

---

# 광대역 무선망에서 R\_ALOHA 기법을 적용한 음성/데이터 통합 서비스 MAC 프로토콜

임 인 택\*

## A MAC Protocol for Voice/Data Integrated Services Using R\_ALOHA Scheme In Wideband Wireless Networks

In-Taek Lim\*

---

이 논문은 1998학년도 부산외국어대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

---

### 요 약

본 논문에서는 혼합형 TDMA/CDMA 시스템을 이용한 광대역 무선망에서 음성과 데이터 트래픽을 통합 서비스하기 위한 R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석했다. 역방향 논리 채널은 타임 슬롯과 각 슬롯별 확산 코드 채널에 의해서 제공된다. 본 논문에서 제안한 프로토콜은 R\_ALOHA 기법을 적용하여, 음성 트래픽은 슬롯과 확산 코드 채널 예약 방식을 사용하는 반면, 데이터 트래픽은 매 패킷이 발생할 때마다 임의의 빈 채널을 선택해서 전송하는 S\_CDMA\_ALOHA 방식을 사용한다. 성능 분석의 결과, 협대역 TDMA 시스템의 R\_ALOHA 기법과는 달리 확산 코드에 의하여 다중 채널이 제공되므로 동시에 서비스할 수 있는 음성 단말기가 상당히 증가함을 알 수 있었다. 또한 충돌한 음성 패킷의 빈번한 재전송에도 불구하고 비교적 안정적인 성능을 나타냈다.

### Abstract

In this paper, an R\_ALOHA\_CDMA protocol is proposed for voice and data integrated services in the hybrid TDMA/CDMA wireless networks. In the hybrid TDMA/CDMA systems, the backward logical channels are composed of time slots with multiple spreading codes per slot. In the proposed protocol, a voice terminal

---

\* 부산외국어대학교 컴퓨터공학과

접수일자 : 1998년 12월 29일

can reserve a spreading code to transmit voice packets during a talkspurt. On the other hand, whenever a data terminal generates a packet, it transmits the packet through one of the available spreading codes. Throughout the results, it is shown that the system capacity increases in proportion to the number of spreading codes.

### 1. 서 론

PCS의 등장으로 인한 이동 통신 가입자 수요의 급격한 증가와 함께, ATM 전송 기술을 기반으로 한 B-ISDN을 통한 멀티미디어 서비스가 곧 실현될 것으로 예상됨에 따라 무선 멀티미디어 서비스에 대한 이동 통신 사용자들의 요구가 점차 확대될 것으로 보인다. 한편, 디지털 무선 통신 기술의 발전으로 인하여 광대역 CDMA 전송 기술에 대한 많은 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이와 더불어 무선 멀티미디어 서비스의 실현을 위한 다양한 시도가 이루어지고 있다[1,2].

무선 멀티미디어 서비스를 위한 광대역 무선망 설계와 관련하여 중요한 기술적 과제 중 하나는 MAC 프로토콜로서, 이는 다양한 형태의 트래픽들에 대한 QoS를 만족시키면서, 공유하는 무선 자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 설계되어야 한다. 이러한 MAC 프로토콜 중에서 R\_ALOHA (Reservation ALOHA) 기법은 TDMA 방식으로 다중 채널이 제공되는 시스템에서 음성 트래픽은 예약 방식을 사용하고, 데이터 트래픽은 슬롯 ALOHA 방식을 사용하여 음성과 데이터 트래픽을 통합 서비스하는 MAC 프로토콜로 이미 널리 알려져 있다[3]. 또한 TDMA 시스템에서 R\_ALOHA 기법을 변형한 많은 MAC 프로토콜들이 제안되어왔다[4,5,6]. 그러나 이 기법들은 슬롯 당 동시에 제공될 수 있는 채널이 단지한 개뿐이므로 음성 단말기가 채널을 이미 예약하여 사용중인 경우에는 다른 단말기의 트래픽을 서비스하지 못하는 문제점이 있다. 아울러 여러 데이터 단말기들의 데이터 패킷과 음성 단말기들의 예약 요청 패킷이 동시에 발생하는 경우에는 빈번한 채널 충돌로 인하여 시스템의 성능이 급격히 저하되는 문제점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 광대역 CDMA를 가정하고, TDMA 방식과 CDMA 방식을 혼합하여 채널이 제공되는 혼합형(Hybrid) TDMA/CDMA 시스템에

서 R\_ALOHA 기법을 적용한 R\_ALOHA\_CDMA (Reservation ALOHA with CDMA) 프로토콜을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 논문에서 제안하는 R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜이 적용되는 혼합형 TDMA/CDMA 시스템의 역방향 논리 채널의 구조를 기술하고, III장에서는 R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜의 상세한 동작 과정을 설명하고, IV장에서는 제안한 프로토콜의 성능을 해석하고, 그 결과를 분석한다. 마지막으로 결론을 기술한다.

### II. 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜이 적용되는 시스템은 중앙 기지국과 음성과 데이터 단말기로 구성되는 중앙 집중형 셀룰러 패킷 망으로 가정한다. 셀 내의 모든 무선 단말기들은 공유하는 역방향 채널을 통하여 중앙 기지국으로 패킷을 전송하고, 중앙 기지국에서는 순방향 채널을 통하여 무선 단말기로 패킷을 방송한다.

역방향 논리 채널은 그림 1에 나타낸 바와 같이 프레임 기반의 구조로 한  $k_0$ 개의 타임 슬롯으로 구분되며, 각각의 타임 슬롯 내에서는  $m$ 개의 상호 상관 특성을 가지는 확산 코드로 구성된다. 여기서 프레임 당 타임 슬롯의 수는 역방향 링크의 대역폭과 음성 단말기의 샘플링 속도에 의해서 결정된다. 이

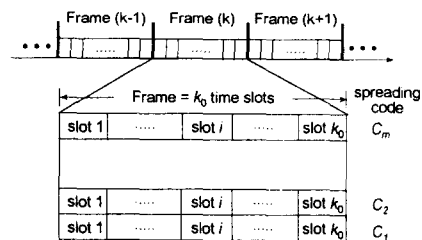


그림 1. 역방향 논리 채널 구조  
Fig. 1. Backward channel structure

와 같은 혼합형 TDMA/CDMA 시스템에서 제공될 수 있는 역방향 논리 채널은  $m \cdot k_0$ 개이다. R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜에서 모든 단말기들은 하나의 타임 슬롯 동안 하나의 확산 코드 채널만을 선택 또는 예약하여 패킷을 전송한다.  $m=1$ 인 경우 R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜은 TDMA 시스템의 R\_ALOHA 기법과 동일하게 동작한다.

차세대 무선 통신망이 무선 ATM 망으로 발전될 것으로 예상하여 본 논문에서는 유무선망 연동이 비교적 용이한 ATM 셀 릴레이 방식의 전송 구조를 가정한다[8]. ATM 셀 릴레이 방식은 ATM 프로토콜 스택의 ATM 계층에서 유무선 인터워킹을 하는 방식으로, 53 바이트의 ATM 셀을 무선 링크의 기본 데이터 단위로 한다. 그림 2에서는 R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜을 위한 패킷 구조를 나타냈다. 하나의 패킷 길이는 타임 슬롯의 길이와 동일하며, 그림에서 나타낸 바와 같이 패킷은 SYNC 부, R\_ALOHA\_CDMA 헤더부, ATM 셀부, 및 R\_ALOHA\_CDMA 트레일러부로 구성된다. SYNC 부는 중앙 기지국의 수신기가 반송파 에너지를 감지하고 상관기들이 확산 코드를 인식하기 위하여 수신기의 라디오부에서 사용되며, 확산 코드가 인식되면 패킷의 나머지는 수신기의 디지털부에 의해서 복원된다. R\_ALOHA\_CDMA 헤더부는 전송되는 패킷의 종류 등을 나타내는 제어 필드를 포함하고 있으며, R\_ALOHA\_CDMA 트레일러부는 무선 채널에서의 오류 제어를 위하여 사용된다.

SYNC	R_ALOHA_CDMA HEADER	ATM CELL HEADER	48 BYTE PAYLOAD	R_ALOHA_CDMA TRAILER
------	------------------------	--------------------	--------------------	-------------------------

그림 2. 패킷 구조

Fig. 2. Packet structure

### Ⅲ. R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜

R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜에서 지연에 민감한 음성 트래픽은 채널 예약 방식으로 서비스한다. 음성 단말기들은 새로운 발음 구간이 시작되면 다음 슬롯의 시작점에서 그 슬롯의 확산 코드 상태 정보를 이용하여 예약되지 않은 임의의 확산 코드를 선

택하여 채널 예약 요청 패킷(RR\_pkt)을 전송하고, 기지국으로부터 확산 코드 예약에 대한 응답을 기다린다. 기지국은 RR\_pkt을 성공적으로 수신하면 해당 음성 단말기가 선택한 확산 코드와 타임 슬롯을 예약해주고, 순방향 채널을 통하여 예약에 대한 응답을 방송한다. 성공적으로 채널을 예약한 음성 단말기는 통화 상태가 되어서 발음 구간이 끝날 때까지 예약한 확산 코드를 통하여 매 프레임마다 주기적으로 음성 패킷을 전송한다. 한편, 채널 예약에 실패한 음성 단말기는 재전송 상태가 되어서 다음 슬롯에서  $\beta_v$ 의 확률로 패킷을 재전송한다.  $W_{max}$  슬롯 동안 예약에 실패한 음성 단말기는 해당 패킷을 버린다.

반면 데이터 트래픽들은 S\_CDMA\_ALOHA 기법으로 동작한다. 패킷을 전송하고자 하는 데이터 단말기는 다음 슬롯의 시작점에서  $m$ 개의 확산 코드 중 예약되지 않은 임의의 확산 코드를 선택하여 데이터 패킷(DARA\_pkt)을 전송하고 중앙 기지국으로부터 전송 성공에 대한 응답을 기다린다. 중앙 기지국으로부터 응답을 수신하지 못한 데이터 단말기는 재전송 상태가 되어서 다음 슬롯에서  $\beta_d$ 의 확률로 데이터 패킷을 재전송한다.

이와 같은 R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜에 대한 단말기와 중앙 기지국의 자세한 동작 과정을 그림 3과 4에서 나타냈다. RR\_pkt과 DATA\_pkt이 전송에 실패하는 경우는 다음과 같다.

- ① 슬롯의 모든 확산 코드가 이미 예약된 경우
- ② 두 개 이상의 단말기가 동시에 동일한 확산 코드로 패킷을 전송하여 충돌이 발생한 경우
- ③ 다원 접속 간섭으로 인하여 패킷 오류가 발생하는 경우
- ④ 중앙 기지국의 수신기 부족으로 인하여 신호를 수신할 수 없는 경우

본 논문에서는 물리 계층에서 오류 정정 기법을 적용하여 다원 접속 간섭에 의한 패킷 오류는 모두 정정되는 것으로 가정하고, 또한 기지국에는 충분한 수신기가 있는 것으로 가정한다. 따라서 이상과 같은 R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜의 패킷 전송 실패 원인 중에서 본 논문에서는 ①항과 ②항만 고려한다.

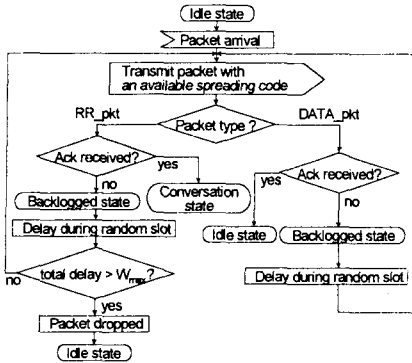


그림 3. 단말기 동작  
Fig. 3. Mobile station's operations

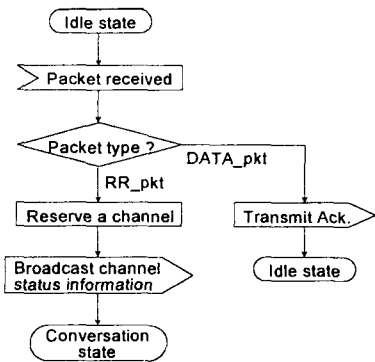


그림 4. 중앙 기지국 동작  
Fig. 4. Base station's operations

IV. 성능 해석 및 결과 분석

3.1 음성 단말기 모델

음성 활성 검출기를 사용하는 음성 단말기는 통화 상태에서 두 개의 상태를 유지한다. 그림 5와 같이 묵음 상태(SIL)에 있는 음성 단말기는  $\alpha_v$ 의 확률로 다음 슬롯의 시작점에서 발음 상태(TALK)로 천이하고, 발음 상태에 있는 음성 단말기는  $\gamma_v$ 의 확률로 묵음 상태로 천이한다. 타임 슬롯의 길이를  $\tau$ 라하고, 평균 묵음 구간의 길이를  $t_1$ , 평균 발음 구간의 길

그림 5. 음성 단말기 모델  
Fig. 5. Voice terminal model

이를  $t_2$ 라 할 때,  $\alpha_v$ 와  $\gamma_v$ 는 각각 다음과 같다[4].

$$\begin{aligned} \alpha_v &= 1 - e^{-\tau/t_1} \\ \gamma_v &= 1 - e^{-\tau/t_2} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (1)$$

3.2 상태 천이 확률

$N_v$ 개의 음성 단말기와  $N_d$ 개의 데이터 단말기로 구성된 단일 셀 시스템을 가정한다. 휴지 상태에 있는 데이터 단말기는 매 슬롯에서  $\alpha_d$ 의 확률로 새로운 데이터 패킷을 발생시키고, 재전송 상태에 있는 데이터 단말기는 새로운 패킷을 발생시키지 않는다고 가정한다.

임의의 슬롯에서 음성 단말기는 묵음 상태, 통화 상태, 또는 발음 구간이 시작되었으나 채널을 예약하지 못한 재전송 상태에 있게 되고, 데이터 단말기는 휴지 상태 또는 재전송 상태에 있게 된다. 따라서 상태 천이 확률을 구하기 위하여 본 논문에서는 시스템의 상태를 이미 채널을 예약한 음성 단말기의 수( $R_v$ ), 재전송 상태의 음성 단말기의 수( $C_v$ ), 및 재전송 상태의 데이터 단말기의 수( $B_d$ )로 정의한다.

슬롯의 시작점에서  $R_v$ 가  $k$ 이고,  $\{B_d, C_v\}$ 가  $\{i, j\}$ 일 때, 예약되지 않은  $x$ 개의 확산 코드를 통하여 묵음 상태와 재전송 상태의 음성 단말기 중 각각  $v_i, v_r$ 개가 채널 예약 요청 패킷을 전송하여 이 중  $S_v$ 개가 성공하고, 휴지 상태와 재전송 상태의 데이터 단말기 중 각각  $d_i, d_b$ 개가 데이터 패킷을 전송하여 이 중  $S_d$ 개가 성공적으로 전송되어서 다음 슬롯에서  $\{B_d, C_v\}$ 가  $\{b, r\}$ 로 될 상태 천이 확률은 다음과 같다.

$$Q_{i,br}(k) = \sum_{x=0}^m \sum_{v_r=0}^i \sum_{v_i=0}^{N-k-j} \sum_{d_b=0}^j \sum_{d_i=0}^{N_d-i} \left\{ \begin{aligned} &\phi(x, k, k_0, m) b(j, v_r, \beta_v) b(N_v - k - j, v_i, \alpha_v) \\ &b(i, d_b, \beta_d) b(N_d - i, d_i, \alpha_d) \\ &S(S_v + S_d | v_r + v_i + d_b + d_i, x) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (2a)$$

여기서,

$$\begin{aligned} S_v &= j - r + v_i, \quad 0 \leq S_v \leq \text{Min}\{x, v_r + v_i\} \\ S_d &= i - b + d_i, \quad 0 \leq S_d \leq \text{Min}\{x, d_b + d_i\} \\ 0 \leq S_v + S_d &\leq \text{Min}\{x, v_r + v_i + d_b + d_i\} \end{aligned} \quad \dots\dots (2b)$$

$$b(n, i, p) = \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i}$$

식 (2a)에서  $S(s|n,x)$ 는  $x$ 개의 확산 코드를 통하여 전송된  $n$ 개의 패킷 중  $s$ 개가 성공적으로 전송될 조건부 확률이다.  $n$ 개 중  $j$ 개가 임의의 첫 번째 확산 코드를 선택하여 전송한다면,  $S(s|n,x)$ 는 다음과 같이 재귀적으로 정의될 수 있다[7].

$$S(s | n, x) = \sum_{j=0}^n \binom{n}{j} \left(\frac{1}{x}\right)^j \left(1 - \frac{1}{x}\right)^{n-j} \left\{ \begin{array}{l} \zeta_j S(s-1 | n-j, x-1) + \\ (1 - \zeta_j) S(s | n-j, x-1) \end{array} \right\} \dots\dots (3)$$

여기서  $\zeta_1=1, \zeta_j=0 (j \neq 1)$

식 (3)의 재귀함수  $S(s|n,x)$ 에 대한 초기 조건은 다음과 같다.

$x \geq 0$  이면,  $S(0 | 0, x) = 1, S(1 | 0, x) = 0$

$n \geq 0$  이면,  $S(0 | n, 0) = 1, S(1 | n, 0) = 0$

$x \geq 1$  이면,  $S(0 | 1, x) = 0, S(1 | 1, x) = 1 \dots\dots (4)$

$n \geq 2$  이면,  $S(1 | n, 1) = 0, S(0 | n, 1) = 1$

$S > \text{Min}\{n, x\}$  이면,  $S(s | n, x) = 0$

한편 식 (2a)의  $\Phi(x,k,k_0,m)$ 은 한 프레임에서  $k$ 개의 음성 단말기가 이미 예약된 경우 임의의 슬롯에  $x$ 개의 확산 코드가 남아 있을 채널 가용 확률이다. 하나의 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[5], 이것을 이용한 채널 가용 확률  $\Phi(x,k,k_0,m)$ 은 다음과 같이 구해진다.

$$D(k, k_0, m) = \sum_{i=0}^{k_0} (-1)^i \binom{k_0}{i} \binom{k+k_0-i(m+1)-1}{k_0-1} \dots (5)$$

$$\Phi(x, k, k_0, m) = \frac{D(k-m+x, k_0-1, m)}{D(k, k_0, m)} \dots\dots (6)$$

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

이상과 같이 상태 천이 확률이 계산되면  $k$ 개의 음성 단말기가 채널을 예약한 상태에서 재전송 상태에 있는 데이터 단말기와 음성 단말기가 각각  $b, r$ 개일 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Pi(br | k) &= \sum_{i=0}^{N_v} \sum_{j=0}^{N_v-k} \Pi(ij | k) \cdot Q_{ij,br}(k) \dots\dots\dots (7) \\ \sum_{b=0}^{N_v} \sum_{r=0}^{N_v-k} \Pi(br | k) &= 1 \end{aligned}$$

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

또한, 채널을 예약한 음성 단말기가  $k$ 개일 때,  $r$ 개의 음성 단말기가 재전송 상태일 정상 상태 확률  $\Pi^r(r|k)$ 는 다음과 같다.

$$\Pi^r(r | k) = \sum_{b=0}^{N_v} \Pi(br | k) \dots\dots\dots (8)$$

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

다음은 위에서 계산한 정상 상태 확률을 이용하여 채널을 예약한 단말기 수에 대한 모델링을 한다. 목음 또는 재전송 상태의 단말기 중 한 개가 채널을 성공적으로 예약할 유효 도착률  $\lambda_k$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \lambda_k &= \sum_{r=0}^{N_v-k} \sum_{x=1}^m \sum_{v_r=0}^r \sum_{v_i=0}^{N_v-k-r} \left\{ \begin{array}{l} \Phi(x, k, k_0, m) b(r, v_r, \beta_v) b(N_v-k-r, v_i, \alpha_v) \\ S(1 | v_r + v_i, x) \Pi^v(r | k) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

발음 구간의 길이를 평균이  $1/\nu$ 인 기하 분포로 가정하면 채널을 예약한  $k$ 개의 음성 단말기 중 하나가 임의의 슬롯에서 발음 구간이 끝날 확률  $\mu_k$ 는  $\nu_k/k_0$ 가 된다. 발음 구간의 도착간 시간을 포아송 분포로 하고 서비스 시간을 지수 분포로 하면, 임의의 슬롯에서 예약된 음성 단말기의 수는  $M/M/1/k$  큐잉 시스템으로 모델링 되어서 평형 상태에서  $k$ 개의 음성 단말기가 예약되어 있을 확률  $P_e^v(k)$ 는 다음과 같다[9].

$$\begin{aligned} P_e^v(k) &= P_e^v(0) \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda_i}{\mu_{i+1}} \dots\dots\dots (10) \\ P_e^v(0) &= \left[ 1 + \sum_{k=1}^{\text{Min}\{N_v, mk_0\}} \prod_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda_i}{\mu_{i+1}} \right]^{-1} \end{aligned}$$

여기서,  $0 \leq k \leq \text{Min}\{N_v, mk_0\}$

### 3.3 패킷 누락률

발음 구간이 시작되어서 다음 슬롯의 시작점에서 새로운 채널 예약을 시도하여 실패하고, 재전송 상태에서  $W_{max}-1$  슬롯 동안 재시도해서 실패하여 총  $W_{max}$  슬롯 동안 채널 예약에 실패한 패킷은 버린다. 또한  $W_{max}$  슬롯 이후 매 프레임 동안 채널 예약에 실패한 패킷은 버린다.

새로운 채널 예약 요청이 성공할 확률을  $S_{nv}$ 라 하고, 재시도한 채널 예약 요청이 성공할 확률을  $S_{rv}$ 라 하면, 각각은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$S_{nv} = \sum_{k=0}^{Min(N_v, m_{k_0})} \sum_{r=0}^{N_v-k} \sum_{v_i=0}^{N_v-k-r} \sum_{x=1}^m \left\{ \Phi(x, k, k_0, m)(1-\beta_v)^r b(N_v-k-r, v_i, \alpha_v) \right. \\ \left. S(v_i | v_i, x) \Pi^v(r | k) P_e^v(k) \right\} \dots\dots\dots (11)$$

$$S_{rv} = \sum_{k=0}^{Min(N_v, m_{k_0})} \sum_{r=0}^{N_v-k} \sum_{v_r=0}^r \sum_{x=1}^m \left\{ \Phi(x, k, k_0, m)(1-\alpha_v)^{N_v-k-r} b(r, v_r, \beta_v) \right. \\ \left. S(v_r | v_r, x) \Pi^v(r | k) P_e^v(k) \right\} \dots\dots\dots (12)$$

하나의 발음 구간이 L개의 패킷으로 구성될 경우,  $W_{max}$  슬롯 이내에 채널 예약을 성공하면 누락되는 패킷은 없다. 하지만  $W_{max}$  슬롯 이후에는 발음 구간의 맨 처음 패킷이 누락된다. 발음 구간의 두 번째부터는 정확히  $k_0$  슬롯마다 하나의 패킷이 발생되므로  $W_{max}$  슬롯부터  $W_{max}+k_0$  슬롯 동안 예약하지 못하면 두 번째 패킷은 누락된다. 또한  $W_{max}+(L-1)k_0$  슬롯 동안 예약하지 못하면 전체 L개의 패킷이 모두 누락된다. 따라서 L개의 패킷으로 구성된 한 발음 구간동안 k개의 패킷이 누락될 확률은 다음과 같다.

$$\Pr\{n_{drop} = k | L\} = \begin{cases} 1 - (1 - S_{nv})(1 - S_{rv})^{W_{max}-1}, & \text{for } k = 0 \\ (1 - S_{nv}) \left\{ \begin{matrix} (1 - S_{nv})^{W_{max} + (k-1)k_0 - 1} \\ (1 - S_{rv})^{W_{max} + kk_0 - 1} \end{matrix} \right\}, & \text{for } 1 \leq k \leq L-1 \\ (1 - S_{nv})(1 - S_{rv})^{W_{max} + (L-1)k_0 - 1}, & \text{for } k = L \end{cases} \dots\dots\dots (13)$$

발음 구간의 길이가 L개 패킷일 때 누락되는 평균 패킷 수  $E\{n_{drop}|L\}$ , 발음 구간의 길이가 L개 패킷일 확률  $\Pr\{L\}$ , 및 이를 이용한 평균 누락되는 패킷 수  $E\{n_{drop}\}$ 은 각각 다음과 같다.

$$E\{n_{drop} | L\} = (1 - S_{nv})(1 - S_{rv})^{W_{max}-1} \frac{1 - (1 - S_{rv})^{k_0 L}}{1 - (1 - S_{rv})^{k_0}} \dots\dots\dots (14)$$

$$\Pr\{L\} = \gamma_f (1 - \gamma_f)^{L-1} \dots\dots\dots (15)$$

$$E\{n_{drop}\} = \frac{(1 - S_{nv})(1 - S_{rv})^{W_{max}-1}}{1 - (1 - \gamma_f)(1 - S_{rv})^{k_0}} \dots\dots\dots (16)$$

여기서  $v_r$ 는 한 프레임에서 발음 구간이 끝날 확률이다.

음성 패킷의 누락률은 발음 구간 동안 생성되는 평균 음성 패킷 수에 대하여 누락되는 평균 패킷 수의 비율로 정의된다. 따라서 식 (16)에서 얻은 식을 이용한 R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜의 음성 패킷 누락률( $P_{drop}$ )은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{drop} = \gamma_f \cdot \frac{(1 - S_{nv})(1 - S_{rv})^{W_{max}-1}}{1 - (1 - \gamma_f)(1 - S_{rv})^{k_0}} \dots\dots\dots (17)$$

### 3.4 결과 분석

본 논문에서 제안한 R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜의 성능 분석에 사용한 각종 시스템 변수들은 표 1과 같이 가정하였다.

슬롯 당 확산 코드 채널 수에 따른 음성 패킷 누락률을 그림 6에 나타냈다. 그림에서 나타낸 바와

표 1. 성능 분석에 사용한 시스템 변수

Table 1. System parameters

Backward channel chip rate	3.84 Mcps
Carrier bit rate (Rc)	192 Kbps
Frame duration	20 msec
Speech delay constraint	40 msec
Average silence duration	1.35 sec
Average talkspurt duration	1.00 sec
Voice coding rate	32 / 16 Kbps
Overhead bits per packet	64 bits

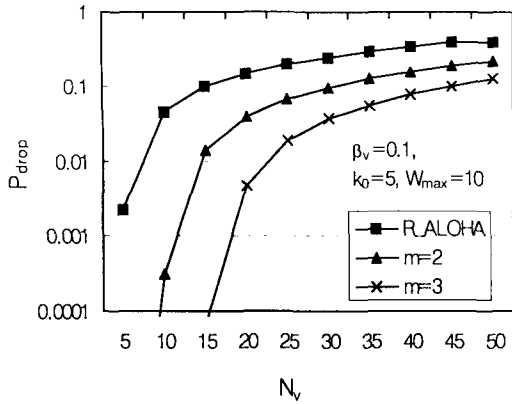


그림 6. 확산 코드 채널 수 별 패킷 누락률  
Fig. 6.  $P_{drop}$  according to  $m$

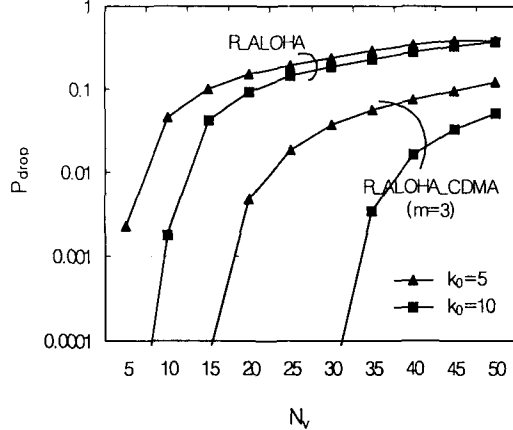


그림 8. 프레임 크기 별 패킷 누락률  
Fig. 8.  $P_{drop}$  according to  $k_0$

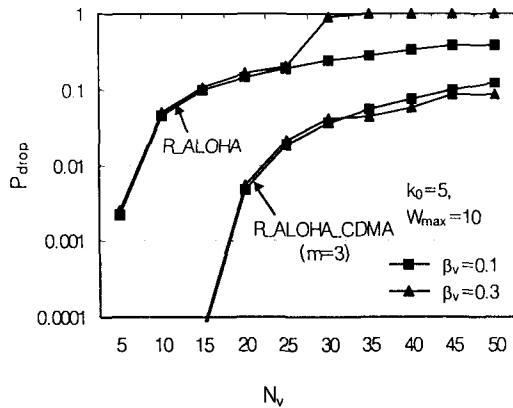


그림 7. 재전송 확률 별 패킷 누락률  
Fig. 7.  $P_{drop}$  according to  $\beta_v$

같이 최대 허용 패킷 누락률을 10%로 가정할 경우 협대역 TDMA 시스템에서의 R\_ALOHA 기법은 최대 15개의 음성 단말기를 지원할 수 있다. 그러나 슬롯 당 확산 코드 채널을 3개로 가정한 R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜에서 최대 서비스될 수 있는 음성 단말기는 45개로 R\_ALOHA 기법의 3배 가됨을 알 수 있다. 이와 같이 협대역 TDMA과는 달리 본 논문에서 제안한 프로토콜은 확산 코드와 슬롯에 의하여 다중 채널이 제공되므로 R\_ALOHA

보다 더 많은 음성 단말기를 수용할 수 있다.

R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜의 안정성을 살펴보기 위하여 재전송 확률 별 음성 패킷 누락률을 그림 7에 나타냈다. R\_ALOHA 기법에서는 재전송 확률을 0.3으로 할 경우 음성 단말기 수가 30 이상일 때 패킷 누락률이 급격히 증가한다. 이는 R\_ALOHA 기법에서는 슬롯 당 채널이 단지 한 개뿐이므로 재전송 확률을 증가시키에 따라 패킷 충돌 확률이 증가하기 때문이다. 반면, R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜에서는 확산 코드에 의한 채널이 슬롯 당 다수 개가 있으므로 비교적 안정적인 성능을 나타냈다.

음성 CODEC 기술의 발전에 따라 낮은 음성 코딩률에서도 일정 수준의 음성 품질을 보장할 수 있음을 고려하여 음성 코딩률별 패킷 누락률을 그림 8에서 분석하였다. 음성 코딩률을 낮게 하면 프레임 당 슬롯 수가 증가하게되고, 이에 따라 R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜에서는 제공되는 역방향 논리 채널의 수가 증가한다. 따라서 R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜은 최대 허용 패킷 누락률 범위 내에서 서비스할 수 있는 음성 단말기 수가 상당히 증가함을 알 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 혼합형 TDMA/CDMA 시스템에서 R\_ALOHA 기법을 적용하여 음성과 데이터 트래픽

을 통합 서비스하기 위한 R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜을 제안하고 이에 대한 성능을 분석하였다. 음성 트래픽인 경우 발음 구간이 시작되면 다음 슬롯의 시작점에서 공유하는 확산 코드 채널 중 임의의 빈 채널을 선택해서 채널 예약 요청을 하고, 채널이 예약되면 발음 구간이 종료될 때까지 그 채널을 배타적으로 사용하는 예약 방식을 사용한다. 한편 데이터 트래픽인 경우에는 매 패킷이 발생할 때마다 공유하는 채널 중 임의의 빈 채널을 선택하여 임의 접속 방식으로 패킷을 전송한다.

성능 분석의 결과를 볼 때, 확산 코드 채널의 수를 증가시키면 채널 예약 요청 패킷의 충돌 확률이 감소하여 허용하는 음성 패킷 누락률 범위 내에서 동시에 서비스할 수 있는 음성 단말기의 수가 확산 코드 채널 수에 비례하여 증가함을 알 수 있었다. 또한 본 논문에서 제안한 R\_ALOHA\_CDMA 프로토콜은 확산 코드와 타임 슬롯에 의하여 다중 채널이 제공되므로 타임 슬롯에 의해서만 채널이 제공되는 협대역 TDMA 시스템의 R\_ALOHA 기법과는 달리 음성 패킷의 재전송률을 증가시켜도 비교적 안정적인 패킷 누락률 성능을 나타냈다. 본 논문에서 제안한 프로토콜은 광대역 CDMA 기법을 이용한 무선망에서 음성과 데이터를 통합 서비스하기 위한 MAC 프로토콜로 적용될 수 있을 것으로 보인다.

본 연구에 이어서 무선 채널의 오류율을 고려한 경우의 성능 분석이 계속하여 이루어져야 할 것이며, 혼합형 TDMA/CDMA 시스템의 역방향 논리 채널 구조 하에서 비디오 트래픽을 서비스하기 위한 MAC 프로토콜의 설계와 성능 분석이 되어야 할 것이다.

**참고문헌**

[1] W. Honcharenko, et al., "Broadband Wireless Access," *IEEE Commun. Mag.*, Vol.35, No.1, pp.20-26, Jan. 1997  
 [2] Luis M. Correia, and Ramjee Prasad, "An Overview of Wireless Broadband Communications," *IEEE Commun. Mag.*, Vol.35, No.1, pp.28-33, Jan. 1997  
 [3] S. Tasaka, "Stability and Performance of the R\_ALOHA Packet Broadcast System," *IEEE Trans.*

*on Computer*, Vol. C-32, pp.717-726  
 [4] D. J. Goodman, et al., "Packet Reservation Multiple Access for Local Wireless Communications," *IEEE Trans. on Commun.*, Vol.37, No.8, pp.885-890, Aug. 1989  
 [5] Hai V. Tran, "Random Access with Mixed Voice and Data over Broadcast Channel," *Ph.D Dissertation*, George Washington Univ., Feb. 1993  
 [6] S. Jangi, and L. F. Merakos, "Performance Analysis of Reservation and Random Access Protocols for Wireless Access Networks," *IEEE Trans. on Commun.*, Vol.42, No.2/3/4, pp.1223-1234, Feb./Mar./Apr. 1994  
 [7] 허정석, 양성룡, 이정태, "무선 데이터 통신을 위한 CDMA\_ALOHA 기법의 성능 분석," *한국통신학회 논문지*, 제19권, 제7호, pp.1272- 1281, 1994. 7  
 [8] Dipanker Raychaudhuri, and Newman D. Wilson, "ATM-Based Transport Architecture for Multiservices Wireless Personal Communication Networks," *IEEE Jr. of Selected Areas in Commun.*, Vol.12, No.8, pp.1401-1414, Oct. 1994  
 [9] L. Kleinlock, *Queueing Systems Volume 1 : Theory*, John Wiley & Sons, 1975.



**임 인택(In-Taek Lim)**  
 1984년 2월 울산대학교 전자계산학과 공학사)  
 1986년 2월 서울대학교 계산통계학과 (이학석사)  
 1998년 2월 울산대학교 컴퓨터공학과(공학박사)  
 1986년 1월 ~ 1993년 2월 삼성전자(주) 특수연구소 선임연구원  
 1993년 3월 ~ 1998년 2월 동부산대학 전자계산과 조교수  
 1998년 3월 ~ 현재 부산외국어대학교 컴퓨터공학과 전임강사  
 ※관심분야 : 무선 ATM망, IMT-2000 시스템, MAC 프로토콜