

무선 이동 통신망에서의 멀티미디어 서비스를 위한 자원 제어 시스템

이 원 열[†]

요 약

무선 이동 통신망을 통해 멀티미디어 서비스를 제공받기 위해 필요한 기술들 중에서 핸드오버 호에 대한 QoS 관리는 매우 중요한 기술이다. 본 논문에서는 2-레벨 핸드오버 제어 시스템을 제안한다. 2-레벨 핸드오버 제어 시스템은 자원 예약 기능과 호 수락 제어 기능을 구성된다. 자원 예약 기능은 Hard 자원 예약과 Soft 자원 예약 기능으로 구성된다. Hard 예약 자원은 핸드오버 호를 위해서만 사용되는 자원이며 Soft 예약 자원은 핸드오버 호와 신규 호를 위해 사용된다. 그리고 자원 예약 기능은 핸드오버 호를 발생하는 경로와 발생 빈도의 정도에 따라 Primary 핸드오버 호와 Secondary 핸드오버 호로 구분하여 처리한다. 호 수락 제어 기능에서는 구분된 두 가지 핸드오버 호에 대한 처리를 각각 다르게 수행한다. 제안한 시스템의 성능 분석을 위해 시스템을 M/M/c/c 큐잉 모델을 이용하여 분석하였다. 분석 결과 기존의 시스템에 비해 QoS는 떨어지지 않고 무선 자원을 더 효율적으로 활용하는 것을 볼 수 있었다.

Resource Management System for Multimedia Service in Wireless Mobile Networks

Won-Yeoul Lee[†]

ABSTRACT

One of the most challenging technical issues in mobile communication for multimedia is Quality of Service (QoS) management of handover calls. This paper proposes a 2-level handover control system to cope with this problem. A 2-level handover control system consists of resource reservation and call admission control modules. The resource reservation module divides the network resource into Hard and Soft reserved resource. The Hard reserved resource is only for the handover calls while the Soft reserved resource is for both the handovers and the new calls. And also, the resource reservation module classifies handovers into primary and secondary handovers based on how often they occur. The call admission control module deals with the primary and secondary handover calls in different ways. The new calls can use Soft reserved resource only if there is sufficient amount available in the Hard reserved resource. Proposed system is evaluated using an M/M/c/c queueing model. It is shown that proposed system allows more efficient utilization of network resource without degrading QoS comparing with the legacy handover control systems.

Key words: Multimedia Service(멀티미디어서비스), Resource Management System(자원제어시스템), Wireless Communication(무선통신)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 이원열, 주소 : 경상남도 양산시 웅상읍 주남리 산150(626-790), 전화 : 055) 380-9521, FAX : 055)380-9249, E-mail : lumpen@ysu.ac.kr

접수일 : 2007년 6월 20일, 완료일 : 2007년 8월 29일
[†] 정회원, 영산대학교 사이버경찰학과

1. 서론

휴대폰의 보급이 급속히 증가하면서 무선 이동 통신 서비스에 대한 사용자 요구 또한 급격히 증가하고 있다. 셀룰러 망을 통해 제공하던 무선 이동 통신 서비스는 회선 교환방식을 이용한 음성 위주의 서비스에서 패킷 교환 서비스를 이용한 데이터 전송 서비스를 제공하면서 이동 통신 서비스의 대표 주자의 입지를 굳히고 있으며, 유선망을 대체할 수 있는 대안으로 무선랜 기술이 제시되고 있다. 그리고 IEEE 802.16e WG(Working Group)에서는 이동성이 지원되지 않는 무선랜 기술에 이동성을 부여하여 더 넓은 사용자 층을 확보하고 있으며, 음성 통신 위주의 서비스에서 동영상과 오디오 등 멀티미디어 데이터를 서비스 할 수 있는 기술의 요구가 증대되고 있다.

무선 이동 통신망에서의 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해 현재 개발되었거나 연구 중에 있는 기술들은 IEEE 802.16e 기술로서 우리나라에서 기술 개발을 주도하여 현재 상용화에 성공한 WiBro 기술, 마찬가지로 상용화 서비스 중인 HSDPA 기술 등이 있다. 그리고 IEEE 802.16 WG에서는 ITU-R의 IMT-2000 Advanced System의 요구사항을 만족시

키는 IEEE 802.16m 표준 규격 개발을 추진 중에 있다.[1-3] Mobile WiMAX 기술인 WiBro와 WiMAX 기술은 IEEE 802.16 기술을 기반으로 개발되었기 때문에 자연스럽게 IMT-2000 Advanced System으로의 진화가 예상된다.

ITU-R에서 추진 중인 IMT-2000 Advanced System 특징은 기존의 IMT-2000의 기능과 성능을 제공하면서 더 높은 성능을 제공하는 목표를 가지고 있다. 고속 이동시 최대 100Mbps의 전송 속도를 제공하고 정지 시에는 최대 1Gbps까지 제공 가능하도록 할 계획이다. 무선 이동 통신 시스템의 성능은 사용자 각각의 서로 다른 환경적 요인으로 인해 많은 성능 차이를 보일 수 있다. 이를 위해 각 사용자 환경에 최적화된 무선 접속 시스템들이 개발되어야 한다. 즉, 이동성향에 따라 셀 크기, 대역폭 및 제어 기법이 달라진다. 특히 끊김 없는 전송을 위해서는 사용자 이동성을 고려하는 핸드오버 처리 기술 등이 필요하다. 이를 위해 그림 1에서와 같이 무선 접속 시스템들의 관계는 계층적 형태로 구성되어야 한다. 그림 1에 IMT-2000 Advanced System의 무선 접속 시스템의 계층적 구조를 나타내었다. 이동성을 예로 들면, 고속의 이동성향을 보이는 단말은 Distribution

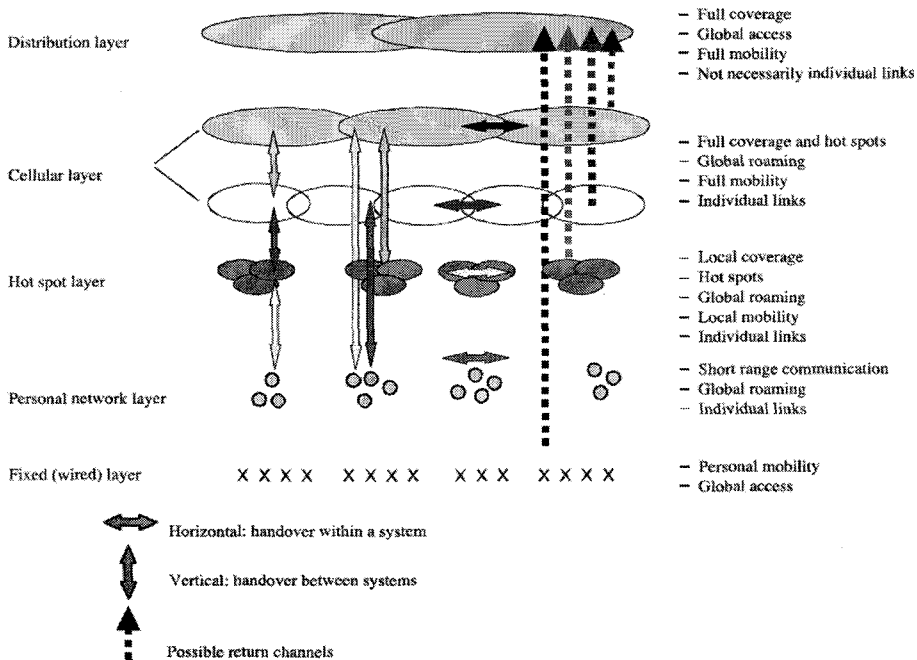


그림 1. 무선 접속 시스템의 계층적 구조(3)

Layer 혹은 Cellular Layer에 해당되고 고정 혹은 제한된 영역에서의 이동성향을 가진 단말은 Hot Spot Layer에 해당될 것이다.

핸드오버는 인접 셀로 이동단말이 진입하면서 발생하는 호 전환 과정을 의미하는데, 이 과정에서 발생하는 지연시간 및 패킷 손실 등으로 인해 사용자는 심각한 서비스 품질 저하를 체감할 수 있다. 최악의 경우 인접 셀로 진입한 후 사용 가능한 무선 자원이 없으면 진행 중인 호가 중도에 끊기는 경우도 발생할 수 있다. 무선 자원의 부족으로 호 서비스를 제공하지 못하는 경우가 크게 두 가지가 있을 수 있는데 첫 번째가 신규 호에 대한 실패이고 두 번째가 핸드오버 호에 대한 실패이다. 두 가지 경우 중에서 신규 호에 대한 실패에 비해 핸드오버 호에 대한 실패는 통화 중에 단절되는 경우이므로 사용자에게 더 큰 불편을 느끼게 한다. 이러한 서비스의 질 저하를 막기 위해 다양한 방식의 무선 자원 관리 기술들이 연구 개발 되어 왔다.

본 논문에서는 IMT-2000 Advanced System의 무선 접속 시스템에서 활용 가능한 새로운 무선 자원 관리 기술을 제안한다. 제안하는 기법은 단말의 이동성향을 파악하여 이를 무선 접속 시스템에서 활용하여 핸드오버 호에 대한 서비스의 질을 높여 줄 수 있도록 한다. 그리고 자원 예약에 필요한 성능 분석을 통해 자원 예약 기능이 서비스의 질에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 무선 이동 통신 기술 동향

2세대 이동 통신 기술인 GSM/TDMA 기술에서 3세대 이동 통신 기술로 진화하면서 WCDMA 기술이 전세계 시장 점유율 90% 이상을 차지할 것으로 예상된다. 국내 시장은 CDMA에서 CDMA2000, 그리고 CDMA2000 1x EV-DO, 그리고 CDMA2000 1x EV-DV로 발전하였다. 그러나 세계 이동 통신 시장의 대부분은 GSM 방식에서 진화한 GPRS 및 UMTS 시스템으로 발전하여 왔다. WCDMA는 GSM 기반 기술이 발전한 이동 통신 기술로서 멀티미디어 서비스 및 QoS를 보장해 줄 수 있는 기술로 주목 받고 있다. WCDMA 기술은 IMT-2000 Advanced 시스템의 전송 기술로 활용 될 것이며 현재 국내에서 그 영역을 확대해 나가고 있는 기술

이다.

WCDMA 기술은 기존의 CDMA 전송 기술에 비해 OFDM 기술을 사용하며 상대적으로 높은 주파수에서 CDMA 전송 기술과 성능에 큰 차이를 보인다. 그리고 반이중 방식의 전송을 하던 방식에서 MIMO를 채택하여 전송률을 획기적으로 개선하였으며 상하향 대역폭을 증가시켜 차세대 이동 통신 기술로 자리매김 하고 있다. 이러한 3세대 이후의 이동 통신 기술은 무선 및 이동성의 지원이 가장 중요한 기능이며 또한 실시간 멀티미디어 데이터를 전송할 수 있는 대역폭의 확보가 중요한 요인이다.

현재 주목받고 있는 무선 통신 기술로는 IEEE 802.15 Working Group의 TG1에서 제정 중인 Bluetooth 기술[4], TG3의 HR-WPAN(High Rate Wireless Personal Area Network) 기술, TG4의 LR-WPAN(Low Rate WPAN) 기술, 그리고 TG4a의 LR-UWB(Low Rate Ultra Wide Band) 기술 등은 USN(Ubiquitous Sensor Network)을 구현하기 위한 가장 중요한 기술들이다. 이러한 기술들은 사용자들에게 무선의 편리함과 이동의 자유를 줄 수 있는 부가가치가 매우 높은 기술들이다. 그러나 사용자들은 결국 이러한 편리함과 이동의 자유 외에 실시간 멀티미디어 데이터의 처리가 가능한 서비스를 원하게 될 것이다. 이를 위해 IEEE 802.11n 기술과 IEEE 802.16e 기술이 많은 주목을 받고 있으며 IEEE 802.16m에서는 IMT-2000 Advanced 시스템의 요구 사항을 충족할 수 있는 규격을 요구 받고 있다.[5] IEEE 802.16m 기술이 요구 받은 규격 이상으로 시스템이 완성이 되면 음성, 데이터, 동영상 서비스를 모두 지원할 수 있는 트리플 플레이 서비스(TPS) 제공이 가능할 것이다. 각 서비스별 요구 대역폭은 SDTV가 2~4Mbps의 대역폭을, HDTV가 15Mbps 대역폭을, MPEG-4가 384Kbps 정도의 대역폭을 요구한다.

살펴 본 대부분의 이동 통신 기술에서 서비스의 질을 높이기 위해 가능한 전송 대역폭을 증가하기 위해 다양한 시도를 하고 있다. 그러나 단말이 이동하면 핸드오버가 발생하게 되고 이 때 끊김 없는 서비스를 제공하지 못하면 서비스의 질은 떨어질 수밖에 없다. 결국 대부분의 이동 통신 기술이 지니고 있는 공통된 문제가 핸드오버의 효율적인 처리가 가능한 시스템의 개발이다.

핸드오버란 무선 자원을 관리하는 특정 단위 영역(안테나의 섹터, BS의 영역, RNC의 영역, 망의 영역 등) 사이를 단말이 호 연결을 유지하며 이동하는 동작을 의미한다. 핸드오버는 단말의 이동성을 지원하기 위해 필요한 중요한 기술임과 동시에 통신망에 많은 부담을 주는 요소이기도 하다[6,7]. 핸드오버 시 발생하는 문제점을 분석하기 위해 WCDMA에서의 이동성 제어 기술에 대해 살펴본다.

WCDMA에서의 셀의 개념은 2세대 이동 통신망의 셀과 조금 차이가 있다. 2세대 이동 통신망에서는 섹터가 달라도 같은 셀이면 동일 셀로 간주하였으나 WCDMA에서는 FA 혹은 섹터가 다르면 다른 셀로 인식하도록 하였다. 따라서 동일 셀 내의 핸드오버는 이동 없이 발생하는 FA 변경에 의한 핸드오버와 다른 섹터로 이동하는 핸드오버가 있을 수 있다. 이 때 다른 FA로 변경되는 핸드오버는 Hard 핸드오버로 수행되고 섹터 간 이동하는 핸드오버는 Soft 핸드오버로 처리된다.

동일 RNC(Radio Network Controller)가 관리하는 기지국 사이를 이동하는 핸드오버의 경우 Soft 핸드오버가 기본적으로 이루어지지만 진입 기지국에 동일 FA가 지원되지 않을 경우 FA 변경이 이루어지면서 Hard 핸드오버로 처리된다. 즉 동일 FA로 핸드오버 할 수 없는 경우에는 Hard 핸드오버로 처리되는데 Soft 핸드오버에 비해 Hard 핸드오버가 끊김 현상이 더 많이 발생할 수 있다는 단점이 있다. 이러한 Hard 핸드오버의 단점 개선을 위해 Compress mode를 지원한다. Compress mode는 호 연결 중인 단말이 현재 연결 중인 FA와 다른 FA를 동시에 검색하는 WCDMA의 기술이다. 이를 이용하면 진입 셀의 FA를 미리 검사하여 자원할당 등의 동작을 미리 수행할 수 있는 여지가 있게 된다.

3. 멀티미디어 데이터 처리를 위한 무선 자원 관리 기술

2007년 6월 만들어진 IEEE 802.16m 요구 사항[5]에 핸드오버 지연시간에 관한 요구 규격은 Intra-frequency 핸드오버일 경우 50ms, Inter-frequency 핸드오버일 경우 150ms로 되어있다. 그리고 IEEE 802.16e의 핸드오버 기능을 모두 수용하는 것이 요구 사항으로 정해져 있으며 이동단말은 다중 모드 접속

모듈이 없어도 서로 다른 RAT(Radio Access Technology)에 대해 핸드오버를 수행할 수 있어야 한다. 핸드오버 관련 요구 사항 외에 전이중 전송 방식의 지원, MIMO 안테나 사용, 데이터 지연 시간의 한계를 상-하향링크 모두 10ms 이하로 되어야 하며 Idle 상태에서 Active 상태로의 변이 지연 시간을 100ms 이하로 지원할 수 있도록 하였다.

본 논문에서는 핸드오버 시 발생하는 패킷 손실을 줄이고 자원 부족으로 인한 핸드오버 호의 끊김을 줄이기 위한 자원 관리 시스템을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 자원 관리 시스템은 이동단말의 이동 성향을 파악하기 위해 먼저 각 단말의 이동 경로를 저장하는 방식을 채택하였다. 이동단말의 이동 경로는 대부분의 경우 도로 형태 등의 지리적인 환경에 의해 거의 일정한 패턴을 가지게 된다. 각 셀마다 이러한 이동단말의 이동 경로를 파악하면 이동 패턴을 만들어 낼 수 있다. 이 패턴을 이용하여 인접 셀에 핸드오버 호를 위한 예비 자원을 미리 할당함으로써 핸드오버 동작 시간의 단축과 패킷 손실을 줄이고 호의 단절 확률을 낮출 수 있다.

멀티미디어 데이터는 대부분 대용량의 데이터일 경우가 많다. 즉 많은 무선 자원을 사용해야 전송이 가능한 트래픽 특성을 가지고 있다. WCDMA의 경우 인접 섹터로 핸드오버 할 경우 인접 섹터의 자원을 검색하고, 현재 서비스 중인 트래픽을 수용할 수 있는 무선 자원이 있으면 핸드오버를 수행하고 그렇지 않으면 수준 낮은 서비스로 교체하던지 호를 단절시키는 동작을 수행한다. 이러한 특성을 가진 멀티미디어 데이터에 대한 서비스는 무선 자원의 관리 기법에 따라 매우 큰 서비스 질의 차이를 보인다.

효율적인 무선 자원 관리를 위해 이동단말의 이동 패턴을 알 수 있으면 매우 도움이 될 것이다.[8] 이를 위해 핸드오버 혹은 로밍 시 이용되는 정보를 이용하여 단말의 이동 패턴을 만든다. 이 이동 패턴은 인접 셀로 보내어져 무선 자원에 대한 정책 결정 시 활용되게 한다.

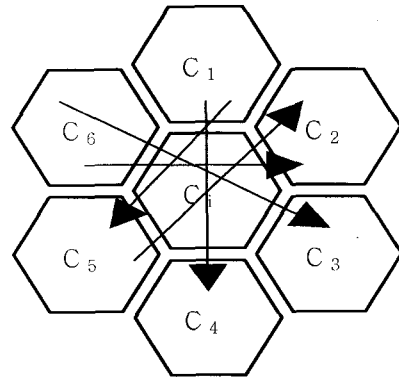
만일 1번 셀에서 2번 셀로의 핸드오버 확률이 10%이고, 1번 셀에서 3번 셀로의 핸드오버 확률이 2%일 경우, 1번 셀에서 현재 호를 개시 한 단말이 100개가 있다고 가정하면 10개의 단말은 2번 셀로, 2개의 단말은 3번 셀로 핸드오버 할 가능성이 높다는 것이다. 이러한 정보는 2번 셀 혹은 3번 셀로 보내어져

핸드오버를 위한 여유 무선 자원을 예약함으로써 핸드오버 호의 단절을 줄이고 핸드오버 처리 시간도 단축할 수 있도록 한다.

이 방식의 문제는 핸드오버를 위해 무선 자원을 예약하면 해당 셀의 신규 호는 예약 자원을 사용할 수 없다는 것이다. 핸드오버 확률은 단지 확률일 뿐으로 이미 발생한 신규 호의 서비스를 지원하지 않는 것은 그다지 효율적인 방법은 아닐 것이다. 따라서 본 논문에서는 일정 확률 이상의 핸드오버가 발생하는 경로의 인접 셀에는 자원을 예약 하도록 하며 그 이하의 이동 확률을 보이는 경로의 인접 셀에는 좀 더 유연한 자원 예약을 수행한다. 인접 셀로의 핸드오버 확률이 일정 값 이상일 경우와 그 이하일 경우를 나누어 관리하는데 그 기준 값을 α 로 한다. 측정된 핸드오버 확률이 α 이상이면 Hard 자원 예약을 수행하고 α 이하이면 Soft 자원 예약을 수행한다.

그림 2의 경우 셀 i 의 이동 경력 데이터베이스를 나타내었는데 previous cell 필드는 i 셀에 진입하기 전의 셀이고 next cell 필드는 셀 i 에서 이동되어 나간 새로운 진입 셀을 의미한다. Pm 필드는 이동된 단말들 중에서 해당 경로로 이동한 확률을 나타내며 tag 필드는 자원 예약의 방식을 나타낸다. 만일 셀 i 의 이동 경력 데이터베이스 엔트리가 (Cj-Ck-Pm-Hard)로 이루어져 있다면, 셀 i 를 거쳐 간 단말들 중에서 셀 j 로부터 셀 i 로 들어와 셀 k 로 나간 단말들의 이동 확률이 Pm이고 셀 i 는 셀 k 에게 Hard 자원 예약을 요구하게 된다.

Hard 자원 예약은 핸드오버 호만이 사용할 수 있는 자원을 예약하는 것이고 Soft 자원 예약은 핸드오버 호와 신규 호 모두 사용할 수 있는 자원 예약을 의미한다. 그림 2의 경우 α 값이 0.025인 경우의 예를 보이고 있다. 자원 예약이 수행되고 난 후에 무선 자원은 Hard 자원 예약 된 부분, Soft 자원 예약 된 부분 그리고 예약되지 않은 부분으로 구성된다. 이러한 예약 자원 활용을 위해 핸드오버 되어 진입하는 호의 이전 셀에 따라 무선 자원의 어느 부분의 자원을 할당할지를 결정한다. Hard 예약 자원을 할당하는 핸드오버 호를 Primary 호라하고 Soft 예약 자원을 사용할 핸드오버 호를 Secondary 핸드오버 호라 한다. 그림 3에 호 수락 제어 시스템의 동작 알고리즘을 의사 코드로 나타내었다. 그림 3에서 $BWR_{n,avail}$ 은 예약되지 않은 자원을 의미하고, $BWR_{ph,avail}$ 은 Hard 예



previous Cell	next Cell	pm	tag
C ₁	C ₄	3%	Hard
	C ₃	2.5%	Hard
	C ₅	1.5%	Soft
	C ₂	1%	Soft
C ₂	C ₅	3.5%	Hard
	C ₄	3%	Hard
	C ₆	1.5%	Soft
	C ₁	2.1%	Soft
C ₃	C ₆	4%	Hard
:	:	:	:

그림 2. 셀 i 를 경유하는 이동 경력 데이터베이스

```

function call_admission_control(call)
{
switch(call) {
case new_call :
{if (BWRn,avail > 0) call accept by using BWRn,avail ;
else if (BWRsh,avail > 0 && BWRph,avail > BWRthr)
call accept by using BWRsh,avail ;
else call reject ; }
case primary_handoff_call :
{if (BWRph,avail > 0) call accept by using BWRph,avail ;
else if (BWRsh,avail > 0) call accept by using BWRsh,avail ;
else if (BWRn,avail > 0) call accept by using BWRn,avail ;
else call reject ; }
case secondary_handoff_call :
{if (BWRsh,avail > 0) call accept by using BWRsh,avail ;
else if (BWRph,avail > BWRthr) call accept by using BWRph,avail ;
else if (BWRn,avail > 0) call accept by using BWRn,avail ;
else if (BWRph,avail > 0) call accept by using BWRph,avail ;
else call reject ; }
}
}
    
```

그림 3. 호 수락 제어 시스템 알고리즘

약 자원을 의미하며 BWR_{sh_avail} 은 Soft 예약 자원을 의미한다. BWR_{thr} 는 임계값을 의미한다. 임계값은 신규 호 실패율을 줄이기 위한 도구이다. 만일 비예약 자원이 없는 경우 신규 호 개설 요청이 발생하면 Hard 예약자원의 유휴 자원이 임계값 이상 남아 있고, 사용 가능한 Soft 예약 자원이 있으면 Soft 예약 자원을 할당하여 신규 호를 개설하여 준다.

4. 자원 관리 시스템 성능 분석

본 논문에서 제안한 자원 관리 시스템의 성능 평가를 위해 핸드오버 제어 시스템의 동작을 모델링하고 수학적으로 분석하여 성능을 평가한다. 성능 분석은 신규 호 실패율과 핸드오버 호 실패율을 대상으로 수행한다. 수학적 분석 대상 핸드오버 제어 방식은 가장 기본적인 방식인 no-priority 시스템과 기존의 핸드오버 제어 시스템, 그리고 본 논문에서 제안하는 핸드오버 제어 시스템을 비교 분석한다. 타 기법과의 차별을 위해 본 논문에서 제안하는 핸드오버 제어 시스템을 2-레벨 핸드오버 제어 시스템이라 한다.

첫 번째 분석 대상인 no-priority 핸드오버 제어 방식은 무선 자원을 신규 호와 핸드오버 호의 구분 없이 발생 순서에 따라 순차적으로 할당하는 방식을 의미한다. 신규 호에 비해 핸드오버 호에 대해 우선적인 서비스를 제공하지 않음으로 신규 호 실패율과 핸드오버 호 실패율은 같은 수준을 유지한다. 두 번째 분석 대상은 핸드오버 호에 대해 우선적인 서비스를 제공하여 원하는 핸드오버 실패율을 유지시키는 기존의 핸드오버 제어 방식이다. 기존의 핸드오버 제어 방식에서는 예약 자원의 크기에 따라 핸드오버 실패율과 신규 호 실패율이 변화하는데 사용자가 요구하는 핸드오버 실패율을 유지할 수 있는 수준의 자원 예약을 수행한다. 마지막으로 본 논문에서 제안하는 2-레벨 핸드오버 제어 방식을 분석한다.

본 논문에서는 성능 분석을 위해 큐잉 모델을 이용하였다. 큐잉 모델에서 하나의 서버를 하나의 호를

유지시킬 수 있는 자원으로 간주하고 서비스 시간을 호 유지 시간으로 대치시켜 분석할 수 있다. 핸드오버 제어 방식의 분석을 위해 필요한 큐잉 모델에서는 호 요구가 대기하였다가 서비스 받는 동작은 없고 가용 자원 즉 유휴 서버가 없을 경우에 호 요구가 발생하면 즉시 거부되므로 대기를 위한 큐 공간은 필요 없다. 본 논문에서는 성능 분석을 위해 이러한 조건을 가지고 있는 M/M/c/c 큐잉 모델을 이용한다. M/M/c/c 큐잉 모델은 c 개의 서버가 있고 대기 버퍼가 없는 시스템 구조에서 호 도착율이 포아송 분포를 따르고 평균 호 지속 시간이 지수 분포를 따를 때 사용하는 모델이다. 우선 호 도착율과 평균 호 지속 시간이 포아송 분포와 지수 분포인 것은 이미 많은 논문 및 분야에서 증명이 된 사항이다. 그리고 서비스 방식에서 연결을 요구하는 호가 있을 때 즉시 서비스할 수 있는 유휴 서버가 없으면 호 연결은 거부되므로 대기하는 큐가 없는 M/M/c/c 큐잉 모델이 적합한 모델이라 할 수 있다.

각각의 핸드오버 제어 동작을 큐잉 모델에 적용하고 시스템의 상태 확률을 구하여 성능 분석에 필요한 결과를 계산한다. 신규 호 및 핸드오버 호 실패율을 구하여 각각의 핸드오버 시스템의 성능을 분석하는데 신규 호 및 핸드오버 호 실패율은 모든 서버가 사용 중일 확률을 구하면 얻을 수 있다. 이를 위해 각각의 핸드오버 제어 방식에서의 큐잉 시스템의 상태 천이를 도출하고 각각의 상태 확률을 구한다. 시스템의 상태는 서비스 중인 호의 개수를 이용하여 Markov chain으로 표현할 수 있다. 그림 4에 본 논문에서 이용하는 M/M/c/c 큐잉 시스템의 상태 천이를 Markov chain으로 나타내었다. 그림 4에서 S_0, S_1, S_2, S_c 는 시스템의 상태를 나타내며 각 상태는 서비스 중인 호의 개수가 0, 1, 2 혹은 c 개인 경우를 의미한다. 그리고 λ 는 도착율을 나타내며 μ 는 종료율을 나타낸다.

핸드오버 제어 시스템의 큐잉 시스템 상태 천이도가 도출되면 각 큐의 모든 서버가 사용 중일 확률을

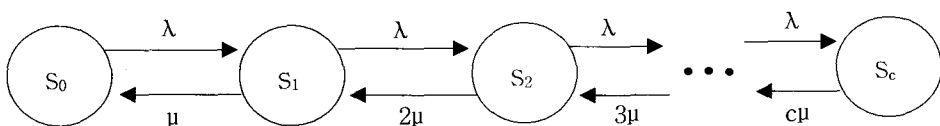


그림 4. M/M/c/c 큐잉 시스템 상태 천이도

구하여 원하는 호 실패율을 구할 수 있다. 이를 위해 본 논문에서는 Erlang B formula를 이용하여 모든 서버가 사용 중일 확률을 구한다. 표 1에 성능 분석에 사용되는 파라미터들의 정의를 나타내었다.

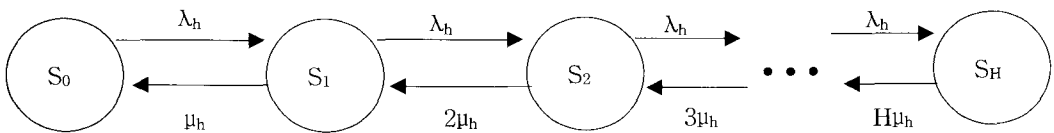
4.1 no-priority 핸드오버 시스템 성능 분석

성능 분석을 위해 가장 간단한 핸드오버 제어 방식인 no-priority 방식에 대한 성능을 분석한다. no-priority 핸드오버 제어 방식은 핸드오버 호에 대해 아무런 우선권을 부여하지 않는 방식을 의미한다. 즉 신규 호와 동일하게 취급하는 핸드오버 제어 방식으로 핸드오버 호를 위한 예약 자원이 없는 방식이다. 이 방식에서 신규 호 및 핸드오버 호는 사용 가능한 자원이 있을 때만 호 연결에 필요한 자원을 할당 받을 수 있고 모든 자원이 사용 중일 경우에 호가 발생하면 그 호는 거절당하게 되는 방식이다. 이 방식에서 핸드오버 호 실패율은 신규 호의 실패율과 동일하게 나타난다. no-priority 방식의 상태 천이도는 그림 5와 동일한 구조를 나타낸다.

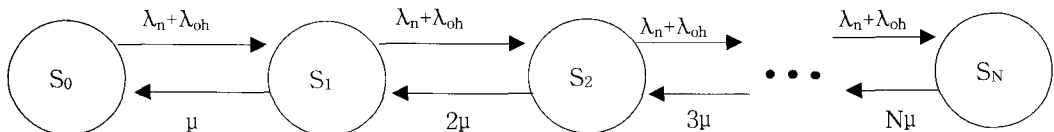
no-priority 방식의 성능 분석을 위해 우선 호가 하나도 없을 확률 P_0 와 호가 j 개 있을 확률 P_j 를 구한다. 다음 Erlang B formula를 이용하여 신규 호 및 핸드오버 호 실패율을 구한다. 식 1, 2는 P_0, P_j 를 나타내고 식 3은 신규 호 및 핸드오버 호 실패 확률을 나타낸다. 식에서 λ 는 신규 호와 핸드오버 호의 평균 도착율을 나타내며 P_h 는 핸드오버 실패율, P_b 는 신규 호 실패율을 각각 의미한다.

표 1. 성능 분석에 사용되는 파라미터

파라미터	의미
λ_n	신규호 발생률
λ_h	핸드오버호 발생률
λ_{ph}	Primary 핸드오버호 발생률
λ_{sh}	Secondary 핸드오버호 발생률
λ_{oh}	비예약자원 요구 핸드오버호 발생률
$\lambda_{oph,s}$	Soft 예약자원요구 Primary 핸드오버호 발생률
$\lambda_{osh,p}$	Hard 예약자원요구 Secondary 핸드오버호 발생률
$\lambda_{osh,n,p}$	Hard 예약자원 요구 Secondary 핸드오버호 발생률
$\lambda_{osh,n,thr}$	비예약자원 요구 Secondary 핸드오버 호 발생률
$\lambda_{on,s}$	Soft 예약자원 요구 신규 호 발생률
$\lambda_{osh,n}$	비예약자원 요구 Secondary 핸드오버 호 발생률
$\lambda_{oph,n}$	비예약자원 요구 Primary 핸드오버 호 발생률
$1/\mu$	평균 호 지속 시간
$1/\mu_h$	평균 핸드오버 호 지속 시간
C	총 자원의 크기 (총 서버의 개수)
H	예약 자원 크기
N	비예약 자원 크기 ($C-H$)
H_p	Hard 예약 자원 크기
H_s	Soft 예약 자원 크기
Thr	임계치



(a) 예약 자원 상태 천이도



(b) 비예약 자원 상태 천이도

그림 5. 기존의 핸드오버 제어 방식의 자원별 상태천이도

$$P_0 = \left[\sum_{j=0}^c \frac{\lambda^j}{j! \mu^j} \right]^{-1} \quad (1)$$

$$P_j = \frac{\lambda^j}{j! \mu^j} P_0 \quad (j=1,2,\dots,C) \quad (2)$$

$$P_d = P_b = \frac{\lambda^c}{C! \mu^c} \frac{C! \mu^c}{\sum_{j=0}^c \frac{\lambda^j}{j! \mu^j}} \quad (3)$$

no-priority 시스템은 가장 간단한 방식의 핸드오버 제어 방식이므로 성능 분석 결과도 간단하다. 식 3은 식 4의 Erlang B formula를 이용하여 도출하였다. Erlang B formula는 M/M/c/c 큐잉 모델에서 대기 큐의 크기가 0 일 때 모든 서버가 사용 중일 확률을 의미한다. 이 식의 결과는 본 논문에서 모든 서버가 사용 중인 상태 즉, 시스템의 상태가 S_c 일 확률을 의미하며 사용 중인 서버의 개수가 c 일 확률 P[N = c]로 나타낼 수 있다.

$$B(c, a) = P[N = c] = P_c = \frac{a^c / c!}{1 + a + \frac{a^2}{2!} + \dots + \frac{a^c}{c!}} \quad (4)$$

4.2 기존 핸드오버 제어 시스템 성능 분석

기존의 핸드오버 제어 시스템에서 핸드오버 호를 위한 자원은 지금까지 발생한 단말의 이동 상황, 지역별 차이에 따른 이동 성향의 차이 등의 요인들을 이용하여 가장 적절한 크기의 자원을 핸드오버 호를 위해 미리 예약하는 방식이다. 예약 자원과 비예약 자원을 할당하는 방법은 두 가지가 있다. 첫 번째 방법은 일정한 자원을 소모할 때까지 신규 호와 핸드오버 호를 동일하게 취급하다가 정해진 만큼의 자원이 남을 경우에 핸드오버 호에게만 자원을 할당하는 방식이다. 두 번째 방법은 예약 자원과 비예약 자원을 분리시켜 관리하는 방법으로 핸드오버 호는 예약 자원을 우선적으로 할당하고 신규 호에게는 비예약 자원만을 할당하는 방법이다. 본 논문에서 가정하고 있는 방법은 두 번째 방법을 이용하고 있다. 따라서 성능 분석을 할 때 예약 자원과 비예약 자원에 대한 성능 분석이 별도로 이루어져야 하며 두 개의 자원은 서로 연관성을 가지고 동작하게 된다. 그림 5에 기존의 핸드오버 제어 방식의 예약 자원 및 비예약 자원의 상태 천이도를 나타내었다.

사용 가능한 예약 자원이 없을 때 핸드오버 호가 발생하면 사용 가능한 비예약 자원을 할당하는데 그림 5 (b)[부록참조]에서 λ_{oh}는 사용 가능한 예약 자원이 없을 때 즉, 모든 서버가 서비스 중일 때의 핸드오버 호 도착율을 의미한다. λ_{oh}는 식 5와 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda_{oh} = P[N_h = H] \cdot \lambda_h \quad (5)$$

우선 그림 5 (a)에 나타난 것과 같이 예약 자원에 대한 성능 분석을 위해 각 상태에 있을 확률을 구하고 모든 서버가 서비스 할 확률을 구한다.

$$P_0 = \left[\sum_{j=0}^H \frac{\lambda_h^j}{j! \mu_h^j} \right]^{-1} \quad (6)$$

$$P_j = \frac{\lambda_h^j}{j! \mu_h^j} P_0 \quad (j=1,2,\dots,H) \quad (7)$$

식 6과 7을 이용하여 모든 서버가 사용 중일 확률을 Erlang B formula를 이용하여 식 8과 같이 구할 수 있다. 사용 가능한 예약 자원이 없을 확률은 비예약 자원 성능 분석을 통해 핸드오버 호 실패율 분석에 사용된다.

$$P[N_h = H] = \frac{\lambda_h^H}{H! \mu_h^H} \frac{H! \mu_h^H}{\sum_{j=0}^H \frac{\lambda_h^j}{j! \mu_h^j}} \quad (8)$$

그림 5 (b)는 비예약 자원의 상태 천이도를 나타내고 있다. 비예약 자원은 신규 호와 핸드오버 호 모두 사용할 수 있으며 핸드오버 호 도착율은 식 5에 나타나있다. 비예약 자원의 상태 확률은 식 9와 10과 같다.

$$P_0 = \left[\sum_{j=0}^N \frac{(\lambda_n + \lambda_{oh})^j}{j! \mu^j} \right]^{-1} \quad (9)$$

$$P_j = \frac{(\lambda_n + \lambda_{oh})^j}{j! \mu^j} P_0 \quad (j=1,2,\dots,N) \quad (10)$$

사용 가능한 비예약 자원이 없을 확률은 식 11로 나타낼 수 있다. 사용 가능 비예약 자원이 없으면 그때부터 발생하는 신규 호는 거부된다. 그리고 만일

사용 가능한 예약 자원이 없고 사용 가능한 비예약 자원이 없을 경우에 핸드오버 호가 발생하면 그 핸드오버 호 또한 거부될 것이다. 식 11을 이용하여 핸드오버 호 실패율(P_d)과 신규 호 실패율(P_b)을 식 12와 13과 같이 구할 수 있다.

$$P[N_n = N] = \frac{(\lambda_n + \lambda_{oh})^N}{N! \mu^N} \cdot \sum_{j=0}^N \frac{(\lambda_n + \lambda_{oh})^j}{j! \mu^j} \quad (11)$$

$$P_d = P[N_h = H] \cdot P[N_n = N] \quad (12)$$

$$P_b = P[N_n = N] \quad (13)$$

4.3 2-레벨 핸드오버 제어 시스템 성능 분석

본 논문에서 제안하는 핸드오버 제어 시스템의 성능 분석은 Hard 예약 자원, Soft 예약 자원 그리고 비예약 자원으로 나누어 수행하여야 한다. 이들 각각의 자원들 사이의 연관된 동작들로 인해 기존의 핸드오버 제어 시스템의 성능 분석 결과에 비해 상당히 많은 파라미터들이 사용되어진다. 본 논문에서 제안하는 2-레벨 핸드오버 제어 시스템의 궁극적인 목적은 망 자원을 효율적으로 이용하여 호 실패율을 줄이

자는 것이다. 따라서 예약 자원을 경우에 따라 신규 호가 사용할 수 있도록, 예약 자원도 두 가지로 나누어 좀더 세밀한 관리가 가능하도록 설계하였다. 이로 인해 성능 분석 결과는 기존의 방식에 비해 상당히 복잡한 형태를 띄게 된다. 그림 6에 Hard 및 Soft 예약 자원과 비예약 자원의 상태 천이도를 나타내었다.

그림 6의 상태 천이도를 통해 알 수 있듯이 자원 예약 시스템의 성능 분석을 위해서는 아주 많은 종류의 호 도착율을 이용하여야 한다. 식 14부터 식 20까지 자원 예약 시스템에서 사용되는 호 도착율들의 계산법을 나타내었다.

$$\lambda_{osh_p} = P[N_{sh} = H_s] \cdot \lambda_{sh} \quad (14)$$

$$\lambda_{oph_s} = P[N_{ph} = H_p] \cdot \lambda_{ph} \quad (15)$$

$$\lambda_{osh_n_p} = P[N_{sh} = H_s] \cdot P[N_n = N] \cdot \lambda_{sh} \quad (16)$$

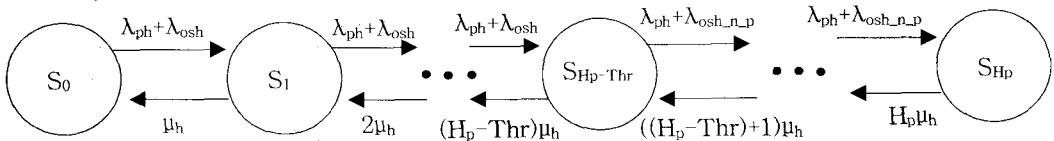
$$\lambda_{on_s} = P[N_n = N] \cdot P[N_{ph} \leq (H_p - Thr)] \cdot \lambda_n \quad (17)$$

$$\lambda_{osh_n} = P[N_{sh} = H_s] \cdot P[N_{ph} = H_p] \cdot \lambda_{sh} \quad (18)$$

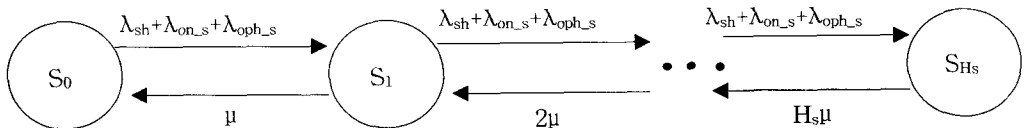
$$\lambda_{osh_n_thr} = P[N_{sh} = H_s] \cdot P[N_{ph} > (H_p - Thr)] \cdot \lambda_{sh} \quad (19)$$

$$\lambda_{oph_n} = P[N_{sh} = H_s] \cdot P[N_{ph} = H_p] \cdot \lambda_{ph} \quad (20)$$

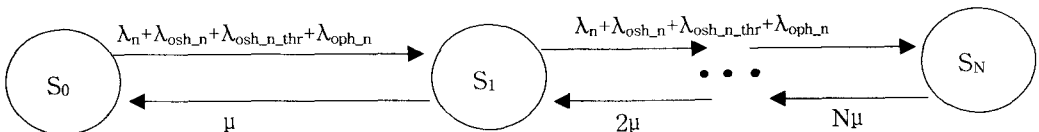
앞에서 정의한 호 도착율들을 이용하여 우선 그림



(a) 1차 예약 자원 상태 천이도



(b) 2차 예약 자원 상태 천이도



(c) 비예약 자원 상태 천이도

그림 6. 2-레벨 자원 예약 방식의 자원별 상태 천이도

$$P_0 = \left[\sum_{j=0}^{H_p - Thr} \frac{(\lambda_{ph} + \lambda_{osh_p})^j}{j! \mu_h^j} + \sum_{j=H_p - Thr + 1}^{H_p} \frac{(\lambda_{ph} + \lambda_{osh_p})^{H_p - Thr} \cdot (\lambda_{ph} + \lambda_{osh_n_p})^{j - H_p + Thr}}{j! \mu_h^j} \right]^{-1} \quad (21)$$

$$P_j = \begin{cases} \frac{(\lambda_{ph} + \lambda_{osh_p})^j}{j! \mu_h^j} P_0 & (j = 1, 2, \dots, H_p - Thr) \\ \frac{(\lambda_{ph} + \lambda_{osh_p})^{H_p - Thr} \cdot (\lambda_{ph} + \lambda_{osh_n_p})^{j - H_p + Thr}}{j! \mu_h^j} P_0 & (j = H_p - Thr + 1, \dots, H_p) \end{cases} \quad (22)$$

$$P[N_{ph} = H_p] = \frac{(\lambda_{ph} + \lambda_{osh_p})^{H_p - Thr} \cdot (\lambda_{ph} + \lambda_{osh_n_p})^{Thr}}{H_p! \mu_h^{H_p}} \cdot \frac{H_p! \mu_h^{H_p}}{\sum_{j=0}^{H_p - Thr} \frac{(\lambda_{ph} + \lambda_{osh_p})^j}{j! \mu_h^j} + \sum_{j=H_p - Thr + 1}^{H_p} \frac{(\lambda_{ph} + \lambda_{osh_p})^{H_p - Thr} \cdot (\lambda_{ph} + \lambda_{osh_n_p})^{j - H_p + Thr}}{j! \mu_h^j}} \quad (23)$$

6 (a)의 Hard 예약 자원에 대한 성능 분석을 한다. Hard 예약 자원은 임계치까지의 상태 천이의 동작과 그 이후의 상태 천이의 동작에 차이가 있다. 이를 balance equation을 이용하여 풀어내면 식 21과 같은 P₀를 구할 수 있다.

P_j도 마찬가지로 임계치까지의 상태 천이에 대한 상태 확률을 구하고 그 이후의 상태 확률을 구해야 한다. 식 22에 P_j를 나타내었다.

핸드오버 제어 시스템에서는 Hard 예약 자원의 상태에 따라 각 호출에 대한 자원 할당 정책이 바뀌기 때문에 Hard 예약 자원의 동작이 이와 같이 임계치를 중심으로 분리된다. 이러한 동작은 망 자원을 효율적으로 이용하면서 핸드오버 호에 대한 QoS를 보장해 줄 수 있는 도구로 사용이 된다. Hard 예약 자원을 모두 사용할 확률 즉 P[N_{ph} = H_p]를 식 23에 나타내었다.

그림 6 (b)의 Soft 예약 자원에 대한 성능 분석은 식 24부터 나타내었다. Soft 예약 자원은 경우에 따라 신규 호가 사용할 수 있는 자원으로 예약한다. Soft 예약 자원의 역할은 자원 예약 방식의 가장 큰 단점인 자원 이용의 비효율성을 줄일 수 있는 장치로써 핸드오버 호의 예약 자원 사용율은 낮고 신규 호 실패율이 높아지는 현상을 줄일 수 있다.

식 25에 Soft 예약 자원의 P_j를, 식 26에 Soft 예약 자원을 모두 사용할 확률을 구하였다. Soft 예약 자원을 모두 사용할 경우에 신규 호는 어떠한 경우에도 예약 자원을 사용하지 못한다. 이렇게 예약 자원을 Hard 및 Soft 예약 자원으로 나누어 서로 다르게 관리리를 함으로서 2-레벨 핸드오버 제어 방식이 망 자원

이용의 효율성과 핸드오버 호의 QoS를 모두 보장할 수 있게 하였다.

$$P_0 = \left[\sum_{j=0}^{H_s} \frac{(\lambda_{sh} + \lambda_{on_s} + \lambda_{oph_s})^j}{j! \mu^j} \right]^{-1} \quad (24)$$

$$P_j = \frac{(\lambda_{sh} + \lambda_{on_s} + \lambda_{oph_s})^j}{j! \mu^j} P_0 \quad (j = 1, 2, \dots, H_s) \quad (25)$$

$$P[N_{sh} = H_s] = \frac{(\lambda_{sh} + \lambda_{on_s} + \lambda_{oph_s})^{H_s}}{H_s! \mu^{H_s}} \cdot \frac{H_s! \mu^{H_s}}{\sum_{j=0}^{H_s} \frac{(\lambda_{sh} + \lambda_{on_s} + \lambda_{oph_s})^j}{j! \mu^j}} \quad (26)$$

그림 6 (c)의 비예약 자원에 대한 분석이 되면 2-레벨 핸드오버 제어 방식에서의 신규 호 및 핸드오버 호 실패율을 구할 수 있다. 식 27과 28에 비예약 자원의 P₀, P_j 상태 확률을 구하였고 식 29에 비예약 자원을 모두 사용할 확률을 구하였다.

$$P_0 = \left[\sum_{j=0}^N \frac{(\lambda_n + \lambda_{osh_n} + \lambda_{osh_n_thr} + \lambda_{oph_n})^j}{j! \mu^j} \right]^{-1} \quad (27)$$

$$P_j = \frac{(\lambda_n + \lambda_{osh_n} + \lambda_{osh_n_thr} + \lambda_{oph_n})^j}{j! \mu^j} P_0 \quad (j = 1, 2, \dots, N) \quad (28)$$

$$P[N_n = N] = \frac{(\lambda_n + \lambda_{osh_n} + \lambda_{osh_n_thr} + \lambda_{oph_n})^N}{N! \mu^N} \cdot \frac{N! \mu^N}{\sum_{j=0}^N \frac{(\lambda_n + \lambda_{osh_n} + \lambda_{osh_n_thr} + \lambda_{oph_n})^j}{j! \mu^j}} \quad (29)$$

Hard 및 Soft 예약 자원과 비예약 자원의 각 상태 확률을 모두 구하면 신규 호 실패율과 핸드오버 호

실패율을 구할 수 있다. 식 30과 31에 핸드오버 실패율과 신규 호 실패율을 나타내었다.

$$P_d = P[N_{ph} = H_p] \cdot P[N_{sh} = H_s] \cdot P[N_n = N] \quad (30)$$

$$P_b = P[N_n = N] \cdot P[N_{sh} = H_s] + P[N_n = N] \cdot P[N_{ph} > (H_p - Thr)] \quad (31)$$

식 30은 결국 모든 사용 가능한 자원이 없을 때 핸드오버 실패가 발생한다는 의미이며 식 31은 사용 가능 비예약 자원이 없고 Soft 예약 자원이 없을 확률과 사용 가능 비예약 자원이 없고 Soft 예약 자원의 상태에 상관없이 사용 가능 Hard 예약 자원이 임계치보다 작을 확률의 합이 신규 호 실패율이 된다는 의미이다.

4.4 성능 분석 결과

수학적으로 분석한 no-priority 시스템, 기존의 핸드오버 제어 시스템 그리고 2-레벨 핸드오버 제어 시스템의 호 도착율의 변화에 따른 성능을 그래프로 나타내었다. 성능 분석 결과 도출을 위해 사용된 변수들은 다음과 같이 정하였다. 각 기지국이 관리할 수 있는 총 자원의 크기를 20으로 하였으며 이는 동시에 20개의 호를 유지할 수 있는 크기로 가정하였다. 성능 분석은 호 도착율에 따라 변화하는 결과를 보이고 있는데 도착율은 초당 발생하는 호 요구 개수를 의미하며 1 (call/sec)에서 4 (call/sec)까지 변화시키면서 성능을 도출하였다. 평균 핸드오버 호 발생률은 30%로 하였으며 예약 자원의 크기는 6, Hard 및 Soft 예약 자원의 크기는 식 5와 6을 이용하여 각각 4와 2로 할당하였다. Hard 예약 자원의 임계치가 1일 경우의 성능을 비교하였으며 기존의 핸드오버 제어 시스템과 2-레벨 핸드오버 제어 시스템의 전체 예약 자원의 크기는 동일하게 하였다.

그림 7에 no-priority 시스템, 기존의 핸드오버 제어 시스템 그리고 2-레벨 핸드오버 제어 시스템의 신규 호 실패율의 성능 분석 결과를 그래프로 나타내었다. 신규 호 실패율에 관한 성능은 no-priority 시스템이 가장 좋은 결과를 보이고 있다. 그 이유는 핸드오버 호에 대한 자원 예약이 없으므로 자원 예약을 수행하는 타 시스템에 비해 우수한 성능을 보이고 있는 것이다. 자원 예약을 수행하는 기존의 핸드오버

제어 시스템과 2-레벨 핸드오버 제어 시스템의 신규 호 실패율 성능을 보면 2-레벨 핸드오버 제어 시스템이 우수함을 알 수 있다. 신규 호가 예약 자원을 사용할 수 없는 기존의 핸드오버 제어 시스템에 비해 Soft 예약 자원을 경우에 따라 사용할 수 있는 2-레벨 핸드오버 제어 시스템이 우수한 결과를 보이는 것은 당연한 결과라 할 것이다.

그림 8에 핸드오버 호 실패율의 성능 분석 결과를 그래프로 나타내었다. 성능은 당연히 자원 예약을 하지 않는 no-priority 시스템의 결과가 가장 좋지 않음을 보이고 있다. 자원 예약을 수행하는 두 시스템의 핸드오버 호 실패율을 보면 거의 같음을 알 수 있는데 이 결과로 본 논문에서 제안하는 2-레벨 핸드오버 제어 시스템은 신규 호의 예약 자원 사용을 허용하여 신규 호 실패율을 줄이면서 핸드오버 호에 대한 QoS도 기존의 방식에 비해 떨어지지 않게 제공할 수 있음을 알 수 있다.

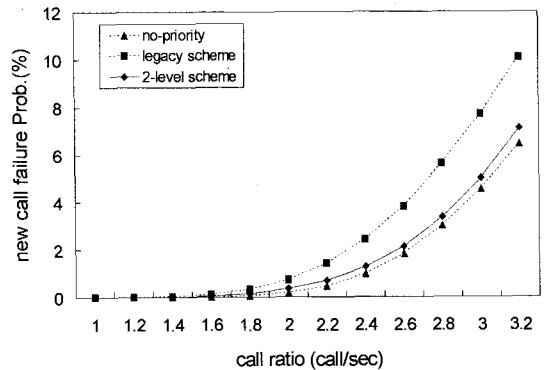


그림 7. 신규 호 실패율

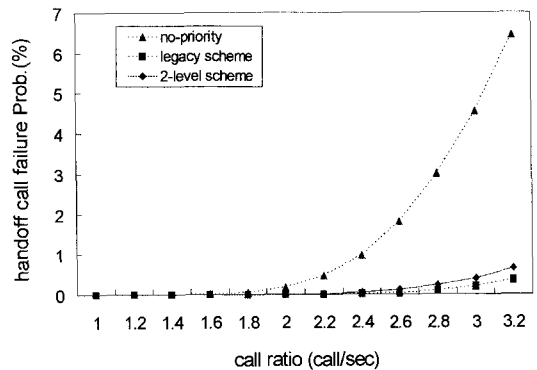


그림 8. 핸드오버 호 실패율

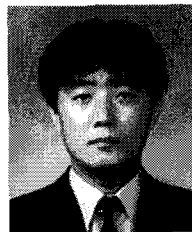
5. 결 론

매우 빠른 속도로 발전하는 무선 이동 통신 시스템에서 사용자들에게 멀티미디어 데이터 서비스를 제공하기 위해 꼭 필요한 시스템 성능 개선 부분이 핸드오버와 관련한 자원 관리 문제이다. 이 문제를 해결하기 위해 본 논문에서 제안한 2-레벨 핸드오프 제어 시스템은 이동 경력 데이터베이스를 이용하여 각 셀 별로 서로 다른 지역적 특성을 고려한 자원 예약을 하도록 하였으며 기존의 일률적인 자원 예약 시스템이 아닌 2 레벨로 분리된 예약, 즉 Hard 및 Soft 자원 예약을 함으로써 효율적인 자원 관리가 가능하도록 하였다. 2-레벨 자원 예약 시스템에 의해 예약된 자원을 효율적으로 이용할 수 있는 호 수락 제어 방식은 기존의 방식과는 달리 예약 자원을 신규 호가 사용할 수 있도록 함으로써 자원 이용의 효율성을 높였고 Hard 예약 자원에 임계치를 두고 예약 자원의 이용 상태를 감안할 수 있도록 함으로써 성능 평가 결과 기존 핸드오버 제어 시스템 수준의 핸드오버 QoS도 지원할 수 있음을 알 수 있었다. 본 논문에서 제안한 방식의 성능 검증을 위해 핸드오버 제어 시스템을 M/M/c/c 큐잉 구조로 모델링하여 성능을 분석하였으며 성능을 도출하였다. 성능 분석을 통해 본 논문에서 제안한 방식의 우수성을 입증하였다.

참 고 문 헌

[1] [HTTP://standards.ieee.org/board/nes/projects/802-16m.pdf](http://standards.ieee.org/board/nes/projects/802-16m.pdf).
 [2] IEEE 802.16m-07-001, "Initial Work Plan for IEEE P802.16m Draft & IMT-Advanced Submission," *IEEE 802.16 TGM*. January 16 2007.

[3] ITU-R M.1645, "Framework and overall objectives of the future development of IMT 2000 and systems beyond IMT 2000," 2003.
 [4] Bluetooth Project. [HTTP://www.bluetooth.com](http://www.bluetooth.com), 1999.
 [5] IEEE 802.16m-07/002r2, "Draft IEEE 802.16m Requirements," *IEEE 802.16 TGM*, June 8 2007.
 [6] Akyildiz I. F, J. McNair, J. Ho, H. Uzunalioglu, W. Wang, "Mobility Management in Current and Future Communications Networks," *IEEE Network*, July/August 1998.
 [7] Kapoor V, G. Edwards, and R. Sankar, "Handoff Criteria for Personal Communication Networks," *Proc. ICC 94*, New Orleans, LA, May 1994.
 [8] Chan J, S. Zhou, and A. Seneviratne, "A QoS Adaptive Mobility Prediction Scheme For Wireless Networks," *IEEE Globcom '98*, 1998.



이 원 열

1983년~1987년 경북대학교 전자공학과 학사
 1991년~1993년 경북대학교 컴퓨터공학과 석사
 1993년~2002년 경북대학교 컴퓨터공학과 박사
 1997년~2002년 성심외국어대학 정보통신공학부 조교수

2002년~현재 영산대학교 사이버경찰학과 조교수
 관심분야 : Wireless Resource Management, Handover Management, Routing Protocol of USN