 진행하여 캐싱의 효율성에 대해 분석한다.

##### 4.1 모의실험 환경 및 성능지수

먼저 연속 미디어 서비스를 제공하는 서버는 200개의 연속 미디어 객체를 가지고 서비스를 하며, 연

속 미디어 객체의 길이는 1시간 분량으로 모두 동일하다고 본다. 또한 연속 미디어의 타입은 MPEG1이고 요구 비트율은 1.5 Mbps이다. 그리고 네트워크 대역폭의 제한은 크게 의미가 없기 때문에 요구한 대역폭은 모두 수용 가능하다고 가정한다. 영역 내의 사용자들이 서버에 서비스를 요청하는 시간 간격은 지수 분포를 따른다. 이때 시간당 평균 요구 도착율을 0.05에서 0.15까지 변화시킨다. 그리고 사용자의 이동성을 구분 해주는 분기점은 30분으로 설정하여 이동성이 많은 사용자들의 비율은 0%에서 100%까지 50% 단위로 나눈다. 그래서 구해진 평균 상주시간을 가지고 지수분포를 따르는 셀 상주시간을 추출해 낸다. 본 연구에서는 LFU를 캐싱 노드의 재배치 기법으로 사용하는데, 적응성 있는 캐싱의 적용을 위하여 LFU의 재배치 속도<sup>2)</sup>와 비용<sup>3)</sup>을 고려한 가중치(weight)값을 변화시키면서 실험한다. 표 1, 표 2, 그리고 표 3은 모의실험 환경, 캐싱 환경, 그리고 이동 환경에 대한 환경 변수들을 보여준다.

실험한 결과의 분석을 위해서는 캐싱 기법의 가장 일반적인 성능 지수인 캐시 히트율과 캐싱 노드의 일반적인 부하 측정 지수인 재배치 회수를 성능 평가 지수로 사용한다.

표 1. 모의실험 환경변수

| 환경 변수                      | 값의 범위                   | 고정 값        |
|----------------------------|-------------------------|-------------|
| 모의실험 시간                    | -                       | 48 시간       |
| 연속 미디어 개수                  | -                       | 200개        |
| 연속 미디어 길이                  | -                       | 1 시간 (60분)  |
| 미디어의 요구 비트율                | -                       | 1.5 Mbps    |
| 대역폭                        | -                       | 제한 없음       |
| 영역 내 셀의 개수                 | -                       | 256 (16*16) |
| 루트 라우터와 베이스 스테이션간의 홉(hop)수 | 5 단계 (레벨 0, 1, 2, 3, 4) |             |

- 2) 단위 시간(Time Window)에 도착한 사용자 요구 수. 예를 들면  $i$ 번째 객체  $O_i$ 의 재배치 측도를  $T(O_i)$ 라 표시한다.
- 3) 하나의 연속미디어에 대한 시간과 네트워크 대역폭 측면의 캐싱 비용. 재배치 알고리즘은 객체  $O_n$ 이 캐시에 존재하고, 객체  $O_m$ 을 캐싱할 것인가를 판단할 경우에  $T(O_m) > T(O_n) + \alpha$  ( $\alpha$ 는 가중치값) 이면 재배치를 수행한다.

표 2. 캐싱 기법 환경변수

| 환경 변수            | 값의 범위 | 고정 값  |
|------------------|-------|-------|
| 캐싱 기법            | -     | LFU   |
| 캐쉬 크기            | -     | 10 GB |
| Time Window Size | -     | 10분   |
| 가중치(weight)      | 0~5   |       |

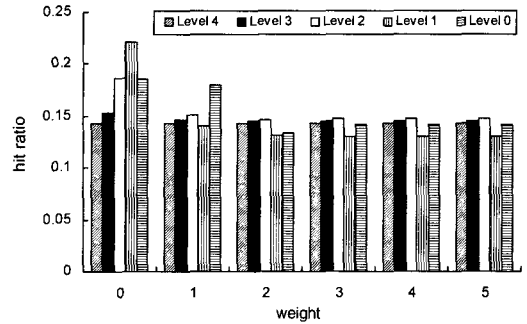
표 3. 이동 환경의 환경변수

| 환경 변수          | 값의 범위           | 고정 값       |
|----------------|-----------------|------------|
| 시간당 서비스 요구 도착률 | 0.05~0.15 (명/초) | 0.15 (명/초) |
| 이동성향의 구분점      | -               | 30분        |
| 이동성이 큰 사용자 비율  | 0~100 %         | 50%        |
| 셀 평균 상주시간      | -               | 30분        |
| 이동할 셀의 선택 확률   | 1/3, 1/5, 1/8   | -          |

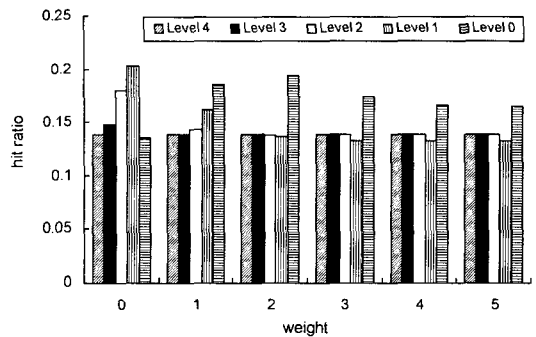
4.2 캐싱의 위치에 따른 캐싱의 효율성 분석

그림 10은 전체 사용자 중 이동 사용자의 비율을 50%로 고정했을 때 시간 당 사용자 요구 도착률에 따른 각 레벨의 노드들의 평균 캐쉬 히트율을 비교한 것이다. 각 레벨에서 노드의 번호는 계층적 구조상에서 루트 노드부터 최하위 노드로 증가한다. 따라서 '레벨 0'은 영역내의 최상위 노드 즉 루트 라우터 노드이고, '레벨 4'는 최하위 노드인 베이스 스테이션 노드이다. 그림 10에서 각 시간 당 요구 도착률에 대해 가중치가 0일 때 '레벨 1'에서의 캐싱이 가장 높은 히트율을 기록하였다. 이것은 일반적으로 유선상의 계층적 캐싱에서 일반적으로 최상위 노드의 캐쉬가 가장 좋은 성능을 나타내는 것과는 다른 결과를 보이고 있다.

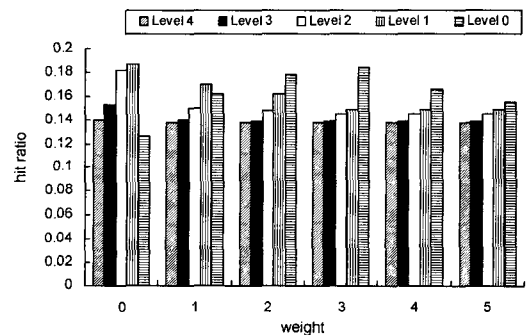
이동 환경에서 연속 미디어 서비스의 경우 각 '레벨'의 셀에 수신되는 요구들은 서비스 대상인 사용자들이 이동 중일 경우가 많으므로, 대부분 연속 미디어의 임의의 위치부터 서비스를 요구하는 임의 접근 요구이다. 따라서 객체 단위 캐싱의 경우 연속 미디어 전체를 캐싱해야만 캐쉬가 히트 되게 된다. 이로 인해 많은 사용자 요구들은 빈번한 재배포를 요구하게 된다. 연속 미디어 캐싱은 매우 높은 비용을 요구



(a) 시간당 요구 도착률 : 0.05



(b) 시간당 요구 도착률 : 0.1



(c) 시간당 요구 도착률 : 0.15

그림 10. 시간 당 사용자 요구 도착률에 따른 각 레벨의 캐쉬 히트율 비교 (이동 사용자 비율 : 50%)

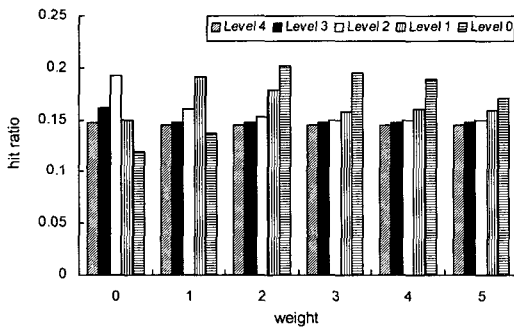
하므로 최상위 레벨에서의 캐싱이 반드시 좋은 히트율을 보이는 것은 아니다. 그러므로 적당한 사용자 요구가 모이는 하위 레벨에서의 캐싱이 보다 좋은 성능을 보일 수 있다. 반면, 단위 시간 당 사용자 요구의 수가 증가하면 가중치 값의 변화를 통하여 각 레벨에서의 캐싱의 성능 향상을 얻을 수 있다. 즉, 가중치 값이 0일 때는 시간당 요구 도착률에 관계없이 '레벨 1'에서 좋은 성능을 보이지만, 시간당 요구 도착률이 0.15이고 가중치 값이 3 일 때는 '레벨 0'에서,



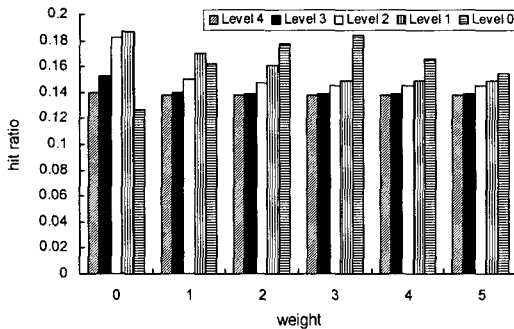
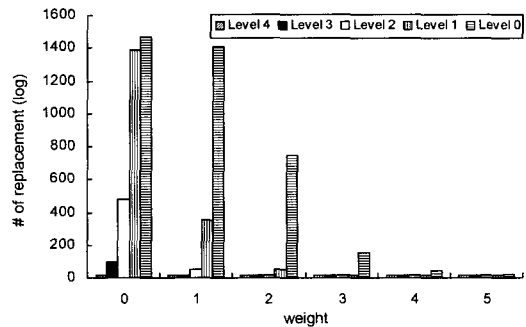
그리고 시간당 요구 도착율이 0.1이고 가중치 값이 2일 때 '레벨 0'에서의 캐싱이 좋은 성능을 보임을 볼 수 있다. 이상과 같은 결과에서, 가중치 값을 적용하지 않을 경우는 '레벨 1'에서 캐싱이 좋은 성능을 보이지만 가중치 값을 적용할 경우는 '레벨 0'에서 캐싱이 좋은 성능을 보인다. 따라서 캐싱 노드의 위치와 LFU의 가중치 값의 적응성 있는 적용이 이동 환경에서의 캐싱 구조의 설계에 고려해야 할 사항을 알 수 있다.

4.3 사용자의 이동 패턴에 따른 캐싱의 효율성 분석  
 사용자들의 이동 패턴에 따른 캐싱 성능의 차이를 실험하기 위해서 동일한 요구 도착율에서 이동 사용자의 비율을 변화시키면서 실험을 하였다. 이동 사용자의 비율은 전체 사용자들 중 이동성이 많은 사용자의 비율을 뜻하는 것으로 사무실 밀집 지역과 주거 지역 등과 같이 지역적 특색을 가지게 된다.

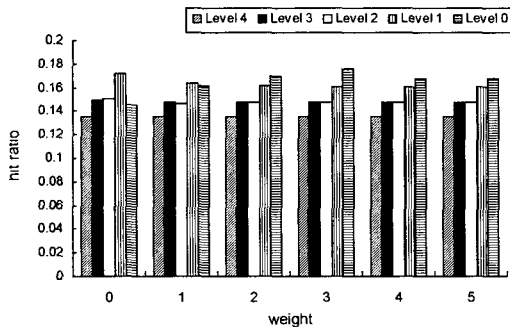
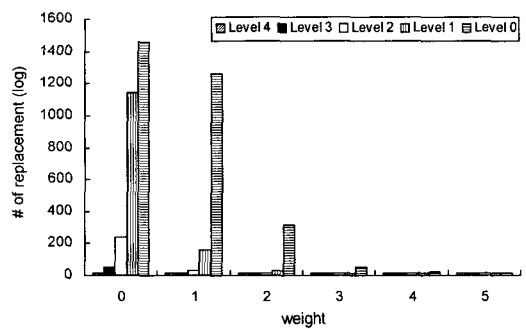
그림 11은 이동 사용자의 비율을 0%, 50%, 그리고 100%로 변화시키면서 실험한 결과를 보여주고 있



(a) 전체 사용자 중 이동 사용자의 비율 : 100%



(b) 전체 사용자 중 이동 사용자의 비율 : 50%



(c) 전체 사용자 중 이동 사용자의 비율 : 0%

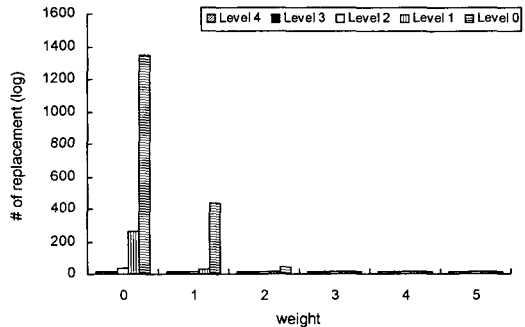


그림 11. 사용자들의 이동 성향에 따른 캐싱 히트율과 재배치 횟수 비교(시간당 사용자 요구 도착율 : 0.15)

다. 본 연구에서는 이 실험을 위하여 시간당 요구 도 착율을 0.15로 고정시키고 성능 평가 지수로 히트율 과 재배치 횟수를 사용하였다. 이동이 많은 사용자는 표 3에서 정의된 셀 평균 상주시간에 의해 각 베이스 스테이션에서 머무는 시간이 평균 30분 이하인 사용 자를 말한다. 따라서 100%의 이동 사용자 비율의 경 우 모든 사용자들의 평균 베이스 스테이션 상주시간 이 30분 이하임을 말한다. 먼저 이동 사용자의 비율 이 낮은 지역의 경우(그림 11의 (c)), LFU의 가중치 값이 커질수록 재배치 횟수는 급격히 줄어드는 반면 각 레벨에서 히트율의 변화 폭은 거의 없다. 반면, 이동 사용자의 비율이 높은 경우(그림 11의 (a)), 즉 100%의 경우, 재배치 횟수는 (c)나 (b) 경우보다는 완만하게 줄어든다. 그러나 히트율의 경우 가중치의 값이 2일 때 가장 좋은 히트율을 보인다. 따라서 이동 사용자들의 비율과 가중치 값에 따라 각 레벨에서 캐싱 노드의 히트율의 변화와 재배치 횟수도 달라짐 을 알 수 있다. 따라서 각 지역의 사용자들의 이동 성향에 따라서 캐싱 정책의 파라미터, 즉 LFU의 가 중치 값이 적응성 있게 적용되어야함을 알 수 있다.

4.4 프록시 캐쉬의 위치결정

백본망과 영역내의 망을 연결해 주는 영역 내의 루트 라우터가 프록시 캐싱을 담당하여 영역 내에서 는 좀더 많은 사용자들을 지원하면서 전체 네트워크 망의 교통량은 감소시키는 이점을 가지게 된다. 그리 고 임의의 한 영역 내에서 프록시 캐쉬의 가장 효율 적인 위치를 결정하기 위해서 4 레벨의 계층적인 구 조를 대상으로 하여 프록시 캐쉬의 위치를 어느 위치 에 두는 것이 좋은지를 알아보는 실험을 진행하였다. 실험환경은 각 단계별 캐싱 성능의 공정성<sup>4)</sup>을 위하 여 각 단계별 노드들의 캐쉬 크기만 변형시켜 '레벨 0'이 32GB, '레벨 1'이 8GB, 그리고 '레벨 2'가 2GB로 설정하여 실험하였다.

그림 12는 영역 내 계층적 네트워크 구조상에서 각 단계별 캐싱의 성능 비교를 보여준다. 실험 결과 에서 '레벨 4'인 베이스 스테이션과 그 상위 단계인

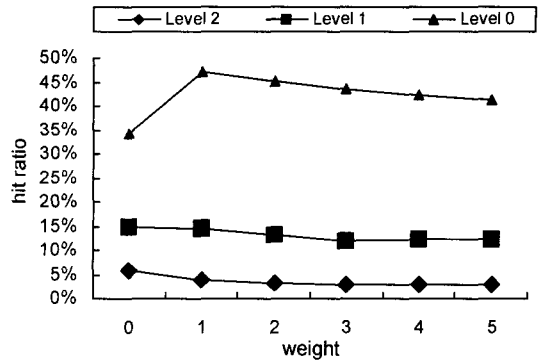


그림 12. 영역 내에서 각 단계별 캐싱의 효율성

'레벨 3'의 경우 캐싱의 효과가 거의 없기 때문에 실험 결과에는 포함시키지 않았다. 실험 결과에서 보여 주듯이 최상위의 '레벨 0'의 경우 다른 단계의 캐쉬에 비해 2~3배의 성능 향상이 있음을 보여준다. 따라서, 프록시 캐쉬의 위치는 영역내의 경계에 위치한 루트 노드에 두는 것이 가장 좋은 성능을 보인다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 이동 환경에 대한 구현 및 테스트를 위 한 실제 환경이 아직은 미비한 상태에서 이동 환경에 대한 네트워크 구조와 이동 사용자 환경을 가정하였 다. 이동환경에서도 연속 미디어 서비스를 위한 캐싱 정책이 효율성을 가지는지를 분석하기 위해서, 영역 기반의 트리 구조에서 이동 사용자에 대한 여러 파라 미터들을 변화시키면서 캐싱 노드의 위치와 지역적 이동 성향에 따른 캐싱의 성능 차이를 연구 분석하였 다. 이 결과에서 캐싱의 위치에 따라 연속 미디어 서 비스 요구의 히트율은 많은 차이를 보였다. 사용자들 의 이동 성향에 따른 실험 결과에서는 사용자의 이동 성향에 따라 히트율과 재배치 횟수의 변화가 크므로 캐싱 기법의 적응성 있는 적용이 필요함을 알 수 있 다. 따라서 본 실험에서는 사용자의 이동 성향에 따 라 적응성 있는 LFU의 가중치 값의 적용이 필요함을 알 수 있다. 그리고 프록시 캐쉬의 위치는 영역내의 경계에 위치한 루트 노드에 두는 것이 가장 좋은 성 능을 보임을 알 수 있다.

본 연구에서 성능 측정에 LFU만을 사용하였다. 따라서, 향후 연구에는 여러 캐싱 기법간의 비교로서 기법간의 적응성 있는 적용에 대한 연구도 진행해야

4) 네트워크 구조는 같이 각 레벨의 노드의 수가 4의 배수 로 증가하는 계층적 구조로 하였다. 그래서 각 노드의 캐쉬 크기도 공정성을 위해서 4의 배수에 의해 결정되 어야 한다.

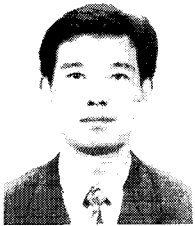
할 것이다. 또한, 이동 환경에서의 연속 미디어 서비스에 대한 요구는 임의 접근 요구들이 많으므로 이러한 임의 접근 요구에 적합한 캐싱 기법의 연구 또한 필요하다.

### 참 고 문 헌

- [ 1 ] M. Satyanarayanan, "Fundamental Challenges in Mobile Computing," 5th ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, pp. 1-7, May. 1996.
- [ 2 ] Jia. Wang, "A Survey of Web Caching Schemes for the Internet," ACM Computer Communication Review, 29(5), pp. 36-46, Oct. 1999.
- [ 3 ] A. Chankhunthod, P. B. Danzig, C. Neerdaels, M. F. Schwartz and K. J. Worrel, "A Hierarchical Internet Object Cache," Proc. of the 96' USENIX Technical Conference, San Diego, CA, pp. 153-164, Jan. 1996.
- [ 4 ] S. Michel, K. Nguyen, A. Rosenstein, L. Zhang, S. Floyd and V. Jacobson, "Adaptive Web Caching: Towards A New Caching Architecture," Computer Network and ISDN Systems, Vol. 30, No.22-23, November, 1998.
- [ 5 ] R. Tewari, M. Dahlin, H. M. Vin and S. Kay, "Beyond Hierarchies: Design Considerations for Distributed Caching on the Internet," Proc. of the 19th International Conference on Distributed Computing Systems, Austin, TX, pp. 273-284, June 1999.
- [ 6 ] 박성호, "프록시 캐쉬에서의 연속미디어 데이터 재배치 기법", 박사학위 논문, 부산대학교, 2002년 2월.
- [ 7 ] C. Perkins, "IP Mobility Support in IPv6," Internet draft.
- [ 8 ] C. Perkins, "IP Mobility Support Version2," Internet draft.
- [ 9 ] A. T. Campbell, Gomez, J., Kim, S., Turanyi, Z., Wan, C-Y. and A. Valko "Comparison of IP Micro-Mobility Protocols", IEEE Wireless Communications Magazine, Vol.9, No.1, pp. 72-82, February 2002.
- [10] B. Housel and D. Lindquist, "Webexpress: A System for Optimizing Web Browsing in A Wireless Environment," Proc. of the Second ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 108-116, 1996.
- [11] M, Liljeberg et al., "Enhanced Services for World Wide Web in Mobile WAN Environment," University of Helsinki CS Technical Report No. C-1996-28, April 1996.
- [12] E. Brewer et al., "A Network Architecture for Heterogeneous Mobile Computing," IEEE Personal Communications, Vol.5, No.5, 1998.
- [13] A. Fox, S. D. Gribble, E. A. Brewer, and E. Amir, "Adapting to Network and Client Variability via On-demand Dynamic Distillation," Operating Systems Review, Vol.30, No.5, Oct. 1996.
- [14] WAP Forum, <http://www.wapforum.org>.
- [15] A. Fox, I. Goldberg, S. D. Gribble, D. C. Lee, A. Polito and E. A. Brewer, "Experience With Top Gun Wingman: A Proxy-Based Graphical Web Browser for the USR PalmPilot," Proc. of IFIP International Conference on Distributed Systems Platforms and Open Distributed Processing(Middleware '98), Lake District, UK, Sept. 1998.
- [16] 이종국, 김명철, 이경희, "이동 컴퓨터를 위한 클래스 기반 프록시 서버," 한국 정보과학회 논문지 정보통신 제28권 제4호, pp. 463-476, Dec. 2001.
- [17] C. C. Aggarwal, J.L. Wolf, and P.S Yu, "Caching on the World Wide Web", IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 94-107, Jan-Feb. 1999.
- [18] G. Barish and K. Obraczka, "World Widw Web Caching: Trend and Techniques," IEEE Communications Magazine, pp. 178-185, May 2000.
- [19] Adam Wolisz, "Mobility in Multimedia Communication," <http://www.tkn.tu-berlin.de/~>

wolisz/wolisz.html.

- [20] J. Jing, A. Helal and A. Elmagarmid, "Client-Server Computing in Mobile Environments," ACM Computing Surveys Vol. 31, No. 2, pp. 117-157, June 1999.
- [21] C. Cunha, et al., "Characteristics of WWW Client-based Traces," Technical report BU-CS-95-010, Computer Science Dept., Boston University, July 1995.



**이 화 세**

1985년 부산대학교 계산통계학과 (학사)  
 1987년 부산대학교 대학원 계산통계학과(이학석사)  
 1995년 부산대학교 대학원 전자계산학과(박사과정수료)  
 1995년~1997년 밀양대학교 전자계산소 소장

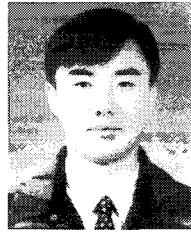
1991년~현재 밀양대학교 컴퓨터공학과 부교수  
 관심분야 : 멀티미디어, 멀티미디어 이동통신



**이 승 원**

1997년 부산대학교 전자계산학과 졸업(학사)  
 1999년 부산대학교 대학원 전자계산학과(이학석사)  
 1999년~현재 부산대학교 대학원 전자계산학과(박사과정)

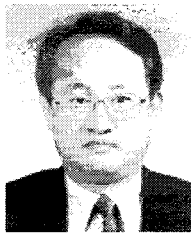
관심분야 : 멀티미디어, 이동통신, VOD



**박 성 호**

1996년 부산대학교 전자계산학과 졸업(학사)  
 1998년 부산대학교 대학원 전자계산학과 졸업(이학석사)  
 2002년 부산대학교 대학원 전자계산학과 졸업(이학박사)  
 2002년 9월~현재 부산대학교 정보전산원 조교수

관심분야 : VOD 시스템, 인터넷 캐싱, 멀티미디어 이동통신



**정 기 동**

1973년 서울대학교 졸업(학사)  
 1975년 서울대학교 대학원 졸업(석사)  
 1986년 서울대학교 대학원 계산통계학과 졸업(이학박사)  
 1990년~1991년 MIT, South Carolina 대학 교환 교수

1995년~1997년 부산대학교 전자계산소 소장  
 1978년~현재 부산대학교 전자계산학과 교수  
 관심분야 : 병렬처리, 멀티미디어