

무선 근거리 통신망에서의 Stop-and-Wait ARQ 방식을 사용하는 충돌회피 프로토콜 성능분석

正會員 金 宰 顯*, 李 廷 圭*

Performance Analysis of the CSMA/CA Protocol using Stop-and-Wait ARQ method in Wireless LANs

Jae Hyun Kim*, Jong Kyu Lee* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.11에서 채택한 매체접근제어 프로토콜인 Stop-and-Wait Automatic Repeat reQuest (ARQ) 방식을 사용하는 Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA) 프로토콜의 성능을 renewal theory를 사용하여 수학적으로 분석하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 사용하여 분석의 신뢰성을 검증하였다. CSMA/CA 프로토콜의 처리율을 분석하기 위하여 통신망은 유한 가입자로 구성되며, 슬롯화된채널을 고려하였고, CSMA/CA 프로토콜은 1-persistent CSMA와 p-persistent CSMA 프로토콜을 혼합한 프로토콜로 모델링하여 CSMA/CA 프로토콜의 처리율 및 패킷지연을 분석하였다. 분석 결과에 의하면, CSMA/CA 방식은 스테이션의 수, Acknowledgement (ACK) 패킷의 길이 및 Distributed coordination function Inter Frame Space (DIFS)의 길이가 커짐에 따라 처리율이 저하되었으며, 패킷 지연이 증가하였다.

ABSTRACT

In this paper, the performance of a Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA) protocol using Stop-and-Wait Automatic Repeat reQuest, which is adapted as a draft standard in IEEE 802.11, is analyzed using a mathematical method based on a renewal theory, and simulation checks are performed, which confirm the goodness of our analysis. In order to analyze of CSMA/CA, we model that network is composed of finite population and channel is slotted. And, we consider the CSMA/CA protocol as a hybrid protocol of 1-persistent CSMA and p-persistent CSMA protocol. As results of analysis, we have found that the throughput is degraded and packet delay is increased as the number of stations, Acknowledgement (ACK) length and Distributed coordination function Inter Frame Space (DIFS) length are increased.

*漢陽大學校 電子計算學科
Dept. of Com. Sci. Eng., Hanyang Univ.
論文番號:96023-0122
接受日字:1996年 1月 22日

I. 서 론

무선통신에 대한 관심의 급증과 무선 전송기술의 발전으로 개인이동통신(Personal Communication System) 및 무선 근거리 통신망(wireless LAN)등의 다양한 무선 통신 서비스들이 가능해졌고, 세계 각국의 통신 관련 기업체에서도 새로운 무선 통신 시스템 및 서비스에 대하여 연구 개발 중에 있다[1]. 무선 근거리 통신망의 큰 장점으로는, 단말기 이동의 용이성, 설치의 편리성, 보수 및 유지의 간편성 등이 있다. 유선 근거리 통신망에서의 케이블에 의한 여러 단점들 즉, 설치의 어려움, 시스템 재구성이 소요되는 시간과 비용, 케이블 손상에 의한 근거리 통신망의 단절 등이 무선 근거리 통신망에서는 전혀 고려의 대상이 되지 않는다.

무선 패킷 통신망에서의 매체접근제어 방식에 대한 주요 연구내용들을 살펴보면, 패킷 통신망의 ALOHA 방식을 무선의 다중경로 페이딩환경과 shadow 페이딩환경을 고려한 연구들이 있으며[2], [3], slotted ALOHA 방식을 변형시킨 PRMA(Packet Reservation Multiple Access) 프로토콜 연구도 활발히 진행되고 있다[4], [5]. 또한, CSMA방식도 여러 가지의 변형된 모습으로 무선 근거리 통신망으로의 응용이 연구되고 있으며 다양한 프로토콜들이 연구 개발되고 있으며[6], [7], Automatic Repeat reQuest(ARQ) 프로토콜들에 대한 연구도 지속적으로 이루어지고 있다[8], [9]. 본 논문에서는 IEEE 802.11에서 표준화 작업중인 CSMA/CA 방식의 기능 및 특성을 알아본 후, 이 방식의 처리율 및 패킷지연을 renewal theory를 기본으로 분석하였다.

논문의 구성은 II 장에서 Stop-and-Wait Automatic Repeat reQuest 방식을 사용하는 Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA) 프로토콜의 특성을 기술하였으며, III 장에서는 성능분석을 위하여 시스템 모델을 설정하였으며, IV 장에서는 CSMA/CA 프로토콜의 처리율을 분석하였으며, V 장에서는 패킷지연을 분석하였다. 또한, VI 장에서는 수학적분석의 결과를 다양하게 보이고 있으며, 시뮬레이션을 통하여 분석결과를 검증하였다. 또한, VII 장에서는 결론과 향후 연구방향에 대하여 언급하였다.

II. Stop-and-Wait ARQ CSMA/CA 프로토콜

IEEE 802.11의 매체접근제어 프로토콜에서 서비스할 수 있는 형태는 contention 서비스와 contention free 서비스로 구분할 수 있으며, contention 서비스는 일반적인 컴퓨터 통신으로서 파일의 전송과 같은 비동기성 데이터의 서비스를 담당하며, DCF(Distributed Coordination Function)에 의하여 처리되고, DCF는 CSMA/CA방식을 기본으로 하고 있다. Contention free 서비스는 음성이나 화상과 같은 지연에 민감한 전송에 대한 서비스로서, PCF(Point Coordination Function)에 의하여 처리된다. IEEE 802.11의 매체접근제어 프로토콜에서는 contention 서비스와 contention free 서비스를 함께 처리할 수 있도록 설계되었다. 이것은 세 가지 IFS(Inter Frame Space)에 의하여 구현되어지는데 다음과 같다. 우선, 길이가 가장 짧은 SIFS(Short Inter Frame Space)가 있다. SIFS는 가장 짧은 지연으로서, 가장 높은 우선 순위를 갖는 전송을 시도할 때 사용되기 때문에 시간제약을 갖는 음성, 화상 등의 데이터 전송시 사용되고, 중간길이의 PIFS(Point coordination function Inter Frame Space)는 시간 제약 서비스에서 스테이션의 polling시에 사용된다. 또한, DIFS(Distributed coordination function Inter Frame Space)는 가장 긴 IFS로서 가장 낮은 우선 순위를 갖으므로, contention 서비스에서 사용된다 [10].

CSMA/CA 방식과 기존의 CSMA/CD 방식의 가장 큰 차이는 전송기간 중에 패킷이 1개 이상 도착하였을 경우이다. CSMA/CD 방식에서는 이 경우 전송기간의 끝에서 1-persistent 방식으로 모두 전송을 시도하므로 패킷 충돌이 발생한다. 그러나, CSMA/CA 방식에서는 이 경우 전송기간 끝점에서 각각의 패킷은 랜덤한 backoff 지연을 갖은 후 채널의 사용여부를 확인하고 전송을 시도하여 패킷간의 충돌을 방지한다. Backoff delay의 지연시간은 다음과 같이 계산하여 구한다.

$$\text{Backoff Delay} = \text{INT}(\text{CW} \times \text{Random}()) \times \text{Slot Time} \quad (1)$$

식 (1)에서 CW(Contention Window)는 지연의 범위

를 정하는 것으로, 전송 시도 횟수에 따라 CW_{min} (최소값)에서 CW_{max} (최대값) 사이의 정수값으로 정해진다. 또한, $Random()$ 에 의하여 0부터 1까지의 랜덤한 수를 발생하여 CW 값에 곱하고 정수화하여 기본 슬롯시간에 곱한다. 슬롯시간은 지연의 기준이 되는 단위 시간으로서, 물리적인 특성에 따라 송신기 turn-on 시간, 전파지연 및 매체 busy 검사 응답 시간의 합으로 설정하도록 한다. Backoff time은 채널의 상태가 비어 있을 경우에만 감소한다. 이것은 각 사용자들의 공정한 전송시도를 위한 조정으로서, 오래 기다린 사용자는 새로 전송을 시도하는 사용자에 비하여 패킷을 전송할 확률이 높게 된다.

무선통신에서는 기존의 유선방식에 비하여 전송사의 예러가 상당히 증가한다. 유선에서는 고려되지 않았던 여러 잡음들이 존재하여 올바른 패킷의 전송을 방해한다. 그 중에서는 무선 근거리 통신망에서 패킷 전송에 영향을 주는 요소로서 multipath fading, shadow fading, hidden terminal 문제 등이 있다. Multipath fading은 구조물 등에 의하여 송신 신호가 반사되어 수신 스테이션에 여러 신호가 나타나는 현상이며, shadow fading은 수신 스테이션이 구조물의 바로 옆이나 밑에 위치하여 생기는 잡음이다. 이러한 잡음들은 spread spectrum 방식을 사용하거나, antenna diversity 기법 등으로 감쇄할 수 있다. 또한, 무선 전송상에서는 hidden terminal 문제가 존재하는데 이것은 거리 및 잡음 등에 의하여 다른 스테이션들의 패킷전송을 수신하지 못하고, 바로 패킷전송을 시도하는 경우로서 fading문제가 이상으로 패킷전송을 저해하는 요소이다. 따라서, 이러한 문제를 극복하기 위한

방법으로서 IEEE 802.11 CSMA/CA 프로토콜에서는 다양한 패킷 재전송 방식을 제공하고 있다. Stop-and-Wait Automatic Repeat reQuest(SW ARQ) 방식을 사용하는 Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance(CSMA/CA) 프로토콜은 데이터 패킷을 송신한 후, 이에 대한 응답으로서 수신 터미널로부터 positive acknowledgment(ACK)패킷을 수신한 후에 새로운 데이터 패킷의 전송을 시도는 방식으로서 데이터 전송 순서를 보면 그림 1과 같다.

그림 1에서 Src는 근원지 터미널을 의미하고, Dest는 목적지 터미널을 의미한다.

본 논문에서는 Stop-and-Wait ARQ 방식을 사용하는 CSMA/CA 방식의 처리율과 패킷지연에 대하여 수학적으로 분석하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 수학적 분석을 검증하였다.

III. 시스템 모델

성능분석 모델로서 Stop-and-Wait Automatic Repeat reQuest(SW ARQ) 방식을 사용하는 CSMA/CA 모델을 사용하였으며, 본 논문에서는 이 모델을 SW ARQ CSMA/CA라고 명명하기로 한다. SW ARQ CSMA/CA 프로토콜은 IEEE 802.11의 DCF 방식과 동일하게 설정하였다. 기본적인 CSMA/CA 프로토콜은 1-persistent CSMA 방식과 p -persistent CSMA 방식의 혼합된 형태의 프로토콜로 모델링하고, DIFS 지연을 고려하였다. p -persistent CSMA 방식을 적용한 이유는 backoff 알고리즘은 1-persistent CSMA 방식으로는 분석을 할 수 없기 때문이다. 슬롯화된 모델로서, 시간축은 슬롯 크기인 a 로 나누어 있다고 가정하였으며, 각 스테이션은 슬롯의 시작점에서만 전송이 가능하도록 동기화되어 있다고 가정하였다. 트래픽 모델은 유한 가입자 모델로 설정하여 M 개의 스테이션으로 구성된 통신망으로 설정하였으며, 한 스테이션에서 새로운 패킷이 발생할 확률은 geometric 분포를 따르는 g 라고 가정하고, $1-g$ 의 확률로 패킷을 발생하지 않는다 ($0 < g < 1$). 이때, 충돌에 의하여 재전송을 시도하는 스테이션에 의하여 발생하는 트래픽과 새로 패킷을 발생하는 트래픽의 합이 평균 g 라고 가정하였다[11], [12]. 또한, CSMA/CA 프로토콜의 경우, 한 스테이션은 확률 p 로 버퍼 내의 패킷에 대하여

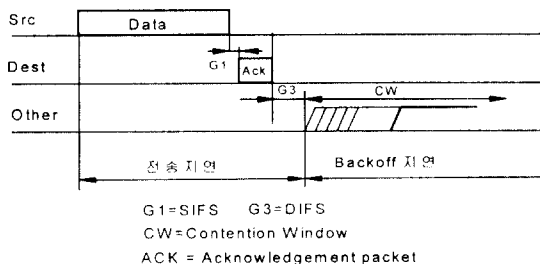


그림 1. Stop-and-Wait CSMA/CA 패킷전송 과정

Fig 1. Stop-and-Wait CSMA/CA packet transmission process

한 슬롯 동안 전송을 시도하며, $1-p$ 확률로 전송을 하지 않는다 ($0 < p \leq 1$). 본 논문에서는 유한 가입자 모델로서 각 사용자는 독립적이고 geometric하게 분포하는 유희기간(idle period)을 갖는다고 가정한다.

채널 모델은 noiseless 채널로 가정하여 전송 중의 에러는 패킷간의 충돌에 의한 에러에 비하여 크지 않다고 가정하였다. 또한, 각 스테이션의 전파지연(propagation delay)은 각각 동일하다고 가정하였다. 또한, 각 스테이션의 모델로서 non-capture effect를 가정하였으며, 각 스테이션은 슬롯의 시작점에서 패킷전송을 시도하도록 동기화되어 있다고 가정하였다. 패킷의 길이는 분석을 용이하게 하기 위하여 실제 패킷을 전송하는 시간인 1 로 고정되었다고 가정하고 기본 단위시간으로 설정하였다. 상대적으로 실제 전송에 소요되는 슬롯 수는 $(1/a)$ 슬롯이 된다. 이러한 가정들에 의하여 시스템의 상태는 다음의 세 가지 중의 하나의 상태에 있게 된다. 우선 I 는 idle 상태로 패킷전송을 준비한 스테이션이 하나도 없는 상태이며, B 는 busy 상태로 1개 이상의 스테이션이 패킷전송을 하는 상태이며, U 는 useful transmission 상태로서, 실제 전송에 성공하는 상태이다. 본 논문에서는 각 프로토콜의 성능을 처리율 및 패킷지연의 관점에서 분석하였다. 분석 방법은 renewal theory에 기본을 두고, busy 기간 분석 방법을 이용하여 처리율 및 패킷지연을 계산하였다[13], [14]. 처리율 S 를 구하는 방법은 다음 식 (2)와 같다. 각 I, B, U 를 구하여 식 (2)에 대입하여 처리율을 구한다.

$$S = \frac{\bar{U}}{\bar{B} + I} \quad (2)$$

IV. 처리율 분석

본 논문에서 고려한 모델은 슬롯화된 SW ARQ CSMA/CA로서 1-persistent 프로토콜과 p-persistent 프로토콜의 혼합된 방식이다. 우선, 패킷이 발생하여 채널을 DIFS동안 감지하고, 이때 채널의 상태가 비어 있으면, 1-persistent 방식으로 바로 전송을 하고, 만약 채널이 사용 중이면 채널이 빌 때까지 기다린 후 다시 DIFS동안 채널을 감지하고 채널이 비어 있으면, p-persistent 방식으로 전송을 시도한다. 만약 이

때 채널이 사용 중이면 랜덤한 지연을 가진 후, 위의 동작을 반복한다.

SW ARQ CSMA/CA 프로토콜은 무선 통신상의 에러를 고려하여 데이터를 송신하고, 전송한 데이터 패킷에 대한 ACK 패킷을 받은 후, 다음 패킷을 전송하는 방식이다. 무선 환경의 경우, 전송한 패킷을 수신 스테이션이 받지 못하거나 잡음에 의하여 올바르게 수신되지 못하면, ACK 패킷을 보내지 않는다. 송신 스테이션의 경우에는 패킷을 전송한 후 타이머를 구동시켜 일정한 시간동안 ACK 패킷을 기다리며, 이 시간이 끝나도록 ACK 패킷을 받지 못하면 패킷을 재전송한다. 시간 축이 슬롯시간 a 로 나누어져 있으며, 모든 패킷은 전송 이전에 DIFS 지연 동안 채널을 감지하고, 전송을 시도한다. 또한, 패킷 전송시간은 단위시간 1 로 고정하였으며, 전파지연을 고려하여 1개의 슬롯크기인 a 를 추가하였다. 따라서, 채널의 상태는 그림 3과 같이 busy기간과 idle기간으로 구성된 사이클의 반복으로 모델링할 수 있으며, busy 기간은 크게 전송 지연기간과 전송기간으로 구성된다.

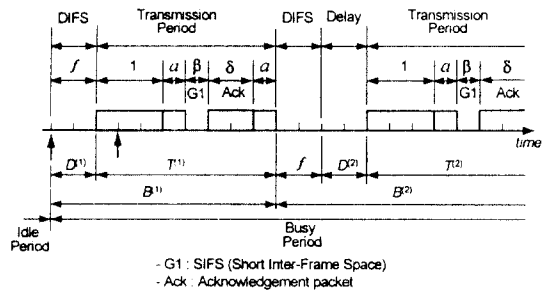


그림 2. Stop-and-Wait CSMA/CA 프로토콜의 채널모델
Fig 2. Channel model in Stop-and-Wait CSMA/CA protocol

패킷이 발생하여 실제 전송을 기다리는 전송지연을 $D^{(j)}$ 라고 정의하였으며, 패킷 전송시간은 $T^{(j)}$ 로 정의하였다. 만약, idle 기간에서 하나의 패킷이라도 발생하게 되면, busy 기간으로 전이되고, 전송시간 중 하나의 패킷도 발생하지 않으면 busy 상태가 끝나고, idle 상태로 돌아오게 된다. 그림 2에서 $T^{(j)}$ 는 j 번째 패킷 전송시간이고, $B^{(j)}$ 는 j 번째 sub-busy 기간으로 정의하였으며, f 는 DIFS의 길이를 나타내고, DIFS

는 l 개의 슬롯으로 구성되어 있다고 가정하였다. 또한, β 는 SIFS의 지연을 의미하며, δ 는 ACK 패킷의 전송시간을 의미한다.

SW ARQ CSMA/CA 프로토콜에서의 패킷전송 순서를 자세히 알아보면, 우선 송신 스테이션이 단위길이(1)의 패킷을 전송하면, 수신 스테이션은 최소지연인 SIFS의 지연을 가진 후, ACK 패킷을 보낸다. 전송에 성공하는 경우의 $T^{(j)}$ 를 TP_S 라고 정의하면, 패킷 전송시간인 $(1+a)$, SIFS의 지연인 β 및 ACK 패킷의 전송시간 δ 의 합으로 구성되어진다. 만약, 패킷 전송시 에러가 발생하면 수신 스테이션은 ACK 패킷을 보내지 않게 되어 대기 중인 스테이션이 새로이 전송을 시도하게 되며, 송신 스테이션은 일정한 타이머의 시간을 기다린 후, backoff 지연을 갖고 재전송을 시도한다. 이 때의 전송시간 $T^{(j)}$ 를 TP_F 라고 정의하면, TP_F 는 $(1+a)$ 가 된다.

우선, SW ARQ CSMA/CA 프로토콜의 처리율을 구하기 위하여 평균 idle 시간(\bar{I})을 구한다. 평균 idle 시간은 geometric 분포를 따르므로, idle 시간이 k 개의 슬롯일 경우를 고려한 후 일반화하여 평균을 구하면 다음과 같이 쉽게 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Prob}[I=ka] &= (1-g)^{M(k-1)} [1-(1-g)^M]; k=1, 2, \dots \\ \bar{I} &= \frac{a}{[1-(1-g)^M]} \end{aligned} \quad (3)$$

다음으로, B 와 \bar{U} 를 구해야 한다. 그러나, B 와 \bar{U} 는 각각 전송에 성공하는 경우와 실패하는 경우를 고려하여야 하기 때문에 단순히 구해지지 않는다. 우선, \bar{U} 를 구하기 위하여 $U^{(j)}$ 를 j 번째 sub-busy 기간에서 패킷전송이 성공한 기간이라 정의하면, $U^{(j)}$ 는 다음과 같다.

$$U^{(j)} = \begin{cases} 1 & \text{만약, } T^{(j)} \text{가 성공이면,} \\ 0 & \text{만약, } T^{(j)} \text{가 실패하면,} \end{cases} \quad (4)$$

\bar{B} 를 구하기 위하여 우선적으로 평균지연 $D^{(j)}$ 를 구하도록 한다. $P_n(X)$ 를 $n \geq 1$ 일 때, X 슬롯 동안 M 스테이션 중 n 개의 스테이션에 패킷이 발생할 확률이라고 하면 식(5)와 같다.

$$\begin{aligned} P_n(X) &= \text{Prob} \left[\begin{array}{l} X \text{개의 슬롯동안 } M \text{ 스테이션중 } n \text{개의 패킷이} \\ \text{발생하는 사건} \mid X \text{개의 슬롯동안 } M \text{ 스테이션중} \\ \text{1개 이상의 패킷이 발생하는 사건} \end{array} \right] \quad (5) \\ &= \frac{\binom{M}{n} [1-(1-g)^X]^n (1-g)^{X(M-n)}}{1-(1-g)^{XM}} \\ &: n=1, 2, \dots, M. \end{aligned}$$

또한, $N_0^{(j)}$ 를 $B^{(j)}$ 의 시작점에서 전송을 대기하는 패킷 수의 분포라고 하면, 이것은 $(j-1)$ 번째 sub-busy 기간의 전송 중에 발생한 패킷의 수이므로, 다음과 같다.

$$\text{Prob}[N_0^{(j)}=n] = P_n(X); j=2, 3, \dots \quad (6)$$

다음으로, $N_0^{(j)}=n$ 이고, $j \geq 2$ 일 때의 지연 $D^{(j)}$ 의 분포를 구한다. $D^{(j)}$ 의 시작점에서 시작하여 슬롯수 k 는 0, 1, 2, ... 이고, DIFS는 l 슬롯으로 구성되어 있다고 가정한다. $D^{(j)}$ 가 k 슬롯이상 되는 확률분포를 구해보면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Prob}[D^{(j)} \geq ka \mid N_0^{(j)}=n] = (1-p)^{kn} (1-g)^{k(M-n)} \quad (7)$$

식 (7)에서 k 의 모든 경우를 고려하고 식을 전개하면, 식 (8)과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} E\{D^{(j)} \mid N_0^{(j)}=n\} &= \sum_{k=1}^{\infty} \text{Prob}[D^{(j)} \geq ka \mid N_0^{(j)}=n] \quad (8) \\ &= a \sum_{k=1}^{\infty} (1-p)^{kn} (1-g)^{k(M-n)}; j \geq 2 \end{aligned}$$

여기서 식 (5), (6)을 이용하면, $j \geq 2$ 일 때의 $E\{D^{(j)}\}$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} E\{D^{(j)}\} &= \sum_{n=1}^M E\{D^{(j)} \mid N_0^{(j)}=n\} \text{Prob}[N_0^{(j)}=n] \end{aligned}$$

$$= \frac{a}{1-(1-g)^{XM}} \left(\sum_{k=1}^{\infty} \{(1-p)^k - (1-g)^k\}^X \right) \quad (9)$$

$$\cdot [(1-p)^k - (1-g)^k]^{M-(1-g)^{XM}} \sum_{k=1}^{\infty} (1-g)^{kM}$$

; $j \geq 2$

$D^{(j)}$ 은 DIFS의 기간으로 고정되어 있으므로, $j \geq 1$ 일 때의 $E[D^{(j)}]$ 를 식 (9)를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다. 이 때, $E[D^{(j)}]$ 는 $(j-1)$ 번째 전송기간에 의존적이기 때문에 $(j-1)$ 번째 전송기간이 성공인 경우(전송기간: TP_S)와 전송기간이 실패인 경우(전송기간: TP_F) 및 첫 번째 지연에 대하여 다음과 같이 고려 해주어야 한다.

$$E[D^{(j)}] = \begin{cases} d(1) & ; j=1 \\ d(TP_S/a); (j-1)\text{번째 전송이 성공이고,} \\ & j=2, 3, \dots \text{일때} \\ d(TP_F/a); (j-1)\text{번째 전송이 실패이고,} \\ & j=2, 3, \dots \text{일때} \end{cases} \quad (10)$$

$$d(1) = f[1 - (1-g)^M]$$

$$d(TP/a) = \frac{a}{1 - (1-g)^{(TP/a)M}}$$

$$\left(\sum_{k=1}^{\infty} \{(1-p)^k - (1-g)^{(TP/a)}\} [(1-p)^k - (1-g)^k]^{XM} - (1-g)^{(TP/a)M} \sum_{k=1}^{\infty} (1-g)^{kM} \right)$$

여기서, TP 에 TP_S 와 TP_F 를 대입하여 각 sub-busy기간 이후의 평균지연을 구할 수 있다. 이때, $TP_S = 1 + 2a + \beta + \delta$ 이며, $TP_F = 1 + a$ 이다. 다음으로 실제 전송에 소요되는 평균기간인 $E[U^{(j)}]$ 를 구한다. 식 (4)를 이용하여, $N_0^{(j)} = n$ 이고, $D^{(j)} \geq ka$ 일 때, 패킷전송에 성공할 평균기간을 구해보면 식 (11)과 같다.

$$E[U^{(j)} | D^{(j)} \geq ka, N_0^{(j)} = n] = \begin{cases} np(1-p)^{n-1} & ; k=0 \\ np(1-p)^{n-1}(1-g)^{(M-n)} & \\ + (1-p)^n (M-n)g(1-g)^{(M-n)-1} & ; k > 0 \end{cases} \quad (11)$$

식 (11)에서 k 에 대한 모든 경우를 고려하여, 조건부 평균값 계산을 이용하여 정리하면, 다음의 식 (12)를 유도할 수 있다.

$$E[U^{(j)} | N_0^{(j)} = n] = \sum_{k=0}^{\infty} E[U^{(j)} | D^{(j)} \geq ka, N_0^{(j)} = n] \cdot \text{Prob}[D^{(j)} \geq ka | N_0^{(j)} = n]$$

$$= \sum_{k=1}^{\infty} [np(1-p)^{(k+1)n-1} (1-g)^{(k+1)(M-n)} + (M-n)(1-p)^{(k+1)n} g(1-g)^{(k+1)(M-n)-1}] + np(1-p)^{n-1} \quad (12)$$

여기서 식 (12)에 식 (5), (6)을 대입하여, $j \geq 2$ 일 때의 $E[U^{(j)}]$ 를 구하면 다음과 같다.

$$E[U^{(j)}] = \sum_{n=1}^M E[U^{(j)} | N_0^{(j)} = n] \text{Prob}[N_0^{(j)} = n]$$

$$= \sum_{n=1}^M \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} [np(1-p)^{(k+1)n-1} (1-g)^{(k+1)(M-n)} + (M-n)(1-p)^{(k+1)n} g(1-g)^{(k+1)(M-n)-1}] + np(1-p)^{n-1} \right\}$$

$$\cdot \left\{ \frac{\binom{M}{n} [1 - (1-g)^{(TP_F/a)n} (1-g)^{(TP_S/a)(M-n)}]}{1 - (1-g)^{(TP_F/a)M}} \right\}$$

이때, $TP_S = 1 + 2a + \beta + \delta$ 이고, $TP_F = 1 + a$ 이다. $U^{(j)}$ 은 idle 기간의 마지막 슬롯에서 단 한 스테이션만 이 패킷을 전송하는 경우로서, 식(5)에 의하여 $P_1(1)$ 이다. 따라서, $j \geq 1$ 일 때의 $U^{(j)}$ 를 구하면 다음과 같다.

$$E[U^{(j)}] = \begin{cases} u(1) & ; j=1 \\ u(TP_S/a) & \\ ; (j-1)\text{번째 전송이 성공이고, } j=2, 3, \dots \text{일때} \\ u(TP_F/a) & \\ ; (j-1)\text{번째 전송이 실패이고, } j=2, 3, \dots \text{일때} \end{cases} \quad (14)$$

이때,

$$u(1) = \frac{Ma(1-g)^{M-1}}{1 - (1-g)^M}$$

$$u(TP/a) = \frac{1}{1 - (1-g)^{(TP/a)M}}$$

$$\cdot \sum_{n=1}^M \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} [np(1-p)^{(k+1)n-1} (1-g)^{(k+1)M-n}] \right.$$

$$\left. + (M-n)(1-p)^{(k+1)n} g(1-g)^{(k+1)M-n-1} + np(1-p)^{n-1} \right\}$$

$$\cdot \left\{ \binom{M}{n} [1 - (1-g)^{(TP/a)^n} - (1-g)^{(TP/a)(M-n)}] \right\}$$

여기서, TP 에 TP_S 와 TP_F 를 대입하여 각 sub-busy기간 이후의 평균지연을 구할 수 있다. 이때, $TP_S = 1 + 2a + \beta + \delta$ 이며, $TP_F = 1 + a$ 이다. SW ARQ CSMA/CA 프로토콜의 처리율을 구하는 방법은 전송에 성공한 경우의 전송기간($1 + 2a + \beta + \delta$)과 전송에 실패하는 경우의 전송기간($1 + a$)이 다르므로, 두가지의 경우에 대하여 모두 고려하여야 한다. SW ARQ CSMA/CA 프로토콜에서 패킷전송의 성공 여부는 바로 이전의 전송기간에 의존적이다. 단, busy기간의 첫번째 전송은 idle기간의 마지막 슬롯에서 패킷이 도착하여 시작되므로, 이 경우는 제외된다. SW ARQ CSMA/CA 프로토콜의 처리율 계산은 $\bar{U}/(\bar{I} + \bar{B})$ 으로 구할 수 있다.

여기서, \bar{B} 와 \bar{U} 를 구하기 위하여 i 번째 전송기간을 X 슬롯이라고 하면, $(i + 1)$ 번째 전송기간은 i 번째 전송기간 X 에 의하여 좌우된다. X 슬롯이 주어지면, busy 기간중 X 슬롯 이후의 평균 기간은 X 의 함수로서 표현할 수 있고, 이 함수를 $B(X)$ 로 정의하면, $B(X)$ 는 다음의 식 (15)와 같이 구할 수 있다. 이때, $d(X)$ 는 식 (10)에서와 동일한 것으로서, X 슬롯 이후의 평균 전송지연을 의미하며, $u(X)$ 는 식 (14)에서와 동일한 것으로서, X 슬롯의 기간동안 패킷전송이 성공할 확률을 의미한다.

$$B(X) = f + d(X) + \{ (TP_S + [1 - (1-g)^{(TP_S/a)}] B(TP_S/a)) u(X) \}$$

$$+ \{ TP_F + [1 - (1-g)^{(TP_F/a)}] B(TP_F/a) \} [1 - u(X)] \quad (15)$$

식 (15)의 첫번째 항은 DIFS의 지연을 의미하고, 두번째 항은 전송이전의 지연을 의미하며, 세번째 항은 전송에 성공하는 경우를 의미하기 때문에 전송기간은 $(1 + 2a + \beta + \delta)$ 가 되고, 이 기간 동안 패킷이 하

나 이상 발생하게 되면, 그 이후의 나머지 busy기간은 $B(TP_S/a)$ 가 된다. 네번째 항은 전송에 실패하는 경우로서, 전송기간은 $(1 + a)$ 가 되고, $(1 + a)$ 동안 패킷이 하나 이상 발생하게 되면, 그 이후의 busy 기간은 $B(TP_F/a)$ 가 된다. 또한, 전체 busy기간은 idle기간의 마지막 한 슬롯에서 시작되므로 평균기간은 $B(1)$ 로 계산된다.

$$B(1) = d(1) = \{ TP_S + [1 - (1-g)^{(TP_S/a)}] B(TP_S/a) \} u(1)$$

$$+ \{ TP_F + [1 - (1-g)^{(TP_F/a)}] B(TP_F/a) \} [1 - u(1)] \quad (16)$$

그러나, 식 (16)에서 초기지연은 $d(1)$ 이 되므로 DIFS 지연 (f)을 다시 더해주지 않는다. 또한, 식 (16)에서 $B(1)$ 을 구하기 위하여 식 (15)에 $B(TP_S/a)$ 와 $B(TP_F/a)$ 를 대입하면식 (15)는 함수 $B(\cdot)$ 에 대하여 recursive하게 구성되어 있고, 미지수가 2개이며, 식이 2개인 이원 일차 연립방정식이 된다. 여기서 $B(TP_S/a)$ 와 $B(TP_F/a)$ 를 구하게되면 다음과 같다.

$$B(TP_S/a)$$

$$\left[\begin{aligned} & [1 - (1-g)^{(TP_S/a)M}] [TP_S + f + d(TP_S/a)] u(TP_F/a) \\ & - \{ [1 - (1-g)^{(TP_F/a)M}] [TP_S + f + d(TP_F/a)] \\ & \quad - a - \beta - \delta \} u(TP_S/a) + d(TP_S/a) \\ & + [1 - (1-g)^{(TP_S/a)M}] [d(TP_F/a) - d(TP_S/a)] \\ & \quad + f + 1 + a \end{aligned} \right]$$

$$= \left[\begin{aligned} & (1-g)^{(TP_S/a)M} \{ 1 - [1 - (1-g)^{(TP_S/a)M}] u(TP_S/a) \} \\ & + [1 - (1-g)^{(TP_S/a)M}] (1-g)^{(TP_S/a)M} u(TP_F/a) \end{aligned} \right] \quad (17)$$

$$B(TP_F/a)$$

$$\left[\begin{aligned} & (1+a+f) \{ [1-g]^{(TP_S/a)M} \\ & \cdot \{ u(TP_F/a) - u(TP_S/a) \} + 1 \} - [1 - (1-g)^{(TP_S/a)M}] \\ & \quad \{ u(TP_S/a)d(TP_F/a) - u(TP_F/a)d(TP_S/a) \} \\ & \quad + d(TP_F/a) + (a + \beta + \delta)u(TP_F/a) \end{aligned} \right]$$

$$= \left[\begin{aligned} & (1-g)^{(TP_F/a)M} \{ 1 - [1 - (1-g)^{(TP_S/a)M}] u(TP_S/a) \} \\ & + [1 - (1-g)^{(TP_F/a)M}] (1-g)^{(TP_S/a)M} u(TP_F/a) \end{aligned} \right] \quad (18)$$

여기서, 식 (10), (14)를 이용하여, 식 (17), (18)을 구하고, 이 식들을 식(14)에 대입하면 전체 busy 기간의 평균 기간은 $B(1)$ 을 구할 수 있다.

다음으로, X 가 주어졌을 때의 $U(X)$ 를 $B(X)$ 동안의 실제 전송에 소요되는 평균기간이라고 정의하면, $B(X)$ 를 구하는 방식과 유사한 방식으로 $U(X)$ 를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 U(X) &= \{1 + [1 - (1-g)^{(TP_S/a)}] U(TP_S/a)\} u(X) \\
 &+ \{[1 - (1-g)^{(TP_F/a)}] U(TP_F/a)\} [1 + u(X)] \quad (19)
 \end{aligned}$$

이때, $TP_S = 1 + 2a + \beta + \delta$, $TP_F = 1 + a$

식 (19)의 첫번째 항은 전송에 성공하는 경우를 의미하는 항으로서, 실제 전송에 소요되는 기간은 패킷 전송시간인 1이 되고, $(1 + 2a + \beta + \delta)$ 기간동안 패킷이 하나이상 발생하게되면, 그 이후의 나머지 busy 기간은 $U(TP_S/a)$ 가 된다. 두번째 항은 전송에 실패하는 경우로서, 전송기간은 0이 되고, $(1 + a)$ 동안 패킷이 하나이상 발생하게되면, 그 이후의 busy 기간은 $U(TP_F/a)$ 가 된다. $B(1)$ 과 마찬가지로 $U(1)$ 은 평균 전송에 성공하는 기간이 된다.

$$\begin{aligned}
 U(1) &= \{1 + [1 - (1-g)^{(TP_S/a)}] U(TP_S/a)\} u(1) \\
 &+ \{[1 - (1-g)^{(TP_F/a)}] U(TP_F/a)\} [1 + u(1)] \quad (20)
 \end{aligned}$$

$U(1)$ 을 구하기 위해서는 $B(1)$ 과 마찬가지로 $U(TP_S/a)$ 와 $U(TP_F/a)$ 를 각각 구해주어야 한다. 여기서 $U(TP_S/a)$ 와 $U(TP_F/a)$ 를 구하게 되면, 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 U(TP_S/a) &= \frac{\left[u(TP_S/a) - [1 - g^{(TP_F/a)M}] \cdot [u(TP_S/a) - u(TP_F/a)] \right]}{\left[(1-g)^{(TP_F/a)M} \{1 - [1 - (1-g)^{(TP_S/a)M}] \cdot u(TP_S/a)\} + [1 - (1-g)^{(TP_F/a)M}] \cdot (1-g)^{(TP_S/a)M} u(TP_F/a) \right]} \quad (21)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U(TP_F/a) &= \frac{u(TP_F/a)}{\left[(1-g)^{(TP_F/a)M} \{1 - [1 - (1-g)^{(TP_S/a)M}] \cdot u(TP_S/a)\} + [1 - (1-g)^{(TP_F/a)M}] \cdot (1-g)^{(TP_S/a)M} u(TP_F/a) \right]} \quad (22)
 \end{aligned}$$

Busy 기간의 경우와 마찬가지로 $U(X)$ 도 idle 기간에서 시작되므로, 결국 식 (14)를 이용하여 식 (21)과 식 (22)를 구한 후, 이 식들을 식 (20)에 대입하면 전송에 성공하는 평균기간인 $U(1)$ 을 구할 수 있으며, SW ARQ CSMA/CA 프로토콜의 처리율은 식 (3), (16), (20)을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\bar{U}}{B + I} \\
 &= \frac{U(1)}{B(1) + \frac{a}{1 - (1-g)^M}} \quad (23)
 \end{aligned}$$

V. 패킷지연분석

Stop-and-Wait CSMA/CA 프로토콜의 패킷지연은 기본 CSMA/CA의 경우와 마찬가지로 채널 처리율을 이용하여 구할 수 있다. 채널의 처리율(S)의 분석은 실제 전체 망의 부하(G)에 대한 실제 전송에 성공한 패킷의 비로 구할 수 있었다. 이러한 점을 응용하면, 전체 기간 중에 전송을 시도하였으나 실패하여 재전송을 시도하는 평균 재전송 시도횟수는 (G/S) 로 표현할 수 있다. 이때, 임의의 한 패킷이 전송을 채널을 감지하기 시작하여 전송을 시작하기까지의 지연을 R 이라고 정의하면, 평균 R 을 구하기 위하여 다음과 같은 경우를 고려하여야 한다. 1) 패킷이 Idle 기간에 도착하는 경우, 2) 패킷이 전송 지연기간(D)에 도착하는 경우 및 3) 패킷이 패킷전송기간에 도착하는 경우이다. 1)의 경우는 임의의 한 패킷이 전체기간 중 idle 기간에 도착하는 경우로서, $I/(B+I)$ 의 확률을 갖고 이때의 지연은 DIFS의 지연기간을 갖는다. 2)는 임의의 한 패킷이 전송지연(D)기간에 도착하는 경우로서 이때의 확률은 $D/(B+I)$ 이며, DIFS의 지

연기 시간을 갖는다. 또한, 3)은 패킷이 다른 패킷의 전송기간중에 도착하는 경우로서, 이러한 사건이 발생할 확률은 $(B-D)/(B+I)$ 이며, 이때의 지연기간은 패킷지연에 성공하는 경우와 패킷지연에 실패하는 경우에 대하여 고려해야 한다. SW ARQ CSMA/CA의 경우에는 전송에 실패하는 경우와 전송에 성공할 때의 확률 및 지연이 각각 다르기 때문에 주의하여 구하여야 한다. 임의의 한 패킷이 전송에 성공할 확률을 P_{Succ} 이라고 하고, P_{Fail} 을 전송에 실패할 확률이라고 정의하고, 위의 세 가지 경우를 모두 고려하여 평균 재전송 지연기간(R)을 구해보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{R} &= \frac{\bar{I}}{B+I} f + \frac{\bar{D}}{B+I} f \\ &+ \frac{B-D}{B+D} \left\{ P_{Succ} \left[\frac{\bar{TP}_S^2}{2 \bar{TP}_S} + D_{Succ} \right] \right. \\ &\left. + P_{Fail} \left[\frac{\bar{TP}_F^2}{2 \bar{TP}_F} + D_{Fail} \right] \right\} \end{aligned} \quad (24)$$

이때, $TP_S = 1 + 2\alpha + \beta + \delta$, $TP_F = 1 + \alpha$

수식 (24) 에서 첫번째 항은 패킷이 idle 기간에 도착하는 경우로서, 지연기간은 DIFS 기간이 되며, 두번째 항은 패킷이 지연기간동안 도착하는 경우로서 이때의 지연도 마찬가지로 DIFS 기간이 된다. 또한, 세번째 항은 다른 패킷의 전송기간중에 패킷이 도착하는 경우로서 이때의 지연기간은 renewal theory의 평균 residual life 계산과 이때의 평균지연의 합으로 구할 수 있다. P_{Succ} 과 P_{Fail} 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{Succ} = \frac{S}{G}, \quad P_{Fail} = 1 - P_{Succ} \quad (25)$$

이때, \bar{D} 는 처리율을 구할 때와 유사한 방법으로 구할 수 있다. \bar{D} 를 구하는 자세한 방법은 다음과 같다. 평균 초기지연을 구하는 방법은 처리율을 구할 때와 유사한 방법을 사용하여 recursive한 형태로 만들어 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \bar{D} &= \\ f &+ \{d(TP_S/a) + [1 - (1-g)^{(TP_S/a)M}] D(TP_S/a)\} u(1) \end{aligned}$$

$$+ \{d(TP_F/a) + [1 - (1-g)^{(TP_F/a)M}] D(TP_F/a)\} [1 - u(1)] \quad (26)$$

또한, 식 (26)에서 D 의 평균을 구하기 위해서는 $D(TP_S/a)$ 와 $D(TP_F/a)$ 를 각각 구해주어야 한다. 여기서 $D(TP_S/a)$ 와 $D(TP_F/a)$ 를 구하게 되면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} D(TP_S/a) &= \frac{\left[\begin{aligned} &[1 - (1-g)^{(TP_S/a)M}] \{f + d(TP_S/a)\} u(TP_S/a) \\ &- [1 - (1-g)^{(TP_S/a)M}] \{f + d(TP_F/a)\} \\ &- d(TP_S/a) + d(TP_F/a)\} u d(TP_S/a) \\ &+ d(TP_F/a) + f \end{aligned} \right]}{\left[\begin{aligned} &(1-g)^{(TP_S/a)M} \{1 - [1 - (1-g)^{(TP_S/a)M}] u(TP_S/a)\} \\ &+ [1 - (1-g)^{(TP_S/a)M}] (1-g)^{(TP_S/a)M} u(TP_F/a) \end{aligned} \right]} \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} D(TP_F/a) &= \frac{\left[\begin{aligned} &[d(TP_F/a) + f] \{1 - (1-g)^{(TP_S/a)M}\} \\ &\cdot [u(TP_F/a) - u(TP_S/a)] + 1 \} \\ &+ [d(TP_S/a) - d(TP_F/a)] u(TP_F/a) \end{aligned} \right]}{\left[\begin{aligned} &(1-g)^{(TP_F/a)M} \{1 - [1 - (1-g)^{(TP_S/a)M}] u(TP_S/a)\} \\ &+ [1 - (1-g)^{(TP_F/a)M}] (1-g)^{(TP_S/a)M} u(TP_F/a) \end{aligned} \right]} \end{aligned} \quad (28)$$

여기서, 식 (10), (14)를 이용하여, 식 (27), (28)를 구하고, 이 식들을 식(26)에 대입하면 평균 D 를 구할 수 있다. 또한, 전송에 성공할 때와 전송에 실패하는 경우의 지연이 다르기 때문에 D_{Succ} 와 D_{Fail} 을 각각 구하여야 한다. 그러나, 각 지연은 처리율을 구하는 과정에서 계산되었으므로 식 (10)을 이용하여 구할 수 있다. 패킷전송시 재전송할 때까지의 랜덤지연의 평균을 Y 라고 정의하고, 정규화된 패킷지연을 L 로 정의하면 SW ARQ CSMA/CA 프로토콜의 패킷지연은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$L = \left(\frac{G}{S} - 1 \right) [TP_F + \bar{Y} + \bar{R}] + [\bar{R} + TP_S] \quad (29)$$

VI. 분석결과 및 시뮬레이션

본 절에서는 SW ARQ CSMA/CA 프로토콜의 성능을 다양한 파라미터를 변화하며 분석하여 그 결과 값들을 구하였으며, 시뮬레이션을 이용하여 수학적 분석결과와 신뢰성을 검증하였다. 시뮬레이션 모델로는 수학적 분석의 모델과 동일하도록 설정하였으며 입력 파라미터의 설정은 IEEE 802.11 표준안 자료를 근거로 하였다. 각 스테이션들은 서로 확률적으로 독립적이고, 동일하게 동작한다고 가정하였고, 채널이 슬롯화되어 슬롯의 시작점에서만 전송이 가능하도록 모델링하였다. 컴퓨터 시뮬레이션은 IBM Pentium 및 486 호환기종을 사용하였으며, 시뮬레이션 언어로는 마이크로 소프트사의 window 95용 SIMSCRIPT II.5를 사용하였다. SIMSCRIPT II.5를 사용한 이유는 기존의 시뮬레이션 패키지를 사용하게 되면 CSMA/CA 프로토콜의 특성을 세부적으로 표현할 수 없기 때문이다.

그림 3은 SW ARQ CSMA/CA 프로토콜의 처리율 및 패킷지연을 트래픽양을 변화시키면서 구한 것으로서, 실선으로 표시된 것은 수학적 분석의 결과이고, 삼각형로 표시되어 있는 것들은 각 컴퓨터 시뮬레이

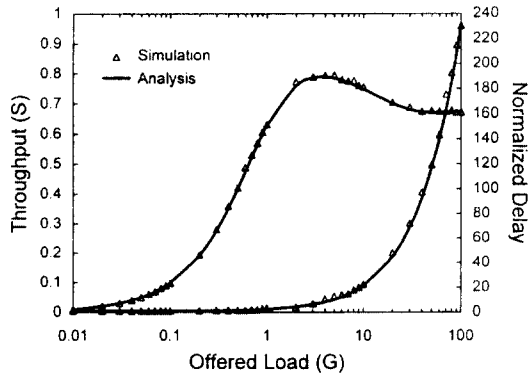


그림 3. 사용자의 수가 20일 때의 Stop-and-Wait ARQ CSMA/CA 프로토콜의 처리율 및 패킷지연 ($a=0.01, p=0.03, l=3, \beta=0.01, \delta=0.03$)

Fig 3. Throughput and packet delay of Stop-and-Wait ARQ CSMA/CA protocol when the number of users is fixed at 20 ($a=0.01, p=0.03, l=3, \beta=0.01, \delta=0.03$)

션의 결과이다. 이때 네트워크의 사용자의 수는 20이고, 슬롯의 크기 (a)는 0.01로 고정하였으며, p 값은 0.03으로 설정하고, DIFS (l)는 3 슬롯이며, SIFS 길이 (β)는 0.01로 고정하고, ACK 패킷의 길이 (δ)는 0.03으로 고정하였다. 트래픽양이 5 이상 증가하게 되면 패킷간의 충돌이 많이 발생하여 처리율이 감소하였다 또한, 트래픽양이 10이상 증가하면 패킷지연이 급

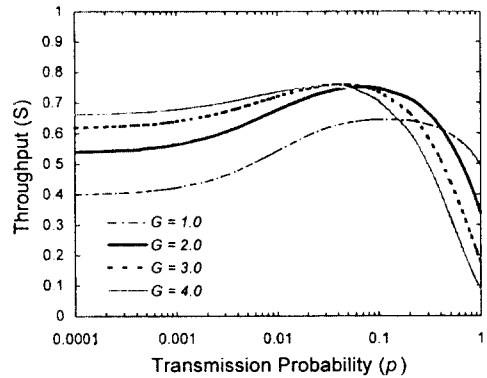


그림 4. p 값의 변화에 대한 Stop-and-Wait ARQ CSMA/CA 프로토콜의 처리율 ($a=0.01, l=3, \beta=0.01, \delta=0.03$)

Fig 4. Throughput of Stop-and-Wait ARQ CSMA/CA protocol for varying the p ($a=0.01, l=3, \beta=0.01, \delta=0.03$)

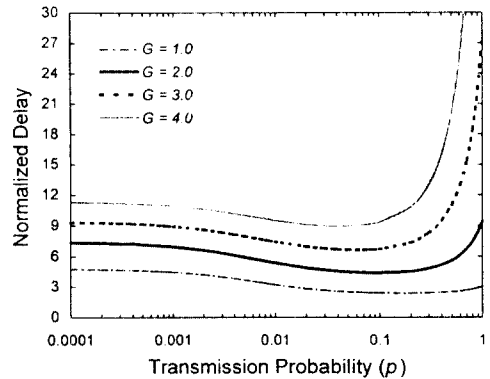


그림 5. p 값의 변화에 대한 Stop-and-Wait ARQ CSMA/CA 프로토콜의 패킷지연

Fig 5. Packet delay of Stop-and-Wait ARQ CSMA/CA protocol for varying the p

격히 증가하는 것을 볼 수 있었으며, 수학적 분석 결과와 시뮬레이션 결과가 매우 유사한 것을 알 수 있다.

그림 4와 5는 전송확률 p 의 변화에 따른 처리율 및 패킷지연을 보이고 있다. 그림 4의 처리율 특성에서는 트래픽양이 2, 3 및 4 일 때의 경우 전송확률이 0.03에서 0.04사이에서 교차점을 보이고 있으며, 이때의 처리율이 가장 크다는 것을 볼 수 있다. 또한, 그림 4의 우에서는 트래픽양이 증가함에 따라 패킷지연도 증가하는 것을 볼 수 있다.

그림 6 과 7은 사용자 수의 변화에 대한 처리율 및 패킷지연의 변화를 보여주고 있는 그래프로서, 트래픽양이 증가함에 따라 사용자수가 많은 경우, 처리율이 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 7에서는 사용자의 수가 증가함에 따라 패킷지연이 더욱 급격히 증가하는 것을 알 수 있다.

다양한 파라미터의 변화에 대한 SW ARQ CSMA/CA 프로토콜의 성능을 알아보기 위하여 사용자의 수는 30이고, 슬롯의 크기 (a)는 0.01로 고정하였으며, p 값은 0.03으로 설정하고, DIFS (l)는 3 슬롯이며, SIFS 길이(β)는 0.01로 고정하였을 때의 ACK 패킷길이(δ)의 변화에 대한 처리율의 변화를 그림 8에서 보이고 있다. ACK 패킷은 채널의 사용중 오버헤드로 작용하는 요소로서, 길이가 증가함에 따라 처리율이

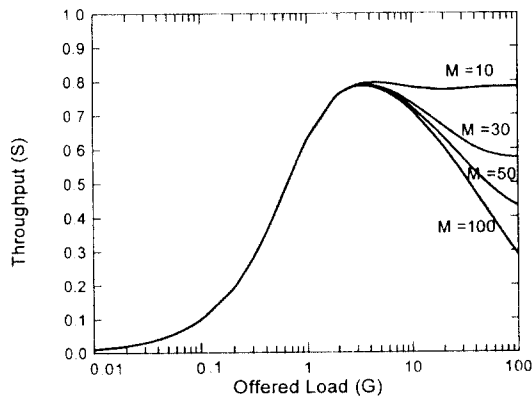


그림 6. 사용자 수의 변화에 대한 Stop-and-Wait ARQ CSMA/CA 프로토콜의 처리율

($a = 0.01, p = 0.03, l = 3, \beta = 0.01, \delta = 0.03$)

Fig 6. Throughput of Stop-and-Wait ARQ CSMA/CA protocol for varying the number of users

($a = 0.01, p = 0.03, l = 3, \beta = 0.01, \delta = 0.03$)

비례적으로 감소하였다. 또한, 그림 8은 그림 7과 동일한 조건하에서의 패킷지연을 보이는 그래프로서, ACK 패킷의 증가에 따라 패킷지연도 비례적으로 증가하였다.

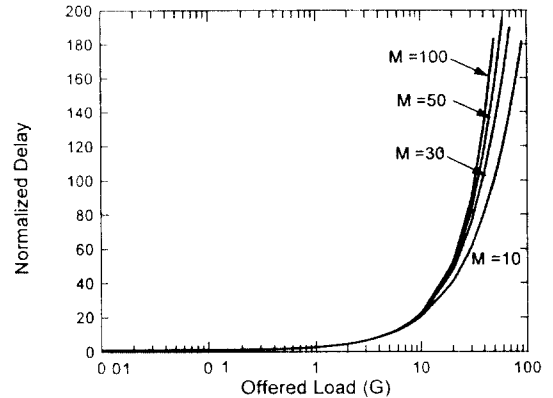


그림 7. 사용자 수의 변화에 대한 Stop-and-Wait ARQ CSMA/CA 프로토콜의 패킷지연

($a = 0.01, p = 0.03, l = 3, \beta = 0.01, \delta = 0.03$)

Fig 7. Packet delay of Stop-and-Wait ARQ CSMA/CA protocol for varying the number of users

($a = 0.01, p = 0.03, l = 3, \beta = 0.01, \delta = 0.03$)

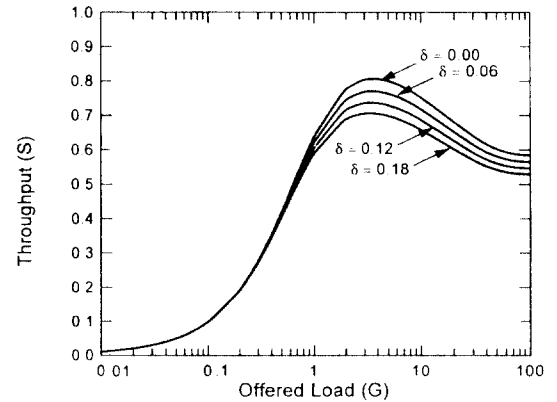


그림 8. ACK의 길이에 대한 Stop-and-Wait ARQ CSMA/CA 프로토콜의 처리율

($a = 0.01, p = 0.03, M = 30, l = 3, \beta = 0.01$)

Fig 8. Throughput of Stop-and-Wait ARQ CSMA/CA for varying the length of ACK

($a = 0.01, p = 0.03, M = 30, l = 3, \beta = 0.01$)

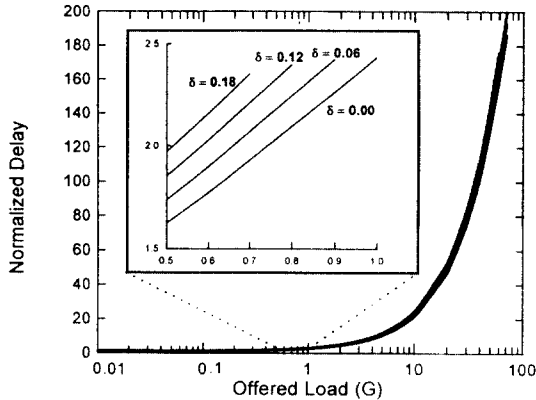


그림 9. ACK의 길이에 대한 Stop-and-Wait ARQ CSMA/CA 프로토콜의 패킷지연
($\alpha = 0.01, p = 0.03, M = 30, l = 3, \beta = 0.01$)

Fig 9. Packet delay of Stop-and-Wait ARQ CSMA/CA protocol for varying the length of ACK
($\alpha = 0.01, p = 0.03, M = 30, l = 3, \beta = 0.01$)

SW ARQ CSMA/CA 프로토콜의 성능분석 결과로서는 사용자의 수 및 ACK 패킷의 전송시간이 증가할수록 처리율이 저하되었으며, 패킷지연은 증가하는 것을 알 수 있었다.

Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 무선 근거리 통신망에서의 프로토콜 중 Stop-and-Wait ARQ 방식을 사용하는 CSMA/CA 방식에 대하여 renewal theory에 근거한 busy 기간 분석방식을 이용하여 처리율 및 패킷지연을 분석하였고, 동일한 조건에서의 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 수학적 분석의 신뢰성을 검증하였다.

SW ARQ CSMA/CA 방식을 분석하기 위하여 유한 가입자 모델을 설정하였고, 시간축은 슬롯시간으로 나누어진 슬롯화된 모델을 설정하여 분석하였다. 분석방법으로서는 채널을 busy기간과 idle기간의 연속으로 모델링하였으며, busy기간은 다시 지연기간과 전송기간으로 구분하여 모델링하였다. 다음으로, 평균 지연기간과 실제 전송에 소요되는 평균 기간의 확률을 구하고, 평균 busy 기간과 실제 전송에 소요되는 평균기간을 구한 후 SW ARQ CSMA/CA 프로토콜의 처리율을 유도하였다. 또한, 망의 전체 부하와 처리율

을 이용하여 패킷지연을 계산하였다.

분석결과에 의하면, SW ARQ CSMA/CA 프로토콜의 경우, 스테이션의 수가 증가함에 따라 처리율이 저하되었고, 패킷지연이 증가하였다. 또한, 전송확률이 0.03에서 0.04의 사이에서 최대 처리율을 보이는 것을 알 수 있었다. 그리고, ACK 패킷의 길이가 커질수록 전송시간이 길어지게되어 처리율이 비례적으로 감소하였으며, 패킷지연도 증가하였다. 따라서, ACK 패킷의 길이설정은 무선 근거리 통신망의 송수신기의 특성에 맞게 적절한 크기로 설정되어야 할 것이다. 이러한 수학적 분석값들을 시뮬레이션을 통하여 검증한 결과에 의하면, 두 결과값들이 서로 거의 동일한 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 무선 근거리 통신망에서의 SW ARQ CSMA/CA 프로토콜의 처리율 및 패킷지연 분석방법을 제시하였으며, 사용자의 수와 ACK 패킷의 길이를 변화하며 처리율 및 패킷지연 특성을 분석해 보았다. 본 연구의 결과들이 무선 근거리 통신망을 설계할 때나 프로토콜의 성능분석시 많은 도움이 되기를 바라며, 향후 연구과제로서 무선 전송특성을 고려한 분석이 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. N. Abramson, "Multiple Access in Wireless Digital Networks," *Proceeding of the IEEE*, vol. 82, no. 9, pp. 1360-1370, Sep. 1994
2. M. Zorzi and R. R. Rao, "Capture and Retransmission Control in Mobile Radio," *IEEE J. Selected Areas. Commun.*, vol. 12, no. 8, pp. 1289-1298, Oct. 1994
3. D. J. Goodman and S. X. Wei, "Efficiency of Packet Reservation Multiple Access," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 40, no. 2, pp. 170-176, Feb. 1991
4. W. C. Wong, "Packet Reservation Multiple Access in a Metropolitan Microcellular Radio Environment," *IEEE J. Selected Areas. Commun.*, vol. 11, no. 6, pp. 918-925, Aug. 1993
5. R. O. LaMaire, A. Krishna and H. Ahmadi, "Analysis of a Wireless MAC Protocol with Client

- Server Traffic and Capture," *IEEE J. Selected Areas. Commun.*, vol 12, no. 8, pp. 129 1313, Oct. 1994
6. K. C. Chua, "A Variant of the CSMA Protocol Suitable for a Mobile Radio LAN," *Proc. of GLOBCOM*, pp. 1354 1358, 1992.
 7. K. C. Chen, "Medium Access Control of Wireless LANs for Mobile Computing," *IEEE Network Mag.* vol. 8, no. 5, pp. 50 63, Sep/Oct 199
 8. M. Zorzi and R. R. Rao, "Throughput analysis of G0-Back-N ARQ in Markov channels with unreliable feedback," *Proc. of ICC '95*, pp. 1232-1237, 1995.
 9. L. F. Chang, "Throughput Estimation of ARQ Protocol for a Rayleigh Fading Channel Using Fade- and Interfade-Duration Statistics," *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, vol. 40, no. 1, pp. 223-229, 1991.
 10. "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) And Physical Layer(PHY) Specification," *IEEE Standard Draft*, Dec. 1994
 11. L. Kleinrock, 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.
 12. H. Takagi, L. Kleinrock, "Throughput Analysis for CSMA Systems", *IEEE Trans. on Commun.* vol. com 33, no. 7, pp. 627 638, Jul. 1985.
 13. H. Takagi, *Queueing Analysis. A Foundation of Performance Evaluation Vol. 1: Vacation and Priority Systems.* pp. 19, North Holland 1991.
 14. L. Kleinrock, *Queueing Systems Vol. 1: Theory.* pp. 212, John & Sons Inc. 1975.
 15. F. A. Tobagi and V. B. Hunt, "Performance analysis of carrier sense multiple access with collision detection," *Comput. Networks*, vol. 4, pp. 245-259, Oct,-Nov. 1980.



金宰顯(Jae Hyun Kim) 정회원
 1969年 7月 21日生
 1991年 2月:한양대학교 전자계산학과 졸업
 1993年 2月:한양대학교 대학원 전자계산학과 석사학위 취득
 1993年 3月~현재:한양대학교 대학원 전자계산학과 박사과정

※ 관심분야: 통신망 성능분석, 무선 LAN 프로토콜 성능분석, Queuing Theory 등



李廷規(Jong Kyu Lee) 정회원
 1995年 9月 24日生
 1979年 2月:한양대학교 전자공학 학과 졸업
 1986年:UCLA 전자공학과 석사학위 취득
 1989年 2月:UCLA 전자공학과 박사학위 취득(컴퓨터 네트워크 전공)

1979年 3월~1984年 5월:국방과학 연구소 연구원
 1989年 3월~1990年 2월:삼성전자 종합기술원 정보통신부문 수석연구원
 1990年 3월~현재:한양대학교 전자계산학과 부교수
 ※ 관심분야:무선 데이터 통신, Cellular CDMA, Information Theory 등