

HIPERLAN의 무한 가입자 모델에서 EY-NPMA 프로토콜의 성능분석

정희원 조광오*, 이정규*, 조병학**, 김호섭**

Performance analysis of EY-NPMA protocol in the infinite population model of HIPERLAN

Kwang-oh Cho*, Jong-kyu Lee*, Byung-hak Cho**, Ho-seop Kim** *Regular Members*

요 약

본 논문은 ETSI에 의해 정의된 무선 LAN(Wireless LAN)의 표준안인 HIPERLAN(High Performance Radio LAN) 타입 1의 매체 접근 제어 프로토콜에 관하여 해석적으로 분석한다. HIPERLAN의 채널 접근 제어 계층(Channel Access Control layer)에서 사용하는 EY-NPMA(Elimination Yield-Nonpreemptive Priority Multiple Access)의 채널 경쟁 단계 중에서 제어 단계(Elimination phase)와 양보 단계(Yield phase)의 무한 가입자 모델에 대하여 분석한다. 그리고, 분석 결과를 이용하여 전송 단계(Transmission phase)에서 패킷 전송의 성공확률을 해석적으로 구한 후, 시뮬레이션을 이용한 성능 평가를 통하여 분석 결과를 검증한다.

ABSTRACT

In this paper, we analyzed the HIPERLAN(High Performance Radio LAN) MAC(Medium Access Control) protocol, which was a standard for Wireless LANs defined by ETSI. We analyzed mathematically the elimination phase and the yield phase of the channel contention phase of CAC(Channel Access Control) layer in the infinite population model of the HIPERLAN using EY-NPMA(Elimination Yield-Nonpreemptive Priority Multiple Access) protocol. Also we analyzed the probability of successful transmission in the transmission phase. And, we proved results of a mathematical analysis by the simulation of HIPERLAN MAC protocol.

I. 서론

현재 무선 LAN을 위한 표준안으로는 IEEE 802.11과 유럽 ETSI(European Telecommunications Standards Institute)의 HIPERLAN(High Performance Radio LAN)등이 있다¹⁾. IEEE 802.11에 대한 연구는 비교적 활발히 이루어지고 있으나, HIPERLAN에 대한 연구는 매우 미비하다. 또한, 현재 HIPERLAN의 타입 1에서 적용하고 있는 EY-NPMA(Elimination Yield-Nonpreemptive Priority Multiple Access) 프로토콜에 대하여 채널 경쟁

단계의 일부분을 해석적으로 성능 분석을 해놓은 연구들이 있지만, ETSI의 최종 표준안이 아닌 문서를 기초로 이루어진 연구들이다³⁾⁴⁾.

따라서, 본 논문에서는 HIPERLAN 타입 1의 최종 표준안에 의해 EY-NPMA 프로토콜에 대하여 해석적으로 분석하고, 시뮬레이션을 통하여 성능을 평가하고, 분석 결과를 검증한다. 본 논문의 구성을 살펴보면, II장에서 HIPERLAN의 개요 및 EY-NPMA 프로토콜의 특성을 기술하고, III장에서는 EY-NPMA 프로토콜을 분석하기 위한 해석적 모델인 무한 가입자 모델을 설명하고, 이를 기초로 하여 채널 경쟁을 해결하는 제거 단계(Elimination phase)

* 한양대학교 전자계산학과 정보통신연구실(kocho, jklee@cse.hanyang.ac.kr), ** 전자부품연구원

논문번호 : 99020-0121, 접수일자 : 1999년 1월 21일

** 본 연구는 정보통신부 대학기초연구과제(과제번호 AB-97-G-0634)지원으로 수행되었습니다.

와 양보 단계(Yield phase)를 해석적으로 분석한다. 또한 패킷이 발생한 경우, 채널 경쟁을 통하여 패킷 전송이 성공할 확률을 구한다. IV장에서는 해석적 결과를 시뮬레이션의 수행 결과와 비교한다. V장에서는 분석 결과들을 언급하고, 전체적인 결론을 맺는다^{[5][6]}.

II. HIPERLAN EY-NPMA 프로토콜

HIPERLAN은 유럽의 표준화 기구인 ETSI의 RES 10 (Radio Equipment and System 10)에 의해 만들어진 무선 LAN(Wireless Local Area LAN)이다. 이 HIPERLAN은 5 GHz와 17 GHz 주파수 대를 사용하여 최대 23.5 Mbps의 전송 속도로 멀티미디어 데이터를 전송할 수 있다. 또한, ISO MAC(Medium Access Control) 서비스와 호환된다^[1]. HIPERLAN은 임시 망(ad hoc) 형태로 구성되며, 노드의 이동성을 지원하고, 한 노드의 라디오 반경 한계 이상의 지역까지 통신할 수 있다. 이것은 패킷의 출발지로부터 목적지까지 직접 통신이 없어도 통신 가능한 멀티홉 라우팅 능력(multihop routing capability)에 의해 가능하다. 그리고 성능의 계층적인 독립성을 제공하며 우선 순위를 가진 채널 경쟁 주기를 통한 데이터의 전송을 지원한다^[3]. 또한 HIPERLAN MAC 프로토콜은 서비스 품질(Quality of Service)을 보장하기 위하여 두 가지 방법이 사용된다. 첫 번째 방법은 패킷의 사용자 우선 순위와 패킷의 유효기간(lifetime)으로 채널 접근 우선 순위를 결정하여 채널 경쟁 주기에서 사용한다. 패킷의 유효기간은 기본적으로 500ms를 가지며, 사용자 데이터는 사용자에게 의해 조정될 수 있다. 두 번째 방법은 채널 경쟁 주기를 이용하는 것으로 5개의 우선 순위를 가지고 패킷들이 채널 경쟁을 한다^[4].

HIPERLAN 타입 1은 무선 LAN의 표준으로 ETSI의 RES 10에서 1996년 12월에 표준을 완성하였고, 이후에는 BRAN(Broadband Radio Access Networks)라는 프로젝트에 흡수되어 HIPERLAN/2는 5 GHz 주파수 대역을 가지고 마이크로 셀 환경에서 24Mbps의 비트 전송률을 제공하는 고정 ATM 네트워크에서의 무선 액세스를 표준화하는 데 목적을 두고 있다. 또한, HIPERACCESS는 5 GHz 대역을 이용하여 1km 정도의 거리 상에서 ATM 전송할 수 있는 원격 접속을 목표로 하고 있으며,

HIPERLINK는 17 GHz 주파수 대역을 가지고 광대역 연결을 목표로 하고 있다.

HIPERLAN의 채널 접근 방법은 채널 감지(channel sensing)와 경쟁 해결(contention resolution)을 이용하는 EY-NPMA 프로토콜을 사용한다. HIPERLAN의 채널 접근 방법에는 채널 상태에 따라 두 가지 채널 조건으로 접근한다. 하나는 그림 1의 빈 채널 조건(Free channel condition)으로 채널을 사용하는 패킷이 없는 상태에서 패킷이 발생하면 2,000 비트의 기간동안 채널을 감지하여 채널을 사용하는 패킷이 없는 경우에 채널 경쟁 주기를 거치지 않고 바로 전송 단계로 들어가는 방법이다. 또 다른 하나는 그림 2의 동기 채널 조건(Synchronized channel condition)으로 패킷이 발생한 순간에 다른 패킷이 채널을 사용하고 있는 경우로서, 현재의 채널 경쟁 주기의 끝에서 다음 채널 경쟁 주기를 시작하기 위하여 동기가 맞추어지고, 동기가 맞추어진 모든 패킷들이 256 비트 기간동안 채널을 감지하여 채널을 사용하는 패킷이 없는 경우에 채널 경쟁을 시작하여 채널을 확보한 패킷이 전송 단계로 들어가는 방법이다^[1].

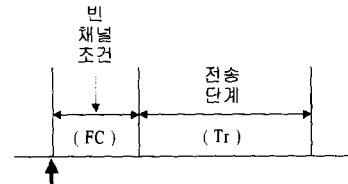


그림 1. 빈 채널 조건

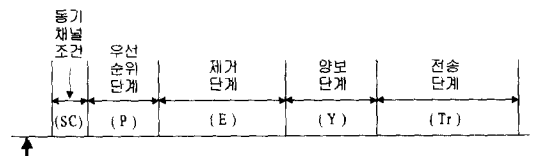


그림 2. 동기 채널 조건

채널 경쟁은 동기 채널 조건을 만족하는 패킷들이 채널을 확보하기 위하여 경쟁하는 것으로서 우선 순위 단계(Priority phase), 제거 단계(Elimination phase)와 양보 단계(Yield phase)로 구성된다. 우선 순위 단계는 우선 순위 감지(priority detection)와 우선 순위 주장(priority assertion)의 두 부분으로 구성된다. 먼저 우선 순위 단계에서 사용하는 채널

접근 우선 순위(channel access priority)는 패킷의 유효기간(lifetime)에서 패킷이 생성된 이후부터 동기 채널 조건을 만족할 때까지 기다린 시간을 제외한 남아있는 유효 기간과 패킷 생성 시에 주어지는 사용자 우선 순위에 의해 표 1을 이용하여 정해진다. 정해진 채널 접근 우선 순위는 우선 순위 감지 부분에서 (채널 접근 우선 순위 × 168 비트) 기간 동안 채널을 감지한다. 그러나, 채널이 사용 중으로 감지되면, 이번 채널 경쟁을 포기하고 다음 채널 경쟁을 기다린다. 우선 순위 감지에서 채널이 미사용으로 감지되면, 자신이 채널을 사용하기 위하여 168 비트 기간동안 채널에 버스팅 데이터를 전송한 후, 제거 단계로 넘어간다.

표 1. 채널 접근 우선 순위

남은 유효 기간(RL) (Residual Lifetime)	사용자 우선순위 (0)	사용자 우선순위 (1)
RL < 10ms	0	1
10ms ≤ RL < 20ms	1	2
20ms ≤ RL < 40ms	2	3
40ms ≤ RL < 80ms	3	4
80ms ≤ RL	4	4

제거 단계는 제거 버스팅(elimination bursting)과 제거 생존 검증(elimination survival verification) 부분으로 구성된다. 제거 버스팅 부분에서는 0부터 최대 m_e 개를 가지는 제거 슬롯의 수 s_e 에 의해 ($s_e \times 168$ 비트) 기간동안 이루어진다. ETSI에서는 m_e 를 12로 제한하고 있다. 제거 버스팅 슬롯의 수를 확률변수 S_E 라고 할 때, 제거 버스팅 슬롯의 수 s_e 는 식 (1)에 의해 0과 1사이의 값을 가지는 p_E 를 이용한 불완전한 기하 분포(truncated geometric distribution)의 확률을 가지고 생성된다 [3][4].

$$\text{Prob} [S_E = s_e] = \begin{cases} p_E^{s_e} (1 - p_E), & 0 \leq s_e < m_e \\ p_E^{s_e}, & s_e = m_e \end{cases} \quad (1)$$

제거 버스팅 부분이 끝난 이후에 바로 256 비트 기간동안 제거 생존 검증 부분을 거친다. 이 부분에서 채널이 사용중이라면 이번 채널 경쟁 주기를 포

기하고 다음 채널 경쟁 주기를 기다리지만, 채널이 미 사용중이라면 양보 단계로 넘어간다. 양보 단계는 0부터 최대 m_y 개를 가지는 양보 슬롯의 수 s_y 에 의해 ($s_y \times 256$ 비트) 기간동안 이루어진다. ETSI의 표준안에서는 m_y 를 9로 제한하고 있다. 양보 감지 슬롯의 수를 확률 변수 S_Y 라고 할 때, 양보 감지 슬롯의 수 s_y 는 식 (2)에 의한 확률을 가지고 생성된다. 양보 단계 이후에는 바로 전송 단계로 넘어간다.

$$\text{Prob} [S_Y = s_y] = \frac{1}{m_y + 1} \quad (2)$$

전송 단계에서는 패킷의 유형에는 Ack.를 요구하는 유니캐스트(unicast) 전송과 Ack.가 필요 없는 멀티캐스트(multicast) 전송의 두 가지로 구분된다. 그리고 전송되는 패킷은 두 가지 속도로 전송되는데, 처음에는 1.4 Mbps의 저속으로 패킷의 앞부분을 전송하고, 계속해서 23.5 Mbps의 고속으로 패킷의 나머지 부분을 전송한다. 그리고, Ack.는 패킷을 수신하는 노드에서 패킷 수신이 끝나면 뒤이어 채널 경쟁 없이 Ack. 패킷을 전송한다. 그림 3, 4는 새로운 패킷이 빈 채널 조건이나 동기 채널 조건의 전송 주기 내에서 생성된 경우로서, 이 경우의 패킷은 다음 채널 경쟁 주기까지 큐에서 대기하고, 현재의 채널 경쟁 주기의 패킷의 전송이 끝난 이후 동기 채널 조건에 의해 채널 경쟁을 한다.

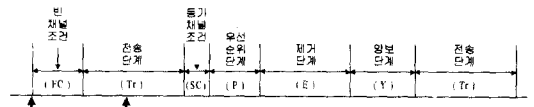


그림 3. 빈 채널 조건 전송 주기 중 패킷이 발생한 경우



그림 4. 동기채널조건 전송주기 중 패킷이 발생한 경우

III. EY-NPMA 프로토콜 성능분석

본 논문에서는 ETSI의 HIPERLAN 타입 1 표준안의 내용을 기본으로 EY-NPMA 프로토콜의 성능

을 분석한다. 시스템 모델로는 슬롯화된 EY-NPMA 프로토콜로서 자세한 동작은 그림 5와 같다.

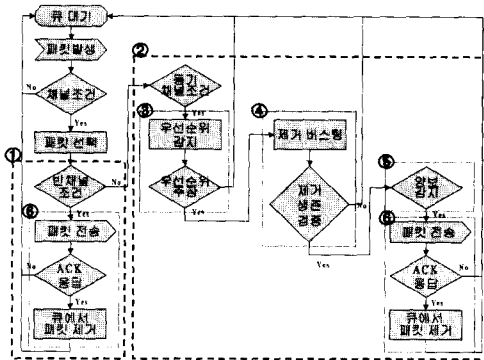


그림 5. EY-NPMA 프로토콜에서 패킷처리 순서도

그림 5에서 패킷이 발생하면 큐에서 대기하고 있다가 이전 채널 경쟁 주기의 끝에서 전송 조건을 확인하고, 전송될 패킷이 하나도 없는 가운데 새로운 패킷이 생성된 ①의 빈 채널 조건이면, 채널 경쟁 없이 바로 ⑥의 전송 단계로 들어가고, 패킷을 전송한 후, 전송한 패킷이 유니캐스트인 경우에는 Ack를 받고 큐에서 전송한 패킷을 제거하고 다시 큐에서 대기하고, 멀티캐스트인 경우에는 큐에서 전송한 패킷을 제거하고 큐에서 다시 대기한다. 또한 이전 채널 경쟁 주기에서 실패한 패킷과 이전 채널 경쟁 주기동안 새롭게 생성된 패킷이 큐에서 대기하고 있는 경우에는 이전 채널 경쟁의 끝에서 동기가 맞추어진 ②의 동기 채널 조건으로 ③의 우선 순위 발견과 우선 순위 주장으로 구성된 우선 순위 단계, ④의 제거 버스팅 전송과 제거 생존 검증으로 구성된 제거 단계, ⑤의 양보 감지로 이루어진 양보 단계, 끝으로 ⑥의 전송 단계를 거친 후 다시 큐에서 대기한다^[1].

트래픽 모델은 무한 가입자 모델로서 g 를 한 슬롯에서 패킷을 발생시킬 확률로 설정하였으며, 포아송 분포로 가정하였다. 또한, 채널 모델은 노이즈가 없는 채널로 가정하여 전송 중의 에러는 패킷간의 충돌에 의한 에러에 비하여 크지 않다고 가정하였다. 그리고, 각 스테이션은 이전 채널 경쟁 주기의 끝에서 동기화가 되어지고, 이전 채널 경쟁 주기의 중간에 패킷이 발생하여도 각 스테이션은 이전 채널 경쟁 주기의 전송 단계가 끝날 때까지 큐에서 채널을 감지하게 된다^{[5][7]}. EY-NPMA 프로토콜의 분석을 쉽게 하기 위하여 데이터 송신에 대한 확인이

필요 없는 멀티캐스트 전송에 대하여 분석하기 때문에 Ack. 패킷에 대하여는 고려하지 않는다. 이 절에서는 HIPERLAN의 무한 가입자 모델에서 생성된 여러 패킷들이 EY-NPMA를 이용하여 채널 경쟁을 한 경우, 채널 경쟁 이후에 하나의 패킷이 살아남아 전송에 성공할 확률과 채널 경쟁 이후에 둘 이상의 패킷이 살아남아 전송에 실패할 확률, 그리고 EY-NPMA의 채널 경쟁 과정에서 제거 단계에서 제거 버스팅을 전송하는 평균 슬롯 수와 양보 단계에서 양보 감지를 하는 평균 슬롯 수를 해석적으로 유도한다^{[3][7]}.

HIPERLAN의 무한 가입자 모델에서 EY-NPMA 프로토콜을 분석하기 위하여 도착률을 G 라고 가정하면, 한 전송기간 내에 하나 이상의 패킷이 발생할 확률은 다음 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$\text{Prob} \left[\begin{array}{l} \text{한 전송기간 내에 패킷이} \\ \text{하나 이상 발생하는 사건} \end{array} \right] = 1 - e^{-G} \quad (3)$$

또한, 슬롯화된 EY-NPMA 프로토콜을 분석하기 위하여 한 슬롯에서 패킷 발생 확률은 기하분포를 따르는 평균 g 라고 가정하고, $(1 - g)$ 의 확률로 패킷을 발생하지 않으며($0 < g < 1$), 포아송 분포로 가정한다. 또한 이 경우 채널 경쟁 주기 동안 충돌이 발생하여 재전송을 시도하는 패킷 생성 확률과 새로운 패킷 생성 확률의 합이 평균 g 라고 가정한다. Z 개의 슬롯동안 n ($n \geq 1$)개의 패킷이 발생할 확률을 $P_n(Z)$ 이라고 정의하면, $P_n(Z)$ 은 Z 개의 슬롯동안 1개 이상의 패킷이 발생하는 사건에 대한 Z 개의 슬롯동안 n 개의 패킷이 발생할 사건의 조건부 확률로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{Prob} \left[\begin{array}{l} Z \text{개의 슬롯동안 } n \text{개의} \\ \text{패킷이 발생하는 사건} \\ Z \text{개의 슬롯동안 1개 이상의} \\ \text{패킷이 발생하는 사건} \end{array} \right] = \frac{e^{-gZ} \cdot (gZ)^n}{n!(1 - e^{-gZ})} \quad (4)$$

HIPERLAN의 무한 가입자 모델은 채널 입장에서 패킷이 도착한 이후, 이전 채널 경쟁 주기의 끝까지 기다리는 시간을 수학적으로 해결하기 어렵기 때문에 모든 패킷에 대하여 우선 순위 단계의 우선 순위 감지 단계에서 필요한 우선 순위 슬롯 수를 동일하다고 가정한다. 그러면, 이전 채널 경쟁 주기

에서 전송에 실패한 패킷과 이전 채널 경쟁 주기에 새롭게 생성된 패킷 모두가 우선 순위 단계에서 살아남는다.

이전 채널 경쟁 주기에서 전송에 실패한 패킷의 수와 새롭게 생성된 패킷의 수를 n 이라고 하면, n 개의 패킷이 채널 경쟁의 우선 순위 단계에서 경쟁한 후, n 개의 패킷이 살아남을 확률은 이전 채널 경쟁 주기 동안 n 개의 패킷이 생성될 확률과 동일하다. 즉, 이전 채널 경쟁 주기의 슬롯 수가 Z 개라고 가정하며, 우선 순위 경쟁 이후 n 개의 패킷이 살아남을 확률은 식 (4)와 같다.

채널 경쟁 주기의 우선 순위 단계 이후 살아남은 패킷의 수를 N_P , 제거 단계 이후 살아남은 패킷의 수를 N_E , 제거 단계의 제거 버스팅 데이터를 전송하는 슬롯 수를 확률변수 S_E 로 정의하고, 우선 순위 단계 이후 살아남은 n_P 개의 패킷 중에서 n_E 개의 패킷이 제거 단계에서 s_e 개의 제거 버스팅 슬롯을 사용한 후 살아남을 확률과 제거 단계에서 버스팅 데이터를 전송하는 평균 슬롯시간을 구한다.

제거 단계에서 n_E 개의 패킷이 살아남을 확률은 우선 순위 단계 이후 살아남은 n_P 개의 패킷 중에서 n_E 개의 패킷에 대하여는 s_e 개의 슬롯 기간 동안 제거 버스팅 데이터를 전송하고, $n_P - n_E$ 개의 패킷에 대하여 s_e 개 보다 작은 슬롯 기간 동안 제거 버스팅 데이터를 전송할 확률이다. 그러므로 우선 순위 단계 이후 살아남은 n_P 개의 패킷 중에서 n_E 개의 패킷이 제거 단계 이후 살아남을 확률은 조건부 확률로서 우선 순위 단계 이후 살아남은 패킷의 수의 확률 변수를 N_P , 우선 순위 단계 이후 살아남은 패킷의 수의 확률 변수를 N_E 라 할 때, 다음 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Prob}[N_E = n_E | N_P = n_P] \\ &= \binom{n_P}{n_E} \left\{ \sum_{s_e=0}^{m_e-1} \left[p_E^{s_e} (1-p_E) \right]^{n_E} \cdot \left[1-p_E^{s_e} \right]^{n_P-n_E} \right\} \\ & \quad + \binom{n_P}{n_E} \left[p_E^{m_e} \right]^{n_E} \cdot \left[1-p_E^{m_e} \right]^{n_P-n_E} \end{aligned} \quad (5)$$

제거 단계의 제거 버스팅 데이터를 전송하는 슬롯 기간은 우선 순위 단계 이후 살아남은 n_P 개의 패킷 중에서 제거 버스팅 슬롯 기간이 가장 긴 슬롯 기간과 제거 생존 검증 슬롯 기간을 합한 기간

이 제거 단계에서 소요된 슬롯 기간이다. 여기서, E_L 을 우선 순위 단계 이후 살아남은 n_P 개의 패킷 중에서 제거 버스팅 데이터를 전송하는 슬롯 기간이 가장 긴 기간이라고 가정하면, 우선 순위 단계 이후 살아남은 n_P 개의 패킷 중에서 제거 단계 이후 n_E 개의 패킷이 s_e 개의 슬롯 기간동안 제거 버스팅 데이터를 전송할 확률은 다음 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{Prob}[E_L = s_e | N_P = n_P] \\ &= \sum_{n_E=1}^{n_P} \binom{n_P}{n_E} \left[\text{Prob}(S_E = s_e) \right]^{n_E} \cdot \left[\text{Prob}(S_E < s_e) \right]^{n_P-n_E} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 제거 버스팅 데이터를 전송하는 최대 슬롯 수가 m_e 개이므로, 슬롯 수의 범위가 $0 \leq s_e \leq m_e - 1$ 인 경우, 다음 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{Prob}[E_L = s_e | N_P = n_P] \\ &= \sum_{n_E=1}^{n_P} \binom{n_P}{n_E} \left[\text{Prob}(S_E = s_e) \right]^{n_E} \cdot \left[\text{Prob}(S_E < s_e) \right]^{n_P-n_E} \\ &= (1-p_E^{s_e+1})^{n_P} - (1-p_E^{s_e})^{n_P} \end{aligned} \quad (7)$$

그리고, 제거 버스팅 데이터를 전송하는 슬롯 수가 $s_e = m_e$ 인 경우, 다음 식 (8)과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{Prob}[E_L = s_e | N_P = n_P] \\ &= \sum_{n_E=1}^{n_P} \binom{n_P}{n_E} \left[\text{Prob}(S_E = s_e) \right]^{n_E} \cdot \left[\text{Prob}(S_E < s_e) \right]^{n_P-n_E} \\ &= 1 - (1-p_E^{m_e})^{n_P} \end{aligned} \quad (8)$$

그러므로 구하고자하는 제거 단계에서 버스팅 데이터의 평균 슬롯 기간은 식 (7)과 (8)의 합으로 다음 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned} & E[E_L | N_P = n_P] \\ &= \sum_{s_e=0}^{m_e-1} s_e \cdot \left\{ \sum_{n_E=1}^{n_P} \binom{n_P}{n_E} \left[\text{Prob}(S_E = s_e) \right]^{n_E} \cdot \left[\text{Prob}(S_E < s_e) \right]^{n_P-n_E} \right\} \\ &= m_e - \sum_{s_e=1}^{m_e} (1-p_E^{s_e})^{n_P} \end{aligned} \quad (9)$$

채널 경쟁 주기에서 우선 순위 단계와 제거 단계 이후 살아남은 패킷의 수를 N_E , 양보 단계 이후 살아남은 패킷의 수를 N_Y , 양보 단계의 채널 감지 슬롯 수를 확률변수 S_Y 로 정의하고, 제거 단계 이후 살아남은 n_E 개의 패킷 중에서 n_Y 개의 패킷이

양보 단계에서 s_y 개의 양보 감지 슬롯을 사용한 후 살아남을 확률과 양보 단계에서 채널을 감지하는 평균 슬롯 시간을 구한다.

양보 단계에서 살아남을 확률은 제거 단계 이후 살아남은 n_E 개의 패킷 중에서 양보 단계에서 n_Y 개의 패킷에 대하여 s_y 개의 슬롯 시간 동안 채널을 감지하고, $n_E - n_Y$ 개의 패킷에 대하여 s_y 보다 긴 슬롯 시간 동안 채널을 감지할 확률이다. 그러므로 제거 단계 이후 살아남은 n_E 개의 패킷 중에서 n_Y 개의 패킷이 양보 단계 이후 살아남을 확률은 조건부 확률로서 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Prob}[N_Y = n_Y | N_E = n_E] \\ &= \sum_{s_y=0}^{m_y} \binom{n_E}{n_Y} \left[\text{Prob}(S_Y = s_y) \right]^{n_Y} \cdot \left[\text{Prob}(S_Y > s_y) \right]^{n_E - n_Y} \\ &= \sum_{s_y=0}^{m_y} \binom{n_E}{n_Y} \left[\frac{1}{m_y + 1} \right]^{n_Y} \cdot \left[1 - \frac{s_y + 1}{m_y + 1} \right]^{n_E - n_Y} \quad (10) \end{aligned}$$

양보 단계의 채널 감지 슬롯 시간은 제거 단계 이후 살아남은 n_E 개의 패킷 중에서 양보 감지 슬롯 시간이 가장 짧은 슬롯 시간이 해당 채널 경쟁 주기에서 양보 단계의 채널 감지 슬롯 시간이다. 여기서 Y_L 을 제거 단계 이후 살아남은 n_E 개의 패킷 중에서 양보 감지 슬롯 시간 중에서 가장 짧은 시간이라고 가정하면, 제거 단계 이후 살아남은 n_E 개의 패킷 중에서 양보 단계 이후 n_Y 개의 패킷이 s_y 개의 슬롯 시간동안 채널을 감지할 확률은 다음 식 (11)과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{Prob}[Y_L = s_y | N_E = n_E] \\ &= \sum_{n_Y=1}^{n_E} \binom{n_E}{n_Y} \left[\text{Prob}(S_Y = s_y) \right]^{n_Y} \cdot \left[\text{Prob}(S_Y > s_y) \right]^{n_E - n_Y} \\ &= \left(1 - \frac{s_y}{m_y + 1} \right)^{n_E} - \left(1 - \frac{s_y + 1}{m_y + 1} \right)^{n_E} \quad (11) \end{aligned}$$

그러므로 구하고자하는 양보 단계에서 채널을 감지하는 평균 슬롯 시간은 다음 식 (12)와 같다.

$$\begin{aligned} & E[Y_L | N_E = n_E] \\ &= \sum_{s_y=0}^{m_y} s_y \cdot \left\{ \sum_{n_Y=1}^{n_E} \binom{n_E}{n_Y} \left[\text{Prob}(S_Y = s_y) \right]^{n_Y} \cdot \left[\text{Prob}(S_Y > s_y) \right]^{n_E - n_Y} \right\} \\ &= \sum_{s_y=1}^{m_y} \left(1 - \frac{s_y}{m_y + 1} \right)^{n_E} \quad (12) \end{aligned}$$

채널 경쟁 주기의 마지막 단계인 전송 단계에서 하나의 패킷에 대하여 전송이 이루어진다면 전송에 성공한 것으로 가정한다. 여기에는 쉬는 시간동안에 발생한 패킷이 전송에 성공하는 경우와 이전 채널 경쟁 주기동안에 생성된 패킷이 전송에 성공하는 경우의 두 가지 경우가 있다.

첫 번째, 쉬는 시간동안 생성된 패킷이 전송에 성공하는 경우는 쉬는 시간이 k 개의 슬롯으로 이루어졌다고 가정하면, $(k-1)$ 슬롯 동안에는 패킷이 생성되지 않고, 마지막 k -번째 슬롯에서 패킷이 생성되어 쉬는 시간이 끝이 나는 경우로서, k -번째 슬롯에서 하나의 패킷만이 생성되는 경우에만 전송에 성공한다. 그러므로 쉬는 시간동안 생성된 패킷이 전송에 성공하는 확률은 쉬는 시간 동안 하나의 패킷이 생성될 확률로 다음 식 (13)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Prob}[\text{생성된 패킷 수} = 1 | \text{쉬는 시간의 슬롯 수} = k] \\ &= \frac{e^{-g(k-1)} \cdot g \cdot e^{-g}}{e^{-g(k-1)} \cdot (1 - e^{-g})} \\ &= \frac{g e^{-g}}{1 - e^{-g}} \quad (13) \end{aligned}$$

두 번째, 이전 채널 경쟁 주기에서 전송에 실패한 패킷들과 새롭게 생성된 패킷들 중에서 패킷의 전송이 성공하는 경우는 이전 채널 경쟁 주기에서 전송에 실패한 패킷들과 새롭게 생성된 패킷들이 다음 채널 경쟁 주기로 들어가 채널 경쟁에 참여하여, 우선 순위 단계와 제거 단계를 거친 후 양보 단계 이후에 하나의 패킷만이 살아남아 전송이 이루어지는 경우에 전송에 성공한다. 그러므로 이전 채널 경쟁 주기동안 생성된 패킷이 전송에 성공할 확률은 양보 단계 이후 하나의 패킷이 살아남을 확률로 다음 식 (14)와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{Prob}[N_Y = 1 | N_E = n_E] \\ &= \sum_{s_y=0}^{m_y} \binom{n_E}{1} \left[\text{Prob}(S_Y = s_y) \right]^1 \cdot \left[\text{Prob}(S_Y > s_y) \right]^{n_E - 1} \\ &= \sum_{s_y=0}^{m_y} \binom{n_E}{1} \left[\frac{1}{m_y + 1} \right]^1 \cdot \left[1 - \frac{s_y + 1}{m_y + 1} \right]^{n_E - 1} \quad (14) \end{aligned}$$

여기서 이전 채널 경쟁 주기에서 새롭게 생성되거나 전송에 실패한 후 재전송 해야하는 패킷들의 수가 n_p 개인 경우 다음 채널 경쟁 주기에서 채널 경쟁에 참여하여 우선 순위 단계와 제거 단계, 양보 단계 이후 하나의 패킷이 살아남을 확률은 다음과

같이 구할 수 있다.

우선 필요한 확률변수는 다음과 같이 정의한다.

N_P : 우선 순위 단계 이후 살아남은 패킷 수
 ($0 \leq N_P \leq \infty$)

N_E : 제거 단계 이후 살아남은 패킷 수
 ($1 \leq N_E \leq N_P$)

N_Y : 양보 단계 이후 살아남은 패킷 수
 ($1 \leq N_Y \leq N_E$)

양보 단계 이후 하나의 패킷이 살아남아 채널 경쟁이후 전송에 성공할 확률은 제거 단계 이후 n_E 개의 패킷이 살아남을 확률에 의한 조건부 확률로 다음 식 (15)와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Prob} [N_Y=1] &= \sum_{n_E=1}^{n_P} \text{Prob} [N_Y=1 | N_E=n_E] \\ &\quad \cdot \sum_{n_P=0}^{\infty} \text{Prob} [N_E=n_E | N_P=n_P] \\ &\quad \cdot \sum_{n_P=0}^{\infty} \text{Prob} [N_P=n_P] \end{aligned} \quad (15)$$

그 결과는 식 (16)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Prob} [N_Y=1] &= \sum_{s_y=0}^{m_y} \binom{n_E}{n_Y} \left[\frac{1}{m_y+1} \right]^l \cdot \left[1 - \frac{s_y+1}{m_y+1} \right]^{n_E-1} \\ &\quad \cdot \binom{n_P}{n_E} \left\{ \sum_{s_e=0}^{m_e-1} [p_E^{s_e} (1-p_E)]^{n_E} \cdot [1-p_E^{s_e}]^{n_P-n_E} \right. \\ &\quad \left. + [p_E^{m_e}]^{n_E} \cdot [1-p_E^{m_e}]^{n_P-n_E} \right\} \\ &\quad \cdot \sum_{n_P=0}^{\infty} \frac{e^{-gZ} \cdot (gZ)^{n_P}}{n_P! (1-e^{-gZ})} \end{aligned} \quad (16)$$

채널 경쟁 주기의 마지막 단계인 전송 단계에서 하나 이상의 패킷에 대하여 전송이 이루어진다면 전송에 실패한 것이다.

IV. 성능평가

이 장에서는 III장에서 분석한 EY-NPMA 프로토콜의 채널 경쟁 단계 중에서 수학적으로 분석한 제거 단계와 양보 단계의 결과를 시뮬레이션의 결과를 통하여 검증하고, 비교한다.

1. 시뮬레이션

HIPERLAN의 EY-NPMA 프로토콜은 수학적으로 분석하기가 매우 어렵다. 그 이유는 하나의 패킷이 채널을 사용하기 위하여 다양한 과정을 거치고,

그 복잡도가 매우 높기 때문이다. 그러므로, 이 논문에서는 프로토콜의 성능을 분석하기 위하여 C 언어를 이용하여 임시 망 시뮬레이터를 작성하였다^[17]. 트래픽은 HIPERLAN이 처리할 수 있는 최대한의 용량만큼 패킷을 포아송 분포로 발생시킨다. 다음의 제공된 패킷량을 기준으로 시뮬레이션을 수행하였다.

$$\text{제공된 패킷량} = \frac{\text{최대 패킷 크기} \times \left(\text{발생 패킷} \frac{\text{수}}{\text{단위 시간}} \right)}{\text{HIPERLAN의 최대 능력}} \quad (17)$$

2. 해석적 분석과 시뮬레이션의 결과 비교

그림 6은 본 논문에서 구한 수식의 결과를 시뮬레이션의 결과와 비교한 것으로 제거 버스팅 확률 p_E 가 0.5인 경우이다. 수식에 의한 그래프는 식 (15)를 이용하여 패킷이 발생한 이후 채널을 확보하고 패킷의 전송에 성공했을 경우의 확률을 구한 것이고, 시뮬레이션에 의한 그래프는 채널 경쟁에 참여한 평균 패킷의 수가 수식에서 사용한 패킷의 수와 거의 유사하도록 제공된 패킷량을 조절하여 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 두 결과를 비교해 볼 때, 수식의 결과와 시뮬레이션의 결과가 유사하게 나옴을 확인할 수 있었다.

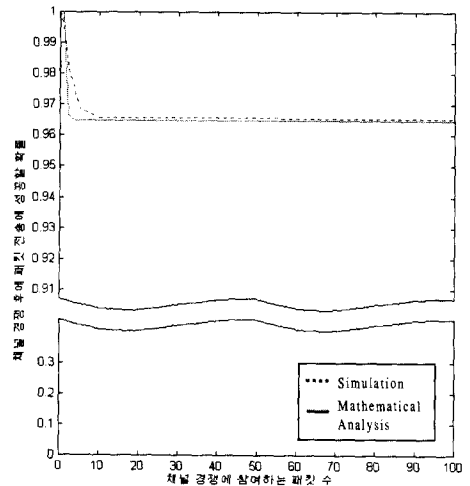


그림 6. 채널 경쟁에 참여한 패킷 수에 따른 해석적 분석과 시뮬레이션 비교

3. 해석적 분석 결과

그림 7은 EY-NPMA 프로토콜의 채널 경쟁 단계 중 제거 단계를 분석한 그래프로서, 채널 경쟁의 제거 단계에서 채널 경쟁에 참여하는 패킷의 수와는 무관하게 하나 이상의 거의 일정 수의 패킷만이 살아남는다는 것을 의미한다. 그림 8은 EY-NPMA 프로토콜의 채널 경쟁 단계 중 양보 단계를 분석한 그래프로서, 채널 경쟁의 양보 단계에서는 제거 단계 이후 살아남는 패킷의 수가 거의 일정하기 때문에, 양보 채널 경쟁 이후에는 하나 이상의 거의 일정 수의 패킷만이 살아남는다는 것을 의미한다. 그림 9는 EY-NPMA 프로토콜의 채널 경쟁 단계 중 제거 단계의 제거 버스팅 확률의 변화에 따른 전송 성공률을 나타낸 그림이다. 그림 9는 수학적 분석의 결과로서 제거 버스팅 확률 p_E 가 0.5와 0.6 인 경우에 전송 성공률이 96% 이상이 됨을 나타내고 있다.

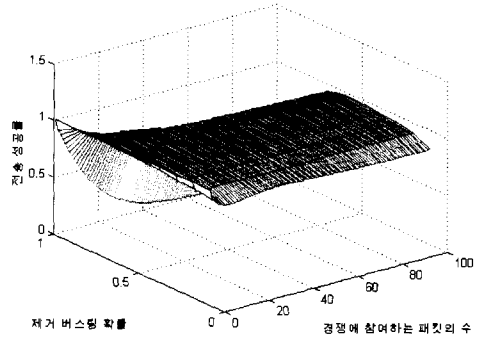


그림 9. 제거 버스팅 확률과 채널 경쟁하는 패킷 수의 변화에 따른 전송 성공률

V. 결론

무선 근거리 통신망의 연구에서 매체 접근 제어 프로토콜의 선택에 따라 시스템의 전반적인 성능에 큰 영향을 미친다. 따라서 본 논문에서는 ETSI의 HIPERLAN에서 선택한 EY-NPMA 프로토콜을 해석적으로는 채널 경쟁 단계 이후의 전송 성공률을 분석하고, 시뮬레이션을 통하여 해석적 분석 결과를 검증하였다. EY-NPMA 프로토콜의 무한 가입자 모델에 따른 채널 경쟁 후 패킷의 전송 성공률은 파라미터의 값이 변한다 하더라도 해석적 분석 결과 높은 전송 성공률을 나타냄을 확인 할 수 있었고, 시뮬레이션으로 검증 할 수 있었다. EY-NPMA 프로토콜의 채널 경쟁 단계 중 제거 단계와 양보 단계 이후 생존하는 평균 패킷 수를 보면, 제거 단계 이후에는 평균적으로 2개 이하의 매우 적은 수의 패킷만이 살아남아 양보 단계로 진행하므로 양보 단계에서는 제공되는 패킷 량에 큰 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다. 또한, 제거 단계와 양보 단계의 평균 슬롯 수 비교에서도 동일한 결과를 나타내었다. 그리고, 제거 단계의 제거 버스팅 확률은 0.5 ~ 0.6일 때, 채널 경쟁을 하는 패킷의 수에 상관없이 시스템의 전송 성공률이 높고, 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 본 연구에서는 EY-NPMA 프로토콜을 해석적으로 분석하고, 시뮬레이션을 통하여 해석적 분석 결과를 검증하였다. 본 연구의 결과가 향후 HIPERLAN 타입 2, HIPERACCESS와 HIPERLINK 등의 표준안이 완성되었을 때, 시스템의 분석에 활용될 것으로 기대한다.

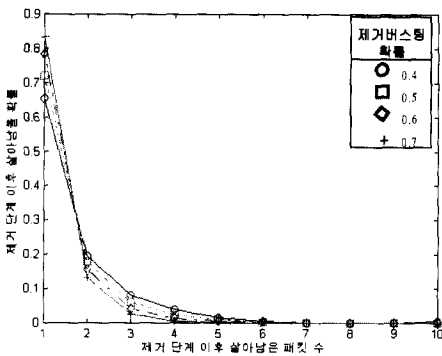


그림 7. 10개의 패킷에 대하여 제거 단계 이후 평균 생존 패킷 수에 따른 확률

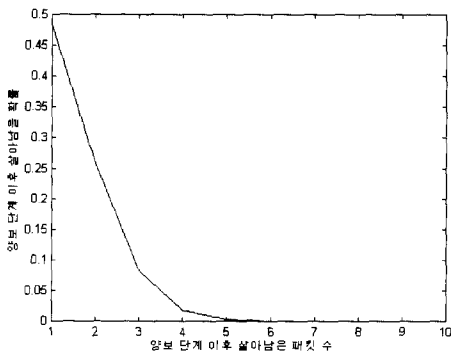


그림 8. 10개의 패킷에 대하여 양보 단계 이후 생존 패킷 수에 따른 확률

참고 문헌

- [1] ETSI, "Hiperlan Functional Specification," ETSI Draft Standard, July, 1996.
- [2] T. Wilkinson, T.G.C. Phipps, and S.K. Barton, "A Report on HIPERLAN Standardization," International Journal of Wireless Information Networks, Vol. 2, No. 2, 1995.
- [3] G. Anastasi, L. Lenzini and E. Mingozzi, "Stability and Performance Analysis of HIPERLAN," IEEE INFOCOM '98, pp. 134 - 141, Mar. 29 - Apr. 2, San Francisco, USA, 1998.
- [4] S. Chevrel, A.H. Aghvami, H.Y. Lach and L. Taylor, "Analysis and optimization of the HIPERLAN Channel Access Contention Scheme," Wireless Personal Communication 4: 27-39, 1996.
- [5] K. C. Chen, "MAC of Wireless LANs for Mobile Computing," IEEE Network, September/October, 1994.
- [6] H. Takagi and L. Kleinrock, "Throughput Analysis for CSMA Systems," IEEE Trans. Comm., Vol. COM-33, No. 7, pp. 627-638, Jul. 1985.
- [7] L. Kleinrock, *Queueing Systems Vol. 1 : Theory*, Prentice-Hall Inc., 1975.

조 광 오(Kwang-oh Cho)

정회원



1995년 2월 : 단국대학교
수학과 이학사
1997년 2월 : 한양대학교
전자계산학과 공학사
1999년 2월 : 한양대학교
전자계산학과 공학석사

1999년 3월~현재 : 한양대학교 전자계산학과 박사
과정

<주관심 분야> 무선 LAN, 무선 ATM, MAC 프로
토콜, Queueing theory 등

이 정 규(Jong-kyu Lee)

정회원



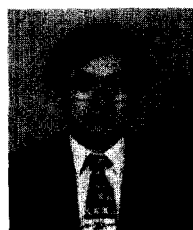
1979년 2월 : 한양대학교
전자공학과 공학사
1986년 : UCLA 전자공학과
공학석사
1989년 : UCLA 전자공학과
공학박사
(컴퓨터 네트워크 전공)

1979년~1984년 : 국방과학연구소 연구원
1989년~1990년 : 삼성전자 종합기술연구원 정보통
신부문 수석연구원
1990년~현재 : 한양대학교 전자계산학과 부교수

<주관심 분야> 무선 데이터 통신, 이동 통신,
Queueing theory 등

조 병 학(Kwang-oh Cho)

정회원



1981년 2월 : 서울대학교
전자공학과 공학사
1988년 2월 : 서울대학교
전자공학과 공학석사
1981년~1986년 : 동양정밀
공업(주) 중앙연구소

1988년~1990년 : LG 전자 영상미디어 연구소 선
임연구원
1992년~현재 : 전자부품연구원 선임연구원

<주관심 분야> 디지털변복조, Multiple Access Pro-
tocols, 대화형 CATV시스템, 무선
LAN 등

김 호 섭(Ho-seop Kim)

정회원



1992년 2월 : 한양대학교
전자계산학과 공학사
1994년 2월 : 한양대학교
전자계산학과 공학석사
1994년 3월~현재 : 전자부품
연구원 전임연구원

<주관심 분야> MAC 프로토콜, 멀티미디어 통
신, 영상처리 등