

HFR 기술을 사용하는 마이크로셀 PCS 시스템에서의 핸드오버호를 고려한 동적채널할당

정희원 조 균 연*, 조 동 호*, 김 태 규**, 정 종 민**

Dynamic Channel Allocation of Microcell PCS System using HFR Techniques

Gyoun-Yon Cho*, Dong-Ho Cho*, Tae-Gue Kim**, Jong-Min Cheong** *Regular Members*

요 약

이동통신의 셀크기가 마이크로셀로 변화함에 따라 기지국의 설치비용 및 크기를 줄일 수 있는 HFR 기술을 이용한 PCS 시스템이 요구되었다. 본 논문에서는 이러한 시스템에서 채널자원을 효율적으로 이용하기 위한 동적채널 할당 기법으로 HFRRCS 기법을 제안하고 수학적 분석과 시뮬레이션을 통해 성능을 비교 분석하였다. 성능분석결과 새로 제안한 HFRRCS 기법이 기존의 NPS와 RCS기법에 비해 핸드오버호 손실율과 신규호 손실율을 줄임을 알 수 있었다.

ABSTRACT

As cell size is changed to micro cell, HFR techniques that can reduce the installation cost and size of base station applied to PCS system. In this paper, we have proposed and analyzed HFRRCS that manages effectively the channel of PCS system using HFR techniques. From analysis results, it could be seen that HFRRCS has lower new and handover call blocking probability compared with conventional schemes such as NPS(non-prioritized scheme) and RCS(reserved channel scheme).

1. 서 론

고도의 정보화 사회로 접어들면서 각 개인의 사회적, 경제적 활동이 점차 증가하고 중요한 비중을 차지하게 됨에 따라 언제, 어디서나 누구에게라도 즉시 통신할 수 있는 이동통신에 대한 요구가 급증하고 있다. 이러한 이동 통신에 대한 요구의 증대와 기술 개발로 언제 어디서나 누구에게라도 통신을 가능하게 하는 개인휴대통신(PCS: Personal Communication Services)의 개념이 탄생했으며, 앞으로 전개될 광대역 종합 정보 통신망 서비스와 맞물려서 종전의 음성 서비스에서 데이터와 화상까지를 포함한 광대역 이동 통신 서비스가 머지 않아 선보일 것으로 보인다. 이러한

이동통신 서비스가 보편화될 경우 현재의 무선통신망의 구조로는 늘어난 이동통신 수요를 만족시킬 수 없다. 따라서, 많은 수의 가입자를 지원할 수 있는 이동통신 시스템의 개발이 요구되고 있다.

제한된 주파수대역을 갖고 있는 무선통신망에서 많은 가입자를 수용하기 위하여 높은 대역 이용율이 요구되고 있다. 즉, 주어진 주파수 대역과 지역에서 가능한 많은 사용자가 동시에 통신할 수 있는 방안이 요구되고 있다. 이러한 요구를 만족시키기 위해 셀룰러 통신 방식이 널리 사용되고 있으며 셀의 반경을 작게 하여 사용자 밀도를 높이는 방안이 검토되고 있다. 즉, 늘어나는 가입자를 수용하고 양질의 서비스를 제공하기 위해서 아날로그 방식에서 디지털 방식으로의

* 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과(dhcho@ee.kaist.ac.kr) 정희원, ** SK Telecom 중앙연구원(tkkim@sktelecom.com) 정희민
논문번호 : 98149-0331, 접수일자 : 1998년 3월 31일

전환이 이루어지고 있으며 셀의 크기도 점점 감소하여 종전의 수 km에서 수십 km반경의 매크로셀에서 수백 m 반경의 마이크로셀이나 옥내와 빌딩 내부 같은 피코셀(반경 수십 m)이 등장하고 있다.

한편, 도심을 중심으로 전개될 마이크로셀 환경에서는 출력 전력이 수십 mW로 줄어들며 따라서 한번 충전으로 사용할 수 있는 배터리 시간도 증가하고 가입자간의 간섭도 적어져 좁은 공간에 많은 가입자를 수용할 수 있다. 반면에 셀의 반경이 작아지면 핸드오버가 발생하는 빈도가 증가하게 되고 이를 처리하기 위한 신호가 많이 발생한다. 또한, 작아진 셀의 모양에 따라 기지국(안테나)의 적절한 설치장소를 선정하는 것이 어려워진다. 더욱이 기지국간의 거리가 짧아지므로 간섭을 최소화하기 위하여 단말기의 위치에 따라 신호전력을 조절하는 기능이 필요하고 더 많은 기지국을 세워야 하는 경제적 부담이 증가하게 된다. 즉, 셀의 크기를 작게하여 단위면적당 주파수 이용율을 높일 수는 있으나 이를 실용화하기 위해서는 많은 기술적, 경제적인 어려움이 따른다. 이러한 어려움을 극복하기 위하여 HFR(Hybrid Fiber Radio) 기술을 이용한 PCS 시스템이 나타나게 되었다[1],[2],[3]. HFR 기술을 이용하면 기지국을 작고 싸가격으로 만들 수 있고 각종 자원의 중앙관리 체계를 구축할 수 있다.

핸드오버는 가입자에게 안정된 서비스를 제공한다는 측면에서 셀룰러 시스템의 가장 중요한 기능중의 하나이다. 각 기지국은 제한된 채널용량을 가지고 셀내에서 발생하는 신규호와 주변셀에서 이동해 오는 핸드오버호에 채널을 할당해야 한다. 핸드오버 호는 신규호에 비해 통화중인 가입자에게 서비스의 갑작스런 중단을 초래한다는 면에서 높은 GOS(Grade of Service)를 가진다[4]. 이러한 서비스 측면을 고려하여 보다 중요한 핸드오버호의 강제적인 종료를 막기위한 여러 가지 기법들이 제안되어 왔다. 신규호의 성공을 희생하여 핸드오버호를 위한 전용채널을 예약하는 기법[7], 핸드오버호를 큐에 넣어 신규호보다 우선권을 가지고 채널을 할당하는 방법[5],[6],[8] 및 음성부호화기의 전송속도를 반으로 줄여서 핸드오버호에 할당할 채널을 만드는 방법[9] 등이 있다. 이러한 기법들은 기존의 매크로셀 기반의 이동통신 시스템 구조를 기반으로 하여 성능을 개선하여 왔다. 즉, 자원할당 및 호제어와 관련된 모든 제어가 기지국에서 이루어 지는 것을 기반으로 하여 성능을 개선하였다. 그러나, 이러한 기존의 연구는 HFR 기술 기반 PCS 시스템처럼 기지국이 단순한 광전송 모듈과 안테나로만 구성되어 자원할당 및 호제어 관련 기능이 mBSC라는 중앙의 기지

국 제어기에 집중되어 있는 구조에는 적합하지 않다. 마이크로셀 기반의 시스템은 요구하는 호의 분포가 각 셀마다 큰 차이를 보인다. 따라서 자원은 각 기지국이 아닌 중앙에서 공유하여 관리함으로써 트래픽 밀도가 높은 기지국과 트래픽 밀도가 낮은 기지국 사이의 부하를 분산시킬 수 있어야 한다. 또한, 핸드오버를 위한 자원의 예약도 각 기지국에서 따로 수행하는 것이 아니라 중앙의 mBSC에서 전체 영역의 상황을 분석하여 수행하여야 한다.

1장의 서론에 이어 2장에서는 HFR 기술 기반 마이크로셀 PCS 시스템에 적합한 핸드오버호를 고려한 동적채널할당 기법을 찾기 위해 기존의 연구인 핸드오버호 전용채널 예약기법, 큐잉우선순위 기법, 주파수 부분분할 기법의 특징 및 문제점을 살펴본다. 3장에서는 기존의 동적채널할당 기법의 문제점을 개선한 HFR 기술 기반 마이크로셀 PCS 시스템에 적합한 동적채널할당 기법을 제시한다. 4장에서는 제안한 동적채널할당기법의 성능을 수학적 분석과 시뮬레이션을 통하여 비교분석한다. 끝으로 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 기존의 동적채널할당 기법

이동통신 시스템에서의 전체 서비스 영역은 무선 자원의 효율적인 사용을 위해 셀(Cell)이라는 작은 영역으로 분할되고, 각 셀영역에 있는 가입자는 기지국(BS: Base Station)과 무선채널을 이용하여 다른 가입자와 호(통화)를 설정한다. 셀룰러 이동통신에서 호의 종류는 신규호(new call)와 핸드오버호(handover call)로 분류된다. 기지국의 관점에서 보면 특정 셀에서 발신 또는 착신하는 호에 새로운 무선채널을 할당해야 하는데 이러한 이동가입자의 트래픽을 신규호라 한다. 이동가입자가 기지국으로부터 하나의 통화채널을 할당받아 호가 설정된 후 통화중에 인접 셀로 이동하였을 때 이동통신 교환기는 진행중인 호를 계속 유지시키기 위하여 현재 이동가입자가 위치해 있는 셀을 관할하는 기지국을 통하여 통화채널을 재할당하여야 하는데 이와같이 통화채널을 절체하여 주는 과정을 핸드오버라고 하며 이러한 핸드오버를 요구하는 호를 핸드오버호라 한다.

임의의 셀에서 신규호가 발생했을 때, 셀에 할당된 무선채널중 하나가 이동가입자에게 할당되는데, 셀에 할당된 모든 무선채널이 사용중일 때 발생하는 신규호는 손실된다. 또한, 호가 설정된 후 이동가입자가 인접셀로 핸드오버하는 경우 인접셀에서 핸드오버 호에게 새로운 무선채널을 할당할 수 없다면 핸드오버

호는 손실된다. 핸드오버호의 손실은 통화중에 호가 절단되는 것이므로 이동가입자가 느끼는 불편함은 새로운 호의 손실보다 훨씬 크게 느껴지므로 가능한한 핸드오버호의 손실율을 낮추기 위한 방식들이 많이 제시되었다. 이러한 방식들로는 핸드오버호만을 위한 예약채널(reservation channel)을 두는 방식(RCS)과 핸드오버 호만을 위하여 큐(Queue)를 두는 방식(QPS) 및 기존의 채널을 분할하여 핸드오버 호에 나누어 주는 SRS(Sub-Rating Scheme) 방식 등이 있다. 그러나, 마이크로셀 PCS 시스템의 경우 셀의 중첩지역이 매우 적으므로 QPS 기법처럼 중첩영역에서 핸드오버호를 큐잉시켜 핸드오버호의 손실을 줄이는 기법은 이득이 매우 적다. 또한, SRS기법의 경우 현재 우리나라에서 사용되는 CAI(common air interface) 표준인 IS-95로는 지원할 수 없다는 문제를 갖고 있다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 QPS와 SRS기법에 대해서는 분석하지 않는다.

2.1 핸드오버호에 우선순위를 두지않는 기법(NPS: Non-Prioritized Scheme)

핸드오버호에 우선순위를 두지않는 기법으로 호요구가 들어왔을 때 신규호든 핸드오버호든 구분하지 않고 채널을 할당하는 기법이다. 이 기법의 경우 핸드오버호의 손실이 커져서 GOD는 떨어지나 알고리즘이 간단하고 신규호의 손실이 줄어들 수 있다는 장점을 가진다. NPS 기법의 채널할당결정방법의 흐름도 가 그림 1에 나타나 있다.

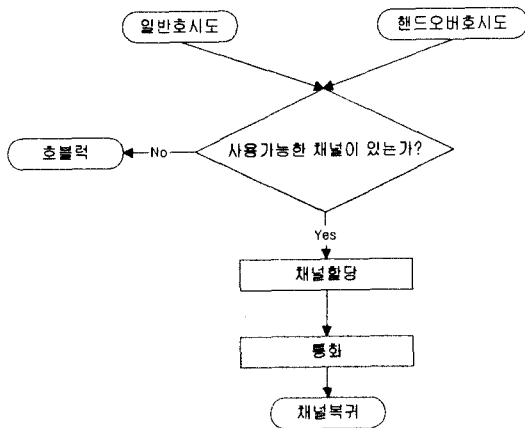


그림 1. NPS의 채널할당 결정방법의 흐름도

2.2 핸드오버호 전용채널 예약기법(RCS: Reserved Channel Scheme)

핸드오버호를 위한 전용채널을 미리 예약하는 방식으로 신규호의 손실을 보다는 핸드오버호의 손실율을 낮추기 위하여 각 셀에 일정 개수의 채널과 송수신 기능을 핸드오버 전용으로 확보하는 방법을 말한다. 즉, 한 셀이 사용할 수 있는 채널들을 일반채널과 핸드오버 전용채널로 나누는데 일반채널은 신규호와 핸드오버호를 동일시하여 할당되고 핸드오버 전용채널은 일반채널이 모두 사용중일 때 핸드오버호에만 할당된다. 이러한 RCS의 채널할당 결정방법이 그림 2에 나타나 있다.

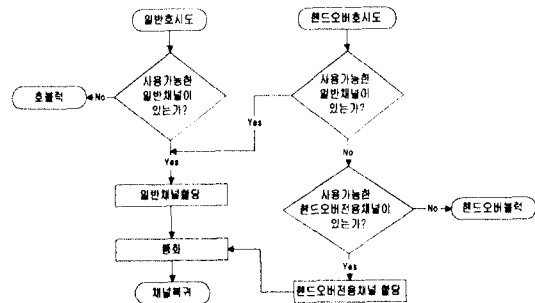


그림 2. RCS의 채널할당 결정방법의 흐름도

III. HFR 기술을 이용한 동적채널할당 방법

많은 기지국이 요구되는 마이크로 셀룰러 시스템의 경우, 기지국 설치에 부적합한 지역을 위해 작고, 저가인 기지국이 요구된다. 따라서, 이러한 요구를 수용하고 다수 기지국을 효율적으로 관리할 수 있는 HFR(Hybrid Fiber Radio) 기법이 광통신 기술의 광대역성과 무선통신 기술의 이동성을 접목하여 나타나게 되었다. 이러한 기법중 SCM(Subcarrier Multiplexing) 전송 기술은 저가의 유선 CATV망에 응용된 기술로서 많은 관심을 끌고 있다. 한편, 마이크로셀에서는 이동국의 이동성이 커지고 이에따라 신호트래픽의 양이 증가할 뿐만아니라 트래픽 밀도의 변화 폭이 매우 증가한다. 따라서, 이러한 신호트래픽의 양이나 급변하는 트래픽 밀도를 지원하기 위해서는 동적으로 자원을 할당할 수 있는 기법이 필요하다.

그러나, HFR 기술을 이용한 마이크로셀 PCS 시스템은 기존의 셀룰러 시스템과는 달리 여러개의 마이

크로셀 각각에 mBSC라는 최소한의 장비만을 설치하고 송수신할 신호를 중앙의 mBSC에서 관리하게 된다. 즉, HFR 기술을 이용한 시스템 구조에서는 mBSC가 mBSC 영역안의 모든 mBS의 CE(channel element) 및 상태를 관리하므로 mBSC는 mBS 각각의 트래픽 상태를 분석하여 이에 따른 적절한 자원의 분배가 가능하다. 따라서, 기존의 셀룰러 시스템에서 사용하는 앞서의 제안된 채널할당방법과는 달리 CE를 중앙의 공유 저장소에 두고 각 mBS에서 요구시 할당해 주는 방안 및 전체 mBS의 채널상황을 파악하여 핸드오버 전용채널의 예약크기를 결정하는 방안 등의 보다 개선된 채널할당방법의 사용이 가능하다.

3.1 HFR 기술을 이용한 마이크로셀 PCS에서의 RCS (HFRRCS)

제안된 알고리즘은 HFR 기술을 이용한 마이크로셀 PCS 시스템의 각 mBSC가 모든 mBS의 CE를 mBSC의 공유저장소에서 관리하고, 인접 mBSC가 갖는 정보를 최대한 활용하여 핸드오버 전용채널의 크기를 결정하므로 HFRRCS(RCS based on HFR techniques)라고 이름지었다.

HFRRCS에서는 mBSC가 mBSC의 공유저장소에 mBSC 영역안의 모든 CE를 갖고 있으며 각 mBS의 호요구가 발생할 경우 CE를 mBS에 할당한다. 따라서, 비균일한 트래픽 환경에서 효율적으로 채널을 할당할 수 있다. 이때, mBS에 CE를 할당하는 방법은 기본적으로 앞서 설명한 RCS 기법에 기반한다. 즉, 일반채널이 이용가능한 경우에는 신규호나 핸드오버호 모두에게 채널이 할당되고, 핸드오버 전용채널만 이용가능한 경우에는 핸드오버호에게만 채널이 할당된다. 기존의 RCS 기법은 핸드오버를 위한 전용채널을 미리 할당해 놓음으로써 가용채널이 있음에도 불구하고 신규호가 손실되는 문제와 갑자기 핸드오버호가 증가하여 예약 채널의 수보다 요구하는 핸드오버호의 수가 많아 질 경우에 핸드오버호 요구도 손실되는 문제가 있었다. 그러나, 제안한 HFRRCS에서는 각 mBSC가 내부의 mBS의 채널상황을 종합하여 인접 mBSC와 공유함으로써 인접 mBSC에서 발생할 수 있는 핸드오버호의 발생률을 정확히 예측하고 이를 핸드오버 전용채널의 예약 비율에 반영함으로써 불필요한 신규호의 손실을 개선하였고, 채널의 상황에 따라 핸드오버 예약채널 수를 정하므로 갑자기 늘어난 핸드오버호의 호요구에도 적용할 수 있다.

HFRRCS에서 한 mBSC안에 존재하는 CE는 코드 번호, 호의 시작 시간, 핸드오버 횟수, 가입자의 이동

방향 및 이동 속도를 정보로서 갖게 되는데 이동방향과 이동속도는 해당 CE를 사용하는 가입자의 핸드오버 횟수와 등록 횟수를 기반으로 알 수 있다. 이를 이용하여 각 mBSC는 인접 mBSC의 핸드오버 가능 트래픽 수 및 채널할당 상황 등을 알 수 있다.

가입자의 이동방향은 현재 위치한 mBS와 이전에 위치한 mBS의 위치의 상관관계로서 알 수 있고, 가입자의 이동속도는 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$\text{가입자의 이동속도} = \frac{\text{핸드오버횟수}}{\text{호지속시간}}$$

HFRRCS에서 사용하는 핸드오버 전용채널 예약 알고리즘이 그림 3에 나타나 있다. 이 알고리즘은 각 mBSC에서 인접 mBSC의 정보를 바탕으로 수행된다.

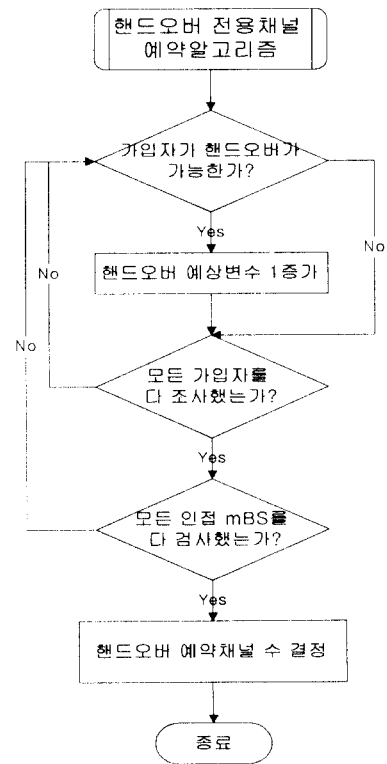


그림 3. 핸드오버 전용채널 예약 알고리즘

- 1) 이웃 mBSC의 mBS중 근접한 mBS에 존재하는 호중 핸드오버가 예상되는 호의 갯수 계산
 - ① 모든 근접한 mBS의 각각의 호에 대해 다음을

수행함

step 1. 가입자의 이동방향이 현재 mBSC 인가?

step 2. 단위 시간 > $\frac{\text{셀의 크기}}{\text{가입자의 이동 속도}}$ 인가?

step 3. ①-1과 ①-2를 만족하면 핸드오버 가능한 호의 수를 1 증가시킴

② 요구되는 예약채널의 수 = 핸드오버 가능한 호의 수

2) 요구되는 예약 채널의 수 만큼 핸드오버 전용 채널의 예약이 가능한가?

① 가능하면, 예약함

② 불가능하면, 최대한 예약함, 나머지는 빈채널이 발생하는 경우에 추가로 예약함

HFRRCs의 채널할당방법이 그림 4에 나타나 있다.

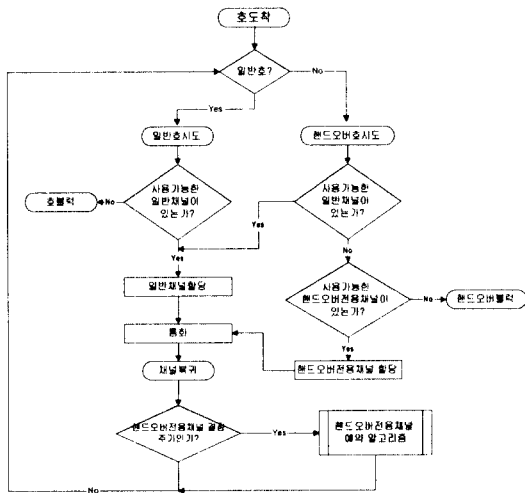


그림 4. HFRRCs의 채널할당 결정방법의 흐름도

IV. 성능분석 및 시뮬레이션

HFR 기술을 이용한 마이크로셀 PCS 시스템에 적합한 동적채널할당 기법인 HFRRCs의 성능을 핸드오버호에 우선순위를 두지않은 NPS(Non-Priority Scheme) 및 기존의 동적채널할당 기법인 RCS 기법과 비교 분석하였다. 일반적으로 마이크로셀 환경에서는 각 셀간의 트래픽 밀도가 균일하지 않다. 따라서, 본 장에서는 이를 반영하기 위해 비균일 트래픽 분포를 모델링하고 핸드오버호와 신규호의 도착은 이러한 트래픽 분포를 따르도록 하였다. 수학적 분석에서는 각 기법

이 이러한 트래픽 분포를 따르도록 상태를 정의하였고 이를 수학적으로 분석하였다. 또한, 이를 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하였는데, 시뮬레이션 프로그램은 C언어와 smpl 틀을 이용하여 구현하였다.

4.1 수학적 분석

4.1.1 호 발생모델

기존의 핸드오버 처리 기법인 핸드오버에 우선순위를 두지않은 NPS와 핸드오버에 우선순위를 둔 RCS와 제안한 HFRRCs를 HFR기술을 이용한 마이크로셀 PCS 시스템에 적용하였을 때의 성능을 수학적으로 분석한다. 성능분석 파라미터로는 신규호의 손실확률(P_b)과 핸드오버호 손실확률(P_h)을 사용하였고, 이러한 파라미터를 계산하기 위해 몇가지 가정을 한다. 한 셀에서 시도하는 신규호는 도착율이 λ_0 인 포아송 도착을 따른다. 핸드오버호도 도착율이 λ_h 인 포아송 도착을 따른다. 이동국이 채널을 할당받게 되면 일정한 시간 t_m 동안(셀을 나가기 전까지) 정해진 영역안에 머무르게 되는데 이 기간을 거주기간(dwell time)이라 부른다. t_m 은 평균이 $1/\eta$ 인 확률밀도함수 $f_m(t_m) = \eta e^{-\eta t_m}$ 를 따르는 지수분포를 갖는다. 또한, 호지속시간 t_c 는 평균이 $1/\mu$ 인 확률밀도함수 $f_c(t_c) = \mu e^{-\mu t_c}$ 를 따르는 지수분포를 갖는다[10].

도시의 트래픽 환경을 가정하였으므로 각 셀의 구조는 정사각형을 따르도록 하였으며, mBSC안에서의 각 셀의 트래픽 부하는 서로 독립적인 비균일한 분포를 갖는다고 가정하였다. 또한, 수학적 분석을 위해 사용한 비균일 트래픽 분포는 도시의 상가 배치 등을 고려한 임의의 트래픽 부하 분포를 따르도록 하였다.

4.1.2 각 방식별 신규호손실확률(P_b)과 핸드오버호 손실확률(P_h)

(1) NPS

이 기법은 각각이 $s+1$ 개의 상태를 갖는 m 개의 마코프 프로세스로 모델링 될 수 있고 상태전이도는 다음 그림 5와 같이 표시된다. 여기서 s 는 어떤 셀에서 이용가능한 채널의 수이고 n 은 mBSC안의 셀의 수이다.

셀 i 에서 j 개의 채널이 사용중일 안정상태확률 P_{ji} 를 평형상태 방정식을 이용하여 풀고 초기상태를 이용하여 정리하면 다음 식과 같다.

$$P_{ji} = \frac{(\lambda_{oi} + \lambda_{hi})^j}{j! (\mu + \eta)} P_{0i} \quad (1)$$

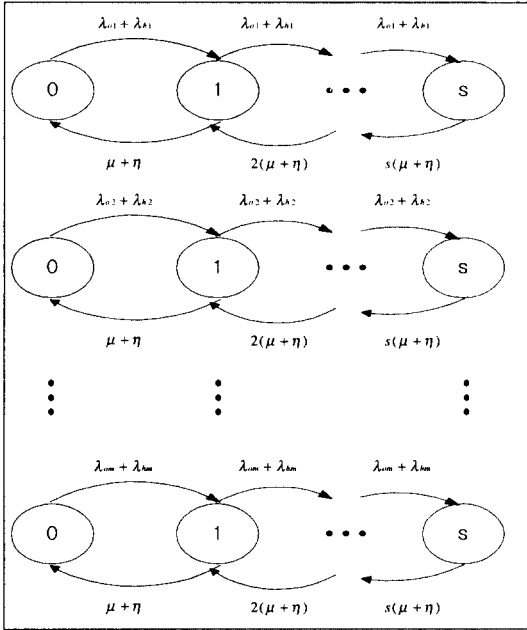


그림 5. NPS의 상태천이도

여기서, 전체 확률의 합은 1이므로 이를 이용하여 P_{0i} 를 구하면

$$P_{0i} = \left[\sum_{j=0}^n \frac{(-\frac{\lambda_{oi} + \lambda_{hi}}{\mu + \eta})^j}{j!} \right]^{-1} \quad (2)$$

이 된다.

이때 셀 i 의 호손실율 P_{bi} 는 $j = s$ 인 경우에 발생하므로

$$P_{bi} = P_{si} = \frac{(\frac{\lambda_{oi} + \lambda_{hi}}{\mu + \eta})^s}{s!} P_{0i} \quad (3)$$

가 되고, 핸드오버호나 신규호나 같은 우선순위로 취급되므로 $P_{hi} = P_{bi}$ 가 된다.

이를 이용하여 mBSC의 평균 신규호 손실율과 핸드오버호 손실율을 구하면,

$$P_b = \frac{\sum_{i=1}^m P_{bi}}{m} \quad (4)$$

$$P_h = \frac{\sum_{i=1}^m P_{hi}}{m} \quad (5)$$

이 된다.

(2) RCS

이 기법은 각 셀에서 핸드오버호에만 사용될 수 있는 n 개의 채널을 미리 예약하는 기법이다. 즉, $s-n$ 개의 일반채널은 신규호와 핸드오버호 모두를 위해 할당되고 n 개의 전용채널은 더 이상 사용가능한 일반채널이 없을 경우 핸드오버호에만 할당된다. 이렇게 함으로써 호요구 트래픽이 많은 상태에서도 핸드오버호를 보호할 수 있다. 이러한 RCS 기법의 상태천이도는 다음 그림 6에 나타나 있다.

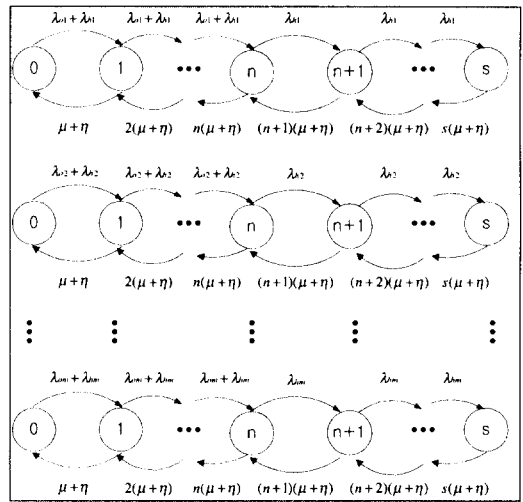


그림 6. RCS의 상태천이도

RCS에서 셀 i 에서 j 개의 채널이 사용중일 안정상태 확률 P_{ji} 를 평형상태 방정식을 이용하여 풀고 초기 상태를 이용하여 정리하면 다음 식과 같다.

$$P_{ji} = \begin{cases} \frac{(\frac{\lambda_{oi} + \lambda_{hi}}{\mu + \eta})^j}{j!} P_{0i} & 0 < j \leq n \\ \frac{(\lambda_{hi})^{j-n} (\lambda_{oi} + \lambda_{hi})^n}{(\mu + \eta)^j j!} P_{0i} & n < j \leq s \end{cases} \quad (6)$$

전체 확률의 합이 1임을 이용하여 P_{0i} 를 구하면

$$P_{0i} = \left[\sum_{j=0}^n \frac{(\frac{\lambda_{oi} + \lambda_{hi}}{\mu + \eta})^j}{j!} + \sum_{j=n+1}^s \frac{(\lambda_{hi})^{j-n} (\lambda_{oi} + \lambda_{hi})^n}{j! (\mu + \eta)^j} \right]^{-1} \quad (7)$$

이다.

이 경우 P_{bi} 와 P_{hi} 는 다음과 같다.

$$P_{bi} = \sum_{j=n}^m P_{ji} \quad (8)$$

$$P_{hi} = P_{si} \quad (9)$$

또한, mBSC의 신규호 손실율과 핸드오버호 손실율은 각 셀의 신규호 손실율과 핸드오버호 손실율의 평균을 구하면 되므로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_b = \frac{\sum_{i=1}^m P_{bi}}{m} \quad (10)$$

$$P_h = \frac{\sum_{i=1}^m P_{hi}}{m} \quad (11)$$

(3) HFRCS

HFRCS에서는 mBSC 영역안의 각 셀들이 채널자원을 갖고 있지 않고, mBSC에 채널자원을 저장하고, 각 셀에서 채널요구가 있을 때 이를 할당한다. 이러한 HFRCS 기법의 상태전이도가 다음 그림 7에 나타나 있다.

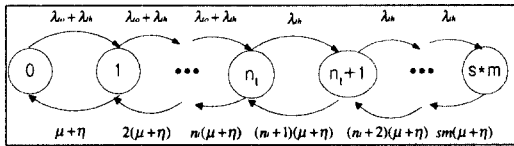


그림 7. HFRCS의 상태도

그림 7에서 λ_{i0} 는 mBSC 영역안의 각 셀의 λ_0 의 총합이고, λ_{in} 는 mBSC 영역안의 각 셀의 λ_n 의 총합이다. 또한, n_r 는 mBSC에서 예약한 핸드오버 전용채널의 수를 의미하고, 채널자원의 수는 mBSC안의 전체 채널자원의 수가 되므로 한 셀의 채널 수 s 에 mBSC 영역안의 셀수 m 을 곱한 $s \times m$ 이 된다.

HFRCS에서 평형상태 방정식을 이용하여 j 개의 채널이 사용중일 안정상태확률 P_j 를 구하면 다음과 같다.

$$P_j = \begin{cases} \frac{\left(\frac{\lambda_{i0} + \lambda_{in}}{\mu + \eta}\right)^j}{j!} P_0 & 0 < j \leq n_i \\ \frac{(\lambda_{in})^{j-n_i} (\lambda_{i0} + \lambda_{in})^{n_i}}{(\mu + \eta)^j j!} P_0 & n_i < j \leq sm \end{cases} \quad (12)$$

여기서 전체확률의 합이 1임을 이용하여 P_0 를 구하면

$$P_0 = \left[\sum_{j=0}^{n_i} \frac{(\lambda_{i0} + \lambda_{in})^j}{j! (\mu + \eta)^j} + \sum_{j=n_i+1}^{sm} \frac{(\lambda_{in})^{j-n_i} (\lambda_{i0} + \lambda_{in})^{n_i}}{j! (\mu + \eta)^j} \right]^{-1} \quad (13)$$

이 된다.

신규호의 호손실은 mBSC안의 채널중 n_i 개이상의 채널이 사용중일 때 발생하고, 핸드오버호의 호손실은 전체 채널이 다 사용중일 때 발생하므로, P_b 와 P_h 는 다음과 같다.

$$P_b = \sum_{j=n_i}^{sm} P_j \quad (14)$$

$$P_h = P_{sm} \quad (15)$$

4.1.3 핸드오버 확률의 계산

핸드오버호의 발생은 신규호의 이동에 의해 발생하므로 본 절에서는 신규호를 이용하여 핸드오버호의 발생율을 구하는 수식을 전개한다. 셀 k 에서의 신규호 손실 확률을 P_{bk} 라 하고 전체 시스템의 신규호 손실확률을 P_{bT} 라 하면, 신규호가 시스템에 의해서 받아들여질 확률을 S 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S = \frac{(1 - P_{bk})}{(1 - P_{bT})} \quad (16)$$

$$P_{bT} = \frac{\sum_{k=1}^N P_{bk}}{N} \quad (17)$$

여기서, N 은 시스템의 총 셀의 수이다. 셀 k 에 의해 서비스되던 호가 셀 k 의 인접셀로 핸드오버할때 이 호가 셀 k 에 인접한 셀에서 받아들여질 확률 a_k 는 다음과 같다.

$$a_k = \frac{\eta}{\mu + \eta} \sum_{i=1}^j q_i (1 - P_{hi}) \quad (18)$$

q_i 는 호가 셀 k 의 i 번째면으로 핸드오버되어 나갈 확률이고, P_{hi} 는 셀 k 의 i 번째 면에 붙어있는 셀의 핸드오버호의 손실율이며, μ 와 η 는 전체 시스템의 핸드오버율과 호완료율이다.

현재 셀 k 에 의해서 서비스되는 호가 셀 k 의 i 번째 면에 붙어있는 셀로 핸드오버를 시도하다 실패할

확률 b_i 는 다음과 같다.

$$b_i = \frac{\eta}{\mu + \eta} \sum_{i=1}^n q_i P_{hi} \quad (19)$$

한편, 핸드오버시도가 독립적이라고 할 때, 한 시스템에서 서비스되던 이동국이 0, 1, 2, ..., n 번의 핸드오버 성공후 종료될 확률 E 는 다음과 같다.

$$E = b + ab + a^2b + a^3b + \dots = \frac{b}{1-a} \quad (20)$$

식(18)과 식(19)를 식(20)에 대입하면,

$$E = \frac{\eta\beta}{\mu + \eta - \eta\alpha} \quad (21)$$

여기서,

$$\alpha = \sum_{i=1}^n q_i(1 - P_{hi}) \quad (22)$$

이고,

$$\beta = \sum_{i=1}^n q_i P_{hi} \quad (23)$$

이다.

한편, k 셀의 신규호 도착률 $\lambda_o(k)$ 에서 핸드오버되어 나가는 비율 $\lambda_{hd}(k)$ 를 구하기 위해 먼저 한 사용자가 핸드오버를 발생시키는 비율을 구하면 핸드오버 성공률 c 는

$$c = \frac{\eta}{\eta + \mu} \quad (24)$$

또한, 0, 1, 2, ..., n 번의 핸드오버가 성공한 후에 핸드오버가 요구될 확률 D 는 다음과 같다.

$$D = c + ac + a^2c + \dots = \frac{c}{1-a} \quad (25)$$

식 (25)는 다시 식 (26)처럼 기술할 수 있다.

$$D = \frac{\eta}{\mu + \eta - \eta\alpha} \quad (26)$$

여기서, 셀 k 에서 핸드오버되어 나가는 비율 $\lambda_{hd}(k)$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\lambda_{hd}(k) = (1 - P_{bk})D\lambda_o(k) \quad (27)$$

식 (27)에 식 (26)과 식 (22)를 대입하면 다음을 얻을 수 있다.

$$\lambda_{hd}(k) = \frac{(1 - P_{bk})\lambda_o(k)\eta}{\mu + \eta - \eta \sum_{i=1}^n q_i(1 - P_{hi})} \quad (28)$$

따라서, 셀 k 에서 발생하는 핸드오버 도착률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\lambda_{ha}(k) = q_i \sum_{i=1}^n \lambda_{hd}(i) \quad (29)$$

4.1.4 수학적 분석의 결과

수학적 분석에 사용한 신규호의 트래픽 분포는 비균일분포를 따르도록 하였고, 컴퓨터제산의 한계 때문에 한 mBSC 영역안의 셀의 수는 16개로 가정하였으며, 각 셀에서 이용가능한 채널의 수는 10개로 가정하였다. RCS에서 예약한 핸드오버 전용채널의 크기는 이용가능한 채널 10개중에서 1개가 할당되도록 하였으며, 각 사용자의 평균 통화시간은 100초로 가정하였다.

각 방식별 신규호 손실율이 그림 8에 나타나 있다. 그림에서 보는 바와 같이 제안한 HFRRCS가 다른 기법에 비해 신규호 손실율이 낮은 것을 알 수 있는데, 이 이유로는 두가지를 들 수 있다. 첫째로 제안한 HFRRCS 기법은 mBSC 영역안의 모든 CE를 mBSC

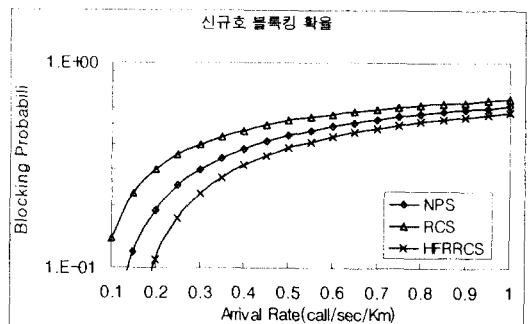


그림 8. 신규호 손실율의 비교

내의 공유저장소에 저장하고 이를 요구에 따라 분배하므로 트래픽 부하가 적은 셀의 여유 CE가 트래픽 부하가 많은 셀에 할당될 수 있기 때문이다. 둘째로, HFRCS에서는 인접 셀의 트래픽 상황에 따라 핸드오버 전용채널이 동적으로 할당되므로 불필요한 신규호의 손실이 개선되었기 때문이다.

핸드오버호의 손실율이 그림 9에 나타나 있는데 이 그림에서도 제안한 HFRCS 기법이 다른 기법에 비해 더 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 이 이유는 신규호의 손실율에서 설명한 것과 같이 HFRCS에서는 핸드오버 전용채널을 동적으로 할당하므로 핸드오버호의 손실을 개선하면서도 신규호의 손실을 줄일 수 있기 때문이다.

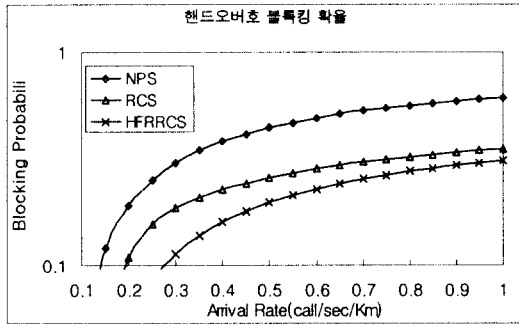


그림 11. 핸드오버호 손실율의 비교

수학적 분석의 결과를 검증하기 위하여 수학적 분석에서 사용한 것과 같은 환경 파라미터를 사용하는 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과는 수학적 분석의 결과와 거의 유사한 것을 알 수 있었다.

4.2 시뮬레이션

4.2.1 시뮬레이션 환경

HFRCS 기법을 수학적 분석을 이용하여 풀 경우 $s \times m$ factorial 계산을 하여야 하는데 컴퓨터의 제약으로 인해 이러한 factorial은 100! 이상을 고려할 수 없다. 따라서, 본 논문의 수학적 분석에서는 mBSC를 1개로, mBSC당 셀수를 16으로, 셀당 채널수를 10으로 하였다. 이러한 환경은 실제적인 이동통신 환경과는 차이가 난다. 그러므로, 본 절에서는 실제적인 이동통신 환경을 반영한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서 사용한 네트워크의 구성은 그림 10과 같다. 마이크로셀 PCS 시스템 환경을 고려하였으므로 육각형 셀

구조 보다는 도심 셀구조인 직사각형 셀 구조가 타당하다. 전체 시스템은 9개의 mBSC로 구성되는데 그림 10에서 굵은 선으로 둘러싸인 부분 각각이 하나의 mBSC이다.

또한, 시뮬레이션에서 사용한 환경파라미터는 실제적인 이동통신 환경을 기반으로 하였으며 하나의 mBSC가 25개의 mBS로 구성되는 것으로 가정하였다. 각 mBS가 서비스하는 서비스영역의 크기, 즉, 셀의 크기는 한번이 200m인 정사각형으로 가정하였고, mBS에서 최대 제공가능한 트래픽 채널의 수는 32개로 하였으며, 하나의 mBSC가 갖고 있는 CE(Channel Element)의 수는 500개로 하였다. 이때, 호 지속시간은 평균 180초의 지수분포(일반전화 1통화기준)를 따르고, 핸드오버 발생 비율은 40%로 가정하였다.

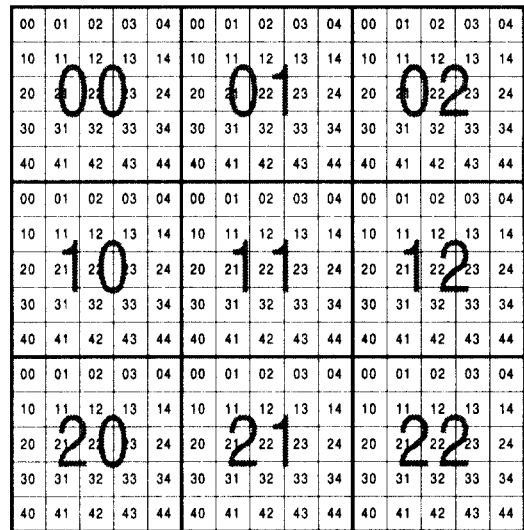


그림 10. HFR 기술을 이용한 마이크로셀 PCS 시스템의 구성도

4.2.2 시뮬레이션 결과 분석

성능 분석을 위한 척도의 계산은 다음과 같다.

- 1) 신규호 손실율 : $\frac{\text{채널을 할당받지 못한 신규호수}}{\text{총 도착한 호수}}$
- 2) 핸드오버호 손실율 : $\frac{\text{채널을 할당받지 못한 핸드오버호수}}{\text{핸드오버가 요구된 호수}}$

시뮬레이션의 신규호 손실율과 핸드오버호 손실율이 그림 11과 그림 12에 나타나 있다.

그림 11에서 볼 때 신규호의 손실 비율에 있어서는 HFRCS가 NPS나 RCS 보다 좋게 나타남을 알 수 있는데 그 이유는 HFRCS는 mBSC에서 각 mBS의 자원을 관리하므로 이동성이 큰 트래픽 환경에서 효율적인 채널할당이 가능하기 때문이다. 또한, 그림 12에서 볼 때 핸드오버호 손실율에 있어서는 HFRCS는 예약채널의 크기를 동적으로 변화시키기 때문에 핸드오버호의 손실이 거의 발생하지 않음을 알 수 있다.

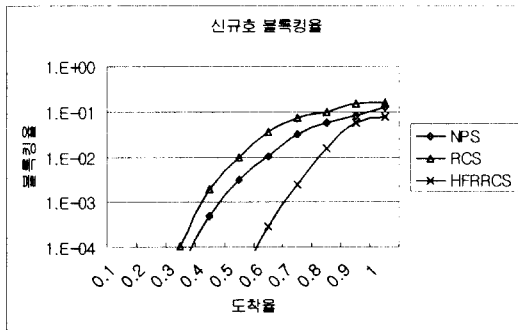


그림 11. 신규호 손실율

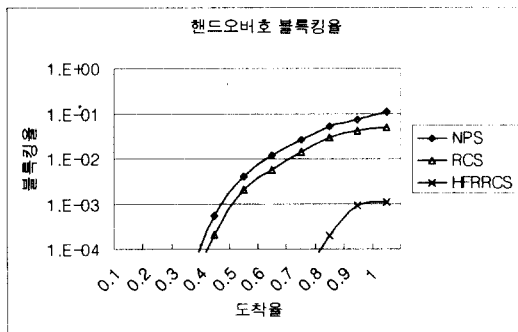


그림 12. 핸드오버호 손실율

V. 결론

본 논문에서는 HFR 기술을 기반으로한 PCS 시스템의 채널을 효율적으로 관리하기 위하여 핸드오버호를 고려한 동적채널할당 알고리즘을 제시하고 그 성능을 비교 분석하였다.

기존의 핸드오버호를 고려한 동적채널할당 알고리즘으로는 NPS, RCS가 있는데, 이러한 알고리즘은 기존의 디지털셀룰러의 채널관리 방식을 기반으로 하여

채널을 관리하였다. 즉, 셀을 관리하는 각 기지국에서 채널을 관리하는 분산채널관리 방식을 사용한다. 그러나, 마이크로셀과 같이 트래픽 분포의 차가 큰 경우에는 채널자원의 공유가 이루어지지 못하는 분산채널관리 방식은 채널의 이용효율이 낮아진다. 따라서, HFR 기술을 기반으로 한 PCS 시스템에서는 채널자원을 중앙에서 공유하여 처리할 수 있는 새로운 방안이 요구된다. 이러한 요구를 만족시키기 위해 본 논문에서는 HFR 기반 PCS 시스템에 적합한 핸드오버호를 고려한 동적채널할당 알고리즘으로 HFRCS를 제안하였다. HFRCS는 중앙의 mBSC에서 mBSC 영역안의 모든 셀의 채널자원을 통합하여 할당하고 핸드오버호를 위한 전용채널을 예약할 수 있다.

수학적 분석과 시뮬레이션 결과 HFRCS가 채널의 통합공유 특성과 핸드오버 전용채널의 동적예약 특성 때문에 핸드오버호 요구와 신규호 요구의 실패확률을 크게 낮출 수 있음을 알 수 있었다. 신규호 요구 실패율의 경우 도착율 0.7에서 10%정도로 낮아졌고, 핸드오버호 요구의 실패율의 경우 0.8에서 5%정도로 낮아졌다. 시뮬레이션의 경우 Fluid-flow 모델을 반영하여 시뮬레이션 영역이 연계되어 있는 것으로 가정하였기 때문에 실제 모델과 약간의 차이가 있을 수 있으나 결과에 미치는 영향은 매우 적다.

참고 문헌

1. K. Morita and H. Ohtsuka, "The New Generation of Wireless Communication Based On Fiber-Radio Technologies.", IEICE Trans. Comm., Vol. E76-B, No.9, pp.1061-1068, Sep. 1993.
2. R.Ohmoto, H.Ohtsuka and H.Ichikawa, "Fiber-optic Microcell Radio System with a spectrum Delivery Scheme", IEEE J.S.A.C., vol.11, no.7, pp.1108-1117, Sep. 1993.
3. H.Ohtsuka, R.Ohmoto, H.Ichikawa, M.Ogasawa and T.Murase, "A Subcarrier Transmission Approach to Micro Cellular Systems", IEEE ICC '92, pp.304.2.1-304.2.5, Jun. 1992.
4. Y.B.Lin, S.Mohan and A.Moerpel, "PCS Channel Assignment Strategies for Hand-off and initial Access", IEEE Personal Communications, Third Quarter, pp.47-56 1994.
5. G.N.Senarath and D.Everitt, "Performance of Hand-over and Queuing systems under Different hand-

over request Strategies for Microcellular Mobile Communication Systems", IEEE VTC '95, pp.897-901, May 1995.

6. S.Tekinary and B.Jabbari, "A Measurement-Based Prioritization Scheme for Handovers in Micro Cellular Networks", IEEE J.S.A.C., vol.10, no.8, pp.1351-1361, Oct. 1992.
7. D.H.Hong and S.S.Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures", IEEE Trans. on V.T., vol. VT-35 no. 3, pp.77-92, Aug. 1986.
8. C.H.Yoon and C.K.Un, "Performance of Personal Portable Radio Telephone Systems with and without Guard Channels", IEEE J.S.A.C., vo.11, no.6, pp. 911-917, Aug. 1993.
9. Y.B.Lin, A.R.Noerpel and D.J.Harasty, "The Sub-Rating Channel Assignment Strategy for PCS Hand-Offs", IEEE Trans. V.T., vol.45, no.1, Feb. 1996.
10. L. Oritigoza-Guerrero and A.H.Aghvami, "A Self-Adaptive Prioritised Hand-off DCA Strategy for a Microcellular Environment", IEEE PIMRC '97, pp.401-405, May 1997.



조 균 연(Cho Gyoum Yon) 학생회원
 1993년 2월:경희대학교 전자계산
 공학과(공학사)
 1995년 2월:경희대학교 전자계산
 공학과 (공학석사)
 1998년 2월:경희대학교 전자계산
 공학과 (공학박사)
 1998년 4월~현재:한국과학기술원
 전기 및 전자공학
 과(연수연구원)

<연구분야> 이동통신시스템, 통신망, 프로토콜 설계



조 동 호(Cho Dong Ho) 정회원
 1979년 2월:서울대학교 전자공학
 과(공학사)
 1981년 2월:한국과학기술원 전기
 및 전자공학과(공학
 석사)
 1985년 2월:한국과학기술원 전기
 및 전자공학과(공학
 박사)

1985년 3월~1987년 2월:한국과학기술원 통신공학연
 구실 선임연구원

1987년 3월~1998년 1월:경희대학교 전자계산공학과
 조교수, 부교수, 교수

1998년 2월~현재:한국과학기술원 전기 및 전자공학
 과 부교수

<연구분야> 이동통신시스템, 통신망 및 멀티미디어
 시스템



김 태 규(Kim Tae Gue) 정회원
 1987년 3월~1991년 2월:경희
 대학교 전자계산
 공학과 학사
 1991년 3월~1993년 2월:경희
 대학교 전자계산
 공학과 석사
 1993년 3월~1996년 8월:경희
 대학교 전자계산
 공학과 박사

1996년 11월~현재:SK 텔레콤 중앙연구원 선임연구원
 <연구분야> CDMA 시스템, 프로토콜 설계, W-ATM,
 HFR 기술

정 종 민(Cheong Jong Min) 정회원
 1995년 8월:KAIST 전기 및 전자공학과 공학박사
 1995년 9월~현재:SK텔레콤(주) 중앙연구원 선임연
 구원

<연구분야> Hybrid Fiber-Radio Access Network,
 Wireless Communication System Design
 & Analysis