

# 패킷 CDMA 망에서 음성/데이터 통합 서비스를 위한 MAC 프로토콜

## (A MAC Protocol for the Integrated Voice/Data Services in Packet CDMA Network )

임 인택<sup>\*</sup>

(In-Taek Lim)

**요약** 본 논문에서는 음성과 데이터를 통합 서비스하기 위한 패킷 CDMA 망에서 확산코드 감지 기법과 예약 기법을 적용한 MAC 프로토콜을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석했다. 지연에 민감한 음성 트래픽에 더 높은 우선순위를 부여하여 음성 트래픽인 경우에는 발음구간 동안 예약되지 않은 임의의 확산코드를 예약하여 서비스된다. 반면, 데이터 트래픽은 매 패킷이 발생할 때마다 음성 단말기가 사용하지 않는 임의의 확산코드를 선택하여 패킷을 전송한다. 성능분석의 결과, 본 논문에서 제안한 기법은 음성과 데이터 패킷간의 충돌이 전혀 발생하지 않기 때문에 수용 가능한 최대 음성 단말기 수를 증가시킬 수 있음을 알 수 있었다. 반면, 데이터 트래픽인 경우에는 음성 트래픽보다 낮은 우선순위로 인하여 음성 트래픽의 부하에 상당히 민감한 성능을 나타냈지만, 채널의 수를 증가시킴에 따라 비교적 안정적인 성능을 얻을 수 있었다.

**Abstract** In this paper, a media access control protocol is proposed for voice/data integrated services in the packet CDMA network, and the performance of the proposed protocol is analyzed. The proposed protocol uses the spreading code sensing and the reservation schemes. This protocol gives higher priority to the delay-sensitive voice traffic than to the data traffic. A voice terminal can reserve an available spreading code during a talkspurt to transmit multiple voice packets. On the other hand, whenever a data packet is generated, the data terminal transmits the packet through one of the available spreading codes that are not used by the voice terminals. In this protocol, the voice packets do not come into collision with the data packets. The numerical results show that this protocol can increase the maximum number of voice terminals. The performance for the data traffic degrades by increasing the voice traffic load because of the low priority. But it shows that the data traffic performance can be increased in proportion to the number of spreading codes.

### 1. 서론

이동통신 가입자 수요의 급격한 증가와 더불어, 음성 위주의 통신 서비스로부터 데이터 및 비디오 등이 복합된 무선 멀티미디어 서비스에 대한 사용자의 욕구가 점차 증가하고 있다. 이에 따라 음성 서비스를 기본으로 하는 셀룰러 시스템에서 데이터 서비스를 제공하고자 하는 다양한 시도와 연구가 이루어지고 있다[1][2]. 한

편 무선 패킷 교환 기술의 발전과 함께 음성 서비스를 위주로 하는 셀룰러 망과 무선 데이터 서비스를 위주로 하는 패킷 무선망을 통합하여 음성과 데이터 서비스를 동시에 지원하기 위한 패킷 CDMA 망에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다[3][4].

음성과 데이터를 통합 서비스하기 위한 패킷 CDMA 망의 설계와 관련하여 중요한 기술적 과제 중 하나는 MAC 프로토콜이다. MAC 프로토콜은 두 트래픽의 서로 다른 서비스 품질을 만족시킬 수 있어야 하며, 공유하는 무선자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 설계되어야 한다. TDMA 기법으로 다중채널이 제공되는 협대역 패킷 무선망인 경우, 지연에 민감한 음성 트래픽은

<sup>\*</sup> 종신회원 : 부산외국어대학교 컴퓨터공학과 교수  
itlim@tacjo.pufs.ac.kr

논문접수 : 1998년 12월 31일

심사완료 : 1999년 10월 2일

채널 예약 방식으로 서비스하고, 데이터 트래픽은 슬롯 ALOHA 방식으로 서비스하는 다양한 MAC 프로토콜들이 연구되어 왔다[5][6][7]. 그러나, 이러한 기법들은 슬롯 당 동시에 제공될 수 있는 채널이 단지 한 개뿐이므로 시스템 부하가 증가됨에 따라 빈번한 패킷 충돌로 인하여 시스템의 성능이 급격히 저하되는 문제점이 있다. 반면, Dastango는 TDMA 시스템에서 채널의 상태를 감시하면서 접속을 시도하는 S<sup>2</sup>MA(Status Sense Multiple Access) 기법[7]을 CDMA 시스템에 적용하여 이에 대한 성능을 해석하였다[8]. 해석과정에서 두 개 이상의 단말기가 동일한 확산코드를 선택할 경우 발생하는 패킷 충돌 현상을 전혀 고려하지 않았으며, 이에 따른 해석 결과는 다소 과대 평가될 수 있는 문제점이 있다. Soroushnejad는 각 단말기마다 고유의 확산코드를 부여하여, 음성의 경우에는 호 설정 단계에서 전체 시스템의 간섭량을 고려한 호 수락 기법을 적용하며, 데이터인 경우에는 채널의 부하에 따라 전송 허용 확률을 제어하는 기법을 제안했다[9]. 이 기법에서는 전송되는 모든 패킷이 고유의 확산코드를 사용하므로 패킷 충돌은 전혀 발생하지 않지만, 단말기의 수가 증가함에 따라 확산코드의 수가 증가하게 되고 중앙 기지국의 수신기 구조가 복잡해지는 문제점이 있다. 또한 Dastango와 Soroushnejad가 제안한 기법에서는 음성 활성 검출을 하지 않으므로 음성의 묵음구간에도 채널을 점유하게 되고, 이에 따른 채널의 이용 효율이 저하되는 문제점이 있다. Tan은 RRA(Reservation Random Access) 프로토콜을 CDMA 시스템에 적용한 RCMA (Reservation-Code Multiple Access) 프로토콜을 제안하였다[13]. 이 기법에서는 공통코드 방식의 확산코드 프로토콜을 사용하여 음성 트래픽인 경우 데이터 패킷과 경쟁 방식으로 확산코드를 예약하여 서비스되고, 데이터 트래픽인 경우에는 매 패킷마다 경쟁 방식으로 패킷을 전송한다. 따라서 이 기법은 음성 트래픽인 경우에 확산코드를 예약하기 위하여 데이터 패킷과 경쟁하여야 하므로 지연에 민감한 음성 트래픽의 패킷 누락률이 다소 증가할 것으로 보인다.

따라서, 본 논문에서는 CDMA 방식으로 다중채널이 제공되는 패킷 CDMA 망에서 트래픽의 우선순위에 따라 음성과 데이터를 서비스하기 위한 PRS<sup>2</sup>/CDMA(Packet Reservation and Status Sense CDMA) 프로토콜을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석한다. 본 논문에서 제안하는 프로토콜에서는 지연에 민감한 음성 트래픽에 더 높은 우선순위를 부여한다. 음성 단말기들은 음성 활성 검출기를 사용하여 발음구간이 시작되면 예

약되어 있지 않은 임의의 확산코드를 예약하고, 발음구간이 끝날 때까지 예약한 확산코드를 통하여 주기적으로 음성 패킷을 전송한다. 반면, 데이터 트래픽은 매 패킷이 발생할 때마다 음성 단말기에 의하여 예약되지 않은 확산코드 중에서 예약요청 패킷이 없는 임의의 확산코드를 통하여 패킷을 전송한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제안하는 프로토콜의 상세한 동작 과정을 설명하고, 3장에서는 제안한 프로토콜의 성능을 해석하여 결과를 분석하고, 마지막으로 결론을 기술한다.

## 2. 제안하는 프로토콜

### 2.1 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 프로토콜이 적용되는 시스템은 마이크로 셀 형태의 중앙 집중형 패킷 CDMA 망으로 가정한다. 하나의 셀 내에는 각각  $N_v$ ,  $N_d$ 개의 음성 단말기와 데이터 단말기가 있고 셀 내의 모든 단말기들은 중앙기지국과 슬롯동기가 항상 유지되는 것으로 가정한다.

PRS<sup>2</sup>/CDMA 프로토콜에서 역방향 링크는 그림 1과 같이 CDMA와 TDMA가 결합된 형태의 프레임 구조를 가정한다. 그림에서 나타난 바와 같이 하나의 프레임은  $k_0$ 개의 타임슬롯으로 구성되고, 모든 단말기는 각 슬롯마다 상호상관 특성을 가지는  $m$ 개의 확산코드 중 하나를 이용하여 패킷을 전송한다. 여기서 프레임 길이는 역방향 링크의 대역폭과 음성 단말기의 샘플링 속도에 따라 결정된다.

중앙기지국에서는 순방향 링크를 통하여 매 슬롯마다 예약되지 않은 확산코드 정보와 전송된 패킷에 대한 응답을 방송한다. 또한, 중앙기지국에서는 매 슬롯의 시작점에서 예약되지 않은 확산코드 중 음성 예약요청이 없는 확산코드 정보를 방송한다.

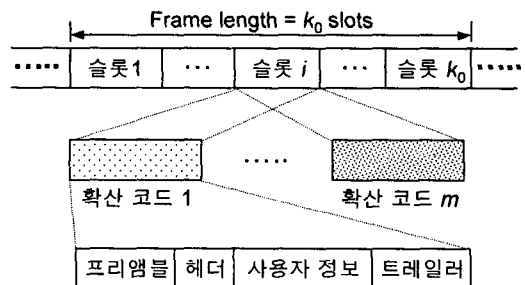


그림 1 역방향 채널 및 패킷 구조

단말기에서 발생하는 패킷은 슬롯의 길이와 동일하며, 그림 1에서 나타낸 바와 같이 프리엠블부, 헤더부, 사용자 정보부, 및 트레일러부로 구성된다.

**2.2 음성 서비스 프로토콜**

음성 활성 검출기를 사용하는 음성 단말기는 그림 2에 나타낸 바와 같이 묵음상태(SIL)와 발음상태(TALK)를 유지한다. 묵음상태에 있는 단말기는 다음 슬롯의 시작점에서  $\alpha_v$ 의 확률로 발음상태로 천이하고, 발음상태에 있는 단말기는  $\gamma_v$ 의 확률로 묵음상태로 각각 천이한다. 슬롯의 길이를  $\tau$ 라 하고, 평균 묵음구간의 길이와 발음구간의 길이를 각각  $t_1, t_2$ 라 할 때,  $\alpha_v$ 와  $\gamma_v$ 는 각각 다음과 같다[5].

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

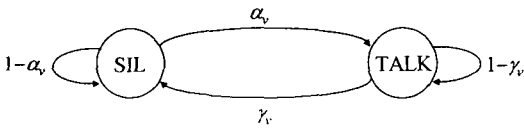


그림 2 음성 단말기 모델

PRS<sup>2</sup>/CDMA 프로토콜에서 음성 트래픽은 확산코드 예약 방식을 사용한다. 발음구간이 시작된 음성 단말기는 경쟁상태가 되어서 확산코드 예약을 시도한다. 경쟁상태에 있는 음성 단말기는 중앙기지국으로부터 수신한 확산코드 상태정보를 이용하여 다음 슬롯의 시작점에서 예약되지 않은 임의의 확산코드를 선택하여 전송 허용 확률  $\beta$ 로 확산코드 예약요청 정보가 포함된 음성 패킷을 전송하고, 중앙기지국으로부터 확산코드 예약에 대한 응답을 기다린다. 중앙기지국에서는 예약요청 패킷을 성공적으로 수신하면, 예약에 대한 응답을 방송한다. 확산코드 예약에 성공한 음성 단말기는 예약상태로 천이 되고, 발음구간이 끝날 때까지 예약한 확산코드를 통하여 매 프레임마다 주기적으로 음성 패킷을 전송한다.

음성 서비스인 경우, 일정 수준 이하의 패킷 오류는 서비스 품질에 영향을 미치지 않지만, 패킷 전송 지연은 심각한 문제가 될 수 있다. 따라서, 일정 시간( $W_{max}$  슬롯) 동안 예약에 실패한 음성 단말기는 해당 패킷을 버리며, 이로 인한 평균 패킷 누락율이 음성 트래픽의 중요한 성능평가 변수가 된다.

**2.3 데이터 서비스 프로토콜**

PRS<sup>2</sup>/CDMA 프로토콜에서 데이터 트래픽은 중앙기

패킷마다 경쟁 방식으로 서비스된다. 휴지상태에 있는 데이터 단말기가 하나의 패킷을 생성하면 경쟁상태로 천이한다. 경쟁상태에 있는 데이터 단말기는 새로운 패킷을 발생시키지 않는 것으로 가정한다.

경쟁상태에 있는 데이터 단말기들은 매 슬롯의 처음에 음성 단말기에 의해 예약되지 않은 확산코드 정보뿐만 아니라 음성 단말기가 예약요청하지 않은 확산코드 정보를 중앙기지국으로부터 수신하여 전송을 시도한다. 따라서, 데이터 단말기는 음성 단말기보다 늦게 전송을 시도하며, 음성 단말기에 비하여 상대적으로 낮은 우선순위로 서비스된다. 매 슬롯에서  $m$ 개의 확산코드 중 음성 단말기에 의하여 예약된 확산코드와 음성 단말기가 예약요청 패킷을 전송한 확산코드를 제외한 나머지 중에서 임의의 확산코드를 선택하여 전송 확률  $\beta$ 로 데이터 패킷을 전송하고, 중앙기지국으로부터 전송 성공에 대한 응답을 기다린다. 중앙기지국으로부터 응답을 수신한 데이터 단말기는 휴지상태로 천이한다.

데이터 서비스인 경우, 음성 서비스에 비하여 상대적으로 지연에는 민감하지 않지만, 패킷을 버리는 것은 허용하지 않는다. 따라서, 모든 데이터 패킷은 어느 정도 지연이 발생하더라도 전송되어야 하고, 이로 인한 평균 패킷 지연 시간이 데이터 트래픽의 중요한 성능평가 변수가 된다.

**3. 성능 해석 및 결과 분석**

**3.1 음성 트래픽의 성능 해석**

음성 트래픽은 데이터 트래픽에 비하여 높은 우선순위로 처리되므로, 음성 단말기의 상태는 데이터 단말기의 상태에 영향을 받지 않는다. 임의의 슬롯에서 음성 단말기는 묵음상태, 경쟁상태, 또는 예약상태에 있게 된다. 임의의 슬롯  $t$ 의 시작점에서 음성 트래픽의 시스템 상태  $\{X_v^t = (R_v^t, C_v^t)\}$ 를 예약상태에 있는 음성 단말기의 수( $R_v^t$ )와 경쟁상태에 있는 음성 단말기의 수( $C_v^t$ )로 정의하면,  $X_v^t$ 는 2차원 유한 상태 마르코브 체인으로 표현될 수 있다. 슬롯  $t$ 의 시작점에서  $X_v^t$ 가  $(j, k)$ 일 때, 묵음상태에 있는 단말기 중에서  $v_i$ 개가 발음구간이 시작되고, 경쟁상태에 있는 단말기 중에서  $v_r$ 개가 그 슬롯의 예약되지 않은  $x$ 개의 확산코드를 통하여 예약을 시도하여 이 중  $s_v$ 개가 성공한 후, 다음 슬롯에서 시스템 상태가  $(r, l)$ 로 천이할 상태천이 확률은 다음과 같이 정의된다.

$$Q_{j, r, l}^t = \sum_{v_i=0}^N \sum_{v_r=0}^{N-j-k} \sum_{s_v=0}^{j-k} \left\{ \phi(x, j, k_0, m) b(N_r - j - k, v_i, \alpha_v) b(k, v_r, \beta) b(j + s_v, r, 1 - \gamma_v) S(s_v | v_r, x) \right\} \quad (2)$$

여기서,

$$s_r = k + v_r - l, \quad 0 \leq s_r \leq \min(v_r, x) \\ 0 \leq (j, r) \leq \min(N_v, mk_0), \quad 0 \leq k \leq N_v - j, \quad 0 \leq l \leq N_v - r \\ b(n, i, p) = \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i}$$

식 (2)에서  $S(s|n, x)$ 는  $x$ 개의 확산코드를 통하여  $n$ 개의 패킷을 전송하여 이 중  $s$ 개가 성공할 조건부 확률로써, 다음과 같이 정의된다[10].

$$S(s|n, x) = \sum_{j=0}^s \binom{n}{j} \left(\frac{1}{x}\right)^j \left(1 - \frac{1}{x}\right)^{n-j} \\ (\zeta_r S(s-1|n-j, x-1) + (1-\zeta_r) S(s|n-j, x-1)) \quad (3)$$

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

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

$$x \geq 0 \text{ 이면, } S(0|0, x) = 1, S(1|0, x) = 0 \\ n \geq 0 \text{ 이면, } S(0|n, 0) = 1, S(1|n, 0) = 0 \\ x \geq 1 \text{ 이면, } S(0|1, x) = 0, S(1|1, x) = 1 \\ n \geq 2 \text{ 이면, } S(1|n, 1) = 0, S(0|n, 1) = 1 \\ S > \min(n, x) \text{ 이면, } S(s|n, x) = 0 \quad (4)$$

한편, 식 (2)의  $\mathcal{O}(x, j, k_0, m)$ 은 한 프레임에서  $j$ 개의 음성 단말기가 예약한 상태에서 임의의 슬롯에  $x$ 개의 확산코드가 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  $j$ 개의 단말기를  $k_0$ 개의 슬롯에 분배하는 경우의 수를  $D(j, k_0, m)$ [8]이라 하면, 이것을 이용한 채널 가용 확률  $\mathcal{O}(x, j, k_0, m)$ 은 다음과 같이 구해진다.

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

$$\mathcal{O}(x, j, k_0, m) = \frac{D(j-m+x, k_0-1, m)}{D(j, k_0, m)} \quad (6)$$

이상과 같이 상태천이 확률이 계산되면 예약상태에 있는 음성 단말기의 수와 경쟁상태에 있는 음성 단말기의 수가 각각  $(r, l)$ 일 정상상태 확률은 다음과 같이 구해진다[11].

$$\Pi_{r,l}^v = \sum_{k=0}^{\min(N_v, mk_0)} \sum_{j=0}^{N_v-k} Q_{r,k,r,l}^v \Pi_{r,k}^v \quad (7) \\ \sum_{k=0}^{\min(N_v, mk_0)} \sum_{j=0}^{N_v-k} \Pi_{r,k}^v = 1$$

지연에 민감한 음성 트래픽의 QoS를 만족시키기 위하여 PRS<sup>2</sup>/CDMA 프로토콜에서는 발음구간 동안 일정 시간( $W_{max}$ ) 이내에 확산코드를 예약하지 못한 음성 패킷은 버린다. 따라서, 본 논문에서는 음성 트래픽의 성능 변수로서 발음구간 동안 음성 트래픽의 평균 누락율

을 고려한다. 발음구간 동안  $L$ 개의 음성 패킷이 생성되는 경우, 묵음상태에서 경쟁상태로 천이한 음성 단말기가  $W_{max}$ 슬롯 이내에 확산코드를 예약하지 못하면 첫 번째 패킷은 누락된다. 발음상태 동안에는 매 프레임마다 하나의 음성 패킷이 생성되므로  $W_{max}$ 슬롯 이후부터는 매 프레임마다 확산코드 예약에 실패한 음성 패킷은 버린다. 또한  $W_{max}+(L-1)k_0$  슬롯 동안 예약하지 못하면 전체  $L$ 개의 패킷이 모두 누락된다.

하나의 발음구간이  $L$ 개의 음성 패킷으로 구성될 경우, 발음구간동안  $k$ 개의 패킷이 누락될 확률은 다음과 같다.

$$\Pr \{n_{drop} = k | L\} = \begin{cases} 1 - f^{W_{max}} & , \text{ for } k=0 \\ f^{W_{max}+(k-1)k_0} - f^{W_{max}+kk_0} & , \text{ for } 1 \leq k \leq L-1 \\ f^{W_{max}+(L-1)k_0} & , \text{ for } k=L \end{cases} \quad (8)$$

여기서,  $f$ 는 경쟁상태에 있는 음성 단말기가 예약에 실패할 확률로서, 다음과 같이 정의된다.

$$f = 1 - \sum_{k=0}^{\min(N_v, mk_0)} \sum_{j=0}^{N_v-k} \sum_{r=0}^j \sum_{l=0}^m \mathcal{O}(x, r, k_0, m) b(l, v_r, \beta) S(s_r | v_r, x) \Pi_{r,l}^v \quad (9)$$

이를 이용한 평균 누락되는 패킷 수  $E\{n_{drop}\}$ 은 다음과 같다.

$$E\{n_{drop}\} = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{l=0}^m k \cdot \Pr\{n_{drop} = k | L\} \cdot \Pr\{L\} \\ = \frac{f^{W_{max}}}{1 - (1-\gamma)f^{k_0}} \quad (10)$$

여기서  $\Pr\{L\}$ 은 발음구간의 길이가  $L$ 개의 패킷일 확률로서, 다음과 같이 정의된다.

$$\Pr\{L\} = \gamma(1-\gamma)^{L-1}, \quad L \geq 1 \quad (11)$$

위의 식에서  $\gamma$ 는 한 프레임에서 발음구간이 종료될 확률을 나타낸다[5].

음성 패킷의 누락률은 발음구간 동안 생성되는 평균 음성 패킷 수에 대하여 누락되는 평균 패킷 수의 비율로 정의된다. 따라서 식 (10)에서 얻은 식을 이용한 확산코드 예약 프로토콜의 음성 패킷 누락률( $P_{drop}$ )은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{drop} = \gamma_f \cdot \frac{f^{W_{max}}}{1 - (1-\gamma)f^{k_0}} \quad (12)$$

### 3.2 데이터 트래픽의 성능 해석

데이터 트래픽은 음성 트래픽보다 우선순위가 낮으므로, 데이터 단말기의 상태천이는 음성 단말기의 상태에

영향을 받는다. 또한, 임의의 슬롯에서 데이터 단말기는 휴지상태 또는 경쟁상태에 있게 된다. 따라서 임의의 슬롯  $l$ 에서 데이터 트래픽의 시스템의 상태  $X_d^l = (C_d^l, R_v^l, C_v^l)$ 를 경쟁상태에 있는 데이터 단말기의 수  $(C_d^l)$ , 예약상태에 있는 음성 단말기의 수  $(R_v^l)$ , 및 경쟁상태에 있는 음성 단말기의 수  $(C_v^l)$ 로 정의하면,  $X_d^l$ 는 3차원 유한 상태 마르코브 체인으로 표현된다.

임의의 슬롯 시작점에서 시스템 상태가  $(i, j, k)$ 일 때, 다음 슬롯에서  $(b, r, l)$ 로 천이될 상태천이 확률은 다음과 같다.

$$Q_{ik, bri}^d = \sum_{x=0}^m \sum_{v=0}^{N_v-j-k} \sum_{d=0}^k \sum_{s=0}^{N_d-i} \begin{cases} \Phi(x, j, k, m) b(N_v - j - k, v, \alpha_v) b(k, v, \beta) \\ b(j + s_v, r, 1 - \gamma_v) b(N_d - i, d, \alpha_d) b(i, d, \beta) \\ S(s_v | v, x) S(s_d | d, x - s_v) \end{cases} \quad (13)$$

여기서,

$$\begin{aligned} s_v &= k + v - l, \quad s_d = i + d - b \\ 0 \leq s_v &\leq \min(v, x), \quad 0 \leq s_d \leq \min(d, x - s_v) \\ 0 \leq \{i, b\} &\leq N_d, \quad 0 \leq \{j, r\} \leq \min(N_v, mk_0) \\ 0 \leq k &\leq N_v - j, \quad 0 \leq l \leq N_v - r \end{aligned}$$

식 (13)에서  $\alpha_d$ 는 매 슬롯마다 데이터 패킷의 발생률이다. 이상과 같이 상태천이 확률이 계산되면 경쟁상태에 있는 데이터 단말기의 수, 예약상태에 있는 음성 단말기의 수, 및 경쟁상태에 있는 음성 단말기의 수가 각각  $(b, r, l)$ 일 정상상태 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Pi_{bri}^d &= \sum_{i=0}^{N_d} \sum_{j=0}^{\min(N_v, mk_0)} \sum_{k=0}^{N_v-j} Q_{ik, bri}^d \Pi_{ijk}^d \\ \sum_{b=0}^{N_d} \sum_{r=0}^{\min(N_v, mk_0)} \sum_{l=0}^{N_v-r} \Pi_{bri}^d &= 1 \end{aligned} \quad (14)$$

데이터 트래픽의 중요한 성능 변수로는 처리율과 데이터 패킷의 평균 지연 시간이다. 데이터 트래픽의 처리율을 슬롯 당 성공적으로 전송되는 데이터 패킷의 수로 정의하면 데이터 트래픽의 처리율은 다음과 같다.

$$\eta_d = \alpha_d \left( N_d - \sum_{b=0}^{N_d} \sum_{r=0}^{\min(N_v, mk_0)} \sum_{l=0}^{N_v-r} b \Pi_{bri}^d \right) \quad (15)$$

한편, 데이터 트래픽의 평균 지연 시간  $(D_d)$ 을 패킷이 발생된 시점부터 성공적으로 전송이 완료될 때까지 소요된 슬롯의 수로 정의할 경우, 평균 지연 시간은 다음과 같다.

$$D_d = \frac{N_d}{\eta_d} - \frac{1}{\alpha_d} + 1 \quad (16)$$

### 3.3 결과 분석

본 논문에서 제안한 PRS<sup>2</sup>/CDMA 프로토콜의 성능을 분석함에 있어서 정상상태 확률은 MATLAB[12]

소프트웨어를 사용하였고, 나머지 수식들은 C언어를 이용하여 계산하였다. 아울러 해석적 모델의 결과에 대한 타당성을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 성능분석에 사용한 각종 시스템 변수들은 표 1과 같이 가정하였다. 이와 같은 시스템 변수에 의하여 프레임 당 슬롯의 수( $k_0$ )는 5개가 되고, 두 프레임 이내에 예약 실패한 음성 패킷은 누락된다.

표 1 성능분석에 사용한 시스템 변수

|              |           |
|--------------|-----------|
| 역방향 링크 칩 발생률 | 3.84 Mcps |
| 역방향 링크 비트율   | 192 Kbps  |
| 프레임 길이       | 20 msec   |
| 음성 패킷 지연 허용  | 40 msec   |
| 음성 샘플링 속도    | 32 Kbps   |
| 패킷의 오버헤드 길이  | 64 bits   |

슬롯 당 확산코드의 수가 3개일 때 해석적 방법과 시뮬레이션을 통하여 얻은 음성 패킷 누락률을 Tan이 제안한 RCMA 프로토콜과 비교하여 그림 3에 나타내었다. 시뮬레이션은 해석과정에서 사용한 가정들과 동일한 가정에서 수행했으며, 그림에서 나타난 바와 같이 대부분의 음성 단말기 수에 대하여 해석적 모델의 결과가 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 알 수 있었다. 허용하는 최대 패킷 누락률을 1%로 가정할 경우, RCMA 기법에서는 약 22개의 음성 단말기를 동시에 지원할 수 있지만, PRS<sup>2</sup>/CDMA에서는 데이터 패킷과의 충돌이 전혀 발생하지 않기 때문에 RCMA 기법보다 약 2배 이상 더 많은 음성 단말기를 지원할 수 있다. 그림 4에서는 전송 허용 확률과 음성 단말기의 수에 따른 음성 패킷 누락률을 RCMA 기법과 본 논문에서 제안한 PRS<sup>2</sup>/CDMA 기법을 비교하여 나타내었다. 전송 허용 확률을 증가시키면 패킷 충돌 확률이 증가하고 이에 따라 패킷 누락률이 증가된다. RCMA 기법에서는 음성 트래픽의 채널 예약 패킷이 다른 음성 단말기의 채널 예약 패킷뿐만 아니라 데이터 패킷과도 경쟁하므로 전송 허용 확률을 증가시키면 패킷 누락률이 더 많이 증가함을 알 수 있다.

슬롯 당 성공적으로 전송되는 음성 패킷의 수를 음성 트래픽의 처리율로 정의할 경우, 전송 허용 확률과 음성 단말기의 수에 따른 음성 트래픽의 처리율을 그림 5에 나타내었다. 전송 허용 확률을 0.3으로 할 경우, 음성 단말기의 수가 35이하에서는 음성 단말기의 수가 증가함에 따라 처리율이 약간씩 증가하지만, 그 이상에서는 음

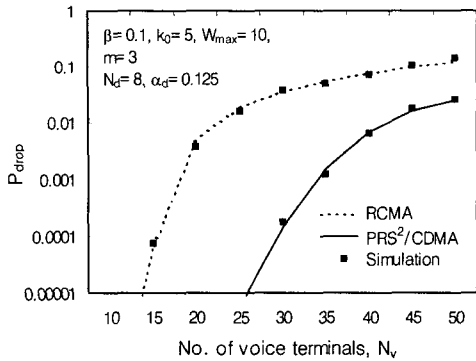


그림 3 RCMA과 PRS2/CDMA의 패킷 누락률 비교

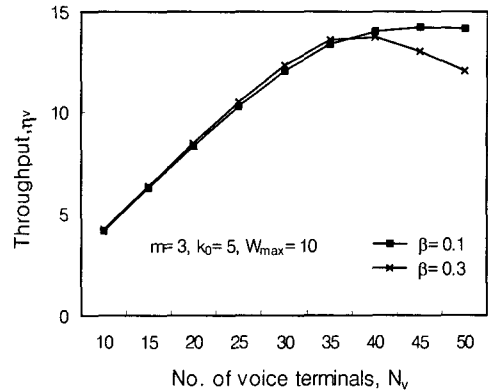


그림 5 전송 허용 확률 별 처리율

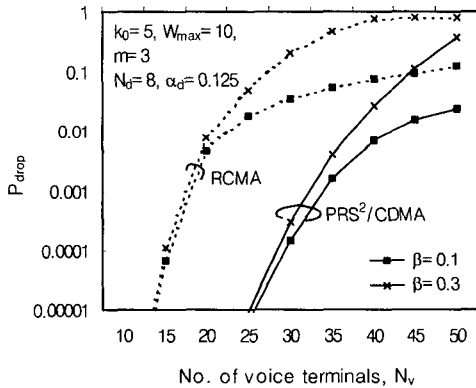


그림 4 전송 허용 확률 별 패킷 누락률

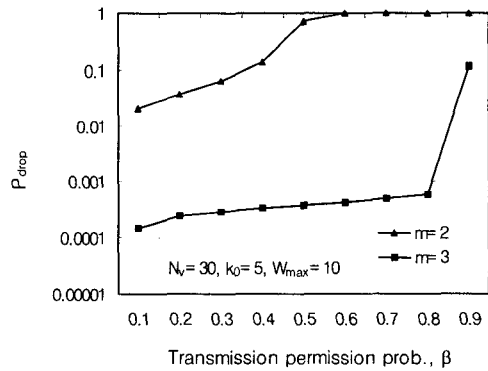


그림 6 확산코드 수와 전송 허용 확률에 따른 패킷 누락률

성 단말기의 수가 증가함에 따라 패킷 충돌 확률의 증가로 인하여 처리율이 오히려 감소된다. 이와 같이 확산코드의 수와 전송 허용 확률이 음성 트래픽의 성능에 미치는 점을 고려하여 그림 6에서는 전송 허용 확률의 변화와 확산코드 수에 따른 음성 패킷 누락률을 나타내었다. 슬롯 당 확산코드의 수가 적은 경우 전송 허용 확률을 증가시키면 패킷 충돌 확률의 증가로 인하여 패킷 누락률이 급격히 증가하지만, 이와는 달리 확산코드의 수가 많은 경우에는 패킷 누락률이 그다지 증가하지 않는다. 음성 CODEC 기술의 발전에 따라 낮은 음성 코딩률에서는 일정 수준의 음성 품질을 보장할 수 있다. 이 경우 음성 코딩률을 낮게 하면 프레임 당 슬롯의 수가 증가한다. 이와 같이 프레임 당 슬롯의 수를 증가시키면 그림 7과 같이 동시에 서비스될 수 있는 음성 단말기의 수가 상당히 증가함을 알 수 있다.

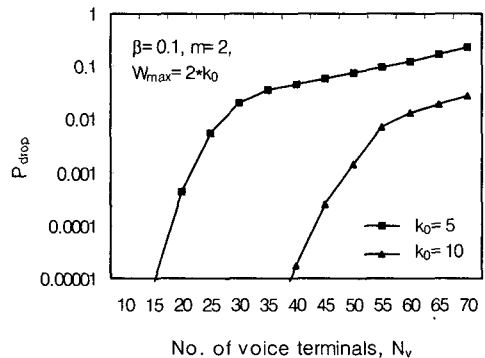


그림 7 프레임 길이에 따른 패킷 누락률

음성 단말기와 데이터 단말기의 수를 각각 8개로 가정하고,  $\beta$ 를 각각 0.1과 0.3으로 가정한 경우, 슬롯 당 확산코드의 수에 따른 데이터 패킷의 평균 지연 시간을 각각 그림 8과 9에 나타내었고, 전송 허용 확률의 증가에 따른 데이터 패킷의 지연 시간을 그림 10에 나타내었다. 그림에서 나타낸 바와 같이 확산코드의 수가 적은 경우, 일정 수준 이하의 전송 허용 확률에서는 전송 허용 확률을 증가시키면 데이터 패킷의 평균 지연 시간은 감소하지만, 일정 수준 이상의 전송 허용 확률에서는 패킷의 빈번한 충돌로 인하여 지연 시간이 급격히 증가한다. 반면, 확산코드의 수가 많은 경우에는 전송 허용 확률의 증가에도 불구하고 비교적 안정적인 성능을 나타냄을 알 수 있었다

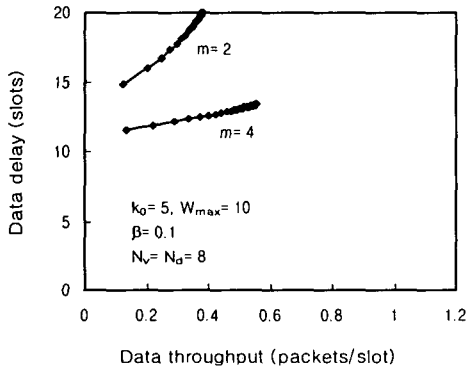


그림 8 확산코드 수에 따른 데이터 지연 ( $\beta=0.1$ )

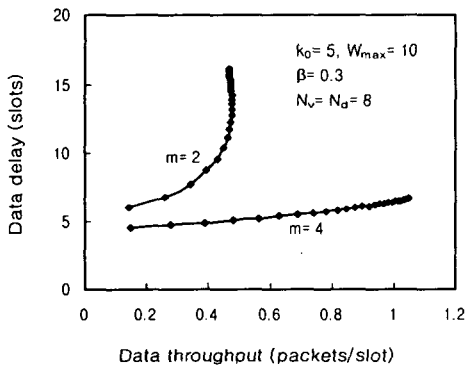


그림 9 확산코드 수에 따른 데이터 지연 ( $\beta=0.3$ )

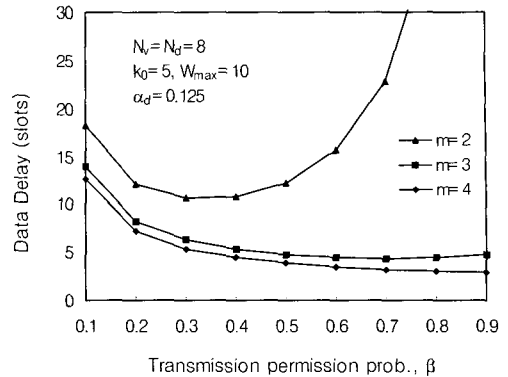


그림 10 전송 허용 확률 별 데이터 지연

#### 4. 결론

본 논문에서는 패킷 CDMA 망에서 트래픽의 우선순위에 따라 음성과 데이터를 통합 서비스하기 위한 PRS<sup>2</sup>/CDMA 프로토콜을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석했다. 지연에 민감한 음성 트래픽에 더 높은 우선순위를 부여하여, 발음구간이 시작되면 예약되지 않은 확산코드를 선택하여 예약을 시도하고, 발음구간이 종료될 때까지 예약한 확산코드를 배타적으로 점유하여 음성 패킷을 전송한다. 반면 데이터 트래픽은 패킷이 발생할 때마다 중앙기지국으로부터 수신한 확산코드 정보를 이용하여 음성 단말기에 의하여 예약되지 않은 확산코드 중에서 음성 예약요청이 없는 임의의 확산코드를 선택하여 패킷을 전송한다.

본 논문에서 제안한 프로토콜에서는 음성 트래픽인 경우 데이터 트래픽보다 우선순위가 높아서 데이터 패킷과의 충돌이 전혀 발생하지 않으므로 RCMA 기법보다 우수한 성능을 나타냈다. PRS<sup>2</sup>/CDMA 프로토콜에서 데이터 트래픽의 우선순위가 음성 트래픽보다 낮으므로 확산코드의 수가 적은 경우에는 대부분의 채널을 음성 단말기가 사용하므로 데이터 트래픽의 부하가 증가함에 따라 성능은 매우 저하되지만, 확산코드의 수를 증가시키면 데이터 트래픽의 성능이 상당히 개선됨을 알 수 있었다.

본 연구에 이어서 다원접속 간섭에 의한 비트 오류율을 고려한 성능분석이 이루어져야 할 것이다. 또한 확산코드의 수에 따른 전송 허용 확률이 시스템의 성능에 영향을 미친다는 분석결과로부터, 트래픽의 부하에 따라 전송 허용 확률을 제어하는 기법이 계속 연구되어야 할

것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] TIA/EIA, Data Service Option Standard for Wideband Spread Spectrum Digital Cellular System, TIA/EIA/IS-99, Jan. 1995
- [2] TIA/EIA, Short Message Services for Wideband Spread Spectrum Cellular Systems, TIA/EIA/IS-637, Feb. 1995
- [3] Newman D. Wilson, et al., "Packet CDMA Versus Dynamic TDMA for Multiple Access in an Integrated Voice/Data PCN," *IEEE Jr. of Selected Areas in Commun.*, Vol.11, No.6, pp.870-883, Aug. 1993
- [4] Rajamani Ganesh, et al., "Performance of Cellular Packet CDMA in an Integrated Voice/Data Networks," *International Jr. of Wireless Information Networks*, Vol.1, No.3, pp.199-222, 1994
- [5] 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
- [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] R. Al-Naami, and D. Saha, "Status Sense Multiple-Access (S<sup>2</sup>MA) Communication," *IEEE Trans. on Commun.*, Vol.40, No.6, pp.996-1002, Jun. 1992.
- [8] S. Dastango, "A Multimedia Medium Access Control Protocol for ATM Based Mobile Networks," *Proc. PIMRC'95*, pp.794-798, Sept. 1995
- [9] 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
- [10] 임인택, 허정석, "무선 멀티미디어 서비스를 위한 CRV/CSD-CDMA 프로토콜의 성능 분석", *한국정보과학회 논문지(A)*, 제25권, 제3호, pp.288-296, 1998. 3
- [11] L. Kleinlock, *Queueing Systems Volume 1 : Theory*, John Wiley & Sons, 1975
- [12] *MATLAB*, The Math Works Inc., 1993
- [13] L. Tan, and Q. T. Zhang, "A Reservation Random-Access Protocol for Voice/Data Integrated Spread-Spectrum Multiple Access Systems," *IEEE Jr. of Selected Areas in Commun.*, Vol.14, No.9, pp.1717-1727, Dec. 1996



### 임 인 택

1984년 2월 울산대학교 공과대학 전자계산학과 졸업 (공학사). 1986년 2월 서울대학교 대학원 계산통계학과 졸업 (이학석사). 1998년 2월 울산대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업 (공학박사). 1986년 1월 ~ 1993년 2월 삼성전자 특수연구소 선임연구원. 1993년 3월 ~ 1998년 2월 동부산대학 전자계산과 조교수. 1998년 3월 ~ 현재 부산외국어대학교 컴퓨터공학과 조교수. 관심분야는 MAC 프로토콜, 이동 컴퓨팅, ATM