

고속 무선 근거리 통신망(HIPERLAN) 채널접근제어 프로토콜의 성능분석

(Performance Analysis of the HIPERLAN Channel Access Control Protocol)

현 영 균 [†] 이 정 규 ^{**}
(Young Guen Hyun) (Jong Kyu Lee)

요 약 본 논문에서는 유럽의 ETSI(European Telecommunication Standards Institute)에서 표준화를 진행 중에 있는 유럽형 고속 무선 근거리 통신망인 HIPERLAN(High Performance Radio Local Area Network) 타입 1의 채널접근제어 프로토콜인 EY-NPMA(Elimination Yield - Non-preemptive Priority Multiple Access) 프로토콜의 성능을 분석하였다. 본 논문에서는 EY-NPMA 프로토콜의 분석을 위해 시스템 모델을 설정하였으며, 채널접근 시도에서 성공할 확률과 경쟁 단계의 평균 길이를 분석하였다. 또한 M/G/1 대기행렬 모델을 사용하여 정규화된 지연시간과 처리율을 근사화 하였으며, 이러한 분석 결과를 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

Abstract In this paper, we analyzed the performance of EY-NPMA(Elimination Yield - Non-preemptive Priority Multiple Access) protocol - channel access control protocol of HIPERLAN (High Performance Radio Local Area Network) type 1 specification, adopted as european high speed wireless LAN standard by ETSI(European Telecommunication Standards Institute). We established a system model for EY-NPMA protocol analysis, analyzed success probability in a channel access cycle, and derived expressions for the average length of contention phase. Using a M/G/1 model, we approximated the normalized delay, and throughput, and we evaluated these results by simulations.

1. 서 론

최근 무선 LAN(Local Area Network)에 대한 지대한 관심의 증가와 함께, B-WLL (Broadband-Wireless Local Loop), PCS(Personal Communication Service) 등과 같이 고속 서비스 및 실내 서비스가 강화된 기술의 발전으로 인하여, 관련 기술의 빠른 발전과 표준화가 이루어지고 있다. 특히, 현재 제정중인 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 포럼의 WATM(Wireless ATM) 및 각종 초고속 무선 통신망의 서비스 목표가 일차적으로 무선 LAN 시스템을 목표로 진행됨에 따라

이 분야에 대한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다. 이러한 추세는 최근 휴대용 컴퓨터 및 이동 통신 장비들에 대한 사용자 요구의 증대 및 관련 회로, 부품 기술의 발달과 허가 없이 사용할 수 있는 주파수 대역의 공개 등으로 인하여 관심이 증가하게 되었고, 이로 인해 많은 무선 LAN 제품들이 개발되고 있는 점에 기인한다. 특히, 각종 서비스의 무선 통신화를 통하여 유선 LAN의 유지 보수, 증설, 단말 장비 이전 등의 어려움을 해결하기 위한 방안으로 무선 LAN에 대한 필요성이 증대되고 있는 실정이다.

현재, 다양한 방안의 무선 LAN 시스템들이 개발되어 왔으나, 무선 LAN의 표준은 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.11 표준[1]과 유럽의 ETSI(European Telecommunication Standard Institute)[2]의 HIPERLAN(High Performance Radio LAN)으로 양분되어 진행되고 있다.

[†] 학생회원 : 한양대학교 전자계산학과
yghyun@yahoo.com

^{**} 종신회원 : 한양대학교 전자계산학과 교수
jklee@commlab.hanyang.ac.kr

논문접수 : 1999년 8월 16일
심사완료 : 1999년 12월 23일

이러한 무선 LAN 환경에 대한 연구가 다각도로 진행되어 왔는데 특히 IEEE 802.11 위원회에서 표준화한 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 프로토콜에 대한 연구는 이미 활발하게 이루어져 왔다[3-8]. 그러나 ETSI의 HIPERLAN의 경우에는 표준안이 완성되기 이전의 잠정 표준안을 근간으로 시뮬레이션을 통한 분석이 대부분이었다[9-13]. 이러한 시뮬레이션을 통한 연구 논문 가운데 [9]는 HIPERLAN의 채널 접근 제어 방식을 IEEE 802.3 이더넷(Ethernet)과 비교하여 음성과 데이터 전송에 대한 성능 분석에 관한 연구를 수행한 결과 HIPERLAN의 방식이 순수한 CSMA 방식이나 Polling 방식보다 상당한 효율성과 안정성을 제공한다는 것을 밝혀냈다. 또한, [10]에서는 HIPERLAN의 채널 경쟁 방식의 분석과 최적화를 중심으로 시뮬레이션과 수학적 분석을 동시에 수행하였으나 제거 단계와 양보 단계에서의 각각의 생존 확률만을 산출해 내었고, ETSI에서 규정한 파라미터 값이 규격에서 제시한 환경에서 최적의 성능을 나타냄을 확인했다. 그러나, 이러한 파라미터 값은 HIPERLAN이 임시망 환경에서의 특수한 환경에서 사용을 목적으로 하기 때문에 일반적인 LAN 환경에서의 일반적인 특성을 항상 만족시킬 수 있는 것은 아니라고 결론 내렸다. [11]에서는 수학적 모델링 없이 시뮬레이션을 통하여 암영(Hidden) 노드를 고려한 상황에 한정된 공간에서 최대 처리율을 구하였으나, 무선 LAN의 특성상 약 100 m 정도의 반경에서 설치, 운용하였을 경우 여러 환경 변수가 발생하기 때문에 일반적으로 적용할 수 있는 결과를 산출하는 것이 문제가 되었다. [12]에서는 각각의 패킷에 임의의 우선 순위를 할당하여 다양한 데이터에 대해 채널의 QoS(Quality of Service) 보장 여부를 관찰했으며, 랜덤한 경우에 대해 일정 제한 시간 동안의 데이터 지연 시간을 분석했다. [13]에서는 프로토콜 동작의 안정성에 대한 문제와 성능 분석, 포아송(Poisson) 데이터 트래픽, 패킷의 유효 시간, 채널 접근 시 우선 순위의 영향을 다루었으며, 시뮬레이션을 통해 프로토콜의 안정적인 동작과 표준안에서 정한 파라미터 값의 적절함을 밝혀 냈다. 또한 전체 시스템 처리율은 약 65 % 라는 것을 산출해 냈다. 이외에도 IEEE 802.11과 HIPERLAN의 물리 계층에서의 성능 비교[14]와 멀티미디어 전송에 있어 암영 노드의 영향을 연구한 논문[15] 등이 발표되었다.

이상의 논문들에서 발표된 결과는 표준안이 확정되기 이전의 잠정 표준[16]을 사용하였고 각각의 시뮬레이션 환경과 파라미터에 따라 분석 결과와의 오차 폭이 크게

발생하는 문제가 발생하였다. 이와 같이 HIPERLAN 프로토콜에 대한 분석이 거의 시뮬레이션을 통한 분석 외에는 이루어지지 않았기 때문에 본 논문에서는 ETSI에서 표준화가 완성된 HIPERLAN/1 [17]에서 채택한 Elimination Yield-Non Preemptive Priority Multiple Access(EY-NPMA)프로토콜의 동작 방식 및 특성을 알아보고 분석 모델을 설정하여, 제거 단계(Elimination Phase)와 양보 단계(Yield Phase)로 구성된 경쟁 단계(Contention Phase)에서 생존할 확률과 각각의 단계별 평균길이를 수학적으로 분석했다. 또한 M/G/1 대기 행렬 모델을 사용하여 지연시간 및 처리율을 수학적으로 분석하고 결과를 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

2. EY-NPMA 프로토콜

HIPERLAN의 EY-NPMA 프로토콜은 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 프로토콜의 일종으로 우선 순위 단계(Prioritization Phase), 경쟁 단계(Contention Phase), 전송 단계(Transmission Phase)의 3 단계로 구성되어 있으며, 경쟁 단계는 제거 단계(Elimination Phase)와 양보 단계(Yield Phase)로 구성되어 채널 경쟁을 하게 된다. 채널 접근은 채널 프리 채널 접근 시도와 동기 채널 접근 시도의 두 가지 조건에서 시도하게 된다. 채널 프리 채널 접근 시도는 패킷이 발생되었을 때 발생순간부터 2000 비트 채널 감지기간 동안 채널을 다른 어떤 노드에서도 사용하지 않음을 감지한 직후 전송을 시작하게 된다. 동기 채널 접근 시도는 현재의 채널주기의 끝에서 다음의 채널 경쟁을 위해 동기가 맞춰지게 되고, 이후에 256 비트의 감지 기간동안 채널이 비어 있으면 우선 순위 단계, 경쟁 단계를 거쳐 전송 단계로 들어가게 된다.

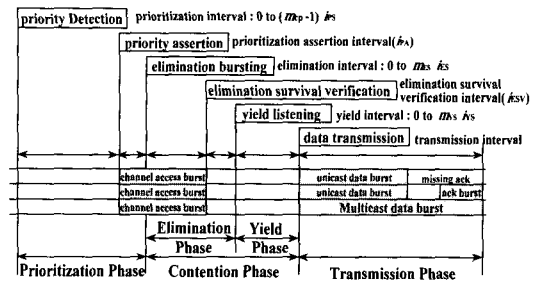


그림 1 EY-NPMA 프로토콜

2.1 우선 순위 단계(Prioritization Phase)

우선 순위 단계는 높은 우선 순위 l 을 가진 패킷의

노드가 경쟁 단계에 진입할 수 있도록 하는 것을 목적으로, 우선 순위 만큼의 기간(l 개의 256 비트 기간)동안 채널을 감지하는 우선 순위 감지기간(Priority Detection)과 이 기간동안 채널이 비어있는 경우 버스트를 전송하는 우선 순위 주장기간(Priority Assertion)으로 구성된다.

2.2 제거 단계(Elimination Phase)

제거 단계는 최대 m_{ES} 개의 제거 슬롯 기간(212 비트 기간) 동안 버스트를 전송하는 제거 버스팅(Elimination Bursting)기간과 하나의 제거 생존 검증(Elimination Survival Verification) 슬롯 기간(256 비트 기간)으로 구성된다. 제거 버스트 기간에서 버스트 데이터를 전송하는 제거 슬롯 기간의 수는 다음과 같은 기하분포(Truncated Geometric Distribution)를 따른다.

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

여기서 p_E 는 하나의 제거 슬롯 동안 버스트를 전송하는 확률이다. 제거 버스팅 기간이 끝난 후에 채널이 비어 있는 경우에는 다음 단계인 양보단계로 진행하고, 채널이 비어있지 않은 경우는 채널 경쟁을 포기하고, 다음의 채널 접근 시도까지 기다리게 된다. 따라서 가장 긴 제거 버스팅 기간을 갖는 노드만이 살아 남아 다음 단계인 양보 단계로 진행하게 된다.

2.3 양보 단계(Yield Phase)

제거 단계가 끝난 후에 경쟁의 마지막 단계인 양보 단계는 최대 m_{YS} 개의 양보 감지(Yield Listening) 슬롯기간(168 비트기간) 동안 채널을 감지하게 된다. 이 기간동안 채널이 비어있지 않은 경우에는 채널 경쟁을 포기하고 다음의 채널 접근 시도까지 기다리게 된다. 따라서 경쟁하는 노드 중 가장 짧은 양보 감지 슬롯기간을 가지는 노드만이 살아 남아 전송단계에 들어가 패킷을 전송할 수 있게 된다. 양보 감지 슬롯기간의 수는 다음의 균일 분포(Uniform Distribution)를 따른다.

$$P_Y(n) = 1/(m_{YS}+1), \quad 0 \leq n \leq m_{YS} \quad (2)$$

3. 시스템 모델

시스템 모델로는 채널이 시간 축에 대하여 단위 슬롯으로 나누어진 슬롯화된 모델을 사용한다. 이러한 채널이 시간 축에 대하여 단위 슬롯 크기 u 로 나누어 있고, 각 단계는 단위 슬롯 크기인 u 의 배수로 가정하였다. 시스템의 채널 조건은 항상 전송할 패킷이 존재하는 동

기 채널 조건일 때만을 고려하였다.

채널 모델은 무잡음 채널로 가정하였고 각 노드의 전파지연은 각각 동일한 것으로 가정하였다. 또한 각 노드는 슬롯의 시작점에서 패킷을 전송하도록 동기화 되어 있다고 가정하였다.

트래픽 모델은 M 개의 노드가 임시망으로 구성되어 있는 환경을 설정하였으며, 각각의 노드는 λ/M 의 포아송 트래픽으로 가정하였다. 충돌이 발생한 경우 전송된 모든 데이터 버스트는 손실된다고 가정하였으며, 패킷의 전송 및 응답(ACK, Acknowledgement)을 기다리고 수신하는 시간은 단위시간으로 가정하였다. 또한 한 노드에서 새로운 패킷이 발생할 확률은 기하분포를 따르는 g 라고 가정하고 $1-g$ 의 확률로 패킷을 발생하지 않는다고 가정한다 ($0 \leq g \leq 1$). 같은 채널 접근 기간에서 채널 경쟁을 시도하는 노드들이 발생하는 패킷의 우선 순위는 일반적인 분포함수로 나타낼 수 없기 때문에 수학적 분석을 용이하게 하기 위해 모두 동일하다고 가정하였다. 그림 2는 분석에 사용된 시스템 모델을 나타낸다. 이러한 시스템 모델은 그림 1의 EY-NPMA 프로토콜에서 일정 분포를 가지는 제거 단계 부분과 양보 단계 부분을 분석하기 위하여 단순화한 모델이다.

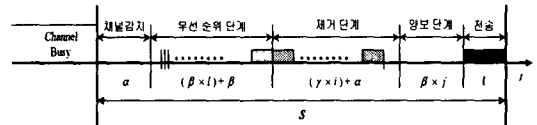


그림 2 시스템 모델

[수식 기호]

- M : 노드의 수
- g : 각 노드에서 패킷을 발생할 확률 ($0 \leq g \leq 1$)
- a : 채널 감지기간 (동기채널 감지기간), 제거 생존 검증기간 : 256 비트 기간
- β : 우선 순위 감지기간, 우선 순위 주장기간, 양보 감지기간 : 168 비트 기간
- γ : 제거 버스팅기간 : 212 비트 기간
- l : 전송기간
- u : 단위 슬롯기간
- S : 서비스 타임 ($S \gg u$)
- L : 패킷의 채널접근 우선 순위
- X : 각 노드의 제거 버스팅 슬롯의 수
- Y : 각 노드의 양보 감지 슬롯의 수
- L_p : 우선 순위 단계의 길이
- L_E : 제거 단계의 길이

L_V : 양보 단계의 길이

M_q : 일반적인 큐에서 전체 패킷의 수

M_b : Busy 노드의 수

4. 경쟁 단계 및 지연시간 분석

4.1 성공확률 분석

채널 경쟁에 참여하는 노드의 수를 $N(1 \leq N \leq M)$, 제거 단계 이후 살아 남은 노드의 수를 $E(1 \leq E \leq N)$, 제거 슬롯의 길이를 $X(0 \leq X \leq m_{ES})$ 라고 정의할 때, n 개의 노드가 제거 단계에서 경쟁하여 e 개의 노드가 살아 남으려면 e 개의 노드들은 i 개의 제거 버스팅 슬롯 동안 버스트 데이터를 전송하고, 나머지 $n-e$ 개의 노드들은 i 개의 제거 버스팅 슬롯보다 짧은 슬롯 동안 버스트 데이터를 전송하면 된다. 따라서, n 개의 노드가 제거 단계에서 경쟁하여 e 개의 노드가 살아 남을 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 P[E = e | N = n] &= \sum_{i=1}^{m_{ES}} \binom{n}{e} [P_E(X=i)]^e [P_E(X < i)]^{n-e} \\
 &= \binom{n}{e} \left\{ \sum_{i=1}^{m_{ES}} (\rho_E^i (1-\rho_E)^{i-1} (1-\rho_E^i)^{n-e} + (\rho_E^{m_{ES}})^i (1-\rho_E^{m_{ES}})^{n-e}) \right\} \quad (3)
 \end{aligned}$$

이러한 확률로 제거 단계에서 e 개의 노드가 살아 남았을 경우 양보 단계에서 다시 채널경쟁을 하여 f 개의 노드가 살아 남는다고 가정하였을 때, 최종적으로 1개의 노드만이 살아남았을 때 전송에 성공하게 된다. 이때 e 개의 노드 중 1개의 노드가 j 슬롯 동안 채널을 감지하고 나머지 $e-1$ 개의 노드들은 j 보다 긴 슬롯 동안 채널을 감지해야 한다. 그러므로, 제거 단계에서 살아 남은 e 개의 노드들이 양보단계에 진입하여 1개의 노드가 살아 남을 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 P[F = 1 | E = e] &= \sum_{j=1}^{m_{VS}} \binom{e}{1} [P_V(Y=j)] [P_V(Y > j)]^{e-1} \quad (4) \\
 &= \sum_{j=1}^{m_{VS}} \binom{e}{1} \left(\frac{1}{m_{VS}+1} \right) \left(1 - \frac{j+1}{m_{VS}+1} \right)^{e-1}
 \end{aligned}$$

이러한 결과를 사용하여 n 개의 노드가 경쟁에 참가하여 전송에 성공할 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P[\text{Success}] &= P[F = 1 | N = n] \\
 &= \sum_{e=1}^n \sum_{i=0}^{m_{ES}} \binom{n}{e} \left(\frac{1}{m_{VS}+1} \right) \left(1 - \frac{i+1}{m_{VS}+1} \right)^{e-1} \\
 &\quad \cdot \binom{n}{e} \left\{ \sum_{i=1}^{m_{ES}} (\rho_E^i (1-\rho_E)^{i-1} (1-\rho_E^i)^{n-e} + (\rho_E^{m_{ES}})^i (1-\rho_E^{m_{ES}})^{n-e}) \right\} \quad (5)
 \end{aligned}$$

4.2 경쟁 단계의 평균길이 분석

동기 채널 접근 시도에 참여하는 노드의 수가 n 일 때 우선 순위 단계의 길이 L_p 는 그림 2에서 우선 순위가 l 일 때 $\beta \times (l+1)$ 임을 알 수 있다. 경쟁하는 노드에서 발생하는 패킷의 우선 순위는 모두 동일한 것으로 가정하였으므로 L_p 는 우선 순위가 l 일 확률과 노드의 수 n 에 의존한다. 그러므로 우선 순위가 l 일 확률을 $P(L=l)$ 이라고 정의 할 때 우선 순위 단계의 평균 길이 $E[L_p]$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기에서 m_{CP} 는 우선 순위의 최저 값이다.

$$E[L_p] = \beta \cdot \left(\sum_{l=1}^{m_{CP}} l \cdot [P(L=l)]^n + 1 \right) \quad (6)$$

제거 단계의 평균 길이 $E[L_E]$ 는 각 노드의 제거 버스팅 길이 중 가장 긴 제거 버스팅 단계와 제거 생존 검증 단계의 합이 된다. 그러므로 L_E 는 $(\gamma \times i) + a$ 이며, 최대 버스팅 수를 i 라고 하면 제거 단계에서 경쟁하는 노드들 중 적어도 하나 이상의 노드가 i 개의 제거 버스팅 단계에서 버스트 데이터를 전송하면 된다. 따라서, 제거 단계의 분포는 앞에서 나타낸 것과 같이 기하 분포이므로 노드의 수가 n 일 때 제거 단계의 평균 길이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[L_E] = \gamma \cdot \left\{ m_{ES} - \sum_{i=1}^{m_{ES}} (1-\rho_E^i)^n \right\} + a \quad (7)$$

양보 단계의 길이 L_V 는 $\beta \times j$ 이다. 이것은 제거 단계 이후 살아 남은 n 개의 노드들이 각 양보 감지기간들 중 최소 값이 양보 단계의 슬롯 기간 L_V 가 되므로, 양보 단계에 있는 노드들 중 적어도 하나 이상은 최소 j 개 이상의 슬롯 길이를 가져야 한다. 따라서, 양보 단계의 분포인 균일 분포에 따라 양보 단계의 평균 길이 $E[L_V]$ 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[L_V] = \beta \cdot \sum_{j=1}^{m_{VS}} \left(1 - \frac{j}{m_{VS}+1} \right)^n \quad (8)$$

그러므로 식 (7)과 (8)의 합은 제거 단계와 양보 단계로 이루어진 경쟁 단계의 평균 길이가 된다.

4.3 평균 지연시간 및 처리율 분석

M 개의 노드에 대해 패킷이 각기 다른 노드에 도착할지라도, 패킷은 랜덤한 순서로 서비스 받는 일반적인 큐에 도착한다고 가정하고, 채널 접근시도에서 특정 노드의 성공은 다음 시도의 경쟁에 영향을 주지 않는다고 가정하여 랜덤한 서비스 순서에 따라 서비스되는 $M/G/1$ 모델로 모델링한다. 이러한 모델은 HIPERLAN과 같이 서비스 정책이 패킷의 서비스 타임에 독립적인

경우 (서비스 순서가 랜덤일 때) 적용할 수 있다.

이때 하나의 노드에서 새로운 패킷이 발생하는 확률은 기하분포를 따르는 확률 g 라고 가정하여, 다음과 같은 확률을 구할 수 있다. ($0 \leq g < 1$)

우선, 한 슬롯 동안 M 개의 노드가 패킷을 하나도 발생하지 않을 확률은 다음과 같다.

$$P[\text{한 슬롯동안 } M\text{개의 노드가 패킷을 발생하지 않는 사건}] = \binom{M}{0} g^0 (1-g)^M = (1-g)^M \quad (9)$$

따라서, 패킷의 서비스 타임이 S 이므로 패킷을 서비스하는데 소요되는 슬롯 수인 (S/u) 슬롯 동안 M 개의 노드가 패킷을 발생하지 않을 확률은 다음과 같다.

$$P[\text{서비스 타임}(S/u \text{ 슬롯})\text{동안 } M\text{개의 노드가 패킷을 발생하지 않는 사건}] = (1-g)^{(S/u) \cdot M} \quad (10)$$

또한, 한 서비스 타임 안에 하나 이상의 노드가 패킷을 발생할 확률은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$P[\text{한 서비스 타임}(S/u \text{ 슬롯})\text{안에 하나 이상의 노드가 패킷을 발생하는 사건}] = 1 - (1-g)^{(S/u) \cdot M} \quad (11)$$

이러한 확률의 개념을 포함하여 서비스 타임 동안, 우선 순위 단계의 평균 길이($E_i[L_p]$), 제거 단계의 평균 길이($E_i[L_E]$), 양보 단계의 평균 길이($E_i[L_V]$)를 구한다. 동기 채널에서 채널 감지시간($E_i[L_S]$)은 상수 값인 α 값으로 고정된다.

식(6)을 사용하여 우선 순위 단계의 평균 길이를 구하게 되는데, 서비스 타임 S/u 동안 채널 접근시도를 하는 노드의 수가 n 일 확률은 전체 노드의 수 M 중에 n 개의 노드가 S/u 동안 1개의 슬롯에서 패킷을 발생하고 나머지 $M-n$ 개의 노드는 패킷을 발생하지 않아야 하므로 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$E_i[L_p] = \beta \cdot \sum_{n=1}^{M-1} i \cdot \left\{ \left(\frac{S}{u} \right) \cdot g(1-g)^{(S/u)-1} P(L=i) \right\}^M + \beta \quad (12)$$

제거 단계의 평균 길이 $E_i[L_E]$ 와 양보 단계의 평균 길이 $E_i[L_V]$ 는 식(7)과 (8)을 사용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

앞의 (7) 번식에 있는 $m_{ES} - \sum_{i=1}^{m_{ES}} (1-p'_E)^n$ 은 노드의 수가 n 으로 고정되었을 때 제거 단계의 길이를 구하기 위해 사용되었다. 아래의 식에서는 이러한 n 값이 1에서 M 까지

지 변할 때 변하는 확률 값에 따라 평균적인 제거 단계의 길이를 구한다. 여기에서 $P_n(X)$ 를 X 개의 슬롯 동안 M 개의 노드 중 n 개의 패킷이 발생할 확률이라고 정의하여 제거 단계와 양보 단계의 평균 길이를 구한다.

$$P_n(X) = \frac{\binom{M}{n} [1-(1-g)^X]^n (1-g)^{X(M-n)}}{1-(1-g)^{XM}} \quad , (n=1,2,\dots,M)$$

$$E_i[L_E] = \gamma \cdot \left[\sum_{n=1}^M \left\{ m_{ES} - \sum_{i=1}^{m_{ES}} (1-p'_E)^n \right\} \cdot \binom{M}{n} \frac{[1-(1-g)^{S/u}]^n (1-g)^{(M-n)S/u}}{1-(1-g)^{MS/u}} \right] + \alpha \quad (13)$$

$$E_i[L_V] = \beta \cdot \left[\sum_{n=1}^M \sum_{i=1}^{m_{ES}} \binom{m_{ES}}{i} \left[\sum_{j=0}^{i-1} \left\{ p'_E (1-p'_E) \left(1 - \frac{j}{(m_{VS}+1)} \right) \right\}^i \cdot (1-p'_E)^{n-i} + \left\{ p'_E^n \left(1 - \frac{j}{(m_{VS}+1)} \right) \right\}^i \cdot (1-p'_E)^{n-i} \right] \cdot \binom{M}{n} \frac{[1-(1-g)^{S/u}]^n \cdot (1-g)^{(M-n)S/u}}{1-(1-g)^{MS/u}} \right] \quad (14)$$

위의 식을 사용하여 S 의 평균값인 $E[S]$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E[S] = E_i[L_S] + E_i[L_p] + E_i[L_E] + E_i[L_V] + 1 \quad (15)$$

이러한 서비스 타임은 최소 한 개의 전송 할 패킷을 가진 노드(busy 노드)의 수에 의존하고 따라서, 일반적인 큐에 있는 패킷의 수에 의존한다. 그러므로 특정 도착률(λ)에 대해 busy 노드 수, M_b 의 분포를 알지 못한다. 만일 일반적인 큐에서 전체 패킷의 수, M_q 를 알고 있다면, 평균 busy 노드의 수 $E[M_b | M_q, M]$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E[M_b | M_q, M] = M \left(1 - \left(1 - \frac{1}{M} \right)^{M_q} \right) = f(M_q, M) \quad (16)$$

또한, 평형상태에서 큐에 있는 패킷들의 수와 busy 노드의 수는 각각의 평균값에 고정된다. 평균 경쟁 노드의 수 $E[M_d]$ 를 알고 있다고 가정하고, Little's formula를 사용하여 일반적인 큐에서의 평균 패킷의 수를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} E[M_d] &= \lambda W(f(E[M_d], M)) \\ &= \lambda W M \left(1 - \left(1 - \frac{1}{M} \right)^{E[M_d]} \right) \\ &= \lambda \left(\frac{\rho^2 \cdot \frac{1}{2} \lambda E[S^2] + (1-\rho) \cdot E[S]}{\rho - \rho} \right) \cdot M \left(1 - \left(1 - \frac{1}{M} \right)^{E[M_d]} \right) \end{aligned} \quad (17)$$

여기에서 W 는 전송 시도가 충돌 때문에 버려지는

것을 고려한 변형된 Pollaczek-Khinchine's(PK) formula에서 주어진 큐에서의 평균 지연시간을 말하며, 위 식은 iterative technique을 사용하여 $E[M_q]$ 를 구할 수 있는 비선형 방정식이다. 위의 방정식의 해인 $E[M_q]^*$ 을 얻은 후에 정규화된 평균 지연시간을 다음과 같이 근사화 할 수 있다.

$$D(\lambda) = \frac{E[M_q]^*}{\lambda} + 1 \quad (18)$$

또한 정규화된 처리율은 다음과 같다.

$$S(\lambda) = \frac{i_{PK}P[success]}{i_{PK} + i_{PKoverhead} + i_{GAP} + i_{ACK}} \cdot \lambda \quad (19)$$

5. 분석결과 및 검증

노드의 수에 따른 전송에 성공할 확률과 경쟁 단계의 평균 길이, 시스템의 정규화된 지연시간, 처리율에 대한 수학적 분석결과와 시뮬레이션 결과를 비교했다. 기본 파라미터는 HIPERLAN 표준안을 근거로 하였다. 그림 3은 p_E 의 변화에 따라 제거 단계에서 생존할 확률을 나타내고 있는데, 제거 단계 이후 살아 남은 노드가 10개 일 때, 1개의 노드가 살아 남을 확률이 가장 크고 6~7개의 노드가 살아 남을 확률은 거의 0에 가까운 것을 볼 수 있다. 그림 4에서는 EY-NPMA 프로토콜을 사용하여 채널 경쟁에 참여하는 노드의 수와 제거 버스팅 확률 값 p_E 의 변화에 따라 채널 경쟁 이후 전송에 성공하는 확률을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 p_E 가 0.5 일 때 제거 단계에 참여하는 노드의 수에 영향을 받지 않고 전송 성공률도 일정 상태의 높은 값을 유지함을

알 수 있다. 그림 5에서는 제거, 양보, 경쟁 단계의 평균 길이를 나타내고 있으며, 이 그림에서 경쟁 단계의 평균 길이는 100개 노드까지 1200 비트에서 2000 비트 사이의 기간이 됨을 확인할 수 있는데, 이것은 약 $51 \mu sec \sim 85 \mu sec$ 정도의 매우 짧은 시간임을 알 수 있다. 그림 6에서는 정규화된 지연 시간과 처리율의 비를 나타내고 있다. 이상의 결과를 나타내는 그림에서 표현된 것과 같이, 본 논문에서 수학적으로 분석된 결과와 시뮬레이션 결과를 통해 분석된 결과가 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.

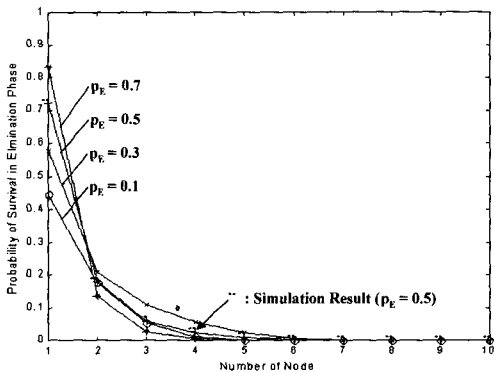


그림 3 제거 단계에서 살아남을 확률

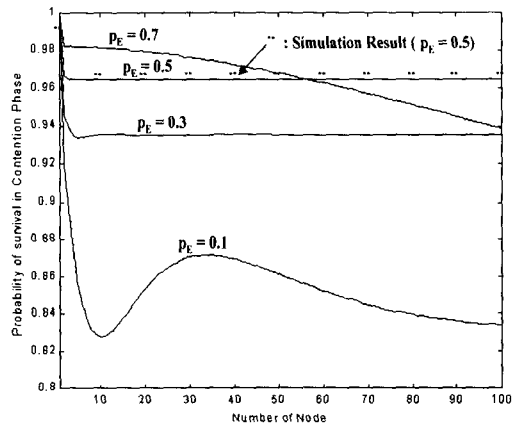


그림 4 경쟁 단계에서 살아남을 확률

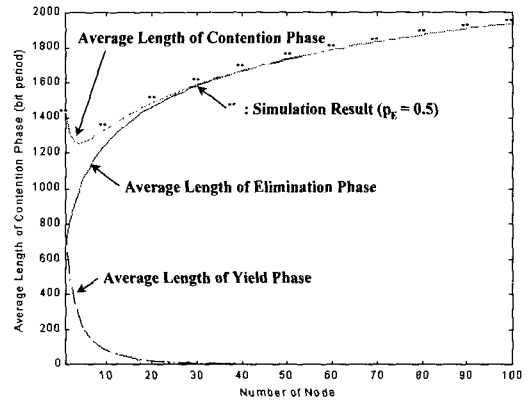


그림 5 제거, 양보, 경쟁 단계의 평균 길이

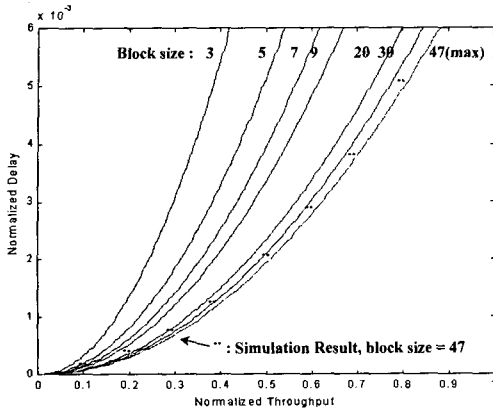


그림 6 지연 시간 vs. 처리율

6. 결론

본 논문에서는 무선 근거리 통신망의 유럽 표준인 HIPERLAN 타입 1의 채널 접근 제어 프로토콜인 EY-NPMA 프로토콜의 성능을 높은 트래픽 부하의 임시망 환경에서 분석하였다. 또한 이 프로토콜의 경쟁 단계를 통한 전송 성공 확률과 평균 경쟁 단계의 길이 및 정규화 된 평균 지연시간, 처리율을 수학적으로 분석하였으며 분석 결과를 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 분석 결과로써, 트래픽 양이 많은 경우 제거 단계의 길이가 늘어남을 알 수 있었고, 제거 단계 이후에 살아 남아 양보 단계에서 채널경쟁을 시도하는 노드의 수는 제거 버스팅 확률 p_e 의 값과 노드의 수에 큰 영향을 받지 않고 항상 일정한 수의 노드가 남게 됨을 알 수 있었다. 또한 전송에 성공할 확률도 p_e 가 0.5 일 때 노드의 수에 관계없이 거의 일정한 값을 갖는다는 것을 알 수 있었다. 본 논문에서의 각 단계별 분석과 프로토콜의 성능 분석은 무선 환경에서 채널접근제어 프로토콜의 설계 및 구현에 유용하게 사용되어 질 수 있을 것으로 사료 된다.

참고 문헌

- [1] <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/index.html>
- [2] <http://www.etsi.org/>
- [3] C. Namislo, "Analysis of Mobile Radio Slotted ALOHA Networks," IEEE J. Select. Areas. Commun., vol. SAC-2, no. 4, pp. 583-588, Jul. 1984.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] H. Takagi, L. Kleinrock, "Throughput Analysis for CSMA Systems," IEEE Trans. Commun., vol. COM-33, no. 7, pp. 627-638, Jul. 1985.
- [8] L. Klenrock 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.
- [9] Philippe Jacquet, Pascale Minet, Paul Mühlethaler and Nicolas Rivierre, "Priority and Collision Detection with Active Signaling - The Channel Access Mechanism of HIPERLAN," Wireless Personal Communications, vol. 4, pp. 11-25, 1996.
- [10] S. Chevrel, A.H. Aghvami, H.Y. Lach, and L. Taylor, "Analysis and optimization of the HIPERLAN Channel Access Contention Scheme," Wireless Personal Communications, vol. 4, pp. 27-39, 1996.
- [11] K. Fu, Y. J. GUO and S. K. BARTON, "Performance of the EY-NPMA Protocol," Wireless Personal Communications, vol. 4, pp. 41-50, 1996.
- [12] Philippe Jacquet, Pascale Minet, Paul Mühlethaler and Nicolas Rivierre, "Data Transfer for HIPERLAN," Wireless Personal Communications, vol. 4, pp. 65-80, 1996.
- [13] G. Anastasi, L. Lenzi and E. Mingozzi, "Stability and Performance Analysis of HIPERLAN," IEEE INFOCOM '98, pp. 134-141, Mar. 29-Apr. 2, San Francisco, USA, 1998.
- [14] Jost Weinmiller, Morten Schläger, Andreas Festag and Adam Wolisz, "Performance Study of Access Control in Wireless LANs - IEEE 802.11 DFWMAC and ETSI RES10 HIPERLAN," ACM/Baltzer Mobile Networks and Applications, vol. 2, no. 1, pp. 55-67, 1997.
- [15] W. Melody Moh, Dongming Yao, K. Makki, "Wireless LAN : Study of Hidden Terminal Effect and Multimedia Support," Proc. ICCCN '98, pp. 422-429, Oct. 12-15, Lafayette, Louisiana, 1998.
- [16] ETSI RES 10, "HIPERLAN Type 1 ; functional specification, ETS 300 652," ETSI Draft Standard, Jun 1996.

[17] ETSI BRAN, "HIPERLAN Type 1 ; functional specification, EN 300 652," ETSI Standard, Jul. 1998.

부 록

(Appendix A)

$p_E = 0.5, m_{ES} = 12, m_{YS} = 9, i_{CS} = 256, i_{PA} = 168, i_{ES} = 212,$
 $i_{ESV} = 256, i_{YS} = 168, i_{GAP} = 512, i_{ACK} = 368, i_{PKoverhead} = 1010$
 (단위 Bit Periods)

(Appendix B)

Pollaczek-Khinchine's(PK) formula의 변형 : 어떤 패킷들이 충돌에 의해 손실되는 확률을 포함하여, 각각의 전송 버스트는 확률 p 로 성공한다는 가정 하에 i 번째 패킷에 대한 기다리는 시간을 다음과 같이 얻는다.

$$(B.1) \quad W_i = p \cdot R_i + (1-p) \cdot \frac{1}{p} \cdot X_{i-N_i-1} + \frac{1}{p} \sum_{j=1}^{N_i} X_j$$

X_j : j 번째 패킷의 서비스 타임, $\frac{1}{p}$: 패킷당 평균 전송 횟수

$N_Q = \lambda W, \rho = \lambda \bar{X}, R = \lambda \bar{X}^2 / 2$

$$(B.2) \quad W = \frac{p^2 \cdot \frac{1}{2} \lambda \bar{X}^2 + (1-p) \cdot \bar{X}}{p - \rho}$$

현 영 균



1998년 2월 한양대학교 전자계산학과 학사. 2000년 2월 한양대학교 전자계산학과 석사. 2000년 3월 ~ 현재 LG정보통신 중앙연구소 연구원. 관심분야는 MAC 프로토콜, 광대역 무선 가입자망 서비스, 무선 LAN 프로토콜, HIPERLAN,

Queueing theory 등

이 정 규



1979년 2월 한양대학교 전자공학과 학사. 1986년 UCLA 전자공학과 석사. 1989년 UCLA 전자공학과 박사 학위 취득(컴퓨터 네트워크 전공). 1979년 3월 ~ 1984년 5월 국방과학연구소 연구원.

1989년 3월 ~ 1990년 2월 삼성전자 종합기술연구원 정보통신부문 수석연구원. 1990년 3월 ~ 현재 한양대학교 전자계산학과 부교수. 관심분야는 무선데이터 통신, 이동통신, 위성통신, Queueing theory 등