

# 무선 멀티미디어 서비스의 QoS 보장을 위한 호 수락제어 기법

正會員 이 종 찬\*, 문 영 성\*\*, 이 문 호\*\*\*

## Call Admission Control for Provisioning QoS of Wireless Multimedia Services

Jongchan Lee\*, Youngsong Mun\*\*, Moonho Lee\*\* *Regular Members*

※본 논문은 한국과학재단의 목적기초연구(95-0100-10-01-3) 연구비 지원에 의한 것임.

### 요 약

무선 통신망은 음성위주의 아날로그 방식에서 출발하여, 다양한 서비스 능력을 갖는 디지털 방식으로 진화되고 있으며 궁극적으로는 멀티미디어 서비스가 가능한 개인휴대 통신망으로 발전할 것이다. 무선망에서 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 한정된 무선 대역폭을 트래픽 특성에 따라 동적으로 활용할 수 있는 방안이 요구된다. 본 논문에서는 매크로셀/마이크로셀 구조를 갖는 개인휴대통신망에서 호 설정 시 매크로셀 또는 인접 마이크로셀에 핸드오프에 대비한 대역폭의 예약을 시도하고 그 성패에 따라 호 수락 여부를 결정함으로써 무선 멀티미디어 서비스의 QoS를 보장하는 대역폭 예약 및 호 수락제어 기법을 제안하고 시뮬레이션에 의해 성능을 분석하였다.

### ABSTRACT

The wireless communication network is evolving toward the Personal Communication System to provide various multimedia services. In order to accomplish this goal, the effective schemes are required which can dynamically utilize the limited wireless resources based on traffic characteristics of each services. This paper proposes a novel call admission control scheme for the hierarchical macrocell/microcell structured PCS. It is based on the bandwidth reservation procedure performed in the macrocell or neighboring microcell. Its effectiveness is investigated by simulation.

\* 숭실대학교 전자계산학과 박사과정

\*\* 충남산업대학교 멀티미디어학과 전임강사

\*\*\* 숭실대학교 컴퓨터학부 조교수

論文番號: 97183-0529

接受日字: 1997年 5月 29日

## I. 서 론

PCS에서 채널 재사용 효율이 좋은 마이크로셀 시스템을 채택하면 멀티미디어 서비스를 수용하기 위한 큰 서비스 용량을 얻을 수 있다. 그러나 또 한가지 고려할 점은 이동 단말기가 셀간 이동으로 핸드오프를 일으킬 때 사용자가 원하는 QoS를 만족시키면서도 신속하고 중단없이 핸드오프를 처리할 수 있어야 한다는 것이다. 왜냐하면 멀티미디어 서비스는 음성 서비스와는 달리 매우 짧은 시간의 통화 중단으로 인한 패킷의 손실과 전달 지연도 서비스 품질에 치명적인 영향을 초래할 수 있기 때문이다. 이를 보완하기 위하여 서비스 영역 및 용량 특성이 상호 보완적인 시스템들을 통합, 연동시킨 마이크로/매크로셀 중첩 구조가 제안되고 있다. 중첩 구조에서는 마이크로셀에서 채널을 할당받지 못한 핸드오프 호를 매크로셀로 절체시킴으로서 호의 연속성과 QoS를 보장할 수 있을 것이다. 차세대 이동통신 시스템 표준으로 연구되고 있는 FPLMTS(Future Public Land Mobile Telecommunication System)<sup>[1]</sup>에서도 이러한 구조를 고려하고 있다.

멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 서로 다른 QoS 요구사항을 가지는 다양한 종류의 트래픽을 지원해야 하며 이에 따라 QoS를 보다 효과적으로 보장하기 위한 트래픽 제어 기법이 요구된다. [2]에서는 더 좋은 QoS를 보장하고 자원할당을 최적화하기 위해서는 호수락 여부를 결정할 때 현재의 망 상태에 관한 정보가 필요함을 언급했다. [3]에서는 무선망을 위한 적응형 수락 제어 매커니즘이 제안되었다. 이 매커니즘에서는 트래픽 클래스에 따라 자원을 할당하기 위하여 각기 다른 자원 공유 기법(완전 보장과 같은)이 사용된다. 또한 [4]에서는 무선망을 위한 자원할당과 호 수락 제어가 연구되었으며 자원 할당과 호 수락 제어를 위하여 현재의 망 상태에 대한 충분한 정보를 이용하여야 한다고 주장하였다.

한편 [5]에서 제안된 알고리즘 A에서는 무선 멀티미디어 서비스의 QoS를 보장하기 위한 방법이 제안되었다. 이 방안은 마이크로셀 환경하에서 트래픽의 특성에 따라 두 개의 클래스(실시간 트래픽과 비실시간 트래픽)로 구분하여 각각의 알고리즘을 제안하였다. 그러나 이 방안은 연결의 QoS를 보장하기 위하여

신규 호의 수락이나 핸드오프 호의 수락을 위하여 인접한 6개의 셀에 동일한 대역을 예약하는 과정을 갖는다. 이는 자원의 낭비를 초래할 뿐만 아니라 이동체가 진입한 셀에 가용한 대역이 있어도 그 인접셀에 예약 대역폭이 없어 호가 종료되는 상황이 발생한다.

본 논문에서는 음성뿐만 아니라 저속 및 고속 데이터, 동영상 등의 멀티미디어 서비스를 PCS에서도 효율적으로 제공할 수 있도록 하기 위하여 매크로/마이크로셀 중첩 구조를 갖는 PCS에서 호 설정시 요구되는 대역폭을 중첩된 매크로셀 또는 인접 셀에 동적으로 예약하고 이를 바탕으로 호수락 여부를 결정하는 호수락 기법을 제안하고자 한다. 제안하는 방법의 성능을 평가하기 위하여 시뮬레이션에 의해 [5]의 방법과 비교·분석한다.

## II. 무선 멀티미디어 서비스의 QoS 보장 알고리즘

### 2.1 서비스의 분류

무선 멀티미디어 서비스에서는 각 서비스 별로 적합한 전송속도 및 QoS를 지원할 수 있어야 한다. 일반적으로 무선망에서 지원할 서비스는 다음의 두 가지로 분류할 수 있다.<sup>[6]</sup>

- (a) 클래스 I - 실시간 트래픽(Real-time Traffic)
- (b) 클래스 II - 비실시간 트래픽(Non Real-time Traffic)

클래스 I은 매우 지연에 민감하며, 최소 요구 QoS를 제공할 수 없는 새로운 셀로 이동체가 이동한다면 해당 호는 강제종료된다. 한편, 클래스 II는 큰 지연을 허락하고, QoS 파라미터(비트율과 같은)는 일시적으로 재조정되어도 서비스에 큰 영향을 미치지 않는다. 즉 클래스 II의 이동체가 원래 할당된 크기의 대역폭을 제공할 수 없는 새로운 셀로 이동했을 때는 그 호는 이용 가능한 대역폭만을 사용할 경우 대역폭의 감소로 인하여 전송 지연 시간이 다소 증가하지만 호는 강제종료되지 않는다. 그에 비해 클래스 I은 지연에 민감하므로, 클래스 II에 비하여 클래스 I에 우선순위가 주어져야 한다. 클래스 I의 QoS 파라미터는 핸드오프 호의 강제종료확률, 최소 허용 비트율(Minimum Allowed Bit Rate)이고 클래스 II의 QoS 파라미터는 대역폭 재조정 확률이다. 또한 클래스 I과 클

래스 II 모드에 적용되는 파라미터는 신규 트래픽의 블럭킹 확률이다. 클래스 I 서비스는 CBR 또는 VBR 트래픽을 생성하며 클래스 II 서비스는 VBR 또는 ABR 트래픽을 생성하게 된다.

2.2 제안된 알고리즘 (알고리즘 M/A/M)

이동체는 어디로든지 이동할 수 있으므로 호 설정 알고리즘이 단지 국지적인 정보, 호 요구가 발생한 셀이 제공하는 정보)만을 이용한다면 그 호가 원래 요구한 QoS를 호 지속 시간동안 보장할 수 없다. 이런 환경에서는 그룹화된 인접 셀들로부터의 정보를 호 설정 단계에서 이용해야 한다.

클래스 I 호의 대역폭 예약 및 해제과정은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 새로운 셀로 핸드오프시, 더 이상 필요없는 대역폭을 해제함
- 새로운 셀로 핸드오프시, 모든 인접 셀의 대역폭을 예약함

- 특정 셀에서 예약되는 대역폭의 양은 인접 셀에서 발생한 신규 호 및 그 인접 셀로 진입한 핸드오프 호의 대역폭 요구중 가장 큰 것으로함

클래스 II 호는, 호가 발생한 셀에서만 대역폭을 할당하고 중첩 셀 및 인접 셀에서는 대역폭을 예약하지 않는다. 핸드오프동안 이동체가 진입한 셀에 충분한 대역폭이 없다면 셀의 이용 가능한 대역폭에 근거하여 해당 호의 요구 대역폭이 재조정된다. 셀에 최소한의 이용 가능한 대역폭이 있다면 핸드오프 호는 수락된다. 이런 대역폭 재조정은 클래스 II가 지연에 민감하지 않기 때문에 가능하다. 본 논문에서 제안하는 멀티미디어 서비스의 QoS 보장 알고리즘을 편의상 M/A/M 알고리즘이 부를 것이며 이 알고리즘은 네 가지 부분으로 구성된다.

2.2.1 지속 이동체이며 클래스 I을 지원하기 위한 알고리즘

지속 이동체의 클래스 I에 대해 제안된 호 수락 알고리즘은 그림 2.1과 같다.

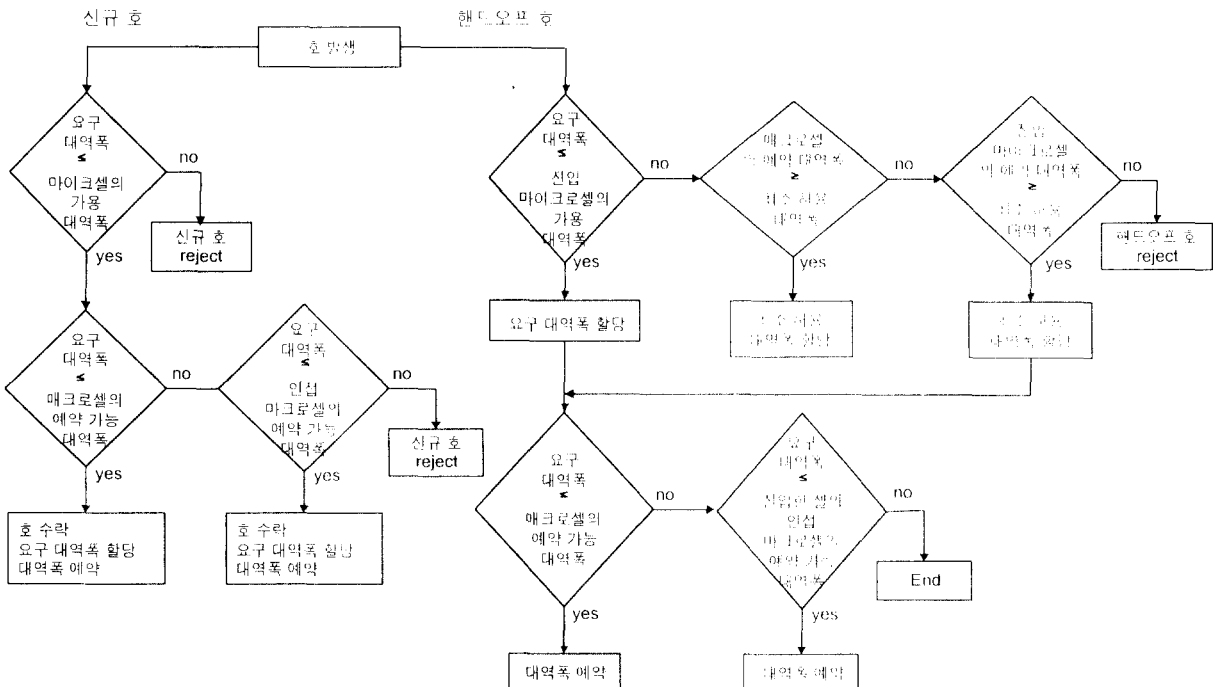


그림 2.1 알고리즘 M/A/M의 순서도 1

저속 이동체의 클래스 I 호는 마이크로셀로 액세스하며 매크로셀 또는 마이크로셀에서 대역폭 예약이 필요하다. 신규 호에 비하여 핸드오프 호에 우선권이 주어진다. 셀에 이용 가능한 대역폭이 요구 대역폭보다 작을 경우, 신규 호는 항상 거부되지만 핸드오프 호는 최소 허용 대역폭이 제공된다면 수락된다.

2.2.2 고속 이동체이며 클래스 I을 지원하기 위한 알고리즘

고속 이동체의 클래스 I 호에 대해 제안된 호 수락 알고리즘은 그림 2.2와 같다.

고속 이동체의 클래스 I 호는 매크로셀로 액세스하고 대역폭 예약이 필요하다. 모든 이동체는 매크로셀에서만 운용된다. 신규 호일 경우, 호가 발생한 셀에 가용 대역폭이 있다면, 이 신규 호의 QoS를 보장하기 위하여 인접 매크로셀에 예약 가능한 대역폭이 있는가에 따라 호수락 여부를 결정한다. 핸드오프 호의 처리 절차는 알고리즘 3.4.1과 유사하다. 신규 호에 비하여 핸드오프 호에 우선권이 주어지고 최소 허용 대역폭이 제공된다면 호는 수락된다.

2.2.3 저속 이동체이며 클래스 II를 지원하기 위한 알고리즘

저속 이동체의 클래스 II 호는 마이크로셀로 액세스하고 마이크로셀에서만 운용된다. 대역폭 예약은 없다. 클래스 II는 지연을 허락하고 대역폭 재조정이 가능하므로 이동체가 원래 할당된 대역폭을 보장하지 못하는 셀로 이동할지라도 이용 가능한 최소한의 대역폭만 있다면 호는 강제종료되지 않는다. 최소한의 대역폭도 없다면 호는 강제종료되는데, 이 경우에도 매크로셀로 절체되지 않는다. 저속 이동체의 클래스 II에 대해 제안된 호 수락 알고리즘은 그림 2.3과 같다.

2.2.4 고속 이동체이며 클래스 II를 지원하기 위한 알고리즘

고속 이동체의 클래스 II 호는 매크로셀에 액세스하며 매크로셀에서만 운용된다. 대역폭 예약을 수행하지 않는다. 고속 이동체의 클래스 II에 대해 제안된 호 수락 알고리즘은 그림 2.4와 같다.

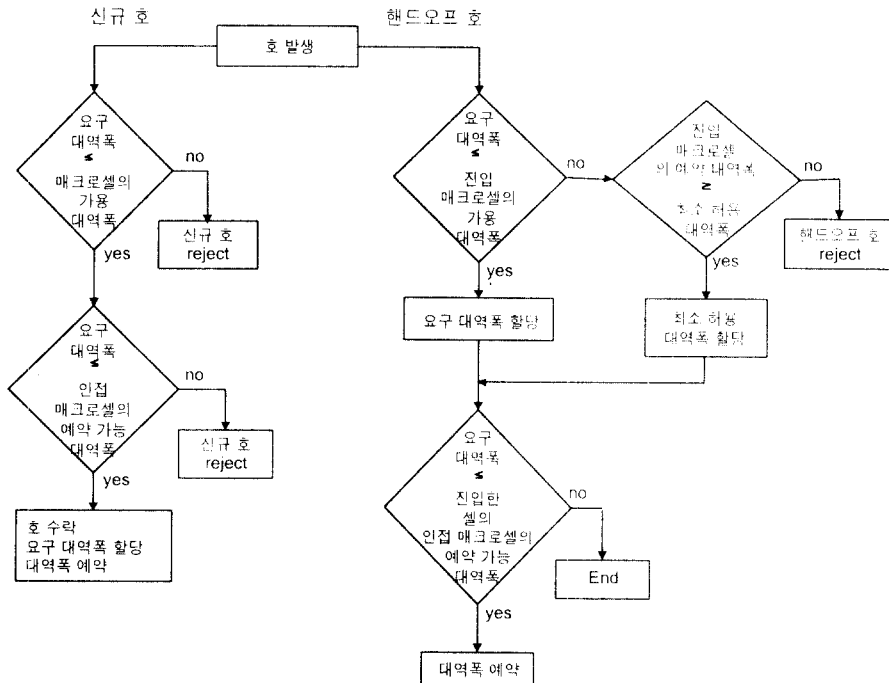


그림 2.2 알고리즘 M/A/M의 순서도 II

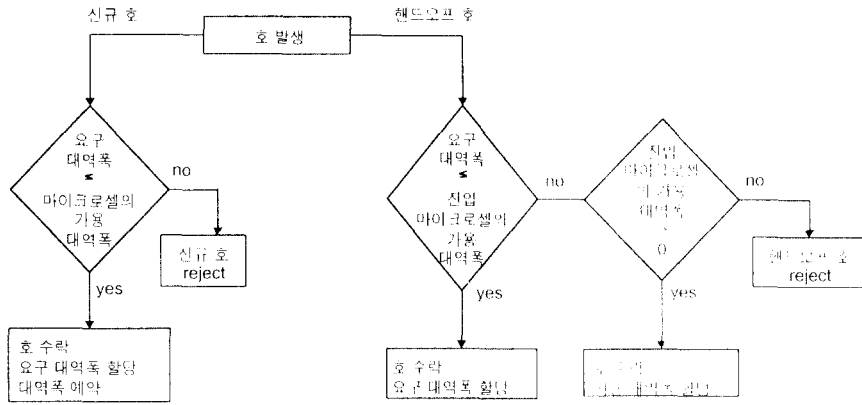


그림 23 알고리즘 M/A/M의 순서도 III

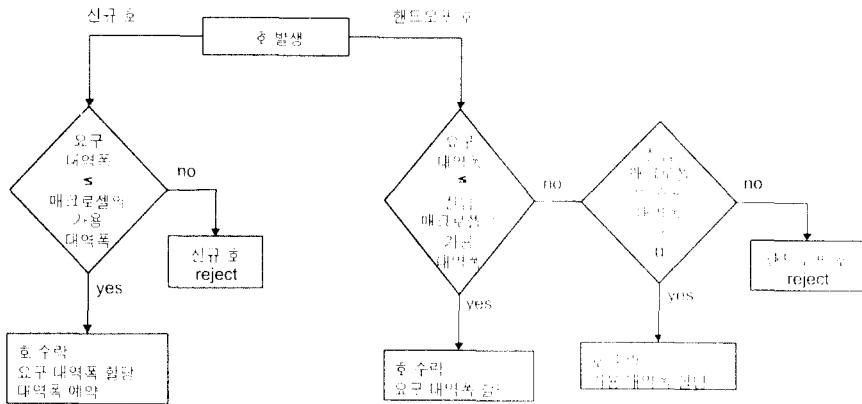


그림 24 알고리즘 M/A/M의 순서도 IV

### III. 시뮬레이션 방법 및 파라미터

본 논문에서 제안된 각각의 QoS 보장 알고리즘을 평가하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 SDT 250에서 C언어를 이용하여 실행하고 길과를 얻기 위하여 발생된 호의 수가 100,000번이 될 때까지 시뮬레이션을 수행하였다. 호 설정 과정은 이동체로부터 무선망으로의 신규 호 설정과 핸드오프 수행 과정으로 구성되는데 무선 대역폭의 할당을 요청하기 위하여 제어 채널의 액세스를 시도하고, 이것에 성공하면 예약 정보를 전달하고 해당 대역폭을 할당 받는다. 시뮬레이션은 제어채널 액세스 과정은 고려

하지 않고 해당 대역폭의 액세스 과정만을 고려하였다. 서비스 영역은 반경이 150 m인 정육각형의 마이크로셀로 구성되어 20 개의 셀이 하나의 매크로셀에 중첩되어 있다. 호의 시도는 셀 내에서 고르게 발생하며, 호의 발생율은 포아송 분포를 따른다. 각 이동체는 0~360°까지의 임의의 방향으로 이동할 수 있으며 이동 속도와 방향은 일단 결정되면 동일 셀 내에서는 일정하게 유지되도록 하였다. 핸드오프가 이루어질 때는 속도 및 방향이 변경 가능한 것으로 가정하였다. 각 셀에서는 대역폭  $c$ 중,  $c-\phi$  대역폭을 신규 호와 핸드오프 호가 공유하며 핸드오프 전용 대역폭(즉, 최대 예약 대역폭)을 가지고 핸드오프 호를 처리

스한다. 서비스의 우선 순위는 신규 호보다 핸드오프 호가 높은 우선권을 가진다.

다양한 서비스에 대한 영향을 분석하기 위하여, 호 지속 시간, 요구 대역폭, 서비스 종류에 근거하여 여섯 개의 서비스를 고려하였다. 표 3.1에서 여섯 개의 서비스가 보인다.

표 3.1 멀티미디어 서비스

서비스와 클래스	멀티미디어 서비스	요구 대역폭	호 지속시간
서비스 1(클래스 I)	음성, 오디오 폰	30 Kbps (CBR)	1-10분
서비스 2(클래스 I)	비디오 폰, 화상 회의	256 Kbps (CBR)	1-30분
서비스 3(클래스 I)	주분형 비디오	1-10 Mbps	5분-5시간
서비스 4(클래스 II)	E-mail, 페이징, 팩스	5-20 Kbps	10-120초
서비스 5(클래스 II)	원격 로그인, Data On Demand	64-512 Kbps	30초-10시간
서비스 6(클래스 II)	화일 전송	1-10 Mbps	30초-20분

CBR인 서비스 1과 2를 제외한 다른 서비스의 요구 대역폭은 표 3.1에 보인 최소치와 최대치 사이에서 분포된다. 서비스 3, 4, 5 그리고 6의 평균 비트율(Average Bit Rate)은 각각 b3, b4, b5, b6 bps로 표기한다.

표 3.2 시뮬레이션 파라미터

파라미터	값	설 명
N	20셀	매크로셀에 중첩된 마이크로셀의 수
B	30Mbps	가용 대역 (셀)
b3	5Mbps	서비스 3의 평균 요구 대역폭
b4	10Kbps	서비스 4의 평균 요구 대역폭
b5	256Kbps	서비스 5의 평균 요구 대역폭
b6	5Mbps	서비스 6의 평균 요구 대역폭
t1	3분	서비스 1의 평균 호 지속시간
t2	5분	서비스 2의 평균 호 지속시간
t3	10분	서비스 3의 평균 호 지속시간
t4	30초	서비스 4의 평균 호 지속시간
t5	3분	서비스 5의 평균 호 지속시간
t6	2분	서비스 6의 평균 호 지속시간
$S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$	0.3, 0.15, 0.05, 0.3, 0.15, 0.05	각 서비스의 발생 확률
$P_k$	0.75	핸드오프가 발생할 확률
$\phi$	0.2	총 대역 중 예약 가능한 대역의 비율

클래스 I은  $P_i$  확률로 발생되고, 클래스 II는  $1 - P_i$  확률로 발생된다. 클래스 I에서는 세개의 서로 다른 서비스들이 가능하다. 즉 서비스 1과 2는 각각  $p_1$ 과  $p_2$  확률로 발생되고, 서비스 3은  $1 - (p_1 + p_2)$  확률로 발생한다. 클래스 II의 서비스 4, 5 그리고 6은 각각  $p_4, p_5, 1 - (p_4 + p_5)$  확률로 발생된다. 시뮬레이션에서 사용하는 또 다른 파라미터로  $\phi$ 가 있다.  $\phi$ 는 총 대역폭 중 클래스 I을 위해 예약 가능한 대역폭의 비율이다. 표 3.2는 시뮬레이션 파라미터를 보인다. 시스템의 트래픽 부하는 호 발생 수(sec/셀)로 나타낸다.

#### IV. 결과 및 분석

본 연구에서 고려한 QoS 척도는 신규 호의 블럭킹 확률과 핸드오프 호의 강제종료확률이며 본 논문에서 제안된 알고리즘 M/A/M과 [5]의 알고리즘 A와 비교하였다. 여기에서 트래픽 부하는 초당 하나의 기지국에서 발생한 평균 호 시도량을 의미한다.

그림 4.1, 4.2, 그리고 4.3은 각각 저속 이동체의 서비스 1, 2, 3에 대한 블럭킹확률과 강제종료확률을 나타내고 있으며 [5]에서 제안한 알고리즘과 비교하였다. 이 결과는 대역폭의 20%를 예약 가능 대역폭으로 정할 경우에 대한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, M/A/M 알고리즘은 서비스 1(음성 호)와 서비스 2(비디오 폰)에 대해서는 트래픽 부하 0.04까지 블럭킹 확률을 0.1 이하로 유지한다. 또한 서비스 3에 대해서는 트래픽 부하 0.1에서 강제종료확률 0.35 이하이며 그외의 서비스에 대해서는 0.05 이하임을 알 수 있다. 트래픽 부하 0.02 이하에서는 두 알고리즘의 블럭킹 확률의 차이가 거의 없지만 부하가 0.04 이상으로 증가하면 서비스 1은 0.1, 서비스 2는 0.12, 서비스 3은 0.14 이상 감소한다. 또한 강제종료확률도 트래픽 부하 0.02 이하에서는 두 알고리즘의 성능이 유사하지만 부하가 0.04 이상으로 증가하면 서비스 1은 0.015, 서비스 2는 0.021, 서비스 3은 0.08 이상 감소한다. 마이크로셀과 매크로셀의 중첩된 구조를 갖는 알고리즘 M/A/M는 마이크로셀 구조만을 갖는 알고리즘 A

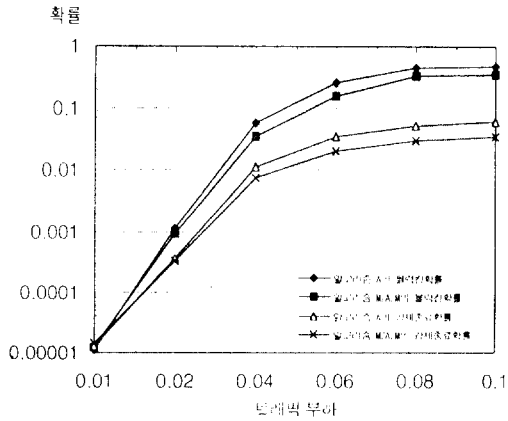


그림 4.1 서비스1의 블럭킹 확률과 강제종료 확률

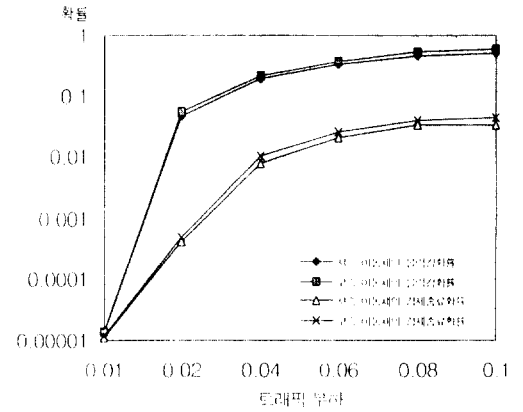


그림 4.4 알고리즘 M/A/M의 지속 이동체와 고속 이동체의 성능

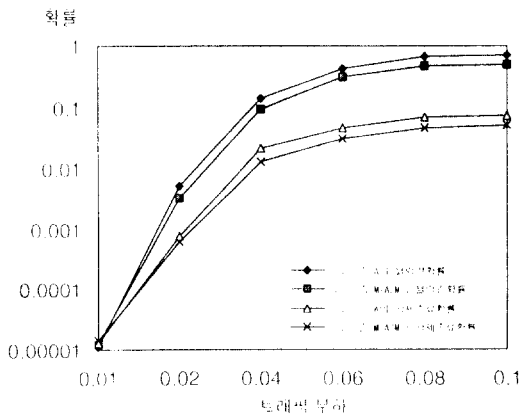


그림 4.2 서비스2의 블럭킹 확률과 강제종료 확률

보다 개선되었음을 알 수 있다. 이는 매크로셀로의 대역폭 예약과 질체가 가능한 중첩 구조가 대역폭 예약과 핸드오프 처리를 수행하는 마이크로셀 구조보다 대역폭을 보다 효율적으로 이용하기 때문이다.

그림 4.4는 지속 이동체와 고속 이동체에 대한 알고리즘 M/A/M의 성능을 나타내고 있다. 그림 4.4의 가로축은 고속 이동체와 지속 이동체 각각의 트래픽 부하를 나타낸다. 지속의 이동체가 블럭킹 확률과 강제종료 확률에서 우수한 성능을 보인다. 인접 매크로셀에만 대역폭 예약을 시도하는 고속 이동체의 호에 비하여 지속 이동체의 호는 매크로셀 또는 인접 마이크로셀에 대역폭 예약을 시도할 수 있기 때문에 신규 호의 호 수라 가능성이 높게된다. 그리고 마이크로셀

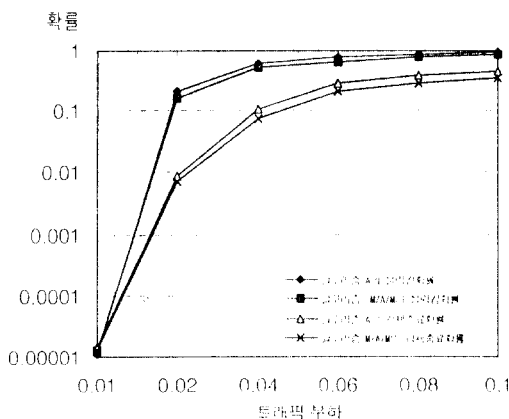


그림 4.3 서비스3의 블럭킹 확률과 강제종료 확률

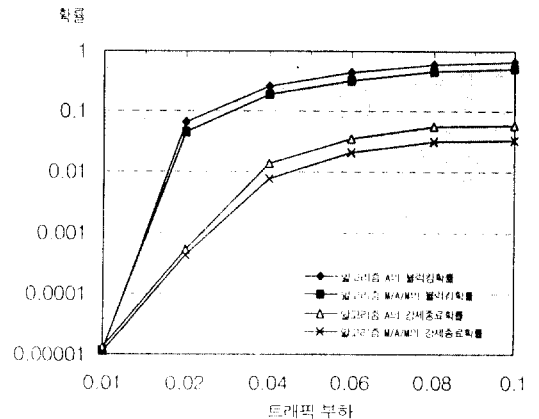


그림 4.5 클래스 I의 블럭킹 확률과 강제종료 확률

에서 발생한 저속의 호는 절체되어 매크로셀에서 액세스할 수 있으므로 고속의 호에 비하여 강제종료확률이 줄어든다.

그림 4.5는 서비스를 세분하지 않을 경우의 클래스 I에 대한 블리킹확률과 강제종료확률을 나타내고 있다. 알고리즘 A가 신규 호의 수락과정에서 다수의 인접 셀에 대역폭을 예약하는 반면에 알고리즘 M/A/M은 매크로셀의 대역폭을 예약하는 과정을 먼저 수행하므로써 블리킹확률과 강제종료확률을 감소시킬 수 있음이 확인되었다.

### V. 결 론

본 논문에서는 매크로셀과 마이크로셀이 중첩된 PCS에서 멀티미디어 서비스를 효과적으로 제공하기 위한방안의 하나로써 각종 서비스의 QoS를 보장하는 대역폭 예약 및 호수락 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션에 의하여 성능을 분석하였다. 이를 위하여 신규호의 블리킹확률 그리고 핸드오프 호의 강제종료확률을 주요 성능 척도로 규정하고 대역폭을 할당받지 못한 핸드오프 호를 매크로셀로 절체하는 방안(중첩셀 구조)와 강제종료시키는 방안(마이크로셀 구조)을 트래픽 부하의 변화에 따라 비교·분석하였다.

알고리즘 A가 호 수락 과정에서 인접한 다수의 셀에 대역폭을 예약해야 하는 반면에 M/A/M은 매크로셀의 한 대역폭만을 예약하는 과정을 먼저 수행하므로써 블리킹확률을 낮추었고 그 예약된 대역폭을 절체된 핸드오프 호가 사용케 함으로써 강제종료확률을 현저히 줄일 수 있음이 확인되었다. 한편 알고리즘 M/A/M은 클래스 I의 연속성 보장에만 중점을 둬므로써 클래스 II에 대해서는 대역폭 예약을 수행하지 않고 최소한의 대역폭이 있을 경우에도 호를 수락하기 때문에 전송 시간이 다소 증가한다.

향후 클래스 II의 QoS를 보장하기 위한 방안 및 이동체의 이동패턴을 예측하기 위한 방안에 대해서 연구가 이루어져야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

1. "Framework for the Radio Interface(s) and Radio System Functionality for FLMPTS", Rec. ITU-R

M.1535, 1994.

2. M. Schwartz, "Network Management and Issues in Multimedia Wireless Networks", IEEE Personal Communications, 2(3), June 1995.  
 3. M. Naghshineh and A. S. Acampora, "QOS Provisioning in Micro-Cellular Networks Supporting Multimedia Traffic", Proc. of IEEE INFOCOM'95, Vol. 3, pp. 1075-1084, Apr. 1995.  
 4. A. S. Acampora and M. Naghshineh, "Control and Quality-of-Service Provisioning in High-Speed Microcellular Networks," IEEE Personal Communications Mag., pp. 496-503, 1995.  
 5. C. Oliveira, J. B. Kim and T. Suda, "Quality-of-Service Guarantee High-speed Multimedia Wireless Networks", Proc. of IEEE ICC'96, Vol. 2, pp. 728-734, June 1996.  
 6. J. Kurose, "Open Issues and Challenges in Providing Quality of Service Guarantees in High-Speed Networks," Computer Communication Review, 23 (1), Jan. 1993.  
 7. M. Inoue, H. Morikawa, M. Hatori and M. Mizumachi, "Resource Allocation Schemes for ABR traffic in Wireless ATM Networks", Proc. of IEEE MDMC'96, pp. 700-704, July 1996.



이 중 찬(Jongchan Lee) 정희원  
 군산대학교 컴퓨터학과 공학사  
 숭실대학교 전자계산학과 공학석사  
 현재: 숭실대학교 전자계산학과  
 박사과정



이 문 호(Moonho Lee) 정희원  
 서울대학교 공학사  
 숭실대학교 정보과학대학원 전산  
 공학과 공학석사  
 숭실대학교 대학원 전자계산학과  
 공학박사  
 한국전자통신연구소 연구원  
 현대전자(주) 과장  
 현재: 충남산업대학교 멀티미디어학과 전임강사





문 영 성(Youngsong Mun) 정회원  
연세대학교 전자공학과 공학사  
캐나다 University of Alberta 전  
가공학과 공학석사  
미국 University of Texas, Arling-  
ton 컴퓨터학과 공학박사  
한국통신 전임연구원  
미국 Supercomputing 학술대회

최우수학생 논문상 수상

현재: 숭실대학교 컴퓨터학부 조교수