

중첩셀 구조에서 다양한 트래픽을 위한 가변적 채널할당기법

정희원 백승학*, 류시훈**, 박중신**, 이준호***, 이재용**, 이상배**

Dynamic Prioritized Channel Assignment for Multiple Traffic Classes in a Overlay-Cell Structure

Seung Hak Baek*, Shi Hoon Rhu**, Jung Shin Park**, Joon Ho Lee***,
Jai Young Lee**, Sang Bae Lee** *Regular Members*

※본 연구는 한국과학재단 특정기초연구비 지원으로 수행되었습니다.

요 약

본 논문에서는 트래픽 양이 변화하는 중첩셀 구조에서 다양한 트래픽을 효율적으로 서비스하기 위한 채널 할당 기법을 제안한다. 제안한 기법을 통해, 중첩셀 구조의 장점인 용량은 증가하면서 잦은 핸드오프를 방지할 수 있고, 고정채널할당기법이면서도 동적채널할당기법과 유사한 동작을 하여 각 트래픽의 서비스품질(GOS) 허용치를 만족할 수 있다. 제안한 기법과 중첩셀 환경에서 각 트래픽에 일정 수의 보호채널을 가진 고정채널할당기법과 비교·분석 결과, 제안한 방식의 우수함을 볼 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we have proposed a channel assignment scheme for the multiple traffic class environment where the traffic volume varies with time. Our basic idea is to assign radio channels considering the characteristics of each traffic class and mobile speed and change the number of allocated channels for each traffic class according to variation of traffic volume. To evaluate the performance of our proposed algorithms, we conducted analytical and simulation studies. We derived new call blocking probability and hand-off failure probability of the proposed scheme analytically. The simulation results show that our proposed algorithms can grantee GOS of each traffic class and provide a fairness between the new call and the hand-off call.

I. 서 론

* 삼성전자 ATM 교환 연구원
** 연세대학교 전자공학과
*** 서울산업대학교 전자공학과
論文番號 : 97436-1128
接受日字 : 97年 11月 28日

무선망의 발전과 더불어 이동 통신 가입자도 엄청나게 증가하고 있으며, 보다 다양한 서비스를 요구하고 있다. 대체로 반경 약 수 km에서 수십 km 정도의 매크로셀(macro-cell)구조에서 음성 서비스만을 제공하는 기존의 무선 통신 시스템에서는 이러한 요구를 감

당하지 못한다. 이를 해결하기 위해 주파수 재사용 거리를 짧게 하여 많은 가입자를 수용할 수 있도록 마이크로셀(micro cell) 혹은 피코셀(pico cell) 구조에 대해 많이 연구되어 왔다⁽¹⁾. 그러나, 작은 크기의 셀을 가진 망에서의 단점은 이동체가 빠르게 움직이면 잦은 핸드오프가 발생하기 때문에 시그널링 부하가 커지고, 서비스 품질을 유지하기 어렵다는 점이다. 이 단점을 극복하기 위한 방안으로 다중계층셀 구조가 등장하였다⁽²⁻⁷⁾. 트래픽 발생률이 큰 지역에 크기가 다른 셀들을 중복하여 설치함으로써, 시스템의 용량은 커지고 고속 이동체의 잦은 핸드오프 문제를 해결할 수가 있다.

다중계층셀 구조에서의 채널 할당의 방식은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 1) 무선자원의 낭비없는 효율적 사용을 위해 최하위 계층에서부터 채널할당을 하고 상위계층은 하위계층의 오버플로우(overflow)를 받아들일도록 하는 방식⁽⁴⁾⁽⁶⁾과, 2) 속도를 고려해서 고속으로 이동하는 이동체에는 매크로셀에서, 저속으로 이동하는 이동체에서는 마이크로셀이나 피코셀에서 서비스함으로써 핸드오프 회수를 줄여 시스템에 시그널링 부하를 줄이는 방식이다⁽³⁾⁽⁵⁾. 그러나, 전자의 방식은 잦은 핸드오프에 따른 시그널링 부하의 증가가 여전히 문제가 되고, 후자의 방식은 잦은 핸드오프에 의한 문제는 없지만 계층별로 채널 배분이 적합하지 못하거나 고속, 저속 이용자의 호 발생률이 변화하면 채널을 충분히 효율적으로 관리할 수 없다. 따라서, 중첩셀 구조의 잇점을 효율적으로 이용할 수 있는 새로운 채널할당기법이 요구된다. 또한, 지금까지 중첩셀에 관한 연구가 일정한 트래픽 분포를 가지는 환경에서 음성과 같이 동일한 대역을 가지는 트래픽이 부가된 경우에 집중되어 있어서 트래픽 양이 변화하는 상황에서 다양한 대역의 트래픽을 지원하는 경우의 연구가 부족하다.

본 논문에서는 다양한 트래픽을 서비스하고 트래픽의 양이 변화하는 상황에서 다중계층셀 구조 중 두 계층으로 이루어진 중첩셀 구조를 효율적으로 이용할 수 있는 채널 할당 기법을 제시한다. 중첩셀 구조의 장점을 잘 살릴 수 있도록 속도와 트래픽에 적합한 채널 할당을 시행하고, 변화하는 트래픽과 속도 환경에서 빠르게 적용하기 위해 음성·데이터 트래픽 채널의 수와 보호 채널의 수를 동적으로 결정하는 알고리즘을 제안한다. 각 채널 수가 초기호 차단확률(new

call blocking probability)과 핸드오프 실패확률(hand-off failure probability)이 규정된 GOS(Grade of Service) 값을 넘지 않도록 함으로써, 원하는 서비스품질 얻을 수 있도록 조정된다.

본 논문의 제 II장에서는 제안하는 채널할당기법과 가변채널 알고리즘을 설명하고, 제 III장에서는 수학적 분석을 통해 성능평가지수를 얻어낸다. 제 IV장에서는 제 III장에서 계산한 성능평가지수를 이용하여 제안한 기법과 중첩셀 환경에서 각 트래픽에 일정 수의 보호채널을 가진 고정 채널할당기법과 비교하여 제안한 방식의 우수함을 보인다. 제 V장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구방향에 대해 논의하도록 한다.

II. 제안하는 가변적 채널할당기법

현재까지의 중첩셀 구조에 관한 연구는 일정한 트래픽 분포를 가지는 영역에서 음성 트래픽만을 서비스하는 경우에 일관되어 왔다. 그러나, 여러 대역을 요구하는 데이터 트래픽을 함께 서비스해야 하는 환경이 되면, 각 트래픽의 특성과 발생률의 변화는 음성 트래픽만을 고려하던 환경에서와는 달리 채널의 상태에 큰 영향을 미치게 된다. 예를 들어, 음성보다 많은 채널을 요구하는 데이터의 발생률이 증가하면 음성 트래픽 발생률이 증가했을 때와는 다르게 제한된 채널 내에서 다른 트래픽의 서비스품질을 크게 떨어뜨릴 수 있게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해, 중첩셀 구조의 장점을 최대한 이용하여 음성과 데이터의 두가지 트래픽을 효율적으로 서비스해 주기 위해 셀 내의 이동체의 평균 속도와 각 트래픽의 특성을 고려하였고, 두 트래픽간의 서비스 품질이 규정된 수치를 최대한 만족할 수 있도록 하는 채널 조정 알고리즘을 제안하였다.

1. 제안하는 채널할당기법의 구조

제안한 채널할당기법은 속도와 트래픽의 특성을 고려하여 현재까지 연구되어 온 중첩셀 구조에 대한 채널할당기법을 응용하였다. 이것을 도시화하면 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

① 속도에 따른 채널할당

이동체의 속도에 따라서 저속과 고속 사용자를 4km/hr

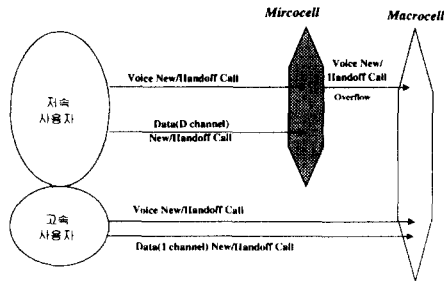


그림 1. 제안된 중첩셀 구조에서의 채널 할당

를 기준으로 구분하여 각각 마이크로셀 계층과 매크로셀 계층에서 서비스한다. 속도 정보는 단말에서 수시로 체크하여 알고 있고, 호설정시간(Call Setup Time)에 기지국에서 이 정보를 이용해 이동체의 속도를 알 수 있다. 이 속도 정보를 통해 어느 계층의 채널을 할당할 것인가를 결정한다. 시스템에서는 호 설정 단계에서 결정된 속도 수치를 이동체의 속도로 간주하며, 이 정보는 핸드오프시에만 갱신된다. 시스템의 채널 조정에 사용하는 셀 내의 이동체의 속도는 현재 서비스하고 있는 이동체들의 속도 평균값을 사용한다.

② 트래픽에 따른 채널할당

음성호와 데이터호 두 종류의 트래픽을 두 계층 모두에서 서비스한다. 매크로셀 계층에서는 음성호와 데이터호의 구분 없이 한 호(call)당 한 개의 채널을 사용하며, 마이크로셀 계층에서는 데이터호가 한 호당 D개의 채널을 사용할 수 있도록 한다. 매크로셀 계층에서는 마이크로셀 계층에 비해 상대적으로 일정 면적당 채널의 수가 부족하므로 저속 데이터서비스만을 하는 것으로 하였다. 즉, 저속의 이용자는 마이크로셀 계층의 용량 증가라는 장점을 이용하여 큰 지역의 데이터 서비스를 받을 수 있다.

③ 오버플로우 방식을 이용한 채널할당

마이크로셀 계층에 음성 채널이 없는 경우 매크로셀 계층으로의 오버플로우를 허용한다. 데이터호의 경우는 마이크로셀 계층에서 한 호당 D개의 채널을 사용하기 때문에 매크로셀로 오버플로우를 허용하면 매크로셀 계층의 채널 용량에 영향을 미치게 되므로 허용하지 않는다. 또한, 마이크로셀 계층에서 매크로셀 계층으로의 오버플로우도 허용하지 않는다. 이것

은 고속 이용자가 마이크로셀 계층에서 서비스 받을 경우에 잦은 핸드오프로 인한 시스템 부하 발생을 줄이기 위함이다⁽⁶⁾.

2. 제안기법에서의 채널 조정 알고리즘

본 기법에서는 핸드오프호에 우선권을 주기 위해 보호채널(Guard channel)을 사용하는 채널구조를 가진다. 단, 마이크로셀 계층에서는 음성호의 보호채널은 없는 것으로 한다. 마이크로셀에서 음성호는 채널이 부족하면 매크로셀의 채널을 이용하여 서비스 받도록 되어 있고, 매크로셀에서 보호채널을 보유하고 있기 때문에 마이크로셀의 음성호 보호채널은 불필요하다. 본 채널구조에서 음성호와 데이터호에 대해 각각 고정된 채널을 가지고 있으면, 호 발생률이 변화할 때 채널이 부족하거나 남는 경우가 발생한다. 이동체의 속도 변화에 따라라도 초기호 발생률과 핸드오프호 발생률 간의 차이가 발생하면, 보호채널이 너무 많거나 부족하여 각 트래픽의 서비스 품질(GOS)을 만족시키지 못한다. 본 논문에서는 각 트래픽의 GOS 허용치를 규정하고, 이 값을 기준으로 각 트래픽의 채널 및 보호 채널을 조정하여 최대한 서비스품질을 만족시킬 수 있도록 하는 채널 조정 알고리즘을 제안한다. 음성호와 데이터호의 GOS허용치는 초기호 차단 확률과 핸드오프 실패확률의 형태로 표 1과 같이 규정되어 있다고 가정한다. 음성호의 초기호 차단확률은 일반적으로 PSTN에서와 동일하다고 보아 2%로 하고⁽⁹⁾, 핸드오프 실패확률은 이보다 작은 값으로 규정한다. 데이터호도 음성호와 같은 GOS파라미터를 가정한다. 단, 음성호의 경우, 초기호 차단확률과 핸드오프 실패확률이 모두 오버플로우에 의해 매크로셀의 채널상태에 의존하기 때문에, 마이크로셀 계층에서 독자적으로 GOS를 유지하도록 할 수가 없다. 이 때문에, 마이크로셀계층에서 저속 음성호에 대해 독자적인 GOS값(BM)을 주어 이 값을 통해 채널을 조정하도록 한다.

표 1. GOS 파라미터

GOS 파라미터	파라미터 설명	규정된 값
BM	최대 음성/데이터 초기호 차단확률	0.02(2%)
HM	최대 음성/데이터 핸드오프 실패확률	0.001(0.1%)
BMm	마이크로셀의 최대 음성호 오버플로우 확률	0.2(20%)

2.1 마이크로셀에서의 채널 조정

한 셀은 고정된 C_m 개의 채널이 있고, 음성 트래픽을 위한 음성 채널(C_{mV} 개)과 데이터 트래픽을 위한 데이터 채널(C_{mD} 개)로 나누어 지고, 데이터 채널은 일반채널과 핸드오프를 위한 보호채널로 이루어져 있다. 이처럼 음성과 데이터가 구분된 채널을 사용하는 경우에는 두 트래픽간의 채널수를 알맞게 배분하지 못하면, 채널의 낭비나 여유채널이 있음에도 상대 트래픽을 수용할 수 없는 상황을 가져올 수 있다. 본 논문에서는 두 트래픽의 밀도에 따라 먼저 적합한 개수의 채널을 결정하고, 이후의 트래픽 양의 변화에 따라 제한한 알고리즘 AM1을 통해 상황에 적용하면서 규정된 GOS 값을 만족하도록 채널을 조정한다. 알고리즘에서는 데이터 일반채널의 개수를 x 개, 데이터 보호채널 개수를 y 개, 음성채널의 개수를 z 개라 하고, 이때의 데이터 초기호 차단확률을 $DB(x, y)$, 데이터 핸드오프 실패확률을 $DH(x, y)$, 음성 초기호 차단확률을 $VB(z)$ 라 표기하기로 한다. 음성 채널, 데이터 일반채널, 데이터 보호채널로 이루어진 마이크로셀의 채널을 주어진 규정된 GOS(표 1)과라미터를 만족할 수 있도록 조정하는 알고리즘의 기본 동작을 설명하면 ①~⑤와 같다.

- ① $DB(x, y)$, $DH(x, y)$, $VB(z)$ 모두 규정된 GOS를 만족하는 경우, 채널조정을 하지 않는다.
- ② $DB(x, y)$, $DH(x, y)$, $VB(z)$ 모두 규정된 GOS를 만족하지 않는 경우, 채널을 조정하여도 모든 GOS값을 만족시킬 수 없으므로 채널조정을 하지 않는다.
- ③ 채널 조정시에는 변화시키는 채널을 사용하는 트래픽이 조정이후에도 규정된 GOS를 만족하는 경우에만 조정한다.
- ④ 데이터호의 초기호 차단확률 혹은 핸드오프 실패확률이 규정된 GOS를 만족하지 못하게 되면, 우선 음성 채널을 데이터 채널로 전환할 수 있는지 살펴보고 가져올 수 없는 경우에 데이터 채널내의 일반채널과 보호채널 간의 조정을 고려한다.
- ⑤ 음성의 초기호 차단확률이 규정된 GOS를 만족하지 못하게 되면, 우선 데이터 일반 채널을 음성 채널로 전환할 수 있는지 살펴보고 다음으로 데이터 보호 채널을 고려한다.

이 과정을 명확히 하면 그림 2의 알고리즘 AM1으로 기술할 수 있다.

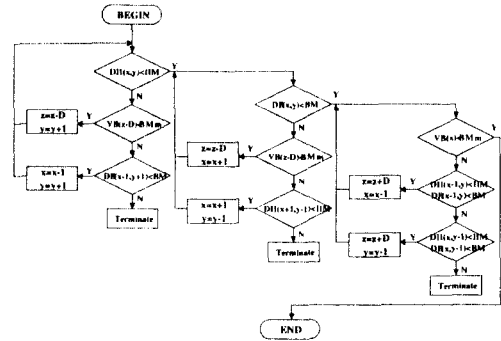


그림 2. 마이크로셀 계층에서의 채널 조정 알고리즘[AM1]

이 알고리즘을 통해 음성호와 데이터호의 채널을 조정함으로써 고정채널할당기법(FCA)이면서 동적채널할당기법(DCA)의 단점을 보완하고 장점만을 가져오는 효과를 볼 수 있다. 음성호의 경우, 중첩셀 구조의 특성을 이용하여 오버플로우가 발생하면 매크로셀의 채널을 사용하므로 마치 동적채널할당기법에서 채널풀을 사용하는 것과 유사한 효과를 얻을 수 있고, 데이터호의 경우, 데이터 채널 전체의 개수가 트래픽에 따라 가변적이므로 역시 동적채널할당기법에서 채널을 트래픽 양에 따라 셀마다 다르게 주는 것과 비슷하다. 반면에 동적채널할당기법에서는 트래픽 발생량이 증가하면 채널간의 간섭 등의 영향으로 통화 품질이 나빠지는 단점이 있지만, 본 제안기법에서는 기본적으로 채널간섭을 가장 최소화하는 상태로 셀당 채널개수가 고정된 고정채널할당방식이므로 통화 품질은 크게 감소하지 않는다.

2.2 매크로셀 계층에서의 채널 조정 알고리즘

한 매크로셀의 채널 구조는 C_M 개의 고정된 채널 중 C_{MV} 개의 일반 채널과 C_{MD} 개의 보호채널로 이루어져 있어, 일반 채널은 서비스 가능한 모든 트래픽을 받아 들이고, 보호채널은 일반채널에 여유가 없을 때 인접 매크로셀 혹은 마이크로셀에서 핸드오프되는 트래픽만을 받아 들인다. 매크로셀 계층의 채널상태는 고속 이동체의 호의 발생률 뿐만 아니라, 자신의 영역 내에 있는 K 개의 마이크로셀로부터 음성호 발생률에도 영향을 받기 때문에 경우에 따라, 초기호 차단확률, 핸드오프 실패확률이 규정된 GOS 수치보다 크게 높아질 수 있다. 이것을 방지하기 위해, 알고

리듬 AM2를 이용하여 보호채널을 조정한다. 한 매크로셀의 일반채널의 개수를 x 개, 보호채널 개수를 y 개라고 하고, 이때의 초기호 차단확률을 $B(x, y)$, 핸드오프호 실패확률을 $H(x, y)$ 로 표기하기로 한다. 매크로셀의 채널을 각 트래픽이 주어진 규정된 GOS(표 1)파라미터를 만족하도록 하는 알고리즘의 기본동작은 ①~④와 같다.

- ① $B(x, y), H(x, y)$ 모두 규정된 GOS를 만족하는 경우, 채널조정을 하지 않는다.
- ② $B(x, y), H(x, y)$ 모두 규정된 GOS를 만족하지 않는 경우, 채널을 조정하여도 모든 GOS값을 만족시킬 수 없으므로 채널조정을 하지 않는다.
- ③ 채널 조정시에는 변화시키는 채널을 사용하는 트래픽이 조정이후에도 규정된 GOS를 만족하는 경우에만 조정한다.
- ④ 핸드오프 실패확률이 규정된 GOS를 만족하지 못하게 되면, 일반채널을 보호채널로 전환할 수 있는지 살펴보고, 초기호 차단확률이 규정된 GOS를 만족하지 못하게 되면, 보호채널을 일반채널로 전환할 수 있는지 살펴본다.

①, ②, ③은 알고리즘 AM1과 동일한 맥락에서 사용되고, 채널은 ④에 의해 조정된다. 매크로셀 계층에서는 일반채널과 보호채널 두 가지만 존재하고 전체 채널의 수가 일정하기 때문에 간단하게 조정될 수 있다. 일반적으로 보호채널은 적은 수의 증가로도 핸드오프 실패확률을 크게 낮추기 때문에, 핸드오프호가 증가할 때 초기호 차단확률은 GOS를 유지하면서 핸드오프 확률은 크게 낮출 수 있게 된다. 이 과정을 명확히 하면 그림 3의 알고리즘 AM2로 기술 할 수 있다.

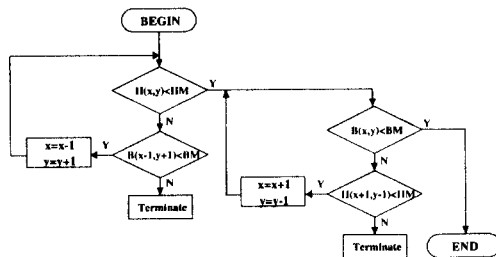


그림 3. 매크로셀 계층에서의 채널 조정 알고리즘[AM2]

III. 수학적 분석

본 장에서는 수학적 분석을 통해 제안된 방식의 성능평가지수를 얻는다. 성능평가지수는 초기호 차단확률과 핸드오프 실패확률로 하며, 5장의 수학적 분석의 예를 통해 성능을 평가한다. 성능평가지수는 평균 채널점유시간과 트래픽 발생률, 채널 개수를 통해 연산되고, 평균 채널점유시간은 평균 핸드오프 회수와 함께 이동체의 속도에 따른 핸드오프 발생률의 변화를 고려하여 계산한다. 분석 과정을 통하여 이동체의 속도와 핸드오프 발생률과의 관계를 살펴 보고, 속도를 고려한 성능평가지수를 구한다.

1. 수학적 모델을 위한 가정 및 전제조건

주어진 영역내의 트래픽은 같은 계층의 모든 셀 내에서는 균일하게 분포되어 있고, 이동 단말은 한 셀에서는 일정한 방향과 속도를 가지며, 이동단말의 이동특성은 Fluid 모델을 따른다고 가정하고, 이 모델을 통해 핸드오프 발생률을 계산한다. Fluid 모델은 거시적인 이동모델로 셀 내의 전체적인 이동상태를 고려할 때 적합하고 분석이 용이한 장점이 있다⁽⁸⁾. 음성호·데이터호의 발생률은 포아송과정(Poisson Process)를 따르고, 이들 호 지속시간 및 이동체의 셀 내 잔류시간(Dwell Time)은 모두 부지수분포(Negative Exponential Distribution)을 따른다고 가정한다. 분석에 사용되는 파라미터에 대한 표기는 표 2와 같다. 매크로셀 계층에서는 음성·데이터에 무관하게 같은 채널 풀에서 한 호당 한 개의 채널을 배정하므로 구분없이 사용한다. 음성호와 데이터호의 지속시간(Call Duration Time)은 각각 평균이 $\overline{T}_V (= 1/\mu_V)$, $\overline{T}_D (= 1/\mu_D)$ 인 부지수분포를 따르며, 매크로셀에서는 음성호, 데

표 2. 분석 파라미터

	Macrocell		Microcell	
	음성/데이터호	음성호	음성호	데이터호
속도	V_M	V_m		
셀 반지름	R_M	R_m		
셀 면적	S_M	S_m		
단위면적당 호발생률	λ_{MA}	λ_{mVA}	λ_{mDA}	
셀당 호발생률	λ_{MN}	λ_{mVN}	λ_{mDN}	
셀당 핸드오프호 발생률	λ_{MH}	λ_{mVH}	λ_{mDH}	

이터호에 관계없이 평균이 $\overline{T_{MT}} (= 1/\mu_M)$ 인 부지수 분포를 따른다고 가정한다.

2. 평균 채널점유시간 및 평균 핸드오프 회수

2.1 마이크로셀 계층

이동단말이 한 셀에서 머무는 시간(Dwell Time)은 평균이 $\overline{T_m} (= 1/\eta_m)$ 인 부지수분포를 따른다고 하면, η_m 은 Fluid 모델에 따라 식 (1)과 같이 연산된다. 식 (1)에서 셀 반경 R_m 이 결정되면 $\frac{4}{\pi\sqrt{3}R_m}$ 는 상수가 되므로, 이 값을 α 라 하자.

$$\eta_m = \frac{4}{\pi\sqrt{3}} \cdot \frac{V_m}{R_m} = \alpha \cdot V_m \quad (1)$$

마이크로셀에서 음성 트래픽의 채널 해제율을 μ_{mVC} , 데이터 트래픽의 채널 해제율을 μ_{mDC} 라 하면, 이를 통해 채널 점유시간(Channel Occupancy Time)을 계산할 수 있다.

$$\overline{T_{mVC}} = \frac{1}{\mu_V + \eta_m} = \frac{1}{\mu_V + \alpha \cdot V_m} \quad (2)$$

$$\overline{T_{mDC}} = \frac{1}{\mu_D + \eta_m} = \frac{1}{\mu_D + \alpha \cdot V_m} \quad (3)$$

마이크로셀에서의 음성호 오버플로우 확률을 $P_{B_{mV}}$ 라 하고, 마이크로셀에서 매크로셀로 오버플로우가 발생한 경우는 이용자의 속도가 느려서 더이상 핸드오프가 일어나지 않는다고 가정하면, 평균 핸드오프 회수는 식 (4)와 같아진다.

$$\overline{H_{mV}} = \frac{\alpha \cdot V_m}{\mu_V + \alpha \cdot P_{B_{mV}} \cdot V_m} \quad (4)$$

데이터의 경우에 핸드오프 실패확률이 작다고 가정하면 평균 핸드오프 회수는 식 (5)와 같이 연산된다.

$$\overline{H_{mD}} = \frac{\alpha \cdot V_m}{\mu_D} \quad (5)$$

2.2 매크로셀 계층

이동단말이 한 매크로셀에서 머무는 시간이 평균이

$\overline{T_M} (= 1/\eta_M)$ 인 부지수분포를 따른다고 하면, η_M 은 Fluid 모델에 따라 다음과 같이 연산된다. 식 (6)에서 셀 반경 R_M 이 결정되면 $\frac{4}{\pi\sqrt{3}R_M}$ 는 상수가 되므로, 이 값을 β 라 하자.

$$\eta_M = \frac{4}{\pi\sqrt{3}} \cdot \frac{V_M}{R_M} = \beta \cdot V_M \quad (6)$$

앞서 마이크로셀에서와 동일한 방법으로 채널점유 시간 및 핸드오프 회수를 계산하면 식 (7), 식 (8)과 같이 구해진다.

$$\overline{T_{MC}} = \frac{1}{\mu_M + \eta_M} = \frac{1}{\mu_M + \beta \cdot V_M} \quad (7)$$

$$\overline{H_M} = \frac{\beta \cdot V_M}{\mu_M} \quad (8)$$

3. 성능 파라미터

성능 파라미터로는 초기호 차단확률과 핸드오프 실패확률을 이용하며, 이를 통해 알고리즘에서 사용하는 $B(x, y)$, $H(x, y)$, $DB(x, y)$, $DH(x, y)$, $VB(z)$ 를 구할 수 있게 된다. 여기에는 속도를 고려하여 앞서 연산한 평균 채널점유시간을 사용한다. 이를 통해 보다 정확한 확률값들을 찾아낼 수 있다.

3.1 마이크로셀에서의 성능 파라미터

음성 트래픽 채널에 대한 오버플로우 확률($P_{B_{mV}}$)은 Birth-Death 과정을 통해 계산된다. $P_{mV}(j)$ 을 음성채널이 j 개 차있을 확률이라 하면, 이로부터 마이크로셀에서 음성호의 오버플로우 확률 $P_{B_{mV}}$ 를 계산할 수 있다.

$$P_{B_{mV}} = P_{mV}(C_{mV}) = \frac{(\lambda_{mVN} + \lambda_{mVH})^{C_{mV}}}{C_{mV}! \mu_{mVC}^{C_{mV}}} \left[\sum_{k=0}^{C_{mV}} \frac{(\lambda_{mVN} + \lambda_{mVH})^k}{k! \mu_{mVC}^k} \right]^{-1} \quad (9)$$

마이크로셀 계층에서는 오버플로우가 발생하면 매크로셀로 트래픽이 넘어가므로, 저속 이용자의 음성 초기호 차단확률($P_{B^*_{mV}}$)과 핸드오프 실패확률($P_{H^*_{mV}}$)은 다음과 같다.

$$PB_{mV}^* = PB_{mV} \cdot PB_{MV} \quad (10)$$

$$PH_{mV}^* = PB_{mV} \cdot PH_{MV} \quad (11)$$

데이터호의 경우에 $P_{mD}(j)$ 를 데이터의 채널이 j 개 차있을 확률이라 하면, Birth-Death 과정을 통해 초기호 차단확률과 핸드오프 실패확률을 구한다.

$$P_{mD}(j) = \frac{(\lambda_{mDN} + \lambda_{mDH})^j}{j! \mu_{mDC}^j} P_{mD}(0),$$

for $j = 1, 2, 3, \dots, C_{mD} - C_{mDH}$

$$= \frac{(\lambda_{mDN} + \lambda_{mDH})^{C_{mD} - C_{mDH}} (\lambda_{mDH})^{j - (C_{mD} - C_{mDH})}}{j! \mu_{mDC}^j} P_{mD}(0),$$

for $j = C_{mD} - C_{mDH} + 1, \dots, C_{mD}$

$$P_{mD}(0) = \left[\sum_{k=0}^{C_{mD} - C_{mDH}} \frac{(\lambda_{mDN} + \lambda_{mDH})^k}{k! \mu_{mDC}^k} + \sum_{k=C_{mD} - C_{mDH} + 1}^{C_{mD}} \frac{(\lambda_{mDN} + \lambda_{mDH})^{C_{mD} - C_{mDH}} (\lambda_{mDH})^{k - (C_{mD} - C_{mDH})}}{k! \mu_{mDC}^k} \right]^{-1} \quad (12)$$

이에 따른 데이터호 차단확률(PB_{mD})과 핸드오프 실패확률(PH_{mD})은 다음과 같이 계산된다.

$$PB_{mD} = \sum_{j=C_{mD}-C_{mDH}}^{C_{mD}} P_{mD}(j) \quad (13)$$

$$PH_{mD} = P_{mD}(C_{mD}) \quad (14)$$

3.2 매크로셀에서의 성능 파라미터

매크로셀에서는 음성호와 데이터호가 모두 한 개의 채널을 사용하고 서로 채널풀을 공유하므로, 초기호 차단확률과 핸드오프 실패확률은 트래픽의 종류와 관계없이 통합하여 연산하며, 마이크로셀 계층에서 유입되는 음성호를 고려해야 한다. 따라서, 매크로셀에서 발생한 통합된 초기호를 λ_N , 핸드오프호 도착률을 λ_H 라 하면, 마이크로셀에서 매크로셀로 유입되는 핸드오프호를 포함한 전체 호발생률은 다음과 같이 연산된다. K 는 한 매크로셀이 덮고 있는 마이크로셀의 수를 의미한다.

$$\lambda_N = \lambda_{MN} + K \cdot \lambda_{mVN} \cdot PB_{mV} \quad (15)$$

$$\lambda_H = \lambda_{MH} + K \cdot \lambda_{mVH} \cdot PB_{mV} \quad (16)$$

초기호 차단확률과 핸드오프호 실패확률은 채널의 상대확률을 $P_M(j)$ 라고 할 때, 위의 데이터호의 분석과 같은 과정을 통하여 얻을 수 있다.

$$PB_M = \sum_{j=C_M-C_M}^{C_M} P_M(j) \quad (17)$$

$$PH_M = P_M(C_M) \quad (18)$$

IV. 수학적 분석의 예

본 장에서는 성능 평가 결과를 보이기 위해, 필요한 파라미터들을 구체적으로 설정하고 수학적 분석에서 얻어진 성능평가지수를 통해 제안 방식을 평가한다. 우선, 제안하는 채널할당 기법이 일반 마이크로셀 구조와 오버플로우만을 허용하는 혹은 속도에 따라서만 채널할당을 하는 중첩셀 구조에 대해 어떤 장점을 갖는지를 보이기 위해, 평균 채널점유시간 및 평균 핸드오프 회수를 알아보고, 다음으로 채널 조정 알고리즘의 성능을 평가한다. 평가 환경은 음성호와 데이터호의 발생률이 달라지는 여러 조건에서 이동체의 평균 속도의 변화에 따라 제안된 방식이 고정된 음성, 데이터, 보호 채널을 가지는 방식이 대해 어떤 이득이 있으며, GOS파라미터를 위배할 수 있는 상황에서 규정된 GOS를 만족하도록 채널 조정이 가능한지를 알아본다. 본 장에서 사용하는 각종 환경 파라미터는 표 3을 따른다고 가정한다.

표 3. 환경 파라미터 값 설정

파라미터	파라미터 설명	파라미터 값
R_M	매크로셀 반경	2.5 km
R_m	마이크로셀 반경	0.5 km
K	한 매크로셀내의 마이크로셀 수	19
C_M	한 매크로셀의 채널 수	50
C_{MH}	한 매크로셀 개의 보호채널 수	Variable
C_m	한 마이크로셀의 채널 수	30
C_{mV}	한 마이크로셀 내의 음성 채널 수	Variable
C_{mD}	한 마이크로셀 내의 데이터 채널 수	Variable
C_{mDH}	한 마이크로셀 내의 데이터 보호 채널 수	Variable
D	마이크로셀에서 데이터호 하나가 차지하는 채널 수	2
$1/\mu_V$	평균 음성호 지속 시간	120 s
$1/\mu_D$	평균 데이터호 지속 시간	120 s
$1/\mu_M$	매크로셀에서의 평균 호 지속 시간	120 s

분석 결과는 매크로셀에서의 고속 음성·데이터호, 저속 음성호 및 저속 데이터호의 세가지 트래픽의 단위면적당 발생률(/km/hr) 및 저속과 고속 이동체의 속도 변화에 따라 초기호 차단확률값과 핸드오프 실패 확률값이 어떻게 나타나는가 살펴본다. 제안 알고리즘이 계층별로 수행되므로 결과는 계층별로 구분하여 알아 본다.

1. 평균 핸드오프 회수를 통한 성능 평가

일반적인 마이크로셀 구조와 여러 채널할당기법을 사용하는 중첩셀 구조와의 성능비교를 위해 평균 핸드오프 회수를 사용한다. 한 호당 D개의 채널을 점유하는 데이터호는 마이크로셀에서만 서비스하므로 비교의 의미가 없으므로 음성호만을 고려하고, 고속·저속 이용자의 비율에 따라 평가한다. 분석을 용이하게 하기 위해 제안 방식에서의 매크로셀 계층의 모든 호는 음성호로 간주하고 마이크로셀 계층에서 매크로셀 계층으로의 오버플로우는 20%로 고정하며, 이동체의 평균 속도는 고속의 경우 30km/hr, 저속의 경우 3km/hr로 가정한다. 마이크로셀 구조에서의 평균 핸드오프 회수를 H1, 속도를 고려하지 않고 오버플로우만 허용하여 채널할당을 하는 중첩셀 구조에서의 평균 핸드오프 회수를 H2, 속도에 따라 계층별로 고정된 채널할당을 하는 중첩셀 구조에서의 평균 핸드오프 회수를 H3, 제안 기법에서의 평균 핸드오프 회수를 H4라 하면, 전체 트래픽 발생량에 대한 고속 트래픽 발생률의 증가에 따른 비교 결과를 그림 4에서 나타내고 있다.

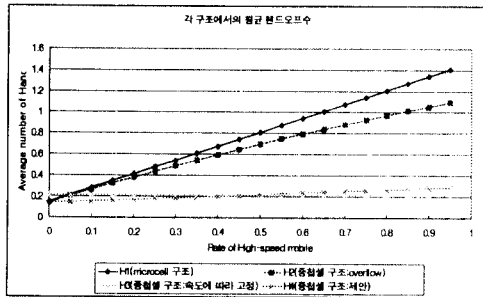


그림 4. 각 구조에서의 평균 핸드오프 회수

평균 핸드오프 회수는 제안 기법이 일반 마이크로셀

구조나 오버플로우를 사용하는 중첩셀 구조에서보다 훨씬 줄어들고, 속도에 따라 채널할당을 하는 경우와 비슷한 것을 볼 수 있다. 즉, 이것은 핸드오프에 따른 시스템의 부하가 크게 감소한다는 것을 의미한다.

2. 채널 조정 알고리즘에 대한 성능 평가

채널 조정 알고리즘에 대한 성능 평가는 제안 방식과 고정된 채널을 가지는 방식을 비교한다. 두 방식의 성능 비교는 호 발생률이 아주 작거나 아주 클 때는 큰 의미가 없으므로 음성과 데이터의 규정된 GOS를 위배할 수 있는 정도의 busy한 상태를 기준으로 한다. 각 트래픽의 발생률과 셀 내 이동체 평균 속도가 변화할 때, 제안한 기법에서 규정된 GOS를 만족시키도록 채널을 조정할 수 있는지를 알아본다.

2.1 마이크로셀에서의 성능 평가

초기의 음성호와 데이터호의 발생률이 각각 150km/hr, 150km/hr이고, 두 트래픽의 채널은 같은 수를 보유하고 있다고 가정한다. 데이터 보호채널은 1개로 하고, 이때의 성능평가지수는 모두 규정된 GOS 값을 위반하지 않는다.

① 데이터호 발생률이 증가한 경우

데이터호의 발생률이 200km/hr로 증가한 경우, 표 4와 같이 채널이 조정된다.

표 4. 마이크로셀 계층에서의 채널 조정(1)

	초기호 발생률 (/km/hour)	초기 채널 개수 채널개수(보호채널수)	최종 채널 개수 (제안방식 적용)
음성호	150	10	8
데이터호	200	10(1)	11(1)

그림 5, 그림 6에서는 각각 이 때의 음성 오버플로우 확률과 데이터 초기호 차단확률·핸드오프 실패 확률이 셀 내의 이동체 속도 변화에 따라 어떻게 변화하며, 제안 방식에서 채널 조정으로 규정된 GOS 파라미터를 만족할 수 있는지를 보여준다. 고정채널기법에서는 데이터호의 차단확률 및 핸드오프 실패 확률이 규정된 GOS 파라미터를 만족시키지 못하지만, 제안기법에서는 음성호의 GOS가 규정된 값을 위반하지 않는 범위에서 데이터 채널을 증가시켜서 모든 성능 평가지수의 GOS를 만족한다.

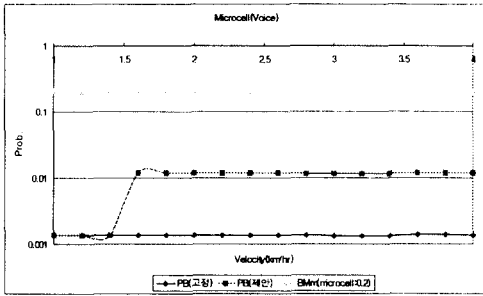


그림 5. 음성 오버플로우 확률($\lambda_{mVN}=150, \lambda_{mDN}=200$)

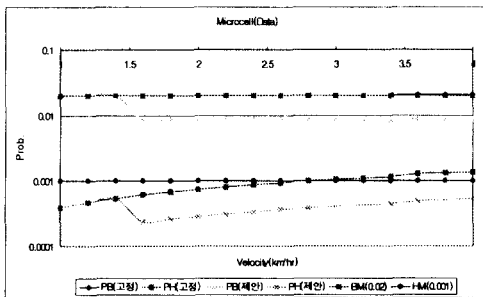


그림 6. 데이터 초기호 차단확률 및 핸드오프 실패확률 ($\lambda_{mVN}=150, \lambda_{mDN}=200$)

② 음성호 발생률이 증가한 경우

음성호의 발생률이 500km/hr로 증가한 경우, 표 5와 같이 채널이 조정된다.

표 5. 마이크로셀 계층에서의 채널 조정(2)

	초기호 발생률 (/km/hour)	초기 채널 개수 채널개수(보호채널수)	최종 채널 개수 (제안방식 적용)
음성호	500	10	12
데이터호	150	10(1)	9(1)

그림 7, 그림 8에서는 각각 음성호의 발생률이 증가했을 때의 음성 오버플로우확률과 데이터 초기호 차단확률·핸드오프 실패확률이 셀 내의 이동체 속도 변화에 따라 어떻게 변화하며, 제안 방식에서 채널 조정으로 규정된 GOS 파라미터를 만족할 수 있는지를 보여준다. 음성호의 발생률 증가로 셀내의 이동체 평균이동속도가 증가함에 따라 고정채널기법에서는

음성호의 오버플로우 확률이 규정된 GOS를 만족시키지 못하지만, 제안기법에서는 데이터호의 GOS가 규정된 값을 위반하지 않는 범위에서 음성 채널을 증가시켜서 모든 성능평가지수의 GOS를 만족한다.

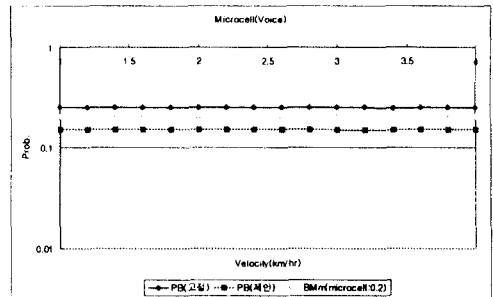


그림 7. 음성 오버플로우 확률($\lambda_{mVN}=500, \lambda_{mDN}=150$)

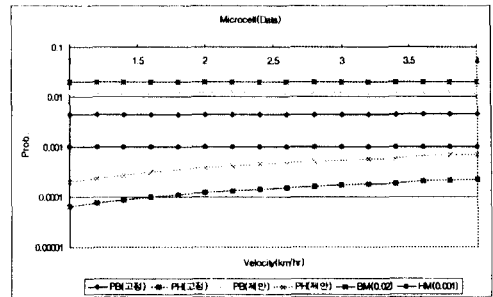


그림 8. 데이터 초기호 차단확률 및 핸드오프 실패확률 ($\lambda_{mVN}=500, \lambda_{mDN}=150$)

②에서 음성호 발생률은 아주 크게 증가하는 경우에만 채널의 조정을 해야 할 정도의 음성호 품질에 영향을 미치지, ①의 경우에서 보여지듯이 데이터호의 증가는 약간의 증가로도 호의 품질에 영향을 준다. 이로부터 음성보다 큰 채널을 사용하는 데이터호 발생률의 증가가 채널의 상태와 호의 품질에 음성호 발생률의 증가에 비해 훨씬 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 즉, 음성뿐 아니라 큰 대역을 요구하는 데이터 서비스를 하는 경우에는 각 트래픽 채널 개수를 조정하는 채널할당 기법을 사용하면 호의 서비스 품질유지에 뛰어난 효과를 볼 수 있다.

2.2 매크로셀에서 음성호 및 데이터호의 성능 평가
 매크로셀에서는 음성호와 데이터호의 구분 없이 모든 호가 한 개의 채널을 사용한다. 따라서, 트래픽 종류에 관계없이 초기호 발생률과 속도의 변화에 따라 보호채널의 개수를 결정하는 제안 기법을 사용한다. 마이크로셀에서와 동일하게 기본적으로 50개의 채널 중 보호채널을 1개 가지고 있는 경우와 매크로셀의 고속이용자의 초기호 발생률 증가와 마이크로셀에서의 오버플로우의 증가에 따라 제안 기법을 사용하는 경우를 비교한다. 매크로셀에서의 초기호와 마이크로셀 계층에서의 음성초기호가 처음에는 각각 60km/hr, 100km/hr이며, 보호채널이 1개일때 규정된 GOS를 모두 만족하고 있는 상태이다.

① 매크로셀의 초기호가 증가한 경우

표 6. 매크로셀에서의 채널 조정(1)

	초기호 발생률 (1/km/hour)	초기 보호 채널 개수	최종 보호 채널 개수 (제안방식 적용)
매크로셀 초기호	65	1	2
마이크로셀 음성초기호	100		

그림 9에서는 매크로셀의 초기호 발생률이 증가했을 때의 초기호 차단확률 및 핸드오프 실패확률이 셀 내의 이동체 속도 변화에 따라 어떻게 변화하며, 제안 방식에서 채널 조정으로 규정된 GOS 파라미터를 만족할 수 있는지를 보여준다.

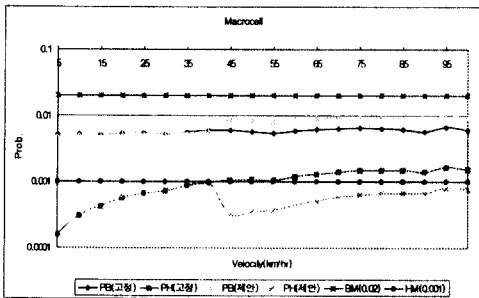


그림 9. 초기호 차단확률 및 핸드오프 실패확률($\lambda_{MN}=65$, $\lambda_{mVN}=100$)

고정채널기법에서는 핸드오프호 발생률에 영향을 주

어 셀 내의 속도 증가에 따라 핸드오프 실패확률이 GOS 값을 벗어나게 된다. 이때 제안 기법에서는 보호 채널수를 늘려 초기호 차단확률 및 핸드오프 실패확률의 GOS를 모두 유지할 수 있다.

② 마이크로셀의 음성 초기호 증가로 인한 오버플로우 증가

표 7. 매크로셀에서의 채널 조정(2)

	초기호 발생률 (1/km/hour)	초기 보호 채널 개수	최종 보호 채널 개수 (제안방식 적용)
매크로셀 초기호	60	1	2
마이크로셀 음성초기호	250		

그림 10에서는 마이크로셀의 음성 초기호 발생률이 증가했을 때의 초기호 차단확률 및 핸드오프 실패확률이 셀 내의 이동체 속도 변화에 따라 어떻게 변화하며, 제안 방식에서 채널 조정으로 규정된 GOS 파라미터를 만족할 수 있는지를 보여준다.

마이크로셀 계층의 음성초기호 발생률이 증가하면 매크로셀 계층로의 오버플로우가 커져 고속 이용자의 속도 증가가 핸드오프에 큰 영향을 준다. 고정채널기법에서는 핸드오프 실패확률이 GOS 값을 벗어나게 될 때, 제안 기법에서는 채널조정을 통해 초기호 차단확률 및 핸드오프 실패확률의 GOS를 모두 유지할 수 있게 한다.

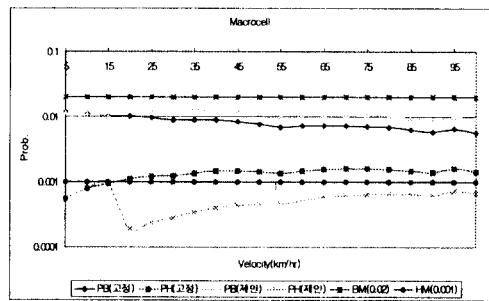


그림 10. 초기호 차단확률 및 핸드오프 실패확률($\lambda_{MN}=60$, $\lambda_{mVN}=250$)

V. 결 론

성능 분석을 통해, 마이크로셀 구조와 기존 연구되어 온 중첩셀 구조에 비해 핸드오프 회수를 줄여 시그널링 부하는 줄이면서 각 트래픽이 규정된 GOS를 만족시킬 수 있음을 볼 수 있었다. 채널 조정에서는 각 트래픽의 양이 모두 너무 많거나 작은 경우에는 셀당 채널의 수는 항상 고정되어 있기 때문에 차이가 없지만, 음성호와 데이터호 간의 트래픽 발생률이 차이가 나거나 이동체의 속도 변화로 초기호와 핸드오프호간의 발생률이 차이가 나는 경우에는 규정된 서비스 품질을 위배할 수 있는 상황에서 제안하는 방식을 적용함으로써 규정된 서비스품질을 만족시킬 수 있음을 볼 수 있다. 즉, 주어진 자원으로 상황에 알맞은 채널을 찾아 조정함으로써 무선자원의 낭비를 막고 서비스 품질을 최대한 유지할 수 있도록 할 수 있게 된다. 본 논문에서는 중첩셀 구조에 대한 보호채널을 사용하는 고정채널할당기법만을 고려하였으나, 앞으로는 동적채널할당기법의 적용이나 큐를 효과적으로 사용하는 채널 할당 등에 대한 연구가 필요하다. 또한, 연결지향 데이터 뿐 아니라 패킷 데이터를 서비스하기 위한 연구와 서로 다른 시스템간의 연동시의 채널 할당에 연구 등이 되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. B.Jabbari, G.Colombo, A.Nakajima, and J.Kulkarni, "Network Issues for Wireless Communications," IEEE Commun. Mag., Jan, 1995, pp.88-98.
2. S.A.El-Dolil, W.C.Wong, R.Steele, "Teletraffic Performance of Highway Mirocells with Overlay Macrocell", IEEE JSAC, Vol. 7, no. 1, Jan, 1989, pp.71-78.
3. C.-L.I, L.J.Greenstein and R.D.Gitlen, "A Microcell/Macrocell Cellular Architecture for Low-and High-mobility Wireless users", IEEE J.Selected Areas Commun., Vol. 11, Aug, 1993, pp.885-891.
4. S.S.Rappaport, L.R.Hu, "Mirocellular Communication Systems with Hierarchical Macrocell Overlays :Traffic Performance Models and Analysis", Proc. IEEE, Vol. 82, no.9, Sept, 1994, pp.1383-1397.
5. X.Lagrange, P.Godlewshki, "Performance of a Hierarchical Cellular Network with Mobility-Dependent Hand-over Strategies", Proc. IEEE, Vehic.

- Tech. Conf, 1996, pp.1868-1872.
6. P.Fitzpatrick, C.S.Lee, "Performance of Layered Cellular Networks with Overflow and Non-Uniform Teletraffic Demand", ICT, Melbourne, Australia 2-5 April, 1997, pp.57-62.
7. B.Jabbari, G.Mason, "Teletraffic Aspects of Evolving and Next-Generation Wireless Communication Networks", IEEE Pers. Commun., Dec, 1996, pp.4-9.
8. D.Lam, D.C.Cox, J.Widom, "Teletraffic Modeling for Personal Communications Services", IEEE Commun. Mag., Feb, 1997, pp.79-87.
9. S.Oh, D.Tcha, "Prioritized Channel Assignment in a Cellular Radio Network", IEEE Trans. on Vehicular Tech., Vol.40, No. 7, July, 1992, pp.1259-1269.



백 승 학(Seung Hak Baek) 정회원
 1996년 : 연세대학교 전자공학과 (학사)
 1888년 : 연세대학교 전자공학과 (석사)
 현재 : 삼성전자 ATM 교환 연구원
 *주관심분야: 이동망, 채널할당, ATM



류 시 훈(Shi Hoon Rhu) 정회원
 1990년 : 연세대학교 전자공학과 (학사)
 1992년 : 연세대학교 전자공학과 (석사)
 현재 : 연세대학교 전자공학과 박사 과정
 *주관심분야: 개인휴대통신(PCS), 무선ATM, 이동성 관리
 ryu@nasla.yonsei.ac.kr

