

논문 2005-42TC-6-5

# 광대역 무선 접속 시스템의 MAC 프로토콜 성능분석

## (Performance Analysis of the MAC protocol for the Broadband Wireless Access System)

조 광 오\*, 황 유 선\*\*, 박 애 순\*\*, 이 정 규\*

(Kwang-Oh Cho, You-Sun Hwang, Ae-Soon Park, and Jong-Kyu Lee)

### 요 약

본 논문에서는 광대역 무선 접속 시스템에서 동적 예약 접속 프로토콜의 메시지 지연시간을 해석적으로 분석한다. IEEE 802.16 BWA 와 ETSI HIPERLAN/2 와 같은 광대역 무선 접속 시스템은 무선 MAN 의 시스템 커버리지를 갖으며, 단말의 이동성을 지원하지 않는, 즉 단말이 고정되어 있는 시스템이다. 또한 광대역 무선 접속 시스템에서 사용하는 MAC 프로토콜은 트래픽별 QoS 를 효율적으로 지원하기 위하여 경쟁 기반으로 동적 예약을 지원하는 TDMA 방식을 사용한다. 이와 같은 통신망을 분석하기 위하여 경쟁 기반 동적 예약 방식을 지원하는 TDMA 프로토콜의 성능을 해석적으로 분석한다.

### Abstract

In this paper, we analyzed the DRMA(Dynamic Reservation Multiple Access) protocol with Rayleigh fading, shadowing, and capture effect for the Broadband Wireless Access System. We consider the TDMA-based protocols, since these are based on the standard for IEEE 802.16 WMAN, IEEE 802.20 MBWA, and ETSI HIPERLAN/2. The results of analytical model will be apply the development of collision resolution algorithm, scheduling algorithm, and the dynamic change of system parameters.

keyword : ETSI HIPERLAN/2, IEEE 802.16 BWA, MAC protocol, dynamic reservation

## I. 서 론

IEEE 802.16 Broadband Wireless Access (BWA) 와 ETSI HIPERLAN/2 와 같은 광대역 무선 접속 시스템은 무선 MAN 의 시스템 커버리지를 갖으며, 단말의 이동성을 지원하지 않는, 즉 단말이 고정되어 있는 시스템이다. 또한 광대역 무선 접속 시스템에서 사용하는 Medium Access Control (MAC) 프로토콜은 트래픽별 Quality of Service (QoS) 를 효율적으로 지원하기 위하여 경쟁 기반으로 동적 예약을 지원하는

Time Division Multiple Access (TDMA) 방식을 사용하고, Time Division Duplex (TDD) 와 Frequency Division Duplex (FDD) 방식을 모두 지원한다. TDD 방식에서 업링크와 다운링크 메시지들은 모두 동일한 신호를 이용하여 전송된다. 시간 축은 프레임으로 나누어지며, 프레임의 일부는 업링크 채널로, 프레임의 나머지 부분은 다운링크 채널로 사용된다. 하나의 프레임은 크게 채널 경쟁과 사용자 트래픽 등을 위하여 동적으로 할당되며, 이때 할당되는 슬롯의 수는 기지국의 MAC 계층에서 동적으로 제어된다. 이와 같은 통신망을 분석하기 위하여 경쟁 기반 동적 예약 방식을 지원하는 TDMA 프로토콜의 성능을 해석적으로 분석한다.

II 장에서는 해석적 분석 모델을 설명하고, III 장에서는 패킷 지연 시간을 해석적으로 분석하고, 지연 시간

\* 정회원, 한양대학교 전자컴퓨터공학부  
(Dept. of E.E.C.S., Hanyang University)

\*\* 정회원, 한국전자통신연구원  
(ETRI)

접수일자: 2004년12월7일, 수정완료일: 2005년5월24일

분포 함수를 제시하며, IV장에서는 분석 결과를 살펴보고, V장에서 결론을 내린다.

### II. 분석 모델

#### 1. 시스템 모델

광대역 무선 접속 시스템은 기지국에서 스케줄링 및 대부분의 트래픽 관리 역할을 수행하는 중앙집중식 MAC 프로토콜의 일종으로 경쟁 및 예약 방식을 모두 사용한다. 하나의 프레임은 기본 단위로 사용하며 하나의 프레임은 TDMA 시스템의 최소 단위인 타임 슬롯 단위로 다시 나누어진다. 또한 하나의 프레임은 TDD 방식에 의해 다운링크 영역과 업링크 영역으로 나뉘어진다. 다운링크 영역은 기지국에서 단말로 데이터가 전송되는 영역이며, 반대로 업링크 영역은 단말에서 기지국으로 데이터를 전송하는 영역이다. 다운링크 영역에서는 기지국이 방송(broadcasting)을 통해 데이터를 전송하므로 충돌이 발생하지 않지만, 업링크 영역에서는 서로 다른 단말들이 데이터를 전송하려고 하기 때문에 충돌이 발생하게 된다. 업링크 영역에서의 충돌을 해결하기 위한 방법들은 여러 가지가 있지만, 분석하고자하

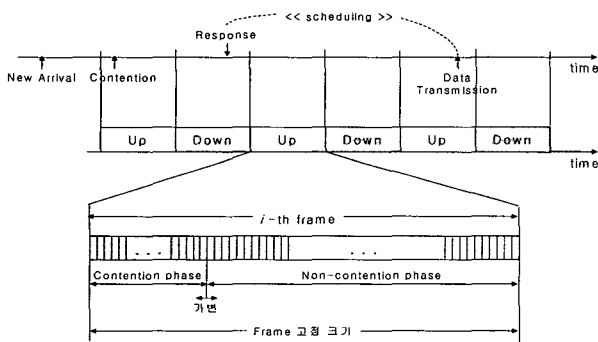


그림 1. 동적 TDMA의 프레임 구조  
Fig. 1. Frame Structure of the Dynamic TDMA.

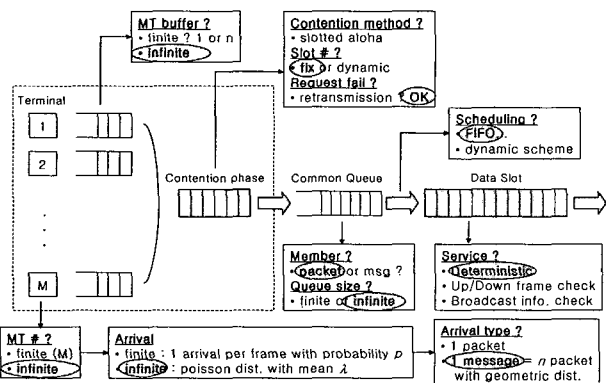


그림 2. 시스템 모델  
Fig. 2. System Model.

는 광대역 무선 접속 시스템에서는 예약 방식을 사용한다. 그러나 예약 방식에서는 경쟁을 위하여 매 프레임마다 고정된 크기의 타임 슬롯을 할당하여 사용하기 때문에 예약 요청을 시도하는 단말의 수에 따라 타임 슬롯이 부족하기도 하고 낭비가 되기도 한다. 이에 광대역 무선 접속 시스템에서는 매 프레임마다 고정된 크기의 타임 슬롯을 사용하는 것이 아니라 그 크기가 변하는 동적 예약 방식을 사용한다. 다음 그림 1은 동적 예약 방식의 일반적인 프레임의 구조이다<sup>[1-9]</sup>.

그림 2는 광대역 무선 접속 시스템에서 동적 예약 접속 프로토콜의 성능을 해석하기 위한 시스템 모델이다. 해석적 분석을 할 때 사용자 또는 단말의 수에 대한 모델은 유한 가입자로 할 수도 있고, 무한 가입자로 가정할 수도 있다. 그리고 사용자 또는 단말에 도착하는 단위는 패킷 단위로 도착할 수도 있고 메시지 단위로 도착할 수도 있다. 도착한 메시지에 대하여 사용자 또는 단말은 자체의 버퍼를 가지고 있어서 계속해서 도착하는 메시지를 저장할 수도 있고, 버퍼가 없어서 하나의 메시지가 도착한 후 도착한 메시지를 처리할 때까지 새로운 메시지를 발생시키지 않을 수도 있다.

사용자 또는 단말에 도착한 메시지의 채널 예약을 위한 경쟁 방식은 slotted ALOHA 방식을 사용하며, 채널 예약을 위해 사용하는 경쟁 슬롯의 수는 고정 또는 동적으로 가정할 수 있다. 만일 사용자 또는 단말이 도착한 메시지에 대한 예약 요청을 시도하고 실패하는 경우에는 재전송 여부를 고려해야 한다.

기지국은 가상의 큐를 두고 채널 경쟁 이후 살아남은 예약 요청 메시지들에 대하여 슬롯을 할당하기 위하여 메시지들을 패킷 단위로 분할하여 쌓아둘 수 있다. 또한 분석을 위하여 큐의 크기를 유한 또는 무한으로 가정할 수 있다. 기지국은 가상의 큐에 저장되어 있는 패킷들을 처리하기 위한 스케줄링 방식으로 가장 일반적인 방식인 First Come First Serve (FCFS) 방식을 선택한다 [10-26]

### III. 패킷 지연 시간 분석

#### 1. 패킷 지연 시간

TDMA 기반 동적 예약 접속 프로토콜에서 메시지 지연 시간에 대한 성능 평가는 유한 가입자 모델과 무한 가입자 모델에서 수행할 수 있다. 유한 가입자 모델은 단말의 수를 고정하고, 단말의 입장에서 성능 평가를 수행하는 것이며, 무한 가입자 모델은 단말의 수를 고려

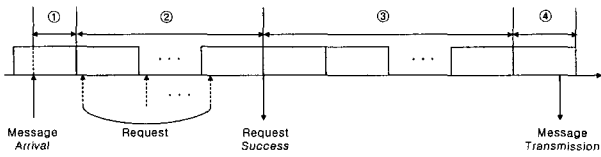


그림 3. 지연시간 구성요소  
Fig. 3. Components of delay time.

하지 않고, 프레임의 입장에서 성능 평가를 수행하는 것이다. 메시지 지연 시간은 그림 3과 같이 4 가지 요소로 구성되며, 분석모델에 따라 다음과 같이 비교될 수 있다.

- ① 메시지 도착 이후다음 프레임의 시작 시점까지 기다리는 평균 시간
- ② 채널 경쟁에 참여한 이후 채널 예약에 성공할 때까지 걸리는 평균 시간
- ③ 채널 예약 성공 후 자신의 메시지보다 먼저 큐에 도착한 패킷 처리 시간
- ④ 자신의 메시지에 대한 패킷 처리가 끝나는 시간

2. 메시지가 도착 이후 다음 프레임의 시작 시점까지 기다리는 평균 시간

그림 4 와 같이 하나의 프레임의 길이를  $F$  로, 하나의 프레임 내에  $i$  번째 메시지가 도착하는 시점을  $\tau_i$  로 정의하면,  $\tau_i$  는 균일분포  $U_i \text{ Unif}(0, F)$  따르는 i.i.d 인 확률 변수이다. 그리고 하나의 프레임 길이인  $(0, F]$  동안 도착하는 메시지의 수를  $X$  라고 가정하면, 하나의 프레임 내에 도착하는 모든 메시지에 대한 총 누적 시간은 유니폼(uniform) 분포를 따르기 때문에 채널 예약 경쟁을 위해 기다리는 시간은 다음과 같다.

$$E\left[\sum_{i=1}^X (F - \tau_i)\right] / E[X] = \frac{F}{2} \quad (5)$$

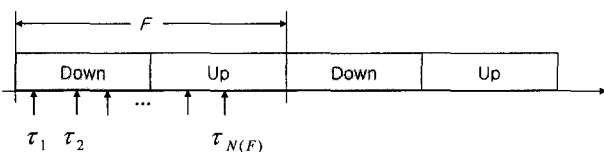


그림 4. 채널 예약 경쟁을 위해 기다리는 시간  
Fig. 4. Waiting time for channel reservation competition.

3. 채널 경쟁에 참여한 이후 채널 예약에 성공할 때까지 걸리는 평균 시간

채널 경쟁에 참여하는 메시지의 수가  $n$  개이고, 채널 경쟁 영역에서 사용할 수 있는 타임 슬롯의 수가  $v$  개인 경우 채널 경쟁 이후 살아남은 메시지 수는 'Random  $n$  objects of  $v$  cells' 에서 구한 결과를 사용할 수 있다<sup>[28,29]</sup>. 임의 프레임의 시작 시점에서 이전 한 프레임 동안 도착한 메시지의 수를 랜덤 변수  $X$  라고 하고, 현재 프레임의 채널 경쟁 영역의 타임 슬롯 수  $C$  동안 채널 경쟁을 시도한 후 다음 프레임의 시작 시점에서 기지국으로부터 채널 예약 성공 패킷을 받는 메시지의 수가 랜덤 변수  $S$  라고 정의한다.

이상의 사항들을 고려하여  $k$  개의 메시지가 채널 경쟁을 위한  $C$  개의 타임 슬롯을 이용하여 채널 예약 요청을 시도하여 채널 경쟁이 끝난 이후  $s$  개의 메시지의 채널 예약이 성공할 확률은  $\Pr(S = s | X = k)$  는 다음과 같다.

$$\Pr(S = s | X = k) = \frac{(-1)^s C! k!}{C^k s!} \times \sum_{j=s}^{\min(C,k)} (-1)^j \frac{(C-j)^{k-j}}{(j-s)!(C-j)!(k-j)!} \quad (8)$$

이전 하나의 프레임 동안 도착하는 메시지 수에 상관 없도록 조건  $X = k$  를 포아송 분포를 이용하여 풀면 다음과 같다.

$$\Pr(S = s) = \sum_{k=0}^{\infty} \left\{ \frac{(-1)^s C! k!}{C^k s!} \times \sum_{j=s}^{\min(C,k)} (-1)^j \frac{(C-j)^{k-j}}{(j-s)!(C-j)!(k-j)!} \right\} \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!} \quad (9)$$

식 (9) 를 이용하여 하나의 프레임 동안 채널 경쟁 이후 채널 예약 요청이 성공하는 평균 메시지 수  $E[S]$  는 쉽게 구할 수 있다.

$$E[S] = \sum_{s=0}^{\infty} s \cdot \Pr(S = s) = \sum_{s=0}^C s \cdot \Pr(S = s) \quad (10)$$

채널 예약 요청이 성공하는 평균 메시지 수  $E[S]$  를 이용하여 사용자 또는 단말이 채널 경쟁에 참여한 이후 채널 예약에 성공할 때까지 걸리는 평균 시간을 구하기 위하여 하나의 프레임 동안 도착하는 평균 메시지 수를 정수화하여  $M = \lfloor E[X] \rfloor$  으로 정의한다. 그리고 채널 경쟁 이후 채널 예약 요청이 성공한 평균 메시지 수  $K = \lfloor E[S] \rfloor$  라 하면, 평균  $M$  개의 메시지가

채널 요청을 시도하고, 평균  $K$  개의 메시지가 채널 경쟁 이후 채널 예약 요청에 성공하는 경우에 특정 메시지가 성공할 확률은  $p = \left(\frac{M-1}{K-1}\right) / \left(\frac{M}{K}\right)$  인 기하 분포를 따른다. 임의 메시지가 도착하고 채널 예약에 성공할 때까지의 채널 예약 요청 시도 수를 랜덤 변수  $Z$  라고 하면,  $\Pr(Z=z)$  는 다음과 같다.

$$\Pr(Z=z) = q^{z-1}p, z=1,2,\dots, q=1-p \quad (11)$$

임의 메시지가 도착하고 채널 예약 요청이 성공할 때까지의 평균 채널 예약 요청 수  $E[Z]$  는 다음과 같다.

$$E[Z] = \frac{1}{p} = \frac{\left(\frac{M}{K}\right)}{\left(\frac{M-1}{K-1}\right)} = \frac{M}{K} \quad (12)$$

그러므로 사용자 또는 단말이 채널 경쟁에 참여한 이후 채널 예약에 성공할 때까지 걸리는 평균 시간은 다음과 같다.

$$E[Z] \cdot F = \frac{M}{K} \cdot F = \left[ \frac{E[X]}{E[S]} \right] \cdot F \quad (13)$$

#### 4. 채널 예약 성공 후 자신의 메시지보다 먼저 큐에 도착한 패킷 처리 시간

채널 예약 성공 후 자신의 메시지보다 먼저 큐에 도착한 패킷의 평균 처리 시간을 구하기 위하여 앞 절에서 구한 식 (9)  $\Pr(S=s)$  를 사용한다. 채널 예약 요청에 성공한 메시지가 기지국 내의 가상의 큐에 쌓이는 경우에 메시지 내의 패킷 수는 평균 1인 기하분포를 따른다. 그리고 각각의 메시지가 기하분포를 따르는 메시지들을 골라서 다시 하나의 메시지로 구성한다고 가정하면, 새로 구성된 메시지의 길이는 음이항 분포를 따른다. 채널 예약 요청한 메시지 수가  $s$  인 경우,  $s$  개 메시지들의 모든 패킷의 합이  $y$  일 확률은 다음과 같이 구할 수 있다. 단,  $y$  는 채널 예약에 성공한 메시지들의 모든 패킷의 합이므로  $s \neq 0$  인 경우라면  $y \neq 0$  이므로  $\Pr(Y=y | S=s)$  는 다음과 같다.

$$\Pr(Y=y | S=s) = \binom{y-1}{s-1} p^s q^{y-s},$$

$$y = s, s+1, s+2, \dots \quad (14)$$

위의 식 (14) 를 이용하여 채널 예약 요청에 성공한 메시지 수에 상관없이 채널 경쟁이 끝난 이후 새로 생

성되는 모든 패킷의 수가  $y$  개일 확률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Pr(Y=y) = \sum_{s=1}^C \left\{ \binom{y-1}{s-1} p^s q^{y-s} \right\} \sum_{k=0}^{\infty} \left\{ \frac{(-1)^s C! k!}{C^k s!} \right. \\ \left. \times \sum_{j=s}^{\min(C,k)} (-1)^j \frac{(C-j)^{k-j}}{(j-s)!(C-j)!(k-j)!} \right\} \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!} \quad (15)$$

임의 시점에 기지국에서 가상의 큐 내에 남아있는 패킷 수가 안정 상태에서  $i$  개가 존재할 확률을  $\pi_i$  라고 할 때, 상태  $i$  에서  $j$  로 갈 확률을  $p_{ij}$  라고 할 때, 전이 행렬  $P=(p_{ij})$  는 다음과 같다. 여기에서  $p_{ij}$  는 업링크 영역내의 총 타임 슬롯 수  $N$  과 채널 경쟁 영역 이후 예약 요청에 성공한 모든 메시지들의 총 패킷 수  $e_y$  에 의존한다. 기지국 내의 패킷 수에 대한 전이확률을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{array}{cccccccc} & 0 & 1 & \dots & N-1 & N & N+1 & \dots & K-1 & \dots \\ \begin{array}{c} 0 \\ 1 \\ \vdots \\ N \\ N+1 \\ \vdots \end{array} & \left[ \begin{array}{cccccccc} e_0 & e_1 & \dots & e_{N-1} & e_N & e_{N+1} & \dots & e_{K-1} & \dots \\ e_0 & e_1 & \dots & e_{N-1} & e_N & e_{N+1} & \dots & e_{K-1} & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \dots & \cdot \\ e_0 & e_1 & \dots & e_{N-1} & e_N & e_{N+1} & \dots & e_{K-1} & \dots \\ 0 & e_0 & \dots & \dots & e_{N-1} & e_N & \dots & e_{K-2} & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \dots & \cdot \end{array} \right] \end{array} \quad (17)$$

식 (17) 전이확률을 이용하면  $\pi_i$  는 다음과 같이 구할 수 있다.

•  $j = 0$  인 경우

$$\pi_0 = \pi_0 e_0 + \pi_1 e_0 + \dots + \pi_N e_0 = \left( \sum_{i=0}^N \pi_i \right) e_0 \quad (18)$$

•  $j \geq 1$  인 경우

$$\pi_j = (\pi_0 e_j + \pi_1 e_1 + \dots + \pi_N e_N) + \sum_{i=1}^j \pi_{N+i} e_{j-i}$$

$$= \left( \sum_{i=0}^N \pi_i \right) e_j + \sum_{i=1}^j \pi_{N+i} e_{j-i} \left( \frac{\pi_0}{e_0} \right) e_j + \sum_{i=1}^j \pi_{N+i} e_{j-i} \quad (19)$$

그리고 안정상태에서 모든  $\pi_i$  의 합은 1 이므로 다음 식과 같다.

$$\sum_{i=0}^{\infty} \pi_i = 1 \quad (20)$$

그러므로 식 (18) - (20) 을 이용하여 컴퓨터로 계산하면 임의의 프레임의 시작 시점에서 기지국 내 가상 큐 내에 패킷이  $i$  개 존재할 확률  $\pi_i$  를 구할 수 있다. 그리고 안정 상태에서  $\pi_i$ 의 평균은  $E[Q] = \sum_{i=0}^{\infty} i \cdot \pi_i$  이다. 그러므로 채널 예약 성공 후 자신의 메시지보다 먼저 큐에 도착한 패킷의 평균 처리 시간은 다음과 같다.

$$\left[ \frac{E[Q]}{N_S} \right] \cdot F \quad (21)$$

5. 자신의 메시지에 대한 패킷처리가 끝나는 시간

채널 예약에 성공한 메시지에 대한 패킷 처리가 끝나는 평균 시간은 평균  $p_m$ 인 기하분포를 따르므로  $E[L] = 1/p_m$ 이다. 그러므로 채널 예약에 성공한 메시지의 패킷 처리가 끝나는 평균 시간은 다음과 같다.

$$\left[ \frac{1}{N p_m} \right] \cdot F \quad (22)$$

6. 동적 예약 접속 프로토콜의 패킷 지연 시간

하나의 프레임의 길이를  $F$ , 하나의 프레임 동안 도착하는 평균 메시지 수는  $E[X]$  이고, 채널 경쟁 이후 채널 예약 요청에 성공한 평균 메시지 수는  $E[S]$  이다. 그리고 임의의 프레임의 시작 시점에서 기지국의 가상 큐 내에 남아있는 평균 패킷 수는  $E[Q]$ , 하나의 프레임 동안 업링크 영역 내의 타임 슬롯 수는  $N$ 이고, 채널 예약 요청에 성공한 평균 메시지의 길이를  $E[L]$  이라 하면, 평균 지연 시간은 다음과 같다.

$$\text{Delay} = \left[ \frac{F}{2} \right] + \left[ \frac{E[X]}{E[S]} \right] \cdot F + \left[ \frac{E[Q]}{N} \right] \cdot F + \left[ \frac{E[L]}{N} \right] \cdot F \quad (23)$$

7. 패킷 지연 분포 함수

(Packet Waiting Time Distribution Function)

임의의 메시지가 도착한 이후 서비스 받기 전까지의 패킷 지연 분포 함수는  $\pi_i$ 를 이용하면 쉽게 구할 수 있다. 임의의 메시지가 채널 예약에 성공한 경우에 해당 메시지가 스케줄링 받기 전까지 기다리는 대기 시간은  $l$ , 한 프레임의 길이를  $F$ 라고 하고, 채널 예약에 성공한 메시지는 기지국으로부터 스케줄링을 받아  $m+1$

번째 프레임에서 서비스 받는다고 가정할 때 대기 시간  $l$ 은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$l = m \cdot F + r, \quad 0 \leq r < F \quad (24)$$

채널 예약에 성공한 메시지 도착 시점에 기지국 내 가상 큐 내에 있는 패킷 수를  $Z_0$ 로 하고, 채널 예약에 성공한 메시지 도착한 이후  $t$  시간 경과 후에 기지국 내 가상 큐 내에 남아있는 패킷 수를  $Z_t$ 라고 가정한다. 단,  $Z_t$ 에는  $Z_0$  시점 이후에 새로 도착하는 패킷들은 포함되지 않는다. 그리고 하나의 프레임 동안 서비스 받을 수 있는 패킷 수는  $N$ 이라하고, 채널 예약에 성공한 메시지의 대기 시간의 랜덤 변수를  $W$  라고 하면 다음과 같은 식이 성립한다( $\Leftrightarrow$  은 동치(equivalent)를 의미한다).

$$\begin{aligned} W \leq l &\Leftrightarrow Z_t \leq N-1 \\ &\Leftrightarrow Z_r \leq m \cdot N + N-1 \\ &\Leftrightarrow Z_F \leq (m-1) \cdot N + N-1 \\ &\Leftrightarrow Z_F \leq mN-1 \end{aligned} \quad (25)$$

패킷 지연 분포 함수(waiting time distribution function)를 구하기 위하여  $b_\nu(F)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$b_\nu(F) = \Pr\{Z_F \leq \nu\} \quad (26)$$

$b_\nu(F)$ 를 이용하여 대기 시간 분포 함수를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Pr(W \leq l) &= b_{mN+N-1}(r) \Leftrightarrow \Pr(W \leq l) = b_{mN-1}(F) \\ l &= mF + r, \quad 0 \leq r < F \end{aligned} \quad (27)$$

그리고  $t$  시점에 기껏해야  $j$  개의 패킷이 존재할 확률은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} &\Pr( t \text{ 시점에 기껏해야 } j \text{ 개의 packet 존재 } ) \\ &= \sum_{k=0}^j \Pr( t-F \text{ 시점에 기껏해야 } (j-k) \text{ 패킷 존재 } \\ &\quad \& (t-F, t] \text{ 동안 } k \text{ 개 패킷 도 } \end{aligned} \quad (28)$$

한 프레임이 지난 후에  $k$  개의 패킷이 도착할 확률은  $e_k$ 이다. 그리고  $t \rightarrow \infty$  으로 안정상태에서는 채널 경쟁 이후 예약 요청에 성공한 메시지의 총 패킷 수는 memoryless property를 따르므로  $\Pr\{Z \leq j\}$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Pr(Z \leq j) = \sum_{k=0}^j \pi_k = \sum_{k=0}^j b_{j-k}(F) \cdot e_k, \quad j=0,1,2, \dots \quad (29)$$

위의 식을 반복 적용하면 다음과 같은 대기 시간 분포 함수를 구할 수 있다.

$$b_0(F) = e_0^{-1} \cdot \pi_0, \quad j=0 \quad (30)$$

$$b_j(F) = e_0^{-1} \cdot \left( \sum_{k=0}^j \pi_k - \sum_{k=1}^j b_{j-k}(F) \cdot e_k \right), \quad j \geq 1$$

IV. 시뮬레이션 결과

광대역 무선 접속 시스템은 IEEE 802.16 BWA 와 ETSI HIPERLAN/2 를 대상으로 고려하였다. 그러나 현재 실제 시스템이 없기 때문에 실제 파라미터를 얻기 어렵다. 그러므로 기존의 이더넷(Ethernet) 패킷 분포와 3GPP2 의 HTTP 트래픽 모델을 응용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하고, 그 결과를 해석적 분석 결과와 비교하였다.

그림 6 은 실제 시뮬레이션에서 바이너리 백오프를 적용하여 채널 예약 성공 메시지 수를 비교하였다. 그 결과 해석적 분석 결과와 시뮬레이션 결과가 아주 유사한 결과를 보임을 확인할 수 있다. 그림 7 은 전체 지연 시간에 대하여 바이너리 백오프 알고리즘을 사용한 것과 사용하지 않은 결과를 비교하였다. 그 결과 전체 지연 시간은 충돌 해소 알고리즘을 어떤 것을 사용하는가에 따라 지연 시간에 큰 영향을 주게 됨을 알 수 있다.

그림 8 은 채널 예약 요청을 시도한 후 채널 예약에 성공하는 메시지 수를, 그림 9는 큐 내에 남아있는 패킷에 대한 안정 상태 확률을 비교한 결과이다.

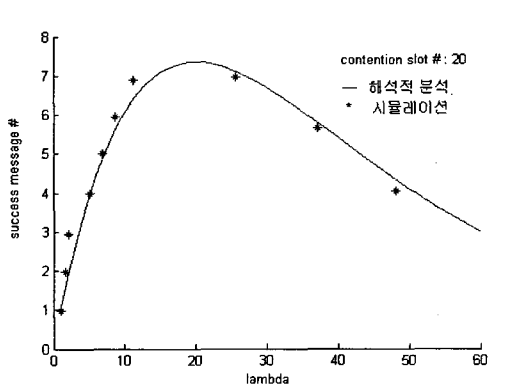


그림 6. 채널 예약 성공 메시지 수  
Fig. 6. the number of successful messages for channel reservation.

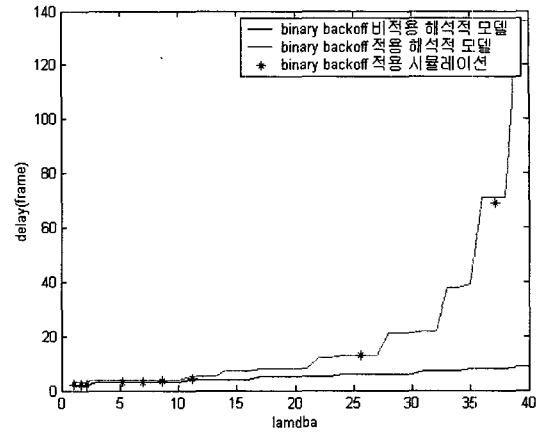


그림 7. 전체 지연 시간 비교  
Fig. 7. Comparison of total delay time.

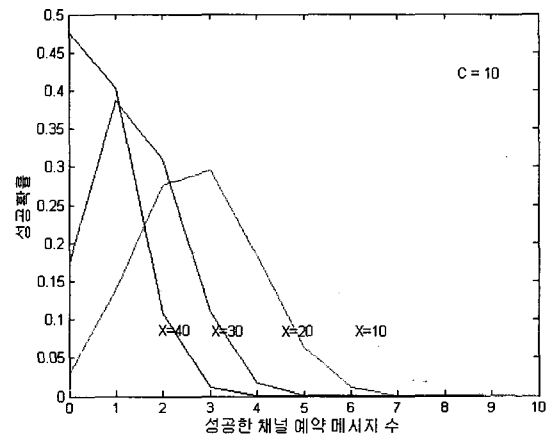


그림 8. 채널 예약 경쟁 결과 ( C = 10 )  
Fig. 8. Result of Channel Reservation Contention. ( C = 10 )

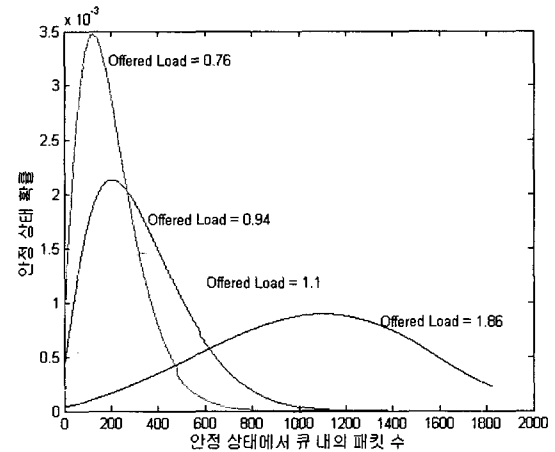


그림 9. 안정 상태 확률 비교  
Fig. 9. Steady state probability.

## V. 결 론

본 논문에서는 광대역 무선 접속 시스템에서 동적 예약 접속 프로토콜에 대하여 패킷 전송 지연 시간을 해석적으로 분석하였고, 패킷 전송 지연 분포 함수를 제시하였다. 본 논문의 결과를 응용하면, 광대역 무선 접속 시스템에서 단말의 수, 단말의 메시지 발생률과 메시지의 평균 길이 등의 초기 파라미터를 결정할 수 있으며, 시스템의 성능을 향상시키기 위하여 업링크 영역에서 경쟁 구간 슬롯의 수를 동적으로 변경시키기 위한 최적화 방안 등을 제안할 수 있다. 또한, 초기 시스템 설정, 충돌 해소 알고리즘 개발, 스케줄링 알고리즘 개발 및 시스템 파라미터의 동적 변경 등에 활용할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] H. Li, G. Malmgren, "Performance Comparison of the Radio Link Protocols of IEEE 802.11a and HIPERLAN/2", VTC 2000.
- [2] X. Wang, "Providing Wireless Internet Access in a TDMA/TDD Wireless LAN through a New Wireless Packet Fair queueing scheme", 2001 IEEE
- [3] L. Lenzi and E. Mingozzi, "Performance Evaluation of HIPERLAN Type2 with Voice and Web Data Traffic", Proceeding of the 34th Hawaii International Conference on System Science, 2001.
- [4] A. Doufexi, S. Armour, M. Butler, A. Nix, D. Bull and J. McGeehan, "A Comparison of the HIPERLAN/2 and IEEE 802.11a Wireless LAN Standards," IEEE Communications Magazine, May 2002.
- [5] ETSI TS 101 761-1 V1.2.1 (2000-11), "Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERLAN Type 2; Data Link Control (DLC) Layer; Part 1: Common part"
- [5] ETSI TS 101 493-1 V1.1.1 (2000-04), "Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERLAN Type 2; Packet based Convergence Layer: Part 1: Common Part"
- [7] ETSI TS 101 493-2 V1.1.1 (2000-04), "Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERLAN Type 2; Packet based Convergence Layer: Part 2: Ethernet Service Specific Convergence sublayer (SSCS)"
- [8] <http://www.ieee802.org/20/>
- [9] <http://www.ieee802.org/16/>
- [10] G. Wu, K. Mukumoto, A. Fukuda, M. Mizuno and K. Taira, "A Dynamic TDMA Wireless Integrated Voice/Data System with Data Steal into Voice (DSV) Technique," IEICE Transaction on Communication Vol E-78-B No8. P.1125 Aug. 1995.
- [11] T. Suzuki and S. Tasaka, "A contention-based reservation protocol using a TDD channel for wireless local area networks: a performance analysis," ICC '93, 23-26, May 1993.
- [12] T. P. Yum and H. Zhang, "Analysis of a Dynamic Reservation Protocol for Interactive Data Services on TDMA-Based Wireless Networks," IEEE Trans. on Comm. Vol. 47, No. 12, Dec. 1999.
- [13] G. Pierobon, A. Zanella, and A. Salloum, "Contention-TDMA Protocol: Performance Evaluation," IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol. 51, No. 4, Jul. 2002.
- [14] K. Khan and H. Peyravi, "Delay and Queue Size Analysis of TDMA with General Traffic," Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems 1998, Proceedings Sixth International Symposium, 19-24, Jul. 1998.
- [15] H. Bruneel, "Message Delay in TDMA Channels with Contiguous Output," IEEE Trans. on Comm., Vol. COM-34, No. 7, Jul. 1986.
- [16] I. Rubin, "Message Delays in FDMA and TDMA Communication Channels," IEEE Trans. on Comm., Vol. COM-27, No. 5, May 1979
- [17] S. S. Lam, "Delay Analysis of a Time Division Multiple Access (TDMA) Channel," IEEE Trans. on Comm. Vol. COM-25, No. 12, Dec. 1977.
- [18] K. T. Ko and B. R. Davis, "Delay Analysis for a TDMA Channel with Contiguous Output and Poisson Message Arrival," IEEE Trans. on Comm., Vol. COM-32, No. 6, Jun. 1984.
- [10] I. Rubin and Z. H. TSAI, "Message Delay Analysis of Multiclass Priority TDMA, FDMA, and Discrete-Time Queueing Systems," IEEE Trans. on Information Theory, Vol. 35, No. 3, May 1989.
- [19] J. F. Frigon, C. M. Leung, and H. Chan, "Dynamic Reservation TDMA Protocol for Wireless ATM Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 19, No. 2, Feb. 2001.
- [20] C. G. Kang, C. W. Ahn, K. H. Jang, and W. S. Kang, "Contention-Free Distributed Dynamic Reservation MAC Protocol with Deterministic Scheduling(C-FD3R MAC) for Wireless ATM Networks," IEEE Journal on Selected Areas in

Communications, Vol. 18, No. 9, Sep. 2000.

[21] R. Jafari and K. Sohrawy, "General Discrete-Time Queueing Systems with Correlated Batch Arrivals and Departures," IEEE INFOCOM 2000, Vol. 1, pp.181-188, Tel Aviv, Israel, 26-30, Mar. 2000.

[22] T. S. P. Yum and H. Zhang, "Analysis of a Dynamic Reservation Protocol for Interactive Data Services on TDMA-Based Wireless Networks," IEEE Trans. on Communications, Vol. 47, No. 12, Dec. 1999.

[23] G. J. Franx, "A Simple Solution for the M/D/c Waiting Time Distribution," Operations Research Letters, 29:221-230, 2001.

[24] H. Takagi, Queueing Analysis, Volume 3: Discrete-Time Systems, North-Holland, 1993.

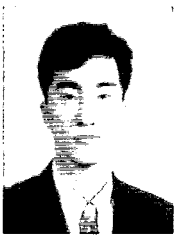
[25] J. W. Cohen, The Single Server Queue, American Elsevier Publishing, 1969.

[26] J. H. Kim and J. K. Lee, "Capture Effects of Wireless CSMA/CA Protocols in Rayleigh and Shadow Fading Channels," IEEE Trans. on Vehicular Techonogy, Vol. 48, No. 4, pp. 1277-1286, Jul. 1999.

[27] W. Szpankowski, "Packet Switching in Multiple Radio Channels: Analysis and Stability of a Random Access System," Computer Networks, No.7, pp. 17-26, 1983.

[28] W. Szpankowski, "Analysis and Stability Considerations in a Reservation Multiaccess System," IEEE Transaction on communication Vol. Com-31, No. 5, May 1983.

저 자 소 개



**조 광 오**(정회원)  
 1995년 단국대학교 수학과 학사  
 1997년 한양대학교 컴퓨터공학과 학사,  
 1999년 한양대학교 컴퓨터공학과 석사,  
 1999년 3월~현재 한양대학교 컴퓨터공학과 박사과정.

<주관심분야 : 광대역 무선 접속 시스템, 충돌 해소 알고리즘, 통신망 성능분석, Stochastic Process>

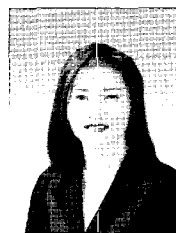


**이 정 규**(정회원)  
 1979년 한양대학교 전자공학과 학사.  
 1986년 UCLA 전자공학과 석사.  
 1989년 UCLA 전자공학과 박사.  
 1979년 3월~1984년 5월 국방과학연구소 연구원.

1989년 3월~1990년 2월 삼성전자 정보통신 연구소 수석 연구원.  
 1990년 3월~현재 한양대학교 전자컴퓨터공학부 교수.  
 1997년 3월~2001년 2월 한양대학교 공학기술 연구소 부소장/소장.  
 2001년 3월~2004년 7월 한양대학교 정보통신원 부원장.  
 2004년 8월~현재 한양대학교 대학원 부원장,  
 <주관심분야 : 무선데이터 통신, 통신망 성능분석, 이동 및 위성 통신망 분석, Stochastic Process>



**황 유 선**(정회원)  
 1999년 한양대학교 전자계산학과 학사 졸업.  
 2001년 한양대학교 전자계산학과 석사 졸업.  
 <주관심분야 : 이동통신, Mobile IP, Mobile QoS >



**박 애 순**(정회원)  
 1987년 충남대학교 계산통계학과 학사 졸업.  
 1998년 충남대학교 전자공학과 석사 졸업.  
 2001년 충남대학교 컴퓨터과학과 박사 졸업.

<주관심분야 : 이동통신, Mobile IP, Wireless LAN, Mobile QoS >