

# 무선 ATM 망에서 멀티 서비스 클래스를 지원하기 위한 무선 자원 관리 기법

정희원 이 봉 주\*, 이 동 은\*\*, 조 상 엽\*\*, 김 영 천\*\*\*

## Wireless Resource Management Scheme to Support Multi-Service Classes in Wireless ATM Networks

Bong-ju Lee\*, Dong-eun Lee\*\*, Sang-yeop Cho\*\*, Young-chon Kim\*\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 무선 ATM 망에서 멀티 서비스 클래스를 지원하기 위하여 핸드오프로 인한 이동 특성과 호 수준의 QoS를 고려한 동적 무선 자원 관리 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 무선 자원을 우선적으로 핸드오프 호에게 할당하고 새로운 호에게도 서비스 확률에 의하여 동적으로 자원을 할당하도록 한다. 서비스 확률은 전체 무선 대역폭, 임계값, 사용중인 무선 대역폭, 이동 특성, 그리고 서비스 클래스별 조정값을 이용하여 동적으로 결정된다. 또한 제안한 기법의 성능을 평가하기 위해 수학적 분석을 실시하였고 핸드오프 호의 강제 종료 확률, 새로운 호의 블로킹 확률, 자원 이용률 관점에서 기존의 기법과 비교하였다.

### ABSTRACT

We present a dynamic wireless resource management scheme to support multi-service classes in wireless ATM networks considering the mobility characteristics due to handoffs and call level QoS. The proposed scheme allocates the wireless resources preferentially to handoff calls and assign those resources dynamically to new calls by using the service probability. Service probability is adaptively determined by total wireless bandwidth, threshold, actual wireless bandwidth being used, mobility characteristics, correction factor of each service classes. Also we perform mathematical analysis to evaluate the performance of proposed scheme and compare to existing scheme in terms of dropping probability of handoff calls, blocking probability of new calls, and resource utilization.

### 1. 서 론

무선 ATM (Asynchronous Transfer Mode) 망은 ATM 프로토콜을 무선 링크까지 확장하여 유무선 간에 ATM 기반의 투명한 인터페이스를 제공함으로써 유선 ATM 망에서 제공하던 음성, 데이터, 화상 등과 같은 다양한 멀티미디어 서비스를 무선 환경에서도 제공하도록 규정하고 있다. 무선 ATM 망에

서는 제한된 무선 스펙트럼을 이용하여 고속·광대역 이동 서비스를 효율적으로 제공하기 위하여 마이크로/피코 셀 구조를 채택함으로써 기존의 무선 통신망에 비하여 더욱 빈번하게 핸드오프가 발생하게 된다.<sup>[1]</sup> 따라서 무선 ATM 망에서는 단말기의 이동에 기인한 핸드오프를 고려하며 서로 다른 QoS (Quality of Services) 요구 사항을 갖는 다양한 멀티미디어 서비스를 지원하기 위하여 효율적인 자원 관리 기법 및 연결 수락 제어 기법 등이 필수적

\* 전북대학교 영상공학과 (bjlee@networks.chonbuk.ac.kr),

\*\* 청운대학교 인터넷컴퓨터학과 (delee,sycho@cwunet.ac.kr),

\*\*\* 전북대학교 전자정보공학부 영상정보신기술연구소 (yckim@moak.chonbuk.ac.kr)

논문번호 : K01123-0501, 접수일자 : 2001년 5월 1일

※ 본 연구는 2000년도 청운대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구(출판) 되었음.

로 요구된다.<sup>[2,3,4]</sup>

핸드오프는 단말기가 인접한 셀로 이동할 때 호의 QoS와 연속성을 보장하기 위해 서비스중인 호를 스위칭하는 동작으로 무선 ATM 망에서는 새로운 호뿐 아니라 핸드오프 호도 기지국에서의 무선 자원 할당을 요구한다. 따라서 무선 ATM 망의 자원 관리 기법은 새로운 호의 블록킹 확률과 함께 핸드오프 호의 강제 종료 확률과 같은 추가적인 호 수준의 성능 파라미터를 고려해야만 한다. 핸드오프 호가 발생할 때 기지국에서 이용 가능한 무선 자원이 있는 경우에는 ATM 연결의 중단 없이 핸드오프 호에 대한 서비스를 계속 수행할 수 있지만, 요구하는 대역폭을 제공할 수 없는 경우에는 진행 중이던 서비스를 강제적으로 종료시키게 된다. 새로운 호가 발생하는 경우에도 기지국에서는 호의 요구 대역폭을 제공할 수 있으면 무선 자원을 할당하여 서비스를 개시할 수 있지만 이용 가능한 무선 자원이 없으면 호를 블록킹 시키게 된다. 그러나 비정상적인 종료를 초래하는 핸드오프 호의 강제 종료는 서비스를 개시할 때까지 다소의 지연만을 유발시키는 새로운 호의 블록킹보다 사용자 관점에서 더 큰 성능 저하 요인으로 인식된다. 따라서 핸드오프 호의 강제 종료 확률을 가능한 낮추는 것이 바람직하며, 새로운 호보다 핸드오프 호의 QoS 보장이 우선 되어야만 한다.<sup>[2,4]</sup>

현재까지 무선 통신망에서 핸드오프 호의 강제 종료 확률을 줄이기 위한 다양한 무선 자원 관리 기법들이 연구되어 왔다. 가드 채널 기법(GCS, Guard Channel Scheme)과 핸드오프 큐잉 기법(Handoff Queuing Scheme)은 핸드오프 호에게 높은 우선권을 부여하여 무선 자원을 우선적으로 할당함으로써 핸드오프 실패 확률을 줄일 수 있도록 한다. 그러나 이들 기법은 새로운 호의 블록킹 확률을 증가시킴으로써 전체 무선 자원의 이용률을 저하시키며, 단일 서비스 클래스만을 고려하였기 때문에 멀티 서비스 클래스를 지원할 수 있는 새로운 자원 관리 기법의 개발이 요구된다. 한편, 기존의 ATM 망 및 일부 무선 ATM 망에서는 완전 공유 기법(CS, Complete Sharing), 상한 제한 기법(UL, Upper Limit), 최소 보장 기법(GM, Guaranteed Minimum) 등이 연구되었다. 이들 기법은 멀티 서비스 클래스를 지원할 수는 있지만 무선 망의 고유한 특성인 핸드오프를 고려하지 않았기 때문에 핸드오프 호의 QoS를 보장할 수 없다. 따라서 이동성을 고려하여 핸드오프 호를 우선적으로

처리하고 다양한 서비스 클래스별 QoS를 보장하기 위한 무선 자원 관리 기법의 개발은 성공적인 무선 ATM 망의 구현을 위해 매우 중요하다.<sup>[4,5,6,7]</sup>

본 논문에서는 멀티미디어 서비스의 이동성 및 호 수준의 QoS를 고려한 동적 무선 자원 관리 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 핸드오프 호를 우선적으로 처리하기 위해 가드 대역폭을 예약하여 새로운 호보다 핸드오프 호에 높은 우선권을 부여함으로써 핸드오프 호의 강제 종료 확률을 보장하며, 가드 대역폭을 핸드오프 호뿐 아니라 동적으로 결정된 서비스 확률에 의해 새로운 호에게도 자원을 할당할 수 있도록 함으로써 새로운 호의 블록킹 확률을 줄일 수 있고, 망 자원을 효율적으로 이용할 수 있도록 하였다. 새로운 호를 위한 서비스 확률은 기지국에서의 전체 대역폭, 현재 사용중인 무선 자원, 임계값, 트래픽의 모빌리티 특성, 서비스 클래스별 우선 순위제어를 위한 조정값을 이용하여 동적으로 결정한다. 본 논문에서는 수학적 분석을 통하여 제안한 기법을 기존의 완전 공유 기법 및 확장된 가드 채널 기법과 핸드오프 호의 강제종료 확률, 새로운 호의 블록킹 확률 그리고 무선 자원 이용률 관점에서 성능을 비교 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무선 자원 관리 기법을 위한 자원 모델을 살펴보고, 3장에서는 제안한 자원 관리 기법, 서비스 확률 결정 알고리즘에 대해 서술한다. 4장에서는 제안한 기법의 수학적 분석과 기존 기법과의 성능을 비교 분석하며, 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. 무선 자원 관리 기법

무선 ATM 망은 다수의 사용자에게 공유되는 제한된 무선 대역폭을 이용하여 표준 ATM 망에서 제공 가능한 다양한 클래스의 서비스를 지원할 수 있어야 하며, 서비스가 요구하는 QoS를 제공할 수 있어야 한다. 이는 셀 수준의 QoS(셀 손실율, 셀 전송 지연 등)를 보장하기 위해 전체 무선 대역폭을 다수의 서비스 클래스에게 할당하고 스케줄링하는 메체 접근 제어 기법, 호 수준의 QoS(블록킹 확률, 강제 종료 확률 등)를 제공하기 위해 전체 무선 대역폭을 관리하는 무선 자원 관리 기법과 서비스 요청의 수락 여부를 결정하는 연결 수락 제어 기법 등을 통하여 이루어질 수 있다. 특히, 무선 ATM 망에서의 자원 관리 기법은 클래스마다 요구 대역폭이 다양한 이동 멀티미디어 서비스를 지원해야

하므로 기존의 단일 서비스 클래스를 지원하는 무선 통신망의 자원 관리 기법이나 핸드오프 호를 고려하지 않은 유선 ATM 망의 무선 자원 관리 기법을 변경 없이 적용할 수 없게 된다.<sup>[4,8]</sup>

1. 무선 자원 모델

그림 1은 무선 ATM 망에서 멀티 서비스 클래스를 위한 무선 자원 모델을 보여준다. 호 레벨 관점에서 무선 ATM 망의 기지국에서는 상향 채널의 데이터 전송을 위해 전체 C 단위 대역의 무선 자원이 이용 가능하며, 하향 채널을 통한 데이터 전송도 상향 채널과 동일한 단위 대역폭을 가진다고 가정한다. 단위 대역은 셀 레벨 관점의 매체 접근 제어 기법에서 사용자 데이터를 전송하기 위한 고정 크기의 하나의 데이터 슬롯과 동일한 대역폭으로 정의한다. 따라서 기지국의 전체 무선 자원은 셀 수준 관점에서의 MAC (Medium Access Control) 프레임의 상향 채널 또는 하향 채널에 있는 데이터 슬롯의 수와 동일하며, 무선 자원 관리 기법은 전체 C 단위 대역의 무선 자원을 CBR (Constant Bit Rate), VBR (Variable Bit Rate), ABR (Available Bit Rate), UBR (Unspecified Bit Rate) 등과 같은 다양한 이동 멀티미디어 서비스를 위해 효율적으로 관리하도록 해야만 한다.

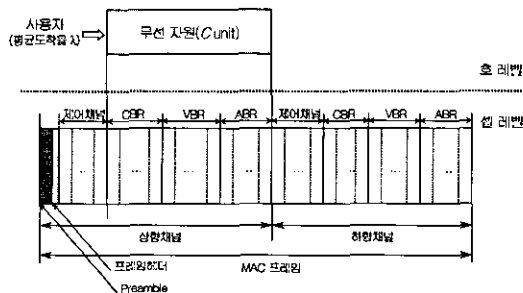


그림 1. 멀티 서비스 클래스를 위한 무선 자원 모델

무선 ATM 망에서의 전체 서비스 클래스의 수는 k, 연결 요청이 실패한 호는 큐잉하지 않고 즉시 제거된다고 가정하였다. 임의의 서비스 클래스에 속하는 새로운 호 또는 핸드오프 호는 호 지속 시간 동안 무선 자원을 요구하며, 망에서 요구 대역폭을 제공할 수 없을 때 연결 요청은 실패하게 된다.<sup>[9]</sup> 클래스 i의 호가 서비스를 요청할 때 기지국에 b<sub>i</sub> 단위 대역을 요구하고 서비스를 마치면 즉시 b<sub>i</sub> 단위 대역을 반환한다고 가정하고, 서비스 클래스별 요구 단위 대역은 k×1 열 벡터를 치환 (trans position)

하여 다음과 같이 정의한다.

$$b = [b_1, b_2, \dots, b_k]^T$$

서비스를 요구하는 호의 도착율이 평균 λ의 포아송 프로세스로 가정하면 요구하는 호가 특정 서비스 클래스에 포함될 확률인 임의의 이산 랜덤 변수 q<sub>i</sub>를 이용하여 각 클래스별 도착율은 평균 λ<sub>i</sub>의 독립적인 포아송 프로세스로 가정할 수 있다.

$$\lambda_i = \lambda q_i, \quad i = 1, \dots, k$$

현재 시스템의 상태 n은 다음과 같이 1×k 행 벡터로 정의하며, 벡터의 요소는 각 클래스별 현재 서비스 중인 호의 수를 의미한다.

$$n = [n_1, n_2, \dots, n_{i-1}, n_i, n_{i+1}, \dots, n_k]$$

클래스 i의 서비스 요구에 대하여 b<sub>i</sub> 단위 대역의 무선 자원을 할당할 수 있으면 클래스 i의 호의 수는 1 증가한다. 또한 클래스 i의 서비스가 종료되어 b<sub>i</sub> 단위 대역의 무선 자원을 반환하면 클래스 i의 호의 수는 1 감소한다. 따라서 클래스 i의 서비스 요구를 수락한 경우의 시스템 상태 n<sub>i</sub><sup>+</sup>와 클래스 i의 서비스를 종료한 경우의 시스템 상태는 n<sub>i</sub><sup>-</sup>는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$n_i^{\pm} = [n_1, n_2, \dots, n_i, n_i \pm 1, n_{i+1}, \dots, n_k]$$

2. 기존의 자원 관리 기법

완전 공유 기법 (CS, Complete Sharing)은 가장 단순한 형태의 자원 관리 기법으로서 전체 무선 자원을 새로운 호와 핸드오프 호의 구별 없이 다수의 클래스에게 공유하는 방식이다. 완전 공유 기법은 호의 유형 (새로운 호 또는 핸드오프 호)과 클래스 (CBR, VBR, ABR 등)에 관계없이 호가 요구하는 무선 대역폭을 할당할 수 있으면 호를 수락하고, 요구 대역폭을 제공할 수 없으면 호를 거절한다. 따라서 전체 무선 대역을 완전히 공유함으로써 망 자원의 효율적인 이용이 가능하지만 서비스 유형별 QoS와 클래스별 QoS 요구사항을 보장할 수 없다.<sup>[5,6,7]</sup>

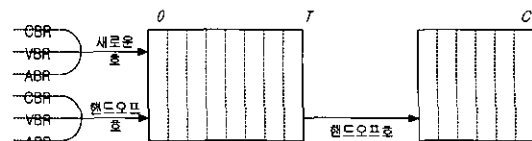


그림 2. 확장된 가드 채널 기법의 무선 채널 모델

그림 2는 기존의 가드 채널 기법으로부터 멀티 서비스 클래스를 지원하기 위해 확장된 가드 채널 기법의 무선 채널 모델을 보여준다.<sup>[2]</sup> 기지국내에서 이용 가능한 전체 무선 자원의 수는  $C$ , 임계값은  $T$  라고 가정한다. 현재 사용중인 무선 자원이 임계값 이하인 경우에 CBR, VBR, ABR 클래스의 새로운 호와 핸드오프 호는 무선 자원을 공유할 수 있다. 하지만 임계값 이후의 무선 자원은 핸드오프 호만을 위해 예약된 무선 자원으로서 새로운 호는 이용할 수 없고 단지 CBR, VBR, ABR 클래스의 핸드오프 호를 처리하기 위해서만 사용된다. 결과적으로 확장된 가드 채널 기법은 새로운 호보다 핸드오프 호에게 우선권을 부여하여 핸드오프 호의 QoS를 보장할 수 있지만, 임계값 이후의 영역에서는 이용 가능한 채널이 있더라도 새로운 호를 수용할 수 없게 되어 망 자원의 이용률이 저하되고 클래스별 새로운 호의 QoS를 보장하기 어렵게 된다.

### III. 동적 무선 자원 관리 기법

무선 ATM 망의 자원 관리 기법은 무선 환경에서의 이동 특성 및 클래스별 QoS를 고려해야만 한다. 그림 3은 본 논문에서 제안한 동적 무선 자원 관리 기법을 위한 무선 자원 모델을 보여준다. 기지국 내에서 이용 가능한 전체 무선 자원은  $C$  단위 대역, 임계값은  $T$ 라고 가정한다. 현재 사용중인 무선 자원이 임계값에 도달할 때까지 CBR, VBR, ABR 클래스의 핸드오프 호와 새로운 호는 무선 자원을 공유한다. 그러나 임계값 이후의 무선 자원은 우선적으로 핸드오프 호를 위해 예약되고, 이와 함께 새로운 호는 동적으로 결정된 서비스 확률에 의해 무선 자원 할당이 가능하다. 새로운 호에 대한 서비스 확률은 기지국의 전체 무선 자원( $C$ ), 임계값 ( $T$ ), 현재 사용중인 무선 자원 용량( $n \cdot b$ ), 새로운 호의 도착율에 대한 핸드오프 호의 도착율의 비율로 정의되는 모빌리티 특성( $\alpha$ ), 각 클래스별 조정값( $K$ )을 이용하여 동적으로 계산한다.

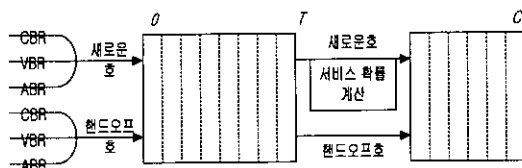


그림 3. 멀티 서비스 클래스를 위한 무선 자원 모델

제안한 기법은 현재 사용중인 무선 자원이 임계값을 초과한 상태에서 새로운 호가 요구되면 가드 채널 기법과 달리 모든 연결 설정 요구를 거절하지 않고 각 서비스 클래스별로 계산한 서비스 확률만큼은 수용하도록 함으로써 다음과 같은 특성을 갖는다. 첫째, 핸드오프 호는 기지국 내의 전체 대역폭을 이용할 수 있어 새로운 호에 비해 높은 서비스 우선 순위를 가진다. 따라서 강제 종료 확률과 같은 호 수준 QoS를 보장할 수 있고, 단말기의 핸드오프를 효율적으로 지원할 수 있다. 둘째, 새로운 호는 임계값 이전의 공유 대역폭 뿐 아니라 클래스별 서비스 확률에 의해 임계값 이후의 가드 대역폭을 이용할 수 있어 블로킹 확률과 같은 호 수준의 성능을 향상시킬 수 있으며, 무선 자원의 효율적인 이용이 가능하다. 셋째, 클래스별로 서로 다른 조정값을 적용한 서비스 확률을 계산할 수 있어 가드 대역폭에서 새로운 호의 클래스별 우선 순위 제어가 가능하다. 따라서 클래스마다 서로 다르게 요구하는 블로킹 확률과 같은 호 수준의 QoS를 유연하게 제어할 수 있다. 넷째, 가드 대역폭에서 새로운 호의 서비스 확률을 계산할 때 모빌리티 특성을 고려함으로써 기지국에서의 새로운 호와 핸드오프 호의 트래픽 변화에 따라 호를 동적으로 제어할 수 있다.

#### 1. 새로운 호의 서비스 확률 결정을 위한 요구 사항

임계값 이전의 공유 대역에서는 서비스 클래스에 관계없이 새로운 호와 핸드오프 호의 모든 ATM 연결 요구 및 재설정 요구를 수용하여 무선 자원을 할당할 수 있도록 핸드오프 호와 새로운 호의 서비스 확률은 모두 1로 정의한다. 임계값을 초과한 가드 대역폭에서는 새로운 호보다 핸드오프 호에게 우선권을 부여하여 서비스 클래스에 관계없이 모든 핸드오프 호를 우선적으로 처리할 수 있도록 핸드오프 호의 서비스 확률은 1로 정의하고, 새로운 호에게는 망의 트래픽 특성에 따라 적응적으로 무선 자원을 할당할 수 있도록 서비스 클래스별로 동적으로 서비스 확률을 계산한다. 가드 대역폭에서 새로운 호의 요구에 대한 수락 여부를 결정하기 위하여 다음과 같은 두 가지 경우를 고려하였다.<sup>[4]</sup>

가. 핸드오프 호의 도착율이 새로운 호의 도착율보다 큰 경우 ( $\alpha > 1$ )

이 경우에는 핸드오프 호에게 보다 많은 서비스

기회를 제공하도록 가드 대역폭에서 새로운 호의 서비스 확률을 가능한 줄여야만 한다. 극단적으로 도착되는 모든 호가 핸드오프 호인 경우에는 가드 채널 기법과 같이 오직 핸드오프 호만 채널을 할당 받도록 새로운 호의 서비스 확률을 0으로 결정하여야 한다. 이는 보다 많은 무선 자원을 핸드오프 호에 할당함으로써 핸드오프 호의 강제 종료 확률을 보장할 수 있게 된다.

나. 핸드오프 호의 도착율이 새로운 호의 도착율보다 작은 경우 ( $\alpha < 1$ )

이 경우에는 새로운 호에게 보다 많은 서비스 기회를 제공하도록 가드 대역폭에서 새로운 호의 서비스 확률을 가능한 높여야만 한다. 극단적으로 도착되는 모든 호가 새로운 호인 경우에는 완전 공유 기법과 같이 새로운 호와 핸드오프 호가 가드 대역폭을 완전하게 공유하도록 새로운 호의 서비스 확률을 1로 결정하여야 한다. 이에 따라 새로운 호의 블로킹 확률은 감소될 수 있고, 망 자원을 효율적으로 이용할 수 있게 된다.

### 2. 새로운 호의 서비스 확률

이와 같은 고려사항을 기반으로 제안한 기법에서는 현재 시스템의 상태( $n$ )에서 클래스  $i$ 의 서비스 확률( $P_{r,i}$ )을 식 (1)과 같이 정의하였다. 여기서  $C_g$ 는  $C-T$ 로 정의되는 가드 대역폭으로서 핸드오프 호를 우선적으로 처리하기 위해 미리 예약한 대역폭을 의미한다.  $\alpha$ 는 트래픽의 모빌리티 특성을 나타내는 파라미터로서 새로운 호의 도착율에 대한 핸드오프 호의 도착율의 비율로 정의된다. 벡터  $K$ 는 각 서비스 클래스별로 서로 다른 채널 할당 우선 순위를 부여하기 위한 조정값으로 요구 대역폭을 고려하여 설정된다.

$$P_{r,i}(n) = \begin{cases} 1 & , 0 \leq n \cdot b \leq T \\ \left( \frac{C-n \cdot b}{C_g} \right)^{\alpha K_i} & , T < n \cdot b \leq C - b_i \\ 0 & , C - b_i < n \cdot b \leq C \end{cases} \quad (1)$$

여기서

$$\alpha = \frac{\lambda_h}{\lambda_n}$$

$$K = [K_1, K_2, \dots, K_k]$$

이다.

클래스  $i$ 의 새로운 호의 서비스 확률  $P_{r,i}(n)$ 는 현재 시스템에서 사용중인 무선 자원의 수가 임계값

미만인 경우에는 서비스 확률을 1로 정의하여 도착하는 모든 새로운 호의 요구를 수용한다. 또한 현재 시스템에서 사용중인 무선 자원의 수가 임계값 이상이면서 새로운 호가 요구하는  $b_i$ 만큼의 자원이 이용 가능하면 전체 대역폭, 임계값, 현재 사용중인 무선 자원의 수, 트래픽의 모빌리티 특성, 조정값을 이용하여 0과 1사이의 서비스 확률을 동적으로 결정하고, 계산한 확률만큼의 새로운 호의 요구를 수용한다. 그리고 이용 가능한 자원이  $b_i$  보다 적은 경우에는 서비스 확률을 0으로 하여 새로운 호의 요구를 거절하게 된다.

극단적으로 핸드오프 호의 도착율이 0인 경우에는 식 (2)와 같이 1에 수렴한다. 이 경우에는  $\alpha$ 의 값이 0이기 때문에 서비스 확률은 1로 정의되며, 가드 대역폭을 새로운 호와 핸드오프 호가 완전하게 공유할 수 있어 완전 공유 기법과 동일하게 동작한다. 따라서 새로운 호에게 보다 많은 서비스 기회를 제공함으로써 새로운 호의 블로킹 확률을 줄이고 망 자원을 효율적으로 이용할 수 있게 된다.

$$\left[ \frac{C-n \cdot b}{C_g} \right]^{\alpha K_i} = 1, \text{ for } \alpha=0(\lambda_h=0, \lambda_n \neq 0) \quad (2)$$

새로운 호보다 핸드오프 호의 도착율이 상당히 큰 경우에는 식 (3)과 같이 0에 수렴한다. 이 경우에는  $\alpha$ 의 값이 무한대에 근접하기 때문에 서비스 확률은 0으로 정의할 수 있다. 따라서 가드 대역폭에서 새로운 호의 요구는 모두 거절되고 핸드오프 호에게만 채널 할당 기회를 제공하므로 확장된 가드 채널 기법과 동일하게 동작하며, 핸드오프 호의 강제 종료 확률을 보장할 수 있게 된다.

$$\left[ \frac{C-n \cdot b}{C_g} \right]^{\alpha K_i} = 0, \text{ for } \alpha \rightarrow \infty(\lambda_h \gg \lambda_n \neq 0) \quad (3)$$

### 3. 새로운 호의 서비스 확률의 예

그림 4는 대역 요구량  $b_i$ 가 1인 클래스 1의 새로운 호를 위한 서비스 확률을 보여주고 있다. 전체 무선 자원의 수를 125 단위 대역, 임계값을 100으로 가정하였다. 핸드오프 호의 도착율이 0( $\alpha=0$ )인 경우에는 가드 대역폭 내에서 서비스 확률이 1로 설정되어 완전 공유 기법과 동일하고, 모든 새로운 호의 요구에 대해 서비스를 제공한다. 새로운 호의 도착율의 비율이 핸드오프 호보다 상대적으로 큰 경우( $\alpha < 1$ )에는 새로운 호에게 보다 많은 서비스 기회를 제공한다. 새로운 호와 핸드오프 호의 도착율

이 같은 경우( $\alpha = 1$ )에는 서비스 확률이 사용중인 무선 자원의 수가 증가함에 따라 선형적으로 감소한다. 핸드오프 호의 도착율이 새로운 호보다 상대적으로 큰 경우 ( $\alpha > 1$ )에는 핸드오프 호에게 보다 많은 서비스 기회를 제공한다.

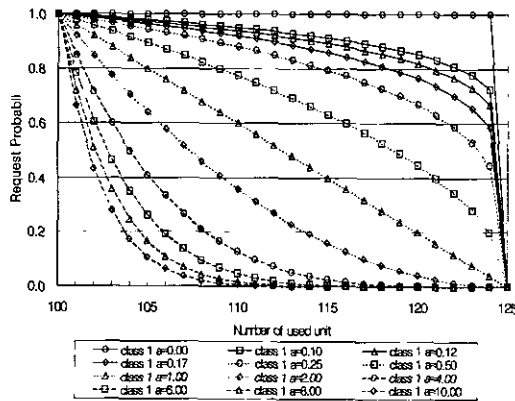


그림 4. 새로운 호의 서비스 확률

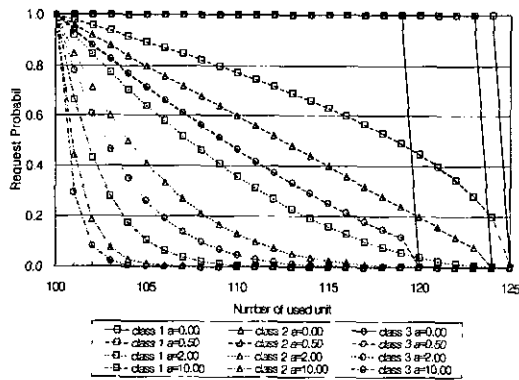


그림 5. 클래스별 새로운 호의 서비스 확률

그림 5는 서비스 클래스별 새로운 호를 위한 서비스 확률을 보여주고 있다. 클래스 1, 2, 3 각각에 대하여 대역 요구량  $b_i$ 는 1, 2, 6 단위 대역으로, 클래스별 조정값은 우선 순위(클래스 1 > 클래스 2 > 클래스 3)를 고려하여 각각 1, 2, 3으로 가정하였다. 모빌리티 특성이 동일하다라도 조정값이 서로 상이하기 때문에 클래스별 서비스 확률은 서로 다른 값을 가지게 되며 클래스 1의 서비스 확률이 가장 높게 나타난다. 결과적으로 무선망 내의 트래픽의 모빌리티 특성 및 조정값에 따라 새로운 호의 서비스 확률을 적응적으로 결정할 수 있어 유연한 QoS 제어가 가능케 된다.

#### IV. 무선 자원 관리 기법의 분석 및 성능 평가

##### 1. 무선 자원 관리 기법 분석

제안한 기법에 대한 시스템에서 허용 가능한 상태 집합은 식 (4)와 같다. 여기서  $C_s$ 는 새로운 호와 핸드오프 호가 공유하는 임계값 이전의 공유 대역폭이고,  $C_r$ 는 핸드오프 호와 서비스 확률만큼의 새로운 호에 의해 할당 가능한 임계값 이후의 가드 대역폭이다.<sup>[4,5,6,7]</sup>

$$\Omega_{DCRS} = \{n : 0 \leq n \cdot b \leq C\} \quad (4)$$

새로운 호와 핸드오프 호를 수용할 수 있는 허용 가능한 상태 집합  $\Omega_N$ ,  $\Omega_H$ 는 식 (5)와 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Omega_N &= \Omega_{DCRS} \\ \Omega_H &= \Omega_{DCRS} \end{aligned} \quad (5)$$

제안한 기법의 분석을 위한 가정을 표 1에 정리하였다.

표 1. 제안한 기법의 분석을 위한 가정

| 파라미터           | 파라미터 내용   |
|----------------|---|
| $\lambda_{ih}$ | 클래스 $i$ 핸드오프 호의 도착율 (평균 $\lambda_{ih}$ 의 포이송 분포)                  |
| $\lambda_{in}$ | 클래스 $i$ 새로운 호의 도착율 (평균 $\lambda_{in}$ 의 포이송 분포)                   |
| $\mu_{ih}$     | 클래스 $i$ 핸드오프 호의 서비스율 (핸드오프 호의 서비스 시간은 평균 $\mu_{ih}^{-1}$ 의 지수 분포) |
| $\mu_{in}$     | 클래스 $i$ 새로운 호의 서비스율 (새로운 호의 서비스 시간은 평균 $\mu_{in}^{-1}$ 의 지수 분포)   |

임의의 시간  $t$ 에서 현재 서비스중인 호의 수를 벡터  $n$ 으로 정의할 때 현재 사용중인 무선 자원의 수가 임계값 이하일 때( $0 \leq n \cdot b \leq T$ )의 트래픽 특성은 다음과 같다.<sup>[9]</sup>

- 클래스  $i$  서비스의 호 도착율은  $\lambda_{ih} + \lambda_{in}$ 의 포이송 프로세스이다.
- 클래스  $i$  서비스의 호 서비스율은  $n_i(\mu_{ih} + \mu_{in})$ 이다.

현재 시스템에서 사용중인 무선 자원의 수가 임계값보다 크고 호가 요구하는  $b_i$ 만큼의 이용 가능한 대역폭이 남아있는 경우( $T < n \cdot b \leq C - b_i$ )의 트래픽 특

성은 다음과 같다. 이 경우에 모든 핸드오프 호는 채널을 할당받을 수 있지만, 새로운 호의 요구는 서비스 확률만큼만 채널을 할당할 수 있고 나머지는 연결 설정 요구가 블로킹 된다.

- 클래스  $i$  서비스의 호 도착율은  $\lambda_{ih} + P_{r,i}(n)\lambda_{in}$ 의 포아송 프로세스이다.
- 클래스  $i$  서비스의 호 서비스율은  $n_i(\mu_{ih} + \mu_{in})$ 이다.

현재 시스템에서 사용중인 무선 자원의 수가 호가 요구하는  $b_i$ 만큼의 이용 가능한 대역폭이 없는 경우( $C - b_i < n \cdot b \leq C$ )의 트래픽 특성은 다음과 같다. 이 경우에는 모든 호는 채널을 할당하지 못하고 연결 설정이 실패하거나 강제 종료된다.

- 클래스  $i$  서비스의 호 도착율은 0 이다.
- 클래스  $i$  서비스의 호 서비스율은  $n_i(\mu_{ih} + \mu_{in})$ 이다.

표 2에서는 위와 같은 트래픽 특성을 가지는 동적 채널 예약 기법을 분석하기 위하여 관련 파라미터를 정의하였다. 이를 이용하여 동적 채널 예약 기법의 평형 상태 방정식을 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \left[ \sum_{n=0}^k \lambda_i(n) \delta_i^+(n) + \sum_{n=0}^k n_i \mu_i \delta_i^-(n) \right] P(n) \\ &= \sum_{n=0}^k \lambda_i(n_i^-) \delta_i^-(n) P(n_i^-) \\ &+ \sum_{n=0}^k (n_i + 1) \mu_i \delta_i^+(n) P(n_i^+) \end{aligned} \quad (6)$$

for  $n \in \Omega_{DCRS}$

여기서

$$\begin{aligned} \lambda_i(n_i^-) &= \lambda_h + \lambda_n \cdot P_{r,i}(n_i^-) \cdot \beta_i(n) \\ \beta_i(n) &= \begin{cases} 1, & P_{r,i}(n) \geq P_g \\ 0, & P_{r,i}(n) < P_g \end{cases} \end{aligned}$$

표 2. 무선 자원 모델 분석을 위한 파라미터

| 파라미터    | 무선 자원의 구간                        |                                      |                              |
|---------|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
|         | $0 \leq n \cdot b \leq T$        | $T < n \cdot b \leq C - b_i$         | $C - b_i < n \cdot b \leq C$ |
| 도착율     | $P_{r,i}(n)=1$<br>$\lambda_i(n)$ | $P_{r,i}(n)=(0,1)$<br>$\lambda_i(n)$ | $P_{r,i}(n)=0$<br>0          |
| 서비스율    | $n_i \mu_i$                      | $n_i \mu_i$                          | $n_i \mu_i$                  |
| 블로킹 확률  | 0                                | $(1 - P_{r,i}(n))P(n)$               | $P(n)$                       |
| 강제종료 확률 | 0                                | 0                                    | $P(n)$                       |

※  $\lambda_i(n) \equiv \lambda_{ih} + P_{r,i}(n)\lambda_{in}$   
 ※  $\mu_i \equiv \mu_{ih} + \mu_{in}$

이다. 클래스  $i$ 의 국부 평형 상태 방정식은 다음 식과 같다.

$$\lambda_i(n_i^-) \delta_i^-(n) P(n_i^-) = n_i \mu_i \delta_i^-(n) P(n) \quad (7)$$

for  $i=1, \dots, k, n \in \Omega_{DCRS}$

따라서 현재 서비스 중인 호의 수가 벡터  $\mathbf{n}$ 이라고 정의할 때 서비스 클래스  $i$ 에 대한 안정 상태 확률은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} P(\mathbf{n}) &= \frac{1}{n_i!} a_i(\mathbf{n}) P(n_i^-) \\ &= \frac{1}{n_i!} \prod_{i=1}^n a_i(\mathbf{n}) P(0) \end{aligned} \quad (8)$$

for  $i=1, \dots, k, n_i \geq 1, \mathbf{n} \in \Omega_{DCRS}$

여기서

$$a_i(\mathbf{n}) = \frac{\lambda_i(n_i^-)}{\mu_i}$$

이다.

이때 국부 평형 상태 방정식 식(7)은  $k$ 개의 1차원 문제로 구성되며 각 형태의 호는 서로 독립적으로 발생하므로  $k$ 차원의 평형 상태 방정식의 해  $P(\mathbf{n})$ 은 1차원 해의 곱으로 표현할 수 있다고 가정하여 국부 평형 상태 방정식의 해를 평형 상태 방정식에 대입하면 성립하므로 안정 상태에서의 상태 확률은 식 (9)와 같이 구할 수 있다.

$$P(\mathbf{n}) = \prod_{i=1}^k \left\{ \frac{1}{n_i!} \prod_{i=1}^n a_i(\mathbf{n}) P(0) \right\} \quad (9)$$

식 (9)로부터 얻어진 모든 상태 확률의 합은 1이어야 하므로 정규화 상수는 다음과 같다.

$$P(0) = \left\{ \sum_{\mathbf{n} \in \Omega_{DCRS}} \left\{ \prod_{i=1}^k \frac{1}{n_i!} \prod_{i=1}^n a_i(\mathbf{n}) \right\} \right\}^{-1} \quad (10)$$

따라서 제한한 동적 채널 예약 기법에서의 상태 확률은 식 (11)과 같다.

$$P(\mathbf{n}) = \prod_{i=1}^k \left\{ \frac{1}{n_i!} \prod_{i=1}^n a_i(\mathbf{n}) G^{-1}(\Omega_{DCRS}) \right\} \quad (11)$$

여기서

$$G(\Omega_{DCRS}) = P(0)^{-1}$$

이다.

새로운 호와 핸드오프 호는 임계값에 도달하기

전의 공유 채널에서는 무선 자원을 공유한다. 그러나 임계값을 초과했을 때 새로운 호는 서비스확률에 의해서 서비스가 가능하고  $1-P_{r,i}(n)$  확률만큼은 채널을 할당받지 못한다. 따라서 서비스 클래스별 새로운 호의 블로킹 확률  $P_{bi}$ 는 식 (12)와 같이 정의할 수 있고, 이는 새로운 호를 수락했을 때 시스템에서 허용 가능한 상태 집합에 포함되지 않는 상태 확률의 합을 의미한다.

$$P_{bi} = \sum_{n \in B_i^+} (1 - P_{r,i}(n)) P(n) \quad (12)$$

$$= \frac{G(B_i^+)}{G(\Omega_{DCRS})}$$

여기서

$$B_i^+ = \{n : n \in \Omega_N, n \cdot b > T\}$$

이다.

핸드오프 호의 요구는 기지국내에서 이용 가능한 자원이 있다면 항상 서비스된다. 그러나 기지국내의 모든 채널이 사용되어 호가 요구하는  $b_i$  만큼의 이용 가능한 자원이 없다면 핸드오프 호의 요구는 수용할 수 없어 강제적으로 호는 종료된다. 따라서 서비스 클래스별 핸드오프 호의 강제 종료 확률은 식 (13)과 같다.

$$P_{di} = \sum_{n \in D_i^+} P(n) = \frac{G(D_i^+)}{G(\Omega_{DCRS})} \quad (13)$$

여기서

$$D_i^+ = \{n \in \Omega_H : n_i^+ \cdot b \in \Omega_H\}$$

이다.

제안한 기법의 채널 이용률  $P_U$ 는 식 (14)와 같다.

$$P_U = \frac{\sum_{n \in \Omega_{DCRS}} n \cdot b P(n)}{C} \quad (14)$$

표 3. 성능 평가를 위한 파라미터

| 파라미터         | 값               |
|--------------|-----------------|
| 전체 유닛 수      | 125             |
| 임계값          | 100             |
| 입력 부하 비율     | {1, 1, 1}       |
| 클래스별 요구 유닛 수 | {1, 2, 6}       |
| 클래스 가중치      | {1, 1, 1}       |
| 서비스율         | {0.2, 0.2, 0.2} |

## 2. 무선 자원 관리 기법 성능 평가

제안한 알고리즘의 성능 평가를 위하여 표 3과 같은 파라미터를 가정하고 핸드오프 호의 강제 종료 확률, 새로운 호의 블로킹 확률과 채널 이용률 관점에서 제안한 기법 (DCRS)과 확장된 가드 채널 기법 (GCS) 및 완전 공유 기법 (CSS)과 성능을 아래에 비교·분석하였다. 전체 이용 가능한 대역폭은 WATMnet I에서와 같이 8 Mbps, 프레임의 크기는  $125 \mu s$ , 매체 접근 제어 기법에서 사용되는 데이터 슬롯의 크기는 8 bit라고 가정하여, 프레임마다 이용 가능한 전체 단위 대역의 수는 125라고 정의하였다. 임계값은 100 단위 대역(예약 대역폭 25)이고, 클래스별 입력 부하는 모두 동일한 비율로 구성된다고 가정하였다. 또한 각 클래스별로 서비스를 제공하기 위해 요구하는 단위 대역의 수는 각각, 1, 2, 6으로 정의하였고, 클래스별 조정값은 모두 동일하다고 가정하였다. 그리고 호 지속 시간은 클래스의 구분 없이 2분으로 정의하였다.

그림 6, 7, 8은 모빌리티 특성( $\alpha$ )을 1로 고정하고 입력 부하 변화에 따른 핸드오프 호의 강제 종료 확률, 새로운 호의 블로킹 확률, 그리고 채널 이용률을 보여준다. 그림 6은 입력 부하의 변화에 따른 강제 종료 확률을 보여준다. 입력 부하가 증가함에 따라 핸드오프 호의 강제 종료 확률은 점차 증가하고, 요구하는 단위 대역이 가장 큰 클래스 3의 증가 비율이 가장 크다. 완전 공유 기법은 새로운 호와 핸드오프 호의 구분을 하지 않기 때문에 핸드오프 호의 QoS 보장이 매우 어렵다는 것을 알 수 있다. 트래픽 부하가 0.8이하일 때, 확장된 가드 채널 기법과 제안한 기법은 모두 1% 미만의 핸드오프 호의 강제 종료 확률을 제공한다.

그림 7은 입력 부하의 변화에 따른 새로운 호의 블로킹 확률을 보여준다. 입력 부하가 증가함에 따라

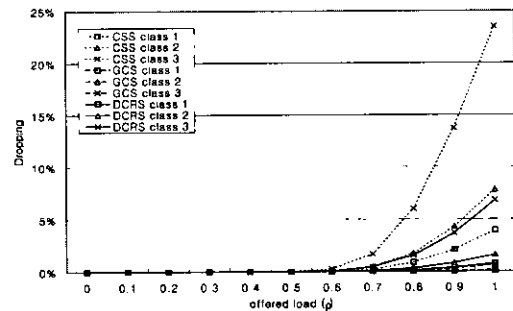


그림 6. 입력 부하 변화에 따른 강제 종료 확률



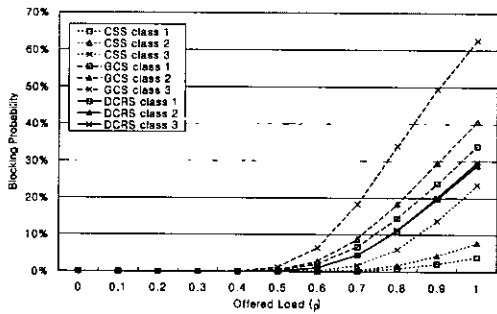


그림 7. 입력 부하 변화에 따른 블로킹 확률

라 새로운 호의 블로킹 확률은 증가되고, 요구하는 단위 대역이 가장 큰 클래스 3의 증가 비율이 가장 크게 나타난다. 완전 공유 기법은 핸드오프 호만을 위한 예약 대역폭이 없이 전체 대역폭을 공유하므로 블로킹 확률은 가장 좋은 성능을 보인다. 반면에 확장된 가드 채널 기법은 예약 대역폭을 새로운 호가 이용할 수 없어 블로킹 확률이 가장 높게 나타난다. 제안한 기법은 서비스 확률을 기반으로 가드 대역폭에서도 새로운 호를 서비스할 수 있어 확장된 가드 채널 기법에 비해 좋은 성능을 보여주고 있다.

그림 8은 입력 부하의 변화에 따른 채널 이용률을 보여준다. 입력 부하가 증가함에 따라 이용률은 점차 증가된다. 완전 공유 기법은 무선 대역폭의 완전한 공유로 인하여 가장 좋은 이용률 성능을 보이고 있다. 확장된 가드 채널 기법은 가드 대역폭 내에서 이용 가능한 무선 자원이 있더라도 새로운 호를 서비스할 수 없어 가장 낮은 이용률을 보인다. 또한 제안한 기법은 가드 대역폭에서도 새로운 호를 서비스확률만큼 서비스하기 때문에 확장된 가드 채널보다 좋은 이용률을 얻을 수 있다.

그림 9, 10, 11은 입력 부하( $\rho$ )가 0.8인 경우에

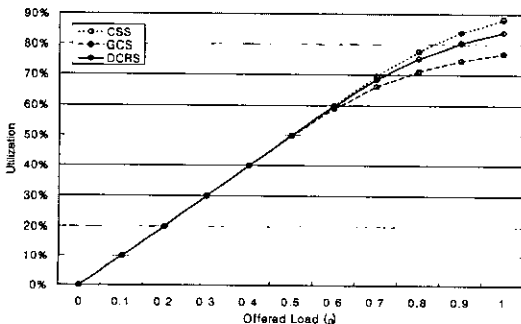


그림 8. 입력 부하 변화에 따른 채널 이용률

모빌리티 특성의 변화에 따른 핸드오프 호의 강제 종료 확률, 새로운 호의 블로킹 확률, 그리고 채널 이용률을 보여준다.

그림 9는 모빌리티 변화에 따른 핸드오프 호의 강제 종료 확률을 보여준다. 완전 공유 기법은 새로운 호와 핸드오프 호를 구분하여 처리하지 않기 때문에 강제 종료 확률은 블로킹 확률과 동일하고, 특정 입력 부하에서 각 서비스 클래스별 성능은 일정하지만 핸드오프 호의 강제 종료될 확률이 가장 크다. 확장된 가드 채널 기법은 핸드오프 호만 이용할 수 있는 가드 대역폭으로 인하여 강제 종료될 확률이 가장 작지만 과도하게 낮은 강제 종료 확률을 가진다. 반면에 제안한 기법은 가드 채널 기법보다는 강제 종료 확률이 크지만 클래스 1과 클래스 2는 1% 이하의 강제 종료 확률을 보장한다. 클래스 3은 요구하는 단위 대역이 가장 크기 때문에 강제 종료될 확률이 가장 크게 나타난다. 제안한 기법이 모빌리티 변화에 따라 좋아지다가 다시 저하되는데 이는 본 논문에서 설정한 새로운 호 서비스 확률식 (1)의 특징으로 모빌리티가 1인 경우와 비교하여 낮은 경우와 높은 경우에 새로운 호의 서비스 확률을 높게 설정하기 때문에 발생한다.

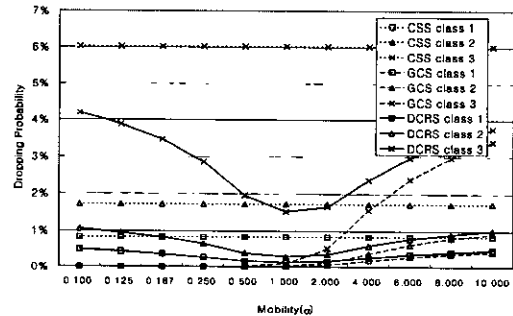


그림 9. 모빌리티에 따른 강제 종료 확률

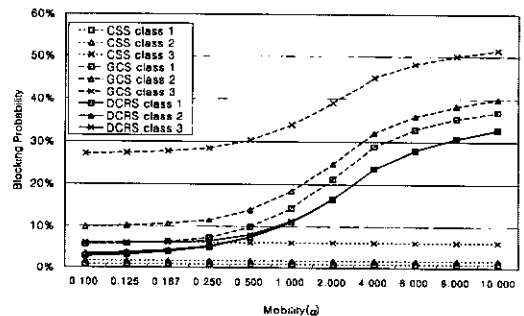


그림 10. 모빌리티에 따른 블로킹 확률

그림 10은 모빌리티 특성 변화에 따른 새로운 호의 블로킹 확률을 보여준다. 완전 공유 기법은 핸드오프 호와 새로운 호가 모든 대역폭을 동등하게 공유함으로써 모빌리티 변화에 영향 받지 않고 항상 일정하다. 제안한 기법과 가드 채널 기법은 모빌리티 특성이 증가함에 따라 새로운 호의 블로킹 확률도 증가한다. 제안한 기법은 가드 대역폭 내에서도 서비스확률만큼 새로운 호를 수락함으로써 가드 채널 기법에 비하여 낮은 블로킹 확률을 가진다.

그림 11은 모빌리티 특성에 따른 채널 이용률의 변화를 보여준다. 완전 공유 기법은 전체 무선 대역폭을 완전하게 공유하기 때문에 모빌리티 특성에 영향을 받지 않고 일정한 값을 가지며, 가장 좋은 성능을 제공할 수 있다. 확장된 가드 채널 기법은 핸드오프 호의 입력 비율이 증가함에 따라 망의 이용률 성능이 향상된다. 이는 낮은 모빌리티 특성 값에서는 가드 대역폭을 효율적으로 사용하지 못하다가, 핸드오프 호의 입력 비율이 증가함에 따라서 가드 대역폭을 효율적으로 사용할 수 있어 이용률이 증가한다. 제안한 기법은 핸드오프 호의 비율이 작은 경우에 새로운 호를 위해 가드 대역폭을 이용할 수 있어 확장된 가드 채널 기법에 비하여 높은 채널 이용률을 보이고 있고, 전체적으로 비교적 일정한 채널 이용률을 보장할 수 있음을 알 수 있다.

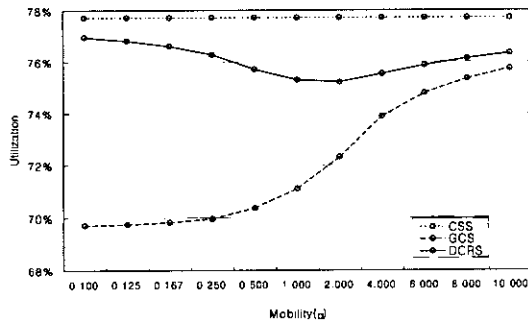


그림 11. 모빌리티에 따른 채널 이용률

### V. 결론

본 논문에서는 무선 ATM 망에서 효율적인 무선 자원의 이용을 위하여 멀티미디어 서비스의 이동성과 호 수준의 QoS를 고려한 동적 무선 자원 관리 기법을 제안하였다. 제안한 기법에서 핸드오프 호는 새로운 호에 비해 높은 우선권을 갖고 전체 무선 자원을 우선적으로 할당함으로써 강제 종료 확률을

보장할 수 있어 핸드오프를 효율적으로 지원할 수 있었다. 새로운 호는 공유 대역폭뿐 아니라 가드 대역폭에서도 서비스 확률에 의해 적응적으로 무선 자원을 할당할 수 있어 블로킹 확률과 같은 호 수준 성능을 향상시킬 수 있었고, 무선 자원을 효율적으로 이용할 수 있었다. 서비스 확률은 모빌리티 특성과 각 클래스별 조정값을 고려하여 적응적으로 결정함으로써 핸드오프에 기인한 망의 트래픽 특성의 변화에 따라 망의 성능이 크게 좌우되지 않고 일정한 성능을 보장할 수 있는 적응적인 호제어가 가능하였고, 클래스별 유연한 QoS 제어가 가능하였다.

### 참고 문헌

- [1] D. Raychaudhuri, N. D. Wilson, "ATM-based Transport architecture for Multiservices Wireless Personal Communication Networks", *IEEE JSAC*, pp. 1401-1414, Oct., 1994.
- [2] Yi-Bing Lin, Seshadri Mohan, and Anthony Noerpel, "PCS Channel Assignment Strategies for handoff and Initial Access", pp. 47-56, *IEEE Personal Communications*, Third Quarter, 1994
- [3] DaeYoung Hong, Stephen 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, Aug. 1986
- [4] Young Chon Kim, Dong Eun Lee, Bong Ju Lee, Young Sun Kim, Biswanath Mukherjee, "Dynamic Channel Reservation Based on Mobility in Wireless ATM Networks", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 37, No. 11, pp. 47-51, Nov., 1999.
- [5] Gagan L. Choudhury, Kin K. Leung, Ward Whitt, "Efficiently Providing Multiple Grades of Service with Protection Against Overloads in Shared Resources", *AT&T Technical Journal*, July/Aug. pp. 50-63, 1995
- [6] Gagan L. Choudhury, Kin K. Leung, Ward Whitt, "An Algorithm to Compute Blocking Probabilities in Multi-Rate Multi-Class Multi-Resource Loss Models", *Adv. Appl. Prob.* 27,

pp. 1104-1143, 1995

- [7] Gagan L. Choudhury, Kin K. Leung, Ward Whitt, "An Inversion Algorithm to Compute Blocking Probabilities in Loss Networks with State-Dependent Rates", *IEEE/ACM Trans. on Networking*, Vol. 3, No. 5, pp. 585-601, Oct. 1995
- [8] Franco Callegati, Claudia Carciofi, Mario Frullone, Paolo Grazioso, Guido Riva, "Call Admission Control for Multi-Service Packet Switched Cellular Mobile Radio Systems", *IEICE Trans. Commun.*, Vol. E78-B, No. 4, pp. 504-513, April 1995
- [9] Oliver T. W. Yu, Victor 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, Sep. 1997

김 영 천(Young-chon Kim)

정회원

한국통신학회 논문지 제 19권 제 2호 참조

현재: 전북대학교 전자정보공학부 교수

전북대학교 영상정보신기술연구소

이 봉 주(Bong-Ju Lee)

정회원



1995년 8월: 전북대학교

물리학과 졸업

1998년 2월: 전북대학교

영상정보공학과 졸업

(공학석사)

1999년 3월~현재: 전북대학교

영상공학과 박사과정

<주관심 분야> 무선통신, 위성통신, 초고속통신망

이 동 은(Dong-eun Lee)

정회원

한국통신학회 논문지 제 20권 제 8호 참조

현재: 청운대학교 인터넷컴퓨터학과 교수

<주관심 분야> 무선통신, WAP, 인터넷, B-ISDN

조 상 엽(Sang-yeop Cho)

정회원

1986년 2월: 한남대학교 전자계산학과 졸업

1988년 8월: 중앙대학교 전자계산학과 졸업

(이학석사)

1993년 8월: 중앙대학교 전자계산학과 졸업

(공학박사)

1995년 3월~현재: 청운대학교 인터넷컴퓨터학과

교수

<주관심 분야> 인공지능, 퍼지이론, 패트리네트응용