

단일 경쟁 매체에서의 새로운 로드 기반 동적 매체 접속 제어 백오프 알고리즘

준회원 서창근*, 왕 위 동*, 정회원 유상조*

Load-based Dynamic Backoff Algorithm in Contention-based Wireless Shared Medium

Chang-Keun Seo*, Weidong Wang* Associate Members, Sang-Jo Yoo* Regular Member

요 약

IEEE 802.11 무선 랜과 같이 단일 매체를 사용하는 무선망의 단말들은 경쟁을 통하여 매체를 점유하게 되며, 매체의 충돌이 발생하게 될 때 백오프 알고리즘을 사용하게 된다. 백오프 알고리즘은 매체의 충돌 확률을 줄임으로써 매체의 이용률을 높이고 효율적인 매체의 운영을 가능하게 하는 매체 접속 제어 방법의 중요한 요소이다. 본 논문에서는 QoS를 제공하기 위한 표준인 IEEE 802.11e를 기본으로 하여 네트워크의 매체 부하 및 혼잡 상태에 따라 능동적으로 경쟁 윈도우의 크기를 변화시키는 새로운 방법인 로드 기반 동적 매체 접속 제어 백오프 알고리즘을 제안한다. 제안된 부하 및 혼잡 상태의 예측과 우선순위에 따른 가중치의 차별화를 통한 동적 경쟁 윈도우 변경 방법이 기존의 IEEE 802.11e에서 사용하는 BEB 방법보다 매체의 이용률을 높이고 효율적으로 데이터의 충돌을 줄일 수 있음을 보인다.

Key Words : Backoff algorithm, Wireless medium access control, IEEE 802.11e, Quality of service

ABSTRACT

The standards which use shared medium like IEEE 802.11 wireless LAN have transmission opportunity by contention in contention period. If there are collisions in contention period, medium access control protocol may solve problem by using backoff algorithm. Backoff algorithm is important part in medium access control, but legacy backoff method which is used under IEEE 802.11 standards is not adjusted when load is heavy because of increasing collisions. In this paper, we propose a new load-based dynamic backoff algorithm in contention-based wireless shared medium to improve throughput of medium and to reduce the number of collisions. Proposed backoff algorithm can increase the network utilization about 20% higher than that of binary exponential backoff algorithm.

1. 서론

현재 이동 통신을 제외한 인터넷 기반의 무선 통신 시장에서 가장 성공적으로 시장에 진입한 표준으로 IEEE 802.11 Wireless LAN을 들 수 있다.

IEEE 802.11 WLAN은 매체 접속 방법으로 listen before talk 기반의 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)를 사용하며, 각 단말들의 경쟁에 의한 매체 확보 방법인 DCF(Distributed Coordination Function) 모드와 베

* 인하대학교 정보통신대학원 멀티미디어통신망연구실([seochangkeun, wangwd]@gmail.com, sjyoo@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2004-11-259, 접수일자 : 2004년 11월 4일

※ 본 연구는 대학 IT 연구센터 (인하 UWB-ITRC) 육성·지원 사업의 연구결과로 수행되었음.

이스 스테이션(base station)에 의한 중앙 통제 방법인 PCF(Point Coordination Function) 모드를 사용한다. 또한 숨겨진 노드의 문제(hidden node problem)와 노출된 노드의 문제(exposed node problem)를 해결하기 위해 RTS(Request To Send)/CTS(Clear To Send) 프레임 교환을 선택적으로 사용할 수 있다^[1]. IEEE 802.11은 사용자의 다양한 요구에 맞추어 발전된 표준을 작성 중이며, 특히 QoS(Quality of Service)를 제공하기 위한 표준으로 IEEE 802.11을 확장한 IEEE 802.11e를 제안하고 있다^[2]. IEEE 802.11e 드래프트에서는 각 우선순위에 따른 접근 대기 시간(interframe space)의 차별화와 충돌의 발생 시 동작하는 백오프 기간 동안의 경쟁 윈도우 크기에 차별화를 줌으로써 MAC(Medium Access Control) 프로토콜에서 우선순위에 따른 차별화된 서비스를 가능하게 하고 있다. 그러나 경쟁 구간에서 사용하는 백오프 알고리즘인 BEB(Binary Exponential Backoff algorithm) 방법의 경우 ‘공정성 문제(fairness problem)’를 가지고 있으며, 특히 매체의 부하가 증가할수록 단말 간 매체의 충돌이 급격하게 증가하여 매체의 이용률이 현저하게 감소하는 문제점을 가지고 있다. 이는 BEB 방법이 경쟁 윈도우를 고정적으로 정의하여 사용하기 때문에 발생하는 문제이다.

따라서 본 논문에서는 IEEE 802.11e에서 기본적으로 제안하고 있는 경쟁 구간의 백오프 방법을 개선하여 경쟁 기반인 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access) 모드에서 트래픽의 부하 및 충돌 예측 값에 따라 경쟁 윈도우를 능동적으로 조절하는 새로운 방법인 LDB(Load-based Dynamic Backoff algorithm)를 제안한다. LDB를 사용하여 기존의 IEEE 802.11e에서 사용하는 백오프 방법인 BEB 방법보다 무선 매체를 효과적으로 사용할 수 있음을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 IEEE 802.11e의 백오프 방법과 일련의 발전된 백오프 방법들을 소개한다. 제 3장에서는 제안된 LDB의 메커니즘을 소개하며, 제 4장에서는 LDB의 모의실험 결과를 도출한다. 마지막으로 제 5장에서는 본 연구의 결과로 끝을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 QoS 지원을 위한 IEEE 802.11e MAC 구조

현재 표준화 작성 중인 IEEE 802.11e의 경우 우

선순위에 따른 QoS를 제공하기 위하여 HCF(Hybrid Coordination Function) 모드를 정의하고 있다^[3-4]. HCF 모드는 경쟁 구간(Contention Period, CP)과 비경쟁 구간(Contention Free Period, CFP)을 위해 두 가지의 방법을 추가하고 있는데, 경쟁 구간에서 사용하는 EDCA 모드와 비경쟁 구간에서 사용하는 HCCA (HCF Controlled Channel Access) 모드가 그것이다. 또한 IEEE 802.11e에서는 IEEE 802.1D MAC Bridges Std.에 기초하여 UP (User Priority)에 따른 QoS를 지원하기 위해 4개의 AC (Access Category)를 제공한다. 각 AC는 우선순위에 따라 차별화된 접근 시간인 AIFS[AC] (Arbitration Interframe Space)와 최대/최소 경쟁 윈도우 CWmin[AC], CWmax[AC], 전송 시간의 권한인 TXOP[AC] (Transmission Opportunity)를 가지며, 이런 일련의 파라미터 차별화를 통하여 QoS 지원을 가능하게 하고 있다. EDCA 모드의 경우 경쟁기반의 CSMA/CA 메커니즘을 통해 매체를 확보하게 되며, 이 때 충돌이 발생하게 되면 백오프 절차를 수행하게 된다. HCCA 모드의 경우 QBSS(QoS Basic Service Set) 내에 위치한 HC(Hybrid Coordinator)가 폴링(polling)을 사용하여 프레임의 송수신을 통제한다. 그림 1은 IEEE 802.1D의 8개의 UP를 4개의 다중 큐로 대응시키는 방법을 보여준다.

EDCA 모드에서는 우선순위가 높은 프레임일수록 전송을 위한 접근 대기 시간이 짧다. 또한 높은 우선순위일수록 경쟁 윈도우 CWmin[AC]와 CWmax[AC]의 크기가 작으며, 결과적으로 상대적으로 적은 타임 슬롯을 사용한 후 프레임 전송을 시도할 수 있게 된다.

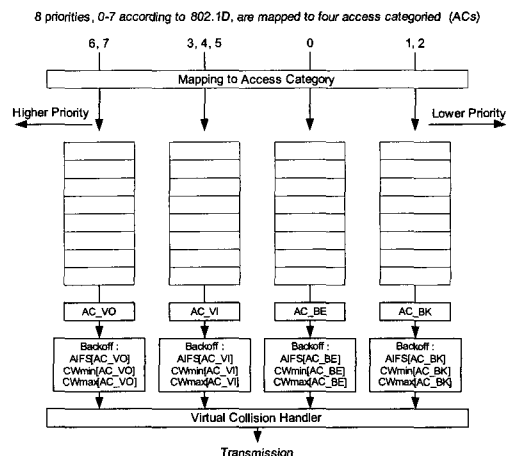


그림 1. IEEE 802.11e에서 단말 내의 다중 큐

각각의 큐에 전송할 프레임이 존재하게 되면 각 단말(station)은 프레임 전송을 위해 매체 확보에 들어간다. 매체의 사용 유무를 감지하기 위해 IEEE 802.11에서는 두 가지의 매체 감지 기법을 사용하는데, 하나는 물리 계층(PHY)에서 행해지는 물리적 반송파 감지 (physical carrier sense) 메커니즘이며, 또 다른 하나는 논리적 감지 기능인 가상 반송파 감지(virtual carrier sense) 메커니즘이다. 만약 매체가 비사용 중 (idle)임을 감지하면 각 단말은 각각의 우선순위에 따른 접근 대기 시간인 AIFS[AC]의 시간만큼 대기한 후 현재 설정된 경쟁 윈도우에서 랜덤하게 타임 슬롯을 결정하여 타임 슬롯이 0이 될 때까지 타임 슬롯을 줄여나간다. 줄여나가는 과정 동안 먼저 타임 슬롯이 0에 도달한 단말의 전송 시도로 매체의 사용이 감지되면 즉시 동작을 멈추고 매체의 사용이 끝날 때까지 대기하게 된다. 매체의 사용 시간은 프레임 헤더(header)에 포함된 시간 정보인 NAV(Network Allocation Vector) 필드를 통해 제공된다. 타임 슬롯의 크기가 0이 되면 각 단말은 즉시 프레임(데이터 프레임 또는 RTS 프레임)을 전송하게 되며, 이 때 만약 동시에 같이 0에 도달한 다른 단말이 존재하게 될 경우 충돌이 발생한다. IEEE 802.11e의 경우 IEEE 802.11과 다르게 우선순위에 따라 독립적인 4개의 다중 큐로 구성되어 있기 때문에 각 단말마다 각각의 큐에서의 충돌을 방지하기 위한 가상 스케줄러가 큐를 관리하게 된다. 그림 2는 EDCA 모드에서의 접속 권한을 보여준다.

비록 IEEE 802.11e가 기존의 방법들을 개선하여 경쟁 모드에서 우선순위에 따른 프레임의 차별화된 서비스를 가능하게 하고 있지만, QBSS 내의 단말의 수가 증가하거나 부하가 증가하게 되면 그 성능이 급격하게 감소하는 결과를 보이고 있다. 이런 문제를 해결하기 위해 중앙 통제자인 HC를 통해 폴링을 사용하여 매체의 이용률을 높일 수 있는 HCCA 모드도 정의되어 있으나 이는 네트워크 구성이 고정적인 장소에서 사용할 수 있는 것으로 단말의 이동성을 제한하는 요소가 될 수 있다. 따라서 HCCA 모드의 경우 가변적인 네트워크의 구성을

통해 통신하는 애드 혹 네트워크 (ad-hoc network)에는 적합하지 못한 방법으로, 중앙 통제자에 의한 조정을 하기 어려우므로 경쟁을 통한 EDCA 모드의 성능 향상이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

2.2 QoS 지원을 위한 백오프 방법

경쟁 매체에서 사용되는 백오프 방법과 관련된 부분은 지금까지 많은 연구가 진행되어 왔다^{5,6)}. 효율적인 백오프 방법은 프레임 전송이 성공할 때와 실패할 때, 현재의 경쟁 윈도우를 어떻게 처리할지를 정의하는 것이다. 백오프 방법론이 중요한 이유는 기본적인 구조의 변화가 없이도 매체의 활용성을 높일 수 있기 때문이다. 또한 애드 혹 네트워크와 같이 능동적이고 가변적인 네트워크를 구성하는 상황에서는 기존의 HC와 같은 중앙 통제자를 통한 네트워크의 통제가 어렵다는데 있다. 애드 혹 네트워크에서의 단말들은 자율적으로 매체 확보를 위한 경쟁을 통하여 통신을 수행해야 하기 때문에 EDCA 모드와 같이 단일 매체를 사용하는 경우 경쟁 기반의 통신 성능을 높일 수 있는 효율적인 백오프 방법을 찾는 것이 중요하다.

EDCA 모드에서 사용하는 백오프 방법은 BEB 방법으로 다음과 같은 동작 절차를 가진다.

1) 프레임 전송이 성공한 경우

$$CW_{new}[AC]=CW_{min}[AC] \quad (1)$$

2) 프레임 전송이 실패한 경우

$$CW_{new}[AC]=\min(CW_{max}[AC], (CW_{old}[AC]+1) \times 2 - 1) \quad (2)$$

IEEE 802.11과 IEEE 802.11e MAC에서 사용하고 있는 백오프 방법인 BEB 방법은 기존의 성능 평가 연구에서 많은 문제점들이 제기되었다. 그 정의의 명료함으로 인해 IEEE 802.11 표준에서 채택되었으나 BEB 방법은 매체의 부하가 커질수록 그 성능이 현저하게 감소하는 특성을 보이고 있고, 또한 ‘공정성 문제’가 발생하게 되는데, 이것은 특정 단말이 다른 단말들에 비해 이용률 (throughput)이 현저하게 커질 가능성이 존재한다는 것이다. 공정성의 문제는 프레임 전송이 성공한 경우 경쟁 윈도우의 크기를 CW_{min} 으로 줄이기 때문에 상대적으로 큰 경쟁 윈도우를 운용하던 다른 단말들의 프레임 전송 성공 확률을 감소하게 하는 요인으로 작용할 수 있다는 것이다. 이런 문제점을 해결하기 위해 기존 BEB 방법의 문제점을 개선한 연구들이 제안되

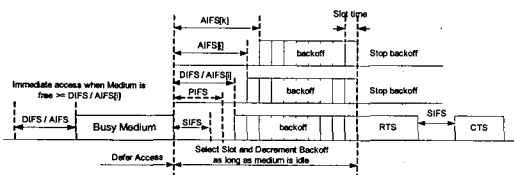


그림 2. IEEE 802.11e EDCA 모드의 동작 방법

어 왔으며, 중요한 이슈로써 경쟁 윈도우의 증감 함수를 어떻게 정의하는가에 초점이 맞추어져 왔다.

[7]에서 제안하고 있는 AEDCF(Adaptive Enhanced Distributed Coordination Function)의 경우 평균 충돌율을 정의하고 이를 프레임 전송이 성공할 때 경쟁 윈도우의 크기를 줄이는 MF[AC](multiplier factor)에 적용하여 경쟁 윈도우의 크기를 줄인다. 프레임 전송이 실패한다면 PF[AC] (persistence factor)를 곱하여 경쟁 윈도우를 늘린다. AEDCF의 장점은 주기적인 평균 충돌율의 갱신을 통하여 네트워크의 상태에 따라 적응적으로 경쟁 윈도우의 크기를 조절할 수 있다는 것이다. 이는 다른 백오프 방법에서 제안하였던 고정적인 증감 계수의 사용보다 효율적인 매체의 사용을 가능하게 한다. AEDCF에서 제안하고 있는 백오프 방법은 다음과 같다. 일정 주기 j 동안에 발생한 충돌율 f_{curr}^j 을 이용하여 식 3과 같이 평균 충돌율을 갱신한다.

$$f_{avg}^j = (1 - \alpha) \times f_{curr}^j + \alpha \times f_{avg}^{j-1} \quad (3)$$

계산된 j 구간의 f_{avg}^j 는 네트워크의 상태를 표시하는 인자가 되며 경쟁 윈도우의 크기를 결정하기 위해 식 4와 같이 MF[AC]를 생성한다. 생성된 MF[AC]는 식 5를 통하여 경쟁 윈도우의 결정에 사용된다.

$$MF[AC] = \min((1 + (level \times 2) \times f_{avg}^j), 0.8) \quad (4)$$

1) 프레임 전송이 성공한 경우

$$CW_{new}[AC] = \max(CW_{min}[AC], CW_{old}[AC] \times MF[AC]) \quad (5)$$

2) 프레임 전송이 실패한 경우

$$CW_{new}[AC] = \min(CW_{max}[AC], CW_{old}[AC] \times PF[AC]) \quad (6)$$

III. 제안된 로드 기반 동적 백오프 알고리즘

매체 내의 부하가 증가할수록 성능이 현저하게 감소하는 기존의 BEB 방법을 개선하고, 기존의 제안되었던 다른 백오프 방법들과 비교하여 매체의 이용률을 높일 수 있도록 하기 위해 매체의 상태를 장·단기적으로 모니터링 하여 능동적으로 경쟁 윈도우의 증감에 적용하는 새로운 백오프 방법인 LDB (Load-based Dynamic Backoff algorithm)를 제안한다. 제안된 LDB의 기본적인 접근 방법은 각 단말의 매체 접속 제어 동작 과정에서 쉽게 알아낼 수

있는 파라미터 두 가지를 정의하고 이를 매체의 상태에 따라 즉각적으로 경쟁 윈도우의 크기를 갱신하는데 사용한다는 것이다. 이를 위해 LDB에서는 장기 (long-term) 매체 결정 인자로써 각 단말들의 프레임 전송 시도 중에 발생하는 충돌을 통한 예상 충돌율 (expected collision rate)을 사용하며, 단기 (short-term) 매체 결정 인자로써 백오프 과정 시 타임 슬롯의 이용률 (slot utilization)을 이용하여 경쟁 윈도우의 크기를 결정하는데 사용한다. 또한 LDB에서는 RTS/CTS 프레임 교환 절차를 기본적으로 사용한다고 가정한다. 이는 인프라스트럭처 네트워크 구조뿐 아니라 애드 혹 네트워크 상황에서도 효과적으로 대응하기 위함이다.

3.1 장기 매체 결정 요소 (LDF)

먼저 단말에서 시도한 프레임 전송 시도 횟수를 이용하여 충돌율을 정의하고 이를 장기 매체 결정 인자 LDF (Long-term Decision Factor)로써 사용한다. 충돌율은 각 단말 p 에서 일정 주기 j 동안의 전송 시도 횟수와 충돌의 횟수로 정의된다^[7]. 식 7과 같이 일정 시간 주기 j 동안의 충돌율은 각 단말의 큐에 전송할 프레임이 존재할 경우 이를 전송하기 위해 시도하는 RTS 프레임의 전송 횟수와 프레임 전송이 성공했을 때 받는 ACK 프레임의 수로 쉽게 계산할 수 있다. RTS 프레임의 전송 시도 횟수는 표준에서 정의된 short retry limit의 제한을 받는다.

$$f_{curr}^j = \frac{E(collisions_j[p])}{E(frame_sent_j[p])} \quad (7)$$

일정 시간 주기 j 마다 결정되는 현재의 충돌율은 장구간에서 사용하는 것으로써 앞으로의 경쟁 윈도우의 크기를 결정하는데 충분하지 않다. 따라서 본 논문의 LDB에서는 다음 장구간의 충돌율을 보다 정확하게 사용하기 위해 LMS(Least Mean Square) 예측기를 사용하여 예상 충돌율을 계산하고 이를 경쟁 윈도우의 크기를 결정하는 LDF로써 사용한다.

LMS 예측 기법^[8]은 적응적 예측 기법으로써 실시간 예측에 효율적인 기법이다. LMS 예측기의 동

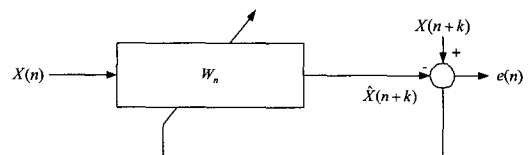


그림 3. LMS 예측기

작 개념은 그림 3과 식 8, 9를 통하여 알 수 있다. LMS 예측기의 경우, 평균 제곱근 오차(mean square error)를 줄이기 위해 예측된 값과 실제 측정된 값과의 차이 에러(error) $e(n)$ 과 계수 벡터 (time varying coefficient vector) W_n , 그리고 이전의 실제 관측된 p 개의 충돌율의 행렬인 $F(n)$ 을 사용한다. 식 8의 μ 는 충돌율의 변화에 능동적으로 반응할 수 있도록 하기 위해 사용되는 고정된 값으로 step size라 한다. 식 8, 9를 보게 되면 예상 충돌율을 계산하기 위하여 현재 시점의 실제 충돌율과 예측되었던 충돌율과의 차이 $e(n)$ 과 이전 p 개의 실제 충돌율의 집합인 $F(n)$, 그리고 step size μ 를 통해 계수 벡터 W_n 을 계산하여 예상 충돌율을 계산한다($k=1$). 정규화된 LMS 예측기의 장점은 step size μ 의 값에 민감하지 않다는 점이다. μ 의 범위가 $0 < \mu < 2$ 일 경우, LMS는 평균에 수렴 (converge) 된다. μ 의 값이 커질수록 트래픽의 변화에 보다 빠르게 수렴된다.

LMS 예측기는 현재 네트워크의 혼잡 상태 변화를 긴 구간 시간의 스케일로 정확히 예측함으로써 네트워크 환경에 적응적인 매체 접근 제어를 가능케 할 수 있다. 실제로 사용되는 QBSS 내의 데이터 프레임의 양은 가변적이며, 이에 따른 네트워크 부하가 시간에 따라 변하므로 이를 적극적으로 백오프 방법에 적용시킬 수 있음을 알 수 있다.

$$\hat{f}(n+k) = \sum_{l=0}^{p-1} w_n(l)f(n-l) = W_n^T F(n) \quad (8)$$

$$W_n = [w_n(0), w_n(1), \dots, w_n(p-1)]^T$$

$$W_{n+1} = W_n + \mu \times e(n) \frac{F(n)}{\|F(n)\|^2}$$

$$e(n) = f(n+k) - \hat{f}(n+k) \quad (9)$$

$$F(n) = [f(n), f(n-1), \dots, f(n-p+1)]^T$$

3.2 단기 매체 결정 요소 (SDF)

제안된 LDB에서 정의하는 두 번째 요소는 각 단말에서 하나의 프레임을 전송하기 위해 시도하는 경쟁 윈도우의 값을 이용한 타임 슬롯의 이용률이며, 이를 단기 매체 결정 인자 SDF(Short-term Decision Factor)로써 사용한다. 타임 슬롯의 이용률이 매체의 상태를 결정할 수 있다는 것은 쉽게 알 수 있다. 각 단말의 큐에 전송할 프레임이 존재하게 되면 각 단말들은 프레임 전송을 위해 백오프 절차를 거쳐야 하기 때문에 프레임 전송을 위해 사용하는 타임 슬롯의 크기와 다른 단말들에 의해 대기했던

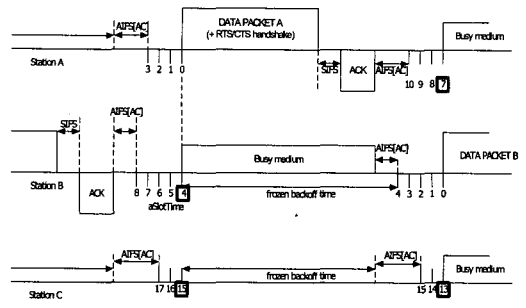


그림 4. 백오프의 동작

타임 슬롯 시점의 수를 통하여 매체 부하 정도를 유추할 수 있다. 그림 4는 각 단말의 백오프 과정과 이와 관련된 슬롯 이용 상황을 설명한다. 먼저 타임 슬롯이 0에 도달한 특정 단말의 전송 시도로 매체의 사용이 감지되면 다른 백오프 절차를 운영 중인 단말들은 타임 슬롯의 감소를 중지하며 그 시점의 타임 슬롯이 사용되었다고 표시한다. 이를 일정 주기 i 동안 자신이 설정하였던 전체 백오프 타임 슬롯의 수와 다른 단말에 의해 사용되어 백오프 과정을 멈춘 횟수를 이용하여 슬롯 이용률(slot utilization)을 계산한다. 슬롯 이용률을 계산할 때 매체가 사용된 시점에서 프레임의 전송이 성공했는지, 또는 충돌이 발생했는지는 고려하지 않으며 매체의 사용이 감지되면 그 시점의 타임 슬롯은 사용되었다고 생각한다.

일정 주기 i 마다 SDF를 갱신하며 일정 주기 i 동안에 사용된 타임 슬롯을 통한 슬롯 이용률은 식 10과 같이 표현된다.

$$U_{slot}^i = \frac{\text{Sum of stopped backoff procedures}}{\text{Sum of backoff time slots}} \quad (10)$$

SDF의 갱신 주기 i 는 LDF의 갱신 주기 j 보다 현저히 작으며, LDF와 SDF는 한 단말 내의 모든 우선순위의 트래픽에 공통적으로 적용된다. 그림 5는 LDB에서 LDF와 SDF 사이의 정보 갱신 관계를 나타낸다. LDF와 SDF의 조합을 통해 최종적으로 매체의 상태를 결정하는 매체 결정 계수 D_{medium} [AC]를 결정한다. LDF와 SDF 값의 범위는 $[0, 1]$ 이다.

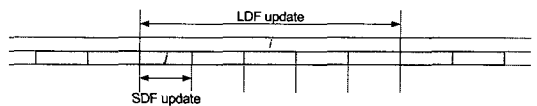


그림 5. 장·단주기 결정 인자 갱신

3.3 단기 매체 결정 요소 ($D_{medium}(AC)$)

예상 충돌율과 슬롯 이용율을 이용하여 LDF와 SDF를 계산하게 되면, 이를 이용하여 최종적으로 경쟁 윈도우의 값을 정의하기 위한 매체 결정 계수 $D_{medium}[AC]$ 를 계산한다. 본 논문에서의 $D_{medium}[AC]$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$D_{medium} = (1-\gamma) \times LDF + \gamma \times SDF \quad (11)$$

$$D_{medium}[AC] = (D_{medium})^{\frac{3+AC_level}{2}} \quad (12)$$

AC_level은 각 AC 별로 정의된 값으로 가장 높은 우선순위로 0, 1, 2, 3으로 정의된다. 0이 제일 높은 우선순위를 가지게 되며, 3이 제일 낮은 우선순위를 가진다. γ 값은 LDF와 SDF 사이의 값의 비중을 결정하기 위한 값이며, 이를 통해 각 우선순위별 $D_{medium}[AC]$ 의 값을 결정한다. 식 12와 같이 각 AC에 따라 다른 $D_{medium}[AC]$ 의 값을 사용함으로써 우선순위에 따른 차별화된 서비스를 가능하게 한다. 그림 6는 $D_{medium}[AC]$ 의 반응 곡선을 보여준다.

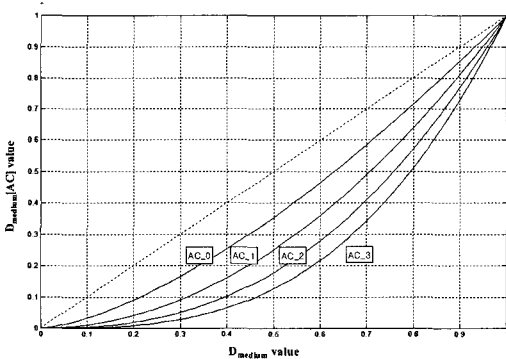


그림 6. D_{medium} 의 우선순위별 반응 곡선

3.4 제안된 경쟁 윈도우의 결정 방법

결정된 $D_{medium}[AC]$ 값을 이용하여 경쟁 윈도우의 크기를 다음과 같이 결정한다.

- 1) 프레임 전송이 성공한 경우

$$CW_{new}[AC] = CW_{old}[AC] \times \min\{(3 + 2 \times AC_level) \times (D_{medium}[AC]), 1\} \quad (13)$$

- 2) 프레임 전송이 실패한 경우

프레임 전송이 실패하게 될 때, 경쟁 윈도우의 변경을 위해 스케일 벡터 $V[AC]$ 를 계산하고, 최종적

으로 $V_{scale}[AC]$ 를 결정한다. $V_{scale}[AC]$ 는 [0.9, 1.1] 사이의 값으로 제한된다.

$$V[AC] = \frac{D_{medium}^i[AC]}{D_{medium}^{i-1}[AC]} \quad (14)$$

$$V_{scale}[AC] = \begin{cases} 0.9, & V[AC] < 0.9 \\ V[AC], & 0.9 \leq V[AC] \leq 1.1 \\ 1.1, & V[AC] > 1.1 \end{cases} \quad (15)$$

계산된 $V_{scale}[AC]$ 와 함께 각 우선순위에 따른 PF[AC] 값이 함께 사용된다.

$$CW_{new}[AC] = \min(CW_{max}[AC], CW_{old}[AC] \times PF[AC] \times V_{scale}[AC]) \quad (16)$$

PF[AC]는 현재 IEEE 802.11e 드래프트 (draft)^[2]에서 BEB 방법으로 전환되면서 삭제되었지만 LDB에서는 우선순위에 따른 차별적인 경쟁 윈도우의 효과적인 변경을 위하여 사용한다.

전송 성공 시에 사용하는 $D_{medium}[AC]$ 의 값을 1로 제한하는 이유는 아무리 매체의 상황이 나쁘더라도 프레임 전송에 성공한 단말의 경쟁 윈도우를 현재 설정되어 있는 경쟁 윈도우의 값보다 커지게 하기 위함이다. 또한 프레임 전송이 실패한 경우라도 $D_{medium}[AC]$ 의 값을 현재와 과거의 값을 통해 매체 상태에 따른 값의 변동을 주도하도록 하고 있다.

IV. 모의 실험

제안된 LDB의 성능 평가를 위하여 ns2 시뮬레이터를 이용하여 모의실험을 진행하였다^[9-11]. IEEE 802.11b의 PHY와 EDCA를 기본으로 하여 BEB 방법을 사용하는 EDCA^[2-4], 평균 충돌율을 통하여 경쟁 윈도우의 크기를 변화시키는 AEDCF^[5], 그리고 제안된 LDB의 성능을 비교, 평가하였다. 표 1, 2는 모의실험에 사용된 파라미터를 나타낸다.

각각의 단말들은 3개의 서로 다른 우선순위를 가지는 트래픽을 발생시키며, 동시에 수신 단말로 전송을 시도하게 된다. 송신 단말의 수는 2개부터 40개까지 증가시키며 실험하였다. 단말들은 이동성이 없고, 모두 전파 범위 안에 속해 있어 각 단말들은 주위 단말의 상태를 알 수 있다고 가정한다. 또한 각 단말들은 RTS/CTS 프레임의 교환 후 프레임을

표 1. 실험 환경

Channel	WirelessChannel
Propagation type	TwoRayGround
Interface queue	PriQ(priority queue)
Antenna model	OmniAntenna
Interface Queue length	50

표 2. IEEE 802.11b 파라미터

SIFS	10 (us)
RTS	48 (bytes)
CTS	44 (bytes)
ACK	44 (bytes)
Data rate	11 (Mbps)
aSlotTime	20 (us)
CCA time	15 (us)
MAC header	30 (bytes)
Preamble length	144 (us)
RxTxTurnaround time	5 (us)
PLCP header length	48 (bits)

표 3. 트래픽 특성

Parameter	AC_VO	AC_VI	AC_BE
Level(Priority)	0	1	2
CWmin	7	15	31
CWmax	255	511	1023
AIFSN	2	3	4
PF	2	3	4
Packet size(bytes)	300	300	300
Packet interval(ms)	10	10	10
Sending rate(Kbit/s)	160	160	160

AIFS[AC] (us) = SIFS + AIFSN × aSlotTime

송·수신한다. 수신 단말은 하나만 설정하여 수신 단말 측에서 각 송신 단말들의 프레임 수신을 평가할 수 있도록 하였다. 표 3은 실험에서 사용한 우선 순위별 트래픽의 특성을 나타낸다.

IEEE 802.11e에서는 우선순위에 따라 AC_VO (voice), AC_VI(video), AC_BE(best effort), AC_BK(background)의 4개의 우선순위를 설정하고 있다. 본 실험에서는 AC_VO, AC_VI, AC_BE의 3개의 CBR (Constant Bit Rate) 트래픽을 사용한다. 각 우선순위별 데이터 프레임의 크기는 모두 같도록 설정하여 각 우선순위별 트래픽 처리 특성을 보도록 하였다. 단말들의 전송 채널 용량은 480 Kbps이며 단말의 수를 2개에서 40개까지 2개씩 증가시키며 전체 채널 용량인 11 Mbps의 8%에서 174%까지 평가하였다.

제안된 LDB에서는 성능 변화에 영향을 미칠 수 있는 다양한 파라미터들이 존재한다. 먼저 LMS 예측기에서 사용되는 μ 값의 경우 앞서 서술한 것처럼 $0 < \mu < 2$ 인 경우 LMS의 평균은 수렴된다. 본 논문에서는 LMS 예측기 (식 8, 9)에 사용되는 값 μ 를 0.05로 설정하였다. 매체 상태를 결정하기 위해 사용되는 장기 매체 결정 인자 LDF와 단기 매체 결정 인자 SDF의 갱신 주기 j, i 의 경우 5:1의 크기 비율을 갖도록 설정하였다. 이는 LDF 갱신 주기와 SDF 갱신 주기의 갱신 비율이 작을 경우 계산량의 증가 및 장·단기 매체 결정에 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

첫 번째 실험으로 장·단주기 크기의 결정과 γ 값의 올바른 결정을 위하여 10개 단말들이 트래픽을 전송할 때의 프레임 전송 성공 횟수를 비교하였다. 그림 7은 본 논문에서 제안된 LDB에서 LDF와 SDF의 비중을 결정하기 위해 장·단주기의 각 길이와 γ 값의 변화에 따른 전송 성공 횟수를 비교한 결과를 보여주고 있다. 10개의 단말들이 프레임을 전송 시도할 때의 전송 성공 횟수를 통하여 LDF, SDF, γ 값을 결정하였다. 그림 7에서 알 수 있듯이 γ 값이 0.6에서부터 전송 성공 횟수가 일정하거나 감소함을 알 수 있다. 따라서 본 실험에서는 LDF 15,000 타임 슬롯, SDF 3,000 타임 슬롯, γ 값 0.6으로 설정하였다.

두 번째 실험으로 제안된 LDB에서 사용하는 LMS 예측기의 성능을 실험하였다. 비교 방법은 실제 충돌율과 예상 충돌율과의 차이를 에러로 하여 평균 제곱근 오차 (mean square error)를 계산하였다⁸⁾. 표 4는 AEDCF에서 사용하는 EWMA (exponentially weighted moving average)와 비교한 값을 나타낸다. 4개의 단말이 전송을 시도할 때의 값을 비교해 보았다. AEDCF와 비교하여 보다 정확한 충돌율을 예측하고 있음을 알 수 있다.

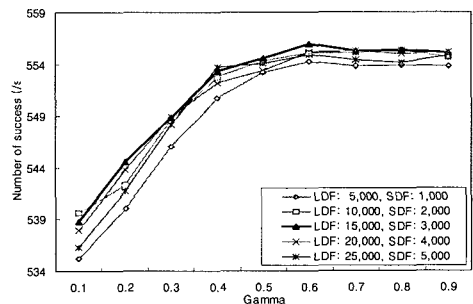


그림 7. LDF, SDF, γ 값의 결정

표 4. LMS 성능 측정

Parameter	Mean square error
EWMA (AEDCF)	0.0033
LMS (LDB)	0.0026

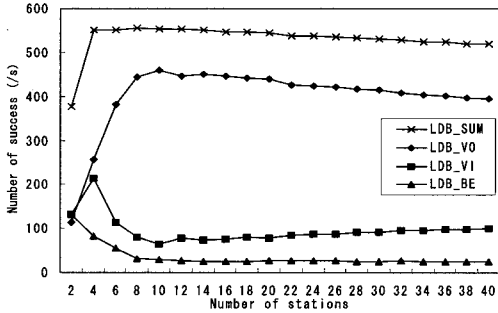


그림 8. LDB의 우선순위별 서비스 성공 횟수

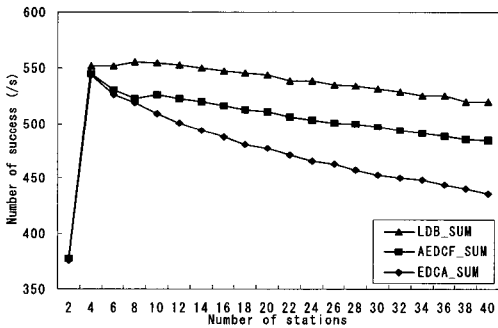


그림 9. 초당 전체 프레임 전송 성공 횟수

세 번째 실험으로 단말의 수의 증가에 따른 LDB의 성능을 평가하였다. 그림 8은 단말의 증가(전체 네트워크 부하의 증가)에 따른 LDB의 초당 전송 성공 횟수를 보여주고 있다. 제안된 LDB의 경우 각 우선순위에 따른 QoS를 적절히 제공하고 있으며 다른 방법들에 비해 각 우선순위별 트래픽을 적절하게 유지시키고 있음을 알 수 있다.

네 번째 실험으로 각 트래픽별 초당 전체 프레임 전송 성공 횟수를 비교하였다. 그림 9는 실험의 결과를 보여주고 있다. 제안된 LDB가 가장 좋은 성능을 나타내며 AEDCF, EDCA의 순서로 성능 차이를 보이고 있다. 본 실험의 통하여 제안된 LDB가 매체의 이용률을 높이고 있음을 알 수 있다. 이는 비교한 다른 백오프 방법에 비해 LDB가 보다 능동적으로 네트워크 상태에 따른 가변적인 경쟁 윈도우를 운영하기 때문이라 할 수 있다. 매체의 상태에 따라 장·단기 결정 인자들의 값이 대응되기 때문에 LDB는 상황에 맞는 적절한 경쟁 윈도우를

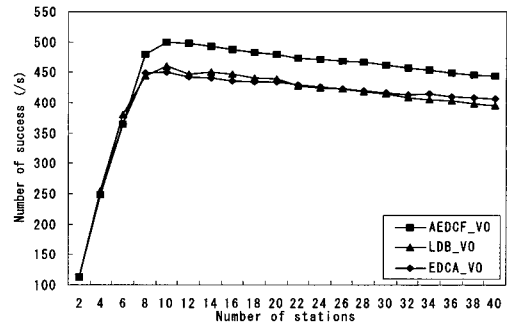


그림 10. AC_VO의 초당 프레임 전송 성공 횟수

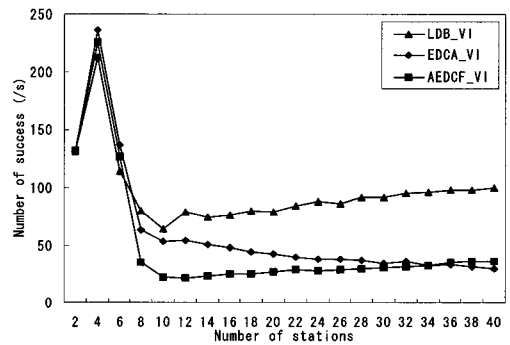


그림 11. AC_VI의 초당 프레임 전송 성공 횟수

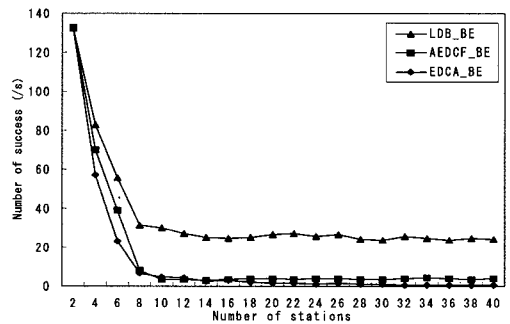


그림 12. AC_BE의 초당 프레임 전송 성공 횟수

결정할 수 있다. EDCA의 경우 단말의 수가 증가할수록 충돌의 급격한 증가에 따라 전송 성공 횟수가 급격히 감소함을 확인할 수 있다.

다섯 번째 실험으로 각 우선순위별 초당 전송 성공 횟수를 비교하였다. 그림 10, 11, 12에서와 같이 AC_VO의 경우 상대적으로 LDB의 성능이 AEDCF보다 낮게 나타나는 것으로 보이고 있다. 그러나 이것은 AEDCF가 부하가 증가할수록 다른 우선순위에 비하여 AC_VO 트래픽을 집중적으로 처리함을 나타내는 것으로 LDB는 서로 다른 우선순위의 트래픽을 효과적으로 처리한다고 할 수 있다. 이런 사

실은 그림 11과 12를 통하여 확인할 수 있다. AEDCF의 경우 AC_VO의 처리 능력은 우수하지만 AC_VI의 경우 제일 낮은 성능을 보이고 있으며, AC_BE의 트래픽도 EDCF보다 좋은 성능을 보이나 그 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 반면 제안된 LDB는 AC_VI, AC_BE 트래픽을 제일 우수하게 처리하고 있다. 이는 AC_VI, AC_BE 트래픽의 경우 기존의 EDCF나 AEDCF에 비해 매체 접속 권한이 우수하다는 것을 나타내며 AC_VO의 트래픽이 증가할수록 다른 우선순위의 접속 권한이 급격하게 떨어지는 다른 방법들에 비해 보다 우수한 트래픽 배분력을 보여준다.

마지막 실험으로 매체의 충돌을 비교하였다. 매체의 충돌은 효율적인 매체의 사용을 방해하는 요인이 되며, 이는 백오프 알고리즘의 성능 평가에 효율적인 척도가 될 수 있다. 그림 13은 초당 충돌 발생 수를 보여주고 있다. 제안된 LDB가 가장 적은 초당 충돌 발생 수를 발생함을 알 수 있다.

실험의 결과로 백오프 방법에 있어서 QoS를 보장하기 위해 우선순위 트래픽 별로 차별화된 권한이 주어져야 하며, 이 때 각각의 우선순위에 따른 적절한 비중이 고려된 서비스가 제공되어야 한다는 것을 알 수 있다.

본 논문에서 제안하고 있는 LDB는 기존의 BEB 방법에 비해 충돌의 수를 줄이면서 프레임 전송 확률을 높일 수 있는 장점이 있으나 각 단계를 위한 계산량이 기존의 방법에 비해서 크다는 문제점이 나타날 수 있다. 그러나 각 단계에서 요구하는 파라미터들은 통신 과정에서 쉽게 계산 될 수 있는 것으로 현재의 무선 랜 모듈의 칩 성능을 고려한다면 충분히 가능하다고 판단된다. 또한 프레임 길이의 변화와 다양한 형태의 트래픽 환경에서 성능 평가가 필요하다.

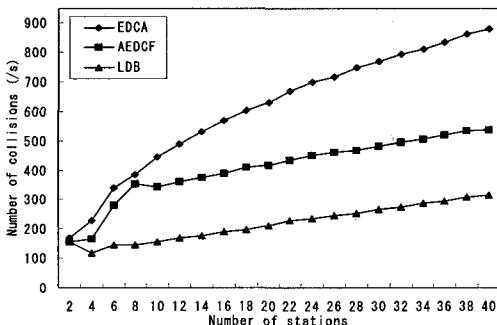


그림 13. 초당 충돌 수

V. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11 계열에서 표준으로 사용되었던 BEB 방법의 문제점을 해결하고, 단일 매체를 사용하는 경쟁 기반 환경의 경우에서 매체의 부하에 능동적으로 적응하여 매체의 이용률을 높일 수 있는 새로운 백오프 방법인 LDB를 제안하였다. LDB에서는 장주기 LDF를 예측하고 단주기 SDF를 계산하여 우선순위별로 차별화된 매체 결정 계수 $D_{medium}[AC]$ 를 계산하여 동적으로 백오프 윈도우를 결정하게 된다. 제안된 LDB는 기존의 표준에 추가적인 장치 구조의 변경 없이 백오프 방법만을 변경하여 매체를 보다 효과적으로 사용할 수 있는 장점이 있으며, 매체의 상태를 결정하는 각각의 인자들도 매체 접근 제어 환경 내에서 쉽게 산출할 수 있다. 또한 RTS/CTS 교환 메커니즘을 사용하여 인프라스트럭처 네트워크와 함께 애드 혹 네트워크 환경에서도 쉽게 적용할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] IEEE Std 802.11-1997, Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) specifications.
- [2] IEEE 802.11 WG, IEEE 802.11e/D6.0, "Draft Amendment to Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems-LAN/MAN Specific Requirements-Part 11: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications: Medium Access Control(MAC) Quality of Service (QoS) Enhancements", Nov. 2003.
- [3] Sunghyun Choi, "Overview of emerging IEEE 802.11 protocols for MAC and Above", *Telecommunications Review*, special edition, pp.102-127, 2003
- [4] Yang Xiao, "IEEE 802.11e: QoS Provisioning at the MAC layer", *IEEE Wireless Communications*, Vol.11, No. 3, pp.72-79, June 2004.

- [5] Seung-Seok Kang, Matt W. Mutka, "Provisioning service differentiation in ad-hoc networks by modification of the backoff algorithm", Conference of IEEE Computer Communications and Networks, pp.577-580, Oct. 2001.
- [6] Zygmunt J. Haas, Jing Deng, "On optimizing the backoff interval for random access schemes", *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 51, No. 12, pp.2081-2090, Dec. 2003.
- [7] Romdhani, L., Qiang Ni, Turletti, T., "Adaptive EDCF: enhanced service differentiation for IEEE 802.11 wireless ad-hoc networks", *IEEE WCNC*, Vol. 2, pp.1373-1378, March 2003.
- [8] Sang-Jo Yoo, "Efficient traffic prediction scheme for real-time VBR MPEG video transmission over high-speed networks", *IEEE Transactions on Broadcasting*, Vol. 48, No. 1, pp.10-18, March 2002.
- [9] The Network Simulator-ns2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [10] TKN, Design and Verification of an IEEE 802.11e EDCF simulation model in ns-2.26, Berlin, Nov. 2003.
- [11] Mangold, S., Sunghyun Choi, Hiertz, G.R., Klein, O., Walke, B., "Analysis of IEEE 802.11e for QoS support in wireless LANs", *IEEE Wireless Communications*, Vol. 10, No. 6, pp.40-50, Dec. 2003.

서 창 근(Chang-Keun Seo)

준회원



2004년 2월 인하대학교 전자공학
학과(공학사)
2004년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정
<관심분야> 인터넷 QoS, Wireless MAC, UWB

왕 위 동(Weidong Wang)

준회원



2001년 7월 Harbin Institute of
Technology, China(공학사)
2001년 7월 Huawei Technologies, ZTE Corp. China,
Engineer
2003년 8월~현재 인하대학교
정보통신대학원 석사과정
<관심분야> Ad-hoc network, Wireless MAC, UWB

유 상 조(Sang-Jo Yoo)

정회원



1988년 2월 한양대학교 전자통신학과(공학사)
1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
2000년 8월 한국과학기술원 전자전신학과(공학박사)
1990년 3월~2001년 2월 KT 연

구개발본부

2001년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수
<관심분야> 인터넷 QoS, 초고속 통신망 구조, 멀티미디어 네트워킹, 트래픽 엔지니어링