

# 광대역 액세스망에서의 통합 서비스를 위한 퍼지 기반의 지능적 매체 접속 제어기 설계 및 성능 분석

정희원 홍승은\*, 김응배\*\*, 강충구\*

## Fuzzy-based Intelligent Medium Access Controller (FiMAC) for Integrated Services in Broadband Access Networks

Seung-Eun Hong\*, Eung-Bae Kim\*\*, and Chung-Gu Kang\* *Regular Members*

요 약

본 논문은 동적 예약 TDMA 기반의 광대역 가입자 망에서 보다 효율적인 음성/데이터 통합 서비스 제공을 위한 이중 트래픽 간의 랜덤 접속(Random access) 방식을 최적화할 수 있는 퍼지 기반의 지능적 매체 접속 제어기(Fuzzy-based intelligent medium access controller: FiMAC)를 설계한다. 제안하는 제어기를 통해 시스템 자원 사용도를 최대화하면서 개별 서비스에 대해 차등화된 서비스 품질(Quality of Service: QoS)을 보장하기 위해 매 프레임 단위로 각 서비스별 접속 구간의 길이와 접속 허용 확률과 같은 랜덤 접속 파라미터의 최적화를 수행한다. 또한, 상향 링크 단말의 분산 큐잉(distributed queuing) 구조에 따라 공정한 접속 제어가 힘든 점을 극복하기 위한 방안으로서 단말 자체적으로 접속 허용 확률을 재조정하는 단말-보조(Mobile-assisted) 방식의 랜덤 접속 메커니즘을 도입한다. 제안된 시스템의 성능 평가를 위해 광범위한 시뮬레이션을 수행하였으며, 제안된 제어기는 단말-보조 방식 랜덤 접속과 유기적으로 결합되어 음성 용량 및 QoS, 데이터 지연, 그리고 공정성 측면에서 기존의 통합 서비스를 위한 시스템들보다 우수한 성능을 보임을 알 수 있었다.

ABSTRACT

This paper presents a fuzzy-based intelligent medium access controller (FiMAC), which can optimize the random access control for providing voice/data integrated services in the dynamic reservation TDMA-based broadband access networks. In order to achieve the design objective of differentiated quality-of-service (QoS) guarantee for individual service and the maximal system resource utilization, the FiMAC intelligently and independently controls the random access parameters such as the lengths of random access regions dedicated to respective service traffic and the corresponding permission probabilities using fuzzy control technique frame by frame. In addition, to handle the fair access issue due to distributed queuing problem inherent to access network structure, we adopt the mobile-assisted random access mechanism where the voice terminal readjusts global permission probability from FiMAC to its optimal value. Our extensive simulation results indicate that the FiMAC is well coordinated with a mobile-assistance such that significant improvement is achieved in terms of voice capacity, delay, and fairness over most of the existing MAC schemes for the integrated services.

### 1. 서론

통신 기술의 발달로 HFC (Hybrid Fiber Coaxial)

망과 무선망을 포함한 액세스 망의 광대역화가 가능해짐에 따라, 가입자들의 다양한 멀티미디어 서비스 요구를 충족시킬 수 있게 되었다. 액세스 망은

\* 고려대학교 전기전자전파공학부 무선정보시스템공학연구소 (seraph,ccgkang@korea.ac.kr),

\*\* 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 (ebkim@etri.re.kr)

논문번호 : 010413-1231, 접수일자 : 2001년 12월 31일

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (과제번호 R01-1999-00239) 지원으로 수행되었습니다.

점-대-다중점(Point-to-multipoint) 형태의 다중 접속 매체(Multi-access media)이므로 망 자원을 효율적으로 공유하기 위한 매체 접속 제어(Medium access control: MAC) 기술을 필요로 하게 된다<sup>[1]</sup>. 음성과 같은 실시간 서비스의 QoS 뿐만 아니라 데이터 서비스의 QoS 보장을 위해 예약 과정을 거쳐 전용 자원을 할당받는 예약 기반 MAC 프로토콜이 모든 시스템에 도입되고 있다. 지원될 서비스 트래픽의 QoS 보장을 위해 예약 기반 MAC 프로토콜에서 가장 우선적으로 고려해야 하는 것이 바로 랜덤 접속 알고리즘이다. 랜덤 접속을 통한 자원 요청 메시지의 경쟁적 전송은 해당 메시지 간의 충돌 위험을 항상 내포하고 있으며, 이 충돌로 인한 지연은 QoS 열화의 주 요인이 되기 때문이다. 따라서 충돌로 인한 지연을 최소화할 수 있는 랜덤 접속 알고리즘 개발이 요구된다.

음성을 패킷 교환 방식으로 지원하기 위해 패킷 예약 다중 접속 (Packet reservation multiple access: PRMA) 프로토콜이 개발된 이래로 음성과 데이터가 통합된 서비스를 효율적으로 지원하기 위한 여러 가지 프로토콜이 제안되었다<sup>[2-12]</sup>. 고전적인 PRMA 프로토콜의 초기 변형들은 자원 요청 메시지 전송 후 바로 그 전송 결과를 확인할 수 있는 즉각적 피드백(Immediate feedback)이 가능한 슬롯 기반의 접속 제어를 사용하면서, 고정 파라미터(음성과 데이터의 접속 허용 확률값)의 사용에 따른 문제(트래픽 부하를 반영할 수 있는 유연성 부재 및 과도하게 열화되는 데이터 트래픽 QoS)를 극복하는 방향으로 진행되었다<sup>[2-5]</sup>. 참고문헌 [3]에서는 데이터 버스트의 전송 시에 음성과 같이 예약을 통해 전송하도록 함으로써 데이터의 전송 지연을 줄이고자 하였다. 참고문헌 [4]에서는 중앙제어기로 하여금 데이터 단말들을 폴링하도록 함으로써 해당 단말로 하여금 충돌없이 패킷을 전송하도록 하였다. 참고문헌 [5]의 경우, 랜덤 접속 파라미터들을 트래픽 부하에 따라 동적으로 변화시킴으로써 시스템 성능을 향상시켰다. 또한 참고문헌 [6-8]들은 PRMA 시스템의 성능을 평형점 분석(Equilibrium point analysis: EPA)과 마코프 분석을 통해 수학적으로 분석하였다.

최근 들어 HIPERLAN/2[13], MCNS DOCSIS (Data over cable service interface specification)<sup>[14]</sup>, 그리고 IEEE 802.16 BWA (Broadband wireless access)<sup>[15]</sup>와 같은 QoS 지향적 광대역 액세스 시스템들은 프레임 구조를 갖는 동적 예약 TDMA 방식

을 채택하고 있다. 기존 PRMA 방식과는 달리 동적 예약 TDMA 방식에서는 랜덤 접속 결과에 대한 피드백을 한 프레임 지연 후에 받을 수 있다. 따라서 랜덤 접속 기회는 프레임당 최대 한 번뿐이므로 보다 효율적인 랜덤 접속 알고리즘이 요구된다. 참고 문헌 [9]에서는 프레임에 음성 정보, 음성 경쟁, 그리고 데이터 정보 구간으로 분할한 후, 각 구간으로 분할된 대역을 동적으로 제어함으로써 데이터의 영향을 받지 않고 독립적으로 음성의 QoS를 보장하고자 하였다. 비록 음성 QoS 보장 측면에서만 다루어 졌지만 음성과 데이터 간의 구간 분할을 통해서도 독립적인 QoS 관리를 가능케 한 것은 큰 의미를 지닌다. 참고 문헌 [10]에서는 미니슬롯 개념 [16]을 도입함으로써 예약 과정에서 충돌로 인한 처리율 저하를 최소화하고자 하였으며, 음성과 데이터의 예약 과정을 위해 할당될 미니슬롯의 수를 계산하기 위한 경험적 접근법이 제시되었다. 하지만, 실시간 트래픽에 대한 고정된 미니슬롯 수와 비실시간 트래픽을 위한 경험적 공식에서 사용된 배수 인자(multiplication factor)는 동적으로 결정될 수 없는 한계가 있다. 참고 문헌 [11]에서는 퍼지 제어와 신경망에 기반한 지능적 전송 제어기를 도입하여 음성과 데이터를 위한 랜덤 접속 구간과 대응되는 전송 허용 확률값을 결정한다. 이러한 지능적 제어는 MAC 계층에서의 다중 QoS 문제를 보다 효율적으로 해결할 수 있음이 판명되었다. 하지만, 예약을 위한 접속 구간을 고정시킨 후 가변성이 크지 않은 음성 구간만을 동적으로 조절함으로써 제한적 성능 향상을 이루었으며, 완전한 전력 제어를 가정함으로써 구현상의 어려움을 내포하고 있다. 참고 문헌 [12]에서는 위의 연구들과 달리 음성과 데이터의 접속 구간을 분리하지 않고 전송 허용 확률값만을 차등화함으로써 다중 QoS를 제공하고자 하였다. 이러한 경우 음성과 데이터 간의 충돌이 발생할 수 있으므로 개별 QoS 보장을 위한 관리가 힘들어 지게 된다. 일반적으로, 음성과 데이터와 같은 이중 트래픽을 동시에 지원해야 하는 시스템에서는 음성과 데이터 사용자들간의 접속 구간을 분리하고 대응되는 접속 허용 확률값을 결정하는 것이 바람직하나, 그러한 랜덤 접속 파라미터들의 최적화는 단순한 과정이 아니므로 아직까지 문제 해결을 위한 통합된 프레임워크가 제시되지 못하고 있다.

본 논문에서는, 참고문헌 [11]에서 도입된 퍼지 추론 방식을 사용하는 지능적 제어 패러다임을 도입하여 “퍼지 기반의 지능적 매체접속제어기(Fuzzy-

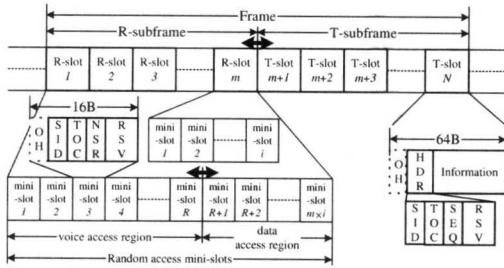


그림 1. 프레임 기반의 동적 예약 TDMA 프로토콜의 프레임 및 슬롯 구조

based intelligent medium access controller: FiMAC”를 설계하며, [11]에서 획득된 성능을 향상시키고자 한다. 이것은 단말 지원에 의한 랜덤 접속 메커니즘과 트래픽 부하에 따른 음성·데이터 양 접속 구간의 동적 변경에 의해 가능해진다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 프레임 구조를 갖는 동적 패킷 예약 TDMA 프로토콜을 개괄적으로 설명한다. 3장에서는 고려하는 시스템 모델에 대해서 기술하며, 4장에서는 프레임 기반의 Pseudo-Bayesian 알고리즘과 퍼지 제어 기법을 이용한 제안 매체 접속 제어기인 FiMAC의 구조에 대해서 기술한다. 5장에서 FiMAC과 연계한 단말 보조 방식의 랜덤 접속 기법에 대해 살펴본 후, 시뮬레이션을 통한 FiMAC의 성능을 기존 시스템들과 비교·분석하여 6장에 기술한다. 마지막으로 7장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 프레임 구조를 갖는 동적 패킷 예약 TDMA 프로토콜

### 1. 프레임 구조

PRMA와 그 초기 변형들은 예약 시도에 대한 즉각적 피드백을 통한 슬롯 기반의 예약(slot-by-slot reservation) 방식을 사용한 반면, 최근의 광대역 가입자 망들의 설계는 프레임 기반의 예약(frame-by-frame reservation) 방식을 사용한다. 이는 고정 길이<sup>1)</sup>의 프레임 구조에서 프레임의 일부분이 예약 요청을 위해 할당되고, 그 예약 요청에 대한 결과는 다음 프레임의 시작까지 지연되는 지연 피드백(Delayed feedback)을 사용하는 구조이다. 본 소절에서는 다중 접속 망에서의 단말들이 갖는 분산 큐잉 특성으로 인한 상향 접속 프로토콜의 영향을 다

루기 위해 상향 프레임 구조에만 초점을 맞추고자 한다.

그림 1은 고정 길이  $T$  시간 동안  $N$ 개의 시간 슬롯들로 구성되는 상향 링크의 프레임 구조를 나타낸다. 상향 프레임은 예약 부프레임(R-subframe)과 전송 부프레임(T-subframe)으로 구분된다. 예약 부프레임은  $m$ 개의 예약 슬롯(R-slot)으로 구성되며, 각 예약 슬롯 하나는 다시  $i$ 개의 미니슬롯들로 구성된다. 이 때,  $m$ 값은 제어 기법에 따라 결정되며,  $i$ 값은 항상 고정된다. 따라서 예약 부프레임은  $(m \times i)$ 개의 미니슬롯들로 구성되어 단말의 예약 요청 패킷을 전송하기 위해 사용된다. 본 논문에서 고려하는 프레임 구조는 음성과 데이터 서비스의 차등적 지원 및 독립적인 QoS 관리를 제공하기 위해 예약 부프레임을 두 구간으로 분리한다. 이 때 양 구간의 경계를  $R$ 로 표시하고, 이 값은 음성 접속 구간을 위해 할당된 미니슬롯 수로서  $1 \leq R \leq m \times i$  범위에서 결정된다. 나머지  $(m \times i - R)$ 개의 미니슬롯들은 데이터 접속을 위해 사용된다. 각 접속 구간에는 단말들의 접속을 제어하는 접속 허용 확률값(Access permission probability)이 할당된다. 즉, 음성과 데이터 단말들은 각각  $p_v, p_d$ 의 확률로 주어진 접속 구간에서 예약을 시도한다. 전송 부프레임은  $(N - m)$ 개의 트래픽 슬롯(T-slot)으로 구성되며, 각각은 예약에 성공한 단말들의 정보 패킷을 전달하는데 사용된다.

본 논문에서는  $m, R, p_v, p_d$ 를 프레임마다 동적으로 가변시킴으로써 예약 요청 대역을 효율적으로 사용하고자 하며, 이는 실시간과 비실시간 트래픽의 서로 다른 요구 QoS 수준을 만족시키면서 동시에 최대의 자원 이용율을 획득할 수 있다. 모든 단말들은 미니슬롯, 슬롯, 그리고 프레임 경계에 대하여 동기를 맞출 수 있다고 가정을 하며, 실제 시스템 규격에 대한 세부 적용은 참고문헌 [14]의 규격을 따른다.

### 2. 음성 트래픽 전송

저속 음성 활성 검출기(Slow speech activity detector)를 갖는 음성 단말의 소스 모델과 동적 패킷 예약 TDMA 프로토콜에 따르는 음성 단말의 상태 천이는 그림 2의 모델을 따른다. 소스 모델은 유성음 구간과 무성음 구간을 갖는 2-상태 마코프 프로세스로 나타낼 수 있으며, 유성음 구간과 무성음 구간의 평균 지속시간을  $t_1$ 과  $t_2$ 라 할 때 상태천

1) DOCSIS는 가변 길이의 프레임을 지원할 수 있다.

이확률은 다음과 같이 계산된다.

$$\sigma = 1 - \exp(-\tau/t_2) \tag{1}$$

$$\gamma = 1 - \exp(-\tau/t_1) \tag{2}$$

여기서  $\tau$ 는 시간 슬롯의 지속시간이다. 유성음 구간에 있는 동안 음성 패킷은 매 P 프레임마다 발생되는 것으로 가정한다. 음성 단말은 크게 세 가지의 상태로 동작하게 되는데, 먼저 ‘휴지(idle)’ 상태는 트래픽 모델의 무성음 구간에 속해 전송할 패킷이 없는 상태이며, ‘경쟁(contention)’ 상태는 유성음 구간에서 최초 발생(E1)한 패킷이 전송 버퍼에 도착한 시점 바로 다음 프레임의 예약 구간에 첫 번째 예약 요청 메시지를 전송하여 예약이 성공적으로 이루어질 때까지 매 프레임 예약 요청 패킷 전송을 시도하게 되는 상태이다. 이 때, 발생할 수 있는 예약 요청의 실패 요인은 전송 허용 확률  $p_v$ 에 위배되는 경우와 두 단말 이상이 전송 허용 권리를 획득하여 동일 미니슬롯에서 충돌이 발생하게 되는 경우이다 (E2). Wait  $i$  ( $0 \leq i \leq k$ )는 예약 요청을  $i$ 번 실패한 상태이며, 음성 트래픽의 지연 제약으로 인해 예약 요청의 최대 재전송 횟수는  $k$ 번으로 제한된다. 그 후에도 예약을 획득하지 못한 패킷은 단말 버퍼에서 삭제(drop, E7)되는데, 삭제 후에 버퍼에 또 다른 패킷이 존재할 경우 Wait  $(k-P+1)$  상태로 천이(E8)하게 되고, 패킷이 존재하지 않으면 휴지 상태로 천이(E9)하게 된다. 예약을 획득(E3)한 경우는 ‘예약(reservation)’ 상태가 되어 다음 프레임부터 주기적으로 할당되는 T-slot에 패킷을 전송하게 된다(E5). 예약에 성공한 단말은 프레임이 경과할 때마다  $RES_i$ ,  $i=0, \dots, P-1$ 로 천이(E4)하게 되는데, 각 상태는 향후  $(P-i+1)$  프레임 경과 후에 다시 T-slot을 할당받음을 나타낸다. 즉,  $RES_0$  상태에 있는 단말은 중앙제어기에 의해 할당되는 T-slot을 통해 정보 패킷을 전송한 후  $(P+1)$  프레임 경과 후에 다시 정보 패킷을 전송할 수 있으며,  $RES_P$  상태에 있는 단말은 다음 프레임에서  $RES_0$  상태로 천이하게 된다. 이 때, T-slot 할당 주기는  $(N \times P)$  슬롯이며,  $P$ 는 할당 주기동안 경과하는 프레임 개수이다. 예약 상태에서 휴지 상태로 천이하게 되는 단말은 마지막으로 할당된 T-slot에 전송할 패킷이 없으므로 정보 패킷을 전송하지 못하게 되며, 이것은 중앙제어기로 하여금 암시적으로 단말의 상태 천이를 인지하도록 한다(E6).

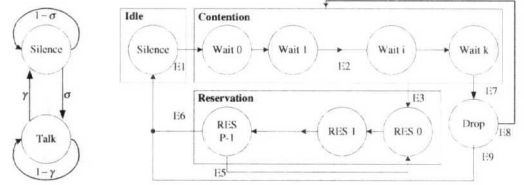


그림 2. 음성 단말의 소스 모델 및 전송 상태 천이 다이어그램

### 3. 데이터 트래픽 전송

일반적으로 데이터 트래픽은 버스티(bursty)한 특성을 나타낸다. 발생한 데이터 메시지를 전송하기 위해서 데이터 단말은 먼저 해당 메시지를 복수의 고정된 크기(64bytes)의 패킷으로 분할하고 난 후, 분할된 패킷 수만큼의 슬롯을 요청하게 된다. 데이터 메시지의 발생 특성은 시간 슬롯 당  $n$ 개의 메시지가 발생하는 포아송 분포를 따른다고 가정하고, 발생하는 메시지의 길이는 평균 길이가  $l_d$ (packets)인 기하분포를 따른다고 가정한다. 따라서 다음의 데이터 발생율에 의해 데이터 트래픽의 부하가 결정된다

$$\frac{n \cdot l_d}{\tau} \cdot 64 \cdot 8 \text{ bps} \tag{3}$$

데이터 단말의 전송 상태는 음성 단말과 유사하지만 패킷 전달 지연시간의 제한이 없기 때문에 패킷 손실이 발생하지 않는다. 또한 프레임당 한 번만 예약 요청할 수 있으며 요청 슬롯의 수는  $R_{max}$ 로 제한한다. 프레임 기반의 랜덤 접속 프로토콜은 접속 구간의 시작 전에 도착한 패킷들에 대한 예약만을 허용하게 된다(즉, gated access 제어에 해당함). 중앙제어기는 예약에 성공한 단말들에게 라운드-로빈(Round robin) 방식으로 슬롯을 할당하게 되며, 해당 단말들은 요청한 모든 슬롯을 할당받을 때까지 새로운 예약을 요청할 수 없다.

### III. 시스템 모델

본 논문에서 고려하고 있는 광대역 액세스망(Broadband access network: BAN)을 위한 지능적 매체 접속 제어 방안의 전체 구성은 그림 3과 같다. 접속점(Access point: AP)은 고정 백본망의 일부로서 BAN과 고정 망간의 게이트웨이 역할을 수행한다. 본 시스템에서는 음성과 데이터 서비스를 동시

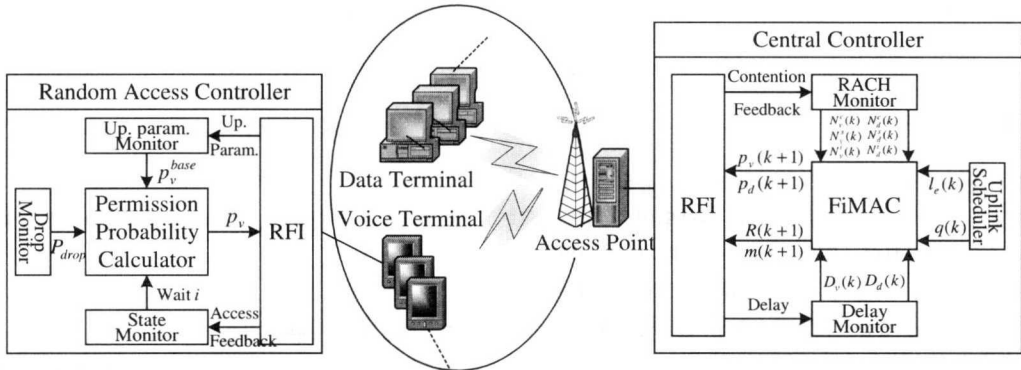


그림 3. 광대역 가입자 망을 위한 시스템 구성도

에 지원하는 통합 서비스 시나리오를 고려한다. 제안하는 지능적 매체 접속 제어기는 AP의 중앙제어기와 음성 단말기의 랜덤 접속 제어기로 구성된다. 중앙제어기를 구성하는 기본 모듈들은 다음과 같다.

- RFI 모듈 : 두 가지 RF 인터페이스가 정의된다. AP에서의 개별적인 상/하향 입력/하향출력 인터페이스는 전형적인 상/하향 신호의 결합과 분리 작용을 위해 요구된다. 입력 인터페이스는 랜덤 접속에 대한 피드백 정보와 단말들로부터의 지연 정보를 제공한다. 이 정보들은 각각 RACH(Random access channel) 감시기와 지연 감시기로 전달된다. 출력 인터페이스는 FiMAC 모듈로부터 정보를 수신하여 하향으로 방송된다.

- RACH 감시기 : RFI 모듈로부터 전달되는 각 미니슬롯에 대한 접속 결과들을 종합하여 한 프레임 동안 음성( $t=v$ )과 데이터( $t=d$ ) 단말을 위해 할당된 미니슬롯의 '없음', '성공', 그리고 '충돌'이 발생한 미니슬롯의 수(각각  $N_v^s(k)$ ,  $N_v^f(k)$ ,  $N_v^c(k)$ )를 FiMAC 모듈로 전달한다.

- 상향 링크 스케줄러 : 예약 요청을 성공적으로 전송한 단말들에 의해 명시적으로 요구되는 상향 T-slot들의 수는 상향 스케줄러에 의해 동적으로 할당된다. 충분치 못한 자원으로 인해 요청한 슬롯의 일부를 할당 받지 못할 수도 있다. 상향 스케줄러는 k번째 프레임의 끝에서 예약 단말들에 의해 평균적으로 요청되는 T-slot 수  $l_e(k)$ 와 자원 부족으로 인해 할당할 수 없는 T-slot의 수  $q(k)$ 를 이동평균(moving average)을 통해 산출한다. 상향 링크의 혼잡 상태를 나타내는 정보 쌍 ( $l_e(k)$ ,  $q(k)$ )는 FiMAC 모듈로 전달된다.

- 지연 감시기 : 이 모듈은 성공적인 예약 요청

메시지에 대한 평균 지연을 계산한다. k번째 프레임 끝에서 계산되는 음성과 데이터의 평균 지연  $D_v(k)$ 와  $D_d(k)$ 는 FiMAC에 의해 사용된다.

- FiMAC 모듈 : 이 모듈은 통합 서비스에 적합한 랜덤 접속 파라미터를 최적화하기 위해 퍼지 추론 엔진을 사용하는 제어기로서, 개별 서비스 트래픽을 위한 랜덤 접속 슬롯의 수와 접속 허용 확률값을 동적으로 결정한다. k번째 프레임에서 RACH 감시기로부터 랜덤 접속 피드백 정보, 지연 감시기로부터 지연 통계 값, 그리고 상향 스케줄러로부터 혼잡 상태 정보들을 수신하여 (k+1)번째 프레임에 대한 랜덤 접속 구간의 대역 ( $m$ ,  $R$ )과 그에 대응되는 접속 허용 확률값 ( $p_v$ ,  $p_d$ )를 결정한다.

음성 단말기에서 구현되는 단말보조 방식 랜덤 접속 제어기의 구성 요소는 다음과 같다.

- RFI 모듈 : 하향 입력과 상향 출력에 대한 두 가지 RF 인터페이스가 정의된다. 입력 인터페이스는 상향 랜덤 접속에 대한 피드백 정보와 AP로부터 전달되는 상향 파라미터를 제공하고, 그 정보들을 상태 감시기와 상향 파라미터 감시기로 각각 전달한다. 출력 인터페이스에서는 접속 허용 확률 계산기 모듈로부터 확률값  $p_v$ 를 수신한 후, [0,1]의 구간에서 균일하게 분포된 임의의 실수  $i$ 를 발생시킨다. 만약  $i \leq p_v$ 이면, 음성 접속 구간에서 하나의 미니 슬롯을 선택하여 예약 요청을 전송한다. 만약  $i > p_v$ 이면, 다음 프레임이 시작될 때까지 기다린 후 새로운 접속 허용 확률값을 가지고 동일한 과정을 반복한다.

- 상향 파라미터 감시기 : AP로부터 방송되는 음

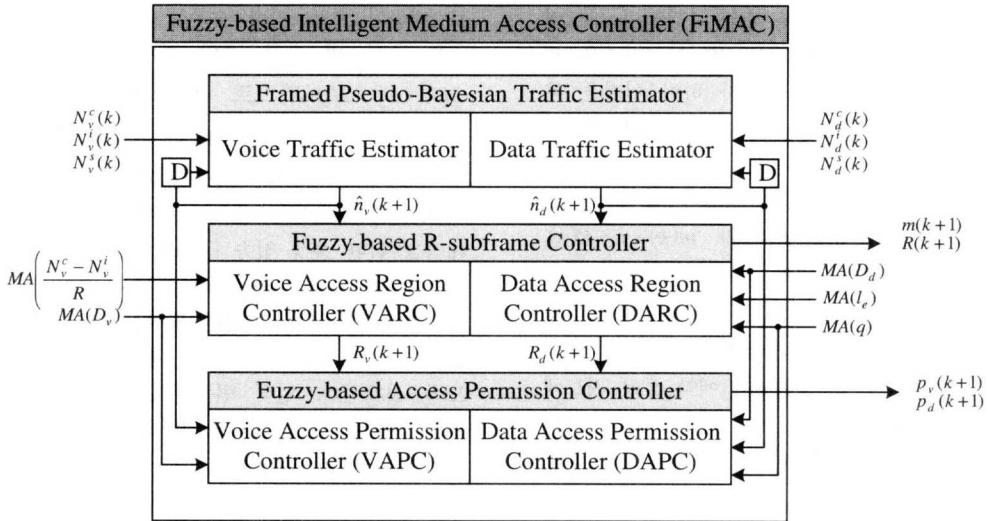


그림 4. 퍼지 기반 지능적 매체접속 제어기의 구조

성 접속 허용 확률값( $p_v^{Base}$ )을 포함한 하향 메시지들을 수집한다. RFI 모듈로부터 전달되는 상향 링크의 파라미터 값들 중  $p_v^{Base}$ 를 접속 허용 확률 계산기 모듈에게 전달한다.

- 상태 감시기 : 랜덤 접속에 대한 피드백 정보에 기반하여 접속 허용 확률 계산기 모듈에게 재전송 시도 횟수(단말의 wait 상태로 표시)를 제공한다.
- 손실 감시기 : 발생된 패킷의 총 수에 대한 삭제 패킷 수의 비로서 계산되는 음성 패킷 손실 확률의 평균값( $P_{drop}$ )을 계산한다.
- 접속 허용 확률 계산기 : 상향 파라미터 감시기로부터 제공되는  $p_v^{Base}$ , 상태 감시기에 의해 제공되는 wait 상태, 그리고 손실 감시기로부터의  $P_{drop}$ 를 이용하여 데이터의 예약 요청 기회가 과도하게 억제되지 않도록 패킷 손실 확률을 최소화하기 위한 음성 접속 허용 확률값을 계산한다.

#### IV. 퍼지 기반 지능적 매체 접속 제어기 구조

FiMAC의 기능적 블록도는 그림 4와 같으며, 이는 트래픽 예측기, R-subframe 제어기, 그리고 접속 허용 확률 제어기로 구성된다. 트래픽 예측기는 k번째 프레임까지 정체된(backlogged) 음성과 데이터 패킷의 총 수에 대한 어림치  $\hat{n}_v^k$ ,  $\hat{n}_d^k$ 를 제공한다. R-subframe 제어기는 k+1번째 서비스별 접속 구간을 위한 음성 미니 슬롯 수  $R(k+1)$ , 데이터 미니 슬롯 수  $m(k+1) \times i - R(k+1)$ 를 동적으로 결정한다. 그

리고 나서 접속 허용 제어기는 경쟁중인 음성과 데이터 단말들이 해당 구간으로 가능한 한 충돌없이 예약 요청 메시지를 전송하는 것을 제어하는 접속 허용 확률값  $p_v(k+1)$ ,  $p_d(k+1)$ 를 결정한다.

Pseudo-Bayesian 알고리즘에 기반하는 트래픽 예측기를 제외한 모든 제어기는 적응적 퍼지 시스템으로 구현된다. 본 논문에서는 가장 보편적으로 사용되는 max-min 추론 엔진, 싱글톤(singleton) 퍼지 부호기, 그리고 무게 중심 퍼지복호기를 사용한다. 만약  $y^{-l}$ 이 M개의 퍼지 집합들 중에서 l번째 퍼지 집합의 중심이라고 하면, 무게 중심 퍼지 복호기는 다음과 같이 주어진다.

$$y^* = \frac{\sum_{l=1}^M y^{-l} w_l}{\sum_{l=1}^M w_l} \quad (4)$$

여기서  $w_l$ 은 l번째 퍼지 집합과 관련한 높이이다.

##### 1. 프레임 기반의 Pseudo-Bayesian 트래픽 예측기

Rivest의 Pseudo-Bayesian (PB) 알고리즘[17]은 정체된 패킷을 보유한 단말의 수를 추정하기 위한 수단으로 제안된 것으로서, 특히 ALOHA 프로토콜을 안정화시킬 목적으로 적용시 단순하면서도 효과적임이 판명되었다. PB 알고리즘은 포아송 트래픽을 가정하고 유도되었지만 패킷 도착 프로세스의 버스티 특성에 상관없이 적용될 수 있음이 밝혀졌다<sup>[18]</sup>. 그러나, PB 알고리즘은 슬롯 방식에서 적용

된 기법으로서, 각 경쟁 슬롯 후의 즉각적인 피드백을 필요로 한다. 본 논문에서는 PB 알고리즘을 프레임 기반의 시스템에 적용하고자 하며 이것을 본 논문에서는 FPB (Framed pseudo-bayesian) 알고리즘으로 명명한다.

k 번째 프레임에서 음성과 데이터 접속 구간을 위한 미니슬롯 수가 각각  $R(k)$ 와  $m(k) \times i - R(k)$ 로 주어진다고 할 때, k 번째 프레임의 끝에서 다음 프레임에 예약 요청을 전송할 음성과 데이터 사용자의 수  $\hat{n}_v(k)$ ,  $\hat{n}_d(k)$ 가 추정된다. 음성 (데이터) 접속 미니 슬롯들의 수 측면에서 예약 요청 시도에 대한 ‘없음’, ‘성공’, ‘충돌’ 미니 슬롯 수로 표시되는 피드백 정보  $N_v^i(k)$  ( $N_d^i(k)$ ),  $N_v^s(k)$  ( $N_d^s(k)$ ), 그리고  $N_v^c(k)$  ( $N_d^c(k)$ )에 기반하여, 식 (5)를 통해 음성 ( $j=v$ )과 데이터( $j=d$ ) 사용자 수들을 추정한다. (5) 식에서 사용되는  $\hat{\lambda}_j$ 는 해당 서비스의 신규 패킷 발생을 추정값으로서 이전  $W$  (본 논문에서는 50)프레임에 대하여 성공적인 요청 수의 이동 평균으로 결정한다. 또한  $L_{R(k)}$ 는 서비스 별 접속 구간의 미니 슬롯 수로서 음성과 데이터 각각  $R(k)$ ,  $m(k) \times i - R(k)$ 이다.

$$\begin{aligned} \hat{n}_j(k+1) &= \hat{\lambda}_j + (N_j^i(k) + N_j^s(k)) \cdot \max\left(0, \frac{\hat{n}_j(k)}{L_{R(k)}} - 1\right) \\ &\quad + N_j^c(k) \cdot \left(\frac{\hat{n}_j(k)}{L_{R(k)}} + \frac{1}{e-2}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

2. R-subframe 제어기

R-subframe 제어기는 음성 접속 구간 제어기 (voice access region controller: VARC)와 데이터 접속 구간 제어기(data access region controller: DARC)로 구성된다. 대략적으로 말해서 VARC는 음성의 QoS 제약인 최대 허용 패킷 손실율 ( $P_{drop}^{max}$  예를 들어, 0.01)을 만족시키는 범위 내에서 가장 높은 우선권을 데이터 트래픽에게 제공하며, DARC는 예약 요청과 정보 패킷들을 위한 대역을 적응적으로 조절함으로써 시스템의 혼잡 제어를 수행한다.

매 프레임 끝에서, 예약 미니 슬롯들에 대한 음성 접속 상태  $AS_v$ , 음성 트래픽 강도  $TI_v$ , 그리고 음성 접속 지연의 이동 평균  $D_v$ 가 VARC로 인가된다.  $AS_v$ 는 주어진 프레임에서 음성 접속 구간으

로 제공된 모든 미니 슬롯들 중에서 충돌을 겪은 슬롯 수와 빈 슬롯 수의 차에 대한 이동 평균,  $MA((N_v^c - N_v^i)/R)$ 으로 표시된다. 또한,  $TI_v$ 는  $\hat{n}_v/M_v$ 로 측정되는데,  $M_v$ 는 시스템에 인가된 음성 단말의 총 수이다. 이들 값과 규칙 기반에 저장된 언어적 정보를 바탕으로 하여 VARC는 다음 프레임을 위한 음성 접속 구간의 길이를 결정하게 된다. 사용되는 제어 규칙들은 표 1과 같이 규칙 기반에 미리 정의된다. 이러한 규칙들은 숙련자의 지식을 바탕으로 하여 성공적인 예약 요청이 최대화되도록 설계된다. 입력 변수들의 언어적 대표값들은 그림 5에 주어진 각각의 멤버십 함수들에 의해 정의된다. 반면에 DARC는 입력 변수들로 데이터 트래픽 강도  $TI_d$ , 데이터 트래픽의 지연 측정값  $D_d$ , 그리고 스케줄러 상태 쌍 ( $l_e, q$ )을 취한다. 보다 큰  $q$  값은 시스템의 혼잡 상태를 암시하므로 접속 구간의 길이를 짧게 조정하여 시스템으로 인가되는 트래픽량을 줄이도록 하며, 보다 큰  $l_e$  값은 최근의 경과된 프레임들에서 연속적인 충돌이 발생함을 나타내며 따라서 접속 구간 길이를 길게 조정하도록 한다.  $TI_d$ 는 음성의 경우와 같이  $\hat{n}_d/M_d$ 로 측

표 1. 음성 접속 구간 제어기를 위한 언어적 규칙

If $AS_v$ is idle, $TI_v$ is small, and $D_v$ is low	then $R$ is very small
If $AS_v$ is idle, $TI_v$ is small, and $D_v$ is high	then $R$ is very small
If $AS_v$ is idle, $TI_v$ is large, and $D_v$ is low	then $R$ is very small
If $AS_v$ is idle, $TI_v$ is large, and $D_v$ is high	then $R$ is small
If $AS_v$ is success, $TI_v$ is small, and $D_v$ is low	then $R$ is small
If $AS_v$ is success, $TI_v$ is small, and $D_v$ is high	then $R$ is small
If $AS_v$ is success, $TI_v$ is large, and $D_v$ is low	then $R$ is moderate
If $AS_v$ is success, $TI_v$ is large, and $D_v$ is high	then $R$ is moderate
If $AS_v$ is collision, $TI_v$ is small, and $D_v$ is low	then $R$ is moderate
If $AS_v$ is collision, $TI_v$ is small, and $D_v$ is high	then $R$ is large
If $AS_v$ is collision, $TI_v$ is large, and $D_v$ is low	then $R$ is large
If $AS_v$ is collision, $TI_v$ is large, and $D_v$ is high	then $R$ is very large

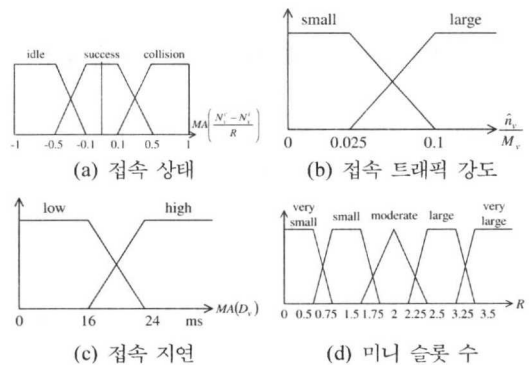


그림 5. 음성 접속 구간 제어기를 위한 멤버십 함수

표 2. 데이터 접속 구간 제어기의 언어적 규칙

If $Tl_d$ is SM, $D_d$ is HI, $l_v$ is SM, and $q$ is LO	then $R_d$ is VS
If $Tl_d$ is SM, $D_d$ is HI, $l_v$ is LA, and $q$ is LO	then $R_d$ is VS
If $Tl_d$ is SM, $D_d$ is LW, $l_v$ is SM, and $q$ is LO	then $R_d$ is SM
If $Tl_d$ is SM, $D_d$ is LW, $l_v$ is LA, and $q$ is LO	then $R_d$ is SM
If $Tl_d$ is LA, $D_d$ is HI, $l_v$ is SM, and $q$ is LO	then $R_d$ is SM
If $Tl_d$ is LA, $D_d$ is HI, $l_v$ is LA, and $q$ is LO	then $R_d$ is MO
If $Tl_d$ is LA, $D_d$ is LW, $l_v$ is SM, and $q$ is LO	then $R_d$ is MO
If $Tl_d$ is LA, $D_d$ is LW, $l_v$ is LA, and $q$ is LO	then $R_d$ is MO
If $Tl_d$ is SM, $D_d$ is HI, $l_v$ is SM, and $q$ is SH	then $R_d$ is MO
If $Tl_d$ is SM, $D_d$ is HI, $l_v$ is LA, and $q$ is SH	then $R_d$ is MO
If $Tl_d$ is SM, $D_d$ is LW, $l_v$ is SM, and $q$ is SH	then $R_d$ is LA
If $Tl_d$ is SM, $D_d$ is LW, $l_v$ is LA, and $q$ is SH	then $R_d$ is LA
If $Tl_d$ is LA, $D_d$ is HI, $l_v$ is SM, and $q$ is SH	then $R_d$ is LA
If $Tl_d$ is LA, $D_d$ is HI, $l_v$ is LA, and $q$ is SH	then $R_d$ is LA
If $Tl_d$ is LA, $D_d$ is LW, $l_v$ is SM, and $q$ is SH	then $R_d$ is VL
If $Tl_d$ is LA, $D_d$ is LW, $l_v$ is LA, and $q$ is SH	then $R_d$ is VL

SM: small, LA: large, HI: high, LW: low, LO:long, SH: short, VS: very small, MO: moderate, VL: very large,  $R_d = m \times i - R$

정되며 이 때  $M_d$ 는 시스템에 인가된 데이터 단말의 총 수를 나타낸다. 나머지 입력 변수  $D_d$ ,  $l_v$ , 그리고  $q$ 는 각각 최근에 경과한 프레임 수 10, 4, 4 개의 프레임들에 대한 이동 평균으로 계산된다. 이들 정보와 표 2의 규칙 기반에 저장된 언어적 정보에 기반하여, DARC는 데이터 단말들을 위한 미니 슬롯들의 수를 결정한다. 사용되는 제어 규칙들은 프레임 기반의 랜덤 접속 제어기의 파라미터 설정에 대한 숙련자의 지식에 기반하여, 예약 요청과

정보 패킷들 간의 균형을 보장함으로써 시스템 처리율을 증가시키도록 정의된다. 각 변수들에 대한 언어적 대표값들은 그림 6에 주어진 멤버십 함수들에 의해 정의된다. 이러한 멤버십 함수들은 경험적으로 설정될 수 있으며 이론적으로 따라야 할 표준 규칙은 없다.

3. 접속 허용 제어기

접속 허용 제어기는 음성과 데이터 트래픽에 대한 접속 허용 확률값  $p_v$  및  $p_d$ 를 결정한다. 입력 용어 변수로 음성과 데이터 각각  $\{I_v, AS_v, D_v\}$  및  $\{I_d, AS_d, D_d\}$ 를 취하며, 여기서  $I_v = R/\hat{n}_v$ ,  $I_d = (m \times i - R)/\hat{n}_d$ , 그리고  $AS_d$ 는 그림 5(a)의  $AS_v$ 와 같은 방식으로 정의된다. 일반적으로 접속 허용 확률  $p_i (i = v, d)$ 은 제공되는 미니 슬롯들의 수와 접속을 시도하려는 사용자 수 측면에서 계산되는 전송 기회의 비율로 근사화 될 수 있다. 주어진 시스템에서의 지연 성능은 또한  $p_i$ 의 선택에 의해 통제될 수 있다. 즉, 해당 값이 너무 높을 경우 과도한 충돌에 의한 재전송 지연이 초래되며, 반면에 너무 작은 값으로 설정될 경우 작은 전송 기회로 인하여 대기 시간이 길어져 결국 과도한 지연을 겪게 되다.

이러한 정보를 토대로, 본 논문에서는 표 3과 같은 Sugeno 유형[19]의 추론 규칙을 도출한다. 표 1과 2에서의 Mamdani 유형[19]과 달리 개별 규칙들은 제어기 입력들의 함수 형태를 갖는다. 각 입력 변수의 언어적 대표값들은 그림 7과 같은 멤버십 함수들로 정의된다.  $\alpha$  및  $\beta$  값들을 포함한 상수들의 선택은 이전 소절에서 기술한 바와 같은 논점으로 정당화된다.

표 3. 음성 접속 허용 제어기의 언어 규칙

If $I_v$ is small, $AS_v$ is collision, and $D_v$ is high	then $p_v = \alpha_1^v \times I_v + \beta_1^v$
If $I_v$ is small, $AS_v$ is collision, and $D_v$ is low	then $p_v = \alpha_2^v \times I_v + \beta_2^v$
If $I_v$ is small, $AS_v$ is success, and $D_v$ is high	then $p_v = \alpha_3^v \times I_v + \beta_3^v$
If $I_v$ is small, $AS_v$ is success, and $D_v$ is low	then $p_v = \alpha_4^v \times I_v + \beta_4^v$
If $I_v$ is small, $AS_v$ is idle, and $D_v$ is high	then $p_v = \alpha_5^v \times I_v + \beta_5^v$
If $I_v$ is small, $AS_v$ is idle, and $D_v$ is low	then $p_v = \alpha_6^v \times I_v + \beta_6^v$
If $I_v$ is large, $AS_v$ is collision, and $D_v$ is high	then $p_v = \alpha_7^v \times I_v + \beta_7^v$
If $I_v$ is large, $AS_v$ is collision, and $D_v$ is low	then $p_v = \alpha_8^v \times I_v + \beta_8^v$
If $I_v$ is large, $AS_v$ is success, and $D_v$ is high	then $p_v = \alpha_9^v \times I_v + \beta_9^v$
If $I_v$ is large, $AS_v$ is success, and $D_v$ is low	then $p_v = \alpha_{10}^v \times I_v + \beta_{10}^v$
If $I_v$ is large, $AS_v$ is idle, and $D_v$ is high	then $p_v = \alpha_{11}^v \times I_v + \beta_{11}^v$
If $I_v$ is large, $AS_v$ is idle, and $D_v$ is low	then $p_v = \alpha_{12}^v \times I_v + \beta_{12}^v$

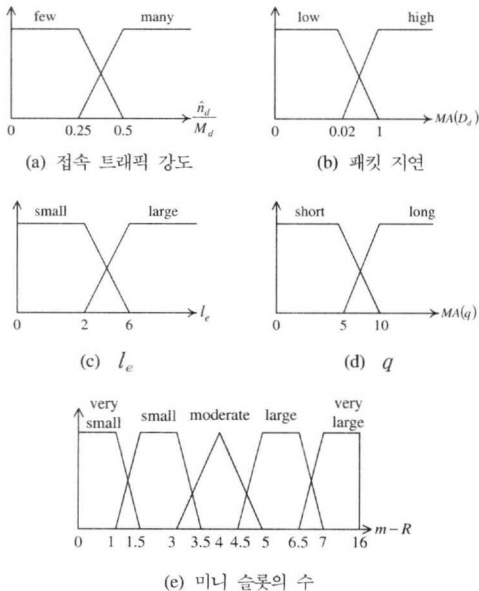


그림 6. 데이터 접속 구간 제어기의 멤버십 함수



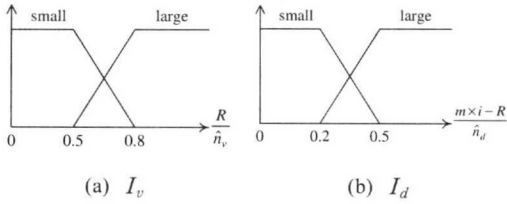


그림 7. 접속 허용 제어기의 멤버십 함수

V. 단말 보조 랜덤 접속

기지국의 중앙제어기에 의해 하향 링크로 시그널링 되는 접속 허용 확률  $p_v^{Base}$  는 단말들과 떨어진 기지국에서 여러 가지 추정에 의해 결정되기 때문에 정확하지 않을 수 있으며, 또한 모든 단말에게 일괄적으로 적용됨으로 인해 공정하지 않을 수 있다. 본 절에서는 각 음성 단말이 정제된 패킷들의 현재 상태에 대한 추가적이면서도 보다 정확한 정보를 보유하고 있고 이러한 정보들을 이용하여 단말 자체적으로 접속 허용 확률을 재조정할 경우 보다 정확하고 공정하게 제어할 수 있다는 점을 고려한다. 단말이 직접적으로 랜덤 접속 제어에 관여하기 때문에 이를 단말 보조 랜덤 접속이라 한다. 구체적인 재조정 규칙은 다음과 같다. 음성 단말이 Wait i 상태에 있을 때 식 (6)에 따라 자신의 접속 허용 확률을 재조정한다.

$$p_i^{VT} = \begin{cases} \delta_i \cdot (p_v^{Base} + \gamma) & , \text{ if } P_{drop} < P_{drop}^{max} \\ \delta_i \cdot p_v^{Base} + 0.5 & , \text{ if } P_{drop} \geq P_{drop}^{max} \end{cases} \quad (6)$$

식 (6)에서  $P_{drop}$  은 음성 단말에 의해 측정된 현재의 패킷 손실 확률이고,  $P_{drop}^{max}$  는 최대 허용 패킷 손실 확률로 본 논문에서는 0.01로 선택하였다.  $\delta_i$  은 단말들간의 단기간 공정성을 고려한 인자로서,  $k$  가 예약 요청을 재전송할 수 있는 최대 횟수라는 가장하에  $x \cdot (1/2)^{k-i}$  로 설정된다.  $\gamma$  는 단말이 겪는 QoS 열화 수준을 나타내기 위한 파라미터( $\alpha$ 에 비해 단말들의 장기간 공정성을 반영함)로서  $\min(1, P_{drop}/P_{drop}^{max})$  로 설정된다. 단말의 QoS 열화 수준이 받아들여 질 수 있는 정도( $\gamma < 1$ )일 경우,  $p_v^{Base}$  와  $\gamma$  를 더한 값을  $\delta_i$  와 곱함으로써 재전송 횟수가 커질수록 결과적인 값이 증가하도록 설정한다. 이 때 그 최대값이 1을 넘지 않도록 하기 위해  $\delta_i$  의  $x$  값을 0.5로 설정하게 된다. 만약 단말의

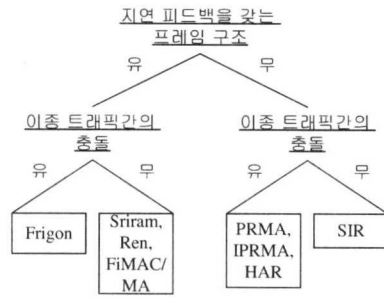


그림 8. 시스템 분류

QoS 열화 수준이 심할 때 ( $\gamma=1$ ),  $\delta_i$  와  $\gamma$  의 곱을 0.5로 고정함으로써  $p_i^{VT}$  결정에 대한  $\gamma$  의 영향을 최소화한다.

VI. 시뮬레이션 결과 및 토의

본 절에서는 단말 보조 랜덤 접속 제어를 갖는 FiMAC(이하 FiMAC/MA로 칭함)의 성능을 시스템 용량, 음성 패킷 손실 확률, 음성과 데이터 패킷의 지연, 시스템 처리율, 그리고 공정성 측면에서 제시한다. 또한 제안 시스템과의 성능 비교를 위해 다양한 시스템들이 고려된다.

1. 시스템의 분류

시뮬레이션 될 시스템들을 지연 피드백을 갖는 프레임 구조의 도입 여부와 이종 트래픽들 간의 충돌 유/무에 따라 분류하면 그림 8과 같다. 먼저 지연 피드백을 갖는 프레임 구조를 도입하는 시스템들로 Sriram [10], Ren [11], 그리고 Frigon [12]에 의해 최근 연구된 시스템들을 고려한다. [10]과 [11]에서 각각 제안된 시스템들은 이종 트래픽을 위한 접속 구간을 서로 분리함으로써 동종 트래픽 간의 예약 요청에만 충돌이 발생하는 반면, [12]에서 제안된 시스템은 비록 접속의 우선순위를 정하고 있지만 이종 트래픽이 동일 접속 구간을 사용함으로써 인해 이종 트래픽의 예약 요청간에 충돌이 발생할 수 있다. [10]에서 제안된 시스템은 음성 접속을 위해 고정된 미니 슬롯 수를, 데이터 접속을 위해 가변 수의 미니 슬롯 수를 할당한다. 반면에 [11]에서 제안된 시스템은 경쟁 미니 슬롯 수를 고정시킨 후, 음성 QoS 측정치에 따라 먼저 음성 접속을 위한 미니 슬롯 수를 가변적으로 할당한 후 남은 미니 슬롯들을 데이터 접속 구간으로 할당한다. 본 시뮬레이션에서는 [12] 시스템의 경우 접속 구간에 할당

표 4. 시스템 파라미터

프레임 주기	16ms
프레임 당 슬롯의 수 ( $N$ )	20
슬롯 지속 시간	800 $\mu$ s
슬롯 당 미니 슬롯의 수	4
채널 데이터 율	720kbps
유/목음 평균 지속 시간 ( $\sigma, \gamma$ )	(1, 1.35)sec
음성 소스 발생율	32kbps
단말 보조 임계값 ( $\delta$ )	1
데이터 트래픽 파라미터 ( $I_d, R_{max}$ )	(4, 10) slots
최대 허용 가능한 음성 패킷 지연	32ms
최대 허용 가능한 음성 패킷 손실 확률	0.01
시뮬레이션 시간	250 sec

되는 미니 슬롯 수를 8개로 고정하며 해당 시스템을 FPBP(Framed pseudo-bayesian with priorities)라 한다. [10] 시스템의 경우 음성을 위한 미니 슬롯 수로 각각 1개와 2개가 할당된 경우를 각각 Sriram1, Sriram2로 명명하며, 접속 허용 확률의 제어 방안이 [10]에서 언급되어 있지 않은 관계로 FPB 알고리즘을 사용한다. [11] 시스템의 경우 제안 알고리즘의 파라미터가 제시되지 않아 직접 시뮬레이션할 수 없기 때문에 다음과 같은 시스템들을 통해 그 성능을 예측하고자한다. 즉, 음성과 데이터의 접속 구간을 고정적인 미니 슬롯 수로 각각 할당하며, 구간 접속 허용 확률은 FPB와 완전한 정체 단말 수 정보를 사용하여 결정하는 두 가지 방식을 개별적으로 고려한다. 해당 시스템을 FPB와 Perfect 시스템으로 명명하며 (음성, 데이터)의 접속 구간 미니 슬롯 수로 (1,3), (2,6)을 할당한다.

프레임 기반 방식과의 성능 비교와 병행하여 즉각적 피드백을 갖는 슬롯 기반 방식과도 성능 비교를 수행한다. 고려하는 시스템들로는 PRMA [2], IPRMA [3], SIR [4], 그리고 HAR [5]이다. 이들

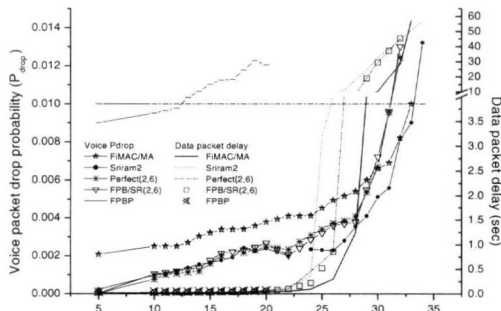
시스템중 SIR만이 음성과 데이터간의 충돌을 허용하지 않는데 그 이유는 데이터 단말들의 경우 폴링을 하기 때문이다. 또한 HAR 시스템에서만 접속 허용 확률값을 적응적으로 변경한다.

성능 비교 시뮬레이션에 사용되는 구체적인 파라미터 값들은 표 4와 같다.

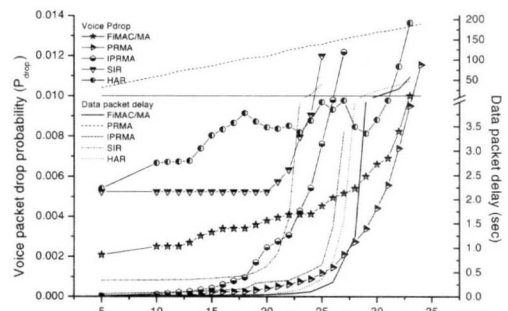
## 2. 성능 비교 결과

1) 시스템 용량: 그림 9(a)와 9(b)는 개별 단말의 패킷 발생율이 10,248bps인 데이터 단말 20개를 수용하는 상황에서, 음성 단말의 수를 증가시키면서 측정된 음성 패킷 손실 확률을 프레임 기반의 시스템들과 슬롯 기반의 시스템들 간에 비교한 결과이다. 그림을 통해 알 수 있듯이 제안하는 FiMAC/MA의 경우 패킷 손실 확률 상한값이 0.01인 조건 하에서 33명의 음성 단말을 수용할 수 있어, 프레임 기반 시스템에서는 Sriram2, 슬롯 기반 시스템에서는 PRMA와 함께 가장 높은 음성 단말 용량을 지원한다. 하지만 Sriram2와 PRMA의 경우 데이터 패킷 지연 성능이 현저히 감소함을 또한 확인할 수 있고, 이 점을 통해 양 시스템은 음성과 데이터 성능을 최적으로 조율할 수 있는 유연성을 제공하지 못함을 알 수 있다. 결과적으로 데이터 패킷의 지연 성능을 통해 제안하는 FiMAC/MA 시스템이 시스템 용량 측면에서 기타 시스템들보다 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

2) 음성 QoS 보장: 접속 방식에 따른 QoS 보장 능력을 보이기 위해, 음성 패킷 손실 확률  $P_{drop}$  을 데이터 단말들에 의해 제공되는 가변 트래픽 부하에 따라 측정한다. 본 시뮬레이션에서는 음성과 데이터 단말 수를 20으로 고정시킨 후, 각 데이터 단말에서 발생하는 데이터 트래픽의 부하를 2048bps

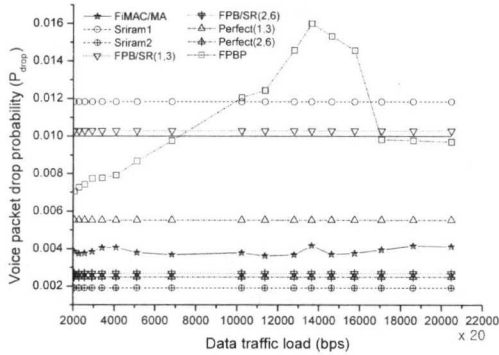


(a) 지연 피드백을 갖는 프레임 구조 채택 시스템

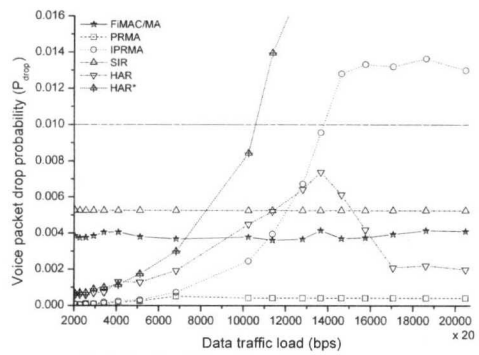


(b) 즉각적 피드백을 갖는 슬롯 기반 시스템들

그림 9. 음성 지원 단말 수에 따른 음성 패킷 손실 확률과 데이터 패킷 지연 성능 결과



(a) 지연 피드백을 갖는 프레임 구조 채택 시스템



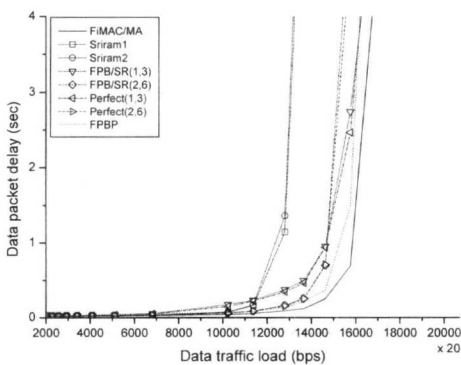
(b) 즉각적 피드백을 갖는 슬롯 기반 시스템들

그림 10. 데이터 트래픽 부하에 따른 음성 패킷 손실 확률 성능 결과

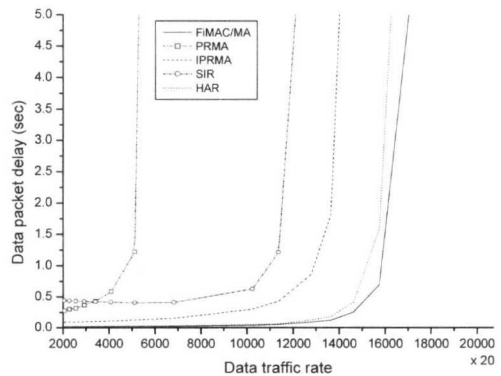
에서 20480bps까지 변화시킨다. 그림 10을 통해 알 수 있듯이 FiMAC/MA와 같은 이중 트래픽 간의 충돌이 발생하지 않는 시스템들이 데이터 트래픽 부하에 상관없이 음성 QoS를 보장한다. PRMA의 경우 데이터 접속 허용 확률을 아주 낮은 값으로 제한함으로써 음성과 데이터 접속의 충돌 현상을 억제하여 음성 QoS를 만족시키지만 그로 인해 데이터 성능이 극도로 저하될 것이 예상된다 (그림 11 결과 참조). HAR나 FPBP처럼 음성과 데이터 접속 간에 충돌이 발생하지만 접속 허용 확률을 동적으로 제어하는 시스템들은 트래픽 부하가 증가함에 따라 음성 QoS의 열화 정도가 심해지다가 다시 감소하는 결과를 보인다. 이것은 부하가 증가하면서 데이터 단말의 접속 시도가 빈번해짐으로 인해 음성의 접속 시도와 많이 충돌하다가 과부하시에는 한 번 접속을 통해 많은 슬롯 예약을 하면서 접속 시도의 수가 줄어들어 그 충돌이 줄기 때문이다. 만약 WWW 클라이언트 트래픽과 같이 가벼운 부하

를 발생시키는 데이터 단말의 경우 주어진 대역 안에서 상당한 수의 단말을 수용할 수 있는데, 이 경우 HAR나 FPBP 시스템에서 데이터 단말의 접속 증가로 인해 음성의 QoS는 심각히 열화될 것이다. 본 실험에서는 이러한 시나리오를 모사하기 위해 HAR 시스템에서 데이터 단말의 한 번 접속 시도 시에 예약할 수 있는 슬롯의 수를 5로 제한시킨 실험(HAR\*)을 해보았다. 그 결과 예상대로 데이터 트래픽 부하가 증가함에 따라 음성 QoS의 열화 정도가 심각해짐을 알 수 있다.

3) 데이터 패킷 지연 성능: 그림 11에는 음성/데이터 단말 각각 20개를 수용한 시스템에서 데이터 트래픽 부하를 가변시켜 측정한 평균 데이터 패킷 지연 결과가 도시되어 있다. 흥미로운 결과는 데이터 접속 구간을 가변시킬 수 있는 Sriram 시스템들의 지연 성능이 비교적 낮은 트래픽 부하에서 급속히 증가한다는 점인데, 이것은 데이터 접속 구간 계산시 사용되는 배수 인자의 부정확성 뿐만 아니라

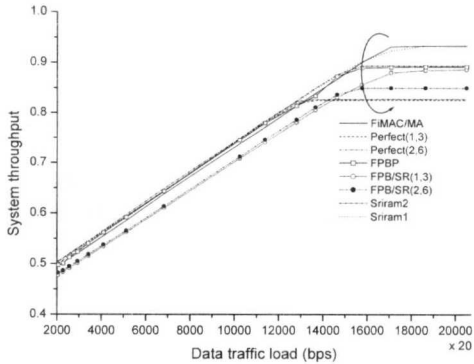


(a) 지연 피드백을 갖는 프레임 구조 채택 시스템

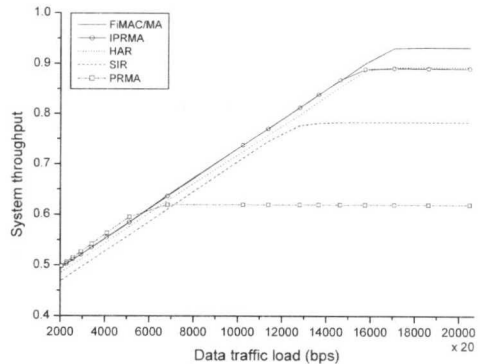


(b) 즉각적 피드백을 갖는 슬롯 기반 시스템들

그림 11. 데이터 트래픽 부하에 따른 데이터 패킷 지연 성능 결과



(a) 지연 피드백을 갖는 프레임 구조 채택 시스템



(b) 즉각적 피드백을 갖는 슬롯 기반 시스템들

그림 12. 데이터 트래픽 부하에 따른 시스템 처리율 성능 결과

과도 예약(overbooking) 상태에서도 그렇지 않은 상태에서와 마찬가지로 방식으로 접속 구간 길이를 결정하기 때문이다. 데이터 지연 QoS 제약을 최대 1초의 패킷 지연으로 감안할 때, 제안하는 FiMAC/MA 시스템이 최대 수용할 수 있는 데이터 윌 측면에서 보이는 성능 향상은 다른 시스템들에 비해 7%에서 최대 200%까지임을 알 수 있다. 이와 같은 성능 향상이 가능한 이유는 음성 접속 구간을 패킷 손실 QoS 제약하에서 최소로 하며, 데이터 패킷 지연이 최소화 될 수 있도록 데이터 예약 구간과 접속 구간의 균형 점을 유지하도록 R-subframe 길이를 조정할 수 있기 때문이다.

4) 처리율 성능: 총 수신된 패킷 수와 제공된 슬롯의 총 수의 비로 계산되는 시스템 처리율을 3)의 실험 환경에서 측정된 결과가 그림 12에 도시되어 있다. FiMAC/MA의 최대 획득 가능 처리율은 0.95 정도로 이 수치는 다른 시스템들과 비교해서 16%에서 150% 향상된 결과이다. 또한 표 5에는 시스템들에 따른 임의의 접속 미니 슬롯들의 평균 처리율이 제시되어 있다. 음성 접속을 위해 프레임 당 최소 하나의 미니 슬롯을 제공하는 FiMAC/MA 시스템의 경우 미니 슬롯 처리율이 낮음을 알 수 있는데, 이것은 프레임 당 하나의 미니 슬롯으로도 충분하다는 관측 사실(Perfect(1,3) 시스템이 음성 QoS

를 만족시키며 해당 처리율 또한 0.1366으로 낮음)로부터 정당화될 수 있다. 실제 FiMAC/MA 시스템이 음성 접속 구간으로 할당하는 미니 슬롯의 평균 수는 1.04로 이것은 퍼지 기반의 음성 접속 구간 제어기 및 음성 접속 허용 확률 제어기가 올바르게 동작하고 있음을 증명한다. 또한 데이터 접속 미니 슬롯의 처리율은 비교적 높은 것을 알 수 있는데 이 또한 해당 제어기들의 설계가 양호한 것을 증명한다. Perfect(1,3) 시스템과 비교시 낮은 처리율은 슬롯 경계로의 정렬에 따른 미니 슬롯 추가 할당에 의해 발생하는 데이터 접속 허용 확률 제어기에서의 손실 때문이다.

5) 공정성 성능: 시스템들의 공정성 성능을 비교하기 위해 음성 패킷 손실 확률 성능이 가장 나쁜 5 단말과 가장 좋은 5단말의 평균 손실 확률의 비를 공정성 지수로 하여 표 6에 제시하고 있다. 이 지수는 시스템 자원이 QoS 관점에서 음성 단말들에게 얼마나 공정하게 할당되는지를 나타낸다. 표 6의 결과로 알 수 있듯이 정의된 공정성 지수 측면에서 제안하는 FiMAC/MA 시스템이 가장 좋은 성능을 보인다. 이러한 월등한 성능 향상은 FiMAC/MA에서 도입하고 있는 단말 보조 적응 메커니즘에 기인한다.

위의 결과들을 통해 Ren 시스템의 성능 측면을

표 5. 미니 슬롯 처리율

	FiMAC/MA	Sriram1	Sriram2	FPB/SR(1,3)	FPB/SR(2,6)	Perfect(1,3)	Perfect(2,6)
음성접속구간길이 <sup>1)</sup>	가변 <sup>2)</sup>	1	2	1	2	1	2
데이터접속구간길이 <sup>1)</sup>	가변 <sup>2)</sup>	가변	가변	3	6	3	6
음성 처리율	0.131	0.1356	0.0685	0.1356	0.0685	0.1366	0.0685
데이터 처리율	0.282	0.0638	0.069	0.36	0.188	0.372	0.199

1) 단위 = 미니 슬롯 수    2) 평균 슬롯 수 = 1.04    3) 평균 슬롯 수 = 3.81

표 6. 음성 단말 수에 따른 공정성 지수 성능

음성 단말 수	공정성 지수			
	FiMAC/MA	Sriram2	FPB/SR(2,6)	Perfect(2,6)
5	1	1	1	1
10	0.812931	0.288618	0.369746	0.373401
20	0.671560	0.374390	0.283680	0.316166
26	0.573518	0.175238	0.313849	0.36306
30	0.554778	0.195291	0.249466	0.293913

고려해 보면, 경쟁 미니 슬롯의 수가 고정적인 Perfect(2,6) 시스템이 가변적인 Sriram2 및 제안 시스템 보다 음성 용량 측면에서 떨어진다는 점에서 Ren 시스템의 성능 제한을 예측할 수 있다. 또한 Perfect 시스템에서 음성 미니 슬롯 수를 1개 할당하여도 음성의 QoS를 만족시킬 수 있다는 것과 해당 미니 슬롯 수를 2개 할당할 경우 개별 접속 구간을 갖는 어떠한 시스템에서도 패킷 손실 확률 성능을 보장할 수 있는 점은 음성 서비스의 예약 요청 트래픽 부하 변동이 그리 심하지 않음을 확인할 수 있다. 이는 Ren 시스템의 적응성이 상당히 제한적임을 추측할 수 있다.

이런 결과를 통해 제안하는 FiMAC 시스템은 단말-보조 임의의 접속 메커니즘과 잘 조화가 되어 현존하는 모든 시스템들에 비해 거의 모든 성능 측면에서 우수한 결과를 보였다. 이러한 결과를 바탕으로 FiMAC/MA 시스템은 다른 시스템에서 불가능한 전체적인 설계 목적들을 만족시킬 수 있는 유일한 프레임워크를 제시한다고 결론지을 수 있다. 이러한 설계는 DOCSIS 계열의 광대역 무선 액세스 망과 케이블 망과 같은 광대역 액세스 시스템을 고려하였기 때문에 하드웨어적인 큰 변경없이 현존하는 상용 시스템들에 직접적으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

Ⅶ. 결론

참고 문헌

본 논문에서는 동적 예약 TDMA 기반의 광대역 액세스 망 상에서 음성과 데이터가 통합된 트래픽을 지원하기 위해 효율적인 자원 사용과 QoS 보장을 제공하는 지능적 매체 접속 제어기를 설계하였다. 제안하는 제어 시스템은 예약 요청을 위한 미니 슬롯들로 구성되는 R-subframe을 음성과 데이터를 위한 두 개의 개별적인 접속 구간으로 구분하여 실시간 서비스의 QoS를 보장하는 효과적인 방안을 제공한다. 이 두 구간의 경계와 R-subframe 길이는 각 접속 구간에서의 전송 허용 확률값들과 함께 전체적인 자원 이용도 효율을 좌우하는 중요한 파라미터들이다. 본 논문에서는 퍼지 추론 방식을 사용하는 지능적 제어 패러다임을 도입하여 서비스들의 QoS 제약 하에서 시스템 자원 사용도를 최대화할 수 있는 최적의 설계 파라미터 값들을 결정하였다. 또한 제시된 퍼지 기반의 지능적 매체 접속기(FiMAC)는 음성 접속 허용 확률값을 분산 방식으로 재조정하는 단말-보조 메커니즘을 통해 음성 단말들에게 공정한 QoS 보장을 가능하도록 하여 보다 강화된 성능을 제공한다. 광범위한 비교 시물레

[1] D. Bertsekas and R. Gallager, *Data Networks*, 2nd edition, Prentice-Hall, 1992.  
 [2] D.J. Goodman *et al.* "Packet reservation multiple access for local wireless communications," *IEEE Trans. Commun.*, Aug. 1989.  
 [3] W.C. Wong and D. J. Goodman, "A packet reservation multiple access protocol for integrated speech and data transmission," *IEE Proc.-1*, Dec. 1992.  
 [4] G. Anastasi *et al.*, "A contention/reservation access protocol for speech and data integration in TDMA-based advanced mobile systems," *Mobile Networks and Application*, 1997.  
 [5] W.-S. Jeon *et al.*, "An Integrated Services MAC Protocol for Local Wireless Communication," *IEEE Trans. Commun.*, Feb. 1998.  
 [6] S. Nanda, "Analysis of packet reservation multiple access: Voice and data integration for wireless networks," in *Proc. GLOBECOMM '90*, (San Diego, CA), pp. 1984-1988, 1990.

[7] G. Wu, K. Mukumoto, and A. Fukuda, "Analysis of an integrated voice and data transmission system using packet reservation multiple access," *IEEE Trans. Communications*, vol. 42, pp. 289-297, May. 1994.

[8] S. Jangi and L.F. Merakos, "Performance analysis of reservation random access protocols for wireless access networks," *IEEE Trans. Communications*, vol. 42, pp. 1223-1234, Feb. 1994.

[9] P. Narasimhan and R. Yates, "A new protocol for the integration of voice and data over PRMA," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, May 1996.

[10] K. Sriram and P.D. Magill, "Enhanced throughput efficiency by use of dynamically variable request minislots in MAC protocols for HFC and wireless access networks," *Telecom. Systems* 9, 1998.

[11] F.-C. Ren, C.-J. Chang, and R.-C. Cheng, "An intelligent transmission controller for TDMA/PRMA wireless multimedia communication systems," In *Proc. IEEE VTC'99 Fall*, 1999.

[12] J.-F. Frigon and V.C.M. Leung, "A Pseudo-Bayesian Aloha algorithm with mixed priorities," In *Proc. PIMRC98*, 1998.

[13] ETSI BRAN DTS/BRAN 030003-1>V0.d, HIPERLAN Type 2 Functional Specification, Part 1 - Data Link Control layer, Oct. 1998.

[14] Data-over-cableservice interface specification -Radio frequency specification-SP-RFI v1.1-I06-001215, Dec. 2000.

[15] Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, IEEE 802.16.1-00/01r4, Sep. 2000.

[16] K.C. Chua, "Minislotted packet reservation multiple access," *IEE Electronics Letters*, Vol. 29, No. 22, pp.1920-1921, Oct. 1993.

[17] R.L. Rivest, "Network Control by Bayesian Broadcast," *IEEE Trans. Inform. Theory*, May 1987.

[18] Z. Harpantidou and M. Paterakis, "Random Multiple Access of Broadcast Channels with Pareto Distributed Packet Interarrival Times," *IEEE Personal Communications*, Apr. 1998.

홍 승 은(Seung-Eun Hong)

정회원



1997년 2월 : 고려대학교 전자공학과 학사

1999년 2월 : 고려대학교 전자공학과 석사

2001년 2월 : 고려대학교 통신시스템기술학과 박사과정 수료

<주관심 분야> 매체접속제어 프로토콜 설계/구현, 네트워크 제어, 유/무선 TCP/IP

김 응 배(Eung-Bae Kim)

정회원



1981년 2월 : 고려대학교 전자공학과 학사

1983년 2월 : 고려대학교 전자공학과 석사

1999년 2월 : 고려대학교 전자공학과 박사

1983.1~1988.3 : 금성전기/금성반도체 연구소 연구원

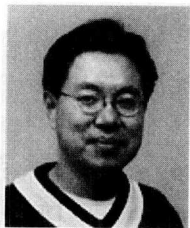
1988.3~1988.11 : 한국통신진흥(주) 과장

1989.11~현재 : 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 광대역무선멀티미디어 팀장

<주관심 분야> B-WLL, TDMA 시스템, CDMA 시스템, 밀리미터파 RF기술

강 충 구(Chung-Gu Kang)

정회원



1987년6월 Univ. of California (San Diego), 전자공학과 학사

1989년9월 Univ. of California (Irvine), 전자 및 컴퓨터공학과 석사

1993년 3월 Univ. of California (Irvine), 전자 및 컴퓨터공학과 박사

1991.7~1992. 5: Aerospace Corp. 연구원

1993.4~1994.2 : Rockwell International 연구원

1994.3~현재 : 고려대학교 전기, 전자, 전파공학부 부교수

2000.8~2001.8 : Center for Wireless Communication (UC San Diego) 방문교수/연구원

<주관심 분야> 광대역 무선 전송 기술 및 매체접근 제어 프로토콜 설계/구현, 광대역 무선 접속망 및 4세대 이동통신 기술