

IEEE 802.11 Distributed Coordination Function에서 충돌방지를 위한 동적인 최소 경쟁윈도우의 적용

정회원 우 성 제*, 이 태 진*

A Dynamic Minimum Contention Window for Collision Resolution in IEEE 802.11 Distributed Coordination Function

Sung-Je Woo*, Tae-Jin Lee** *Regular Members*

요 약

무선랜은 무선으로 근거리 디바이스들을 연결하는 통신기술로, IEEE의 802.11이 대표적인 프로토콜로 사용되고 있다. IEEE 802.11에서 정의된 DCF (Distributed Coordination Function)는 사용자가 증가하고 부하가 커질수록 전송률(throughput)과 데이터 손실률(drop rate)이 커지는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 무선랜 환경에서 효율적인 최소 동적윈도우(CWmin)의 적용을 통한 성능향상방법을 제안하고 분석과 시뮬레이션을 통해 제안하는 방법이 기존 DCF보다 성능이 향상됨을 입증한다. 제안하는 동적최소윈도우 방법은 무선 스테이션의 개수가 증가할수록, 무선네트워크에 걸리는 부하가 커질수록 성능향상정도가 더욱 커지게 된다. 따라서 향후 고밀도 무선랜 환경에서 효과적인 것이라 기대된다.

Key Words : DCF, Backoff, Minimum Contention Window

ABSTRACT

Wireless LAN is a rather mature communication technology connecting mobile terminals. IEEE 802.11 is a representative protocol among Wireless LAN technologies. The basic medium access control (MAC) mechanism of IEEE 802.11 is called distributed coordination function (DCF). DCF shows poor throughput and high drop rate as the number of stations and offered traffic load increase. In this paper we propose an effective mechanism using dynamic minimum contention window(CWmin) in wireless LANs and show that performance improves via simulations. Proposed dynamic CWmin scheme exhibits superior performance as the number of stations and offered load grow. As, our proposed scheme is expected to be more effective in highly densed wireless LAN environment.

1. 서론

DCF는 IEEE 802.11^[1]에서 정의된 매체접근방법으로 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance)를 사용한다. 이러한 매체접근 방법은 랜덤 백오프를 이용해 패킷전송시 충돌로 인해 패킷전송에 실패할 경우 백오프 윈도우를 지

수적으로 증가시킴으로써 패킷 충돌 가능성을 줄이는 방법을 사용하고 있다^{[1], [2]}. DCF 전송메커니즘에서는 송신측에 데이터를 전송하고 수신측으로부터 positive ACK 패킷을 받는 방법으로 데이터의 정상 수신을 확인한다. ACK의 timeout동안 ACK를 받지 못하면 송신한 패킷이 제대로 수신측에 전송되지 않은 것으로 판단하고 재전송을 하게 된다. 하지만

* 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학과 네트워크 시스템 연구실(codante@ece.skku.ac.kr)
 논문번호 : 030482-1103, 접수일자 : 2004년 1월 5일

DCF방법은 데이터를 전송하려고 경쟁하는 스테이션의 개수에 비례하여 성능이 저하되는 단점^{[2], [4]}을 가지고 있다.

802.11 DCF에서는 선택적으로 RTS, CTS 메커니즘을 사용한다^[1]. 데이터를 송신하려는 스테이션이 데이터를 보내기 전 RTS (Request To Send) 컨트롤 프레임을 전송하고 수신측으로부터 CTS (Clear To Send) 프레임을 수신한 후에 실제 데이터 패킷을 전송하게 된다. 이와 같은 방법은 숨어있는 터미널 (Hidden Terminal)문제를 해결하며, 또한 송신하려는 스테이션이 채널을 예약하는 기능을 가진다. 이러한 예약기능은 데이터 패킷의 크기가 큰 패킷을 전송할 경우 충돌사 충돌감지기간이 길어져 성능이 저하되는^{[10], [12]} 단점을 보완하여 직접 데이터 패킷을 전송하는 경우보다 성능향상을 가져올 수 있다.

기존의 매체접근방법으로 제한된 throughput과 delay성능을 향상시키기 위해 일부 스테이션에게 우선순위를 부여하여 성능향상을 가져오는 방법^{[3], [5], [8], [11]}이 제시되고 있지만 전체 네트워크의 이용률에 대한 성능향상이 용이하지 않다. 본 논문에서는 스테이션의 개수변화에 따른 동적인 최소경쟁윈도우(CWmin)를 적용하여 성능을 향상시키는 방법을 제안한다. 제안하는 방법이 기존 DCF방법에 비해 우수한 성능을 나타내는 것을 분석과 시뮬레이션을 통해서 입증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 IEEE 802.11 표준에서 사용되는 DCF메커니즘에 대해서 알아보고, 3절에서는 스테이션 개수와 CWmin에 따른 saturation throughput을 분석하고, 본 논문에서 제안하는 동적인 최소경쟁윈도우를 이용한 DCF의 성능을 분석한다. 4절에서 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 평가하고 5절에서 결론을 맺는다.

II. IEEE 802.11 DCF 메커니즘

DCF에서 전송하려는 데이터 패킷을 가지는 스테이션은 전송하기 전 채널의 상태를 감지한다. 채널이 DIFS (Distributed Interframe Space) 기간동안 idle한 상태 (다른 스테이션의 전송이 감지되지 않는 상태)이면 해당 스테이션은 데이터 패킷을 전송한다. 하지만 채널에서 다른 스테이션의 패킷전송이 감지되면 해당 스테이션은 그 패킷의 전송이 끝날

때까지 대기후 DIFS기간이 지나고 나서 랜덤한 백오프 기간을 가지게 되는데, 이것은 다른 스테이션과의 충돌 가능성을 줄이기 위한 방법이다.

DCF는 지수적으로 증가하는 백오프 윈도우를 사용한다. 각 스테이션은 패킷의 전송을 시도하기 전에 0부터 CW값 사이의 랜덤한 백오프 기간을 선택하게 된다. 여기서 CW는 경쟁윈도우의 값이다. 최초로 전송을 시도할 때 해당 스테이션은 최소 경쟁윈도우(CWmin)값을 가진다. 스테이션은 CWmin값으로 최초의 백오프를 시작하며 패킷의 전송이 실패했을 경우 경쟁윈도우는 2배로 증가하게 된다. 이러한 경쟁윈도우는 CMmax까지 증가할 수 있다. m 경쟁 스테이지에서 경쟁 윈도우는 다음과 같이 표현된다.

$$CW_m = 2^m (CW_{min} + 1) - 1, (0 \leq m \leq M)$$

여기서 m 은 m 번째 경쟁 stage를 나타내고, 전송된 패킷의 충돌이 일어날 때마다 stage는 1씩 증가하게 된다. 기본적인 DCF에서 M 은 5이다.

각 stage에서 백오프 카운터는 채널이 idle로 감지되는 기간(slot)동안 감소하게 된다. 채널에서 다른 스테이션의 전송이 감지되면 백오프 타이머의 감소는 정지되며 다시 채널이 idle상태가 되면 백오프의 감소가 계속된다. 그리고 백오프 카운터가 0이 되면 그 스테이션은 전송을 시도하게 된다. 그림 1에서는 IEEE 802.11 DCF 프로토콜에서 사용되는 기본적인 전송방법의 예를 보여주고 있다.

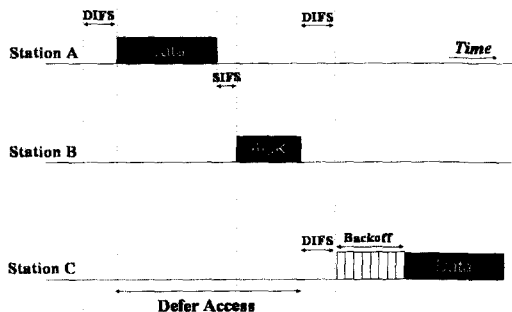


그림 1. IEEE 802.11 DCF의 기본전송방법.

그림 2에서는 RTS, CTS를 이용한 전송방법의 예를 나타내고 있다. 스테이션 A는 데이터 패킷을 전송하기 전에 RTS 프레임을 스테이션 B에 전송하

고 스테이션 B는 이에 대한 응답으로 CTS를 전송한다. 이 과정에서 RTS/CTS를 주고받는 스테이션 이외의 스테이션들은 RTS, CTS를 감지하고 가상 캐리어 감지를 위한 NAV (Network Allocation Vector)를 세팅하여 그 기간만큼 채널에 접근하는 것을 연기하게 된다. 이후의 과정은 802.11의 기본적인 전송과정과 동일하다. RTS/CTS를 이용한 전송방법은 모든 스테이션이 채널의 상황을 인지하여 충돌 방지를 할 수 있으므로 성능향상을 가져온다.

III. 제한하는 동적 CWmin을 사용한 DCF

DCF에서의 성능은 스테이션의 개수와 CWmin값에 따라서 크게 달라질 수 있음이 알려져 있다^[2]. 즉, 스테이션의 개수가 많아질수록 채널을 차지하려는 스테이션들간의 경쟁이 많아지고 전송된 패킷의 충돌로 인한 throughput의 감소가 일어날 수 있다. 실제로 그림 3에서 스테이션의 개수증가에 따른 saturation throughput의 감소를 볼 수 있다. saturation throughput은 [2]에서 제시한 대로 전체 채널 사용시간 중에서 실제데이터(payload)의 전송에 사용된 시간에 대한 비율로 정의 한다. 즉,

$$S = \frac{E[\text{Duration of payload transmission time}]}{E[\text{Duration of total transmission time}]} \quad (1)$$

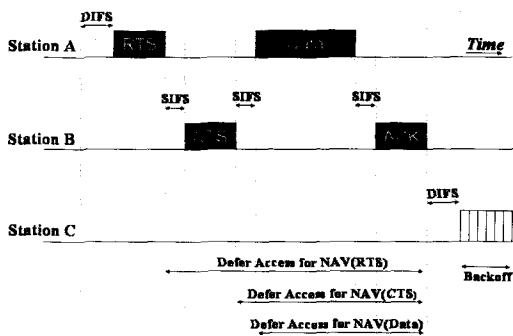


그림 2. RTS, CTS를 이용한 전송 메커니즘.

(1)식은 Markov 체인 모델을 이용하여 다음과 같이 표현할 수 있다 [2].

$$S = \frac{P_s P_{tr} T_p}{(1 - P_{tr})\sigma + P_{tr} P_s T_s + P_{tr} (1 - P_s) T_c} \quad (2)$$

여기서 P_{tr} 은 n 개의 스테이션 중 적어도 하나가 채널에 전송을 시도할 확률이고, P_s 는 하나의 스테이션이 전송에 성공할 확률이다. T_p 는 데이터 길이의 평균값이며, σ 는 채널이 idle한 동안의 평균 시간이다. T_s 는 패킷 전송이 성공할 경우 채널이 busy상태로 감지되는 평균시간이며, T_c 는 패킷 전송시 충돌이 발생하였을 경우에 채널이 busy로 감지되는 평균시간이다.

그림 3에 CWmin값을 31~1023까지 변화시켜 주었을 때 throughput의 변화를 나타내었다. 기존의 기본적인 DCF전송방법 (CWmin=32, M=5)에서는 스테이션의 개수가 많아질수록 전송을 시도하는 스테이션의 개수가 많아져 충돌 발생확률이 높아지고 충돌시 재전송에 의한 지연으로 인하여 throughput이 감소하는 것을 알 수 있다. 일반적으로 스테이션 개수가 적을 때는 CWmin값이 작은 것이 높은 throughput을 나타내지만 스테이션의 개수가 증가할수록 큰 CWmin값의 적용이 높은 throughput을 나타내는 것을 알 수 있다. 따라서 성능향상을 위해서는 스테이션의 개수가 증가할수록 CWmin값도 증가시켜 여러 스테이션들이 선택하는 백오프 시간이 중복되는 것으로 선택될 확률을 낮추는 것이 throughput을 증가시킬수 있다는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 스테이션의 개수에 따라 최대 throughput을 낼 수 있는 적절한 CWmin이 있음을 알 수 있는데 이 값을 표 1에 제시하였다.

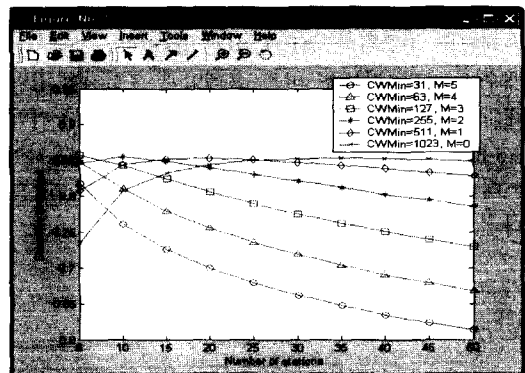


그림 3. Saturation Throughput : Basic DCF access mechanism.

그림 4에서는 RTS/CTS방법을 사용한 매체접근 프로토콜에서 CWmin값에 따른 throughput의 변화

를 나타내었다. 이 경우에는 기본 매체접근방법과는 다르게 CWmin값이 클수록 throughput이 낮게 나오는 것을 알 수 있는데 이것은 RTS, CTS가 이미 충돌을 방지하는 역할을 하여 CWmin값이 크면 스테이션이 RTS/CTS 전송이 가능한 상태까지 걸리는 지연시간이 길어져 성능에 좋지 않은 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 RTS, CTS를 사용하는 매체접근 방법은 스테이션이 미리 채널을 예약하여, 충돌 확률을 낮추어 주므로 스테이션 수의 증가에 따라 CWmin값을 증가시켜도 성능향상에는 영향이 적음을 그림 4를 통해서 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 스테이션 수에 따라 동적인 CWmin값을 적용하여 성능을 향상시키려고 한다.

표 1. 스테이션의 개수에 따른 동적 CWmin과 M.

Number of stations (n)	CWmin	M
n ≤ 10	255	2
10 < n ≤ 25	511	1
25 < n	1023	0

제한한 동적인 CWmin의 적용을 위해서는 시스템에 있는 스테이션의 개수를 확인할 수 있는 방법이 필요하다. 802.11의 기본구조는 스테이션들간의 통신을 위해 AP가 존재하는 infrastructure구조와 AP없이 스테이션들간의 통신이 이루어지는 ad-hoc 구조로 나뉘어 진다. Infrastructure일 경우 AP는 새로운 스테이션으로부터 association 요청을 받으므로 BSS내에 스테이션의 개수를 알 수 있다. Infrastructure에서 AP는 정기적으로 비콘(beacon) 프레임 전송한다. AP가 현재 BSS내의 스테이션 개수에 대한 정보를 비콘 프레임에 포함하여 BSS 내의 각 스테이션에게 알려주는 것이 가능하다. Ad-hoc 네트워크에서는 Kalman filter를 이용하여 스테이션의 개수를 측정하는 방법을 사용할 수 있다 [13].

IV. 성능분석

A. 시뮬레이션 환경

제한한 방법의 성능을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 툴은 ns2 [14]를 사용하였으며, 사용된 모든 파라미터는 IEEE 802.11 표준의 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) 파

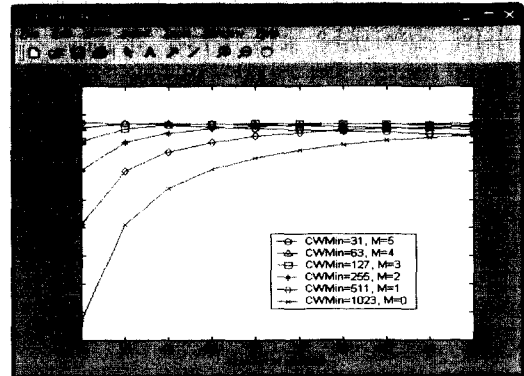


그림 4. Saturation Throughput : RTS/CTS access mechanism. 파라미터 값을 적용하였다. 스테이션에서 전송되는 데이터(payload)의 크기는 1000byte로 가정하였고 각 스테이션들의 큐(queue)에 전송하려는 패킷이 항상 대기하고 있는 saturation 상태와 offered load가 0.4, 0.8인 경우를 각각 시뮬레이션 하였다. Offered load는 다음과 같은 관계식으로부터 계산된다.

$$offered\ load = \frac{n \cdot \frac{P_{size}}{T_{interval}}}{R}$$

n은 시스템에서 스테이션의 총 개수를 나타내고, P_{size}는 각 스테이션에서 생성되는 데이터(payload)의 크기를 나타낸다. T_{interval}은 각 스테이션에서 발생하는 데이터 패킷의 생성 간격이고, R은 최대 전송률을 나타낸다. 분석에 사용된 파라미터 값을 표 2에 제시하였다.

표 2. 시뮬레이션과 분석에서 사용된 파라미터.

Packet payload	8000 bits
MAC header	272 bits
PHY header	192 bits
ACK	112 bits + PHY header
RTS	160 bits + PHY header
CTS	112 bits + PHY header
DIFS	50 μs
Slot time	20 μs
Channel bit rate	1 Mbit/s

B. Saturation throughput, delay and drop rate 성능
그림 5에서는 제안한 방법의 saturation

throughput의 분석결과와 시뮬레이션 결과를 볼 수 있다. 기존 DCF에서는 스테이션의 개수가 증가할수록 throughput이 감소함을 도실했다. RTS, CTS를 이용한 방법은 0.82정도의 throughput을 보이며 제안한 방법보다는 낮은 throughput을 나타내고 스테이션 개수의 증가에 따라 약간 감소하는 것을 알 수 있다. 제안한 방법은 스테이션 개수증가에 상관없이 0.85 이상의 throughput을 유지한다. 이러한 결과는 제안한 방법이 기존 DCF에서 보다 넓은 범위에서 백오프값을 선택하므로, 같은 백오프값 선택으로 패킷이 충돌하는 가능성을 줄여 많은 수의 패킷이 수신 스테이션에 도착할 수 있기 때문이다.

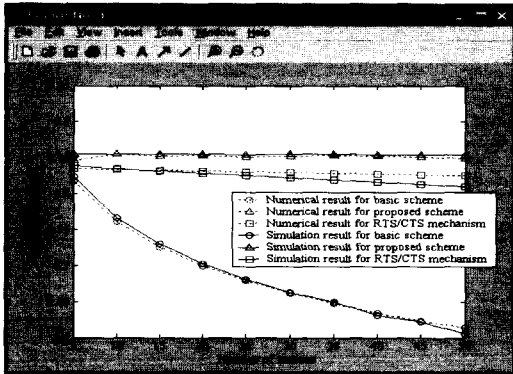


그림 5. Saturation throughput : Basic (DCF), RTS/CTS and proposed dynamic CWmin.

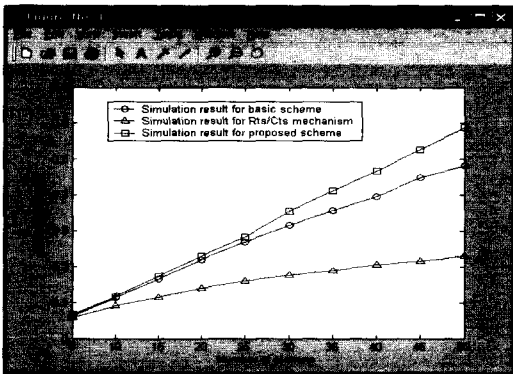


그림 6 Saturation delay : Basic (DCF), RTS/CTS and proposed dynamic CWmin.

그림 6은 스테이션 개수에 따른 delay를 나타냈다. 제안하는 방법의 delay가 기존 DCF보다 약간

증가하지만 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 이것은 제안하는 방법이 상대적으로 큰 CWmin 값을 가지게 되더라도 백오프 과정에서 생길 수 있는 충돌가능성을 낮추어 재전송에 소비되는 지연시간을 줄여 줌으로써 delay의 증가가 크지 않은 것을 알 수 있다. RTS/CTS 방법은 두 가지 방법보다는 낮은 delay를 유지하는 것을 알 수 있다.

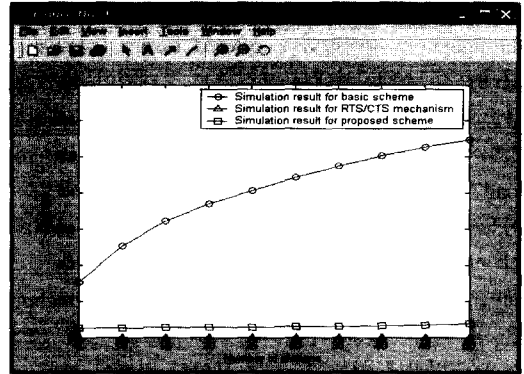


그림 7. Drop rate in saturation condition : Basic (DCF), RTS/CTS and proposed dynamic CWmin.

그림 7에서는 MAC layer에서 충돌 (같은 백오프 값을 선택함으로써 생기는)로 인한 재전송 한계횟수를 초과하여 패킷이 폐기(drop)되는 비율을 나타내었다. Drop rate (D_r)은 전체 전송할 패킷 중 폐기되는 패킷의 비율로서 정의한다.

$$D_r = \frac{\text{수신된 데이터(payload)의 패킷수}}{\text{전송된 데이터(payload)의 패킷수}}$$

표 3. Packet size에 따른 최대 재전송 횟수.

Short retry limit	7
Long retry limit	4

패킷이 폐기되기까지 소요되는 재전송 횟수를 표 3에 제시하였다. Short retry limit은 RTS 보다 크기가 작은 (ACK, CTS 등) 패킷을 말하며 Long retry limit은 RTS보다 큰 일반적인 데이터 패킷을 말한다. 기존 DCF방법은 스테이션 개수가 증가할수록 drop rate의 증가가 점점 커지는 것을 확인할 수 있으며(n=50에서 0.5이상), RTS/CTS 방법에서는 패킷을 전송하기 전 RTS를 전송하여 미리 채널을 예약하여 데이터 패킷의 충돌이 없으므로 drop rate

이 0인 것을 알 수 있다. 제안한 방법은 낮은 충돌 확률로 스테이션 개수의 증가와 관계없이 0.05(5%) 이하의 낮은 drop rate을 유지하는 것을 알 수 있다.

C. Saturation이 아닌 조건에서 throughput, delay and drop rate 성능

그림 8과 11에서는 offered load에 따른 throughput을 제시하였다. offered load가 0.4일때(그림 8) 각 스테이션에서 생성되는 트래픽이 많지 않음으로 DCF의 기본 전송방법, RTS/CTS, 제안한 방법의 throughput이 동일함을 알 수 있다. Offered load가 0.8일 경우(그림 11), 스테이션 개수가 25개 이상일때 기본전송 방법에서는 throughput이 감소하기 시작하는 것을 볼 수 있다. 제안하는 방법은 스테이션 개수에 큰 영향없이 0.82이상의 throughput을 유지하는 것을 확인할 수 있다. 그림 9와 12에서 load변화에 따른 delay는 제안한 방법이 기본 전송방법보다 평균적으로 좀 더 많은 slot time을 기다려야 하므로 기존 방법보다 약간 높은 수치를 보였다. RTS, CTS를 이용한 방법은 load에 상관없이 가장 낮은 delay를 보여주고 있다. 그림 10과 13에서는 drop rate을 나타내었다. load가 0.4일때는 트래픽의 발생량이 적으므로 drop rate에 큰 차이가 없다. load가 0.8일 때 기존 DCF의 경우 스테이션 개수에 따라서 drop rate의 증가가 급격히 커지는 것을 알 수 있다. 제안한 방법은 스테이션 개수 증가에 큰 영향을 받지 않고 0.02(2%) 이하의 낮은 drop rate을 유지하는 것을 볼 수 있다.

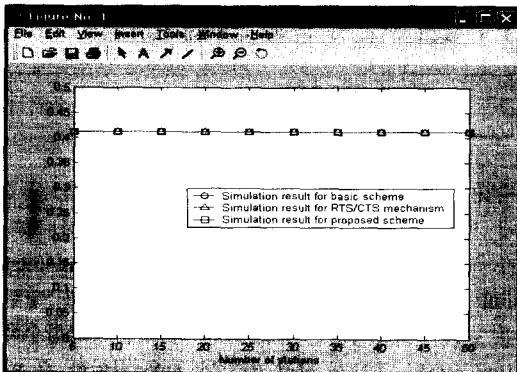


그림 8. Throughput : Basic (DCF), RTS/CTS and proposed dynamic CWmin (L=0.4).

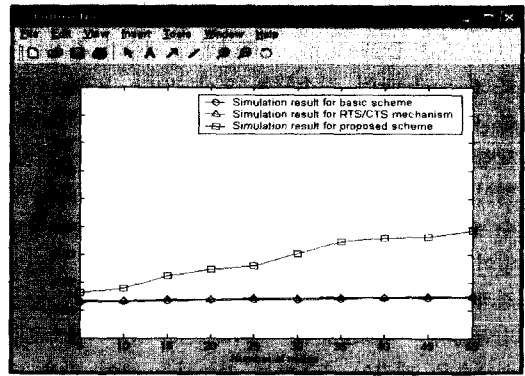


그림 9 Delay : Basic (DCF), RTS/CTS and proposed dynamic CWmin (L=0.4).

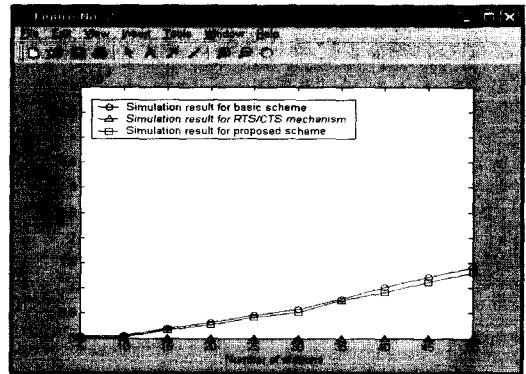


그림 10. Drop rate : Basic (DCF), RTS/CTS and proposed dynamic CWmin (L=0.4).

V. 결론

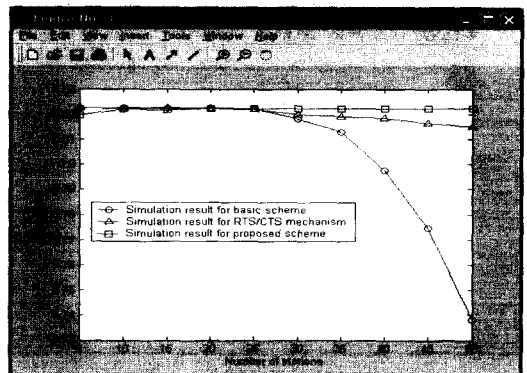


그림 11. Throughput : Basic (DCF), RTS/CTS and proposed dynamic CWmin (L=0.8).

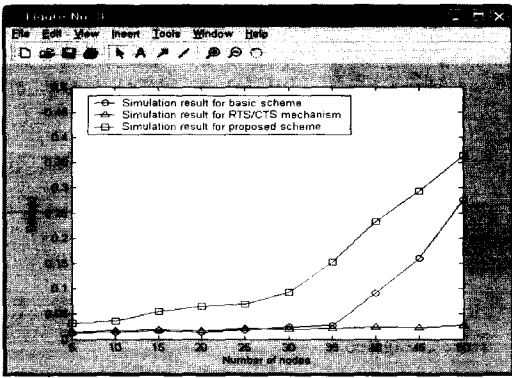


그림 12. Delay : Basic (DCF), RTS/CTS and proposed dynamic CWmin (L=0.8).

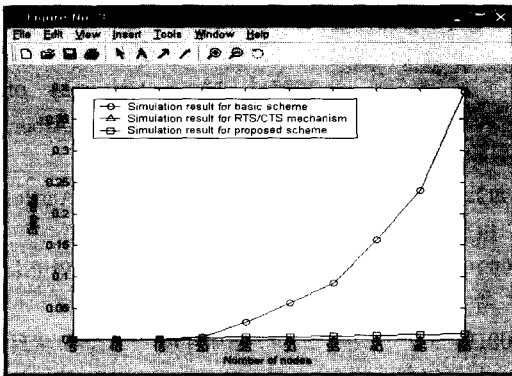


그림 13. Drop rate : Basic (DCF), RTS/CTS and proposed dynamic CWmin (L=0.8).

본 논문에서는 기존 DCF 메커니즘과 제안하는 동적 CWmin 메커니즘의 성능을 비교하였다. 기존 DCF 방식은 경쟁하는 스테이션의 개수의 증가에 따라 throughput의 저하와 drop rate의 증가를 나타내는 문제점을 나타내고 있었다. 이런 문제점을 개선하고자 스테이션 개수에 따라 동적인 CWmin을 사용하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법이 기존 DCF에 비해 throughput의 현저한 성능향상을 가져 오는 것을 확인할 수 있었다. 큰 delay의 증가 없이 높은 throughput을 유지하며 또한 제안한 방법은 재 전송 횟수의 제한으로 인한 패킷 drop rate 성능도 기존 기본전송방법에 비해 우수함을 확인하였다. 특

무선네트워크에 걸리는 부하와 스테이션의 개수가 증가할수록 성능의 향상이 더욱커지는 것을 시뮬레이션을 통하여 입증하였다.

제안한 동적 최소윈도우 적용 방법은 향후에 무선랜이 많이 보급되어 스테이션의 밀도가 높고 통

신량이 많은 hotspot 에서 사용자의 수에 따라 CWmin값을 차등 적용함으로써 기존 DCF방법에 비해서 효과적인 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, P802.11, Nov. 1997.
- [2] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 18, no. 3, pp. 535-547, Mar. 2000.
- [3] Y. Xiao, "A Simple and Effective Priority Scheme for IEEE 802.11," IEEE Communications Letters, vol. 7, no. 2, pp. 70-72, Feb. 2001.
- [4] H. Wu, and Y. peng, "A Simple Model of IEEE 802.11 Wireless LAN," Proc. of Info-tech and Info-net, vol. 2, pp. 514-519, Oct. 2001.
- [5] A. Lindgren, A. Almquist and Olov schelen, "Evaluation of Quality of Service Schemes for IEEE 802.11 Wireless LANs," Proc. of LCN, pp. 348-351, Nov. 2001.
- [6] A. Dugar, N. Vaidya, P.Bahl, "Priority and Fair Scheduling in a Wireless LAN," Proc. of MILCOM, vol. 2, pp. 993-997, 2001.
- [7] H. Wu, Y. Peng, K. Long and J. Ma, "Performance of Reliable Transport Protocol over IEEE 802.11 Wireless LAN Analysis and Enhancement," Proc. of INFOCOM, vol. 2, pp. 599-607, Jun. 2002.
- [8] Y. Kwon, Y. Fang and H. Latchman, "A Novel MAC Protocol with Fast Collision Resolution for Wireless LANs" Proc. of INFOCOM, vol. 2, pp. 853-862, Mar. 2003.
- [9] F. Eshghi and A. K. Elhakeem, "Performance Analysis of Ad Hoc Wireless LANs for Real-Time Traffic," Proc. of Wireless Personal Multimedia Communications, vol. 3, pp. 1356-1360, Oct. 2002.
- [10] C. Papachristou, F.N. Pavlidou, "Collision-Free Operation in Ad Hoc Carrier

Sense Multiple Access Wireless Networks,"
IEEE Communications Letters, vol. 6, pp.
352-354, Aug. 2002.

- [11] A. Banchs, X. Perez, M. Radimirsch and H. J. Stuttgen, "Service Differentiation Extensions for Elastic and Real-Time traffic in 802.11 Wireless LAN," Proc. of High Performance Switching and Routing, pp. 245-249, May 2001.
- [12] S. Sheu, T. Sheu, C. Wu and J. Luo, "Design and Implementation of a Reservation-based MAC Protocol for Voice/Data over IEEE 802.11 Ad-Hoc Wireless Networks," Proc. of ICC, vol. 6 pp. 1935-1939, Jun. 2001.
- [13] G. Bianchi and I. Tinnirello, "Kalman Filter Estimation of the Number of Competing Terminals in an IEEE 802.11 Network," Proc. of INFOCOM, vol.2 pp. 844-852, Mar. 2003.
- [14] Network Simulator (ns), version 2,"
<http://www.isi.edu/nsnam/ns>.

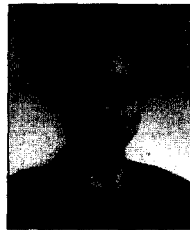
우 성 제 (정회원)



2001년 2월 : 성균관대학교 전
기전자 및 컴퓨터 공학부 학
사 졸업
2004년 2월 : 성균관대학교 전
기전자 및 컴퓨터 공학부 석
사 졸업

<관심분야> 무선 LAN/PAN, ad-hoc 네트워크, 블
루투스, ZigBee

이 태 진 (정회원)



1989년 2월 : 연세대학교 전자
공학과 학사 졸업
1991년 2월 : 연세대학교 전자
공학과 석사 졸업
1995년 2월 : University of
Michigan, Ann Arbor,
EECS(M.S.E.)

1999년 2월 : University of Texas, Austin,
ECE(Ph.D.)
1999년 8월 “ 2001년 2월 : 삼성전자 중앙연구소
책임 연구원
2001년 3월 “ 현재 : 성균관대학교 정보통신 공학
부 조교수

<관심분야> 통신 네트워크 성능 분석 및 설계, 무
선 LAN/PAN, ad-hoc 네트워크, 무선통신 시스
템