

확산코드 예약 및 상태감지 기법에 의한 음성/데이터 통합 서비스 MAC 프로토콜

정희원 임인택*

MAC Protocol based on Spreading Code Reservation and Status-Sensing for Voice/Data Integrated Services

In-Taek Lim* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 기지국과 단말기간의 전파지연이 비교적 짧은 마이크로셀 환경의 패킷 CDMA 망에서 음성과 데이터를 통합 서비스하기 위한 MAC 프로토콜을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석한다. 제안한 프로토콜을 위한 시스템의 상향링크 채널은 프레임을 구성하는 타임 슬롯과 각 슬롯별 확산코드에 의하여 제공된다. 지연에 민감한 음성 트래픽에 더 높은 우선순위를 부여하여, 음성 트래픽인 경우에는 발음구간 동안 임의의 확산코드를 예약하여 서비스된다. 반면, 데이터 트래픽은 매 패킷이 발생할 때마다 기지국으로부터 수신한 현재 슬롯의 예약상태 정보를 기반으로 서비스된다. 성능분석의 결과, 본 논문에서 제안한 기법은 음성과 데이터 패킷간의 충돌이 전혀 발생하지 않으므로 주어진 패킷 누락률 범위 내에서 수용 가능한 최대 음성 단말기 수를 증가시킬 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, a medium access control protocol is proposed for integrated voice and data services in the packet CDMA network with a small coverage. The performance of the proposed protocol is also analyzed. Uplink channels are composed of time slots and multiple spreading codes for each slot. This protocol gives higher access priority to the delay-sensitive voice traffic than to the data traffic. During a talkspurt, voice terminals reserve a spreading code to transmit multiple voice packets. On the other hand, whenever generating a data packet, data terminals transmit a packet based on the status information of spreading codes in the current slot, which is received from base station. In this protocol, voice packet does not come into collision with data packet. Therefore, this protocol can increase the maximum number of voice terminals.

1. 서론

음성위주의 통신 서비스로부터 데이터 및 비디오 등이 복합된 무선 멀티미디어 서비스에 대한 사용자 요구가 점차 증가함에 따라 음성 서비스를 기본으로 하는 셀룰러 시스템에서 데이터 서비스를 제공하고자 하는 다양한 시도와 연구가 이루어지고 있다^{[1][2]}. 한편 무선 패킷 교환 기술의 발전과 함께 음성 서비스를 위주로 하는 셀룰러 망과 무선 데이

터 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

* 부산외국어대학교 컴퓨터·전자공학부(itlim@taejo.pufs.ac.kr)
논문번호: 00247-0704, 접수일자: 2000년 7월 4일

있어야 하며, 공유하는 무선자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 설계되어야 한다. TDMA 기법으로 다중채널이 제공되는 협대역 패킷 무선망인 경우, 지연에 민감한 음성 트래픽은 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, Tan은 RRA(Reservation Random Access) 프로토콜을 CDMA 시스템에 적용한 RCMA(Reservation-Code Multiple Access) 프로토콜을 제안하였다^[8]. 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. 이 기법은 음성 트래픽인 경우, 확산코드를 예약하기 위하여 데이터 패킷과 경쟁하여야 하므로 지연에 민감한 음성 트래픽의 패킷 누락률이 증가할 것으로 보인다.

따라서, 본 논문에서는 CDMA 방식과 TDMA 방식을 혼합한 WB-TD-CDMA 방식으로 다중채널이 제공되는 패킷 CDMA 망에서 트래픽의 우선순위에 따라 음성과 데이터를 서비스하기 위한 RCSSMA (Reservation Code and Status Sensing Multiple Access) 프로토콜을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석한다. 본 논문에서 제안하는 프로토콜에서는 지연에 민감한 음성 트래픽에 더 높은 우선순위를 부여한다. 음성 단말기들은 음성활성 검출기를 사용하여 발음구간이 시작되면 예약되어 있지 않은 임의의 확산코드를 예약하고, 발음구간이 끝날 때까지 예약한 확산코드를 통하여 주기적으로 음성 패킷을 전송한다. 반면, 데이터 트래픽은 매 패킷이 발생할 때마다 현재 슬롯에서 음성 단말기가 전송한 예약요청의 성공여부에 대한 상태정보를 기지국으로부터 수신한 후, 예약되지 않은 확산코드 중에서 임의의 확산코드를 통하여 패킷을 전송한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 II장에서는 본 논문에서 제안하는 프로토콜이 적용되는 시스템의 구성을 설명하고, III장에서는 제안한 프로토콜의 상세한 동작과정을 기술한다. IV장에서는 제안한 프로토콜에 대한 성능을 해석하고, V장에서는 해석적 방법과 시뮬레이션을 통한 성능분석의 결과를 기술하고, 마지막으로 결론을 맺는다.

II. 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 프로토콜이 적용되는 시스템은 기지국과 단말기간의 전파지연이 비교적 짧은 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.

RCSSMA 프로토콜에서 상향 링크는 WB-TD-CDMA 시스템^[9]을 가정하여 그림 1과 같이 CDMA와 TDMA가 결합된 형태로 제공된다. 그림에서 나타낸 바와 같이 하나의 프레임은 k_0 개의 타임슬롯으로 구성되고, 각 슬롯에는 m 개의 공유하는 확산코드가 제공된다. 모든 단말기는 각 슬롯마다 상호상관 특성을 가지는 m 개의 확산코드 중 하나를 이용하여 패킷을 전송한다. 여기서 프레임 길이는 상향 링크의 대역폭과 음성 단말기의 샘플링 속도에 따라 결정된다.

단말기에서 발생하는 패킷은 그림 1에서 나타낸 바와 같이 프리앰블(PA) 필드, 헤더(HD) 필드, 사용자 정보(음성 또는 데이터) 필드, 및 순방향 오류 정정을 위한 FEC 필드로 구성된다. PA 필드는 기지국 수신기의 상관기들이 확산코드를 인식하기 위하여 사용되고, HD 필드는 전송되는 패킷의 종류 등을 나타내는 제어정보를 포함하고 있다. 음성 패킷에 있는 HFEC 필드는 다원접속 간섭에 의한 비트오류를 고려하여 헤더에 대한 FEC용으로 사용되고, 음성과 데이터 패킷에 있는 IFEC 필드는 정보 필드에 대한 FEC용으로 사용된다.

한편, 기지국에서는 매 슬롯의 시작점에서 예약되지 않은 확산코드 정보와 이전 슬롯에서 수신 성공한 데이터 패킷에 대한 응답을 방송한다.

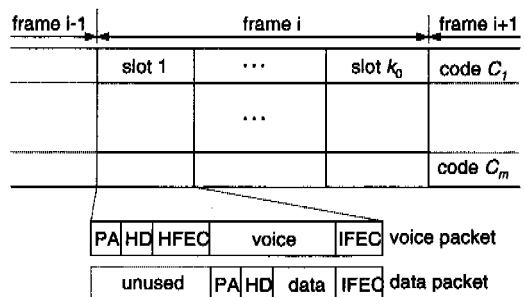


그림 1. 상향 링크의 채널 및 패킷 구조

또한, 기지국에서는 이미 예약되지 않은 음성 패킷의 PA 필드와 HD 필드를 성공적으로 수신하면 음성의 예약요청이 성공한 것으로 간주하여 이에 대한 응답을 방송한다.

III. 프로토콜 동작

RCSSMA 프로토콜에서 음성 트래픽은 확산코드 예약방식으로 서비스되고, 데이터 트래픽은 기지국으로부터 수신한 확산코드 상태정보를 이용하여 매 패킷마다 경쟁방식으로 서비스된다. 음성 단말기를 위한 프로토콜의 상세한 동작과정은 그림 2와 같다. 묵음상태에서 새로운 발음구간을 시작한 음성 단말기는 경쟁상태가 되어서 확산코드 예약을 시도한다. 경쟁상태에 있는 음성 단말기는 다음 슬롯의 시작점에서 예약되지 않은 확산코드 중 임의의 하나를 선택하고, 전송허용 확률 β 로 음성 패킷의 PA, HD, 및 IFEC 필드를 전송한다. 한편, 기지국에서는 매 슬롯의 시작점에서 예약되지 않은 확산코드를 통하여 전송된 패킷의 PA 필드와 HD 필드를 성공적으로 수신하면, 음성의 예약요청이 성공한 것으로 판단하여 이에 대한 응답을 즉시 방송한다.

예약에 성공한 음성 단말기는 패킷의 나머지를 전송하고 예약상태로 천이하며, 발음구간이 종료될 때까지 예약한 확산코드를 통하여 매 프레임마다 주기적으로 음성 패킷을 전송한다. 반면, 예약에 실패한 음성 단말기는 데이터 패킷과의 충돌을 없애고, 다원접속 간섭을 줄이기 위하여 패킷의 나머지 부분에 대한 전송을 중단한다. 발음구간 동안 음성 단말기가 발생시킨 패킷은 일정시간 이내에 전송되어야만 음성의 지연 서비스 품질을 만족시킬 수 있다. 따라서 음성 단말기는 지연 한계를 초과하여 예약에 실패한 패킷들을 버린다.

데이터 단말기를 위한 프로토콜의 상세한 동작과정은 그림 3과 같다. 휴지상태에 있는 단말기가 하나의 데이터 패킷을 생성하면 경쟁상태로 천이한다. 경쟁상태에 있는 데이터 단말기는 기지국으로부터 방송된 현재 슬롯의 확산코드 예약에 대한 상태정보를 기반으로 패킷 전송을 시도한다. 이로 인하여 데이터 단말기는 음성 단말기에 의하여 이미 예약되지 않았을 뿐만 아니라 현재 슬롯에서 예약하지 않은 확산코드만을 선택할 수 있다. 데이터 패킷의 전송은 음성 패킷에 비하여 늦게 전송을 시도하며, 음성 단말기에 비하여 상대적으로 낮은 우선순위로 서비스된다. 따라서 본 논문에서 제안한 프로토콜에

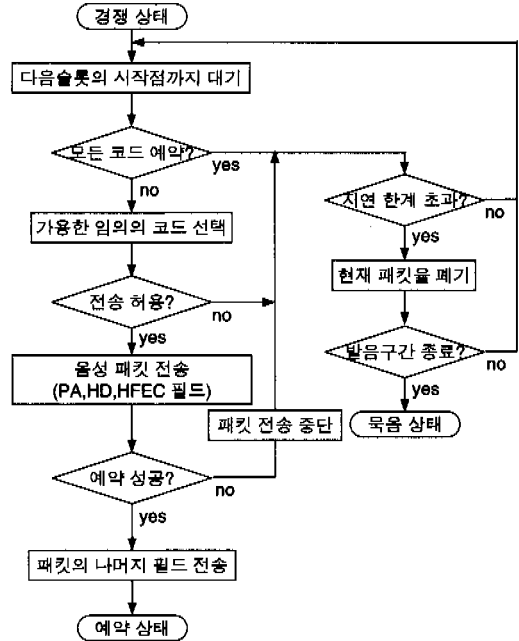


그림 2. 음성 단말기의 프로토콜 동작

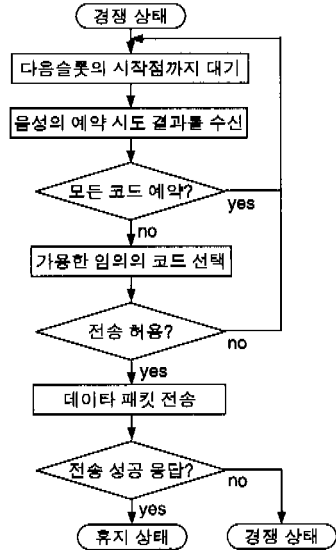


그림 3. 데이터 단말기의 프로토콜 동작

서는 음성 패킷과 데이터 패킷간의 충돌은 전혀 발생하지 않는다. 기지국으로부터 음성 단말기의 예약 시도에 대한 결과를 수신한 데이터 단말기는 예약되지 않은 임의의 확산코드를 선택하여 전송허용 확률 β 로 데이터 패킷을 전송한 후, 기지국으로부터 응답을 기다린다. 기지국으로부터 전송 성공에 대한

응답을 수신한 데이터 단말기는 휴지상태로 천이하고, 응답을 수신하지 못하면 경쟁상태를 유지하면서 다음 슬롯에서 다시 전송을 시도한다.

IV. 성능 해석

1. 음성 트래픽의 성능해석

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. 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_r 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.

$$Q_{jk,rl}^v = \sum_{x=0}^m \sum_{v_r=0}^{N_v-j-k} \sum_{s_v=0}^k \Phi(x, j, k_0, m) \cdot b(N_v-j-k, v_r, \alpha_v) \cdot b(k, v_r, \beta) \cdot b(j+s_v, r, 1-\gamma_v) \cdot S(s_v | v_r, x, j+v_r) \quad (1)$$

여기서,

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

음성 활성 검출기를 사용하는 음성 단말기는 묵음상태와 발음상태를 유지한다. 묵음상태에 있는 단말기는 다음 슬롯의 시작점에서 α_v 의 확률로 발음상태로 천이하고, 발음상태에 있는 단말기는 γ_v 의 확률로 묵음상태로 각각 천이한다. 이때, 슬롯의 길이를 τ 라하고, 평균 묵음구간의 길이와 발음구간의 길이를 각각 t_1, t_2 라 할 때, 식 (1)에 있는 α_v 와 γ_v 는 각각 다음과 같다^[5].

$$\begin{aligned} \alpha_v &= 1 - \exp(-\tau/t_1) \\ \gamma_v &= 1 - \exp(-\tau/t_2) \end{aligned} \quad (2)$$

식 (1)에서 $S(s|n, x, r)$ 는 다원접속 간섭의 수가 r 개

인 환경에서 x 개의 확산코드를 통하여 n 개의 패킷을 전송하여 이 중 s 개가 성공할 조건부 확률로써, 다음과 같이 정의된다^[10].

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

여기서 $\xi_j = P_s(r)$, $\xi_j = 0$ ($j \neq 1$)

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

$$\begin{aligned} x \geq 0 \text{ 이면, } & S(0 | 0, x, r) = 1, S(1 | 0, x, r) = 0 \\ n \geq 0 \text{ 이면, } & S(0 | n, 0, r) = 1, S(1 | n, 0, r) = 0 \\ x \geq 1 \text{ 이면, } & S(0 | 1, x, r) = 1 - P_s(1), \\ & S(1 | 1, x, r) = P_s(1) \\ n \geq 2 \text{ 이면, } & S(1 | n, 1, r) = 0, S(0 | n, 1, r) = 1 \\ S > \min(n, x) \text{ 이면, } & S(s | n, x, r) = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

식 (3)의 $P_s(r)$ 은 r 개의 다원접속 간섭 환경에서, 수신한 패킷을 FEC를 통하여 오류 정정한 후의 패킷 성공률을 나타낸다^[10]. 한편, 식 (1)의 $\Phi(x, j, k_0, m)$ 은 한 프레임에서 j 개의 음성 단말기가 예약상태에서 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 $D(j, k_0, m)$ 이라 하면, 이것을 이용한 채널 가용 확률 $\Phi(x, j, k_0, m)$ 은 다음과 같이 구해진다.

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

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

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

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

지연에 민감한 음성 트래픽의 QoS를 만족시키기 위하여 RCSSMA 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 누락률을 고려한다. 발음구간 동안 L 개의 음성 패킷이 생성되는 경우, 목음상태에서 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.

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

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

$$f = 1 - \sum_{r=0}^{\min(N_v, mk_0)} \sum_{l=0}^{N_v-r} \sum_{x=0}^l \sum_{j=1}^m \{ \Phi(x, r, k_0, m) \cdot b(l, v_r, \beta) \cdot S(s_v | v_r, x, r + v_r) \cdot \Pi^v_{rl} \} \quad (9)$$

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

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

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

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

위의 식에서 γ_f 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 음성 패킷 누락률 (P_{drop})은 다음과 같이 구할 수 있다.

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

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 슬롯 t 에서 데이터 트래픽의 시스템의 상태 $\{X_d^t = (C_d^t, R_v^t, C_v^t)\}$ 를 경쟁상태에 있는 데이터 단말기의 수(C_d^t), 예약상태에 있는 음성 단말기의 수(R_v^t), 및 경쟁상태에 있는 음성 단말기의 수(C_v^t)로 정의하면, X_d^t 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.

$$Q_{ijk, brl}^d = \sum_{x=0}^i \sum_{v=0}^{N_v-j-k} \sum_{r=0}^k \sum_{d=0}^{N_d-i} \sum_{s=0}^l \{ \Phi(x, j, k_0, m) \cdot b(N_v - j - k, v_i, \alpha_v) \cdot b(k, v_r, \beta) \cdot b(j + s_v, r, 1 - \gamma_v) \cdot b(N_d - i, d_i, \alpha_d) \cdot b(i, d_b, \beta) \cdot S(s_v | v_r, x, j + v_r) \cdot S(s_d | d_b, x - s_v, j + s_v + d_b) \} \quad (13)$$

여기서,

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

식 (13)에서 α_a 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.

$$\Pi_{brl}^d = \sum_{i=0}^{N_d} \sum_{j=0}^{\min(N_v, mk_0)} \sum_{k=0}^{N_v-j} Q_{ijk, brl}^d \Pi_{ijk}^d \quad (14)$$

$$\sum_{b=0}^{N_d} \sum_{r=0}^{\min(N_v, mk_0)} \sum_{l=0}^{N_v-r} \Pi_{brl}^d = 1$$

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.

$$\eta_d = \alpha_d \left(N_d - \sum_{b=0}^{N_d} \sum_{r=0}^{\min(N_d, m_k b)} \sum_{l=0}^{N_d-r} b I I^{d}_{brl} \right) \quad (15)$$

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.

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

V. 결과 분석

RCSSMA 프로토콜의 성능을 분석하기 위하여 본 논문에서는 다원접속 간섭을 가우시안 임의변수로 가정하여 해석한 M.B.Pursley의 비트 오류율 모델^[12]을 적용하였다. 다원접속 간섭에 의한 비트 오류율 모델에서 신호 대 잡음 전력 비(E_b/N_0)는 6dB로 가정하였다. 또한 음성 패킷의 헤더 부에 대한 FEC 코딩률은 0.6으로 가정하였으며, 음성과 데이터 패킷의 정보필드에 대한 FEC 코딩률은 0.8로 가정하였다.

본 논문에서 제안한 RCSSMA 프로토콜의 성능 분석은 SMPL C언어 라이브러리^[11]를 이용한 시뮬레이션과 MATLAB과 C언어를 이용한 해석적 방법으로 이루어졌으며, 성능분석에 사용한 각종 시스템 변수들은 표1과 같이 가정하였다. 이와 같은 시스템 변수에 의하여 상향링크의 프레임 당 슬롯 수(k_0)는 5가 되고, 음성 패킷의 최대 지연 허용 슬롯 수(W_{max})는 10이 된다.

슬롯 당 확산코드의 수가 3개일 때 해석적 방법과 시뮬레이션을 통하여 얻은 음성 패킷 누락률을 Tan이 제안한 RCMA 프로토콜과 비교하여 그림 4에 나타내었다. 허용하는 최대 패킷 누락률을 1%로 가정할 경우, RCMA 기법에서는 약 22개의 음성 단말기를 동시에 지원할 수 있지만, RCSSMA에서는 데이터 패킷과의 충돌이 전혀 발생하지 않기 때문에 RCMA 기법보다 약 2배 이상 더 많은 음성 단말기를 지원할 수 있다.

그림 5와 6은 허용하는 패킷 누락률을 0.01(1%)로 할 경우 전송허용 확률과 확산코드의 수에 따른 수용 가능한 최대 음성 단말기의 수를 RCMA 프로토콜과 비교하여 나타내었다. 기존에 제안된 RCMA 프로토콜은 음성의 예약요청 패킷이 데이터 패킷과

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
평균 목음구간 길이(t1)	1.35 sec
평균 발음구간 길이(t2)	1.00 sec
슬롯의 길이(τ)	4 msec
음성 샘플링 속도(R_s)	32 kbps
데이터 전송률(R_d)	9600 or 4800bps

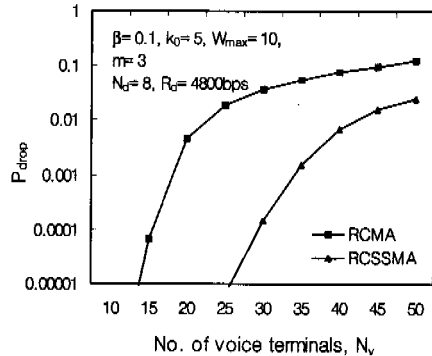


그림 4. RCMA과 RCSSMA의 패킷 누락률 비교

경쟁해야한다. 따라서 그림에서 나타낸 바와 같이 RCMA 프로토콜은 데이터 전송률이 증가할수록 수용 가능한 음성 단말기의 수가 감소한다. 반면, 본 논문에서 제안한 RCSSMA 프로토콜은 음성과 데이터 패킷간의 충돌이 전혀 발생하지 않으므로 데이터 전송률에 관계없이 RCMA에 비하여 더 많은 음성 단말기를 수용할 수 있다. 또한 RCMA 프로토콜인 경우 전송허용 확률을 증가시키에 따라 더 많은 데이터 단말기들이 패킷 전송을 시도하여 음성의 예약요청 패킷과 충돌이 발생하므로 수용 가능한 음성 단말기 수에 있어서 약간의 감소가 있다. 반면, RCSSMA 프로토콜인 경우 일정 수준 이상의 전송허용 확률에서는 거의 동일한 수의 음성 단말기를 수용할 수 있다.

그림 7과 8은 단말기 수와 확산코드의 수에 따른 음성 패킷 누락률을 나타내었다. 그림 5와 6에서 나타낸 바와 같이 일정 수준 이상의 전송허용 확률에서는 음성 트래픽의 성능이 거의 동일하게 나타나므로 본 논문에서는 전송허용 확률을 0.6으로 가정하였다. 또한 데이터 단말기 수는 음성 단말기 수와

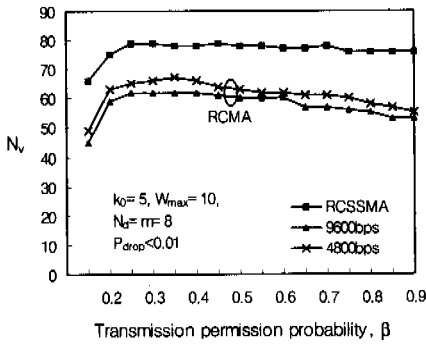


그림 5. 전송허용 확률에 따른 최대 음성 단말기 수

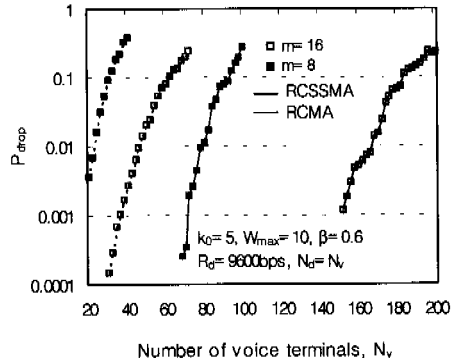


그림 8. 단말기 수와 확산코드 수에 따른 음성 패킷 누락률

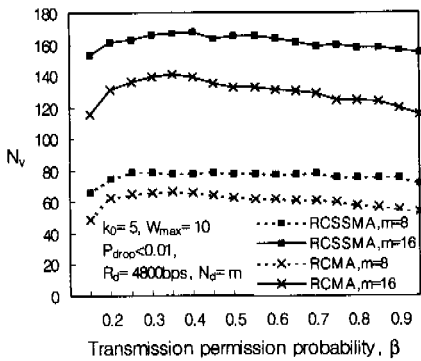


그림 6. 전송허용 확률과 확산코드 수에 따른 최대 음성 단말기 수

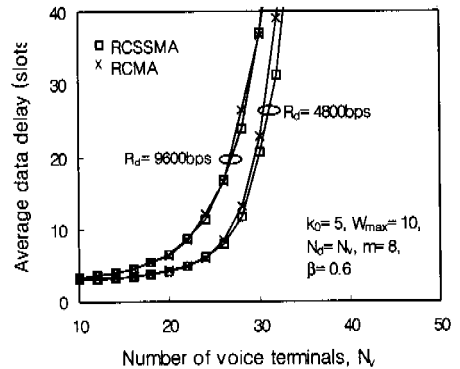


그림 9. 단말기 수에 따른 데이터 전송지연

동일하게 하였다. 그림 7에서 나타낸 RCMA 프로토콜의 패킷 누락률은 그림 5에 나타낸 것과 같이 데이터 전송률에 영향을 받음을 알 수 있다. 확산코드의 수를 증가시키면 상향링크의 논리 채널 수가 증가한다. 따라서 그림 8에서 나타낸 바와 같이 확산코드의 수를 증가시키면 패킷 누락률은 감소한다. 확산코드의 수를 두 배로 증가시키면 패킷 누락률이 0.01일 때 RCMA 프로토콜은 약 두 배의

음성 단말기를 더 많이 수용할 수 있는 반면, RCSSMA 프로토콜은 약 2.2배의 음성 단말기를 더 많이 수용할 수 있음을 알 수 있다.

그림 9는 확산코드의 수가 8일 때 데이터 전송률이 9600bps인 경우와 4800bps인 경우에 대하여 단말기 수에 따른 데이터 패킷의 평균 전송지연을 나타내었고, 그림 10은 데이터 전송률이 4800bps일

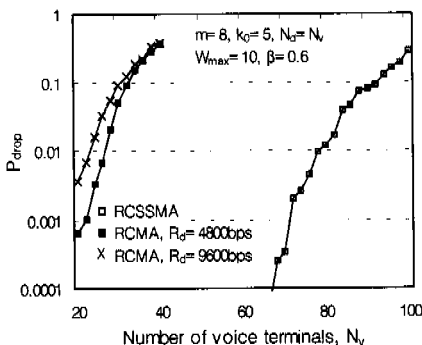


그림 7. 단말기 수에 따른 음성 패킷 누락률

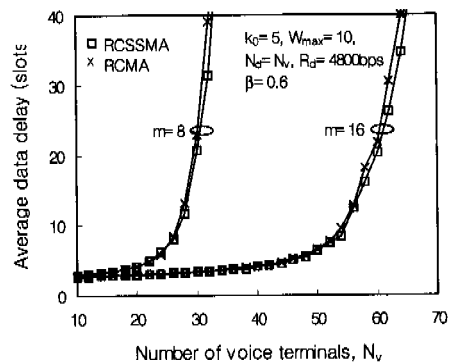


그림 10. 단말기 수와 확산코드 수에 따른 데이터 전송지연

때 확산코드의 수가 8인 경우와 16인 경우에 대한 데이터 패킷의 평균 전송지연을 각각 나타내었다. 그림에서 나타낸 바와 같이 본 논문에서 제안한 RCSSMA 프로토콜의 평균 전송지연은 RCMA 프로토콜과 거의 동일한 성능을 나타낸다. 이는 RCMA인 경우, 현재 슬롯에 예약되지 않은 확산코드를 다른 데이터 패킷뿐만 아니라 음성 예약요청 패킷들과 경쟁하는 반면, RCSSMA에서는 현재 슬롯에 이미 예약되지 않은 확산코드 중에서 새로운 음성 예약에 실패한 확산코드를 데이터 패킷들만 경쟁하기 때문으로 판단된다.

V. 결론

본 논문에서는 패킷 CDMA망에서 지연에 민감한 음성 트래픽에 더 높은 우선순위를 부여하여 음성과 데이터를 통합 서비스하기 위한 RCSSMA 프로토콜을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석했다. 음성 트래픽인 경우, 발음구간이 시작되면 예약되지 않은 임의의 확산코드를 선택하여 예약을 시도하고, 발음구간이 종료될 때까지 예약한 확산코드를 배타적으로 점유하여 음성 패킷을 전송한다. 반면 데이터 트래픽은 패킷이 발생할 때마다 기지국으로부터 수신한 현재 슬롯의 확산코드 예약상태 정보를 이용하여 패킷을 전송한다.

본 논문에서 제안한 프로토콜에서는 음성 트래픽의 우선순위가 데이터 트래픽보다 높아서 음성의 예약요청 패킷은 데이터 패킷보다 항상 먼저 전송되므로, 데이터 패킷과의 충돌이 전혀 발생하지 않는다. 이에 따라 기존의 RCMA 기법보다 더 많은 음성 단말기를 수용할 수 있음을 알 수 있었다. 데이터 서비스인 경우, RCMA에서는 현재 슬롯에 예약되지 않은 확산코드를 다른 데이터 패킷뿐만 아니라 음성 예약요청 패킷들과도 경쟁하여 서비스된다. 반면, RCSSMA에서는 현재 슬롯에 이미 예약되지 않은 확산코드 중에서 새로운 음성 예약에 실패한 확산코드를 데이터 패킷들만 경쟁하여 서비스된다. 이로 인하여 본 논문에서 제안한 RCSSMA 프로토콜의 평균 전송지연은 RCMA 프로토콜과 거의 동일한 성능을 나타내었다.

본 연구에 이어서 다원접속간섭에 의한 비트 오류율을 고려한 성능분석이 이루어져야 할 것으로 보이며, 비디오 트래픽을 포함하는 무선 멀티미디어 서비스를 위한 방안들이 계속 연구되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] TIA/EIA, Short Message Services for Wideband Spread Spectrum Cellular Systems, TIA/EIA/IS-637, Feb. 1995.
- [2] TIA/EIA, Data Service Option Standard for Wideband Spread Spectrum Digital Cellular System, TIA/EIA/IS-99, Jan. 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(S2MA) Communication," IEEE Trans. on Commun., Vol.40, No.6, pp.996-1002, Jun. 1992.
- [8] 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.
- [9] E.Nikula, et al., FRAMES multiple access for UMTS and IMT-2000, IEEE Personal Commun. Mag., vol.5, no.2, pp.16-24, Apr. 1998.
- [10] 임인택, 허정석, "무선 패킷 통신을 위한 CDMA_ALOHA/FEC 기법의 성능 분석," 한국

