

군용 무전기를 이용한 근거리 무선 데이터 전송에서의 분산 매체 접근 제어 방식의 성능 분석

A Performance Analysis of DFWMAC Protocols in Short-Distance Wireless Data Transmission Using Military Radio

이 성 규*, 최 영 윤*

ABSTRACT

In this paper, the performance of data communication function of military radio equipment P-999K is analyzed based on the standard CSMA/CA protocol which is DFWMAC standard protocol done by IEEE802.11 work group. Basic three standard protocols, i.e. Basic CSMA/CA, Stop & Wait ARQ and 4-Way Handshake CSMA/CA protocols are analyzed and compared with each other under the hidden terminal environment. The computer simulation is also done by using SIMSCRIPT II.5 which is popular software tool for an independent processing. The results show that p-persistent(with $p=0.3$) CSMA scheme is superior to non-persistent CSMA scheme with non-hidden terminal condition, but the performances of both schemes are almost same with hidden terminal situation. And the results of computer simulations are also showed that Basic CSMA/CA protocol is superior to the other protocols when the ratio of hidden terminals is below 10 % of total user population, however, with the above 20% hidden terminals environment and the higher offered traffic conditions the 4-Way Handshake CSMA/CA protocol shows the most superior performance.

1. 서 론

본 논문에서는 주파수 도약 확산대역(FHSS; Frequency Hopping Spread Spectrum)방식을 채택하고 있는 군용 무전기인 P-999K를 무선모뎀으로 하고 상용 개인용 컴퓨터를 단말기로 이용하여 데이터 통신을 위한 무선 근거리 통신망을 구성할 경우의 성능을, Hidden Terminal을 고려한 상황에서 현재 무선 LAN에 관한 표준 프로토콜인 IEEE802.11의 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 프로토콜을

적용하여 성능을 분석하였다. 성능 분석은 IEEE802.11의 매체접근제어(MAC ; Medium Access Control) 표준 방식인 DFW(Distributed Foundation Wireless)MAC에서 채택하고 있는 Basic CSMA /CA 방식, SW(Stop & Wait) ARQ CSMA/CA 방식, 4WH(4 Way Handshake) CSMA/CA 방식 각각에 대하여 충돌 발생시마다 단지 CW (Contention Window)만을 2의 거듭승으로 증가시키는 논-퍼시스턴트(Non-persistent) CSMA 방식과 논-퍼시스턴트 CSMA에 p-퍼시스턴트(p-persistent)를 혼합한 방식에 대하여 SIMSCRIPT II.5 시뮬레이션 전용 프로그램을 사용하여 Hidden Terminal 비율에 따른 성능

* 군사과학대학원 전자통신공학과

분석을 다양하게 실시 상호 비교하였다.

논문의 구성은 II장에서 IEEE802.11 CSMA/CA 프로토콜의 특성을 기술하고, III장에서는 시스템 모델 설정을 위하여 CSMA/CA 프로토콜 모델 및 패킷처리 순서도와 Hidden Terminal 상황을 위한 트래픽 발생 모델, 그리고 군용 무전기를 이용한 비동기 데이터 전송 알고리즘을 분석하고, IV장에서는 시뮬레이션의 결과를 분석하였으며, V장에서는 결론에 대하여 언급하였다.

2. CSMA/CA 프로토콜의 특성

IEEE802.11 매체접근제어(MAC) 프로토콜인 DFWMAC에서 비동기성 데이터 서비스를 담당하는 분산 제어방식의 DCF(Distributed Coordination Functions)는 CSMA/CA 프로토콜을 기본으로 하고 있다. 이러한 CSMA/CA 방식은 충돌을 최대한 회피하기 위한 기법으로 IFS(Inter Frame Space)와 Backoff 지연 기법을 사용한다. IFS에는 가장 짧은 길이로 가장 높은 우선 순위를 갖는 전송을 시도할 때 사용되는 SIFS(Short IFS)와 가장 긴 IFS로서 가장 낮은 우선권을 갖는 DIFS(DCF IFS), 그리고 중간 길이의 IFS인 PIFS(Point Coordination Functions IFS)가 있다. 이 3가지의 IFS 중 DCF에서는 DIFS와 SIFS만을 사용한다. 그리고 충돌 회피를 위한 Backoff 지연은 아래 식에 의하여 산출한다.

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

여기서 경쟁 창(CW; Contention Window)은 지연의 범위를 결정하는 것으로 전송 시도 횟수에 따라 CW_{\min} (최소값: 2^3-1)에서 CW_{\max} (최대값: 2^8-1)사이의 정수값으로 정해진다. 즉 최초에는 CW_{\min} 의 값을 갖

다가 충돌이 발생할 때마다 CW_{\max} 까지 2의 누승으로 증가함으로써 충돌 발생시마다 다시 취해지는 전체적인 Backoff 지연의 폭을 크게 하여 상대적으로 충돌 발생 확률을 감소시킨다. 그리고 슬롯 시간(Slot Time)은 물리적인 특성인 송신기 Turn-on시간, 전파 지연 및 매체의 사용중(Busy) 검사 응답 시간의 합으로서 지연의 기준이 되는 단위 시간이다. Backoff 지연 시간은 일반적으로 슬롯 시간 단위로 채널의 상태가 휴지인 경우만 감소시킴으로서 오래 기다린 사용자는 새로 전송을 시도하는 사용자에게 비하여 패킷을 전송할 확률을 높게 하여 각 사용자들의 공정한 전송 시도가 되도록 한다.

일반적으로 IEEE802.11 DFWMAC에서는 단지 데이터만을 보내는 Basic CSMA/CA 방식과 데이터 전송후 ACK 신호를 기다리는 SW ARQ CSMA/CA 방식 그리고 Hidden Terminal 문제 해결을 위해 RTS(Request To Send) 패킷을 보내고 CTS(Clear To Send) 패킷을 받은 후, 데이터를 보내고 ACK 패킷을 받는 4WH CSMA/CA 방식이 있다.

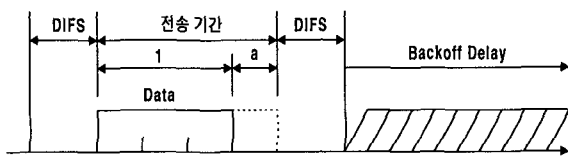
3. 시스템 모델

3.1 CSMA/CA 프로토콜 모델 및 패킷 처리 순서도

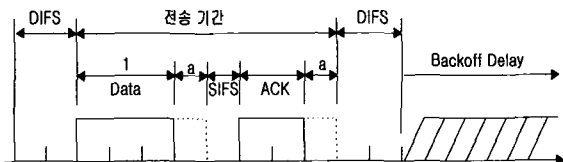
성능 분석 모델로서 채널은 시간축에 대하여 나누어진 슬롯화된 CSMA/CA 모델을 사용하였으며 시간축은 슬롯 크기인 a로 나누어져 있다고 가정하였고 각 스테이션은 슬롯의 시작점에서만 전송이 가능토록 동기화되어 있다고 가정하였다. CSMA/CA 프로토콜은 IEEE802.11 DFWMAC의 DCF 방식과 동일하게 설정하였다. 트래픽에 대한 모델은 유한 가입자 모델로서 M개의 스테이션으로 구성된 통신망으로 설정하였고, 각 스테이션에서 패킷의 발생 간격(Interarrival

Time)은 포아송 과정(Poisson Process)을 따르는 평균율이 λ 인 지수분포를 갖도록 하였다. 여기서 λ 의 값은 공급 트래픽(Offered Traffic)에 의해 결정된다. 공급 트래픽은 채널의 단위 처리율에 대한 망 전체의 패킷 발생율의 비를 나타낸다. 패킷의 길이(Duration Time)는 실제 고정 패킷 길이를 전송하는 시간인 1로 고정되었다고 가정하고 기본 단위시간으로 설정하였다. 또한 각 스테이션의 전파지연은 각각 동일하다고 가정하였다. 이를 기준으로 Basic CSMA/CA, SW ARQ CSMA/CA, 4WH CSMA/CA 방식에 대한 채널 모델을 도시화하면 그림 1에서 그림 3과 같다

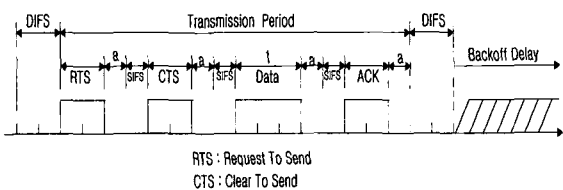
여기서 DIFS, SIFS, ACK(혹은 NAK), RTS, CTS의 길이는 3절에서 설명된 군용 무선기 P-999K를 이용한 비동기 데이터 전송 알고리즘에서 설명된 데이터를



(그림 1) Basic CSMA/CA 방식의 채널 모델



(그림 2) SW ARQ CSMA/CA 방식의 채널 모델



(그림 3) 4WH CSMA/CA 방식의 채널 모델

전송 실험에서 얻어진 시험값을 토대로 하여 패킷의 길이를 1로 고정하였을 때의 상대적인 길이로 산출하여 설정하였다.

또한 Basic CSMA/CA, SW ARQ CSMA/CA, 4WH CSMA/CA 방식에 대한 패킷 처리 순서도는 아래의 그림 4에서 그림 6과 같다.

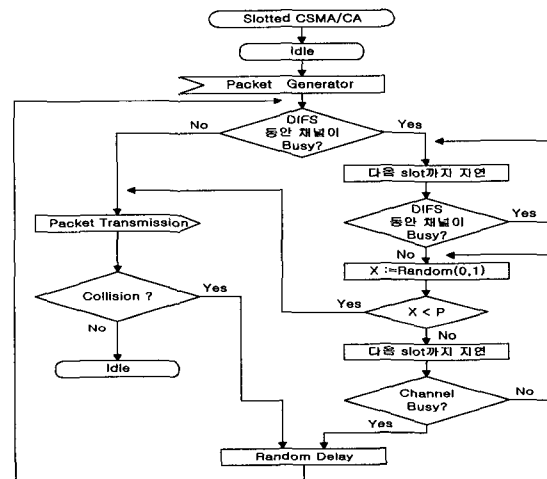
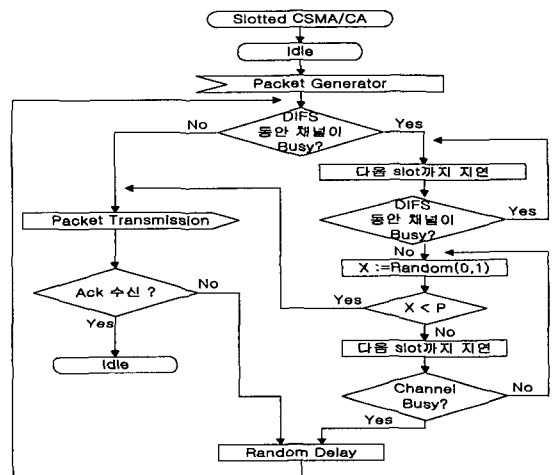
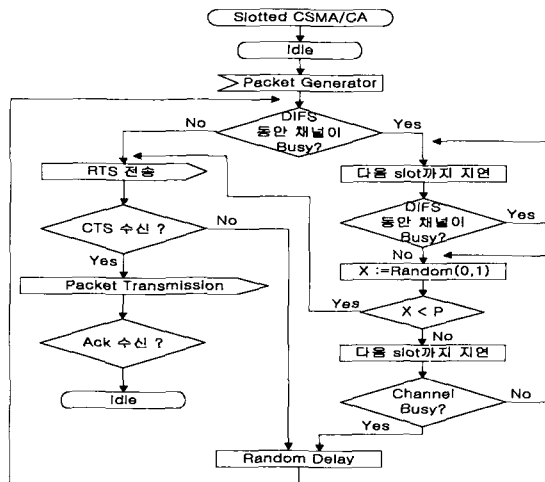


그림 4 Basic CSMA/CA 방식의 패킷 처리 순서도



(그림 5) SW ARQ CSMA/CA 방식의 패킷처리 순서도



(그림 6) 4WH CSMA/CA 방식의 패킷처리 순서도

Basic CSMA/CA 방식의 경우는 최초에 패킷이 발생한 후 “Carrier Sense” 매커니즘을 통해 최초에는 DIFS 동안 채널의 사용여부를 확인한 뒤 채널이 사용중이 아니면 1-퍼시스턴트 CSMA 방식으로 바로 전송을 시도한다. 그러나 채널이 사용중이면 슬롯 시간 단위로 DIFS 동안 채널의 사용여부를 확인한다. 이때 채널이 사용중이 아닐 경우 랜덤하게 발생된 확률 p 값에 의해 패킷의 전송여부를 결정하는데, 만족되는 확률 p 값을 얻게되면 바로 전송을 시도하고 실패하면 다시 슬롯 시간 동안 채널의 사용여부를 확인 후 사용중이 아닐 경우 다시 랜덤 발생 확률 p 값에 재 시도하게 된다. 그러나 실패한 후 슬롯 시간 지연뒤에 채널이 사용중일 경우는 랜덤 확률 p 값을 시도하지 않고 Backoff 지연을 갖게 된다. Backoff 지연은 2절의 식 (1)에 의해 구해진다. 이때 $CW(0)$ 의 값은 최초 2^3-1 의 값을 갖으나 패킷의 전송 중에 충돌이 발생하면 충돌 발생 시마다 2의 누승(배수)으로 증가하여 2^8-1 까지 증가하게 된다. 지금까지 설명한 패킷처리 순서도에 의하면 최초에는 DIFS 동안 기다린 후 채널이 사용중이 아니면 1-퍼시스턴트 CSMA 방식으로 전송을 시도하

고, 사용중이면 확률 p 값에 의한 p -퍼시스턴트 CSMA 방식으로 전송을 시도하는 논-퍼시스턴트 CSMA와 p -퍼시스턴트 CSMA의 혼합된 방식으로 설정하였다.

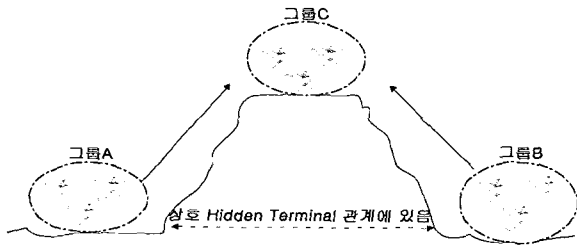
여기서 만일 확률 p 값을 1로 설정한 경우에는 패킷이 발생하면 무조건 1-퍼시스턴트 CSMA 방식으로 전송을 시도하고, 전송중 충돌이 발생하면 Backoff 지연을 하게 되는 논-퍼시스턴트 CSMA 방식이 됨을 알 수 있다.

본 논문에서는 이러한 논-퍼시스턴트 CSMA 방식과 p -퍼시스턴트 CSMA 방식을 혼합한 방식과 $p=1$ 로 설정한 논-퍼시스턴트 CSMA 방식에 대한 두 가지 방식에 대하여 각각의 성능을 비교, 분석하였다.

SW ARQ CSMA/CA 방식의 패킷 처리 순서도는 Basic CSMA/CA 방식과 동일하나 패킷 충돌에 대한 처리시 데이터 송신에 성공한 스테이션은 ACK 신호를 성공적으로 수신한 것으로 가정하여 채널을 충돌 없이 액세스한 경우는 패킷을 오류 없이 전송한 것으로 간주하였고, 4WH CSMA/CA 방식의 패킷 처리 순서도의 경우도 Basic CSMA/CA 방식과 동일하나 패킷 충돌에 대한 처리시 RTS 패킷 전송 후 CTS 패킷의 수신 여부에 따라 패킷의 충돌 여부가 결정되도록 하였다. 즉 CTS 패킷을 수신하면 채널을 액세스하는데 충돌이 발생하지 않은 것으로 가정하여 데이터와 ACK까지 모든 패킷을 오류 없이 전송에 성공한 것으로 처리하였고, 만일 CTS 패킷을 수신하지 못하면 충돌이 발생한 것으로 가정하여 채널 액세스를 재시도하도록 하였다.

3.2 Hidden Terminal 상황하에서의 트래픽 발생 모델

본 연구에서는 전체 통신망 중에서 Hidden Terminal의 발생 비율(%) 정도에 따라 Basic CSMA/CA와 SW ARQ CSMA/CA 그리고 4WH CSMA/CA 3가지 방식에



[그림 7] Hidden Terminal 모델

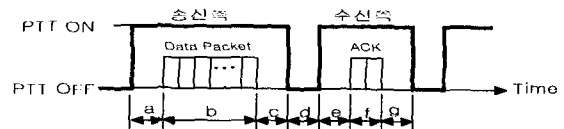
대한 성능을, 논-퍼시스턴트 CSMA 방식과 p-퍼시스턴트와 논-퍼시스턴트 CSMA와 혼합된 방식에 대하여 각각 비교 및 분석하였다. 이때 확률 p값은 Hidden Terminal이 없는 상황에서 가장 성능이 우수한 p값에 대해서만 분석하였다.

그림 7에서 보는 바와 같이 모든 스테이션들은 균등분포(Uniform distribution)에 의해 랜덤하게 트래픽을 발생하도록 설정한 후, A,B,C 3개의 그룹으로 나누어 각 그룹에서 패킷이 발생하도록 하였으며, 각 그룹에서 발생된 패킷은 모두 C그룹으로 송신이 되도록 처리하였다. 그리고 Hidden Terminal의 발생 비율(%)은 10, 20, 25, 33%의 4가지 경우로 나누어 분석하였다. 예를 들어 Hidden Terminal이 10%이고 전체 통신망내에 50개의 스테이션으로 구성되었을 경우에는 A 그룹에 5개 스테이션, B그룹에 5개 스테이션으로 구성되고 나머지 40개의 스테이션은 C그룹에 속하도록 설정하여 전체 스테이션 50개중에서 A그룹과 B그룹에 각각 속한 5개의 스테이션 상호간에 Hidden Terminal 관계에 있도록 설정하였다.

3.3 군용 무전기(P-999K)를 이용한 비동기 데이터 전송 알고리즘

군용 무전기 P-999K는 최신의 디지털 통신 방식에 의해 데이터 신호를 변복조할 수 있는 반 이중 통신

방식을 채택한 장비로서 데이터 형태로 전송할 때는 디지털 변조 방식인 FSK 방식을 사용하며 데이터는 직렬 전송된다. 이때 P-999K는 직렬 데이터 입출력 포트인 인텔사의 USART 칩인 8251을 사용하여 매 데이터 송수신시 클럭을 발생하여 데이터를 주고받는 동기식 접속뿐만 아니라 비동기식 전송도 가능하도록 되어 있다. 또한 본 장비는 주파수 도약에 의한 대역 확산 통신이 가능하여 적의 전파 방해 및 전자도청 등과 같은 전자전 환경 하에서도 동작할 수 있다는 점에서 특징을 가지고 있다. 이런 특징을 갖고 있는 군용 무전기를 모뎀으로 사용하고 개인용 상용 컴퓨터를 단말기로 사용하여 비동기성 데이터 통신을 시험한 결과 단말기를 2400bps로, 군용 무전기의 전송 속도를 4800bps로 하고 패킷(데이터)의 크기를 511byte로 하였을 경우 가장 신뢰성이 높으면서 전송시간을 단축하여 전송을 할 수 있었다⁽¹⁾. 데이터 전송 시험 결과, SW ARQ방식으로 전송하는데 소요되는 세부적인 시간 구조는 그림 8과 같다.



[그림 8] 군용 무전기를 이용한 데이터 전송 시험시 소요시간

a : PTT ON 후 대기시간 (300msec), b : DATA 전송 시간 (패킷크기 × 10 / 전송속도), c : PTT OFF 전 대기시간 (200msec), d : ACK 혹은 NAK 전송전 대기시간 (1000msec), e : PTT ON 후 대기시간 (300msec), f : ACK 혹은 NAK 전송시간 (패킷크기 × 10 / 전송속도), g : PTT OFF 전 대기시간 (200msec)

여기에서 PTT ON후 300msec 경과후 데이터를 전송토록 한 것은 단말기(PC)와 무선모뎀 간에 비동기

식 전송 방식을 활용하기 때문에 하드웨어 셋업시간과 비트 동기시간 간격을 둔 것으로 보다 안정적인 데이터 전송을 위해 필요하다. PTT 신호 OFF는 데이터 전송 직후 발생시킬 수 있으나 보다 안정적인 데이터 전송을 위해 약 200msec의 지연 시간을 두었다. 이러한 시간 간격은 모두 소프트웨어적으로 조정이 가능하다. 또한 송신측의 송신 데이터에 대하여 수신측에서의 응답신호(ACK 혹은 NAK)와의 시간간격은 송신측 데이터와의 충돌 방지를 위하여 최소한 1000msec 두었다.

이를 근간으로 하여 데이터의 길이는 511byte로 설정하고, ACK 구조는 X.25 프로토콜의 감시(Supervisory) 패킷의 구조를 활용하고, RTS 및 CTS의 구조는 X.25 프로토콜의 비번호제(Unnumbered) 패킷의 구조를 활용하여 12 byte의 길이로 결정하여 군용 무전기를 이용한 패킷전송시 CSMA/CA 프로토콜 모델에 맞추어 각각의 파라미터를 다음과 같이 산출하였다.

- DATA=1
($300\text{ms} + \text{데이터길이} \times ((511 \times 10) / 2.4) + 200\text{ms} = 629\text{ms}$ 를 단위시간 1로 고정)
- RTS,CTS,ACK=0.21
(RTS,CTS,ACK 신호에 대한 DATA 길이와의 상대적인 비율 : $300\text{ms} + \text{RTS 길이} \times ((12 \times 10) / 2.4) + 200\text{ms} = 550\text{ms}$)
- DIFS=0.5
(패킷 전송전 채널의 상태를 점검하기 위하여 요구되는 최소한의 시간으로 RTS, CTS, ACK, DIFS 보다 큰 값으로 설정)
- SIFS=0.01
(우선권을 가장 높게 하기 위하여 DIFS보다 작은 값 설정)
- a=0.38

(Slot Time으로서 송신측의 송신데이터에 대한 수신측에서의 응답신호와의 시간 간격인 1000ms에 대한 DATA 신호길이와의 상대적인 비율)

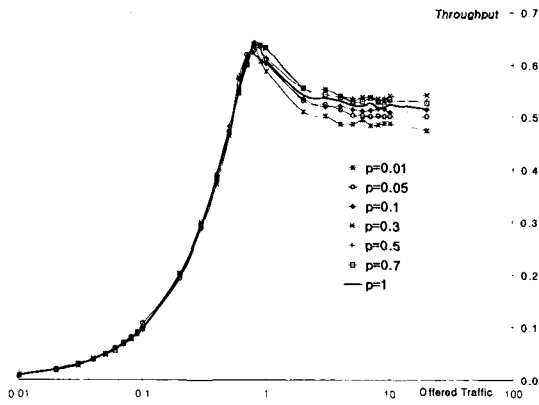
4. 시뮬레이션 결과 분석

4.1 Hidden Terminal이 없는 경우

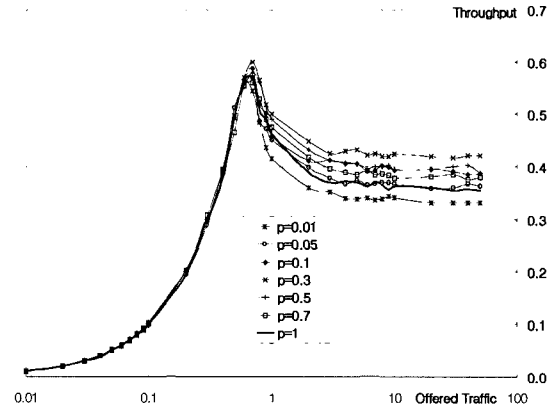
지금까지 앞서 설명한 CSMA/CA 프로토콜 모델과 패킷 처리 순서도에 따라 시뮬레이션을 실시하였다. 이때 트래픽에 대한 모델은 유한 가입자 모델로서 스테이션수는 20가입자와 50가입자의 경우로만 제한하여, p=1의 경우인 논-퍼시스턴트 CSMA 방식과 논-퍼시스턴트 CSMA와 p-퍼시스턴트 CSMA 방식을 혼합한 방식의 경우로 구분하여 p값을 몇 가지 단계로 나누어 변화시키면서 시뮬레이션을 실시하였다.

4.1.1 Basic CSMA/CA 방식

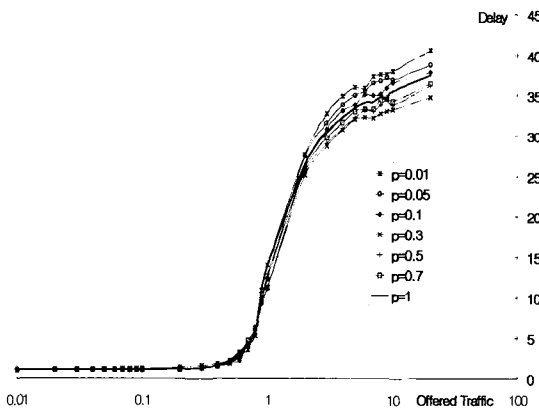
그림 9에서 그림 12에 나타난 것처럼 p=1의 경우인 논-퍼시스턴트 CSMA 방식은 논-퍼시스턴트 CSMA와 p-퍼시스턴트 CSMA 을 혼합한 방식에 비하여 p값이 크거나 작은 경우에는 성능이 더 양호하나 p값을 적절하게 설정한 경우는 그렇지 못하였다. 즉 가입자 수가 20인 경우에는 p값을 0.3에서 0.7사이의 값으로 설정한 경우 상대적으로 더 좋은 성능을 얻었으며 그 중에서도 공급 트래픽에 따라 차이는 있지만 일반적으로 p=0.3인 경우가 전반적으로 가장 양호한 성능을 나타내었다. 또한 가입자 수가 50인 경우는 p값이 0.1에서 0.7사이의 값을 설정한 경우에 p=1인 논-퍼시스턴트 CSMA 방식보다 더 양호한 결과를 얻었고, 가입자 수가 20인 경우보다 더욱 선명하게 p값에 따라 차이가 있으며 p=0.3인 경우 역시 가장 양호한 성능을 나타내었다. 가입자 수가 20인 경우는 공급 트래



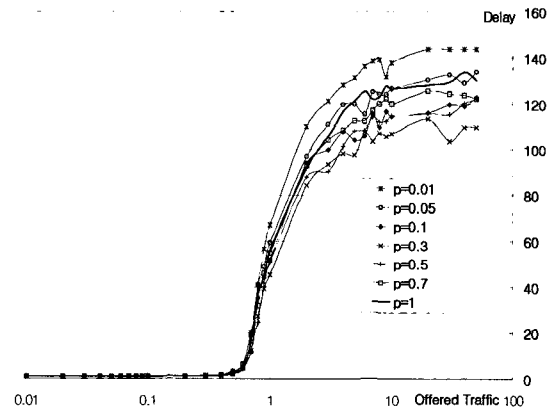
(그림 9) Basic CSMA/CA 방식의 처리율(가입자:20)



(그림 11) Basic CSMA/CA 방식의 처리율(가입자:50)



(그림 10) Basic CSMA/CA 방식의 지연(가입자20)



(그림 12) Basic CSMA/CA 방식의 지연(가입자:50)

픽이 0.9인 경우, 가입자 수가 50인 경우는 공급 트래픽이 0.7인 경우에 각각 최대의 처리율(Throughput)인 63.7%와 60%를 나타내어, 가입자 수가 20인 경우가 50인 경우보다 크고 최대 처리율을 갖는 공급 트래픽 값도 가입자의 수가 20인 경우가 50인 경우보다 크게 나타났다. 공급 트래픽이 3이상이면 일반적으로 처리율은 일정한 값을 계속 유지하여 가입자수가 20인 경우는 $p=0.3$ 인 경우 53%~54%을, $p=1$ 인 경우는 51%~52%을 유지하고, 가입자수가 50인 경우는 $p=0.3$ 인 경우 42%~43%을, $p=1$ 인 경우는 35%~37%로

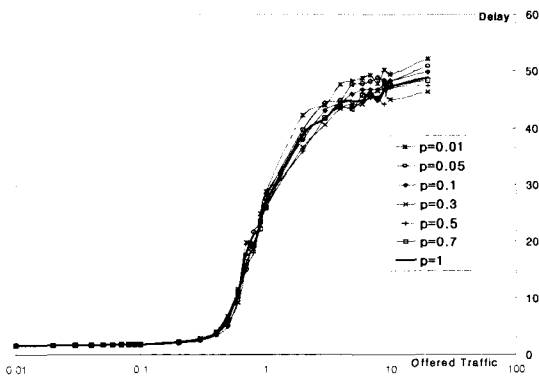
서 거의 변동이 없는 상태로 지연만 지속적으로 늘어났다.

일반적으로 지연은 공급 트래픽이 0.5이상일 경우 현저하게 길어지고 가입자 수가 50인 경우가 20인 경우보다 약 4배 이상 늘어났다. 즉 공급 트래픽이 1이고 $p=0.3$ 인 경우 511 byte 크기를 갖는 패킷을 한 개 전송하는데 소요되는 시간이 가입자 수가 20인 경우는 29.7초 ($11.3 \times 2629 \text{msec} = 29.7 \text{sec}$) 소요되는데 반해 가입자 수가 50인 경우는 119.4초 ($45.4 \times 2629 \text{msec} = 119.4 \text{sec}$)가 소요된다.

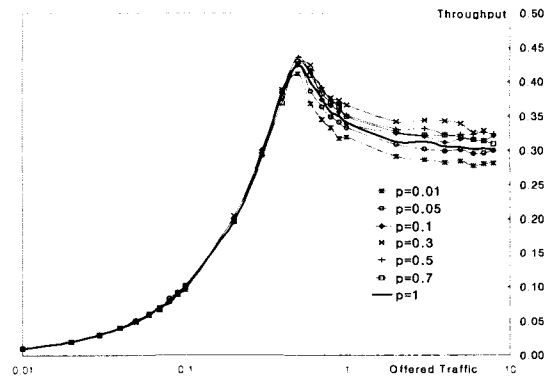
4.1.2 Stop & Wait ARQ CSMA/CA 방식

그림 13에서 그림 16에 나타난 것처럼 $p=1$ 의 경우인 논-퍼시스턴트 CSMA 방식은 논-퍼시스턴트 CSMA와 p -퍼시스턴트 CSMA 방식을 혼합한 방식에 비하여 p 값이 크거나 작은 경우에는 성능이 더 양호하나 p 값을 적절하게 설정한 경우에는 그렇지 못하였다. 즉 p 값을, 가입자 수가 20인 경우에는 0.3에서 0.7사이의 값으로 설정한 경우 상대적으로 더 좋은 성능을 얻었으며 그 중에서도 공급 트래픽에 따라 차이는 있지만 일반적으로 $p=0.3$ 인 경우에 전반적으로 가장 양호한 성능을 나타내었다. 또한 가입자 수가 50인 경우는 p 값

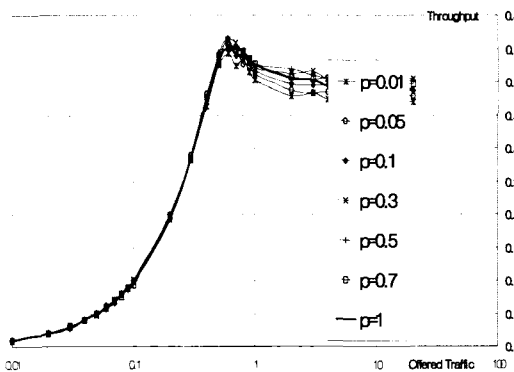
이 0.3에서 0.7사이의 값을 설정한 경우에 $p=1$ 인 논-퍼시스턴트 CSMA 방식보다 더 양호한 결과를 얻었고, 가입자 수가 20인 경우보다 더욱 선명하게 p 값에 따라 차이가 있으며 $p=0.3$ 인 경우 역시 가장 양호한 성능을 나타내었다. 가입자 수가 20인 경우는 공급 트래픽이 0.6인 경우, 가입자 수가 50인 경우는 공급 트래픽이 0.5인 경우에 각각 최대의 처리율(Throughput)인 46.5%와 43.6%를 나타내어, 가입자 수가 20인 경우가 50인 경우보다 크고 최대 처리율을 갖는 공급 트래픽 값도 가입자의 수가 20인 경우가 50인 경우보다 크게 나타났다. 공급 트래픽이 3이상이 되면 일반적으로 처리



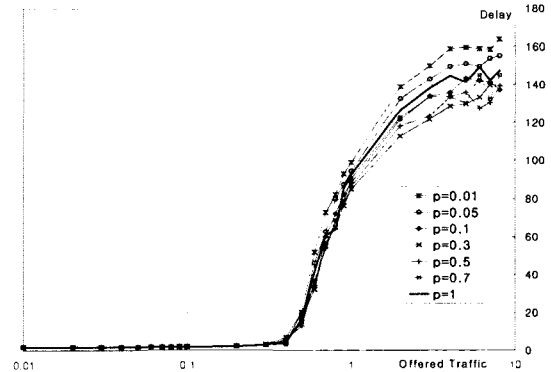
[그림 14] Stop & Wait ARQ CSMA/CA 방식의 지연(가입자:20)



[그림 15] Stop & Wait ARQ CSMA/CA 방식의 처리율(가입자:50)



[그림 13] Stop & Wait ARQ CSMA/CA 방식의 처리율(가입자:20)



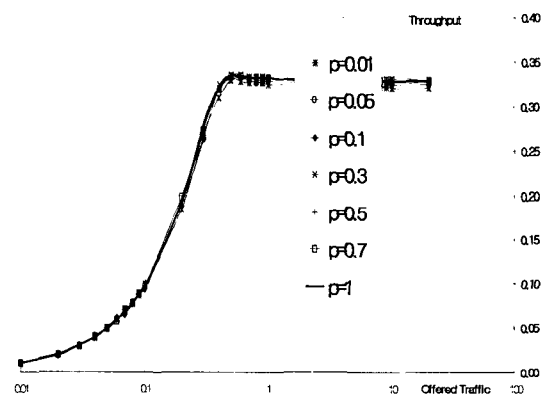
[그림 16] Stop & Wait ARQ CSMA/CA 방식의 지연(가입자:50)

율은 일정한 값을 계속 유지하여 가입자수가 20인 경우는 $p=0.3$ 인 경우 40%~41%을, $p=1$ 인 경우는 39%~40%을 유지하고, 가입자수가 50인 경우는 $p=0.3$ 인 경우 33%~34%을, $p=1$ 인 경우는 30%~31%로서 거의 변동이 없는 상태로 지연만 지속적으로 늘어났다. 일반적으로 지연은 공급 트래픽이 0.4이상일 경우 현저하게 길어지고 가입자 수가 50인 경우가 20인 경우보다 약 3배 이상 늘어났다. 즉 공급 트래픽이 1이고 $p=0.3$ 인 경우 511 byte 크기를 갖는 패킷을 한 개 전송하는데 소요되는 시간이 가입자 수가 20인 경우는 68.6초 ($26.1 \times 2629 \text{msec} = 68.6 \text{sec}$) 소요되는데 반해 가입자 수가 50인 경우는 224초 ($85.2 \times 2629 \text{msec} = 224 \text{sec}$)가 소요된다.

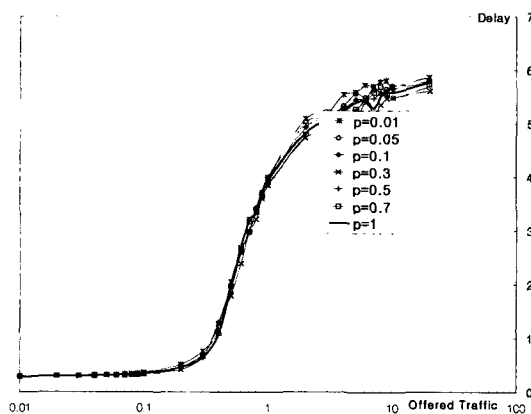
4.1.3 4-Way Handshake CSMA/CA 방식

그림 17에서 그림 20에 나타난 것처럼 $p=1$ 의 경우인 논-퍼시스턴트 CSMA 방식은 논-퍼시스턴트 CSMA와 p-퍼시스턴트 CSMA를 혼합한 방식에 비하여 p 값이 크거나 작은 경우에는 성능이 더 양호하나 p 값을 적절하게 설정한 경우는 그렇지 못하였다. 즉 p 값을, 가입자 수가 20인 경우에는 0.3에서 0.7사이의 값으로 설정한 경우 상대적으로 더 좋은 성능을 얻었으며 그 중에서도 공급 트래픽에 따라 차이는 있지만 일반적으로 $p=0.3$ 인 경우에 전반적으로 가장 양호한 성능을 나타내었다. 그러나 이러한 성능의 차이는 가장 높은 처리율과 가장 낮은 처리율의 차이가 최대 0.006 정도로서 거의 차이가 없고, 특히 $p=1$ 인 경우와 $p=0.3$ 인 경우와의 차이는 0.001로서 거의 동일하였다. 또한 가입자 수가 50인 경우는 p 값이 0.3에서 0.7사이의 값을 설정한 경우에 논-퍼시스턴트 CSMA 방식보다 더 양호한 결과를 얻었고, 가입자 수가 20인 경우보다 다소 p 값에 따라 차이가 있으며 $p=0.3$ 인 경우 역시 가장 양호한 성능을 나타내었다. 그러나 이러한 성능의 차이 역시 가장 높은 처리율과 가장 낮은 처리율의 차이가

최대 0.01정도로서 거의 차이가 없고, 특히 $p=1$ 인 경우와 $p=0.3$ 인 경우와는 0.003 차이밖에 나지 않았다. 가입자 수가 20인 경우는 공급 트래픽이 0.5인 경우, 가입자 수가 50인 경우는 공급 트래픽이 0.4인 경우에 각각 최대의 처리율(Throughput)인 33.5%와 33.1%를 나타내었다. 그리고 Basic CSMA/CA와 SW ARQ CSMA/CA 방식과는 달리 최대의 처리율을 갖는 지점부터는 전반적으로 공급 트래픽이 증가하여도 거의 일정한 값을 유지하고 지연만 상대적으로 지속적으로 늘어나는



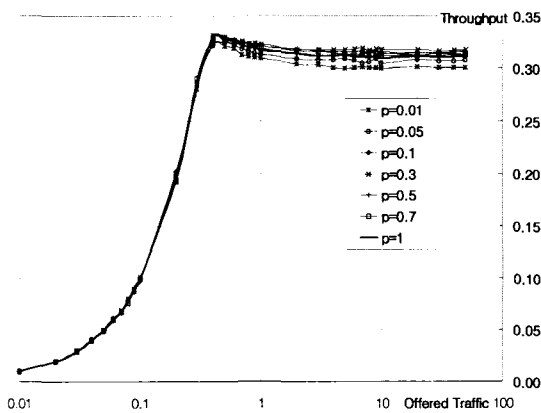
(그림 17) 4-Way Handshake CSMA/CA 방식의 처리율(가입자:20)



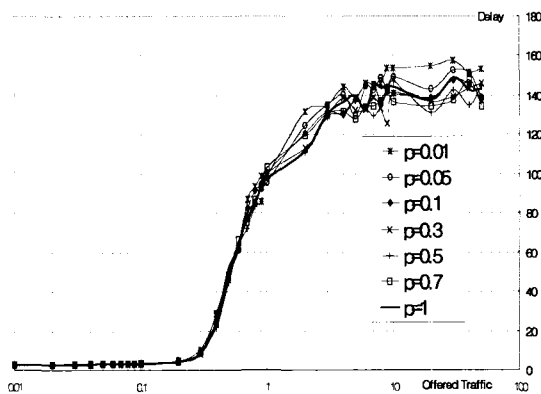
(그림 18) 4-Way Handshake CSMA/CA 방식의 지연(가입자:20)

특징을 나타내었다. 일반적으로 지연은 공급 트래픽이 0.2이상일 경우 현저하게 길어지고 가입자 수가 50인 경우가 20인 경우보다 약 2.5배 이상 늘어났다.

즉 공급 트래픽이 1이고 $p=0.3$ 인 경우 511 byte 크기를 갖는 패킷을 한 개 전송하는데 소요되는 시간이 가입자 수가 20인 경우는 101초 ($38.5 \times 2629 \text{msec} = 101.2 \text{sec}$) 소요되는데 반해 가입자 수가 50인 경우는 262.4초 ($99.8 \times 2629 \text{msec} = 262.4 \text{sec}$)가 소요된다.



(그림 19) 4-Way Handshake CSMA/CA 방식의 처리율(가입자:50)



(그림 20) 4-Way Handshake CSMA/CA 방식의 지연(가입자:50)

4.1.4 소결론

Hidden Terminal이 없는 상황에서 3가지 CSMA/CA 방식에 대한 성능을 비교 분석한 결과, 예상대로 Basic CSMA/CA, SW ARQ CSMA/CA, 4WH CSMA/CA 방식 순으로 성능이 우수하였다. 그리고 이 3가지 CSMA/CA 방식 모두 논-퍼시스턴트 CSMA와 p-퍼시스턴트 CSMA 방식을 혼합한 방식이 $p=1$ 로 설정한 논-퍼시스턴트 CSMA 방식보다 p 를 0.3에서 0.7로 설정한 경우 더 양호한 성능을 나타내었다. 가장 최대의 처리율은 $p=0.3$ 인 경우로서, Basic CSMA/CA, SW ARQ CSMA/CA, 4WH CSMA/CA 방식 순으로, 가입자수가 20인 경우는 63.7%, 46.5%, 33.5%을, 가입자수가 50인 경우는 60%, 43.6%, 33.1%을 나타내었다. 최대 처리율을 갖는 지점에서의 공급 트래픽 값도 Basic CSMA/CA, SW ARQ CSMA/CA, 4WH CSMA/CA 순으로, 그리고 가입자수가 많을수록 작은 공급 트래픽 값에서 최대 처리율을 나타냈다.

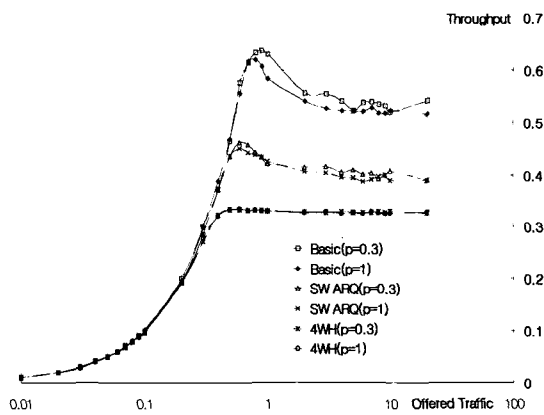
4.2 Hidden Terminal이 있는 경우

앞에서 설명한 Hidden Terminal 상황하에서의 트래픽 발생 모델 및 시뮬레이션을 위한 프로토콜 모델과 패킷 처리 순서도를 토대로 하여 3가지 CSMA/CA 방식에 대한 시뮬레이션을 실시하였다. 이때 사용된 각종 파라미터 값들은 Hidden Terminal이 없는 상황에서 적용한 것과 동일하게 설정하였으나 단지 가입자 수는 20인 경우에 대해서만 IEEE802.11의 권고안인 논-퍼시스턴트(Non-persistent) CSMA 방식과 Hidden Terminal이 없는 경우 가장 양호한 성능을 나타낸 0.3-퍼시스턴트 CSMA 방식 그리고 논-퍼시스턴트 CSMA 방식과의 혼합된 방식 두 가지의 경우에 대해서만 시뮬레이션을 실시하였다. 이때 4WH CSMA/CA 방식은 Hidden Terminal 상황을 고려한 방식이기 때문에 당연히 Hidden Terminal이 없는 상황하에서의 성능과 동일

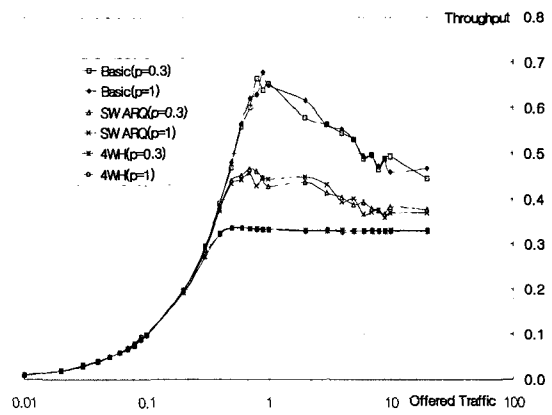
하게 설정하였고 실제로 Hidden Terminal 상황을 고려하여 4WH CSMA/CA 방식에 대한 시뮬레이션 결과 Hidden Terminal이 없는 상황하에서의 성능과 동일하게 나타났다. Hidden Terminal의 비율은 10%, 20%, 25%, 33%로 구분하여 실시하였다.

성능 분석 결과 Hidden Terminal이 발생하지 않을 경우는 3가지 CSMA/CA 방식 모두 그림 21과 그림 22에서 보는바와 같이 $p=1$ 로 설정한 논-퍼시스턴트 CSMA 방식보다 $p=0.3$ 으로 설정한 0.3-퍼시스턴트 CSMA

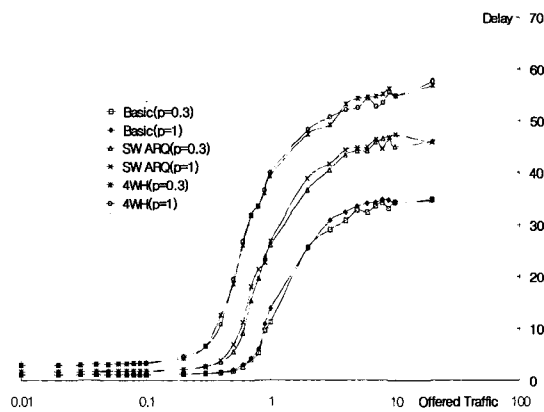
방식과 논-퍼시스턴트 CSMA 방식을 혼합한 방식의 성능이 다소 우수하였으나 Hidden Terminal 상황하에서는 3가지 CSMA/CA 방식 모두 그림 23에서 그림 30의 그래프에서 보는바와 같이 $p=0.3$ 과 $p=1$ 로 설정한 경우의 성능이 뚜렷한 차이가 없이 공급 트래픽에 따라 상호 교차하면서 유사하였고, Basic CSMA/CA 방식과 SW ARQ CSMA/CA 방식은 Hidden Terminal 발생 비율이 증가할수록 성능이 현저히 저하되었다. Hidden Terminal이 10%이하로 발생할 경우는 Basic CSMA/



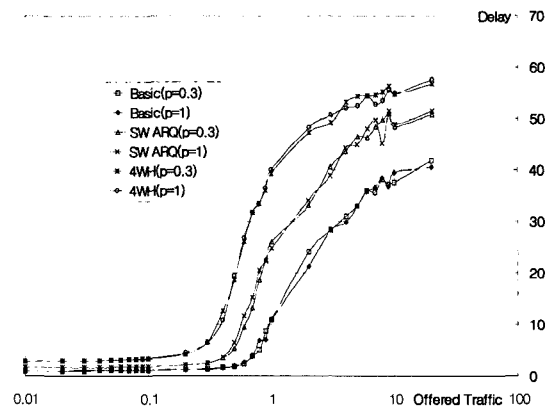
(그림 21) Hidden Terminal 미고려시 3가지 CSMA/CA방식의 처리율(가입자:20)



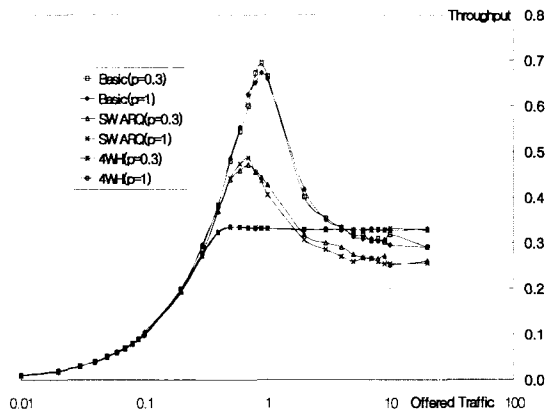
(그림 23) Hidden Terminal(10%)발생시 3가지 CSMA/CA방식의 처리율(가입자:20)



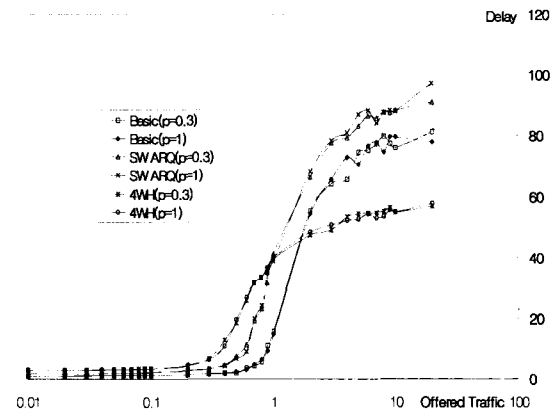
(그림 22) Hidden Terminal 미고려시 3가지 CSMA/CA방식의 지연(가입자:20)



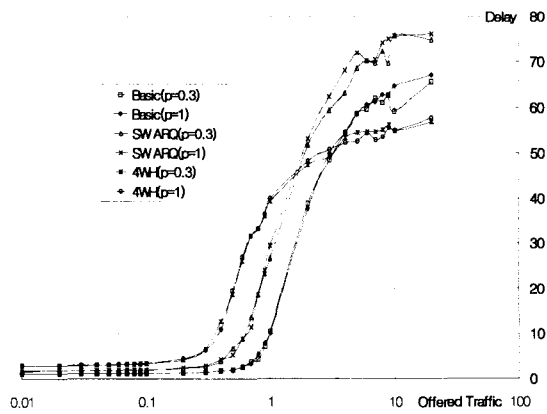
(그림 24) Hidden Terminal(10%)발생시 3가지 CSMA/CA방식의 지연(가입자:20)



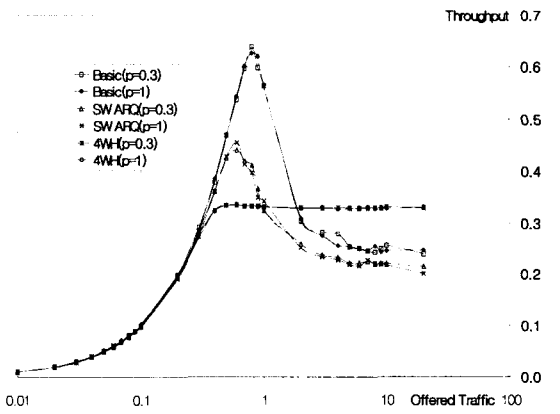
[그림 25] Hidden Terminal(20%)발생시 3가지 CSMA/CA방식의 처리율(가입자:20)



[그림 28] Hidden Terminal(25%)발생시 3가지 CSMA/CA방식의 지연(가입자:20)



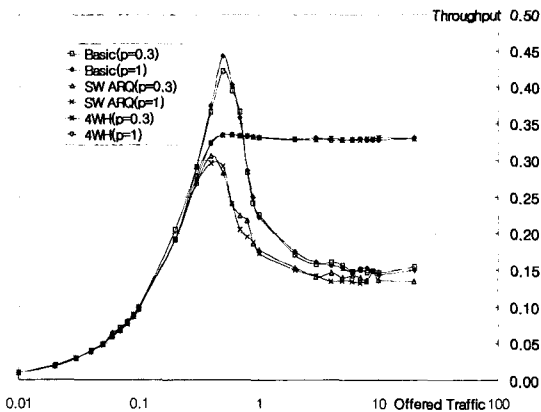
[그림 26] Hidden Terminal(20%)발생시 3가지 CSMA/CA방식의 지연(가입자:20)



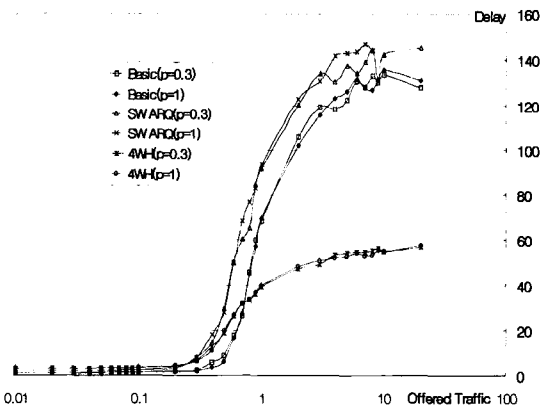
[그림 27] Hidden Terminal(25%)발생시 3가지 CSMA/CA방식의 처리율(가입자:20)

CA, SW ARQ CSMA/CA, 4WH CSMA/CA 방식 순으로 성능이 우수하였으나 Hidden Terminal이 20% 이상 발생할 경우는 그렇지 않았다. 즉 Hidden Terminal이 20% 발생할 경우는 4WH CSMA/CA 방식은 Basic CSMA/CA 방식에 비해 공급 트래픽이 4 이하인 경우는 성능이 상대적으로 떨어지지만, 공급 트래픽이 4 이상인 지점부터는 오히려 성능이 더 우수하였고, SW ARQ CSMA/CA 방식과는 공급 트래픽이 2 이상인 지점부터는 성능이 반등되었다.

Hidden Terminal이 25% 발생할 경우는 4WH CSMA/CA 방식은 Basic CSMA/CA 방식에 비해 공급 트래픽이 2 이상인 지점부터, SW ARQ CSMA/CA 방식과는 공급 트래픽이 1 이상인 지점부터는 성능이 반등되었으며, Hidden Terminal이 33% 발생할 경우는 4WH CSMA/CA 방식은 Basic CSMA/CA 방식에 비해 공급 트래픽이 0.7 이상인 지점부터, SW ARQ CSMA/CA 방식과는 공급 트래픽에 무관하게 성능이 월등하였다.



(그림 29) Hidden Terminal(33%)발생시 3가지 CSMA/CA방식의 처리율(가입자:20)



(그림 30) Hidden Terminal(33%)발생시 3가지 CSMA/CA방식의 지연(가입자:20)

5. 결 론

본 논문에서는 군용 무전기를 이용하여 근거리 무선 통신망을 구성하여 데이터 통신의 성능을 표준화 작업중인 IEEE802.11 CSMA/CA 프로토콜을 이용하여 분석하였다. 특히 3가지 CSMA/CA 방식, 즉 Basic CSMA/CA, SW ARQ CSMA/CA, 4WH CSMA/CA 방식에 대한 성능을 Hidden Terminal 발생 비율에 따라 다양하게 성능을 분석하였다. 또한 성능 분석시 단지 CW

(Contention Window)만을 충돌 발생시마다 2의 누승으로 증가시키는 논-퍼시스턴트 CSMA 방식($p=1$ 인 경우)과 랜덤한 수를 발생시켜 사전 설정된 p 값과 비교하여 데이터 전송 여부를 결정하는 p -퍼시스턴트 CSMA, 그리고 논-퍼시스턴트 CSMA 방식의 혼합된 방식에 대한 성능을 p 값을 변화시키면서 비교/분석하였다. 성능 분석 결과 일반적으로 Hidden Terminal이 없는 상황이나 Hidden Terminal의 발생 비율이 10%이하인 경우는 Basic CSMA/CA, SW ARQ CSMA/CA, 4WH CSMA/CA 방식 순으로 성능이 우수하였으나, Hidden Terminal의 발생 비율이 20%이상일 경우는 공급 트래픽이 증가할수록 Basic CSMA/CA, SW ARQ CSMA/CA 방식의 성능이 급격히 감소함으로써 4WH CSMA/CA 방식이 상대적으로 우수하여 4WH CSMA/CA, Basic CSMA/CA, SW ARQ CSMA/CA 방식 순으로 성능이 바뀌는 현상이 나타났으며, 이런 현상은 Hidden Terminal의 발생 비율이 클수록 더욱 심하여 낮은 공급 트래픽에서부터 나타났다. 또한 Hidden Terminal이 발생하지 않을 경우는 가입자수에 무관하게 $p=1$ 로 설정한 논-퍼시스턴트 CSMA 방식보다 $p=0.3$ 으로 설정한 0.3-퍼시스턴트 CSMA 방식과 논-퍼시스턴트 CSMA 방식을 혼합한 방식의 성능이 다소 우수하였으나, Hidden Terminal이 빈번히 발생하는 상황하에서는 두 방식의 성능 차이가 거의 없었다.

따라서 군용 무전기를 이용하여 데이터 통신을 위한 군 전용 프로토콜 선정시 한국 지형의 특징과 무선 환경의 특성을 감안한다면 위의 3가지 CSMA/CA 방식 중 전송 도중 발생할 예러와 Hidden Terminal 상황을 모두 고려한 4WH CSMA/CA 방식으로 선정하여야 타당하나, 시뮬레이션 결과 처리율이 33.5% 정도로 성능이 낮은 것을 감안한다면, 지형적으로 평탄하여 Hidden Terminal의 발생 비율이 적을 경우에는 SW ARQ CSMA/CA 방식으로의 접근도 타당할 것으로 판단된다. 그러나 Basic CSMA/CA 방식은 무선 환경의

특성에 따라 전송 도중 에러 발생의 소지가 빈번하고 Hidden Terminal 발생 비율이 많을 경우에는 타 방식에 비하여 상대적으로 성능이 급격히 낮아지기 때문에 군 전용 프로토콜 선정에 있어서는 배제되어야 할 것으로 판단된다. p값의 경우, SW ARQ CSMA/CA 방식으로 프로토콜 선정시는 IEEE802.11 CSMA/CA 방식에서 제안하고 있는 $p=1$ 로 선정한 논-퍼시스턴트 CSMA 방식보다 $p=0.3$ 으로 설정한 0.3-퍼시스턴트 CSMA 방식과 논-퍼시스턴트 CSMA 방식을 혼합한 방식의 성능이 다소 우수하기 때문에 이 방식으로의 채택이 타당하나, Hidden Terminal을 고려한 4WH CSMA/CA 방식으로 설정할 경우는 두 방식의 성능 차이가 거의 없기 때문에 알고리즘 설계에 유리한 $p=1$ 로 선정한 논-퍼시스턴트 CSMA 방식으로의 채택이 타당할 것으로 판단된다.

이제 사회에서와 마찬가지로 우리 군에서도 기존 음성 위주의 아날로그 통신 방식에서 패킷 단위의 데이터 통신으로의 변화가 모색되어야 하고, 또한 이러한 패킷 단위의 데이터 통신은 그 중요성이 점점 증대되는 바, 차차기 군용 무전기 개발시는 이러한 데이터 통신 기능이 반드시 내장되어야 만 되리라 확신한다. 이런 의미에서 본 연구가 데이터 통신이 가능한 차차기 군용 무전기 개발이나 군의 무선 LAN 구축을 위한 프로토콜 선정에 많은 참고가 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 김한조외2, "근거리 무선데이터 전송 및 신뢰성 향상기법 연구", '96 대한전자공학회 하계 종합학술대회 논문집, 19(1), pp. 39-42, 1996.
2. 이정규외, "무선 LAN용 음성/데이터 공용패킷교환 프로토콜의 특성에 관한 연구", 국방과학연구소, 1995.
4. 중앙관, "네트워크 사용자를 위한 무선 LAN 기술 강좌", 성안당, 1996.
5. 이인행 외1, "데이터 통신과 패킷교환", 홍릉과학출판사, pp. 125-211, 1992.
6. H.S. Chhaya, S. Gupta, "Performance of asynchronous data transfer methods of IEEE 802.11 MAC protocol", IEEE Personal Communications, Vol.3, No.5, pp. 8-15, Oct. 1996.
7. J. Weinmiller, H. Woesner, A. Wolisz, "Analyzing and improving the IEEE802.11 -MAC protocol for wireless LANs", Proceedings of MASCOTS '96, pp. 200-6, Feb. 1996.
8. H. Woesner, J. Weinmiller, A. Wolisz, "Modified backoff algorithms for DFWMAC's distributed coordination", ITG-Fachberichte Conference, No.135 pp. 363-70, Sep. 1995.
9. Sulaiman Mohd Nor, Ishak Ismail, "Performance of CSMA-CA MAC protocol for distributed radio local area networks", Proceedings of IEEE PIMRC '95, pp. 912-16, Sep. 1995.
10. Edward C. Russell, "SIMSCRIPT II.5 Programming Language", CACI Products Company, 1994.