

論文99-36S-12-1

고속 무선 근거리 통신망 채널접근제어 프로토콜 성능분석

(Performance Analysis of HIPERLAN Channel Access Control Protocol)

申 亨 澈 * , 李 廷 圭 * *

(Hyung-Cheol Shin and Jong-Kyu Lee)

요 약

본 논문은 현재 유럽의 ETSI(European Telecommunication Standards Institute)의 고속 무선 근거리 통신망인 HIPERLAN(High Performance Radio Local Area Networks)의 채널접근제어 프로토콜의 성능을 분석하고 평가한다. HIPERLAN의 채널접근제어 프로토콜은 EY-NPMA방식으로 우선 순위 단계, 제거 단계와 양보단계로 구성된 채널 경쟁 기간을 통해 데이터를 전송한다. 제거 단계와 양보 단계로 구성된 채널 경쟁 단계를 해석적 분석을 한 후 이를 이용하여 처리율을 분석하고 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 이는 HIPERLAN 프로토콜 설계 및 구현시 유용하게 사용될 것이다.

Abstract

In this paper, the performance of HIPERLAN(High Performance Radio Local Area Networks) CAC(Channel Access Control) of ETSI(European Telecommunication Standards Institute) in Europe, as High speed wireless LAN, is analyzed and estimated by mathematical approaches. The CAC protocol of HIPERLAN is the EY-NPMA(Elimination Yield-Nonpreemptive Priority Multiple Access) which is transmitted after prioritization, elimination and yield phase. We analyzed channel contention phase composed of elimination and yield phase and then throughput is inspected by simulation. This result is useful to design and implement of HIPERLAN protocol.

I. 서 론

통신 기술의 발전에 따라 음성서비스가 주된 관심사였던 셀룰러 이동통신망에서 음성, 데이터 이미지 등을 포함한 멀티미디어 서비스에 대한 수요가 증가함에 따라 이에 부응하기 위하여 고속, 고품질의 무선 멀티미

디어 시스템을 목표로 하는 무선 근거리 통신망에 관심이 모아지고 있다. 이러한 무선 멀티미디어 근거리 통신망으로는 IEEE의 802.11과 현재 유럽의 ETSI(European Telecommunication Standards Institute)에서 표준화가 진행중인 HIPERLAN(High Performance Radio LAN)이 대표적이다^[1, 2]. IEEE의 무선 근거리 통신망 프로토콜의 표준인 802.11은 1990년부터 IEEE 802.11 위원회에서 표준화를 진행하고 있으나, 2.4 GHz 대역을 사용하고 전송률이 2Mbps이기 때문에, 점차로 증가하고 있는 멀티미디어 서비스 요구에는 부적합하다. 이에 비해 ETSI의 HIPERLAN은 4단계의 표준화가 진행중이며, 5 GHz 또는 17 GHz 대역을 사용하고 19Mbps, 25Mbps, 155Mbps 전송률을 지원하며, 향후에

* 正會員, 韓國電子通信研究院
(Electronics and Telecommunications Research Institute)

** 正會員, 漢陽大學校 電子計算學科
(Dept. of Computer Science and Engineering
Hanyang University)

接受日字:1999年1月20日, 수정완료일:1999年11月2日

무선 ATM(Wireless Asynchronous Transfer Mode)과 연결된다^[3, 4]. 초기에는 RES 10(Radio Equipment and System 10)에서 HIPERLAN 타입 1의 표준화를 시작 하였으나, 1997년부터는 BRAN(Broadband Radio Access Network)에서 이를 포함하였고, 현재는 무선 ATM 근거리 접속방식인 HIPERLAN/2, 무선 ATM 원격지 접속방식인 HIPERACCESS와 무선 광대역 통신망인 HIPERLINK에 대한 표준화를 진행하고 있다. 무선환경에서의 매체 또는 채널접근제어 프로토콜인 ALOHA 또는 IEEE 802.11에서 표준화한 CSMA/CA 프로토콜의 성능분석에 대한 연구들은 이미 활발히 이루어져 왔다^[5-10]. 또한 HIPERLAN의 프로토콜의 성능 분석에 대한 연구도 이루어져 왔지만 경쟁단계의 방식이 완성된 표준안과는 차이가 있는 표준안을 이용하여 수학적 분석 없이 시뮬레이션을 한 것이었다^[11-15]. 본 논문에서는 ETSI에서 표준화가 완성된 HIPERLAN type 1인 고속 무선 근거리 통신망의 채널접근제어 프로토콜인 EY-NPMA 프로토콜의 방식 및 특성을 알아 본 후, 채널 경쟁 단계인 제거 단계(Elimination phase)와 양보 단계(Yield phase)를 확률과정 이론(stochastic process)과 재생이론(renewal theory)를 기본으로 하여 수학적으로 성공확률과 성공하는 패킷 수와 평균길이를 단계별로 분석하고, 채널 접근 제어 프로토콜의 처리율을 분석하였다.

논문의 구성은 II장에서는 HIPERLAN의 채널접근제어 프로토콜인 EY-NPMA 프로토콜의 방식과 특성을 설명하며, III장에서는 성능분석을 위하여 시스템 모델을 설정하고, IV장에서는 채널 경쟁 단계인 제거 단계와 양보 단계의 분석과 채널접근제어 프로토콜의 처리율을 분석하고 V장에서는 수학적 분석의 결과를 다양하게 보인다. 마지막으로, VI장에서는 결론에 대하여 언급하였다.

II. 채널 접근 제어 프로토콜

EY-NPMA 프로토콜은 우선 순위 단계(Prioritization phase), 경쟁 단계(Contention phase), 전송 단계(Transmission phase)의 세 가지 단계로 구성되며, 경쟁 단계는 다시 제거 단계와 양보 단계로 구성되어 채널 접근 경쟁을 해결한다. 또한 채널의 상태에 따라 채널 프리 접근 기간(channel free channel access cycle)와 동기 채널 접근 기간(synchronized channel access

cycle)의 두 가지 채널 접근 기간이 있다^[3, 4]. 채널 프리 접근 기간은 패킷을 발생한 스테이션이 패킷 발생 순간부터 2,000 비트 기간(bit-periods)동안 아무도 채널을 사용하지 않는 빈 채널(idle channel)을 감지할 경우로 감지가 끝난 후 바로 패킷을 전송하는 전송단계만으로 구성된다. 이외는 반대로 동기 채널 접근 기간은 처음 채널을 감지하였을 때 채널이 바쁜 채널(busy channel)인 경우로 채널이 빈 채널이 될 때까지 기다렸다가 다음의 동기 채널 접근 기간에서 다시 채널 경쟁을 하는 경우로 우선 순위 단계, 제거 단계와 양보 단계를 거쳐 패킷을 전송하는 전송 단계로 구성된다.

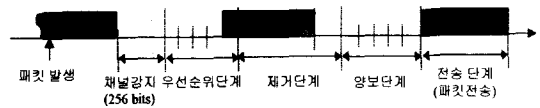


그림 1. 채널 경쟁 단계
Fig. 1. Channel Contention Phase.

우선 순위 단계는 동기 채널 접근 기간의 첫 번째 단계로 높은 우선 순위를 가진 패킷의 스테이션에게 경쟁 단계로의 진행할 수 있도록 하는 것이 목적이다. 이 우선 순위 단계는 경쟁하는 패킷들 사이에서 자신의 우선 순위를 검사하는 우선 순위 검사시간(Priority Detection phase)과 우선 순위 검사후 자신의 우선 순위를 주장하는 우선 순위 주장시간(Priority Assertion phase)으로 구성된다. 패킷의 우선 순위는 남아있는 유효 기간(residual lifetime)을 자신의 목적 스테이션에 전송되기까지 거치는 홵(hop) 수에 대하여 일반화한 값인 잔여 유효기간(Normalized Residual Lifetime)에 의해 정해진다^[3, 4].

제거단계는 경쟁단계의 첫 번째 단계로서 우선 순위 단계에서 생존한 패킷의 스테이션들이 다시 채널 경쟁을 하는 단계이다. 제거단계는 경쟁하는 패킷들을 제거하기 위하여 최대 m_{ES} 개의 212 비트 기간 동안 버스트 데이터를 전송하는 제거 버스팅(Elimination bursting) 기간과 제거 버스팅 기간 후에 자신의 생존 여부를 확인하기 위하여 하나의 256 비트 기간 동안 채널을 감지하는 제거 생존 검증(Elimination survival verification)으로 구성된다. 버스트 데이터를 전송하는 제거 슬롯 기간의 수는 식(1)의 기하 분포(truncated geometric distribution)를 따른다^[3, 4].

$$P_E(i) = \begin{cases} p_E^i (1-p_E) & 0 \leq i < m_{ES} \\ p_E^{m_{ES}} & i = m_{ES} \end{cases} \quad (1)$$

여기서, 확률 p_E 는 하나의 제거 슬롯 기간에서 버스트를 전송하는 확률이다. 식(1)의 분포에 따라 제거 슬롯 기간의 수 동안 버스트 데이터를 전송하는 제거 버스팅 기간이 끝난 후에 각 스테이션은 제거 생존 검증 기간동안 채널을 감지하여 채널이 비어 있으면, 자신의 생존하였음을 알고 다음 단계인 양보단계에서 다시 채널경쟁을 한다. 이와는 반대경우로 채널이 비어 있지 않으면 자신이 다른 스테이션들에 의해 경쟁단계에서 제거되었음을 알고 이번 채널 경쟁을 포기하고 다음의 채널 접근 기간까지 기다린다. 그러므로, 경쟁하는 스테이션들에서 식(1)에 의해 정해지는 각 스테이션들의 제거 버스팅 기간들 중 가장 긴 기간을 가지는 스테이션들만이 생존하여 다음 단계인 양보 단계로 진행한다.

양보단계는 경쟁단계의 마지막 단계로 제거 단계에서 생존한 스테이션들이 제거단계와는 반대로 다른 스테이션에게 채널을 양보함으로써 제거단계를 보상하는 단계이다. 양보단계에 들어온 스테이션들은 각각 최대 m_{YS} 개의 양보 감지(yield listening) 슬롯 기간인 168 비트 기간동안 채널을 감지한다.

양보 감지 슬롯 기간의 수는 다음 식(2)의 균일 분포(uniform distribution)를 따른다^{3, 4)}.

$$P_Y(j) = \frac{1}{m_{YS} + 1} \quad \text{for } 0 \leq j \leq m_{YS} \quad (2)$$

이 기간들 동안 채널을 감지하여 채널이 비어 있으면 다른 스테이션들이 자신에게 채널을 양보해준 것으로 알고 바로 자신의 패킷을 전송한다. 채널이 비어있지 않으면 이번 채널 경쟁을 포기하고, 다음 채널 접근 기간까지 기다린다. 따라서, 경쟁하는 스테이션들 중 가장 짧은 양보 감지 슬롯 기간을 갖는 스테이션만이 살아남아 전송 단계로 진행하여 패킷을 전송할 수 있게 된다.

III. 시스템 모델

본 논문에서는 ETSI의 BRAN의 표준안의 내용을 기본으로 하여 채널 접근 제어 프로토콜을 수학적으로 분석한다⁴⁾. 시스템 모델로는 슬롯화된 EY-NPMA 프로토콜로 모델링한다. 따라서, 패킷이 발생하여 채널 감지기간 동안 채널을 감지하고, 이때 채널이 비어 있으면 바로 데이터를 전송을 시도하는 채널 프리 채널 접근 기간으로 가고, 반대로 채널이 사용중이면 채널이

빌 때까지 채널을 감지한 후 채널경쟁을 시도하는 동기 채널 접근 기간으로 간다. 이와 같은 동작을 각 스테이션에서는 패킷이 발생할 때마다 또는 전송에 성공할 때까지 반복한다.

채널 모델은 채널이 시간 축에 대하여 단위 슬롯으로 나누어진 슬롯화된 모델을 사용하였으며, 시간 축은 단위 슬롯 크기인 u 로 나누어 있다고 가정하였고, 채널 감지 슬롯 기간과 우선 순위 슬롯 기간, 제거 슬롯 기간, 제거 생존 검증 슬롯 기간과 양보 감지 슬롯 기간들의 크기는 단위 슬롯 기간의 크기인 u 의 배수라고 가정하였다. 또한 무잡음(noiseless) 채널로 가정하여 전송 중의 에러는 패킷간의 충돌에 의한 에러에 비하여 크지 않다고 가정하였다. 그리고, 각 스테이션의 전파지연은 각각 동일하다고 가정하였고, 각 스테이션은 단위 슬롯의 시작점에서 패킷 전송을 시도하도록 동기화 되어있다고 가정하였다.

트래픽 모델은 유한 게임자 모델로 설정하여 M 개의 스테이션으로 구성된 통신망으로 설정하였으며, 한 스테이션에서 새로운 패킷이 발생할 확률은 기하 분포를 따르는 g 라고 가정하고, $1-g$ 의 확률로 패킷을 발생하지 않는다 ($0 \leq g \leq 1$)^{10, 11)}. 각 스테이션은 서로 독립적이며, 또한 이전의 발생한 패킷이 전송에 성공한 경우에만 새로운 패킷이 발생한다고 가정하였다.

또한, 같은 채널 접근 기간에서 채널 경쟁을 시도하는 스테이션들이 발생하는 패킷의 채널 접근 우선 순위(priority)는 일반적인 분포함수로 나타낼 수가 없으므로 수학적 분석을 용이하게 위해 모두 동일하다고 가정하였다.

패킷의 길이는 분석을 용이하게 하기 위하여 실제 패킷을 전송하는 시간인 1로 고정하며, 패킷은 응답이 필요 없는 멀티캐스트 데이터로 설정하였다.

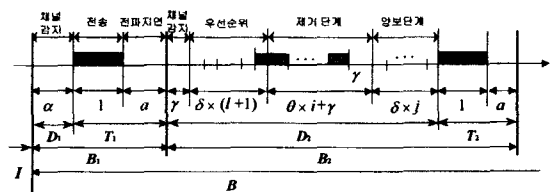


그림 2. 시스템 모델
Fig. 2. System Model

이러한 가정들에 의하여 시스템의 상태는 다음 세 가지 상태 중에서 하나의 상태에 있게 된다. 우선 I 상

태는 빈 상태(idle state)로 패킷 전송을 준비한 스테이션이 하나도 없는 상태이며, B 상태는 바쁜 상태(busy state)로 1개 이상의 스테이션이 패킷 전송을 하는 상태이며, U 상태는 유효한 전송 상태(useful transmission state)로서, 실제 전송에 성공하는 상태이다¹⁶⁻¹⁸⁾.

IV. 채널 경쟁 단계와 처리율 분석

이 장에서는 III장에서 정의한 시스템 모델을 이용하여 채널 접근 제어 프로토콜(EY-NPMA)의 제거 단계와 양보 단계를 수학적으로 분석한다. 가정에서 임의의 같은 채널 접근 기간에서 경쟁하는 스테이션들의 패킷의 우선 순위는 동일하다고 하였다. 따라서, 채널 경쟁에 참여하는 스테이션들은 모두 우선 순위 단계에서 살아남아 제거 단계에서 다시 채널 경쟁을 하게 된다.

1. 제거 단계와 양보 단계 분석

채널 경쟁에 참여하는 스테이션의 수를 확률 변수 N ($1 \leq n \leq M$), 제거 단계 이후에 살아남는 스테이션의 수를 S ($0 \leq s \leq M$), 제거 슬롯 기간의 수를 X ($0 \leq x \leq m_{ES}$)로 정의하였다. n 개 스테이션들 중 제거 단계의 경쟁 이후, s 개 스테이션이 경쟁에서 살아남으려면 s 개 스테이션들은 i 개의 제거 버스팅 슬롯 기간 동안 버스트 데이터를 전송하고, 나머지 $n-s$ 개의 스테이션들은 i 개의 제거 버스팅 슬롯 기간 보다 적은 기간 동안 버스트 데이터를 전송하면 된다. 따라서, n 개 스테이션의 제거 단계에서 경쟁하여 s 개 스테이션이 남을 확률은 다음 식 (3)과 같이 구할 수 있다.

$$Pr[S=s|N=n] = \begin{cases} [P_E(X=i)]^n & i=0 \\ \sum_{i=1}^{m_{ES}} \binom{n}{s} [P_E(X=i)]^s \cdot [P_E(X<i)]^{n-s} & 1 \leq i \leq m_{ES} \end{cases} \quad (3)$$

이 식 (3)의 확률은 식 (1)을 이용하여 모든 i 에 대하여 구하면 다음 식 (4)와 같다.

$$Pr[S=s|N=n] = \begin{cases} \binom{n}{s} \left[\sum_{i=1}^{m_{ES}-1} (p_E^i(1-p_E))^s (1-p_E^i)^{n-s} + (p_E^{m_{ES}})^s (1-p_E^{m_{ES}})^{n-s} \right] & 1 \leq s < n \\ \sum_{i=0}^{m_{ES}-1} (1-p_E)^n + (p_E^{m_{ES}})^n & s=n \end{cases} \quad (4)$$

식 (4)의 확률로 살아남은 s 개 스테이션들이 양보 단계에서 다시 채널 경쟁을 하여 t 개 스테이션들이 살아남는다고 가정하자. 이는 s 개 스테이션들 중 t 개 스테이션이 j 개 양보 감지 슬롯 기간동안 채널을 감지하고, $s-t$ 개 스테이션들은 j 개보다 긴 양보 감지 슬롯 기간동안 채널을 감지하여야한다. 그러므로, 식 (5)와 같이 구할 수 있다.

$$Pr[T=t|S=s] = \sum_{j=0}^{m_{YS}-1} \binom{s}{t} [P_Y(Y=j)]^t [P_Y(Y>j)]^{s-t} \quad (5)$$

이 식을 식 (2)를 이용하여 모든 j 에 대해서 구하면 다음의 식 (6)과 같이 구할 수 있다.

$$Pr[T=t|S=s] = \sum_{j=0}^{m_{YS}-1} \binom{s}{t} \left(\frac{1}{m_{YS}+1} \right)^t \left(1 - \frac{j+1}{m_{YS}+1} \right)^{s-t} \quad (6)$$

이제 위 결과를 이용하면 제거 단계와 양보 단계의 채널 경쟁이 끝난 후 생존하여 전송을 시도하는 스테이션의 수를 구할 수가 있다. 즉, 동기 채널 접근 기간에서 n 개 스테이션이 경쟁하여 t 개가 남을 확률은

$$Pr[T=t|N=n] = \sum_{s=1}^n Pr[T=t|S=s] Pr[S=s|N=n] = \left\{ \sum_{s=1}^{n-1} \binom{n}{s} \left[\sum_{i=1}^{m_{ES}-1} (p_E^i(1-p_E))^s (1-p_E^i)^{n-s} + (p_E^{m_{ES}})^s (1-p_E^{m_{ES}})^{n-s} \right] + \sum_{i=0}^{m_{ES}-1} (1-p_E)^n + (p_E^{m_{ES}})^n \right\} \cdot \sum_{j=0}^{m_{YS}-1} \binom{s}{t} \left(\frac{1}{m_{YS}+1} \right)^t \left(1 - \frac{j+1}{m_{YS}+1} \right)^{s-t} \quad (7)$$

이다.

이때, 살아남은 스테이션들이 패킷 전송시도 후 충돌이 없이 전송에 성공하려면 채널 경쟁 단계 후 생존하는 스테이션은 하나이어야만 한다. 즉, $T=1$ 일 경우이다. 그러므로, n 개 스테이션이 채널경쟁에 참가하여 전송에 성공할 확률은 다음과 같다.

$$Pr[\text{전송 성공}] = Pr[T=1|N=n] = \sum_{j=0}^{m_{YS}-1} \frac{s \cdot (m_{YS}-j)^{s-1}}{(m_{YS}+1)^s} \cdot \left\{ \sum_{s=1}^{n-1} \binom{n}{s} \left[\sum_{i=1}^{m_{ES}-1} (p_E^i(1-p_E))^s (1-p_E^i)^{n-s} + (p_E^{m_{ES}})^s (1-p_E^{m_{ES}})^{n-s} \right] + \sum_{i=0}^{m_{ES}-1} (1-p_E)^n + (p_E^{m_{ES}})^n \right\} \quad (8)$$

반대로 채널 경쟁단계 후 충돌이 발생할 확률, 즉 전송에 실패할 확률은 식 (9)와 같다.

$$\begin{aligned}
 Pr\{\text{전송 실패}\} &= Pr\{T > 1 | N = n\} \\
 &= \left[1 - \sum_{j=0}^{m_{YS}} \frac{s(m_{YS}-j)^{s-1}}{(m_{YS}+1)^s} \right] \left[\sum_{s=1}^{n-1} \binom{n}{s} \right. \\
 &\quad \left. \left[\sum_{i=0}^{m_{ES}-1} (\rho_E^i (1-\rho_E)^s (1-\rho_E^i)^{n-s}) + (\rho_E^{m_{ES}})^s (1-\rho_E^{m_{ES}})^{n-s} \right] \right. \\
 &\quad \left. + \sum_{i=0}^{m_{ES}-1} (1-\rho_E)^n + (\rho_E^{m_{ES}})^n \right] \quad (9)
 \end{aligned}$$

다음은 동기 채널 접근 기간에 참가하는 스테이션의 수가 n 일 때 제거 단계와 양보 단계의 평균 길이를 구한다. 이는 다음에 구할 처리율에 이용된다. 먼저 제거 단계의 길이는 각 스테이션의 제거 버스팅 기간들 중 가장 긴 제거 버스팅 기간과 제거 생존 검증기간의 합이 된다. 그러므로, L_E 는 $\theta \times i + \gamma$ 이다. 우선, 최대 제거 버스팅 기간의 수를 i 라고 하면, 제거 단계에서 경쟁하는 스테이션들 중 적어도 하나 이상이 스테이션들이 i 개의 제거 버스팅 기간동안 버스트 데이터를 전송하면 된다. 경쟁하는 스테이션의 수가 n 일때 제거 단계의 평균 길이 $E[L_E]$ 를 구하면 다음과 같다.

$$E[L_E | N = n] = \theta \cdot \left[m_{ES} - \sum_{i=1}^{m_{ES}} (1 - \rho_E^i)^n \right] + \gamma \quad (10)$$

양보 단계의 길이 L_Y 는 $\delta \times j$ 이다. 양보 단계는 제거 단계와는 달리 제거 단계 이후 살아남은 n 개 스테이션들의 각 양보 감지 기간들 중 최소 값이 양보 단계의 슬롯 기간 L_Y 가 된다. 따라서, 양보 단계에서 채널 경쟁을 하는 스테이션들 중 적어도 하나 이상은 최소 j 개의 슬롯 기간을 가져야 한다. 따라서, 양보 단계의 평균 길이 $E[L_Y]$ 는 다음 식 (11)와 같다.

$$E[L_Y | N = n] = \delta \cdot \sum_{j=1}^{m_{YS}} \left[1 - \frac{j}{(m_{YS}+1)} \right]^n \quad (11)$$

2. 프로토콜의 처리율 분석

채널 접근 제어 프로토콜인 EY-NPMA 프로토콜의 처리율을 분석하기 위하여 평균 B 기간, 평균 I 기간 및 평균 U 기간을 구하고, $E[U]/(E[B] + E[I])$ 로 처리율을 유도한다^[18]. 바로 이전의 부분 바쁜 기간(sub-busy period)에서 채널 접근 시도에 실패한 스테이션들의 패킷의 수와 새로운 패킷을 발생하는 스테이

션들의 패킷의 합이 평균이 $1/g$ 인 기하 분포를 따른다고 가정한다. 그림 2에서 바쁜 기간은 다시 부분 바쁜 기간들로 나누어지며, k 번째 부분 바쁜 기간을 B_k 로 정의하며, 이것은 다시 전송 지연 기간인 채널 접근 기간 D_k 와 전송 기간 T_k 로 구성된다. 전송에 성공하였을 경우의 유효 전송기간은 U 로 정의하며, k 번째 유효전송 기간을 U_k 라고 한다.

바쁜 기간은 부분 바쁜 기간 B_k 의 모임으로 구성되어 있고, $k \geq 2$ 일 때의 부분 바쁜 기간은 동기 채널 접근 기간의 기간 D_k 와 T_k 로 구성된다. 실제 전송시간 T_k 는 $1+a$ 이다. 이것은 전송에 성공하거나 또는 실패하는 경우가 같다. k 번째 부분 바쁜 기간은 식 (12)와 같다. 또한, $k=1$ 일 경우, 빈 기간(idle period)에서 패킷이 발생하여 전송을 시도하는 채널 프리 접근 기간으로, 채널 감지기간 a 와 전송 기간인 T_1 으로 구성된다. 또한 다음 식(12)의 D_k 의 i, j 는 식 (1)과 (2)의 분포를 따른다.

$$B_k = D_k + T_k \quad (12)$$

$$\begin{aligned}
 \text{where } D_k &= \begin{cases} a & ; k=1 \\ 2\gamma + \delta \times (j+1) + \theta \times i & ; k=2, 3, \dots \end{cases} \\
 T_k &= 1 + a \quad ; k=1, 2, \dots
 \end{aligned}$$

각 바쁜 기간내의 부분 바쁜 기간의 수를 K 라고 정의하면, B 와 U 는 B_k 와 U_k 의 합이라고 하였으므로 다음과 같이 쉽게 구할 수 있다 ($1 \leq k \leq K$).

$$B = \sum_{k=1}^K B_k \quad , \quad U = \sum_{k=1}^K U_k \quad (13)$$

이때, 부분 바쁜 기간은 바로 이전의 부분 바쁜 기간 내에서 패킷이 발생하게 되면, 지속적으로 연속되기 때문에 평균 K 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 Pr\{K = k\} &= [1 - (1-g)^{(B_i/u)M}]^{k-1} \cdot (1-g)^{(B_i/u)M} \\
 E[K] &= \frac{1}{(1-g)^{(B_i/u)M}} \quad ; k = 1, 2, \dots \quad (14)
 \end{aligned}$$

B_1 은 처음 빈 기간에서 바쁜 기간으로 전이하는 경우에 발생하며, B_k ($k \geq 2$) 는 이전의 부분 바쁜 기간에 의하여 발생하고, 각각이 서로 기하 분포의 독립적

인 특성을 갖는다. U 의 특성도 B 와 동일하며 각각의 평균은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E[B] &= E[B_1] + (E[K] - 1)E[B_2] \\ E[U] &= E[U_1] + (E[K] - 1)E[U_2] \end{aligned} \quad (15)$$

빈 기간은 각 슬롯에서 패킷이 발생하지 않는 경우이고 기하 분포를 따르므로, 평균 빈 기간은

$$\begin{aligned} Pr\{I = k\} &= (1-g)^{M(k-1)} [1-(1-g)^M] \\ E[I] &= \frac{u}{[1-(1-g)^M]} \quad ; k = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (16)$$

이 된다.

여기서, 평균 D_k 와 평균 U_k 를 구하기 위하여 $P_n(X)$ 를 X 개의 슬롯 동안 M 개 스테이션들 중 n 개의 패킷이 발생할 확률이라고 정의하면,

$$P_n(X) = \frac{\binom{M}{n} [1 - (1-g)^X]^n (1-g)^{X(M-n)}}{1 - (1-g)^{XM}} \quad (17)$$

$; n = 1, 2, \dots, M.$

이고, 또한 N_k 를 패킷 전송 기간이 끝날 때 채널이 비어있는 상태를 기다리고 있는 패킷의 수, 즉 다음 채널 접근 기간에서 채널 접근 경쟁을 시도할 스테이션들의 수로 정의하면,

$$Pr\{N_k = n\} = P_n(B_{k-1}/u) \quad j = 2, 3, \dots \quad (18)$$

이 된다. 여기서, $N_k = n$ 이라고 하면, $k \geq 2$ 일 때의 평균 D_k 를 구하기 위해 우선 채널 감지기간의 평균 길이(L_S), 제거 단계의 평균 길이(L_E)와 양보 단계의 평균 길이(L_V)를 구할 수 있다

동기 채널 접근 기간의 채널 감지기간의 평균 길이를 구하면

$$\overline{L_S} = \gamma \cdot [1 - (1-g)^{MB_{k-1}/u}] \quad (19)$$

이다.

제거 단계의 평균 길이 L_E 와 양보 단계의 평균 길이 L_V 는 식(10)와 (11)를 이용하여 각각 다음의 식 (20)와 (21)로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \overline{L_E} &= \theta \cdot \left[\sum_{j=1}^M \left\{ m_{ES} - \sum_{i=1}^{m_{ES}} (1-p_E^i)^n \right\} \frac{M!}{n! (M-n)!} \right. \\ &\quad \left. \frac{[1 - (1-g)^{B_{k-1}/u}]^n (1-g)^{(M-n)B_{k-1}/u}}{1 - (1-g)^{MB_{k-1}/u}} \right] + \gamma \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \overline{L_V} &= \delta \left[\sum_{n=1}^M \left\{ \sum_{s=1}^{n-1} \binom{n}{s} \left[\sum_{i=1}^{m_{ES}-1} (p_E^i (1-p_E)^s (1-p_E^i)^{n-s} \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. + (p_E^{m_{ES}})^s (1-p_E^{m_{ES}})^{n-s} \right] + \sum_{i=0}^{m_{ES}-1} (1-p_E)^n \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + (p_E^{m_{ES}})^n \right\} \cdot \sum_{j=1}^{m_{VS}} \left[1 - \frac{j}{(m_{VS}+1)^s} \right] \right] \\ &\quad \cdot \frac{\binom{M}{n} [1 - (1-g)^{B_{k-1}/u}]^n (1-g)^{(M-n)B_{k-1}/u}}{1 - (1-g)^{MB_{k-1}/u}} \end{aligned} \quad (21)$$

이를 이용하여 평균 D_k 를 구하면 다음과 같다.

$$E[D_k] = \begin{cases} \alpha \cdot [1 - (1-g)^M] & ; k=1 \\ \frac{\alpha \cdot [1 - (1-g)^M]}{\overline{L_S} + \overline{L_E} + \overline{L_V}} & ; k \geq 2 \end{cases} \quad (22)$$

식 (12), (14), (15), (16)과 (22)를 이용하여 평균 $E[B]$ 와 $E[I]$ 의 합을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E[B] + E[I] &= \alpha \cdot [1 - (1-g)^M] + 1 + a + \left[\frac{1}{(1-g)^{(B_k/u)M} - 1} \right] \\ &\quad \cdot (\overline{L_S} + \overline{L_E} + \overline{L_V} + 1 + a) + \frac{u}{[1 - (1-g)^M]} \end{aligned} \quad (23)$$

다음은 식 (8), (14)과 (15)을 이용하여 평균 $E[U]$ 를 구한다.

$$\begin{aligned} E[U] &= (1+a) \left[\frac{Mg(1-g)^{M-1}}{1 - (1-g)^M} + \left\{ \frac{1}{(1-g)^{(B_k/u)M} - 1} \right\} \right. \\ &\quad \cdot \sum_{n=1}^M \sum_{j=0}^{m_{VS}} \frac{s \cdot (m_{VS}-j)^{s-1}}{(m_{VS}+1)^s} \cdot \left\{ \sum_{s=1}^{n-1} \binom{n}{s} \left[\sum_{i=0}^{m_{ES}-1} (1-p_E^i)^n \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \cdot (p_E^i (1-p_E)^s + (p_E^{m_{ES}})^s (1-p_E^{m_{ES}})^{n-s}) \right] + (p_E^{m_{ES}})^n \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \sum_{i=0}^{m_{ES}-1} (1-p_E)^n \right\} \cdot \binom{M}{n} \left[\frac{B_{k-1}}{u} g (1-g)^{\frac{B_{k-1} \dots 1}{u}} \right]^n \right. \\ &\quad \left. \cdot \left[1 - \frac{B_{k-1}}{u} g (1-g)^{B_{k-1}/u-1} \right]^{(M-n)} \right] \end{aligned} \quad (24)$$

따라서, 식 (23)과 (24)을 이용하여 HIPERLAN의 채널 접근제어 프로토콜의 처리율을 구할 수 있다.

$$S = \frac{E[U]}{E[B] + E[I]} \quad (25)$$

V. 분석결과 및 고찰

본 장에서는 EY-NPMA 프로토콜의 제거 단계와 양보 단계에서 분석한 결과 값들을 비교한다. 기본 파라미터 설정은 ETSI의 HIPERLAN 표준안을 근거로 하였다^[3, 4]. 사용된 파라미터들은 스테이션 수인 M , 채널 감지기간 α (채널 프리 채널 감지기간 일 경우)와 γ (동기 채널 감지기간 일 경우), 우선 순위 검사 슬롯 기간, 우선 순위 주장 기간인 δ , 제거 버스팅 슬롯 기간 θ , 제거 생존 검증 슬롯 기간 γ 와 양보 감지 슬롯 기간 δ 을 사용하였다.

그림 3과 4는 EY-NPMA 프로토콜을 사용하여 채널 경쟁에 참여하는 스테이션의 수와 제거 버스팅 확률 값 p_E 의 변화에 따라 채널 경쟁 이후 전송에 성공하는 확률을 비교한 그림이다. 그림 3에서 $0.4 \leq p_E \leq 0.7$ 에서 전송에 성공할 확률이 다른 제거 버스팅 확률 값에 비하여 높게 나타남을 알 수 있다. 그림 4는 스테이션 수가 증가함에 따라 제거 버스팅 확률 p_E 가 0.5인 경우에는 제거 단계에 참여하는 스테이션 수에도 영향을 받지 않고, 전송 성공률도 높은 상태에서 일정하게 유지함을 확인 할 수 있다.

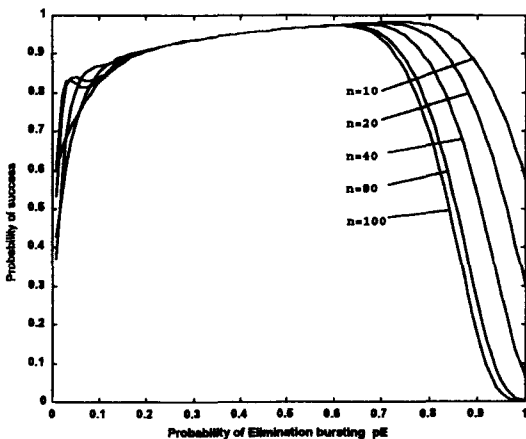


그림 3. 제거 버스팅 확률 p_E 의 변화에 대한 채널 경쟁단계 후 전송에 성공할 확률
Fig. 3. Elimination bursting probability p_E vs. success probability after channel contention phase.

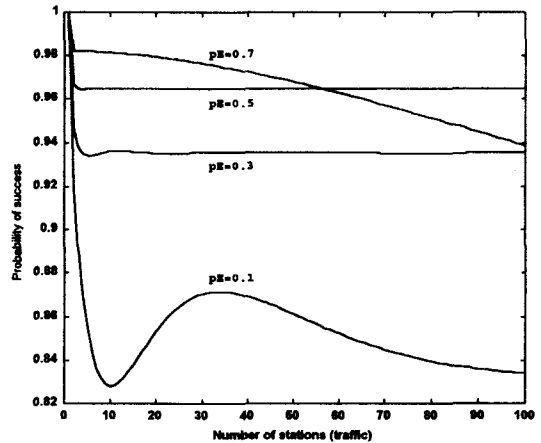


그림 4. 스테이션 수에 대한 채널 경쟁단계 후 전송에 성공할 확률
Fig. 4. Number of stations vs. success probability after channel access phase.

그림 5는 전송 성공확률이 가장 높을 때 ($p_E = 0.5$) 채널 접근 제어 프로토콜의 처리율을 분석한 것이다. 수학적 분석과 시뮬레이션의 결과가 같다. 시뮬레이션을 통하여 수학적 분석을 검증하였다. 처리율은 61% 정도이며 일정 수 이상의 전송을 시도하는 패킷의 수에 대해서 안정적인 값이 된다.

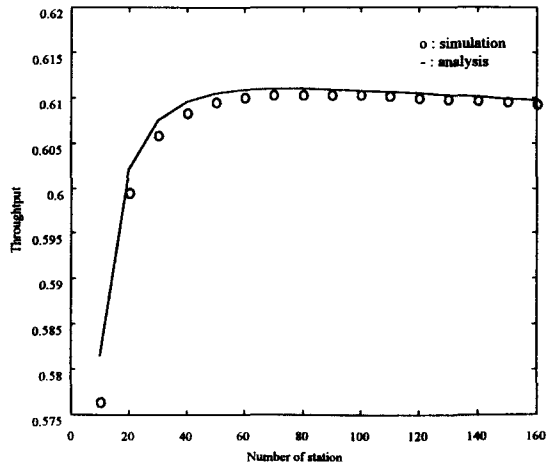


그림 5. 채널 접근 제어 프로토콜의 처리율
Fig. 5. Throughput of CAC Protocol.

VI. 결론

본 논문에서는 고속 무선 근거리 통신망인 HIPERLAN

의 채널 접근 제어 프로토콜인 EY-NPMA 프로토콜의 성능을 분석하였다. 성능 분석 모델로서는 유한 가입자 모델에 대하여 고려하였고, EY-NPMA 프로토콜의 채널 경쟁 단계인 제거 단계와 양보 단계에 대해서 분석하고 프로토콜의 처리율을 수학적으로 분석하였다.

분석결과로서, 트래픽 양이 많은 경우, 제거 단계의 길이가 늘어남을 알 수 있었고, 제거 단계 이후에 살아남아 양보 단계에서 채널 경쟁을 시도하는 스테이션의 수는 제거 버스팅 확률 p_E 의 값과 채널 경쟁에 참여하는 스테이션 수에 큰 영향을 받지 않고, 일정 수의 스테이션이 남게되며, 양보 단계 후 살아남아 전송을 시도하는 스테이션의 수도 채널 경쟁에 참가하는 스테이션의 수에 관계없이 0~5 정도 값을 가짐을 알 수 있었다. 전송에 성공하는 확률은 $p_E = 0.5$ 일 때 스테이션의 수와 관계없이 0.96 정도 값을 가진다.

본 연구의 각 단계의 성능분석과 프로토콜의 처리율 분석은 파라미터에 대한 프로토콜 성능 비교 평가에 의미가 있으며, 데이터의 특성을 반영하는 다양한 트래픽 모델과 무선 채널환경에서도 적용할 수가 있다. 또한 채널 접근 제어 프로토콜의 설계 및 구현시 유용하게 사용되어 질 것이다.

참 고 문 헌

- [1] K.Pahlavan and A. H. Levesque, "Wireless Data Communications," Proceeding of the IEEE, vol. 82, no. 9, pp.1398-1430, Sep. 1994.
- [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, pp.99-120, Apr. 1995.
- [3] ETSI RES 10, HIPERLAN Type 1; functional specification, ETS 300 652 ETSI Draft Standard. Jun. 1996.
- [4] ETSI BRAN, HIPERLAN Type 1; functional specification, EN 300 652, ETSI Draft Standard. Jul. 1998.
- [5] C. Namislo, "Analysis of Mobile Radio Slotted ALOHA Networks," IEEE J. Select. Areas. Commun., vol. SAC-2, no. 4, pp. 583-588, Jul. 1984.
- [6] M. Zorzi and R. R. Rao, "Capture and Retransmission Control in Mobile Radio," IEEE J. Select. Areas. Commun., vol. 12, no. 8, pp. 1289-1298, Oct. 1994.
- [7] F. Borgonovo and M. Zorzi, "Slotted ALOHA and CDPA : A comparison of Channel Access Performance in Cellular Systems," Proc. IEEE INFOCOM '96, pp. 696-703, San Francisco, USA, Mar. 26-28, 1996.
- [8] H. S. Chhaya and S. Gupta, "Throughput and Fairness Properties of Asynchronous Data Transfer Methods in the IEEE 802.11 MAC Protocol," Proc. IEEE PIMRC '95, pp. 613-617, Toronto, Canada Sep. 27-29, 1995.
- [9] H. Takagi, L. Kleinrock, "Throughput Analysis for CSMA Systems," IEEE Trans. Commun., vol. COM-33, no. 7, pp. 627-638, Jul. 1985.
- [10] L. Kleinrock and F. A. Tobagi, "Packet Switching in Radio Channels: Part I - Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput-Delay Characteristics," IEEE Trans. on Commun., vol. com-23, no. 12, pp. 1400-1416, Dec. 1975.
- [11] P. Jacquet, P. Minet, P. Mühlethaler and N. Pivierre, "Priority and Collision Detection with Active Signaling - The Channel Access Mechanism of HIPERLAN," Wireless Personal Communication vol. 4, no. 1, pp.11-25, Jan. 1996.
- [12] S. Chevrel, A. H. Aghvami, H. Y. Lach and L. Taylor, "Analysis and optimization of the HIPERLAN Channel Access Contention Scheme" Wireless Personal Communication vol. 4, no. 1, pp.27-39, Jan. 1996.
- [13] K. Fu, Y. J. Guo and S. K. Barton, "Performance of the EY-NPMA Protocol," Wireless Personal Communication vol. 4, no.1, pp.41-50, Jan. 1996.
- [14] P. Jacquet, P. Minet, P. Mühlethaler and N. Rivierre, "Increasing Reliability in Cable-Free LANs Low Level Forwarding in HIPERLAN," Wireless Personal Communication vol. 4, no. 1, pp.51-63, Jan. 1996

- [15] P. Jacquet, P. Minet, P. Mühlethaler and N. Rivierre, "Data Transfer for HIPERLAN," Wireless Personal Communication vol. 4, no. 1, pp.65-80, Jan. 1996
- [16] E. Çinlar, Introduction to Stochastic Processes, Prentice-Hall Inc., 1975.
- [17] S. Ross, Stochastic Processes, John Wiley & Sons Inc., 1996.
- [18] L. Kleinrock, Queueing Systems Vol. 1: Theory, John & Sons Inc. 1975.

저 자 소 개



申亨澈(正會員)

1997년 한양대학교 전자계산학 1999년 한양대학교 전자계산학 석사. 1999년~현재, 한국전자통신연구원. 관심 분야: 무선통신, 프로토콜 성능 분석, Stochastic Process, Queueing Theory 등



李廷圭(正會員)

1979년 한양대학교 전자공학과. 1986년 UCLA 전자공학과 석사. 1989년 UCLA 전자공학과 박사(컴퓨터 네트워크 전공). 1979년~1984년 국방과학연구소 연구원. 1989년~1990년 삼성전자 정보통신연구소 수석 연구원. 1990년~현재 한양대학교 전자계산학과 부교수. 1997년~ 현재 한양대학교 공학기술연구소 부소장. 관심 분야: 무선 데이터 통신, 이동 및 위성 통신망 성능 분석, Queueing theory 등