

# 통합 음성/데이터 서비스를 위한 무선 MAC 프로토콜

正會員 임 인 택\*, 허 정 석\*\*

## A Wireless MAC Protocol for the Integrated Voice/Data Services

In-Taek Lim\*, Jeong-Seok Heo\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 패킷 라디오 망에서 음성/데이터 집적 서비스를 위한 SS-PRMA 프로토콜을 제안하고, 해석적 방법을 이용하여 이에 대한 성능을 분석했다. 제안된 프로토콜에서 상향 논리 채널은 프레임을 구성하는 타임 슬롯과 각 슬롯별 확산 코드 채널에 의해서 제공되며, 음성 트래픽은 채널 예약 방식을 사용하는 반면, 데이터 트래픽은 매 패킷이 발생할 때마다 임의의 빈 채널을 선택해서 전송하는 슬롯 ALOHA 방식을 사용한다. 성능 분석의 결과, 채널 예약 방식을 사용하는 음성 트래픽인 경우 단지 몇 개의 슬롯별 확산 코드 채널만으로도 충분한 시스템 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 반면, 데이터 트래픽인 경우 매 패킷마다 경쟁 방식을 사용하므로 채널의 수에 상당히 민감한 성능을 나타냈다. 또한 무선 채널의 높은 비트 오류율을 고려하여 데이터 링크 계층에서 FEC 기법을 적용한 경우, 데이터 트래픽의 성능이 상당히 개선됨을 알 수 있었다.

### ABSTRACT

This paper proposes an SS-PRMA protocol for the integrated voice and data services in the packet radio networks. In this protocol, the uplink logical channels are provided by combining the time slots and the spreading codes. SS-PRMA protocol contains some features of existing protocols such as PRMA, slotted ALOHA, and CDMA. In the proposed protocol, the voice terminals use a reservation mechanism, and the data terminals use a slotted ALOHA scheme. The analysis and the simulation results show that most of the performances for the voice traffic can be achieved by employing a few distinct spreading codes and the data traffic throughput is closely related to the number of spreading code channels. Also it shows that the data traffic performance can be significantly improved by applying an FEC scheme to the data link layer.

\*부산외국어대학교 컴퓨터공학과  
 \*\*울산대학교 컴퓨터정보통신공학부  
 論文番號:97411-1110  
 接受日字:1997年 11月 10日

## 1. 서 론

최근 이동통신 가입자 수요의 급격한 증가와 디지털 무선통신 기술의 발전으로 인하여 이동통신 서비스에 대한 사용자의 요구가 음성 위주의 기본 통신 서비스로부터 점차 멀티미디어화, 지능화 및 개인화 추세로 바뀌고 있다[1]. 이와 더불어 제한된 무선 자원을 효율적으로 공유하기 위한 다중 접속 기법이 절실히 요구되며, 현재 사용 중이거나 연구 중인 기법으로는 FDMA, TDMA 및 CDMA 등이 있다. 이 중에서 CDMA 기법은 대역 확산을 위한 코드 시퀀스에 의해서 채널이 논리적으로 구분되므로 인접 셀간에 동일한 주파수를 공유할 수 있어서 기존의 기법보다 더 높은 주파수 재 사용률을 갖는다. 또한 CDMA 기법은 비교적 용이하게 채널을 제공할 수 있다는 점과 셀 계획이 상대적으로 간단하며, 셀룰러 망에 적용될 경우 소프트 핸드 오버가 가능한 장점이 있다[2].

한편, 패킷 라디오 망에서 음성과 데이터 트래픽을 동시에 서비스하기 위하여 두 트래픽들의 서로 다른 QoS를 만족시키면서 공유하는 무선 자원을 효율적으로 사용하기 위한 MAC 프로토콜은 필수적이다. 이러한 프로토콜 중에서 PRMA (Packet Reservation Multiple Access) 기법은 TDMA 방식으로 다중 채널을 제공하는 시스템에서 음성 트래픽은 채널 예약 방식을 사용하고, 데이터 트래픽은 슬롯 ALOHA 방식을 사용하여 비교적 용이하게 통합 음성/데이터 서비스를 위한 MAC 프로토콜로 이미 널리 알려져 있다[3]. 그러나, 이 기법은 슬롯 당 채널이 단지 한 개뿐이므로 음성 단말기가 이 슬롯을 예약하여 사용 중인 경우에는 다른 단말기들의 트래픽을 서비스하지 못하는 문제점이 있다. 또한 동시에 여러 데이터 단말기와 음성 단말기들이 패킷을 전송하고자 할 경우에는 빈번한 채널 충돌로 인하여 시스템의 성능이 급격히 저하되는 문제점이 있다. Tran은 PRMA 기법을 변형하여, 데이터 트래픽보다 음성 트래픽에 더 높은 우선순위를 부여하여 음성과 데이터 트래픽을 통합 서비스하는 MAC 프로토콜을 제안했다[4]. 이 기법에서는 패킷을 전송하고자 하는 데이터 단말기는 패킷을 전송하기 전에 슬롯의 상태를 감시해서 동일한 슬롯에 음성 단말기의 채널 예약 요청 패킷이 없는 경우에만 데이터 패킷을 전송한다. 이 경우 은닉 단말기(Hid-

den terminal)가 없을 때는 채널 상태 감시를 통하여 데이터 패킷을 전송하므로 채널 예약 요청 패킷의 충돌 확률을 줄일 수 있지만, 은닉 단말기가 있는 경우에는 PRMA 기법의 문제점을 여전히 가지고 있다. 반면 M. Soroushnejad 등이 제안한 기법은 CDMA 방식의 시스템에 사용하는 프로토콜로서, 각 단말기마다 고유의 확산 코드를 사용하는 송신기 위주 확산 코드 프로토콜을 사용한다[5]. 이 방식에서는 전송되는 모든 패킷이 자신의 고유 확산 코드를 사용하므로 패킷 충돌은 전혀 발생하지 않지만, 단말기의 수가 많아짐에 따라 확산 코드의 수가 많아지게 되고 중앙 수신기의 구조가 복잡해지는 문제가 있다. Dastangoon은 Tran이 제안한 기법을 CDMA 시스템에 적용하여 이에 대한 성능을 해석했다[6]. 해석 과정에서 두 개 이상의 단말기가 동일한 확산 코드를 선택할 경우 발생하는 패킷 충돌 현상을 전혀 고려하지 않았으며, 이에 따른 해석 결과는 다소 과대 평가될 수 있는 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 프레임을 기반으로 하는 TDMA 방식과 확산 코드를 기반으로 하는 CDMA 방식을 혼합하여 타임 슬롯과 확산 코드에 의해서 논리 채널을 제공하는 시스템에서 음성과 데이터 서비스를 동시에 지원하기 위한 SS-PRMA (Spread Spectrum Packet Reservation Multiple Access) 프로토콜을 제안하고 이에 대한 성능 분석을 한다. SS-PRMA 프로토콜에서는 PRMA 기법과 같이 음성 트래픽인 경우 공유하는 채널 중 (여기서의 채널은 확산 코드 채널을 의미함) 임의의 빈 채널을 선택하여 다른 음성 단말기의 채널 예약 요청 패킷과 경쟁 방식으로 채널 예약을 시도하고, 일단 채널이 예약되면 호가 종료될 때까지 그 채널을 배타적으로 사용하는 예약 방식을 사용한다. 반면, 데이터 트래픽인 경우 매 패킷마다 경쟁 방식을 사용하여 공유하는 채널 중 임의의 빈 채널을 선택해서 전송하는 슬롯 ALOHA 방식을 사용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 논문에서 제안하는 SS-PRMA 프로토콜을 위한 시스템 구성을 기술하고, III장에서는 SS-PRMA 프로토콜의 상세한 동작 과정을 설명하고, IV장에서는 제안한 프로토콜의 성능을 마르코프 모델을 이용하여 해석하고, 해석적 방법 및 시뮬레이션 수행 결과를 분석하

고, 마지막으로 결론을 각각 기술한다.

## II. 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 SS-PRMA 프로토콜을 위한 시스템은 음성과 데이터 단말기들의 트래픽을 통합 서비스하는 중앙 집중형 단일 셀로 구성된 무선 패킷 망으로 가정한다. 한 셀 내에는 균등하게 분포하는 단말기들과 R개의 수신기로 구성된 중앙 기지국이 있다고 가정한다. 상향 링크의 논리 채널 구조는 그림 1에 나타난 바와 같이 프레임을 기반으로 하는 TDMA 방식과 확산 코드를 기반으로 하는 CDMA 방식을 혼합하여 타임 슬롯과 확산 코드에 의해서 제공된다. 하나의 프레임은 링크의 대역폭과 음성 단말기의 샘플링 속도에 따라  $k_0$ 개의 슬롯으로 구성되며, 각 슬롯에는 모든 단말기들이 공유하는 m개의 상호 상관 특성을 갖는 확산 코드 채널이 있다. 여기서  $m=1$ 인 경우 SS-PRMA 기법은 TDMA 시스템에서 통합 음성/데이터 서비스를 위한 PRMA 기법과 동일하게 동작한다.

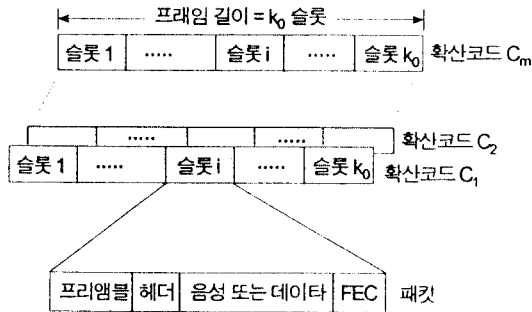


그림 1. 상향 링크의 채널 및 패킷 구조  
Fig. 1 Up-link channel and packet structures

각 단말기에서 발생하는 패킷은 그림 1과 같이 슬롯의 길이와 동일하며, 프리앰블부, 헤더, 음성 또는 데이터부 및 FEC (Forward Error Correction)부로 구성된다. 프리앰블부는 수신기가 반송파 에너지를 감지하고 상관기들이 확산 코드를 인식하기 위해서 수신기의 라디오부에서 사용된다. 프리앰블부에 의해서 확산 코드를 인식하면 패킷의 나머지는 수신기의 디지털부에 연결되어 복원된다. FEC부에는 데이터

링크 계층에서 순방향 오류 정정이 가능한 BCH 블록 코드를 사용한다. 한편 중앙 기지국에서는 하향 링크를 통해서 동기 신호를 전송하고, 모든 단말기들은 이 동기 신호를 이용하여 중앙 기지국과 동기를 유지한다고 가정한다.

## III. 제안하는 프로토콜

지연에 민감한 음성 트래픽인 경우에는 임의의 빈 채널을 이용해서 채널 예약 요청을 하고, 일단 채널이 예약되면 호가 종료될 때까지 그 채널을 배타적으로 사용하는 채널 예약 방식을 사용한다. 반면 데이터 트래픽인 경우, 패킷이 발생될 때마다 슬롯 ALOHA 방식으로 임의의 빈 채널로 데이터 패킷을 전송한다. 중앙 기지국에서는 하향 링크의 제어 채널을 통하여 상향 링크의 각 채널에 대한 예약 상태 정보를 방송한다.

SS-PRMA 프로토콜의 자세한 동작 과정은 그림 2와 같다. 휴지 상태에 있는 음성 단말기로부터 새로운 호가 발생하면, 다음 슬롯의 시작점에서 채널의 예약 상태 정보를 이용하여 m개의 채널 중 임의의 빈 채널을 선택해서 채널 예약 요청 패킷을 전송하고, 중앙 기지국으로부터 채널 예약에 대한 응답을 기다린다. 만일 중앙 기지국으로부터 예약 성공에 대한 응답이 오면, 해당 음성 단말기는 호가 종료될 때까지 그 채널을 배타적으로 예약 받아서 매 프레임마다 주기적으로 음성 패킷을 전송한다. 패킷을 전송하고자 하는 데이터 단말기는 m개의 채널 중 임의의 빈 채널을 선택해서 매 슬롯의 시작점에서 패킷을 전송하고, 전송 성공에 대한 응답을 기다린다. 한편, SS-PRMA 프로토콜을 위한 중앙 수신기의 동작 과정은 그림 3과 같다. 수신되는 패킷에 충돌이 발생하거나 다원 접속 간섭 등으로 인하여 패킷 오류가 발생하면 해당 패킷은 버리고, 그렇지 않으면 성공적으로 수신된 패킷으로 간주하여 패킷의 헤더부에 있는 패킷 종류를 검사한다. 수신된 패킷이 데이터 패킷인 경우에는 순방향 채널을 통하여 전송 성공에 대한 응답을 송신한다. 반면 수신된 패킷이 음성 호 설정 요청 패킷인 경우에는 해당 음성 단말기가 선택한 채널을 예약하고 순방향 채널을 통하여 채널의 예약 상태 정보를 전송한다. 또한 기지국과 음성 단말기는 예약된 채널을

통하여 호 설정 절차를 수행하고 통화 상태로 전환한다. 통화 상태에 있는 음성 단말기는 매 프레임마다 음성 패킷을 생성하여 예약된 채널로 음성 패킷을 전송한다. 음성 단말기의 채널 예약 요청 패킷 및 데이터 단말기의 데이터 패킷 전송에 실패하는 경우는 다음과 같다.

- ① 모든 채널이 이미 예약된 경우
- ② 동일한 채널을 선택하여 충돌이 발생하는 경우
- ③ 다윈 접속 간섭으로 인하여 패킷 오류가 발생하는 경우
- ④ 수신기 부족으로 신호를 수신할 수 없는 경우

이상과 같은 경우에 의해서 채널 예약 요청 패킷 및 데이터 패킷 전송에 실패한 단말기는 재전송 상태 (Backlogged state)로 가게 된다. 재전송 상태에 있는 단말기는 다음 슬롯에서 임의의 빈 채널로 패킷 재전송을 시도한다.  $W_{max}$  슬롯 이상 채널 예약 패킷을 재전송해서 채널 예약에 실패한 음성 호는 블리킹 된다.

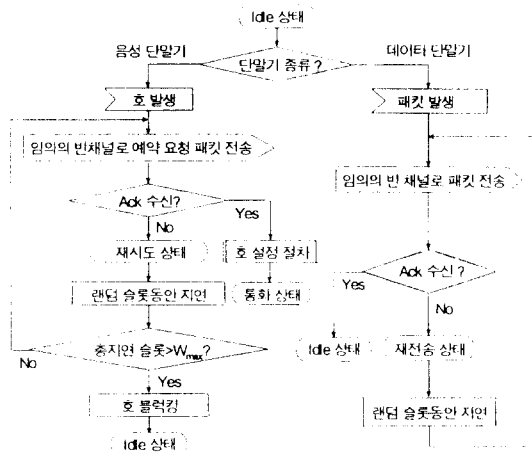


그림 2. SS-PRMA 프로토콜의 단말기 동작  
Fig. 2 MS's flow descriptions of SS-PRMA

#### IV. 성능 평가

##### 4.1 마르코브 모델

시스템에는  $N_v$ 개의 음성 단말기와  $N_d$ 개의 데이터 단말기가 있다고 가정한다. 휴지 상태에 있는 음성 단말기는 임의의 슬롯에서  $\alpha_v$ 의 확률로 새로운 음성 호를 발생시키고, 재전송 상태에 있는 음성 단말기는  $\beta_v$ 의 확률로 다음 슬롯에서 채널 예약 요청을 재시도한다고 가정한다. 한편 휴지 상태에 있는 데이터 단말기는 매 슬롯에서  $\alpha_d$ 의 확률로 새로운 데이터 패킷을 발생시키고, 재전송 상태에 있는 데이터 단말기는  $\beta_d$ 의 확률로 재전송을 시도한다고 가정한다. 또한 재전송 상태의 데이터 단말기와 음성 단말기는 새로운 패킷 또는 새로운 호를 발생시키지 않는다고 가정한다.

$R_v(t)$ 를 슬롯  $t$ 에서 재전송 상태에 있는 음성 단말기 수를 나타내고,  $E_v(t)$ 를 슬롯  $t$ 에서 통화 상태에 있는 음성 단말기 수를 나타내는 임의의 변수로 정의하고,  $B_d(t)$ 를 슬롯  $t$ 에서 재전송 상태에 있는 데이터 단말기 수를 나타내는 임의의 변수로 정의한다.

슬롯  $t$ 의 시작점에서  $E_v(t)$ 가  $k$ 개 이고,  $B_d(t)$ 가  $i$ 개,  $R_v(t)$ 가  $j$ 개일 때,  $m$ 개의 채널 중 임의의 빈 채널로 재전송 상태와 휴지 상태의 음성 단말기 중 각각  $v_r, v_i$ 개가 채널 예약을 시도해서 이 중  $S_r$ 개가 성공하여 다음 슬롯에서 재전송 상태의 음성 단말기가  $r$ 개가 되고, 재전송 상태와 휴지 상태의 데이터 단말기 중 각각  $d_r, d_i$ 개가 데이터 패킷을 전송해서 이 중  $S_d$ 개가 성공하여 다음 슬롯에서 재전송 상태의 데이터 단말기가  $b$ 개가 될 상태 전이 확률은 다음과 같다.

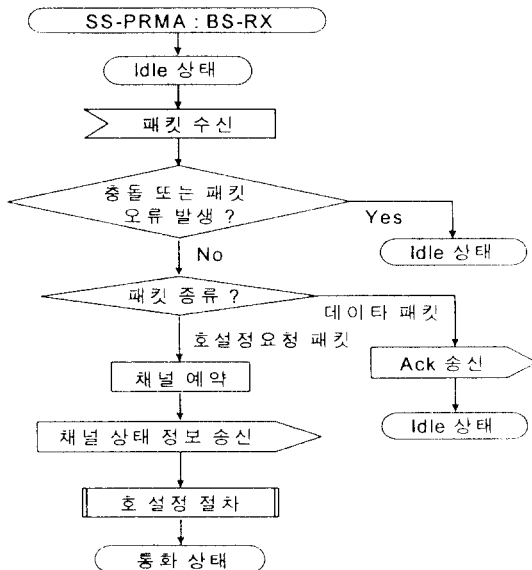


그림 3. SS-PRMA 프로토콜의 기지국 동작  
Fig. 3 BS's flow descriptions of SS-PRMA

$$Q_{ij,br}(k) = \sum_{x=0}^m \sum_{v_r=0}^j \sum_{v_i=0}^{N_r-k-j} \sum_{d_r=0}^i \sum_{d_i=0}^{N_d-i} \quad (1a)$$

$$\left\{ \Phi(x, k, k_0, m) \cdot \Gamma_R(v_r|j) \cdot \Gamma_V(v_i|k, j) \cdot \Gamma_B(d_b|i) \times \right. \\ \left. \Gamma_D(d_i|i) \cdot S(S_v + S_d | v_r + v_i + d_b + d_i, x, R - k, I) \right\}$$

여기서,

$$S_v = j - r + v_i, \quad 0 \leq S_v \leq \text{Min}\{x, v_r + v_i\} \\ S_d = i - b + d_i, \quad 0 \leq S_d \leq \text{Min}\{x, d_b + d_i\} \quad (1b) \\ I = v_r + v_i + d_b + d_i + m - x$$

위의 식 (1a)에서  $\Gamma_R(v_r|j)$ 는  $j$ 개의 재전송 상태 음성 단말기 중  $v_r$ 개가 채널 예약 패킷을 재전송할 확률을 나타내고,  $\Gamma_V(v_i|k, j)$ 는  $N_v - k - j$ 개의 휴지 상태 음성 단말기 중  $v_i$ 개가 새로운 호 설정을 시도할 확률을 나타낸다.  $\Gamma_B(d_b|i)$ 는  $i$ 개의 재전송 상태에 있는 데이터 단말기 중  $d_b$ 개가 데이터 패킷을 재전송할 확률을 나타내고,  $\Gamma_D(d_i|i)$ 는  $N_d - i$ 개의 휴지 상태 데이터 단말기 중  $d_i$ 개가 새로운 데이터 패킷을 전송할 확률을 나타낸다. 이들 각각은 다음과 같이 구해진다.

$$\Gamma_R(v_r|j) = \binom{j}{v_r} \beta_v^{v_r} (1 - \beta_v)^{j - v_r} \\ \Gamma_V(v_i|k, j) = \binom{N_v - k - j}{v_i} \alpha_v^{v_i} (1 - \alpha_v)^{N_v - k - j - v_i} \\ \Gamma_B(d_b|i) = \binom{i}{d_b} \beta_d^{d_b} (1 - \beta_d)^{i - d_b} \quad (2)$$

$$\Gamma_D(d_i|i) = \binom{N_d - i}{d_i} \alpha_d^{d_i} (1 - \alpha_d)^{N_d - i - d_i}$$

식 (1a)에서  $S(s|n, x, R, I)$ 는  $x$ 개의 채널과  $R$ 개의 수신기가 있고,  $I$ 개의 다원 접속 간섭 신호가 있는 상태에서  $n$ 개의 패킷 중  $s$ 개가 성공적으로 전송될 조건부 확률이다.  $n$ 개의 패킷 중  $i$ 개가 임의의 첫번째 채널을 선택하여 전송한다면,  $S(s|n, x, R, I)$ 는 다음 식과 같이 정의될 수 있다.

$$S(s|n, x, R, I) = \left(1 - \frac{1}{x}\right)^n S(s|n, x-1, R, I) \\ + \sum_{j=1}^n \binom{n}{j} \left(\frac{1}{x}\right)^j \left(1 - \frac{1}{x}\right)^{n-j} \\ \left\{ \zeta_j S(s-1|n-j, x-1, R-1, I) \right. \quad (3)$$

$$\left. + (1 - \zeta_j) S(s|n-j, x-1, R-1, I) \right\}$$

여기서,

$$\zeta_j = \begin{cases} j = 1 \text{이면,} & P_{suc}(I) \\ 2 \leq j \leq n \text{이면,} & P_{suc}(I) \cdot P_{cap}(j) \end{cases} \quad (4)$$

식(4)에서  $\zeta_j$ 는  $j$ 개의 패킷이 임의의 채널을 선택하여 전송할 때, 이 중 한 개가 성공할 확률이다. 여기서  $P_{suc}(I)$ 는  $I$ 개의 다원 접속 간섭 신호가 있을 때 ( $L, k$ ) BCH 블록 FEC 코드[11]를 사용하여 순방향 오류 정정을 하는 경우 패킷 성공률로서 [7]의 식을 이용하였다. 또한  $P_{cap}(j)$ 는 수신기의 지연 포획 능력을 이용하여  $j$ 개의 패킷 중 하나를 포획할 확률로서 S. A. Gronemeyer가 정의한 식을 이용하였다[8].

식 (3)의 첫번째 항은  $n$ 개의 패킷이  $x$ 개의 채널 중 첫번째 채널을 모두 선택하지 않은 경우  $n$ 개의 패킷 중  $s$ 개가 성공할 확률이다. 한편,  $S(s|n, x, R, I)$ 의 초기 조건은 다음과 같다.

$$x \geq 0, R \geq 0 \text{이면,} \quad S(0|0, x, R, I) = 1, S(1|0, x, R, I) = 0 \\ n \geq 0, R \geq 0 \text{이면,} \quad S(0|n, 0, R, I) = 1, S(1|n, 0, R, I) = 0 \\ x \geq 1, R \geq 1 \text{이면,} \quad S(0|1, x, R, I) = 1 - \zeta_1, S(1|1, x, R, I) = \zeta_1 \\ n \geq 2, R \geq 1 \text{이면,} \quad S(1|n, 1, R, I) = \zeta_n, S(0|n, 1, R, I) = 1 - \zeta_n \\ S > \text{Min}\{n, x, R\} \text{이면,} \quad S(s|n, x, R, I) = 0 \quad (5)$$

식 (1a)의  $\Phi(x, k, k_0, m)$ 은 한 프레임이  $k_0$ 개의 슬롯으로 구성되고, 각 슬롯에는  $m$ 개의 PN 코드 채널이 있을 때,  $k$ 개의 음성 단말기가 채널을 예약하여 통화 상태일 경우 임의의 슬롯에  $x$ 개의 채널이 남아 있을 채널 가용 확률로서, 다음과 같이 구해진다. 먼저 각 프레임 내에서 모든 채널은 모든 단말기에 의해서 동일한 확률로 선택될 수 있으므로 각 슬롯마다 최대  $m$ 개의 채널이 있으면서  $k$ 개의 단말기를  $k_0$ 개의 슬롯에 분배하는 경우의 수를  $D(k, k_0, m)$ 라 하면, 이것을 이용한 채널 가용 확률  $\Phi(x, k, k_0, m)$ 은 다음과 같이 구해진다[4].

$$D(k, k_0, m) = \sum_{i=0}^{k_0} (-1)^i \binom{i}{k_0} \binom{k + k_0 - i(m+1) - 1}{k_0 - 1} \quad (6)$$

$\Phi(x, k, k_0, m)$

$$\begin{aligned}
 & \left\{ \begin{array}{l} \text{각 슬롯마다 최대 } m \text{개의 채널이 있으면서, } k-(m-x) \\ \text{개를 } k_0-1 \text{개의 슬롯에 분배하는 경우의 수} \end{array} \right\} \\
 & = \frac{\left\{ \begin{array}{l} \text{각 슬롯마다 최대 } m \text{개의 채널이 있으면서,} \\ \text{\(k\)개를 } k_0 \text{개의 슬롯에 분배하는 경우의 수} \end{array} \right\}}{D(k, k_0, m)} \\
 & = \frac{D(k-m+x, k_0-1, m)}{D(k, k_0, m)} \quad (7)
 \end{aligned}$$

여기서,  $k \leq mk_0, 0 \leq x \leq m, k_0 \geq 1$

이상과 같이 구해진 식들과 식 (1b)의 조건을 이용하면 식 (1a)의 상태 천이 확률은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Q_{ij, br}(k) &= \sum_{x=0}^m \sum_{v_r = \text{Max}(0, j-r)}^j \sum_{v_i = \text{Max}(0, r-j)}^{\text{Min}(x+r-j, N_v-k-j)} \sum_{d_b = \text{Max}(0, i-b)}^i \\
 & \sum_{d_i = \text{Max}(0, b-i)}^{\text{Min}(x+b-i, N_d-i)} \quad (8) \\
 & \left\{ \Phi(x, k, k_0, m) \Gamma_R(v_r | j) \Gamma_V(v_i | k, j) \Gamma_D(d_b | i) \times \right. \\
 & \left. \Gamma_D(d_i | i) S(S_v + S_d | v_r + v_i + d_b + d_i, x, R-k, D) \right\}
 \end{aligned}$$

상태 천이 확률이 구해지면  $k$ 개의 음성 단말기가 통화 상태에 있을 때  $b$ 개와  $r$ 개의 데이터 단말기 및 음성 단말기가 각각 재전송 상태에 있을 정상 상태 확률(Steady state probability)은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned}
 \Pi(br | k) &= \sum_{i=0}^{N_d} \sum_{j=0}^{N_v-k} \Pi(ij | k) \cdot Q_{ij, br}(k) \quad (9) \\
 \sum_{b=0}^{N_d} \sum_{r=0}^{N_v-k} \Pi(br | k) &= 1
 \end{aligned}$$

여기서,  $0 \leq k \leq N_v, 0 \leq r \leq N_v-k, 0 \leq b \leq N_d$

한편,  $k$ 개의 음성 단말기가 통화 상태일 때,  $r$ 개가 재전송 상태일 확률  $\Pi^v(r | k)$ 는 다음과 같다.

$$\Pi^v(r | k) = \sum_{b=0}^{N_d} \Pi(br | k) \quad (10)$$

여기서,  $0 \leq k \leq N_v, 0 \leq r \leq N_v-k$

4.2 음성 트래픽의 성능 해석

다음은 앞에서 계산한 정상 상태 확률을 이용해서 음성 트래픽의 성능을 해석한다. 먼저 통화 상태에 있는 음성 단말기 수에 대한 모델링을 위하여  $k$ 개가 이미 통화 상태에 있을 때, 휴지 또는 재전송 상태의 음성 단말기 중 한 개가 호 설정에 성공할 유효 도착률  $k$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned}
 \lambda_k &= \sum_{r=0}^{N_v-k} \sum_{x=1}^m \sum_{v_r=0}^r \sum_{v_i=0}^{N_v-k-r} \quad (11) \\
 & \left\{ \Phi(x, k, k_0, m) \Gamma_R(v_r | r) \Gamma_V(v_i | k, r) \times \right. \\
 & \left. S(1 | v_r + v_i, x, R-k, v_r + v_i + m-x) \Pi^v(r | k) \right\}
 \end{aligned}$$

음성 호의 지속 시간을 평균이  $1/\nu$ 인 기하 분포로 가정하면 통화 상태에 있는  $k$ 개중 하나가 임의의 슬롯에서 종료할 확률  $\mu_k$ 는  $\nu k/k_0$ 가 된다[4]. 음성 호의 도착간 시간을 포아송 분포로 하고 서비스 시간을 지수 분포로 하면, 슬롯  $t$ 에서 통화 상태인 단말기의 수  $\{E_v(t)\}$ 는 M/M/1/k 큐잉 시스템으로 모델링 되어서 평형 상태에서 통화 상태인 단말기 수가  $k$ 개일 확률  $P_e^v(k)$ 는 다음과 같이 구해진다[9].

$$\begin{aligned}
 P_e^v(k) &= P_e^v(0) \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda_i}{\mu_{i+1}} \quad (12) \\
 P_e^v(0) &= \left[ 1 + \sum_{k=i}^{\text{Min}(N_v, mk_0)} \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda_i}{\mu_{i+1}} \right]^{-1}
 \end{aligned}$$

다음은 이상과 같이 구해진 확률 변수들을 이용해서 음성 트래픽의 성능을 구하고자 한다. 먼저 매 프레임 당 통화 상태에 있는 평균 음성 단말기 수  $E_v$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$E_v = \sum_{k=0}^{\text{Min}(N_v, mk_0)} k \cdot P_e^v(k) \quad (13)$$

음성 트래픽의 처리율( $\eta_v$ )을 슬롯 당 성공적으로 전송되는 음성 단말기들의 패킷 수로 정의하면,  $\eta_v$ 는 슬롯 당 통화 상태에 있는 평균 음성 단말기의 수와 휴지 또는 재전송 상태의 단말기가 채널 예약에 성공하는 평균 수의 합과 같으므로 다음과 같이 정의된다.

$$\eta_v = \sum_{k=0}^{\text{Min}(N_v, mk_0)} \frac{k}{k_0} P_e^v(k) + \quad (14)$$

$$\sum_{k=0}^{\min(N_s, m k_0)} \sum_{x=0}^m x \cdot \Phi(x, k, k_0, m) \cdot \lambda_k \cdot P_e^v(k)$$

휴지 상태에서 새로운 채널 예약을 시도해서 실패하고, 재전송 상태에서도  $W_{\max}$ -슬롯 동안 재시도해서 실패하여 총  $W_{\max}$  슬롯 동안 채널 예약이 되지 않는 호는 블리킹 된다고 가정하면, 음성 트래픽의 블리킹 확률  $P_B$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$P_B = (1 - S_{nv}) \times (1 - S_{rv})^{W_{\max} - 1} \quad (15)$$

여기서,  $S_{nv}$ 는 새로운 채널 예약 요청이 성공할 확률이고,  $S_{rv}$ 는 재시도한 채널 예약 요청이 성공할 확률로서 각각은 다음과 같이 구해진다.

$$S_{nv} = \sum_{k=0}^{N_s} \sum_{r=0}^{N_s-k} \sum_{x=0}^m \sum_{v_i=0}^{N_s-k-r} \left\{ \begin{array}{l} \Phi(x, k, k_0, m) \Gamma_R(0|r) \Gamma_V(v_i|k, r) \times \\ S(v_i|v_i, x, R-k, v_i+m-x) \Pi^v(r|k) P_e^v(k) \end{array} \right\} \quad (16)$$

$$S_{rv} = \sum_{k=0}^{N_s} \sum_{r=0}^{N_s-k} \sum_{x=0}^m \sum_{v_r=0}^r \left\{ \begin{array}{l} \Phi(x, k, k_0, m) \Gamma_V(0|k, r) \Gamma_R(v_r|r) \times \\ S(v_r|v_r, x, R-k, v_r+m-x) \Pi^v(r|k) P_e^v(k) \end{array} \right\}$$

### 4.3 데이터 트래픽의 성능 해석

데이터 트래픽의 처리율( $\eta_d$ )을 한 슬롯 기간 동안 발생하는 평균 새로운 데이터 패킷의 수로 정의하면,  $\eta_d$ 는 다음과 같다.

$$\eta_d = \alpha_d \left( N_d \sum_{k=0}^{\min(N_s, m k_0)} \sum_{b=0}^{N_s} \sum_{r=0}^{N_s-k} b \cdot \Pi(br|k) \cdot P_e^d(k) \right) \quad (17)$$

위의 식에서  $\sum_{k=0}^{\min(N_s, m k_0)} \sum_{b=0}^{N_s} \sum_{r=0}^{N_s-k} b \cdot \Pi(br|k) \cdot P_e^d(k)$ 는 재전송 상태에 있는 평균 데이터 단말기의 수를 나타낸다.

### 4.4 해석 및 시뮬레이션 결과

SS-PRMA 프로토콜의 성능 계산에 있어서 정상 상태 확률은 MATLAB 소프트웨어[10]를 이용하였고, 나머지 수식들은 C언어를 이용하여 계산했다. 아울러,

해석적으로 유도한 결과에 대한 타당성을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 수행했다. 그림 4는 한 프레임이 4개의 슬롯으로 구성된 시스템에서 총 음성 단말기 수와 데이터 단말기 수가 각각 8개이고 평균 호의 길이(1/ $\gamma$ )가 20 프레임일 때, 채널 수에 따른 평균 설정된 호의 수를 해석적 방법과 시뮬레이션을 통하여 얻은 결과로 나타낸 것이다. 시뮬레이션은 해석 과정에서 사용한 가정들과 동일한 가정에서 수행했으며, 매 프레임마다 통화 상태에 있는 음성 단말기의 수를 세었고,  $4 \times 10^5$  슬롯에 대한 평균값으로 계산한 결과이다. 한 슬롯의 확산 코드 채널이 1개일 때(논리 채널 수=4개)는 약 40% 정도가 통화 상태인 반면, 2개일 때(논리 채널 수=8개)는 약 77%가 통화 상태로서, 시스템에 논리 채널이 많으면 많을수록 시스템 전체의 통화 상태에 있는 평균 단말기 수는 증가함을 보여주고 있다. 대부분의 호 발생 확률에서 해석적 모델에 의한 계산 결과가 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 알 수 있다.

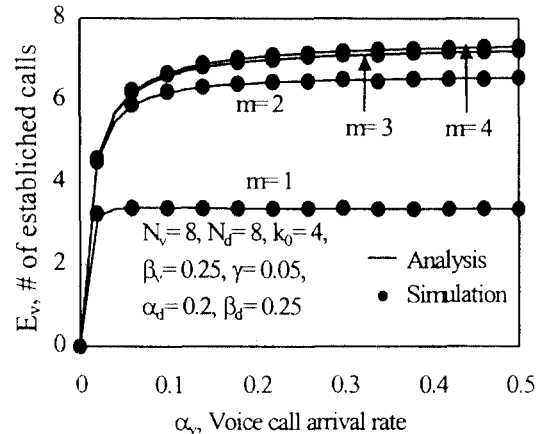


그림 4. 평균 설정된 호의 수  
Fig. 4 Average number of established voice calls

그림 5는 확산 코드의 수에 따른 슬롯 당 음성 트래픽의 처리율을 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 슬롯 당 확산 코드 채널이 1개일 때보다 2개일 때는 약 81%의 처리율이 개선되지만, 2개일 때보다 3개일 때는 약 7%밖에 개선되지 않는다. 이는 음성 트래픽인 경우 채널 예약 방식을 사용하므로 논리 채널의 수가 음성 단말기 수보다 많을 때는 슬롯 당 확산

코드 채널 수가 음성 트래픽의 성능에 그다지 영향을 미치지 않음을 의미한다. 따라서 음성 트래픽의 처리율을 증가시키기 위해서는 채널의 수를 증가시키면 되지만 일정 개수 이상에서는 처리율 증가가 그다지 없기 때문에 불필요하게 채널을 많이 해서 중앙 기지의 수신기 구조를 복잡하게 만들 필요가 없다.

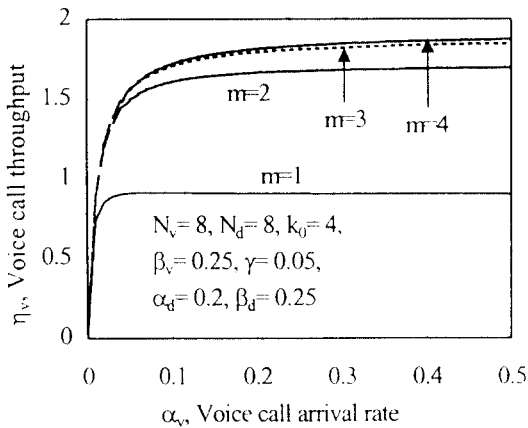


그림 5. 음성 트래픽의 처리율  
Fig. 5 Voice traffic throughput

확산 코드 채널의 수에 따른 음성 호의 블러킹 확률을 Tran이 제안한 기법과 비교하여 그림 6에서 보여주고 있다. Tran이 제안한 기법이 적용되는 역방향 논리 채널 구조는 본 논문에서 제안한 기법의 m=1인 경우와 동일하다. Tran이 제안한 기법에서는 음성 트래픽에 더 높은 우선 순위를 부여하여, 패킷을 전송하고자 하는 데이터 단말기는 패킷을 전송하기 전에 채널의 상태를 감시해서 동일한 채널로 전송되는 음성 단말기의 채널 예약 요청 패킷이 없는 경우에만 데이터 패킷을 전송한다. 그림에서 나타난 바와 같이 Tran의 기법에서는 평균 17%의 음성 호가 블러킹되는 반면 SS-PRMA 기법에서의 블러킹 확률은 21%로서 거의 비슷한 수준이다. 그러나 Tran의 기법인 경우 모든 데이터 단말기들은 동일한 채널로 전송되는 패킷을 감시해야 하므로 단말기의 구조가 다소 복잡해지는 단점이 있다. 한편, M. Soroushnejad가 제안한 기법은 모든 단말기마다 고유의 확산 코드를 사용하여 패킷을 전송하는 송신기 위주 확산 코드 할당 기법을 사용하므로 블러킹은 발생하지 않는다. 그리

나 단말기마다 고유의 확산 코드를 가지므로 단말기의 수가 증가하면 확산 코드의 수가 많아지고, 이에 따라 중앙 수신기의 구조가 복잡해지는 단점이 있다. SS-PRMA 프로토콜에서 확산 코드 채널의 수가 2일 때의 블러킹 확률은 약 0.2%로서 확산 코드 채널의 수를 증가시킴에 따라 성능이 상당히 개선됨을 알 수 있다. 또한, 음성 호 시도 확률이 증가함에 따라 채널 예약 요청 패킷의 증가로 인하여 블러킹 확률은 점차 약간씩 증가하게 된다.

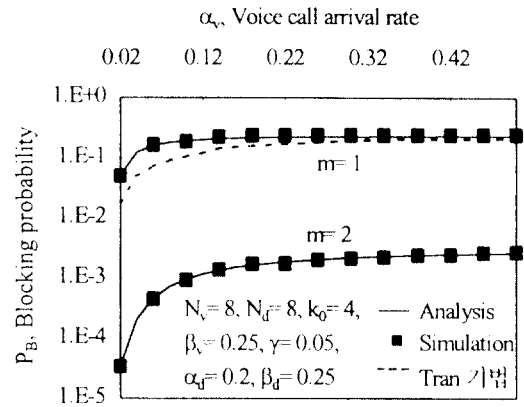


그림 6. 음성 호의 블러킹 확률  
Fig. 6 Voice call blocking probability

그림 7은 데이터 트래픽에 대한 처리 성능을 해석적 방법과 시뮬레이션 결과로서 나타낸 것이다. 그림에서

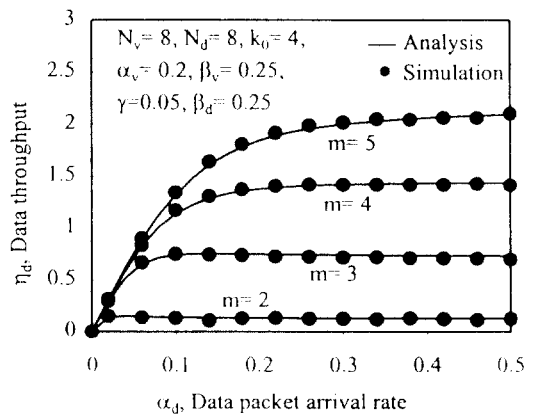


그림 7. 데이터 트래픽의 처리 성능  
Fig. 7 Data traffic throughput



나타낸 바와 같이 데이터 트래픽의 성능은 채널 수에 민감함을 보여주고 있다. 논리 채널 수가 음성 단말기 수보다 적을 때는 통화 상태인 음성 단말기가 거의 모든 채널을 배타적으로 점유하여 음성 패킷을 전송하므로 빈 채널이 거의 없다. 따라서 대부분의 데이터 패킷이 성공적으로 전송되지 않음을 의미한다.

다음은 무선 채널 환경에서 다원 접속 간섭에 의한 비트 오류가 시스템의 성능에 미치는 영향을 분석하고, 데이터 링크 계층에서 FEC 기법을 적용한 효과를 분석한다. 그림 8과 9는 신호 대 잡음 전력비( $E_b/N_0$ )를 6dB로 하고, 처리 이득을 16dB로 가정하여 얻은 음성 트래픽과 데이터 트래픽의 처리율을 나타냈다.

먼저 그림 8은 음성 트래픽의 처리율로써, 슬롯 당 확산 코드 채널이 3개인 경우, 오류 없는 이상적인 무선 채널로 가정하여 나타낸 그림 5의 처리율과 비교해 볼 때 FEC 기법을 적용하지 않은 경우( $r=1.0$ )에는 약 19% 정도 처리율이 감소된다. 그러나 데이터 링크 계층에서 FEC 코딩률( $r$ )을 0.9로 하여 수신되는 채널 예약 패킷에 순방향 오류 정정 기법을 적용하면, 오류 없는 이상적인 무선 채널에서의 처리율과 거의 동일한 수준의 성능을 얻을 수 있음은 알 수 있었다.

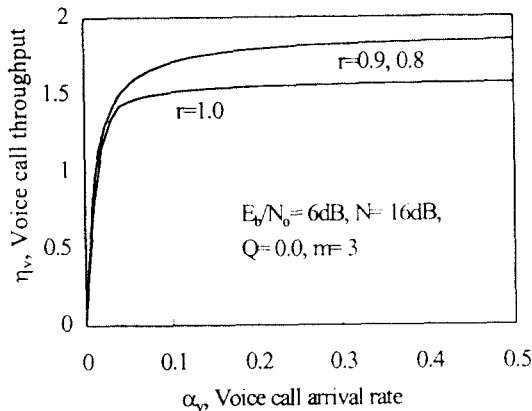


그림 8. FEC 코딩률 별 음성 트래픽의 처리율  
Fig. 8 Voice traffic throughput vs. FEC coding rates

슬롯 당 확산 코드 채널이 4개인 경우, 그림 7에 나타낸 이상적인 무선 환경에서의 데이터 트래픽 처리율을 그림 9에 나타낸 오류 채널 환경에서 FEC를 적용하지 않은 경우( $r=1.0$ )와 비교하면 오류 채널 환경

에서의 데이터 트래픽 처리율은 약 77% 정도 감소된다. 하지만 이 경우에도 음성 트래픽과 같이 데이터 링크 계층에서 FEC 기법을 적용하여 FEC 코딩률을 0.9로 하면 그림 7에 나타낸 이상적인 무선 채널 환경과 거의 동일한 처리율을 얻을 수 있다.

한편, FEC 기법을 적용하지 않은 경우, 데이터 트래픽의 처리율이 음성 트래픽보다 더 많이 감소된다. 이는 음성 트래픽 처리율의 대부분은 통화 상태에 있는 음성 패킷이 차지하기 때문이다.

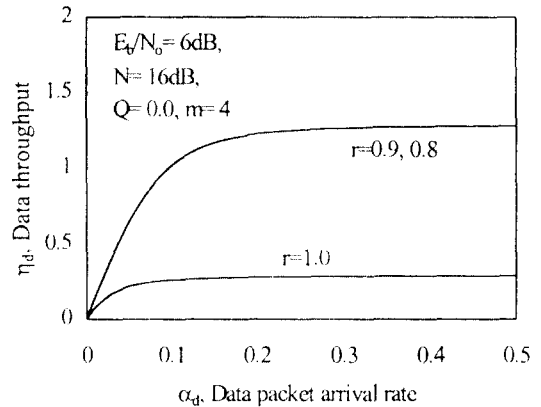


그림 9. FEC 코딩률 별 데이터 트래픽의 처리율  
Fig. 9 Data traffic throughput vs. FEC coding rates

## V. 결론

본 논문에서는 프레임을 기반으로 하는 TDMA 방식과 확산 코드를 기반으로 하는 CDMA 방식을 혼합한 형태로 상향 링크의 채널이 제공되는 시스템에서 음성 트래픽과 데이터 트래픽을 통합 서비스하기 위한 SS-PRMA 프로토콜을 제안하고 이에 대한 성능을 분석했다. 음성 트래픽인 경우 공유하는 채널 중 임의의 빈 채널을 선택해서 채널 예약 요청을 하고, 채널이 예약되면 호가 종료할 때까지 그 채널을 배타적으로 사용하는 예약 방식을 사용한다. 한편 데이터 트래픽인 경우에는 매 패킷이 발생할 때마다 경쟁 방식을 사용하여 공유하는 채널 중 임의의 빈 채널을 선택해서 패킷을 전송한다.

성능 분석의 결과를 볼 때, 채널의 수를 증가시키면 채널 예약 요청 패킷과 데이터 패킷의 충돌 확률이

감소하여 음성 트래픽과 데이터 트래픽의 처리율이 상당 수준 개선됨을 알 수 있었고, 채널의 수가 음성 단말기 수보다 적을 때는 대부분의 채널을 음성 단말기가 예약하여 사용하므로 데이터 트래픽의 성능은 매우 저하됨을 알 수 있었다. 또한, 무선 채널의 높은 비트 오류율이 시스템의 성능에 상당한 영향을 미침을 알 수 있었다. 따라서, 이러한 높은 비트 오류율을 고려하여 데이터 링크 계층에서 FEC 기법을 적용할 경우, 데이터 트래픽의 성능은 상당 수준 개선되어서 일정 수준의 FEC 코딩률에서는 이상적인 무선 채널 환경으로 가정된 경우와 거의 동일한 성능을 나타냈다. 본 논문에서 제안하는 SS-PRMA 프로토콜은 음성 트래픽인 경우 일단 채널이 예약되면 예약된 채널을 배타적으로 사용하여 음성 패킷을 전송하므로 매우 음성 패킷마다 경쟁하는 방법과는 달리 패킷 누락이 없는 특징이 있다. 본 논문의 결과들은 시스템을 설계함에 있어서 단말기의 수에 따른 적정 개수의 채널 및 얻고자 하는 시스템 성능 수준에 따른 FEC 코딩률을 선택하기 위한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

본 연구에 이어서 음성 활성 검출기를 사용할 경우의 성능 분석이 계속하여 이루어져야 할 것이며, 아울러, 본 논문에서 제안하는 상향 논리 채널 구조하에서 비디오 트래픽을 서비스하기 위한 MAC 프로토콜의 설계와 성능 분석이 되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

1. W. Honcharenko, J. P. Kruys, D. Y. Lee, and N. J. Shah, "Broadband Wireless Access," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 35, No. 1, pp. 20-26, Jan. 1997.
2. Peter Jung, Paul Walter Baier, and Andreas Steil, "Advantages of CDMA and Spread Spectrum Techniques over FDMA and TDMA in Cellular Mobile Radio Applications," *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, Vol. 42, No. 3, pp. 357-364, Aug. 1993.
3. D. J. Goodman, R. A. Valenzuela, K. T. Gayliard, and B. Ramamurthi, "Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications," *IEEE Trans. on Commun.*, Vol. 37, No. 8, pp. 885-890, Aug. 1989.
4. Hai V. Tran, "Random Access with Mixed Voice

- and Data over Broadcast Channel," *Ph.D Dissertation*, George Washington Univ., Feb. 1993.
5. M. Soroushnejad, and E. Geraniotis, "Multiple-Access Strategies for an Integrated Voice/Data CDMA Packet Radio Network," *IEEE Trans. on Commun.*, Vol. 43, No. 1/2/3, pp. 934-945, Feb./Mar./Apr. 1995.
6. Siamak Dastangoo, "A Multimedia Medium Access Control Protocol for ATM Based Mobile Networks," *Proc. PIMRC95*, pp. 794-798, Sept. 1995.
7. 임인택, 허정석, "무선 패킷 통신을 위한 CDMA-ALOHA/FEC 기법의 성능 분석," *한국정보과학회 논문지(A)*, 제24권 제3호, pp. 280-287, 1997.
8. Donald H. Davis, and Steven A. Gronemeyer, "Performance of Slotted ALOHA Random Access with Delay Capture and Randomized Time of Arrival," *IEEE Trans. on Commun.*, Vol. COM-28, No. 5, pp. 703-710, May 1980.
9. L. Kleinlock, *Queuing Systems Volume 1: Theory*. John Wiley & Sons, 1975.
10. *MATLAB*, The Math Works Inc., 1993.
11. M. Y. Rhee, *Error Correcting Coding Theory*, McGraw-Hill, 1989.



임 인택(In-Taek Lim) 정회원  
1984년 2월: 울산대학교 공과대학  
전자계산학과 졸업  
(공학사)

1986년 2월: 서울대학교 대학원 계  
산통계학과 졸업(이  
학석사)

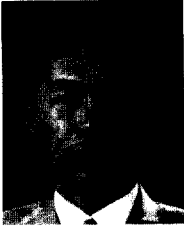
1998년 2월: 울산대학교 대학원 컴  
퓨터공학과 졸업(공  
학박사)

1986년 1월~1993년 2월: 삼성전자 특수연구소 선임  
연구원

1993년 3월~1998년 2월: 동부산전문대학 전자계산과  
조교수

1998년 3월~현재: 부산외국어대학교 컴퓨터공학과 전  
임강사

※주관심분야: 무선 ATM망, IMT-2000 시스템, MAC  
프로토콜



허 정 석(Jeong-Seok Heo) 정회원

1976년 2월: 서울대학교 공과대학  
전기공학과 졸업(공학사)

1986년 2월: 서울대학교 대학원 컴  
퓨터공학과 졸업(공학석사)

1995년 2월: 부산대학교 대학원 컴  
퓨터공학과 졸업(공학박사)

1980년~1983년: 한국전자통신연구소 선임연구원

1983년~1986년: 한국통신 연구개발단 선임연구원

1986년~현재: 울산대학교 컴퓨터 정보통신공학부 교수

※주관심분야: B-ISDN/ATM, 무선 ATM, 멀티미디어통신