

# 요청 예약 비율에 따른 Population-Based Bandwidth Reservation 구조의 성능 분석

권 세 동<sup>†</sup> · 한 만 유<sup>\*\*</sup> · 박 현 민<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

제한된 라디오 스펙트럼에서 증가하는 이동 단말기의 수에 따라 서비스를 제공하기 위해서, 무선 시스템은 마이크로/피코 셀룰러 구조와 같이 설계되어야 한다. 이와 같이 다수의 사용자를 수용하기 위하여 셀 크기를 축소하게 되면 핸드오프 이벤트가 증가하게 되며, 안정적인 서비스를 제공하기 위해 효과적 처리해 줄 수 있는 핸드오프 기술이 필수적이라 할 수 있다. Population-Based Bandwidth Reservation(PBR) 구조는 한 셀(Cell)의 이웃에 있는 셀들에게 셀룰러 트래픽의 양에 따라 대역폭의 양을 동적으로 조절함으로써 핸드오프 호(Hand-off Call)들에게 우선 순위를 제공하는 구조이다. 본 논문에서는 어떤 기간에 발생하는 핸드오프 호에 요구되는 전체 대역폭에 대한 요청 예약 비율을 나타내는 Fractional Parameter,  $f$ 의 변화에 따라 PBR 구조의 성능을 분석하였다. 파라미터  $f$ 의 값은 QoS(Quality of Service) 요구에 따라 결정되어지며, 요구사항을 충족시키기 위하여 변화하는 트래픽 상태에 따라 동적으로 조절된다.  $f$ 의 최적값은 이동국(Mobile Station)의 속도, 평균 호의 기간, 셀 크기 등에 따라 결정되어진다. 본 논문에서는 이동국의 속도에 따라서 평균 호의 기간과 셀 크기를 가정하였다. 속도에 따라서 약간의 차이가 나지만,  $0.4 \leq f \leq 0.6$ 인 경우에서 Blocking Probability, Dropping Probability, Utilization이 최적인 값을 가지게 된다.

## Performance Analysis of Population-Based Bandwidth Reservation Scheme with Various Request Reservation Ratios

Se-Dong Kwon<sup>†</sup> · Man-Yoo Han<sup>\*\*</sup> · Hyun-Min Park<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

To accommodate the increasing number of mobile terminals in the limited radio spectrum, wireless systems have been designed as micro/picocellular architectures for a higher capacity. This reduced coverage area of a cell has caused a higher rate of hand-off events, and the hand-off technology for efficient process becomes a necessity to provide a stable service. Population-based Bandwidth Reservation(PBR) Scheme is proposed to provide prioritized handling for hand-off calls by dynamically adjusting the amount of reserved bandwidth of a cell according to the amount of cellular traffic in its neighboring cells. We analyze the performance of the PBR scheme according to the changes of a fractional parameter,  $f$ , which is the ratio of request reservation to the total amount of bandwidth units required for hand-off calls that will occur for the next period. The value of this parameter,  $f$ , should be determined based on QoS(Quality of Service) requirement. To meet the requirement the value of Parameter( $f$ ) must be able to be adjusted dynamically according to the changing traffic conditions. The best value of  $f$  can be determined by a function of the average speed of mobile stations, average call duration, cell size, and so on. This paper considers the average call duration and the cell size according to the speed of mobile stations. Although some difference exists as per speed, in the range of  $0.4 \leq f \leq 0.6$ , Blocking Probability, Dropping Probability and Utilization show the best values.

**키워드** : 인구기반 대역폭 예약구조(Population-based Bandwidth Reservation), 핸드오프(Hand-off), 요청예약비율(Fractional Parameter)

### 1. 서 론

통신 기술의 발달에 의한 정보화 사회의 진전에 따라 이동 통신 분야가 비약적인 발전을 거듭하고 있다. 특히 이동 전

화와 노트북과 같은 이동 단말기(Mobile Terminal)가 많이 사용됨으로써 무선 셀룰러망이 빠르게 성장하게 되었다. 따라서 제한된 라디오 스펙트럼에서 증가하는 이동 단말기의 수에 따라 서비스를 제공하기 위해서, 무선 시스템은 마이크로/피코 셀룰러 구조와 같이 설계되어야 한다[4]. 이와 같이 다수의 사용자를 수용하기 위해서 셀 크기를 축소하게 되면 빈번하게 핸드오프 이벤트가 증가하게 되며, 안정적인 서비스를 제공하기 위해 효과적 처리해 줄 수 있는 핸드오프 기

\* 본 논문은 교내 연구비 지원사업에 의해 수행된 연구 결과의 일부인.  
Author to whom correspondence should be addressed

† 준 회원 : 명지대학교 대학원 컴퓨터공학과

\*\* 정 회원 : North Carolina State University Electrical and Computer Engineering

\*\*\* 중신회원 : 명지대학교 컴퓨터학부 교수

논문접수 : 2001년 10월 23일, 심사완료 : 2002년 3월 20일

술은 필수적이라 할 수 있다[5].

무선 환경에서는 일반 유선망과는 달리 목적지가 마음대로 바뀌기 때문에 망들은 나중에 이동하는 경로를 알 수가 없다. 비록 한 mobile이 현재 지역에서 성공적으로 연결이 되었더라도 mobile이 이동한 셀에서 가용한 대역폭(Bandwidth)이 모두 사용되고 있다면 연결이 끊어지기 때문에, 다른 지역으로 이동할 때 꼭 연결이 유지된다고 보장할 수는 없다. 이러한 무선망의 특성으로 인해, 망의 생명주기동안에 연결을 보장하는 QoS(Quality of Service)를 제공하는데 매우 복잡한 문제가 생성된다. 무선/이동망에서는 사용되는 QoS 파라미터들은 New-call Blocking Probability, Hand-off Call Dropping Probability, System Overload Probability/Period, System Utilization 등이 있다[5].

부족한 스펙트럼의 효율적인 사용은 무선망에서 아주 중요한 이슈(Issue)가 된다. 스펙트럼의 효율적인 사용 방법에 따라 다양한 채널 할당 전략이 사용되어진다[6, 7]. 이웃에 있는 셀들로부터 채널을 빌려오거나, MSC(Mobile Switching Center)에 의해 제어되는 클러스터에서 채널들을 유연하게 유지하는 구조들은 MSC의 역할을 매우 복잡하게 한다. 또한, 기존의 호(Call)들을 방해하는 것을 방지하기 위하여 채널 할당이 정적인 방법으로 수행된다[8].

무선 이동 통신에서는 각 지역을 셀(Cell)이라는 단위로 구분하여 서비스를 제공하고 있으며 각각의 셀은 인접 셀과는 다른 주파수를 할당함으로써 셀 간의 간섭을 최소화하고 있다[1]. 셀 내에서 처리하는 호(Call)의 종류는 새롭게 생성된 호(New Call)와 핸드오프 호(Hand-off Call)로 나눌 수 있다. 새롭게 생성된 호는 사용자가 셀 내에서 착발신하는 호로서 새롭게 무선 채널을 할당받는 것이며, 핸드오프 호는 어떤 임의의 셀에서 통화를 시작한 후 사용자가 계속 통화하면서 이웃하는 다른 셀로 이동할 때 새로운 무선 채널을 할당받는 경우를 말한다.

몇 개의 채널 할당 전략에서는, 핸드오프 호와 새롭게 생성된 호가 동일하게 다루어지는데, 이러한 경우에는 핸드오프 호를 성공하지 못할 확률인 Dropping Probability와 새롭게 생성된 호를 성공하지 못할 확률인 Blocking Probability는 같아진다. 그런데, 서비스를 중단하는 것은 현재 호를 진행하고 있는 이동국의 관점에서는 매우 바람직하지 못한 상황이다. 일반적으로, 가능한 현재 진행하고 있는 연결들을 유지하는 것이 더 바람직하게 간주된다. Hand-off Call Dropping Probability는 새로운 연결 요구보다 핸드오프 요구에 대하여 더 우선 순위를 높게 함으로써, 어떤 특정 수준 내에서 유지 될 수 있도록 한다. 따라서, 많은 채널 할당 전략은 Call Blocking Probability에서 허용할 수 있는 범위 내에서 핸드오프 호들을 위해 다양한 우선 순위 핸들링 방법을 사용한다[6]. 우선 순위 핸들링을 제공하기 위한 가장 일반적인 방법은 자원 예약을 하는 것이다. 여기서 자원이란 무

선 연결에 할당되는 라디오 채널이나 대역폭을 의미한다.

보호 채널(Guard Channel) 개념은 핸드오프 호들에게 거의 고정된 양의 채널들을 할당함으로써, 새롭게 생성된 호들은 그 채널에 할당되지 못하기 때문에 전체적으로 운반되는 트래픽의 감소를 희생시키면서 핸드오프의 호의 강제적 종료를 줄인다[9]. 이 구조는 다양한 트래픽 상태에서는 효율적으로 적용되진 않지만 매우 간단한 구현을 한다. 효율적이고 적용 가능한 대역폭 예약을 위하여, 어떤 메커니즘들은 사용자의 이동을 추측함으로써 대역폭을 예약할 수 있도록 제안되었다[10-14]. 그러나 나중에 움직이는 방향을 추측하기 위해서는 이동국의 과거 경험의 추적을 위한 데이터를 처리하고 유지하는데 기지국의 많은 오버헤드를 필요로 한다.

Population-based Bandwidth Reservation 구조는 한 셀(Cell)의 이웃에 있는 셀 들에게 셀룰러 트래픽의 양에 따라 대역폭의 양을 동적으로 조절함으로써 핸드오프 호(Hand-off Call)들에게 우선 순위를 제공하는 구조이다[15].

본 논문에서는 어떤 기간에 발생하는 핸드오프 호에 요구되는 전체 대역폭에 대한 요청 예약 비율을 나타내는 Fractional Parameter,  $f$ 의 변화에 따라 PBR 구조의 성능을 분석하였다. 파라미터  $f$ 의 값은 QoS(Quality of Service) 요구에 따라 결정되어지며, 요구사항을 충족시키기 위하여 변화하는 트래픽 상태에 따라 동적으로 조절된다. 제 2장에서는 이동통신의 여러 분야 중 핸드오프에 대한 정의 및 기법들을 알아보고, 제 3장에서는 Population-based Bandwidth Reservation의 기본 개념을 설명하였다. 제 4장에서는 PBR구조에서 속도의 변화에 따라, 요청 예약 비율을 나타내는  $f$ (Fractional Parameter)가 어떤 값일 때 최적의 값을 가지는지 성능을 비교하였으며, 제 5장에서는 결론 및 향후 과제에 대하여 논하였다.

## 2. 핸드오프

### 2.1 핸드오프 정의

이동 통신 시스템에서는 서비스 구역을 셀(Cell)이라는 개념을 이용하여 지역적으로 구분하였다. 여기에서 사용중인 음성 채널로부터 다른 음성 채널로 무선 채널이 자동적으로 전환되는 것을 핸드오프라 하는데, 핸드오프가 발생하는 상황은 다음과 같다[1, 6, 16, 17].

- ① 수신 신호 강도(RSS : Received Signal Strength)가 떨어질 때
- ② 사용자가 통화 중 셀 경계를 넘어설 때
- ③ 시스템이 채널 자원 등을 재배치할 필요성을 느낄 때

또한 핸드오프를 기지국내 핸드오프(Intracell Handoff)와 기지국간 핸드오프(Intercell Handoff)로 구분할 수 있는데, 일반적으로 핸드오프란 기지국간 핸드오프를 말한다. 이것은

이동 전화 가입자가 통화 도중에 기존 기지국의 서비스 지역을 벗어나 다른 인접한 셀의 기지국 서비스 범위로 들어갈 때 이웃 셀의 비어있는 채널로 자동적으로 전환되어 서비스를 계속 받을 수 있게 한다. 참고로 기지국내 핸드오프란 현재 사용중인 채널의 상태가 악화될 때 셀 내의 다른 비어있는 가용 채널로 자동 전환하는 것을 말한다[6, 16].

### 2.2 핸드오프 단계

핸드오프를 수행하는 단계는 세 단계로 나눌 수가 있는데, 그에 대한 세부 내용은 다음과 같다[2].

- ① 측정(Measurement) - 이동 단말기와 기지국은 핸드오프 결정에 필요한 파라미터 값들을 주기적으로 측정한다. 예를 들어 기지국과 이동국 간에 전송 신호의 세기와 기지국에서 발생하는 트래픽 부하 등이 기지국과 이동국에서 측정된다.
- ② 결정(Decision) - 측정 기간동안 수집된 정보를 기초로 이동 단말기가 언제 핸드오프할 것인지, 최선의 서비스를 제공받을 수 있는 기지국은 어느 곳인지 등의 결정을 결정한다.
- ③ 실행(Execution) - 새로운 링크를 설정하고, 이전 링크를 해제하는 과정이다.

### 2.3 핸드오프 종류

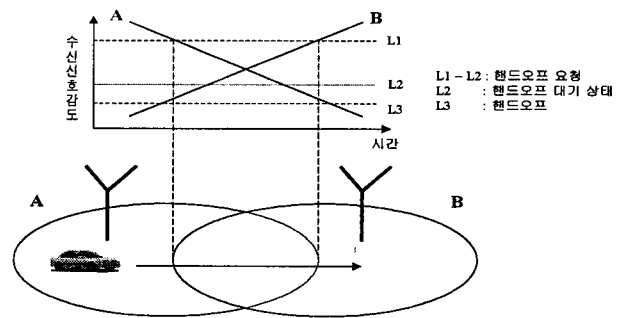
이동 통신 시스템에서는 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위해서 주파수분할 다중접속(FDMA : Frequency Division Multiple Access), 시분할 다중접속(TDMA : Time Division Multiple Access), 그리고 코드 분할접속(CDMA : Code Division Multiple Access)같은 다중 접속 방식을 사용한다. 여기서 가장 최근의 기술인 CDMA는 사용자들 가장 많이 수용할 수 있으며 동일 주파수, 동일 시간대에 여러 채널을 이용할 수 있다는 특징 때문에 소프트 핸드오프라는 특수한 성질을 제공한다.

CDMA에서의 핸드오프는 소프트 핸드오프, 소프트 핸드오프, 하드 핸드오프 세 가지로 구분할 수 있다. 첫째로, 소프트 핸드오프(Soft Handoff)는 통화중인 단말기가 동일 CDMA 주파수를 갖는 인접 셀 영역 근처로 이동하여 두 개의 셀과 동시에 통화하는 경우의 핸드오프를 말하며 주로 기지국사이에서 일어난다. 두 번째로, 소프트 핸드오프(Softer Handoff)는 단말기가 통화중에 동일한 무선 채널 주파수를 갖는 셀 내의 인접 섹터 영역 근처로 접근하여 셀 내의 두 개의 섹터와 동시에 통화하는 경우의 핸드오프를 말한다. 마지막으로 하드 핸드오프(Hard Handoff)는 기존의 아날로그 셀룰러 방식에서 이용하는 것으로 동일한 CDMA 주파수가 아닌 다른 주파수간의 핸드오프를 말하며 주로 교환기 사이에서 쓰인다. 핸드오프가 일어나는 상황은 수신 신호 강도, 신호 대 잡

음 비율(CIR : Carrier to Interference Ratio), 휴대 단말기와 기지국간의 거리, 네트워크 기준 등으로 결정된다[16]. 이 중에서 일반적으로 수신 신호의 강도와 간섭의 비로써 핸드오프 여부를 결정하는데 수신 신호 강도는 수신되는 데이터 신호(C : Carrier)와 간섭(I : Interference)의 합으로 이루어진다. 데이터 신호의 크기가 어느 정도 커지면 신호에 비해 간섭의 크기는 상대적으로 미약하므로 대개 수신 신호 강도(RSS : Received Signal Strength)는 데이터 신호의 크기로 대체할 수 있다.

$$K = \frac{RSS(= C + I)}{I} \approx \frac{C}{I} \quad (1)$$

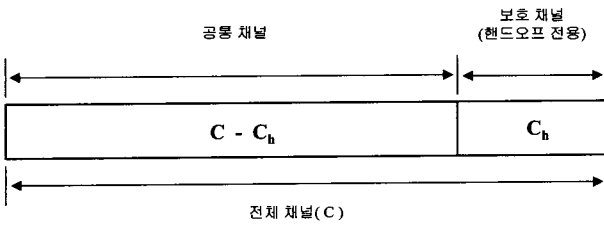
이동 단말기는 위의 K값이 일정한 기준에 도달하면 핸드오프를 요청하게 된다[1].((그림 1) 참조)



(그림 1) 수신 신호 강도에 따른 핸드오프 과정

앞에서 언급한 핸드오프 기준에 따라 핸드오프 상황이 발생하게 되면, 새로운 기지국에 사용 가능한 채널이 없는 경우에 사용자의 통화는 중간에 끊어지게 된다. 사용자 입장에서 보면 새로 통화를 시도할 때 사용 가능한 채널이 없어서 통화를 할 수 없을 때보다 통화 중에 핸드오프 상황이 발생하였을 경우 사용 가능한 채널이 없어서 중간에 통화가 끊어질 때 더 불쾌감을 느끼게 된다. 따라서 이러한 상황을 해결하고 서비스 품질(QoS : Quality of Service)을 높이기 위해 대개 핸드오프 호가 일반 호보다 높은 우선 순위를 부여 받게 되는데 다음과 같은 기법들을 이용한다.

첫 번째 기법인 보호 채널(Guard Channel)은 예약 채널(Reserved Channel)이라고도 하는데 전체 채널 중에서 핸드오프 호에 전용으로 할당하는 채널을 말한다[9]. 예를 들어 한 기지국에 C개의 무선 채널이 할당되었고 이 중에서 C<sub>h</sub>개의 채널을 보호 채널로 설정했다고 가정하자((그림 2) 참조). 이 때 새로 통화를 시도하는 호는 C - C<sub>h</sub>개의 채널만 이용할 수 있지만 핸드오프 호는 C개의 채널을 이용할 수 있다. 즉, 만일 현재 C - C<sub>h</sub>개의 무선 채널을 사용 중일 때 새로운 호가 발생하면 새로운 호는 블록되지만, 핸드오프 호가 발생한다면 이 호는 C개의 채널이 다 차기 전까지는 채널을 할당받을 수 있다[6, 9, 16].



(그림 2) 핸드오프 호를 위한 보호 채널

두 번째 기법은 핸드오프 호에 큐를 도입하는 것으로서 무선 채널을 모두 점유한 상태일 때 핸드오프 호가 발생한다면 이 호를 바로 블록시키는 것이 아니라 일정한 시간동안 큐에 대기시키는 것이다. 일정한 시간 내에 빈 채널이 생기면 큐에 대기하고 있는 호에 이 채널을 할당함으로써 계속 통화를 할 수 있게 하는 것이다[9, 16].

마지막으로 N회 재 시도라는 것은 사용 가능한 무선 채널이 없는 상황에서 핸드오프 호가 발생했을 때 일정 시간동안 N회만큼 채널 요청 시도를 하는 것이다. 이것은 큐잉 기법하고 비슷한 기법이지만 여기서는 큐가 필요 없다[18].

2.4 대역폭 예약 구조 (Bandwidth Reservation Scheme)

도시 지역에서는 대역폭 용량을 증가시키기 위하여 마이크로 셀룰러 구조가 종종 사용된다. 이 구조에서는 셀의 작은 적용 범위로 인하여 셀 들 사이에는 잦은 핸드오프 호가 발생하므로 무선망들은 이웃에 있는 셀 들에게 대역폭을 예약함으로써 진행중인 호들을 유지하려고 노력한다. 하지만, 현재는 무선망들이 이동국의 이동하려는 방향을 정확하게 안다는 것은 불가능하다. 대안으로써, 이동국의 방향을 예측하면서 대역폭을 예약할 수 있는 방법이 제안되어 졌다[10-15]. 이와 같이, 이동 방향을 예상하는 것은 기지국들에서 처리 시간과 메모리 사용에 의해 많은 양의 오버헤드가 필요하거나, 이동국 들의 이동 패턴에 대한 정보 교환으로 인해 많은 양의 제어 메시지가 필요하게 된다. 또한 트래픽 신호 제어는 트래픽 지연과 혼잡의 원인들 중 하나이다[19].

평균 호 기간이 3분이고 이동국이 평균 30km/h로 이동한다고 가정할 때, 호가 연결되어 있는 기간에 1.5km를 이동한다. 이 거리는 셀의 지름이 1km 넓이인 마이크로 셀룰러 구조에서 하나 또는 두 개의 핸드오프에 해당한다. 또한 호가 셀 안에서 처음 초기화될 때, 무선망에서는 이동국의 이동방향을 예상할 수 있는 어떠한 정보도 없다. 따라서, 이동 방향을 예상하는 예약 구조들은 비용이 너무 많이 들게 된다.

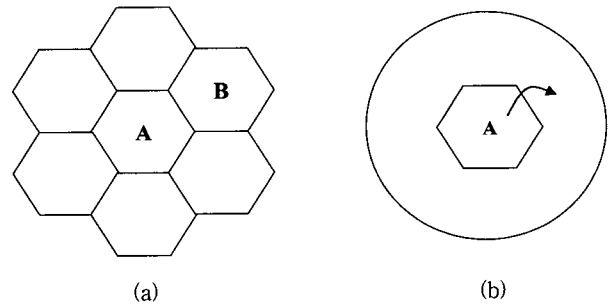
비록 이동국의 사용자들이 어느 정도 예상할 수 있는 경로를 통해 이동한다고 할지라도, 무선망과 기지국들의 관점에서는 전체 적용 범위 상에서 랜덤(Random)하게 이동하는 것처럼 볼 수가 있다[11]. 이러한 관찰을 바탕으로, 목적지

셀을 예상하기 위해 각 이동국이 움직이고 있는 상태를 추적하기 위한 어떠한 오버헤드도 필요 없는, 간단하고 효과적인 대역폭 예약 구조인 Population-based Bandwidth Reservation 구조가 제안되었다[15].

3. Population-based Bandwidth Reservation 구조

3.1 기본 개념

무선망에서 (그림 3) (a)와 같은 7개의 셀 클러스터 모델을 가정하면, 셀 A에서 진행중인 이동국은 그 셀 내에서 머무는 동안 호가 끝나지 않는다면 6개의 이웃에 있는 셀 들중의 한 곳으로 이동하게 될 것이다. 그러나 (그림 3) (b)와 같이 하나의 큰 이웃 셀이라고 가정하면, 셀 A에서 핸드오프가 필요한 경우에 경계에 있는 큰 이웃으로 확실하게 이동하게 된다. 이와 같이, 대역폭 예약이 독립적인 이웃 셀 레벨이 아닌 큰 이웃 레벨에서 관리된다면 대역폭의 정확한 양만이 호를 예약하는데 필요하고 나중에 이동하려는 방향의 예상은 항상 정확하기 때문에 보다 낮은 Dropping Probability를 가질 수 있으며, 대역폭 이용을 보다 높게 할 수 있다. 그러나 셀룰러 망에서 각 셀은 자신의 이웃을 가짐과 동시에 다른 이웃에 속하게 되기 때문에 이웃 레벨에서 대역폭을 관리하는 것이 매우 어렵고 복잡하게 된다.



(그림 3) 일곱 개의 셀 클러스터 모델과 큰 이웃 셀

기지국의 관점에서 각 이동국이 임의의 방향으로 이동한다고 가정하면, 활성화된 호는 같은 확률을 가진 이웃 셀들의 어느 한 곳으로 핸드오프 될 것이다. 예를 들어, (그림 3) (a)와 같은 7개의 셀 클러스터 모델에서는 이동국이 셀 A에서 셀 B로 이동할 확률이 1/6이다. 통계적으로 말해서, 셀 B는 이 호에 대해서 필요한 대역폭의 1/6만이 예약에 필요하게 된다. 셀 B 또한 6개의 이웃 셀 들로 둘러 싸여져 있으며, 이웃에 몇 개의 활성화 된 호가 있다고 가정하면, 셀 B의 기지국은 이들 각각의 호들로부터 아주 작은 대역폭 예약들을 모을 수 있으며 풀의 형태로 예약된 대역폭을 관리할 수 있다.

따라서 이 구조의 기본 개념은 각 기지국이 가능한 핸드오

프들의 양을 예상할 수 있어서, 이웃 셀들로부터 현재 트래픽의 양에 따라 핸드오프 호들에 예약하는 대역폭의 양을 조절하는 것이다. 트래픽의 양은 할당된 대역폭의 양에 의해 표현될 수도 있다. Population-based Bandwidth Reservation(PBR) 구조를 연산하기 위한 상세한 절차를 기술하기 위해, 셀  $i$ 는  $n_i$  이웃 셀들을 가지고 있다고 가정한다[15]. 예를 들어, 만약 7개의 셀 클러스터 모델을 셀룰러 망에서 가정하면, 망에서 어떤 셀  $i$ 에 대해서  $n_i$ 는 6이다. 그러나 실제 환경에서 셀들은 지리학적 특성에 따라서 다른 수의 이웃 셀들을 가질 수 있다. 고속도로와 같은 경우에는 그 지역을 커버하는 기지국은 대부분의 이동국들이 고속도로와 같은 길을 따라 이동하기 때문에, 두 개의 이웃 셀들만 가진다고 가정할 수도 있다. 따라서, 셀  $i$ 의  $n_i$ 는 셀  $j$ 의  $n_j$ 와 같지 않을 수도 있다.

대역폭 단위 ( $b$ )를 소비하는 호가 새롭게 생성된 호이거나 핸드오프 호이거나에 관계없이 셀  $j$ 로 허용될 때마다 그 셀의 기지국은  $n_j$  이웃에 있는 셀들 각각에게  $b/n_j$ 의 양만큼의 부분적인 대역폭 예약을 요구한다. 이 호가 호 완료이거나 혹은 이웃으로 핸드오프를 하는 것과는 관계없이 셀을 떠날 때마다 그 기지국은 이웃 셀들인  $n_j$ 의 각각에 대해 예약할 때 요구한 것과 같은 양에 대해 부분적인 대역폭 해제를 요구한다. 이 단계는 가능한 핸드오프의 출현과 사라지는 것을 주위에 알리기 위한 것이다. 셀룰러 망 안에서 각 기지국은 부분적인 대역폭 예약에 대한 변동을 기록하거나 이웃에 있는 셀들로부터 대역폭 예약을 해제하는데 카운터를 사용한다. 부분적인 대역폭 예약 요청을 받거나 요청을 해제할 때마다 요청된 양에 의해 카운터는 증가하거나 감소한다. 결과적으로, 이 카운터는 현재 할당된 대역폭의 양을 보여주고, 나중에 가능한 핸드오프들의 양을 나타낸다.

$N_i$ 에 의한 셀  $i$ 의 이웃 셀들의 집단을 표시하면, 셀  $i$ 의 카운터 값  $q_i$ 는 다음과 같다.

$$q_i = \sum_{j \in N_i} \frac{C_{oj}}{n_j}$$

여기서  $C_{oj}$ 는 셀  $j$ 에서 할당된 대역폭 단위들의 수이다. 그러나 가능한 핸드오프 트래픽의  $q_i$  사이에서, 어떤 것들은 핸드오프들을 초기화하기 전에 그들의 호를 종료할 수도 있고, 또는 모든 호가 동시에 핸드오프를 필요로 하지 않는 셀로 핸드오프 될 수도 있다. 따라서 같은 인스턴스(Instance)에서 모든  $q_i$  대역폭을 예약할 필요는 없다. 이러한 사실을 반영해서  $q_i$ 는 0과 1사이의 범위를 갖는  $f_i$ (Fractional Parameter)에 의해서 증가된다.  $f_i$ 는 어떤 기간에 발생하는 핸드오프 호에 필요한 대역폭의 전체 양에 대한 요청 예약 비율을 나타내고 실제적인 핸드오프 트래픽이 셀  $i$ 에서 얼마나 많이 발생하는지를 의미한다.

대역폭은 대역폭 단위들로 사용되기 때문에, 기지국은 핸드오프 트래픽과는 무관하게 「 $q_i \cdot f_i$ 」 대역폭 단위들을 예약하려고 시도한다. 그러나 이미 할당된 대역폭 때문에 이러한 크기만큼 예약하는 것이 항상 가능하지는 않다. 따라서, 이 예약은 물리적인 예약보다는 가상적인 예약으로서 생각될 수가 있으며, 호 허용 제어 기준을 사용한다.

핸드오프 호들을 예약하는데 대역폭의 양을 결정하는 또 다른 인수는 현재 적재 수준이나 대역폭을 예약하려고 하는 셀의 혼잡성이다. 따라서 한 셀에서 더 혼잡해지기 때문에 예약 요구들을 만족시키기가 더욱더 어려워 지게된다. 따라서 더 혼잡해지기전에 현재 셀의 로드 수준에 따라서 새로운 호의 허용을 제한할 필요가 있다. 이 목적을 위해 우리는 대역폭 예약을 요청할 때까지 가중치,  $(1 + \frac{C_{oi}}{C_i})$ 을 곱한다. 셀  $i$ 에서  $b$  대역폭단위를 수요하는 호 허가는 다음과 같이 결정된다.

새롭게 생성된 호는 다음 식일 때만 허가된다.

$$C_{oi} + b \leq C_i - \lceil q_i f_i (1 + \frac{C_{oi}}{C_i}) \rceil \quad (2)$$

핸드오프 호는 다음 식일 때만 허가된다.

$$C_{oi} + b \leq C_i \quad (3)$$

여기서  $C_i$ 는 대역폭 유닛에서의 셀  $i$ 의 용량이다.

위의 식 (2)에서 새롭게 생성된 호에 대한 허가 기준은 다음과 같은 두 가지 의미를 가진다. 첫째, PBR구조에서 새롭게 생성되는 호의 허가는 현재 셀 뿐만 아니라 이웃 셀들의 트래픽 레벨에 의해 결정된다. 두 번째, 핸드오프 호는 새롭게 생성되는 호들보다 더 높은 우선순위로 다루어진다. 만약 새롭게 생성된 호가 현재 셀의 트래픽 정보에 따라서만 허가가 된다면, 이 허가된 호들은 혼잡한 이웃에 있는 셀로 핸드오프 될 수도 있고 끊어질 수도 있다.

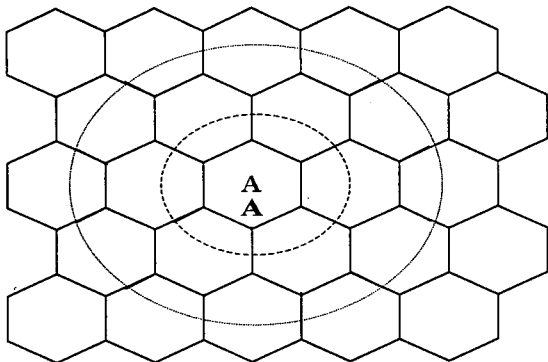
PBR의 「 $q_i f_i (1 + \frac{C_{oi}}{C_i})$ 」 가상 예약 레벨에서  $q_i$ 는 이웃에 할당된 대역폭의 수와 비례하기 때문에, 이웃에 있는 셀들이 얼마만큼 혼잡한지를 나타낸다. 이것은 물리적인 예약의 현재 레벨을 의미하는 것이 아니라, 나중에 어떤 기간 동안에 들어오는 트래픽을 다루는데 필요한 대역폭의 양을 나타낸다. 호 종료나 핸드오프로 인하여 호가 거주하고 있는 셀을 떠날 때 소유하고 있던 대역폭을 해제한다. 셀의 용량을 모두 사용하고 있는 상태에서, 새롭게 생성되는 호가 서비스를 제공받기를 기다린다고 가정하자. 만약 물리적인 예약을 허가 컨트롤이라고 하면, 비록 이웃에 있는 셀로부터 필요한 핸드오프가 곧 예상된다 할지라도, 이 해제된 대역폭은 즉시 이 새로운 호로 할당된다. 따라서 그 핸드오프 호는 끊어질 수밖에 없고, 이것은 매우 바람직하지 못한 상황이 된다.

그러나 제안된 구조에서 막 해제된 대역폭은 새롭게 생성된 호에 할당되지 않고 핸드오프 호에 예약된다. 가상 예약,  $\lceil q_i f_i (1 + \frac{C_{oi}}{C_i}) \rceil$ 의 양이  $C_i - C_{oi}$ 보다 더 클 동안에는, 기지국은 대역폭 유닛들을 더 많이 예약 할 수 있음을 나타내지만, 셀 안에 어느 사용 가능한 대역폭 유닛들이 남아 있지 않으므로 그럴 수가 없다. 적어도 이웃에서 한 개의 활성화된 호가 있으면,  $\lceil q_i f_i (1 + \frac{C_{oi}}{C_i}) \rceil$ 은 항상 1보다 크거나 같고, 이 예에서  $C_{oi}$ 는 대역폭이 해제되기 전에는  $C_i$ 와 같다. 따라서 그 시스템은 예약이 필요하고, 해제되는 대역폭은 예약에서 부족한 부분을 보충하는데 사용된다.

3.2 성능 분석

새롭게 생성되는 호(Call)가 대역폭과 같은 자원들의 부족으로 인하여 허가가 되지 않는 경우를 블록(Block)되었다고 한다. 그래서 Blocking Probability는 새롭게 생성되는 모든 호에 대한 블록된 호들의 비율로 나타낸다. 핸드오프가 Blocking과 같은 이유로 인해 허가가 되지 않을 때 드롭(Drop)되었다고 하며, Dropping Probability는 모든 핸드오프 시도 중에서 드롭된 핸드오프의 시도 비율로 나타낸다. 셀룰러 망에서 QoS(Quality of Service)는 이 두 가지에 의해 주로 결정된다[8].

분석을 위해 (그림 4)와 같이 각 셀이 육각형의 형태를 가지고 여섯 개의 이웃 셀들로 둘러싸여 있으며 7개의 셀 클러스터를 가진 기본 셀룰러 망 모델이 사용되었다. 대역폭이나 채널 할당 전략의 경우에, 동적 채널 할당(Dynamic Channel Assignment)[20-22]이나 유연한 채널 할당(Flexible Channel Assignment)[23]과 같은 다양한 전략들이 분석에 적용될 수 있다. 본 논문에서는 구현을 간단히 하기 위해 기본적인 고정 채널 할당(Fixed Channel Assignment)[24] 전략을 사용한다.  $C$  대역폭 단위들의 집합이 각 셀에 영구적으로 할당되며, 셀에서 시도되는 호는 할당되는 대역폭 단위 중에서 미리 정의된 집합으로부터 사용되지 않는 대역폭 부분만이 제공된다.



(그림 4) 성능 분석 모델링을 위한 셀룰러 망

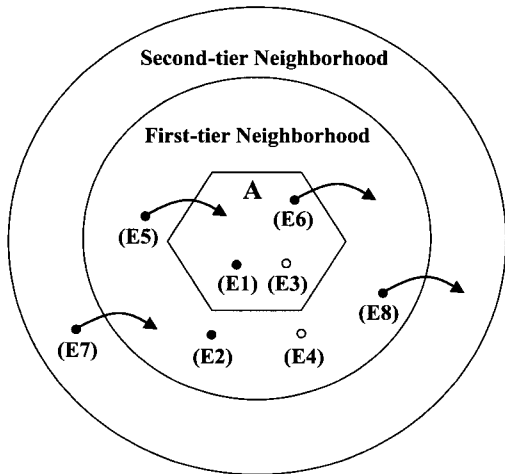
새로운 호는  $\lambda$ 를 의미하는 포아송 프로세스에 의해 무선 적용 범위 곳곳에 있는 임의의 위치에서 발생한다고 가정한다. 새롭게 생성된 호들은 핸드오프 호들을 위해 예약된 대역폭을 사용할 수 없다. 따라서 셀에서 사용 가능한 대역폭 단위들이 남아있을 때에만 그 셀로 허가된다.

만약 유선 망에서 생성된다면, 호의 기간은 지수적으로 분산된다고 생각할 수가 있다. 호의 기간은 무선 셀룰러 망에서 호가 핸드오프들을 경험하는 동안에 일어나는 호의 수명 길이를 의미한다. 호의 Channel Holding Time은 호를 위해 셀 속에 채널이 할당되는 시간과 호가 종료되거나 다른 셀로 핸드오프 되기 때문에 채널을 해제하는 시간사이의 기간이다. 이러한 Channel Holding Time은 실제로 이동국이 채널에 할당되는 셀의 위치, 이동방향, 속도 등에 의존한다. 셀에서 Channel Holding Time이 측정되며, 그것의 분산은 분석적으로 지수적인 분산과 비슷하다[9]. 또한, Channel Holding Time은  $1/\mu_h$ 에 의해 지수적으로 분산되었다고 가정하며, 호의 기간은  $1/\mu_c$ 에 따라 지수적으로 분산되고,  $1/\mu_c \geq 1/\mu_h$ 이라고 가정한다.

3.2.1 트래픽 모델링

(그림 4)에서 보인 것처럼 셀룰러 망에서, 셀 A는 첫 번째 층 이웃에 6개의 셀들, 그리고 좀 더 떨어진 곳에 다른 12개의 두 번째 층 이웃 셀들로 둘러싸여져 있다. 셀 A의 상태는 두 쌍의 상태 변수들,  $(m, n)$ 으로 표시되고,  $m$ 은 셀에 할당된 대역폭 단위들의 수를 표시하고,  $n$ 은 첫 번째 층 이웃을 표시한다. 이러한 상태 변수는 셀들 사이에서 새로운 호 도착이나 종료, 핸드오프들과 같은 자신의 셀이나 이웃 셀들에서 발생하는 다양한 이벤트들에 의해 영향을 받는다.

이러한 분석 방법은 셀 A와 직접적인 이웃 셀들 사이의 상호작용에 집중되기 때문에, 두 번째 층 이웃에 할당된 대역폭 단위들의 수는 마르코프 모델의 복잡성을 줄이기 위해 대략적으로 표현된다. 앞에서 언급한 것처럼, 이동국들은 임의로 이동하며 셀룰러 적용범위의 곳곳에 퍼져있고, 두 번째 층 이웃은 첫 번째 층 이웃보다 두 배 더 많은 셀을 가지고 있다고 가정한다. 따라서 두 번째 층 이웃은 첫 번째 층 이웃보다 두 배 더 많은 활성화된 호들을 가진다고 가정할 수가 있다. 또한 분석을 쉽게 하기 위하여 분석적인 모델에서 호들의 한 클래스를 생각한다. 각 호가 하나의 대역폭 단위를 사용한다고 가정하면 두 번째 층 이웃에 할당된 대역폭 유닛들의 수는 첫 번째 층에 할당된 유닛들의 수보다 대략 두 배 더 많을 수 있다. 또한, 이러한 이벤트들의 상태 변동들을 초기화 할 수 있다. 즉, (그림 5)와 같은 간단한 셀룰러 망에서 셀 A나 첫 번째 층 이웃에서 할당된 대역폭 단위들의 수를 증가시키거나 감소시키는 방법을 사용한다. 각 이벤트에 대한 기술은 아래에 나열된다.



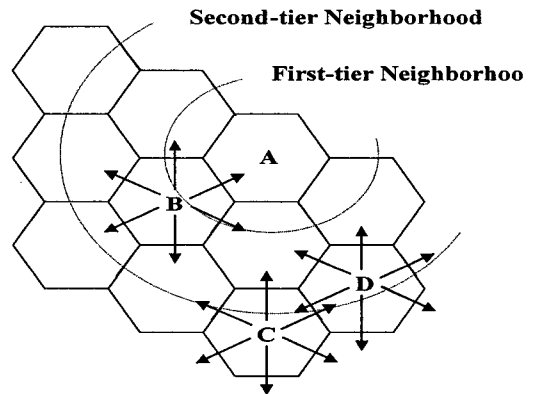
(그림 5) 7개의 셀 클러스터 모델에서의 이벤트들

- (E1) 셀 A에 새로운 호 도착
- (E2) 첫 번째 층 이웃에 새로운 호 도착
- (E3) 셀 A에서 호 종료
- (E4) 첫 번째 층 이웃에서 호 종료
- (E5) 첫 번째 층 이웃에서 셀 A로 핸드오프 호
- (E6) 셀 A에서 첫 번째 층 이웃으로 핸드오프 호
- (E7) 두 번째 층 이웃에서 첫 번째 층 이웃으로 핸드오프 호
- (E8) 첫 번째 층 이웃에서 두 번째 층 이웃으로 핸드오프 호

이벤트들의 집합은 같은 층에 존재하는 이웃 내의 셀 들간의 핸드오프들을 포함하지 않으며, 그 층에 할당된 대역폭 단위들의 수는 감소될 수도 있다. 예를 들어, 만약 첫 번째 층에 존재하는 여섯 셀 들 중 하나로 대역폭 단위 전체가 완전히 할당되었다면, 같은 층의 이웃 셀 들로부터 이 셀로의 핸드오프 시도는 사용할 수 있는 대역폭 단위들이 없기 때문에 드롭되고, 이 층에서 할당된 대역폭 유닛들의 전체 수는 감소된다. 그러나 본 논문에서 사용한 모델에서는 층 내에서 핸드오프 호와 호가 동일한 층 내에 남아있다는 가정을 고려하지 않는다. 결과적으로 셀 내에서 활성화된 호는 통신의 완료로 인하여 종료되기도 하고, 셀 경계선이 겹쳐질 때 이웃에 있는 셀로 핸드오프를 시도하기도 한다. 셀 밖에서 일어나는 호 핸드오프는 셀 안에서 활성화된 호들의 집단, 위치적인 분산, 호와 관련된 이동국 들의 이동 속도 등과 같은 여러 개의 인수들과 관계된다. 그러나 간단하게 하기 위해서, 호 핸드오프 시도율은 활성화된 호들의 집단에만 달려있다고 가정한다. 따라서, 만약 한 셀이  $m$ 개의 활성화된 호를 가지고 있다면, 셀 밖의 호 핸드오프 비율인  $m\mu_h$ 와 호 종료율인  $m\mu_c$ 로 계산되고, 여기서  $1/\mu_h$ 는 Average Channel Holding Time이고  $1/\mu_c$ 는 평균 호 기간이다.

(그림 6)에서, 첫 번째 층 또는 두 번째 층 이웃에 존재하는 셀 들로부터 가능한 호 핸드오프 방향을 알 수 있다. 그림에서 보는 것처럼, 이동국의 이동 방향은 셀룰러 적용 범위

상에서 균일하게 분산된다고 가정하고, 셀 A의 첫 번째 층에 위치한 셀 B에서 호가 만약에 핸드오프 된다면, 셀 A로 핸드오프되는 확률은  $1/6$ , 두 번째 층으로는  $3/6$ , 첫 번째 층에서 나머지로  $2/6$ 이 된다. 첫 번째 층 이웃에서 6개의 모든 셀은 공통이기 때문에, 이 층에서 호들을  $n$ 개의 활성화된 호들이라고 가정하면  $\frac{1}{6} n\mu_h$ 의 비율로 셀 A로 핸드오프 되며,  $\frac{1}{2} n\mu_h$  비율을 가지고 두 번째 층 이웃으로 핸드오프 된다. 같은 방법으로, 두 번째 층 이웃으로부터 핸드오프 시도율을 정의 할 수 있다. (그림 6)에서 보이는 것처럼 셀 들 C와 D가 쌍으로써 간주되고, 이 셀 쌍에서 발생하는 호는 12개 중에서 3개의 다른 경로들을 통해 첫 번째 층 이웃으로 이동할 수 있고, 이것은 두 번째 층에서 셀 들의 모든 6쌍들에게 공통이다. 두 번째 층 이웃에서  $l$ 개의 활성화된 호들인 첫 번째 층 이웃으로의 핸드오프 시도율은  $\frac{1}{4} l\mu_h$ 가 된다. 그러나 두 번째 층에서 호 집단은 첫 번째 층에서 호 집단에 대략 두 배가 되므로, 이 비율은 첫 번째 층에서  $n$ 개의 활성화된 호들을 가진  $\frac{1}{2} n\mu_h$ 가 된다.



(그림 6) 가능한 핸드오프 방향들

### 3.2.2 PBR 구조를 위한 마르코프 모델

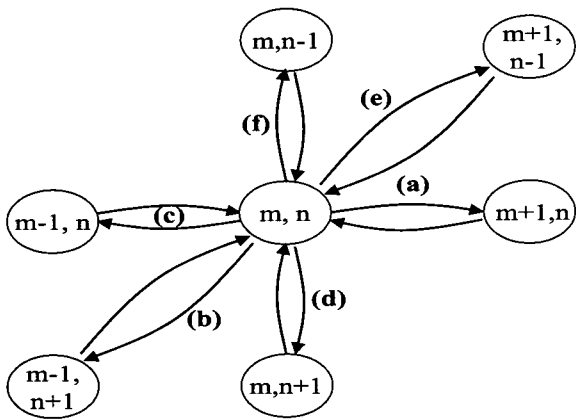
위의 내용을 기반으로, 제안된 대역폭 예약 구조에 대하여,  $R$ , 2차원 상태 전이 매트릭스를 만들고, 각 상태는  $(m, n)$  개의 요소로 된 집합으로써 기술되며  $m$ 은 셀 A에서 할당된 대역폭 단위들의 수이고,  $n$ 은 셀 A의 첫 번째 층 이웃이다. 하나의 트래픽 클래스 분석에서, 할당된 대역폭 단위들의 수는 활성화된 호들의 수와 같다.  $m$ 과  $n$ 은 다음과 같은 경계를 가진 정수들이라고 가정한다.

$$0 \leq m \leq C,$$

$$0 \leq n \leq 6C,$$

여기서  $C$ 는 대역폭 단위들에서의 셀의 용량을 나타낸다. (그림 7)에서는 비율 매트릭스  $R$ 에 대한 상태 변화 다이어그램을 나타내고 있다. 실제 다이어그램은 큰 범위를 가지

기 때문에, 상태 변화들이  $state(m, n)$ 을 포함하는 것을 보이기만 하는 하나의 작은 다이어그램으로 나타내었다.  $state(m, n)$ 에서 들어오고 나가는 모든 가능한 상태 변화들을 나타내었고, 다른 상태들 사이에서의 변화들은 이 다이어그램에서 간단하게 나타내기 위해 생략되었다.  $m$ 과  $n$ 의 값들에 따라서, 어떤 변화들은 발생할 수가 있고 어떤 변화들은 발생하지 않을 수가 있다. 비율 매트릭스  $R$ 의 각 열의 구성은, 비율 매트릭스  $R$ 의 열에 해당하는 상태에서 시작되는 변화들로 알 수 있다. 이러한 의미에서,  $(m, n)$ 에서 시작되는 변화들만이 다이어그램에 분류되고, 각각의 비율들은  $m$ 과  $n$ 의 다양한 경계 상태에서 얻어진다.



(그림 7) 대역폭 예약구조에 대한 마르코프 상태 전이 다이어그램

셀 A의 첫 번째 층 이웃에서 새로운 호 허가는 (그림 6)에서 보는 것처럼, 셀 A의 첫 번째 층 이웃에 위치한 셀은 두 번째 층으로부터 3개의 셀들, 같은 첫 번째 층과 셀 A로부터 2개의 셀들로 둘러 싸여져 있다. 첫 번째 층에서  $n$ 개의 호들에서, 첫 번째 층과 두 번째 층에서 각 셀은 평균적으로  $n/6$  호들을 가진다고 가정할 수가 있다. 따라서, 셀 A에서  $m$ 개의 호가 생성된다고 가정하면, 첫 번째 층에서 셀은 자신의 이웃에서 평균적으로  $(\frac{5}{6}n+m)$  호들을 가진다. 따라서 셀 A의 첫 번째 층 이웃에서 새로운 호 허가는 위와 같은 가정에 의해 결정된다.

- (1) 이 변화는 셀 A로부터 생성되는 새로운 호에 의해 발생되고(E1), 셀 A로 허가된다. 변화 비율,  $\gamma_a$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$\gamma_a = \begin{cases} \lambda & \text{if } C - m > \lceil \frac{1}{6}nf(1 + \frac{m}{C}) \rceil \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서  $f$ 는 Fractional Parameter이다.

- (2) 이 변화는 셀 A에서 첫 번째 층 이웃으로의 핸드오프 호에 의해 발생되고(E6), 그 층에서 허가된다. 변화 비율,

$\gamma_b$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$\gamma_b = \begin{cases} m\mu_h & \text{if } m > 0, n < 6C \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

- (3) 이 변화는 셀 A에서 호가 종료되거나(E3), 셀 A에서 첫 번째 층 이웃으로의 핸드오프 호에 의해 발생되고(E6), 첫 번째 층 이웃의 모든 대역폭 유닛들이 완전히 할당되어 있기 때문에 실패된다. 변화 비율,  $\gamma_c$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$\gamma_c = \begin{cases} m\mu_c & \text{if } m > 0, l < 6C \\ m\mu_c + m\mu_h & \text{if } m > 0, l = 6C \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

- (4) 이 변화는 그 층으로 허가되는 셀 A의 첫 번째 층 이웃에서 생성되는 새로운 호이거나(E2), 첫 번째 층에서 허가되는 셀 A의 두 번째 층에서 첫 번째 층으로의 핸드오프 호(E7)에 의해 발생된다. 변화 비율,  $\gamma_d$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$\gamma_d = \begin{cases} 6\lambda + \frac{1}{2}n\mu_h & \text{if } 6C - n > 6 \lceil \frac{1}{6}(\frac{5}{6}n+m)f(1 + \frac{m}{C}) \rceil \\ \frac{1}{2}n\mu_h & \text{if } 0 < 6C - n \leq 6 \lceil \frac{1}{6}(\frac{5}{6}n+m)f(1 + \frac{m}{C}) \rceil \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

- (5) 이 변화는 첫 번째 층 이웃으로부터 셀 A로의 핸드오프 호에 의해 발생되고(E5), 이것은 그 셀에서 허가된다. 변화 비율,  $\gamma_e$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$\gamma_e = \begin{cases} \frac{1}{6}n\mu_h & \text{if } m < C, n > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

- (6) 이 변화는 셀 A의 첫 번째 층 이웃에서 호가 종료되거나(E4), 셀 A의 두 번째 층 이웃(E8)이나 셀 A에서 첫 번째 층으로부터의 핸드오프 호에 의해 발생되고(E5), 이것은 셀 A의 모든 대역폭 유닛들이 완전히 할당되었기 때문에 실패된다. 변화 비율,  $\gamma_f$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$\gamma_f = \begin{cases} n\mu_c + \frac{1}{2}n\mu_h & \text{if } m < C, n > 0 \\ n\mu_c + \frac{2}{3}n\mu_h & \text{if } m = C, n > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

셀 A의  $state(m, n)$ 에 대한 정적 상태 확률을  $\pi_{m,n}$ 으로 표시하면, 다음을 만족하는 정적 상태 확률 벡터  $\pi$ 를 갖는다.

$$\pi R = 0, \pi e = 1 \tag{4}$$

여기서  $e$ 는 1의 보수인 열 벡터이다. 마르코프 프로세스의 복잡함 때문에,  $\pi$ 에 대한 밀접한 형식 해결을 발견하기는 불가능하다. 따라서  $\pi$ 는 가우스 소거법과 같은 수치적인 방법에 의해 계산되어야 한다[3].  $\pi$ 를 가지고 성능 수치들을



계산할 수 있다. 새로운 호들은 모든 상태들에 대해 일정한 비율을 가진 포아송 프로세스에 따라 생성되기 때문에, 새로운 호에 대한 Blocking Probability,  $P_b$ 는 블록킹 영역에서 상태들의 정적 상태 확률들의 간단한 합이고, 이것은 다음 부등식을 만족하는 어떤  $m$ 과  $n$ 에 대응한다.

$$C - m \leq \lceil \frac{1}{6} n f (1 + \frac{m}{C}) \rceil.$$

따라서,

$$P_b = \sum_{n=0}^{6C} \sum_{0 \leq m \leq C, C-m \leq \lceil \frac{1}{6} n f (1 + \frac{m}{C}) \rceil} \pi_{m,n} \quad (5)$$

반대로, 셀 속으로의 핸드오프 시도들은 셀의 용량이 완전히 사용되었을 경우에만 드롭(Drop)된다. 즉, 그들은 어떠한  $n$ 에서  $state(C, n)$ 일 경우에 드롭된다. 그러나 핸드오프 시도의 비율은 새로운 호 도착의 경우처럼 일정하지 않다. 이 값은 이웃 집단에 따라서 변한다.  $h_{m,n}$ 은 시스템이  $state(m, n)$ 일 때, 셀 A의 핸드오프 시도 비율을 표시하고, 핸드오프 호에 대한 Dropping Probability,  $P_d$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$P_d = \frac{\sum_{n=0}^{6C} h_{C,n} \pi_{C,n}}{\sum_{m=0}^C \sum_{n=0}^{6C} h_{m,n} \pi_{m,n}} = \frac{\sum_{n=0}^{6C} n \pi_{C,n}}{\sum_{m=0}^C \sum_{n=0}^{6C} n \pi_{m,n}}, \quad (h_{m,n} = \frac{1}{6} n \mu_h) \quad (6)$$

시스템 이용도,  $\rho$ 는 다음과 같다.

$$\rho = \frac{1}{C} \sum_{m=0}^C \sum_{n=0}^{6C} m \pi_{m,n} \quad (7)$$

### 3.3 시뮬레이션 모델링

시뮬레이션 모델링에서는 (그림 3)에서 보인 것처럼  $N \times N$  셀들로 구성된 셀룰러 망으로 가정할 수 있다. 새로운 호들은 각각의 셀 레벨에서 생성되며, 트래픽의 다중 클래스들을 고려해야 한다. 클래스 또는 셀에 관한 새로운 호 도착 비율은 각 클래스에서 같은 대역폭 단위 요구 비율을 가지기 위하여 조정되어야 한다. 즉, 어떤 클래스  $i$ 와  $j$ 에 대해서는 다음과 같다.

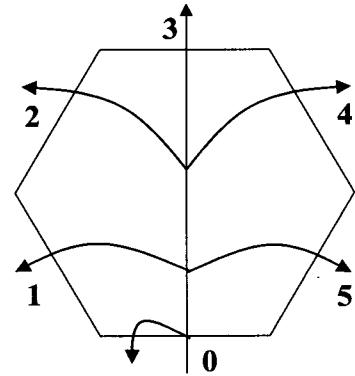
$$\lambda_i b_i = \lambda_j b_j$$

여기서  $\lambda_i$ 는 클래스  $i$ 에 대한 셀 당 새로운 호 도착 비율을 의미하고,  $b_i$ 는 클래스  $i$ 호에 의해 필요한 대역폭 단위들의 수를 의미한다. 앞에서 언급한 것처럼 호의 각 클래스는  $1/\mu_c$ 인 같은 호 기간을 가지고 있다고 가정한다. 따라서, Erlang /Cell에서 셀 당 제공되는 로드,  $\Lambda$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$\Lambda = \frac{1}{\mu_c} \sum_i \lambda_i b_i \quad (8)$$

핸드오프 호들은 이웃에 있는 셀들의 하나에게 Active 호를 건넌으로서 시뮬레이트(Simulate)된다. 각각의 허가된 호는 어떠한 기간동안 셀에 머무르며,  $1/(\mu_h + \mu_c)$ 에 따라 지수적으로 분산된다. 그 이후에, 이웃에 있는 여섯 개의 셀들 중 하나로  $p_h$ 의 확률로 이동하거나,  $(1 - p_h)$ 의 확률을 가지고 종료된다. 핸드오프 확률,  $p_h$ 는 아래와 같이 계산된다.

$$p_h = \frac{\mu_h}{\mu_c + \mu_h} \quad (9)$$



(그림 8) 이동국의 이동방향

(그림 8)에서 육각형인 셀의 면들은 0에서 5까지의 숫자가 주어지며, 0번 방향은 호가 셀로 핸드오버 되는 방향이다. 이동국이 똑바로 이동한다고 가정하면, 셀에서 거리의 패턴에 따라 방향이 달라진다고 할지라도, 3번 방향으로 이동할 확률이 가장 높은 반면 0번 방향은 뒤로 이동을 나타내므로 확률이 가장 적다고 볼 수 있다. 이동국이 0번 방향을 통해 들어오고  $i$ 번 방향으로 이동하는 확률을  $h_i$ 라고 표시하면 시뮬레이션 전체에서 다음과 같이 가정된다.

$$h_3 > h_2 = h_4 > h_1 = h_5 > h_0, \quad \sum_{i=0}^5 h_i = 1.$$

$i$ 번 방향에 인접한 이웃 셀에서 호가 핸드오프 된다면  $h_i$ 의 확률을 가진 목적지 셀로 선택된다. 그러나, 셀로 호를 초기화하는 동안에 일어나는 핸드오프에 대한 목적지 셀은 과거에 사용한 것에 관한 정보가 없기 때문에, 각 이웃에 있는 셀에 대해서  $1/6$ 의 확률을 가지고 조정하여 선택된다. 셀의 끝에서 위치한 셀들로부터 발생하는 셀룰러 적용 범위의 핸드오프 호들은 모든 셀들에게 정당하게 트래픽을 제공하기 위해 그 적용 범위의 다른 끝으로 피드백(Feedback)된다.

### 4. 속도에 따른 요청 예약 비율인 Fractional Parameter 성능 비교 분석

제 3장에서 설명한 Population-based Bandwidth Reservation(PBR) 구조에서 Fractional Parameter인  $f$  값에 따라서 Blocking Probability, Dropping Probability, Utilization 이 달라지게 된다. 따라서 본 논문에서는, 속도별로  $f$  값에 따라 어떻게 변하는지를 실험하였고, 어떤 지역에서  $f$  의 범위를 더 효율적으로 설정을 해주어야 그 지역에 적합한지를 설명하였다.

#### 4.1 입력 파라미터 값

<표 1>은 시뮬레이션에서 사용된 파라미터들의 값은 다음과 같다. 이 값들은 본 논문에서 가정한 값이다.

<표 1> 기본적인 시스템 파라미터

파라미터	값	설 명
N	5	Cellular Network Dimension
$P_h$	0.6	핸드오프 확률
$q_3$	0.4	3번 방향으로 이동할 확률
$q_2, q_4$	0.2	2번이나 4번 방향으로 이동할 확률
$q_1, q_5$	0.09	1번이나 5번 방향으로 이동할 확률
$q_0$	0.02	0번 방향으로 이동할 확률

실험에서는 셀의 지름을 1km로 셀의 용량을 20 대역폭 단위로 가정하고, 이동국의 속도에 따라 핸드오프하는 동안에 실패하지 않고 완료할 경우의 Average Call Duration과 Average Channel Holding Time을 <표 2>와 같이 가정하였다.

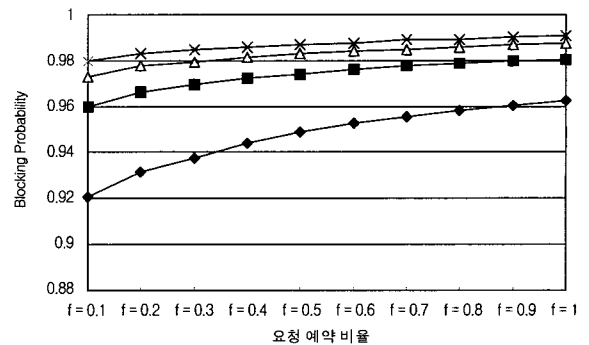
예를 들어, 30km/h일 경우에 호당 평균 호의 기간을 3분으로 가정하였다. 비록 호가 생성된 위치에 따라서 변하지만, 1km의 속도로 이동하는데 2분이 걸리고 Average Channel Holding Time은 2분이 걸린다. 실험에서는 이동국의 속도별로 4km/h, 30km/h, 60km/h, 90km/h를 선택했는데 4km/h는 보행자의 평균 속도, 30km/h는 일반적인 평균 속도, 60km/h는 자동차나 기차와 같은 이동 시설을 이용하는 평균 속도, 90km/h는 최고 평균 속도를 기준으로 하였다.

<표 2> 속도에 따라 변하는 파라미터 값

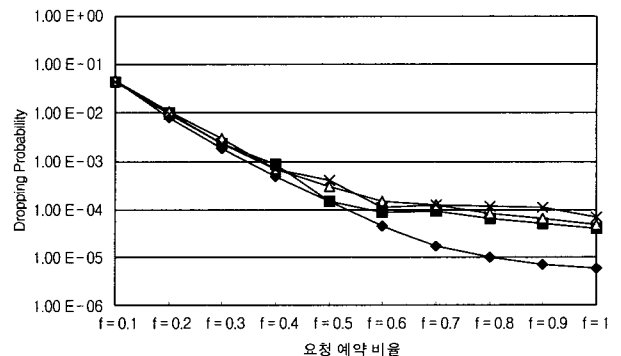
이동국의 속도	$\mu_c$ (1 / Average Call Duration)	$\mu_h$ (1 / Average Channel Hold Time)
4 km/h	0.044 (2 / 45)	0.066 (1 / 15)
30 km/h	0.333 (1 / 3)	0.5 (1 / 2)
60 km/h	0.666 (2 / 3)	1 (1 / 1)
90 km/h	1 (1 / 1)	1.5 (3 / 2)

#### 4.2 모의 실험 결과 및 분석

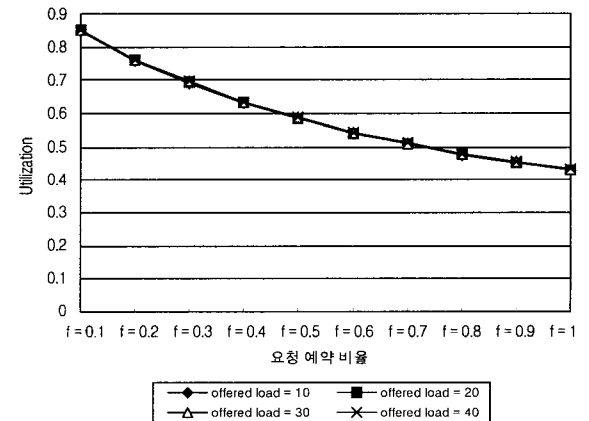
(그림 9)는 일반 보행자의 평균 속도인 4km/h일 때의 Blocking Probability, Dropping Probability, Utilization을 나타낸 것이다. (그림 9) (a), (b), (c)에서 보는 바와 같이,  $f$  값이 증가할수록 Blocking Probability는 높아지고, Dropping Probability와 Utilization은 낮아진다. Utilization이 0.5이상인 경우를 기준으로 했을 때 Blocking Probability는 모든 로드별로 거의 일정하게 변화하게 되므로 Dropping Probability에서 최적인  $f$  값을 고려한다.  $f = 0.6$ 에서 모든 로드별로 Dropping Probability 값이 비슷하게 내려가다가 그 이후의 값에



(a) 요청예약비율  $f$ 와 Offered Load에 따른 Blocking Probability



(b) 요청예약비율  $f$ 와 Offered Load에 따른 Dropping Probability

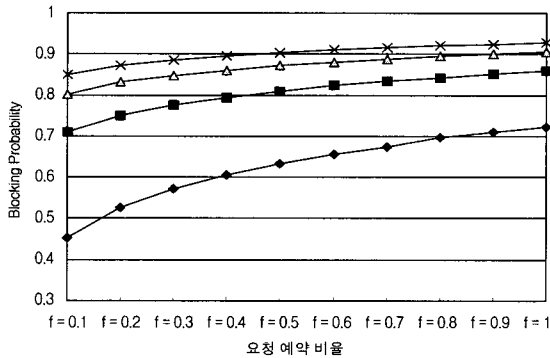


(c) 요청예약비율  $f$ 와 Offered Load에 따른 Utilization

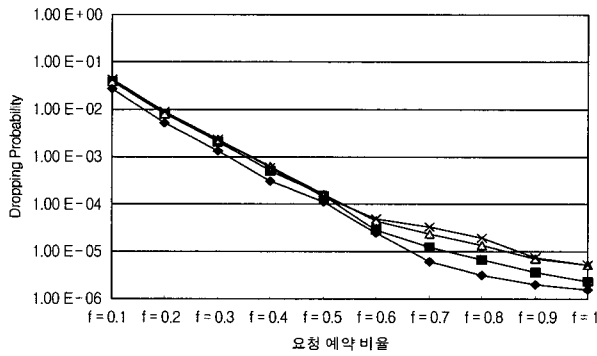
(그림 9) 이동 평균속도가 4km/h일 때의 요청 예약 비율을 나타내는 Fractional Parameter

서는 Offered Load = 10을 제외한 다른 값들은 거의 변화가 없게 된다.

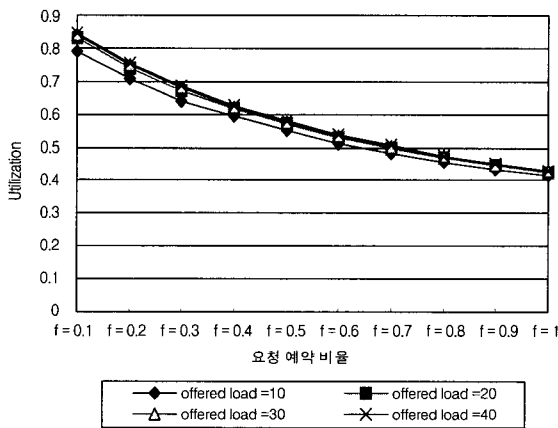
이동하는 속도가 4km/h인 지역을 예로 들면 주거 지역과 상가 건물이 밀집되어 있는 곳인 경우를 들 수가 있는데 이 속도에 대해서  $f=0.6$  값을 적용하게 되면 Blocking Probability, Dropping Probability, Utilization에 대해 최적의 결과를 얻을 수 있다.



(a) 요청 예약 비율  $f$ 와 Offered Load에 따른 Blocking Probability



(b) 요청 예약 비율  $f$ 와 Offered Load에 따른 Dropping Probability



(c) 요청 예약 비율  $f$ 와 Offered Load에 따른 Utilization

(그림 10) 이동 평균속도가 30km/h일 때의 요청 예약 비율을 나타내는 Fractional Parameter

(그림 10)은 모든 이동국들(Mobile Stations)의 평균 속도인 30km/h일 때의 Blocking Probability, Dropping Probability, Utilization을 나타낸 것이다.

(그림 10) (a), (b), (c)에서 보는 바와 같이,  $f$  값이 증가할수록 Blocking Probability는 높아지고, Dropping Probability와 Utilization은 낮아진다. Utilization이 0.5이상인 경우를 기준으로 했을 때 Blocking Probability, Dropping Probability에서 최적의  $f$  값을 고려한다. Dropping Probability가 모든 로드별로 비슷하게 내려가다가  $f=0.6$ 에서 그 이후의 값에서는 로드별로 차이를 내면서 떨어지게 되고, 반면에 Blocking Probability는 로드별로 증가하는 차이가 적어진다.

이동하는 속도가 30km/h인 지역을 예로 들면 항상 많은 차량으로 붐비는 도로나 일반도로에서 좌회전이나 우회전을 할 수 있는 사거리 지역이나 그 근처에 밀집되어 있는 상가건물이나 유흥가를 들 수가 있는데 이 속도에 대해서  $f=0.6$  값을 적용하게 되면 Blocking Probability, Dropping Probability, Utilization에 대해 최적의 결과를 얻을 수 있다.

(그림 11)은 자동차와 같은 이동 시설을 이용하는 경우의 평균 속도인 60km/h일 때의 Blocking Probability, Dropping Probability, Utilization을 나타낸 것이다. (그림 11) (a), (b), (c)에서 보는 바와 같이,  $f$  값이 증가할수록 Blocking Probability는 높아지고, Dropping Probability와 Utilization은 낮아진다. Utilization이 0.5이상인 경우를 기준으로 했을 때 Blocking Probability, Dropping Probability에서 최적의  $f$  값을 고려한다.  $f=0.5$ 인 경우에, Dropping Probability가 감소하는 값이 Blocking Probability가 증가하는 값보다 더 높다.

이동하는 속도가 60km/h인 지역을 예로 들면 계속 이동 중인 일반도로나 산업도로인 경우를 들 수가 있는데 이 속도에 대해서  $f=0.5$  값을 적용하게 되면 Blocking Probability, Dropping Probability, Utilization에 대해 최적의 결과를 얻을 수 있다.

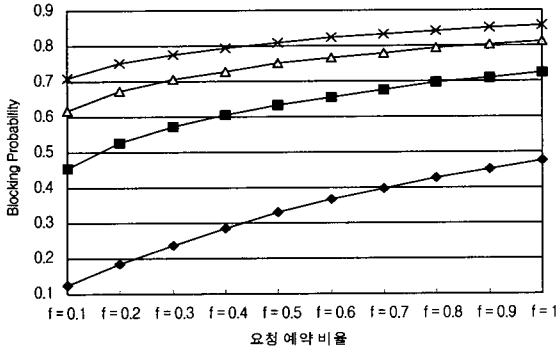
(그림 12)는 이동 시설을 이용한 최고속도인 90km/h일 때의 Blocking Probability, Dropping Probability, Utilization을 나타낸 것이다.

(그림 12) (a), (b), (c)에서 보는 바와 같이,  $f$  값이 증가할수록 Blocking Probability는 높아지고, Dropping Probability와 Utilization은 낮아진다. 여기서는 Offered Load = 10과 다른 로드 값들이 심하게 차이를 내므로 따로 Blocking Probability, Dropping Probability에서 최적의  $f$  값을 고려한 경우이다.

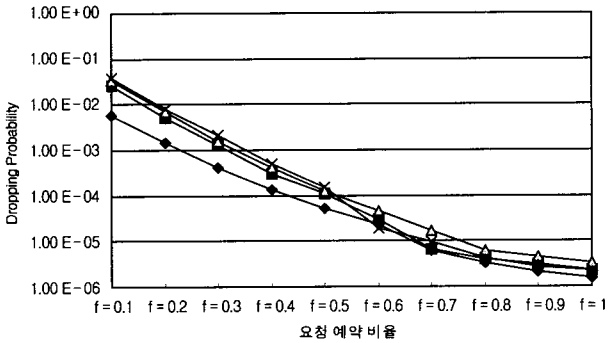
Offered Load = 20, 30, 40에서는  $f=0.6$ 가 모든 로드별로 Dropping Probability값이 비슷하게 내려가다가 그 이후의 값에서는 다른 값들은 거의 변화가 없음을 볼 수 있다.

Utilization이 0.5 이하인 경우를 기준으로 했을 때 Block-

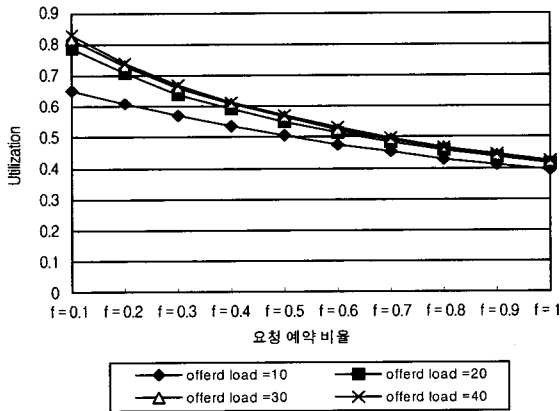
ing Probability, Dropping Probability에서 최적의  $f$  값을 고려한 경우이다. Offered Load = 10에서는  $f=0.4$ 일 때 다른 로드 값들과 Dropping Probability가 비슷함을 볼 수 있다.



(a) 요청 예약 비율  $f$ 와 Offered Load에 따른 Blocking Probability



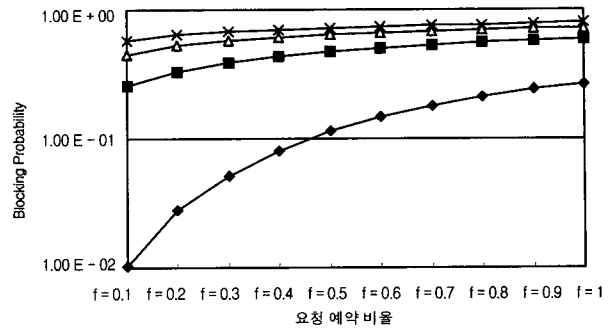
(b) 요청 예약 비율  $f$ 와 Offered Load에 따른 Dropping Probability



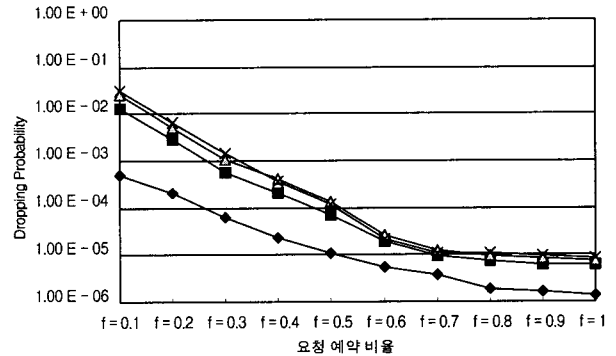
(c) 요청 예약 비율  $f$ 와 Offered Load에 따른 Utilization

(그림 11) 이동 평균속도가 60km/h일 때의 요청 예약 비율을 나타내는 Fractional Parameter

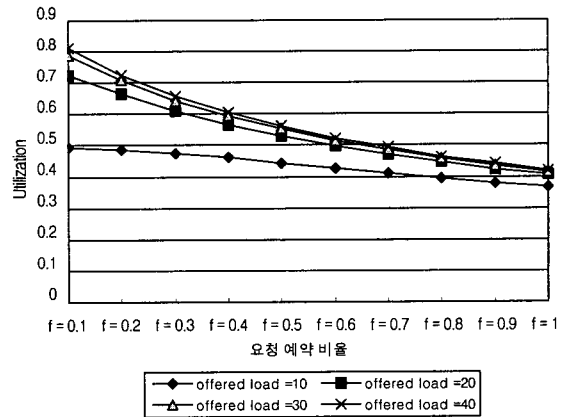
이동하는 속도가 90km/h인 지역을 예로 들면 고속도로에서 승용차 최고 시속이 100km/h이고 승합차 최고시속이 90km/h인 경우를 들 수가 있는데 Offered Load = 10인 경우에는  $f=0.4$  값을 적용하고, Offered Load = 20, 30, 40인 경우에는  $f=0.6$  값을 적용하면 Blocking Probability, Dropping Probability, Utilization에 대해 최적의 결과를 얻을 수 있다.



(a) 요청 예약 비율  $f$ 와 Offered Load에 따른 Blocking Probability



(b) 요청 예약 비율  $f$ 와 Offered Load에 따른 Dropping Probability



(c) 요청 예약 비율  $f$ 와 Offered Load에 따른 Utilization

(그림 12) 이동 평균속도가 90km/h일 때의 요청 예약 비율을 나타내는 Fractional Parameter

### 5. 결론 및 향후 과제

사용자들이 이동 전화나 노트북과 같은 이동 단말기를 많이 사용함으로써 셀룰러 망의 빠른 성장을 이루었다. 또한 무선시스템들이 마이크로/피코 셀룰러 구조와 같이 설계됨으로써, 제한된 라디오 스펙트럼에서 이동 단말기의 증가하는 수를 수용할 수 있게 되었고, 또한 보다 높은 서비스를 제공하기 위하여 핸드오프 이벤트들이 증가하게 되었다.

핸드오프가 발생할 때 지속적인 서비스를 제공하기 위하여 대역폭을 예약하는 방법에서는 핸드오프 호가 우선적으로 다루어진다.

Population-based Bandwidth Reservation 구조에서는 기지국들의 오버헤드가 거의 필요가 없으며 매우 간단하게 구현되고, 셀룰러 망에서 현재 호의 주위에서 변화하는 트래픽 상태에 따라 대역폭 예약의 양을 동적으로 조절한다.

본 논문에서는 PBR구조에서 속도별(4km/h, 30km/h, 60km/h, 90km/h)로  $f$ (Fractional Parameter)의 값에 따라 Blocking Probability, Dropping Probability, Utilization이 어떻게 변하는지를 보았다.  $f$ 의 최적 값은 이동국(Mobile Station)의 속도, 평균 호의 기간, 셀 크기 등에 의해 결정되어야 한다. 왜냐하면,  $f$ 는 어떤 기간에서 발생하는 핸드오프 호에 필요한 대역폭의 전체 양에 대한 요청 예약 비율을 나타내기 때문이다.

본 논문에서는 속도에 따라서 평균 호의 기간과 셀 크기를 가정하였다. 속도에 따라서 약간의 차이를 보였지만  $0.4 \leq f \leq 0.6$ 인 경우에서 Blocking Probability, Dropping Probability, Utilization이 최적의 값을 가짐을 보았다. 앞으로의 연구 과제로는 다양한 트래픽 상태에서  $f$ 를 선택하는데 요구되는 방법에 관한 것이다.

## 참 고 문 헌

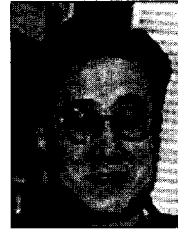
- [1] 성세경, 차균현, "셀룰러 이동전화 시스템", 생능출판사, 1993.
- [2] 한국전자통신연구원, "무선 ATM 기술 개론", 진한도서, 1998.
- [3] W. J. Stewart, "Introduction to the numerical solution of Markov chains," Princeton University Press, 1994.
- [4] W. C. Y Lee, "Smaller cells for greater performance," *IEEE Communications Magazine*, pp.19-23, Nov., 1991.
- [5] A. S. Acampora and M. Naghshineh, "Control and quality-of-service provisioning in high-speed microcellular networks," *IEEE Personal Communications*, pp.36-42, Second Quarter, 1994.
- [6] S. Tekinay and B. Jabbari, "Handover and channel assignment in mobile cellular networks," *IEEE Communications Magazine*, pp.42-46, Nov., 1991.
- [7] N. B. Mehta and A. Goldsmith, "Prediction-based Techniques for Hand-Off Prioritization in Channel Assignment Schemes," in *IEEE Proc. GLOBECOM'98*, Sydney, Australia, pp.2599-2604, Nov., 1998.
- [8] M. Sidi and D. Starobinski, "New call blocking versus hand-off blocking in cellular networks," *Wireless Networks*, Vol. 3, No.1, pp.15-27, 1997.
- [9] D. Hong and S. Rappaport, "Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and nonprioritized handoff procedures," *IEEE Trans. on Vehicular technology*, Vol.VT-35, No.3, pp.77-92, Aug., 1986.
- [10] C. Oliveria, J. B. Kim and T. Suda, "Quality-of-service guarantee in high-speed multimedia wireless networks," in *Proc. ICC '96*, pp.728-733.
- [11] D. A. Levine I. F. Akyildiz, and M. Naghshineh, "A resource estimation and call admission algorithm for wireless multimedia networks using the shadow cluster concepts," *IEEE /ACM Trans. on Networking*, Vol.5, No.1, pp.1-12, Feb., 1997.
- [12] S. Choi and K. G. Shin, "Predictive and adaptive bandwidth reservation for hand-offs in QoS-sensitive cellular networks," in *Proc. ACM SIGCOMM '98*, Vancouver, Canada, pp.155-166, Sep., 1998.
- [13] S. Kim, T. F. Znati, "Adaptive Handoff Channel Management Schemes for Cellular Mobile Communication Systems," in *Proc. IEEE ICC'99*, Vancouver, Canada, pp.765-769, June, 1999.
- [14] O. T. W. Yu and V.C. M. Leung, "Adaptive Resource Allocation for Prioritized Call Admission over an ATM-Based Wireless PCN," *IEEE JSAC*, Vol.15, No.7, pp.1208-1225, Sept., 1997.
- [15] M. Han and A. A. Nilsson, "Population-Based call admission control in wireless cellular networks," in *Proc. 12th International Teletraffic Congress (ITC) Specialist Seminar on Mobile Systems and Mobility*, Lillehammer, Norway, March, 2000.
- [16] Victor O.K.LI and etc, "Personal Communication Systems (PCS)," *Proceedings of the IEEE*, Vol.83, No.9, pp.1210-1243, Sep., 1995.
- [17] G. N. Senarath and D. Everitt, "Comparison of Alternative Handoff Strategies for Microcellular Mobile Communication Networks," *IEEE VTC '92*, pp.694-697, 1992.
- [18] X. Luo and D. Everitt, "Handoff Effects in Microcellular Systems," *IEEE VTC '92*, pp.654-657, 1992.
- [19] S. Katsuki and E. Hato, "A study of drivers' behavior and traffic management," in *Proc. 1994 Vehicle Navigation & Information Systems Conference*, Yokohama, Japan, pp. 255-258, 1994.
- [20] D. C Cox and D. O. Reudnix, "Increasing channel occupancy in large-scale mobile radio systems : dynamic channel assignments," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. VT-22, pp.218-222, Nov., 1973.
- [21] P. Ramanathan, K. M. Sivalingam, P. Agrawal, and Shalinee, "Resource allocation during handoff through dynamic scheme for mobile multimedia wireless networks," in *Proc. IEEE INFOCOM'99*, New York, USA, pp.1204-1211, March, 1999.
- [22] Y. C. Kim, D. E. Lee, B. J. Lee, and Y. S. Kim, "Dynamic Channel Reservation Based on Mobility in Wireless ATM Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol.37, No. 11, pp.47-51, Nov., 1999.
- [23] J. Tajima and K. Imamura, "A strategy for flexible channel assignment in mobile communication systems," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol.37, pp.92-103, May, 1988.
- [24] T. P. Chu, S. S. Rappaport, "Generalized Fixed Channel Assignment in Microcellular Communication Systems," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol.43, No.3, pp.713-721, 1994.



**권 세 동**

e-mail : sdkwon@mju.ac.kr  
1997년 명지대학교 컴퓨터공학과 졸업  
(학사)  
1999년 명지대학교 컴퓨터공학과 졸업  
(석사)  
1999년~2002년 현재 명지대학교 컴퓨터공  
학과 박사(수료)

1999년~현재 GT&T 연구원  
관심분야 : ATM 교환기, ATM 트래픽 제어, 컴퓨터 네트워크



**박 현 민**

e-mail : hpark@mju.ac.kr  
1985년 서울대학교 전자공학과 졸업(학사)  
1988년 North Carolina State University  
Electrical and computer engineer-  
ing(석사)  
1995년 North Carolina State University  
Electrical and computer engineer-  
ing(박사)

1996년~현재 명지대학교 공과대학 컴퓨터학부 부교수  
관심분야 : ATM 교환기, 네트워크 트래픽 관리 및 보안 기술 연구

**한 만 유**

e-mail : mhan@eos.ncsu.edu  
1985년 서울대학교 전자공학과 졸업(학사)  
1987년 North Carolina State University Electrical and Computer  
Engineering(석사)  
1987년~1988년 현대 근무  
1988년~1994년 삼성전자 근무  
1999년 North Carolina State University Electrical and Computer  
Engineering(박사)  
관심분야 : 무선 ATM, 고속 통신망에서의 성능 분석, 무선통신에  
서의 QoS