

분산 무선통신망에서 CSMA 성능 개선에 관한 연구

正會員 趙 炳 錄* 正會員 崔 炯 辰** 正會員 朴 炳 哲**

A Study on the performance improvement of CSMA in the distributed wireless communication network

Byung Lok Cho*, Hyung Jin Choi**, Byung Chul Park** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 CSMA 다중 access 방식으로 분산 무선 통신망을 구현할 때 다중 access 방식의 성능을 비교하였다. 또한 숨겨진 노드가 존재하거나 전자파 장애로 인한 CSMA방식의 성능 저하의 원인을 개선할 수 있는 프로토콜을 제안하여 성능을 개선하였다.

숨겨진 노드가 존재하는 상황에서 CSMA의 방식을 개선하기 위해 중앙 집중식망에서 ISMA(Idle Signal Multiple Access), BTMA(Busy Tone Multiple Access), BCMA(Busy Channel Multiple Access) 등과 같은 채널 access 방식을 사용하였다.

본 논문에서는 중앙 집중식이 아닌 분산이면서 독립적인 노드로 통신하는 환경에서 숨겨진 노드가 존재하거나 전자파 장애로 인한 노드들이 있는 경우 성능 개선을 위해 프로토콜을 제안하였다. 새로운 프로토콜을 이용하여 컴퓨터 모의실험(simulation)을 함으로써 처리율(throughput)과 전송성공 확률이 실질적으로 개선됨을 확인하였다. 모의실험은 OPNET simulator를 사용하였다.

Abstract

In this paper, we evaluate performance of multiple access for distributed wireless communication network by CSMA protocol. It is evident that the existence of hidden node in an environment degrades the performance of CSMA.

In order to improve performance due to the problem of hidden node, the previous papers used random multiple access protocols as such as ISMA, BTMA, BCMA.

In this paper, We propose a protocol that we can improve performance by allowing node to sense the carrier of any other transmission on the channel in the distributed wireless communication networks. The probability of transmission success was obtained by steady state analysis under given assumptions. We confirmed that hidden node problem can be virtually eliminated by using a new protocol.

*順川大學校 電子工學科

**成均館大學校 電子工學科

Dept. of Electronic Engineering, Sung Kyun Kwan University

論文番號 : 93156

接受日字 : 1993年 8月 20日

1. 서론

요즈음 들어서 급격히 늘어나는 휴대용 컴퓨터나 데이터 단말기처럼 이동시키면서 사용해야 하는 Node가 네트워크내에 존재하는 경우에는 불가피하게 무선으로 통신방을 구성하게 된다[1]-[4].

그런데 전파이용을 전제로 하는 이동 및 무선 통신의 분야에서는 이용 가능한 주파수 스펙트럼의 한도가 있기 때문에 이를 해결하고 무선 채널상의 수용용량을 높이기 위하여 여러가지 다중접속 기술이 개발되고 있다. 다중접속기술은 시간, 주파수 등의 파라미터를 이용하여 시분할(TDMA), 주파수분할(FDMA), 코드분할(CDMA), 패킷엑세스 등의 기법들이 개발되어 사용되고 있다.

패킷엑세스 기법을 이용하여 여러국이 효율적으로 버스트 데이터 트래픽을 송수신하는 컴퓨터 통신에 많이 사용되고 대표적인 방식인 pure ALOHA, slotted ALOHA, CSMA, ISMA, BTMA, BCMA 등이 있다.

기존의 다중 access 방식은 주로 중앙 집중식 망에서 채널을 감지하는 채널과 데이터를 전송하는 채널, 즉 두개의 채널로 채널의 처리율과 성공확률을 연구하였다[5]-[9]. 본 논문에서는 분산 무선 통신방을 구현할 때 CSMA 다중 access 방식의 성능을 비교하였다. 또한 숨겨진 노드가 존재하거나 전파와 장애로 인한 CSMA 방식 성능 저하의 원인을 개선할 수 있는 프로토콜을 제안하여 컴퓨터 모의실험을 통하여 전송 성공확률을 분석하였다.

본 논문의 구성은 서문에 이어 2장에서는 CSMA의 동작원리에 대해 기술하고, 3장에서는 무선 통신 시스템의 모델링 및 프로토콜을 제안하였다. 그리고 4장에서는 OPNET simulator를 통하여 결과를 분석하고 검토한 다음 5장에서 결론을 맺었다.

II. CSMA(Carrier Sensed Multiple Access)의 동작원리

CSMA 프로토콜은 패킷을 송신하기 전에 채널을 감지하여, 채널의 사용 여부를 확인한 후, 캐리어가 검출되지 않으면 송신을 시작하는 방식이다. 이 방식에서 충돌이 일어나는 구간은 그림 1과 같이 한 패킷이 송신을 시작해서 캐리어가 도달하기 전에 다른 노드에서 패킷을 전송하는 경우에 발생한다. 이 방식은 기존의 ALOHA에 비하여 성능이 상당히 개선 되었

다. 이 방식은 캐리어를 감지한 후, 캐리어가 있을 경우에 Back off 하는 방식에 의하여 Non-persistent CSMA, 1-persistent CSMA, p-persistent CSMA로 나누어 진다[10]-[11].

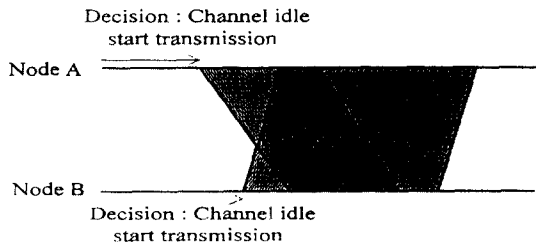


그림 1. CSMA에서 충돌발생
Fig 1. Collision of CSMA

2.1 Non-Persistent CSMA

Non-persistent CSMA의 방식은 다음과 같이 이루어진다.

- 1) 패킷을 전송하기 전에 캐리어를 확인한다. 캐리어가 검출되지 않으면 전송하고 검출되면 임의의 패킷 전송시간만큼 지연한다.
- 2) 얼마의 지연후 다시 캐리어를 확인하고 1)과 같은 방식으로 패킷 전송을 결정한다.

이 방식의 단점은 복수개의 노드가 전송하는 패킷을 가진 경우에, idle time의 낭비가 발생한다. non-persistent CSMA timing은 그림 2와 같다.

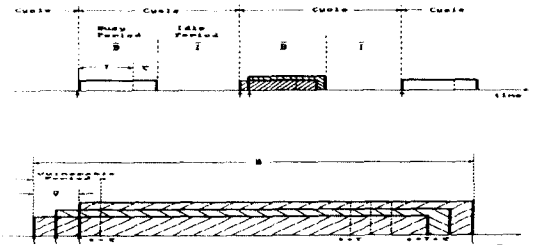


그림 2. non-persistent CSMA 타이밍
Fig 2. non-persistent CSMA timing

2.2 1-Persistent CSMA

1-persistent CSMA의 방식은 다음과 같이 이루어진다.

- 1) 패킷을 전송하기전에 캐리어를 확인한다.
- 2) 캐리어가 검출되면 캐리어를 계속 감지하고 있다가 캐리어가 없어지는 순간 무조건 패킷을 전송한다.

이 방식은 각 국들이 자기 중심적으로만 전송을 시도하게 되므로 2개 이상의 국들이 전송을 기다리면서 100% 충돌이 연속적으로 발생한다. 이에 대한 timing은 그림 3과 같다.

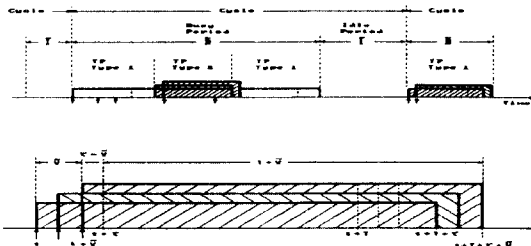


그림 3. 1-persistent CSMA 타이밍
Fig 3. 1-persistent CSMA timing

2.3 P-Persistent CSMA :

- 1) 패킷을 전송하기전에 캐리어를 확인한다.
- 2) 캐리어가 검출되면 캐리어를 계속 감지하고 있다가 캐리어가 없어지는 순간에 확률 P로 전송을 시작한다.

이 방식은 채널의 부하량에 따라서 전송확률 P의 값이 채널의 성능에 영향을 크게 미친다. 즉 p값을 크게 하면 자신의 패킷을 전송하기 위해 각 국들이 오래 기다리지 않아도 되기는 하지만 네트워크에 연결되어 있는 사용자의 수를 n이라 할 때 np가 1보다 크도록 계속해서 충돌이 재발생될 가능성이 커지게 됨에 유의해야 된다.

Ⅲ. 무선 통신시스템의 모델링 및 프로토콜 제안

무선 통신시스템의 구성은 패킷발생기, 큐(queue), 프로세서, 변복조기, 안테나로 구성되어 모델링을 하였다. 이러한 모듈을 상호연결하므로 무선 통신시스템의 기능을 제공한다. 모듈들은 정의한 파라미터에 따라 통신하드웨어의 기능을 폭넓게 에뮬레이션한다. 또한 프로세서 모듈은 정의한 운영에 따라 기능이 제공된다[12].

무선 통신시스템의 모델링은 그림 4와 같다.

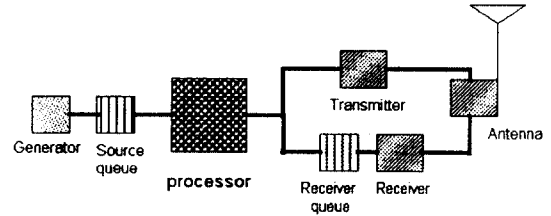


그림 4. 무선 통신시스템 모델링
Fig 4. Modeling of wireless communication system

3.1 무선 통신시스템의 모델링

패킷발생기 모듈에서는 일반적인 패킷의 발생을 관장하는데, 발생 패킷의 크기는 1024bits로 발생하고, 패킷의 생성시간은 지수함수분포를 따르며 패킷 도착시간 간격은 임의로 하였다.

큐 모듈에서 패킷의 도착은 poisson process로 이루어지고, 서비스는 지수함수 서비스분포를 이루고 있다. 서버는 FIFO 형태로 서비스하는 M/M/1 queue 모델로 하였다.

송신기는 패킷을 point to-point나 broadcasting link로 수신측에 보내는 기능을 담당한다. 송신기에 변조방식, 데이터 전송속도, 대역폭, 반송파주파수, 송신출력 등의 파라미터를 정의하여 사용한다. 수신기는 point-to-point나 broadcasting link로 전송된 패킷을 받는 기능을 담당한다. 수신손실, 잡음형태를 고려하여 신호를 복조한 후 에러검출 threshold level에 따라 에러가 발생하지 않은 패킷을 수신하고, 에러가 발생하는 경우는 패킷을 제거한다. 송수신기의 변복조 방식은 확산대역방식을 이용하고 현재 구현 중인 시스템의 파라미터와 같이 지정하였으나 모의 실험 환경이기 때문에 송신출력은 1mW라고 가정하였다. 본 모델에서 송수신기 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 송수신기의 파라미터

Table 1. Parameter of transmitter/receiver

파라미터	지정값
변조방식	BPSK
데이터 전송속도	32Kbps
대역폭	8,003KHz
반송파 주파수	914.5MHz
Processing Gain	21.07dB
송신출력	1mW

안테나는 broadcast 송수신부에 연결되어 공유하고 있다. 그러므로 등방향성(isotropic)이득을 갖는 안테나를 통하여 914.5MHz에서 1mW 출력으로 방사한다.

링크 모델은 크게 point-to-point나 broadcast로 모델하는데 여기서는 분산망인 경우를 고려하여 broadcast로 모델하였다. broadcast 링크에서 지연은 거리의 함수로 dynamic하게 계산되고, BER은 수신부를 통과할 때의 SNR에 의해 결정된다. 시간에 따른 SNR 변화는 식(1), 식(2), 식(3)와 같은 링크 budget 계산에 의해 산출된다[13].

$$P_r = P_{amp} * L_t * L_r * G_t(\theta_r, \pi_r) * (\theta_r, \pi_r) \quad (1)$$

$$P_{eq} = K * T_{cq} * B \quad (2)$$

$$SNR = \frac{P_r}{(P_{eq} + \sum_0^{\infty} P_{interference})} \quad (3)$$

여기서 P_r : 수신단에서 수신 power
 P_{eq} : 등가 잡음온도

무선 통신시스템의 프로세스 모듈 부분은 Non-persistent CSMA, 1-persistent CSMA, p-persistent CSMA로 구성하였다. 프로세스의 모듈에서 내부 동작을 FSM으로 나타내면 그림 5, 그림 6, 그림 7과 같다.

3.2 프로토콜 제안

중앙 집중 망에서 다중접속 문제를 해결하기 위해 여러가지 다원접속방식 중 분산제어가 가능하고, 방송 모드이면서 단일 고속채널을 이용하고, 트래픽 양이 적을 때 지연특성이 상대적으로 좋은 CSMA 방식에 관한 연구가 많이 발표되었다. 또한 숨겨진 노드가 존재하는 상황에서 CSMA의 방식을 개선하기 위해 중앙 집중식 망에서 ISMA, BTMA, BCMA등과 같은 채널 access 방식을 사용하였다[5]-[9]. 이러한 다중 접속방식을 중앙 집중식처럼 제어할 수 없고, 채널 access 방식을 위해 별도의 채널을 사용하지 않고서도 half duplex 방식으로 통신하는 분산 무선 통신망에 적용하면 숨겨진 노드가 존재하거나 일시적인 전자파 장애로 채널의 처리율이 저하 되어진다. 본 논문에서 중앙집중 무선통신망은 채널이 2개 즉 하나는 데이터 전송채널 다른 하나는 감지채널로 통

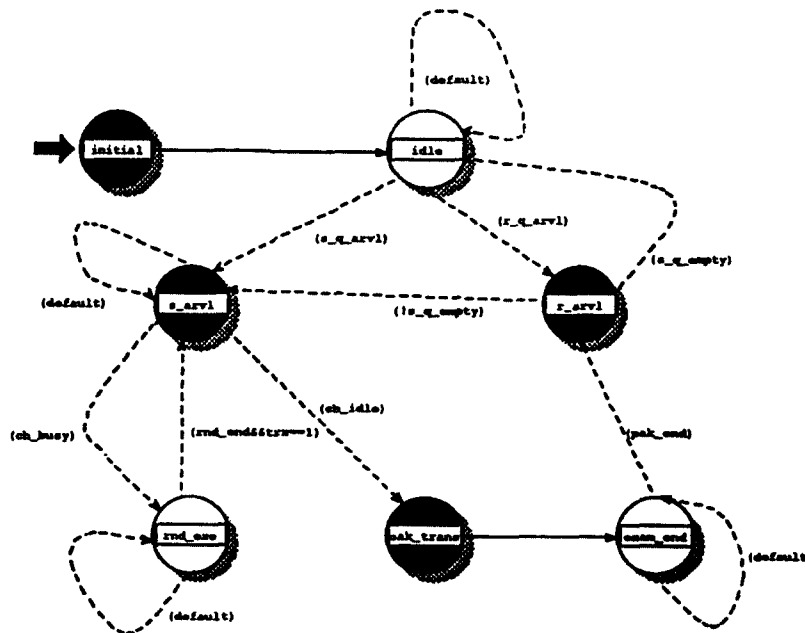


그림 5. processor 모듈 (Non-persistent CSMA)의 상태 천이도
 Fig 5. State diagram of processor (Non-persistent CSMA)

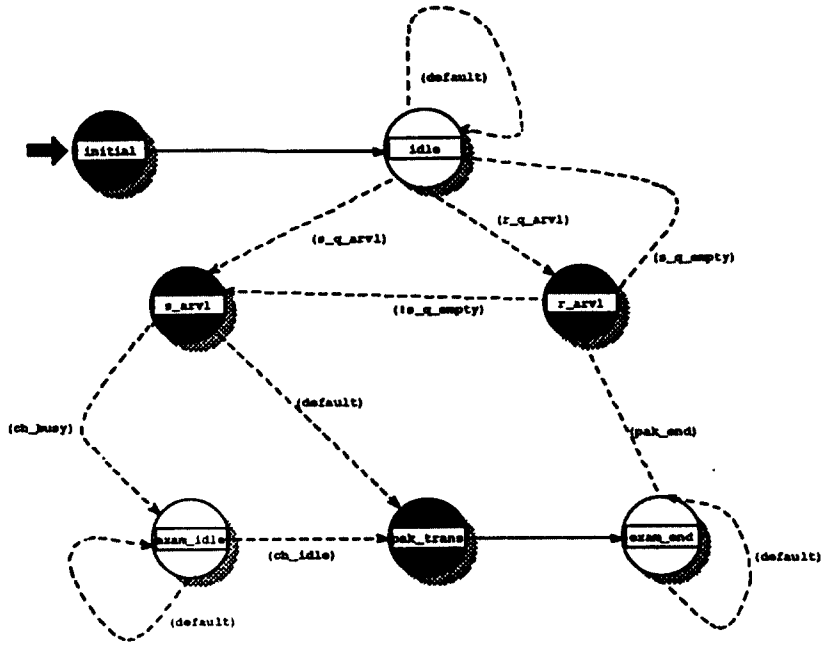


그림 6. processor 모듈 (1-persistent CSMA)의 상태 천이도
Fig 6. State diagram of processor(1-persistent CSMA)

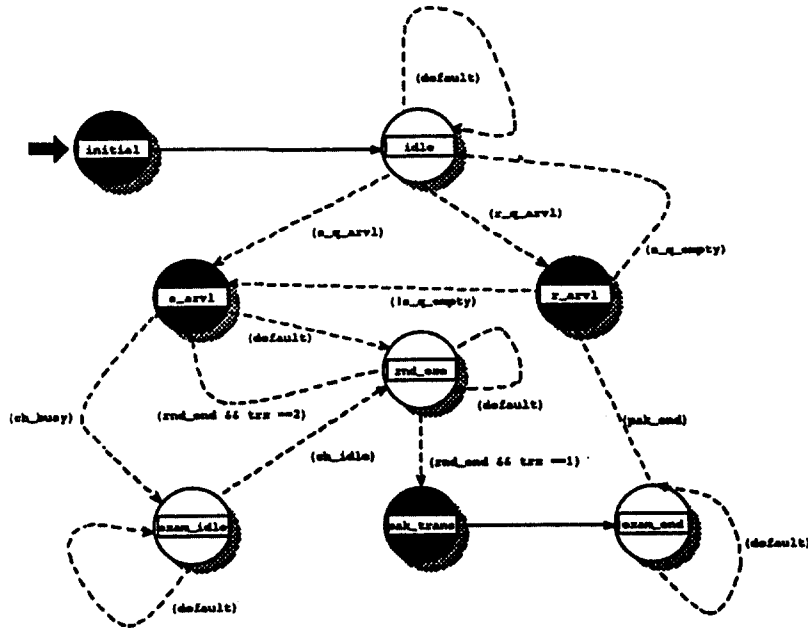


그림 7. processor 모듈 (p-persistent CSMA)의 상태 천이도
Fig 7. State diagram of processor(p-persistent CSMA)

신할 수 있는 환경으로 중앙의 제어가 되고, 분산 무선 통신망은 채널이 1개 즉 데이터 전송, 감지를 하나의 채널로 통신하는 환경으로 독립적으로 제어가 이루어진다. 이러한 개념으로 미루어 볼때 BTMA, ISMA를 적용하기 힘들어진다. 따라서 본 논문에서는 중앙 집중식이 아닌 분산이면서 독립적인 노드로 통신하는 환경에서 숨겨진 노드가 존재하거나 전사파 방어로 인한 노드들이 있는 경우 성능 개선을 위해 다음과 같이 rule 및 가정을 정하였다.

rule

1. Random하게 10번 전송(횟수는 가변)
2. 성공률 계산
3. 성공률이 적은 Terminal은 Relay 시도
4. Relay Packet에 우선순위 부여

가정

1. 재전송은 없음
2. 데이터의 전송확률만 고려
3. ACK 성공확률은 Perfect 함.

이러한 규칙과 가정에 따른 송신측과 수신측의 전체적인 흐름도는 그림 8, 그림 9와 같다. 또한 전송하

려는 데이터 패킷과 ACK 패킷이 발생한 목적지 주소와 성공률이 가장 낮은 목적지 주소가 일치하는 경우, 데이터 패킷과 ACK 패킷은 중계 패킷으로 구성되고 그렇지 않은 경우 데이터 패킷과 ACK 패킷은 직접 전송되어진다. 이에따른 패킷 구성은 그림 10과 같다.

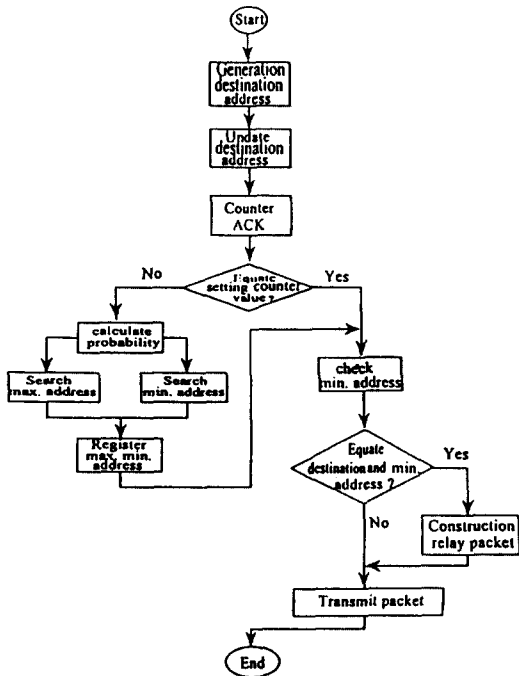


그림 8. 송신측의 흐름도
Fig 8. Flowchart of transmitter

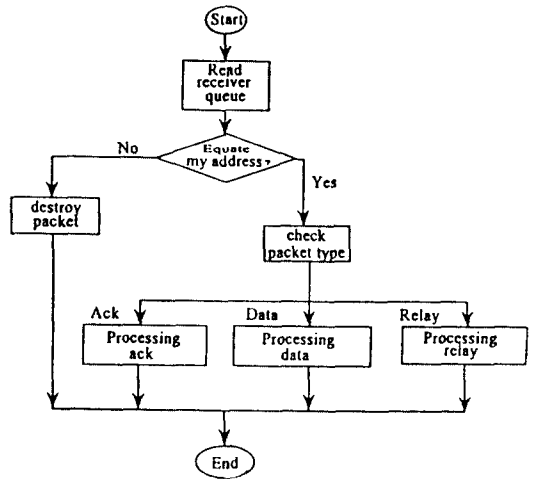


그림 9. 수신측의 흐름도
Fig 9. Flowchart of receiver

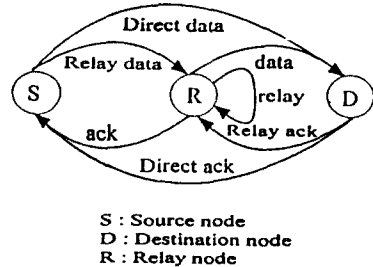


그림 10. 패킷 구성도
Fig 10. configuration packet type

IV. 모의실험 및 성능분석

분산 무선망에서 패킷을 송수신할 수 있는 모델링 시스템과 노드의 수를 그림 11과 같이 16개로 분산망

을 구성하였다. 분산 무선 망에서 CSMA 프로토콜의 성능을 살펴보기 위해 OPNET simulator 환경에서 모의실험을 하였다.

프로세스 모듈과 큐 모듈의 프로그램은 C 언어를 사용하였으며, 일부분은 OPNET simulator에서 제공하고 있는 함수를 사용하였다. 시뮬레이션 시간은 시스템이 안정 상태에서 동작할 수 있는 시간을 충분히 고려하였다.

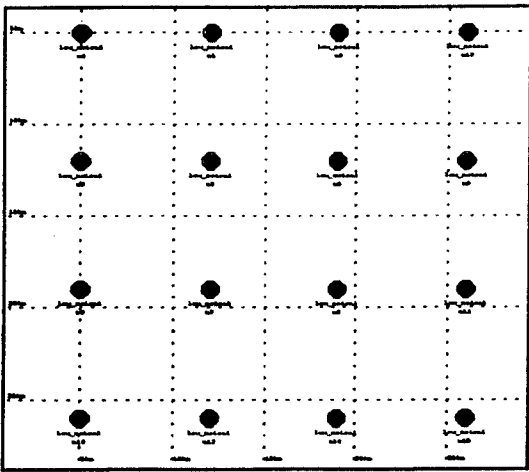


그림 11. 네트워크 구성도
Fig 11. Configuration network

분산 무선패킷망에서의 지연특성을 살펴보기 위해 패킷을 전송할 때, 패킷 발생기에 발생한 1024bits에 type, source address, destination address, sequence number, relay field를 추가하여 전송하고, 수신 측에서는 자신의 패킷인 경우만 데이터, 중계, ACK 패킷을 전송한다. 이때 충돌한 패킷이 발생한 경우 재전송을 하지 않는다. 또한 단일채널을 사용하여 단방향 통신하고, 다원접속방법은 비동기식 Non-persistent CSMA, 1-persistent CSMA, p-persistent CSMA 프로토콜을 사용하고 있다.

그림 11에서 무선 통신시스템의 거리는 자동적으로 계산이 되어 전파지연상수가 결정된다. 여기서 노드의 거리는 7-29km 이내이므로 전파 지연시간은 수십 μ 초가 된다. 송신 출력, 주변환경의 잡음과 패킷이 충돌할 때 생기는 잡음으로 SNR이 결정되면 BPSK 변복조 테이블에서 BER를 결정한다.

무선 통신시스템은 half duplex 방식으로 data 채널과 감지 채널을 하나의 채널로 사용하고 있다. 송신할 패킷이 있는 경우에는 수신한 패킷이 없는 경우만 채널이 사용 중이 아닌 것으로 간주하여 패킷을 송신하기 시작한다.

모의실험에서 프로토콜의 성능을 비교하기 위해 best case인 경우와 worst case인 경우로 나누어 살펴보았다. best case인 경우는 그림 11에서 전체가 하나의 셀(cell)로 구성되어 노드와 노드 사이에 직접 통신할 수 있는 환경으로써 수신측에서 정확하게 패킷을 수신할 수 있으므로 채널을 감지하여 패킷을 송신할 수 있다. 수신측의 SNR이 14~27dB가 되므로 BER는 0.0이다. worst case인 경우는 그림 11에서 노드 2, 노드 5, 노드 7, 8을 반경 5Km로 나누면 4개의 셀로 구성되어 셀 영역에서만 통신할 수 있는 환경으로써 인접한 노드에서 송신하는 경우와는 패킷을 수신할 수 없으므로 결국 채널을 감지 못하여 숨겨진 노드의 기능을 수행하게 되는 효과가 된다. 수신측의 SNR이 -5~3dB가 되므로 BER는 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ 이다.

모의실험은 패킷도착율을 4(packet/sec)로 제한하였으며, 시스템이 안정상태에서 동작하도록 하기 위해 모의실험 시간을 10,000초로 하였다. 무선통신 시스템의 모델링에서 프로세스 모듈을 세가지 즉 Non-persistent CSMA, 1-persistent CSMA, p-persistent CSMA하여 모의실험한 결과는 그림 12, 그림 13, 그림 14와 같다. 이러한 그림을 분석해보면 장애물이 없는 환경 즉 어느 노드간에도 통신할 수 있는 환경에서는 평균적으로 약 0.8 확률이 되지만 장애물이 있는 환경 즉 인접노드간 통신할 수 있는 환경에서는 제한한 프로토콜이 배정도 우수함을 알 수 있다. 얻어진 결과를 분석해보면 표 2와 같다. 여기서 표2의 값은 모의실험의 평균치다. 또한 p-persistent CSMA 인 경우는 확률 p를 0.5로 설정하였다.

표 2. 모의실험 결과 비교
Table 2. compare results simulation

Item	Worst case		Best
	proposed	기존의 경우[5]-[9]	
1p CSMA	0.169976	0.0852277	0.893484
non CSMA	0.170805	0.0858151	0.842135
P-CSMA	0.162448	0.0875540	0.814873

Best case인 경우에는 1p-persistent CSMA가 성공확률이 약 89%로 가장 좋게 나타나고, worst case인 경우, non-persistent CSMA 방식이 제안한 프로토콜에서 17%로 기존의 개념[5]-[9]을 사용했을 때보다 약 8% 정도 우수함을 알 수 있다.

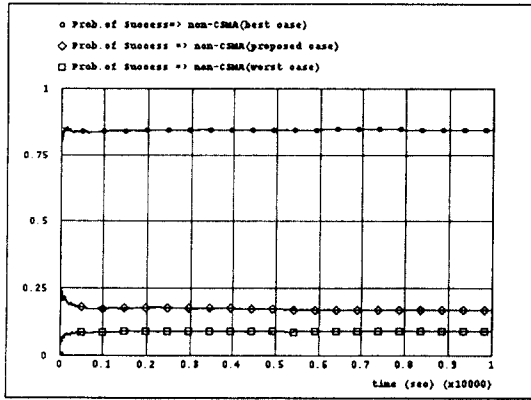


그림 12. Non-persistent CSMA의 전송 성공확률
Fig 12. Probability success of transmission in Non persistent CSMA

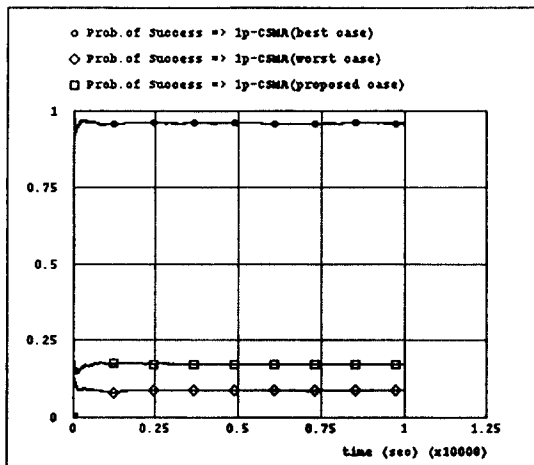


그림 13. 1-persistent CSMA의 전송 성공확률
Fig 13. Probability success of transmission in 1-persistent CSMA

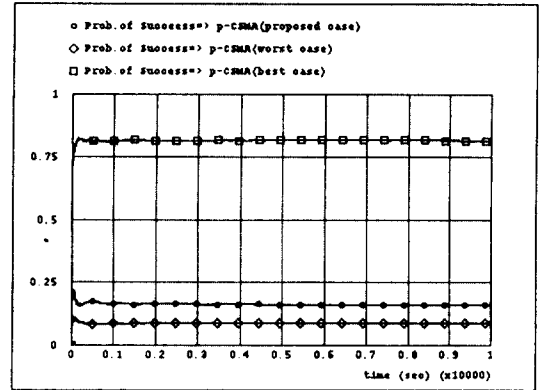


그림 14. p persistent CSMA의 전송 성공확률
Fig 14. Probability success of transmission in p-persistent CSMA

V. 결 론

분산 무선통신망에서 half duplex 방식으로 data 채널과 감시 채널을 하나의 채널로 사용하는 CSMA 방식에 대한 성능을 best case와 worst case 경우로 나누어 비교하고 분석하였다. 본 논문에서 제안한 프로토콜을 중앙 집중식이 아닌 분산이면서 독립적인 노드로 통신하는 환경에 적용하면 숨겨진 노드가 존재하거나 선사와 방해로 인한 노드들이 있는 경우 즉 worst case에 전송 성공확률이 개선 되었음을 OPNET simulator를 통해 알아 보았다. 앞으로 채널 특성에 따른 환경만 추가 한다면 분산 무선통신망을 구축하는데 좋은 자료로 이용 가능 하리라 생각된다.

참 고 문 헌

1. D. J. Goodman and A. A. M. Saleh, "The near/far effect in local ALOHA radio communications," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-36, pp. 19-27, Feb. 1987.
2. A. S. Acampora and J. H. Winters, "A wireless network for wideband indoor communications," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. SAC-5, pp. 796-805, June 1987.
3. J. H. Winters, "Optimum combining for indoor

- radio systems with multiple users," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-35, pp. 1222-1230, Nov. 1987.
4. A. A. M. Saleh and L. J. Cimini, Jr., "Indoor radio communications using time-division multiple access cyclical slow frequency hopping and coding," ICC 1988, Philadelphia, June 1988.
 5. F.A. Tobagi, "Multiaccess protocols in packet communications systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-28, pp. 468-487, Apr. 1980.
 6. O. Andrisano, G. Grandi and C. Raffaelli, "analytical model of busy channel multiple access (BCMA) for packet radio networks in a local environment," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-39, pp. 299-307, Nov. 1990.
 7. F.A. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet switching in radio channels : Part I-Carrier Sense Multiple-Access Modes and their Throughput-Delay Characteristics," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-23, pp. 1400-1416, Dec. 1975.
 8. H. Takagi and L. Kleinrock, "Throughput analysis for persistent CSMA systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-33, pp. 627-638, July 1985.
 9. F.A. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet switching in radio channels : Part II-The hidden terminal problem in carrier sense multiple-access and the busy-tone solution," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-23, pp. 1417-1433, Dec. 1975.
 10. J.D.Spragins, J.L.Hammand, Krzysztof Pawlikowski, *Telecommunications Protocol and Design*, Addison-Wesley, 1991.
 11. Raphael Rom, Moshe Sidi, *Multiple Access Protocols Performance and Analysis*, Springer-Verlag, New York Berlin Heidelberg, 1990.
 12. OPNET Manual, MIL 3, Inc., Vol 1-8, 1991.
 13. Bernard Sklar, *Digital Communications Fundamentals and Applications*, Prentice-Hall Int., 1988.

趙炳錄 (Byung Lok Cho) 正會員
 1962年 9月 4日生
 1987年 2月 : 成均館大學校 電子工學科 卒業
 1990年 2月 : 成均館大學校 大學院 電子工學科 卒業(工學碩士)
 1994年 2月 : 成均館大學校 大學院 電子工學科 博士
 1987年 1月 ~ 1988年 3月 : 三星電子(株) 綜合研究所
 1994年 3月 ~ 현재 : 순천대학교 전자공학과 근무
 ※ 주 관심분야 : 통신이론, 무선통신, 데이터통신, 컴퓨터 네트워크 등임

崔炯辰 (Hyung Jin Choi) 正會員
 1952年 8月 30日生
 1974年 2月 : 서울대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1976年 2月 : 한국과학기술원 전기 전자공학과 졸업(석사)
 1976年 3월 ~ 1979年 7월 : 주식회사 금성사 중앙연구소 근무(연구원)
 1979年 9월 ~ 1982年 12월 : 미국 University of Southern California 전기공학과 박사(Ph.D)
 1982年 10월 ~ 1989年 2월 : 미국 LinCom Corp. 연구원으로 근무
 1989年 3월 ~ 현재 : 성균관대학교 전자공학과 근무(부교수)
 ※ 주 관심분야 : 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화이론을 포함한 Modem기술 등임

朴炳哲 (Byung Chul Park) 정회원
 1930년 4월 30일생
 1957년 9월 : 서울대학교 통신공학과 공학사
 1975년 2월 : 인하대학교 대학원 전기공학과 공학박사
 1980년 9월 : 일본 동경대학 외국인연구원(1년간)
 1972년 3월 ~ 현재 : 성균관대학교 전자공학과 교수