

# 변형된 PRMA 방식인 PRHMA의 성능분석

## Performance Analysis of modified PRMA: PRHMA(Packet Reservation Hold Multiple Access)

김환의, 김덕년

Hwan Ui. Kim and Doug Nyun. Kim

### 요약

본 논문에서는 다중접속 프로토콜인 PRMA의 변형된 모델에 대해서 다뤘다. 기존의 PRMA에서는 초기 접속 시 얻은 슬롯을 휴지기에 잃게되므로 매 활성기마다 다시 슬롯을 접속함으로써 추가적인 패킷의 폐기가 발생하는 반면, 변형된 모델에서는 슬롯예약을 유지하기 위한 제어미니슬롯을 사용함으로써 초기 접속 이후의 추가적인 패킷 폐기가 발생하지 않는다.

### ABSTRACT

This paper mainly deals with the modified version of conventional PRMA(Packet Reservation Multiple Access). In the existing PRMA schemes, the occupied slot in the initial access state is not allowed to be reserved in the silent period and retrial of gaining the slot access has to pay additional packet dropping. Whereas in the modified model, we propose to utilize a control minislot that maintains slot reservation and this prevents additional packet drop occurrence since initial access, and this slightly improves the system performance.

### I. 서 론

Goodman이 제안한 PRMA(Packet Reservation Multiple Access)는 무선통신 시스템에서 음성에 중점을 둔 MAC 프로토콜이다[1]. PRMA는 기존의 것과는 달리 휴지기에 다른 사용자들을 수용할 수 있게 함으로써 채널효율을 높일 수 있었다. 기존의 TDMA 방식에서 터미널이 호의 전반적인 진행시간동안 채널을 점유함으로써 불필요한 대역의 낭비가 있었던 것과는 달리 PRMA에서는 호의 활성기에만 터미널의 채널 접속이 허용된다. 그럼 1에서 보는바와 같이 터미널이 휴지기에서 활성기로 천이 할 때, 터미널은 채널 접속을 위해 다른 터미널들과 경합을 벌여야 한다. 채널 접속을 하기 위해서는 다음의 조건을 만족해야 한다.

- 터미널이 활성기에 있어야 한다.

- 전송확률  $P_v$ 를 만족해야 한다.
- 슬롯이 사용 가능해야 한다.(즉, 슬롯이 다른 터미널에 의해 점유되어 있지 않아야 한다.)

위의 조건을 만족하는 하나의 터미널이 사용가능 슬롯에 접속 시 그 슬롯에 동시에 다른 터미널로부터의 접속시도가 없다면 성공적으로 채널을 접속할 수 있는 자격이 주어지고, 매 프레임의 같은 슬롯을 활성기 동안 사용할 수 있게 된다.

만약 사용자수의 증가로 인해 정해진 지연시간 ( $D_{MAX}$ )안에 슬롯을 예약할 수 없다면 활성기에 발생된 패킷들은 터미널 버퍼에 저장된 순서에 따라 오래된 패킷부터 폐기되게 된다. 이는 음성의 품질에 막대한 영향을 주게된다. 따라서 패킷 폐기 확률은 음성에 있어 중요한 성능측정

요소이다. 패킷 폐기 확률은 1% 이내가 되어야 음성의 품질을 떨어뜨리지 않게 된다.

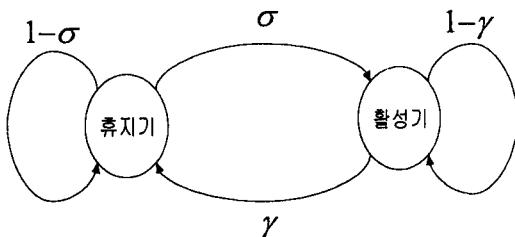


그림 1. 음성 활성 검파기에 의한 음성 소스의 two-state Markov 모델

Fig. 1. Two-state Markov model of speech source by speech activity detector  
( $\gamma$ ,  $\sigma$ 는 수식 (1), (2) 참고)

PRMA에서 기지국은 매 슬롯이 끝나는 시점에 슬롯에 전송된 패킷을 올바르게 복호할 수 있는가의 결과 메시지를 방송해준다. 만약 성공적으로 복호를 할 수 있다면 패킷을 전송한 터미널의 정보가 포함된다. 반대의 경우는 실패 결과 메시지를 방송해준다. 각 터미널들은 다음에 취할 행동을 위하여 기지국의 결과 메시지를 경청한다. 이는 결과 메시지에 대한 끊임없는 모니터를 요구한다. 본 논문에서는 터미널의 배터리 소모를 줄이는 방편으로 기지국으로부터의 방송은 매 프레임이 끝나는 시점에 일어나는 FRMA(Frame Reservation Multiple Access)방식을 고려한다.

음성과 데이터가 같이 존재하는 기존의 PRMA 연구에서 음성 터미널과 데이터 터미널은 모든 사용 가능한 슬롯에서 경합한다[2]-[3]. Nanda는 음성과 데이터가 혼합된 환경에서의 PRMA를 평형점 분석법을 사용하여 분석하였다[2]. 프레임의 각 슬롯은 음성 터미널에 의해 예약된 것과 사용 가능한 슬롯으로 구분된다. 음성 터미널은 매 사용 가능한 슬롯에 전송 확률  $P_v$ 를 가지고 경합을 벌이며 경합에 성공하면 활성기가 끝날 때까지 매 프레임의 같은 슬롯을 예약하여 사용한다. 데이터 터미널 또한 매 사용 가능한 슬롯에 전송 확률  $P_d$ 를 가지고 경합을 벌인다. 그러나 데이터 터미널은 슬롯을 예약할 수 없다. 그러므로 데이터 터미널이 전송할

패킷을 더 가지고 있다면 다시 사용 가능한 슬롯에 전송 확률  $P_d$ 를 가지고 경합을 벌여야 한다. 자연에 민감한 음성 사용자에게 우선권을 부여하기 위하여 전송 확률  $P_d$ 는  $P_v$ 보다 작게 선택한다.

Wong과 Goodman은 Nanda의 것의 변형된 이론을 제안하였다[3]. 데이터 소스는 하나 이상의 데이터 패킷으로 구성될 수 있고 데이터 터미널 또한 슬롯을 예약할 수 있다. 경합에 성공한 데이터 터미널은 다음의  $R_d = \min(B, K)$  슬롯을 패킷의 전송을 위해 예약할 수 있다. 여기서  $B$ 는 버스트 패킷 길이이고,  $K$ 는 다른 사용자들의 성능을 저하시킬 수 있는 너무 긴 버스트를 제한하는 시스템 한계치이다. 이 이론은 Nanda의 이론에 비해 데이터 사용자들의 처리율을 증가시킬 수 있었다.

본 논문의 II장에서는 변형된 PRMA인 PRHMA에 대해서 다룰 것이고, III장에서는 음성 터미널의 성능 분석을 보일 것이다. IV장에서는 시뮬레이션을 통한 결과를 보이고 V장에서는 결론을 맺는다.

## II. 변형된 PRMA방식인 PRHMA

설명의 중점은 성형망 구조를 가지는 무선 ATM 통신 네트워크에 둔다. 산재한 사용자 터미널(User Terminal: UT)들은 자신들의 음성/데이터 패킷(패킷 크기는 ATM 셀 크기: 53Bytes와 같다.)을 기지국 (Base Station: BS)으로 전송한다. 상향링크 채널은 슬롯화 되어있고, 슬롯들의 묶음은 프레임으로 구성되며, 한 슬롯의 크기는 ATM 셀 크기와 동일하다. 정보 슬롯 주기는  $T$ 로 동일하고 한 프레임에서 정보 슬롯은  $N$ 개로 구성되어 있다. 프레임 주기는 음성 패킷의 발생률과 같다. 한 프레임이 끝나는 시점에서 기지국은 하향링크를 통해서 슬롯 정보를 포함하는 짧은 피드백 패킷을 브로드캐스트 해준다. 다음 프레임이 시작되기 바로 직전에 모든 UT는 거의 동시에 기지국으로부터 브로드캐스트를 받고 채널 상태를 알 수 있다. 채널 상에서 전송에러는 없다고 가정한다. 음성 또는 데이터 패킷은 53Bytes로 구성되어 있고, 패킷의 헤더는 근원지와 목적지의 주소, ID(Identification

Sequence), 트래픽 형태와 같은 정보를 포함한다. 저속 음성 활성 겸파기를 사용하여 음성 호의 활성기과 휴지기를 구별한다. 프레임 주기  $T_F$ 는 가변적이며 디자인 변수이고, 음성 소스의 발생률과 일치하게 디자인한다. 음성과 데이터 소스는 서로 독립적이므로 각각의 부 시스템으로 나누어서 설명할 수 있다.

### 2.1 음성 부시스템

이 논문에서의 PRHMA는 기존의 PRMA와 비슷하다. PRMA에서 음성 UT이 휴지기 동안 자신의 예약 슬롯을 잃는 반면에 PRHMA에서는 예약 슬롯을 잃지 않는다. 음성 부시스템은 기존의 Goodman, Nanda[4], Fantacci[5]의 모델처럼  $(N+2)$  state Markov chain으로 모델링 될 수 있다. 각 UT은  $(N+2)$  state 중에 하나에 있을 수 있다(그림 3, 4). 모든 천이(transition)는 슬롯의 끝에 일어난다고 가정한다. 음성에 의한 패킷이 발생되지 않는 한 음성 UT은 SIL 상태에 머무른다. 활성화에 의한 첫 패킷이 발생하자마자 음성 UT은 SIL 상태에서 CON 상태로 천이 한다. CON 상태에서 음성 UT은 슬롯을 예약하기 위해 CON 상태에 있는 다른 음성과 데이터 UT과는 독립적으로 확률  $P_r$ 를 가지고 Idle(unreserved) 슬롯에 패킷을 전송함으로써 슬롯 예약을 위한 경합을 하게된다. 다른 UT들과의 충돌이 일어나지 않는다면 음성 UT은 그 슬롯을 예약하게 되고 매 프레임의 같은 슬롯을 활성기 동안 사용하게 된다. 슬롯 예약의 성공유무는 매 프레임의 하향링크 메시지를 통해 알 수 있다. 메시지에는 성공적으로 슬롯을 예약한 경우 해당 UT에게 ACK 메시지와 HR 제어슬롯 그리고 다른 UT에게 그 슬롯이 점유되었다는 것을 알리는 내용이 포함되어 있으며, 충돌이 일어난 경우에는 슬롯위치를 알려줌으로써 그 슬롯에 전송한 UT에게 슬롯예약의 실패를 알리게 된다. 슬롯예약에 실패한 UT은  $D_{\max}$  시간동안 매 프레임에 한번씩 Idle 슬롯에 확률  $P_v$ 를 가지고 계속 예약시도를 한다.  $D_{\max}$  시간 안에 슬롯을 예약하지 못하면 활성화에 의해 발생되어 터미널의 버퍼에 저장된 첫 패킷은 폐기된다. 활성기가 끝나면 음성 UT은 SIL 상태로 천이되고 이때 기존의 PRMA와는 다르게 자신이 예

약한 슬롯을 잃지 않는다. 기지국은 일단 슬롯을 예약한 음성 UT에 대한 정보를 기록하고, 그 정보는 호가 종료될 때까지 유지한다. 상향링크 채널 프레임 구조는 다음과 같다.

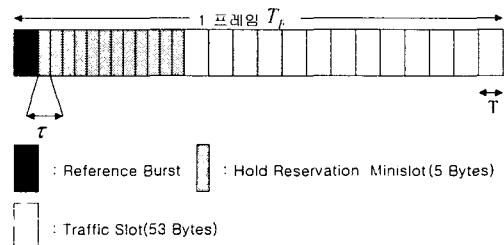


그림 2. PRHMA 프레임 구조

Fig. 2. Frame structure of PRHMA

여기서 HR 제어슬롯은 크기가 5 Bytes이고, 슬롯예약을 한 음성 UT이 휴지기 상태에서 활성화 상태로 되었을 때, 자신이 예약했던 슬롯을 되찾기 위해 사용한다. HR 제어슬롯의 개수( $k$ )는 가변적( $0 < k \leq N$ )이며 트래픽의 상태에 따라 기지국에 의하여 조절된다. 기지국은 임의의 슬롯예약에 성공한 음성 UT에게 ACK를 보낼 때 그 음성 UT에게 HR 제어슬롯을 임의로 하나 할당해준다. 트래픽 슬롯을 예약하고 HR 제어슬롯을 할당받은 음성 UT은 활성화에 의해 발생된 패킷을 트래픽 슬롯을 이용해 전송하고 음성 활성화 겸파기에 의해 활성기의 마지막 패킷이 검출되면  $RES_0$  상태에서 SIL 상태로 천이 된다. 활성화에 의한 마지막 패킷 정보를 인지한 기지국은 데이터 UT들에게 음성 UT이 예약한 슬롯이 일정시간동안 Idle 슬롯이 된다는 사실을 브로드캐스트 해준다. 그러면 음성 UT의 휴지기 동안 데이터 UT들이 슬롯을 사용하고, 다시 음성 UT이 활성화 상태가 되면, 음성 UT은 처음에 할당받은 HR 미니슬롯을 이용하여 활성기기 시작되었다는 정보를 보낸다. 그러면 기지국은 데이터 UT들이 음성 UT가 예약한 슬롯을 사용하는 것을 중지시키고 음성 UT는 정보를 보낸 시점의 다음 프레임부터 먼저 예약한 슬롯을 사용하여 전송을 재개한다. 이로 인하여 기존의 PRMA와는 다르게 첫 슬롯예약 시도 이후의 추가적인 패킷 폐기가 발생하지 않는다. 이때 음성 UT의 휴지기 동안 슬롯을 사용했던 데이터 UT이 만약 자신의 트래픽을 다 전송하지 못한 경우에 새로이 트래픽 슬롯에 임의접속(Random

access)해서 슬롯을 얻던지 아니면 다른 음성 UT의 휴지기를 이용해 전송한다.

## 2.2 데이터 부시스템

데이터 UT는 일반적으로 슬롯예약이 허용되지 않는다. 전송할 트래픽이 발생하면 데이터 UT의 무한 버퍼에 FCFS(First Come First Service)방식으로 들어온 패킷을 임의접속 방식으로 슬롯을 얻어서 전송한다. 데이터 트래픽의 종류에는 버스티 트래픽과 긴 파일 전송 트래픽 등이 있는데, 음성 소스율이 32 kbps라 할 때, 음성 UT의 휴지기(약 1.35초)동안 약 100개의 슬롯을 사용할 수 있으므로 크기가 작은 버스티 트래픽은 물론이고 긴 파일 전송 트래픽의 경우에도 이런 음성 UT들의 휴지기 동안의 낭비되는 슬롯을 사용하여 전송을 할 수가 있다. 먼저, 전송할 트래픽이 발생한 데이터 UT는 예약되어 있지 않는 빈 슬롯에 헤더 패킷으로 슬롯을 얻기 위해 임의접속을 한다. 기지국이 헤더를 해석할 수 있다면(즉, 다른 UT와의 충돌이 일어나지 않고 빈 슬롯에 한 데이터 UT의 헤더만이 들어갔다면) 기지국은 슬롯 상태를 알고 있으므로 임의로 데이터 UT에게 슬롯을 할당해준다. 이때 긴 파일 전송의 경우에는 먼저 전용 슬롯을 할당해 주고 가용 슬롯의 여유가 없는 경우에는 위에서 말한 것처럼 음성 UT의 휴지기동안의 사용 가능한 슬롯을 할당해줄 수 있다. 데이터 UT은 한 프레임에 하나 이상의 슬롯을 사용할 수 있다. 그리고 버스티 트래픽의 경우에는 그 크기가 매우 작으므로 음성 UT의 휴지기동안의 사용가능 슬롯만을 할당받아 전송한다.

## III. 음성 터미널의 성능분석

### 3.1 음성 모델

음성 소스는 음성 활성 검파기에 의해 활성기와 휴지기로 구분될 수 있다. 저속 음성 활성 검파기는 two-state Markov chain으로 모델링 될 수 있다(그림 1).  $T$ 의 주기를 갖는 정보슬롯에서 평균 주기  $t_1$ 을 갖는 활성기가 끝날 확률은

$$\gamma = 1 - e^{(-T/t_1)} \quad (1)$$

이것은 talking state(TLK)에서 silent state(SIL)로 천이 할 확률이다. 또한  $T$ 의 주

기를 갖는 정보슬롯에서 평균 주기  $t_2$ 를 갖는 휴지기가 끝날 확률은

$$\sigma = 1 - e^{(-T/t_2)} \quad (2)$$

### 3.2 PRHMA 패킷

PRHMA에서 각 패킷은 사용자 정보(음성, 데이터)와 헤더로 구성되어 있다. 헤더는 라우팅, 동기 그리고 제어 정보를 포함한다. 음성 소스율을  $R_s$  bps, 채널율을  $R_c$  bps 그리고 헤더 크기를  $H$  bits라 하자. 프레임 주기  $T_F$ 는 디자인 변수이며 음성 소스의 발생율과 일치시킨다. 한 프레임에서의 슬롯개수( $N$ )는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N = \lfloor \frac{R_c T_F}{R_s T_F + H} \rfloor \text{ slots per frame} \quad (3)$$

여기서  $\lfloor x \rfloor$ 는  $x$ 보다 작거나 같은 최대 정수이다.

### 3.3 평형점 분석(Equilibrium Point Analysis)

시스템 성능을 분석하기 위하여, PRHMA 시스템의 특성을 Markov 프로세스로 모델링하였다(그림 3, 4).

음성에 있어 가장 중요한 성능측정 요소로써 앞서 설명한 패킷 폐기 확률이 있다. 패킷의 폐기는 초기 접속 시의 과도한 지연에 의해서만 발생하므로 성능분석에서 다룰 Markov 모델은 그림 3의 모델이다.

Noi PRHMA 프레임에서의 슬롯개수라면 각 터미널은  $N+2$  터미널 상태 중의 하나에 있을 수 있다.

$$\{SIL, CON, RES_0, RES_1, \dots, RES_{N-1}\}, \quad (4)$$

상태의 정의는

$SIL$ : silence,  $CON$ : contending,  $RES_i$ : holding a reservation for the  $i$ th future slot.

System state( $Q$ )는  $N+2$  변수의 배열이고  $Q = \{S, C, R_0, R_1, \dots, R_{N-1}\}$ , 각 터미널 상태에 있는 터미널의 개수를 나타낸다.

예를 들어,  $C$ 는 경합상태에 있는 터미널의 개수를 의미한다. 불행하게도,  $N+2$  차원 Markov 프로세스를 정확하게 분석한

다는 것은 무척이나 복잡하다. 대신에 평형점 분석법을 사용하여 분석을 하기 위해 앞서 나열한 시스템 변수들을 다시 나타내보면 다음과 같다[6].

$$\omega = \{s, c, r_0, r_1, \dots, r_{N-1}\}, \quad (6)$$

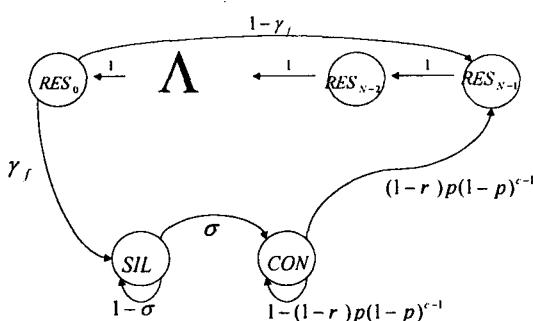


그림 3. 초기 슬롯 접속 시의 음성 터미널에 대한 Markov 모델

Fig. 3. Markov model for voice terminal at initial timeslot access

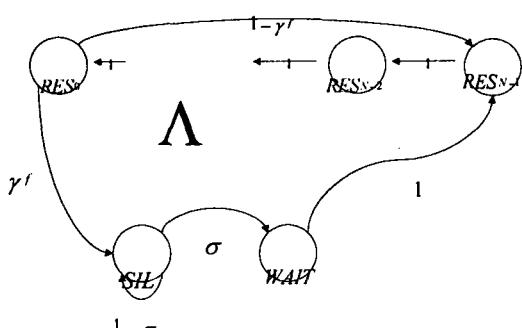


그림 4. 초기 슬롯 접속 이후의 음성 터미널에 대한 Markov 모델

Fig. 4. Markov model for voice terminal after initial timeslot access

이와 같이  $c$ 는  $C$ 의 평형값을 나타낸다. 평형점은 임의의 시간에서 상태 변수( $S, C, R_i$ )들의 평균변화율이 0인 것으로 정의된다. 즉, 어떤 시간에서 변수의 변화는 없다. 이는 예를 들어, 임의의 시간에  $CON$  state를 떠나는 터미널과  $CON$  state에 들어오는 터미널의 평균율은 정확히 같다는 것이다.

분석은 저속 음성 활성 검파기를 가지는 터미널을 중심으로 했으며, 터미널이 예약슬롯을 얻기 전에 활성기가 끝나는 경우는 제외하였다.

#### (1) 터미널 상태와 천이

그림 3은  $N+2$  states를 가지는 음성 터미널을 나타낸 것이다. 터미널의 state 천이는 각 슬롯의 끝 부분에서 일어난다. 초기 활성기가 시작되면 터미널은 확률  $\sigma$ 를 가지고  $SIL$  state에서  $CON$  state로 천이 한다.  $RES_i$  ( $i \neq 0$ ) state에서 터미널은 항상  $RES_{i-1}$  state로 천이 한다. state가  $RES_0$ 에 이르렀을 때 더 전송할 패킷이 있다면  $RES_{N-1}$  state로 돌아간다. 활성기에 의해 생성된 패킷의 마지막 패킷을 전송한 후에 터미널은  $SIL$  state로 들어간다.  $RES_0$  state에서  $SIL$  state로 천이 될 확률은  $\gamma_f = 1 - (1 - \gamma)^N \approx N\gamma$ ,

여기서  $\gamma$ 는 프레임내의  $N$ 개의 슬롯 중 임의의 슬롯에서 활성기가 끝날 확률이다.  $CON$  state를 떠나기 위해서는 다음의 세 가지 조건을 만족하여 예약슬롯을 얻어야만 한다.

- 슬롯이 사용 가능해야 한다.
- 전송확률을 만족해야 한다.
- 다른 터미널의 패킷과 충돌이 발생하지 않아야 한다.

위의 조건은 서로 독립적이므로  $CON$  state에서  $RES_{N-1}$  state로의 천이는 위의 세 가지 조건을 나타내는 세 개의 요소의 곱으로 표시된다.

#### (2) 시스템 평형

PRHMA 시스템 모델은 전체  $M$ 개의 터미널로 구성되고, 각각의 터미널은 그림 3의 상태 중의 하나에 있을 수 있다. 시스템 상태 변수는  $S, C, R_i$ 이고 각각의 상태에 있는 터미널의 개수를 나타낸다. 시스템 상태 변수의 값은 각 슬롯의 끝에서 변화되고 그 합은 항상  $M$ 이다. 평형점 분석을 위하여 Tasaka[6]의 방법에 따라 시스템 상태 변수를 소문자로 나타내었다.

- $c = eq(C) = \text{equilibrium number of terminals in state } CON$

- $s = eq(S) = \text{equilibrium number of terminals in state } SIL$
- $r_i = eq(R_i) = \text{equilibrium number of terminals in state } RES_i, (8)$

평형값은 정수가 아니라 실수라는 것에 주의하자. 모든 슬롯은 동일한 예약될 확률  $r$ 을 가진다.

$$r_0 = r_1 = r_2 = \dots = r_{N-1} = r, \quad (9)$$

$CON$  state에서  $RES_{N-1}$  state로의 천이 확률은 다음의 세 가지의 확률의 곱으로 나타나 어진다.

- $1 - r$  : 슬롯이 사용 가능할 확률(즉, 슬롯이 예약되어 있지 않고 비어있을 확률)
- $p$  : 전송확률
- $u(c)$  : 현재 슬롯에서 전송확률을 만족하는 다른 터미널이 존재하지 않을 확률

$$u(c) = (1 - p)^{c-1}, \quad c \geq 1 \\ = 1, \quad c < 1 \quad (10)$$

$RES_{N-1}$  state에서의 평형방정식은 그 상태를 기준으로 유입과 유출을 계산하여 다음과 같이 쓰여질 수 있다.

$$r(1 - \gamma_f) + c p u(1 - r) = r, \quad (11)$$

여기서  $u = u(c)$ 이다. 유사하게  $SIL$  state에서의 평형방정식은,

$$r\gamma_f = s\sigma. \quad (12)$$

$N+2$  state에서의 모든 터미널의 수는  $M$ 이므로, 다음의 식을 얻을 수 있다.

$$s + c + Nr = M, \quad (13)$$

이로써 3개의 미지수( $c, s, r$ )를 포함하는 세 개의 식(11)-(13)이 주어졌다. 이 세 개의 식을 풀면 시스템의 평형 상태 변수 값을 알 수 있다 (자세한 내용은 [6]-[8] 참고).

### (3) 패킷 폐기 확률

터미널은 지정된 지연시간  $D = \lceil D_{MAX}/T \rceil$  slots ( $N$ 의 정수배)을 초과할 때까지 슬롯을 예약하지 못한 패킷을 폐기시킨다. 패킷 폐기 확률을 구하기 위하여 터미널이 활성기가 시작된

후로부터  $j$  슬롯 후에 슬롯을 예약할 확률을 유도하였다( $j$ 는 임의의 정수). 만약  $j \leq D$ 라면 어떤 패킷도 폐기되지 않는다.  $j \geq D$ 라면 하나 이상의 패킷이 폐기될 것이다. 먼저 평형상태에 있는 PRHMA 시스템을 가정한다. 임의의 특정 시간에, 경합중인 터미널의 수는  $C$ 이고 하나의 프레임에서 예약을 유지하고 있는 터미널의 수는  $R$ 이다. 패킷 폐기 확률을 계산하기 위하여 현재 슬롯에서 활성기가 시작된 터미널을 고려한다. 활성기는  $L$ 개의 패킷으로 구성되어 있다고 하고 터미널이 예약을 얻기 전에  $k$  ( $k = 0, 1, \dots, L$ )개의 패킷이 폐기될 확률을 구하였다. 분석은 이미  $C$ 개의 터미널이  $CON$  state에서 경합을 벌이고 있을 때 새로이 활성기가 시작된 하나의 터미널이 나머지  $C$ 개의 터미널과 경합을 벌이는 시점에서 시작한다. 예약을 얻기 위해서는 다음의 조건을 만족해야 한다.

- 슬롯이 예약되어 있지 않아야 한다. 확률은  $1 - (R/N)$ ;
  - 터미널이 전송확률을 만족해야 한다. 확률은  $p$ ;
  - 다른  $C$ 개의 터미널은 전송확률을 만족하지 말아야 한다. 확률은  $(1 - p)^C$ ;
- 터미널은 위의 세 가지 조건을 동시에 만족시키지 않는 한  $CON$  state에 머물게 된다. 이 확률을 다음과 같이 정의한다.

$$v = v(C, R) = 1 - (1 - R/N)p(1 - p)^C \quad (14)$$

활성기가 시작된 터미널은 예약을 얻기 위하여  $j$  슬롯을 기다려야 한다. 이를 기다림(waiting) 확률  $P_W(j)$ 라 하면 다음과 같이 기하분포로 나타내어질 수 있다.

$$P_W(j) = (1 - v)v^{j-1}, \quad j = 1, 2, \dots \quad (15)$$

$L$  패킷 길이의 활성기에서  $j \leq D$ 라면 어떤 패킷도 폐기되지 않는다. 여기서  $D$ 는 음성 전송 지연 제약이다.  $D$  슬롯을 기다린 후에 터미널은 활성기에 의해 발생된 패킷 중 최초의 패킷을 폐기시킨다. 만약  $D+N$  슬롯 후에도 슬롯을 예약하지 못하면 두 번째 패킷을 폐기시킨다. 이런식으로 생각해보면  $D+(L-1)N$  슬롯 후

에도 여전히 슬롯을 예약하지 못한 경우에는 활성기에 의해 발생된 모든 패킷이 폐기된다. 이를 식으로 표현하면,

$$n_{drop}(j) = 0, \quad \text{if } 1 \leq j \leq D;$$

$$n_{drop}(j) = k \quad (0 < k < L), \\ \text{if } D + (k-1)N + 1 \leq j \leq D + kN;$$

$$n_{drop}(j) = L, \\ \text{if } D + (L-1)N + 1 \leq j; \quad (16)$$

식 (15)와 (16)을 사용하여  $L$ 개의 활성기에 의해 발생된 패킷 중  $k$ 개의 패킷이 폐기될 확률을 구해보면,

$$\Pr(N_{drop} = 0 | L) = \sum_{j=1}^D P_W(j) = 1 - v^D$$

$$\Pr(N_{drop} = k | L) = \sum_{j=D+(k-1)N+1}^{D+kN} P_W(j) \\ = v^{D+(k-1)N} - v^{D+kN} \quad \text{if } 1 \leq k \leq L-1$$

$$\Pr(N_{drop} = L | L) \\ = \sum_{j=D+(L-1)N+1}^{\infty} P_W(j) = v^{D+(L-1)N} \quad (17)$$

$L$ 개의 활성기에 의해 발생된 패킷에 대해, 평균 폐기된 패킷의 수는

$$E[n_{drop} | L] = \sum_{k=0}^L k \Pr(n_{drop} = k | L) \\ = v^D \frac{1 - v^{NL}}{1 - v^N} \quad (18)$$

활성기에서 발생된 패킷이  $L$ 개의 패킷으로 이루어질 확률은

$$\Pr\{L\} = \gamma_f(1 - \gamma_f)^{L-1} \quad (19)$$

(19)식과 관련하여 (18)식의 기대값을 구하면 다음과 같다.

$$E[n_{drop}] = \sum_{L=1}^{\infty} E[n_{drop} | L] \Pr(L) \\ = \frac{v^D}{1 - (1 - \gamma_f)v^N} \quad (20)$$

마지막으로 패킷 폐기 확률은 활성기 동안 발생된 패킷 중 폐기된 패킷 수와 활성기 동안 발생된 패킷의 평균 개수의 비율로 나타낼 수 있다. 이를 수식으로 나타내면,

$$P_{drop} = \gamma_f \frac{v^D}{1 - (1 - \gamma_f)v^N} \quad (21)$$

#### IV. 시뮬레이션 및 결과

분석은 음성을 중심으로 성능평가 요소인 패킷 폐기 확률을 Matlab 프로그램을 이용하여 구현해 보았으며, 시뮬레이션은 평균 호의 길이를 3분으로 하고 전송확률과 동시 사용자 수의 값을 변화시켜 구현하였다. 구현 방법은 다음과 같다.

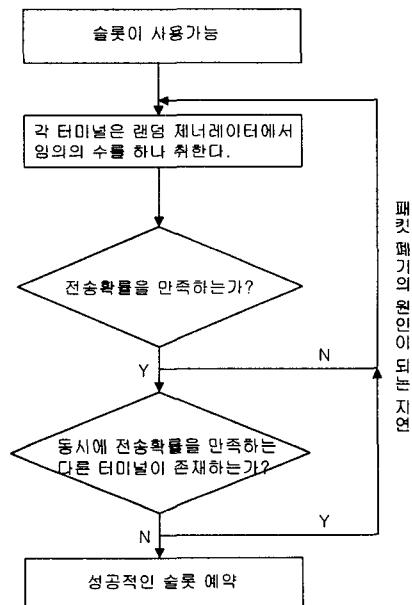


그림 5. 시뮬레이션을 위한 순서도  
Fig. 5. Flowchart for simulation

시뮬레이션 결과(그림 6, 7, 8) 동시사용자 수의 변화에 따라 기존의 PRMA보다 더 적은 패킷 폐기 확률을 가짐을 보였다. 패킷 폐기 확률은 0.01이하가 되어야 음성의 품질을 저하시키지 않고 통화를 할 수 있다.

시뮬레이션에 사용된 파라미터는 다음과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation parameter

시뮬레이션 파라미터	값
음성 소스율	32 kbps
평균 활성기	1.0 sec
평균 휴지기	1.35 sec
전송 확률	variable
최대 전송 지연	40 msec

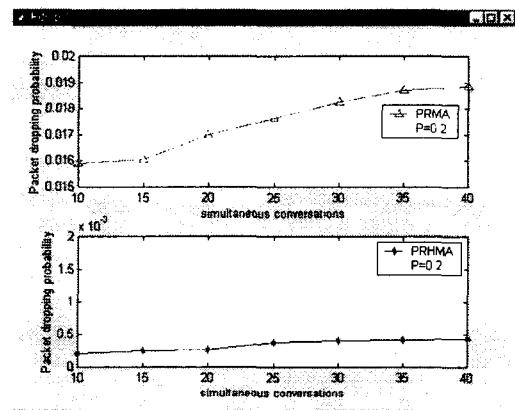


그림 6.  $P_v=0.2$  일 때 패킷 폐기 확률  
Fig. 6. Packet dropping probability with  $P_v=0.2$

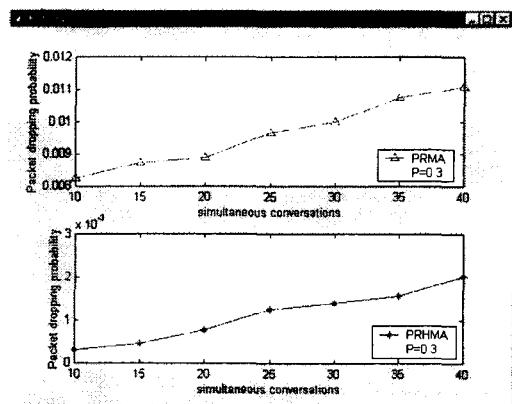


그림 7.  $P_v=0.3$  일 때 패킷 dropping 확률  
Fig. 7. Packet dropping probability with  $P_v=0.3$

## V. 결 론

본 논문에서는 기존의 PRMA에서 터미널이 음성의 휴지기에 예약한 슬롯을 끊는 것과는 달리 HR 제어슬롯을 사용하여 휴지기에 예약한 슬롯을 끊지 않고 호가 종료될 때까지 예약한 슬롯

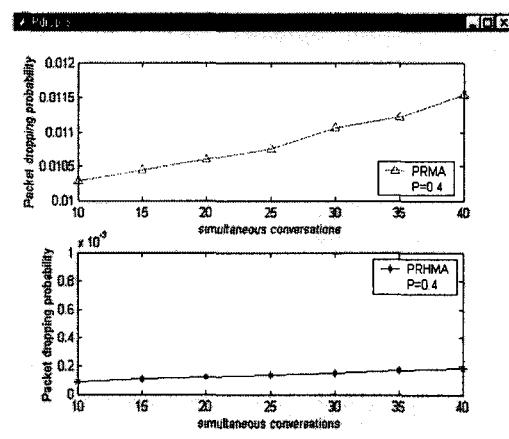


그림 8.  $P_v=0.4$  일 때 패킷 dropping 확률  
Fig. 8. Packet dropping probability with  $P_v=0.4$

을 유지함으로써 초기 접속 시 이외의 추가적인 패킷의 폐기가 일어나지 않는 방법을 제시하였다. 시뮬레이션 결과 기존의 PRMA 방식보다 더 낮은 패킷 폐기 확률을 가짐을 볼 수 있었다. 앞으로의 연구에서는 데이터와 영상이 동시에 존재하는 환경을 분석하고 각 트래픽 종류에 따른 ATM QoS 파라미터의 분석에 관한 연구가 필요할 것이다.

접수일자 : 2000. 9. 7. 수정완료 : 2000. 10. 17

## 참고문헌

- [1] D. J. Goodman, R. A. Valenzeula, K. T. Gayliard, and B. Ramamurthi, "Packet reservation multiple access for local wireless communications", IEEE Trans. Commun., vol.37, pp.885-890, Aug. 1989
- [2] 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
- [3] W. C. Wong and D. J. Goodman, "A packet reservation multiple access protocol for integrated speech and data transmission", IEE Proc.-I, vol.139, Dec. 1992
- [4] S. Nanda, D. J. Goodman, Uzi Timor,

- "Performance of PRMA: A packet voice protocol for cellular systems", IEEE Trans. Vehic. Tech., vol.40, No.3, pp.584-598, Aug. 1991
- [5] Romano Fantacci, Francesco Innocenti, "Performance Evaluation of a Modified PRMA Protocol for Joint Voice and Data Packet Wireless Networks", IEEE Trans. Commu., vol.47, No.12, pp.1837-1848, 1999
- [6] S. Tasaka, "Stability and performance of the R-ALOHA packet broadcast system", IEEE Trans. Comput., vol. C-32, pp. 717-726, Aug. 1983
- [7] A. B. Carleial and M. E. Hellman, "Bistable behavior of ALOHA-type systems", IEEE Trans. Commun., vol. COM-23, pp.401-410, Apr. 1975
- [8] L. Kleinrock and S. S. Lam, "Packet switching in a multiaccess broadcast channel: Performance evaluation", IEEE Trans. Commun., vol. COM-23, pp.410-423, Apr. 1975
- [9] David J. Goodman, Sherry X. Wei, "Efficiency of Packet Reservation Multiple Access", IEEE transactions vehicular technology, vol.40, No.1, pp.170-176, 1991
- [10] Parthasarathy Narasimhan, Roy D. Yates, "A New Protocol for the Integration of Voice and Data over PRMA", IEEE journal on selected areas in communications, vol.14, No.4, pp.623-630, 1996
- [11] Xuejun Sha, Chung G. Kang, "A Dynamic Frame PRMA Protocol for Wireless ATM Networks", ICCT, 1998



김환의(Hwan Ui. Kim)

準會員

1999년 명지대학교 전기전

자공학부 졸업

1999년-현재 명지대학교 대

학원 정보통신공학과 재학

관심분야 이동통신, 위성통신, IMT-2000



김덕년(Doug Nyun Kim)

正會員

1971-1975 서울대학교 전기

공학 학사

1980-1981 SUNY at Ston

y Brook 전기공학 석사

1985-1988 Auburn University 전기공학 박사