

유무선랜 환경에서 TCP Flow의 성능향상을 위한 MAC 계층과 TCP 계층의 연동기법

(Interaction Between TCP and MAC-layer to Improve TCP Flow Performance over WLANs)

김재훈[†] 정광수^{**}
 (Jaehoon Kim) (Kwangsue Chung)

요약 최근 무선 랜은 SOHO (Small Office Home Office) 및 Hot Spot과 같은 환경에서 공간의 제약에 구애 받지 않고, 인터넷에 접속할 수 있는 기술로서 사용자의 요구가 크게 증가하였다. 하지만, 무선 랜 환경에서의 통신은 유선망과 달리 불안정한 무선 채널의 특성으로 인해 연접적인 패킷 손실이 발생하여 통신상의 제약이 많은 특징을 가진다. 연접적인 패킷 손실은 AP(Access Point)와 무선 단말의 거리가 증가하거나, AP와 무선 단말사이에 장애물 등이 일시적으로 지나갈 때 주로 발생하는 현상이다. 결국, 현재 인터넷상에서 가장 광범위하게 사용되고 있는 무선 랜 기술인 IEEE 802.11은 이러한 특성으로 인해 사용자의 요구에 만족할만한 전송 성능을 나타내지 못하며, 특히 전송 계층에 TCP가 사용될 경우 불필요한 혼잡 제어 기법을 사용하게 함으로써 심각한 성능저하를 야기한다.

이러한 무선 랜 환경의 문제점을 해결하기 위해 MAC-layer LDA(Loss Differentiation Algorithm)가 제안 되었다. MAC-layer LDA는 MAC 계층의 Retry limit을 기반으로 CRD(Consecutive Retry Duration)를 무선 구간의 연접된 패킷손실 기간 이상 증가시켜, TCP의 불필요한 Timeout 발생 이전에 손실된 패킷을 효율적으로 복구하는 기법이다. 하지만, MAC-layer LDA 기법은 한정된 Retry limit의 증가로 인해 CRD가 연접된 패킷 손실 구간 보다 적은 경우가 발생하여 심각한 전송성능 저하를 가져온다. 또한, CRD의 증가는 무선 구간의 패킷 처리 시간을 증가시켜 대역폭과 무선 단말의 한정된 에너지 자원을 불필요하게 낭비하는 문제를 초래한다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 Cross-layer 기법을 적용한 재전송 기법인 BLD(Burst Loss Detection) 모듈을 제안한다. BLD 모듈의 알고리즘은 현재 무선 랜 환경에서 가장 널리 사용되는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜 기반의 재전송 기법으로서, MAC 계층과 TCP에서 사용되는 재전송 기법의 효율적인 연동을 통해 손실된 패킷을 복구한다. ns-2(Network Simulator) 시뮬레이터를 이용한 실험을 통해 BLD 모듈은 무선 구간의 연접적인 패킷 손실에 대해 효율적인 보상을 수행하여 전송 성능과 에너지 효율성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

키워드 : TCP, Cross-layer, CRD, Retry limit, 프로토콜의 에너지 효율

Abstract In recent years, the needs for WLANs(Wireless Local Area Networks) technology which can access to Internet anywhere have been dramatically increased particularly in SOHO(Small Office Home Office) and Hot Spot. However, unlike wired networks, there are some unique characteristics of wireless networks. These characteristics include the burst packet losses due to unreliable wireless channel. Note that burst packet losses, which occur when the distance between the wireless station and the AP(Access Point) increase or when obstacles move temporarily between the station and AP, are very frequent in 802.11 networks. Conversely, due to burst packet losses, the performance of 802.11

· 이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R01-2005-000-10934-0)

† 학생회원 : 팽운대학교 전자통신공학과
 jhkim@adams.kw.ac.kr

** 종신회원 : 팽운대학교 전자통신공학과 교수
 kchung@kw.ac.kr

논문접수 : 2007년 7월 9일
 심사완료 : 2007년 11월 28일

Copyright © 2008 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제35권 제2호(2008.4)

networks are not always as sufficient as the current application require, particularly when they use TCP at the transport layer. The high packet loss rate over wireless links can trigger unnecessary execution of TCP congestion control algorithm, resulting in performance degradation.

In order to overcome the limitations of WLANs environment, MAC-layer LDA(Loss Differentiation Algorithm) has been proposed. MAC-layer LDA prevents TCP's timeout by increasing CRD(Consecutive Retry Duration) higher than burst packet loss duration. However, in the wireless channel with high packet loss rate, MAC-layer LDA does not work well because of two reason: (a) If the CRD is lower than burst packet loss duration due to the limited increase of retry limit, end-to-end performance is degraded. (b) energy of mobile device and bandwidth utilization in the wireless link are wasted unnecessarily by Reducing the drainage speed of the network buffer due to the increase of CRD.

In this paper, we propose a new retransmission module based on Cross-layer approach, called BLD(Burst Loss Detection) module, to solve the limitation of previous link layer retransmission schemes. BLD module's algorithm is retransmission mechanism at IEEE 802.11 networks and performs retransmission based on the interaction between retransmission mechanisms of the MAC layer and TCP. From the simulation by using ns-2(Network Simulator), we could see more improved TCP throughput and energy efficiency with the proposed scheme than previous mechanisms.

Key words : TCP, Cross-layer, CRD, Retry limit, Energy efficiency of mobile devices

1. 서론

오늘날 무선 환경에서 인터넷을 사용할 수 있는 무선 인터넷의 보급으로 인해 무선 랜 기술은 그 사용자가 크게 증가하고 있다. 무선 랜 환경은 공간의 제약에 구애 받지 않고 인터넷에 접속할 수 있는 장점으로 인해 다가오는 유비쿼터스(Ubiquitous) 컴퓨팅 시대에 필수적인 기반 기술이다. 하지만, 무선 랜 환경에서의 통신은 유선망과 다른 특성으로 인해 통신상의 제약이 많은 특징을 가진다. 예를 들면, 무선 랜 환경은 비 신뢰적인 무선 채널을 사용함으로써 잡음(Noise), 페이딩(Fading), 간섭(Interference) 등에 의한 높은 비트 에러율(Bit Error Rate: BER)과 패킷 손실의 연접성을 가진다[1].

현재 인터넷상에서 가장 광범위하게 사용되고 있는 전송 규약인 TCP는 혼잡 제어 기법(Congestion Control)을 사용하여 망의 혼잡을 파악하고 전송률을 조절하여 불필요한 패킷 손실을 예방하고, 종단간의 신뢰성을 보장하는 기술이다. 이러한 기존 TCP의 혼잡 제어 기법은 유선망을 기반으로 디자인되었기 때문에 모든 패킷 손실의 원인을 혼잡으로 인식하여 무선구간이 포함된 무선 랜 환경에서는 한계를 가지게 된다. 즉, 전송 에러에 의해 패킷 손실이 발생하였을 때, 기존 TCP는 패킷 손실의 원인을 혼잡에 의한 것으로 인식하고 불필요한 혼잡 제어를 수행한다. 이와 같은 기존 TCP의 동작 방식은 패킷 손실의 원인을 구별하지 못하여 발생하는 반복된 패킷 손실과 재전송으로 인해 무선망의 한정된 대역폭을 효율적으로 사용하지 못하는 문제를 가지게 된다[2,3].

최근 이러한 문제를 해결하기 위해 IEEE 802.11 MAC 프로토콜의 재전송 파라미터인 Retry Limit을 조

절하여 TCP의 전송 성능을 향상 시키는 기법들이 다양하게 연구되었다[4-9].

위의 다양한 메커니즘 중에서 MAC-layer LDA(Loss Differentiation Algorithm)은 연접된 패킷 손실이 발생하는 무선 구간에서 송신단의 불필요한 TCP 혼잡제어 발생을 방지하여 TCP의 전송률을 매우 효과적으로 향상시키는 것으로 알려졌다[8].

MAC-layer LDA는 MAC 계층의 CRD(Consecutive Retry Duration)를 무선 구간의 연접된 패킷손실 기간 이상 증가시켜 TCP의 불필요한 Timeout 발생을 효과적으로 제거하는 기법이다. 하지만, MAC-layer LDA 한정된 Retry Limit의 증가로 인해 CRD가 연접된 패킷 손실 구간 보다 적은 경우 심각한 전송성능 저하를 가져올 뿐만 아니라, 다수의 사용자가 하나의 채널을 공유하는 무선 환경에서 CRD의 증가는 무선 구간의 패킷 처리시간을 증가 시켜 대역폭과 무선 단말의 한정된 에너지 자원을 불필요하게 낭비하는 문제를 초래한다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 Cross-layer 기법을 적용한 지역 재전송 기법인 BLD(Burst Loss Detection) 모듈을 제안한다. BLD 모듈의 알고리즘은 현재 무선 랜 환경에서 가장 널리 사용되는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜 기반의 재전송 기법으로서, MAC 계층과 TCP에서 사용되는 에러 복구 기법의 효율적인 연동을 통해 손실된 패킷을 복구한다. ns-2(Network Simulator) 시뮬레이터를 이용한 실험을 통해 BLD 모듈은 무선 구간의 연접적인 패킷 손실에 대해 기존의 재전송 기법보다 효율적인 보상을 수행하며, 네트워크 내의 전송 지연을 최소화 하여 무선 단말의 에너지 효율성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 무선 랜 환경에서 주로 사용되는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜 기법과 이러한 무선 랜 환경에서 기존 TCP와 재전송 기법인 MAC-layer LDA의 문제점에 대해 기술하고, 3장에서는 본 논문이 제안하는 새로운 재전송 기법에 대해 설명한다. 4장에서는 제안한 재전송 기법의 성능을 평가하기 위한 실험과 5장에서는 결론 및 향후 과제에 대해 기술한다.

2. 관련 연구

본 장에서는 무선 랜 환경에서 주로 사용되는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜의 기본개념에 대해 알아보고, 무선 랜 환경에서 기존 TCP의 문제점에 대해 설명한다. 또한, 기존 MAC 계층의 재전송 기법인 MAC-layer LDA 기법과 문제점에 대해서 기술한다.

2.1 IEEE 802.11 MAC 프로토콜

현재 IEEE 802.11이 무선 랜의 물리 계층과 데이터 링크 계층에 대한 표준을 기술하고 있다. 무선 랜은 무선 단말기로만 이루어진 Ad-Hoc 네트워크와 혹은 유선 네트워크와 혼합된 인프라스트럭처(infrastructure) 네트워크로 구성될 수 있으나, 본 논문에서는 그림 1과 같이 무선 랜과 유선 네트워크가 복합된 인프라스트럭처 네트워크에 초점을 두기로 한다. IEEE 802.11은 충돌 감지 방식을 사용하는 유선 랜과 달리 충돌 회피 방식인 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple access/Collision Avoidance)기법을 사용하고 있다.

그림 2는 CSMA/CA 동작 원리를 간단히 나타낸 것이다. 데이터를 전송할 송신단(Source Node)은 무선 링크가 사용 중인지 아닌지를 먼저 확인한다. 만약 무선 링크가 사용 중이면, 일정 시간 기다린 후 다시 시도한다. 이후 무선 링크가 사용되지 않음이 판단되면, RTS

(Request To Send)라는 제어 메시지를 브로드 캐스팅한다. RTS 메시지에는 수신단(Destination Node)의 주소와 전송 시간이 적혀 있는데, 이를 통하여 무선 링크를 사용하고자 하는 주변 노드(Other Node)들은 얼마 동안 기다려야 하는지를 예측할 수 있다. 한편, RTS를 받은 수신단은 충돌 위험이 없을 경우에만 CTS(Clear To Send)라는 메시지를 송신단에 전송한다. CTS를 받은 RTS 메시지의 송신단은 충돌에 대한 걱정 없이 데이터를 보내고, 데이터에 대한 ACK 패킷을 기다리게 된다. 만약 일정 시간까지 ACK 패킷을 받지 못한다면, 기존의 정의된 재전송 기법을 이용하여 데이터 전송이 성공할 때까지 재전송을 수행한다.

IEEE 802.11 MAC 프로토콜의 재전송 기법은 그림 3과 같이 미리 정의된 일정 시간(Timeout)동안 ACK 패킷을 받지 못하였을 경우 Stop & Wait 기법을 기반으로 데이터 전송이 성공할 때까지 재전송을 수행한다. 만약, 미리 정의된 재전송 카운터인 Retry Limit까지 재전송을 수행하여 송신단이 ACK 패킷을 수신하지 못하였을 경우 더 이상 재전송을 수행하지 않는다. IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 재전송에 실패한 패킷을 전송 버퍼 내에서 삭제하며, 버퍼 내의 다음 패킷의 전송을 시도한다.

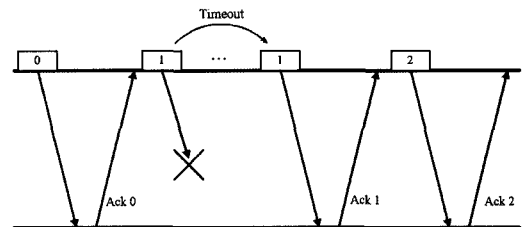


그림 3 IEEE 802.11의 재전송 기법

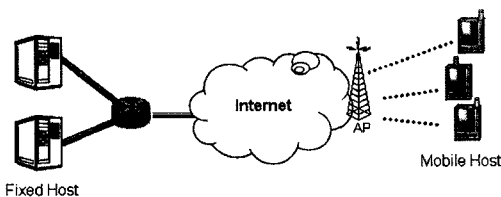


그림 1 유무선 망이 복합된 무선 랜 환경

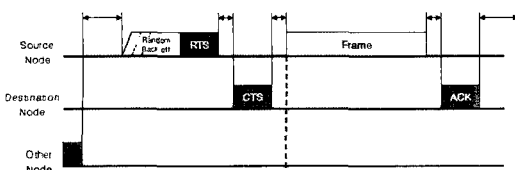


그림 2 IEEE 802.11의 충돌 회피 기법

2.2 무선 랜 환경에서 기존 TCP의 문제점

TCP는 ACK 메커니즘을 통해 신뢰성있는 스트림 서비스를 제공하기 위한 전송 계층 프로토콜로서 현재 인터넷에서 가장 널리 사용되고 있는 프로토콜이다. 그러나 TCP는 초창기 유선망에 적합하도록 설계되었기 때문에 무선 환경에서 최적의 성능을 달성할 수 없다는 것이 이미 알려져 있다. 이것은 TCP 데이터 흐름이 모든 패킷 손실을 네트워크 혼잡에 의한 것이라고 가정하고 보내는 데이터양을 조절하지만, 무선 환경에서는 무선 채널 에러에 의한 패킷 손실도 발생하기 때문이다. TCP는 이를 구별할 수가 없기 때문에 모든 패킷 손실을 네트워크 혼잡으로 간주하여 데이터 흐름 및 혼잡 제어 알고리즘을 수행한다. 이는 무선 환경에서 TCP의 성능저하의 주된 원인이다.

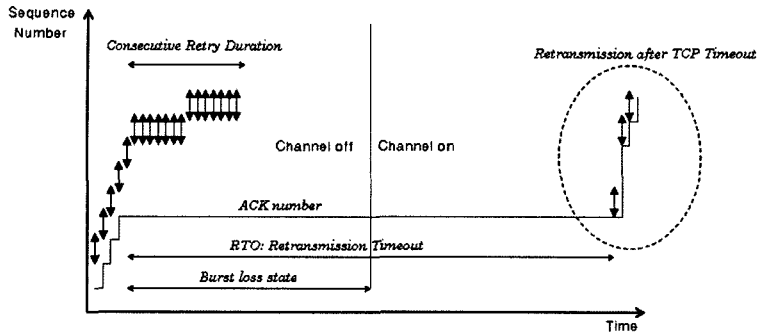


그림 4 TCP의 Timeout 이후 재전송

무선 환경에 적합하게 설계되지 않은 TCP를 패킷 손실이 연접적으로 발생하는 IEEE 802.11기반 무선 랜 환경에서 사용할 경우 그림 4와 같이 TCP의 성능 저하 문제가 발생한다.

그림 4는 무선 구간에서 연접적으로 패킷 손실이 발생하는 구간인 Channel off가 존재하는 환경에서 TCP의 Timeout발생과 Slow Start과정을 나타낸 것이다. Channel off 기간 중에 TCP의 전송 윈도우내의 남은 패킷은 2개로 가정하였다. 2.1절에서 언급한 것과 같이 Channel off가 발생한 무선 랜 환경에서 IEEE 802.11 MAC계층은 각 패킷 마다 미리 정의 되어진 Retry Limit 값만큼 재전송을 수행한다. 현재 무선 채널의 상태를 알지 못하는 TCP는 전송 윈도우 안에서 아직 남아 있는 2개의 패킷을 전송하고, MAC 계층은 수신된 패킷을 계속해서 Retry Limit 만큼 재전송을 수행한다. 이는 MAC 계층에서 연속적인 재전송 구간인 CRD (Consecutive Retry Duration)를 갖도록 한다. 결국, MAC 계층의 재전송은 모두 실패하고, TCP는 Timeout이 발생하여 무선 구간의 채널 상태가 좋은 환경에서 불필요한 Slow Start 수행으로 급격한 전송률 저하가 발생한다.

그림 5는 연접된 패킷 손실률을 증가시켜 Channel off 구간을 증가시켰을 때 TCP의 전송률을 나타낸 것이다. 그림 5와 같이 무선 구간의 Channel off 구간이 CRD 이상 증가할 경우 TCP의 Timeout 발생으로 인

한 Slow Start의 수행으로 IEEE 802.11기반의 무선 랜 환경에서 TCP의 성능은 급격히 저하된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 CRD 구간을 증가시켜 TCP의 Timeout 발생을 효과적으로 막는 MAC 계층 기반의 재전송 기법인 MAC-layer LDA기법이 제안되었다.

2.3 기존 재전송 기법의 문제점

본 절에서는 2.2절에서 언급한 IEEE 802.11기반의 무선 랜 환경에서 기존 TCP의 문제를 MAC 계층의 Retry Limit 값을 기반으로 개선한 MAC-layer LDA의 소개 및 단점에 대해서 기술한다.

MAC-layer LDA는 기본적으로 MAC 계층의 Stop & Wait ARQ기법을 이용하지만, 2.2절에서 언급한 문제점을 해결하기 위해서 무선구간에 연접적인 패킷 손실이 발생 하였을 때, CRD 값을 연접적인 패킷 손실 구간이상 증가시키는 기법이다. 이를 통해 TCP의 빠른 복구(Fast Recovery)를 도와 Timeout을 예방하고, 전송률의 저하를 완화하는 기법이다.

$$CRD = f(RTT, cwnd, window, Retry\ limit, CW) \quad (1)$$

식 (1)은 MAC 계층과 TCP에서 CRD 값에 영향을 주는 파라미터를 나타낸 것이다. 즉, CRD 값을 증가시킬 수 있는 값으로 TCP 프로토콜에서 사용하는 파라미터인 RTT, cwnd, window값 또는 현재 MAC 계층에서 사용되는 파라미터인 Retry limit, CW(Contention Window) 값들을 기반으로 표현한 것이다. CRD를 연접된 패킷 손실 구간 이상 증가시키기 위해 식 (1)과 같

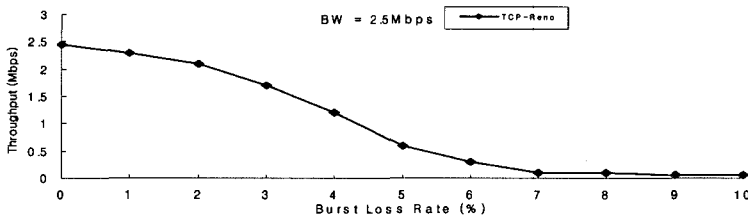


그림 5 연접된 패킷 손실률에 따른 TCP의 전송률

이 CRD 값에 영향을 주는 다양한 파라미터 중에서 TCP의 window 값을 증가 시키는 것은 네트워크의 혼잡 상황에서 재전송을 급격히 증가 시킬 수 있는 문제점을 가지고 있다. 또한, MAC 계층에서 사용되는 CW 파라미터를 증가시키는 것은 다수의 사용자가 하나의 무선 채널을 공유하는 무선 랜과 같은 환경에서 채널 접근의 불공정성을 유발할 수 있다. 따라서, 네트워크의 성능에 직접 적으로 영향을 주지 않는 값인 Retry Limit 값을 기반으로 현재 무선 채널의 상태에 따라 CRD 값을 증가 시킨다. 먼저, MAC-layer LDA는 무선 채널의 상태를 파악하기 위해서 MAC 계층에서 데이터 전송률을 조절하기 위해 사용하는 기법인 ARF (Auto Rate Fallback)를 기반으로 한다[9].

ARF 기법은 SNR(Signal to Noise Ratio)을 기반으로 무선 채널의 현재 상태를 파악하고, 전송률을 조절하여 무선 구간에서 발생하는 패킷 손실률을 완화하는 기법이다. 이러한 ARF 기법을 기반으로 MAC-layer LDA는 Retry limit을 그림 6과 같이 조절 한다.

MAC-layer LDA는 그림 6과 같이 채널 상태를 기반으로 전송률을 조절하는 ARF기법을 토대로 Retry limit 값을 조절하는 알고리즘을 사용한다. 전송률이 높을 경우 채널 상태가 좋은 것으로 판단하고, 기존 MAC 계층의 Retry limit 값을 사용하여 재전송을 수행한다. 반면

```

If(Data Rate >= 12Mbps) then Retry limit = 6
Else if(Data Rate > 6Mbps) Retry limit = 12
Else if(Data Rate <= 6Mbps) Retry limit = 18
    if(new segment) && (last segment dropped)
        Retry limit = Retry limit + 6
    end if
End if
    
```

그림 6 MAC-layer LDA의 Retry limit 조절 알고리즘

에 전송률이 낮을 경우 채널 상태가 좋지 않은 것으로 판단하고 재전송 횟수를 결정하는 Retry limit 파라미터 값을 최대 18개 까지 조절한다. 즉, 그림 7과 같이 연결된 패킷 손실이 발생하는 무선 환경에서 Retry limit 값을 기반으로 CRD 값을 증가시켜 기존 TCP의 Timeout 발생을 예방하고, 빠른 복구를 도와 무선 랜 환경에서 발생하는 TCP의 전송률 저하 문제를 완화한다.

하지만, MAC-layer LDA는 전송 성능 과 무선 단말의 에너지 효율적인 두 가지 측면에 대해 한계를 지닌다.

$$Transmission\ Delay = \sum^{swind} (Retry\ Limit \times Transmission\ time) \quad (2)$$

첫째, 최대 18개라는 한정된 Retry limit의 조절 기법으로 인해 CRD가 연결된 패킷 손실 구간 보다 적은 경우 심각한 전송성능 저하를 가져오며, 다수의 유저가 하나의 채널을 공유하는 무선 랜 환경에서 연결된 패킷 손실 구간동안 하나의 패킷을 계속해서 재전송하는 것은 무선 구간의 패킷 처리시간을 증가시켜 다른 플로우의 전송시간 지연을 유발한다. 식 (2)는 같은 채널을 공유하는 다른 플로우의 증가된 전송 시간을 Retry Limit 이 증가된 양(Retry Limit), MAC 계층에서 하나의 프레임 전송하기 위해 소모되는 시간(Transmission time), 송신단 TCP의 전송 윈도우 내에서 아직 전송하지 못한 패킷의수(swind)를 가지고 표현할 수 있다.

둘째, 무선 단말의 에너지 효율성 측면에서의 문제점이다. 에너지 효율성 문제의 언급에 앞서 무선 단말에서 전송계층의 에너지 소비 형태에 대해 간단히 기술한다.

무선 단말의 전송계층에서 소비되는 에너지의 형태는 그림 8과 같이 표현될 수 있다. 데이터 통신으로 인하여 전송 계층에서 소비되는 전체 에너지 ETotal(Total Energy Consumption)은 크게 유휴 상태 동안 소비되는 에너지 EIdle(Idle Energy Consumption)과 패킷의 송수신에 의해 소비되는 에너지 ETX(Transmitted

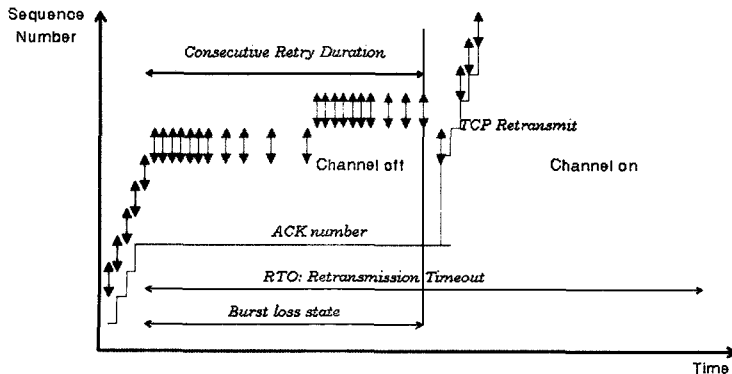


그림 7 MAC-layer LDA의 재전송 과정

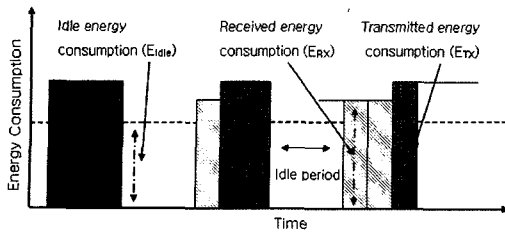


그림 8 전송 계층의 에너지 소비 형태

Energy Consumption) 및 ERX(Received Energy Consumption)로 구분할 수 있다. 또한 유휴 상태 기간(Idle State Period)을 TIdle(Idle Time), 패킷을 송신하는데 걸리는 시간을 TTX(Transmitted Time)와 패킷을 수신하는데 걸리는 시간을 TRX(Received Time)로 표현하면, 데이터 통신 기간 중에 전송 계층에서 소비한 에너지를 식 (3)과 같이 표현할 수 있다[10].

$$E_{Total} = E_{Idle} T_{Idle} + E_{TX} T_{TX} + E_{RX} T_{RX} \quad (3)$$

식 (3)을 바탕으로 MAC-layer LDA의 비효율적인 에너지 소비 문제를 살펴보면 앞서 언급했듯이 다른 유저의 전송 시간 지연으로 인한 유휴 상태 동안에 소비되는 에너지의 양($E_{Idle} \cdot T_{Idle}$)을 증가 시키게 되며, 둘째로는 연결된 패킷 손실구간에서 증가된 Retry Limit 수만큼 계속되는 재전송 실패로 인해 송수신에 소비되는 에너지의 양(E_{TX}, E_{RX})을 증가 시키는 문제를 발생시킨다. 즉, 다수의 무선 단말이 하나의 무선 채널을 공유하는 IEEE 802.11 기반의 무선 랜 환경에서 MAC-layer LDA는 앞서 언급한 두 가지 이유로 네트워크 내부의 무선 단말들의 전체적인 에너지 소모량을 증가시킨다.

3. Cross-layer 기반의 BLD 기법

본 장에서는 2.3절에서 지적한 MAC-layer LDA의 전송 지연과 에너지 비효율성의 문제점을 개선하기 위해 새롭게 제안한 BLD(Burst Loss Detection) 모듈의 알고리즘에 대해 기술한다. BLD 모듈은 MAC-layer LDA 기법이 갖는 문제점을 해결하기 위해 IEEE 802.11 기반의 무선 랜 환경에서 Cross-layer 기법을 적용한 새로운 재전송 프로토콜이다[11,12].

새롭게 제안된 BLD 모듈은 MAC 계층과 TCP에서 사용하는 에러 복구 기법의 효율적인 연동을 통해 무선 구간의 전송률을 향상시켰으며, 무선 단말의 에너지 효율성 또한 향상시켰다.

3.1 BLD 기법의 시스템 아키텍처

현재 IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 무선 랜 환경에서 가장 보편적으로 사용되는 채널 접근 메커니즘이다. IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 MAC-ACK 기반의

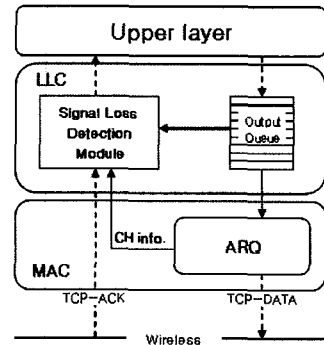


그림 9 BLD 모듈의 시스템 아키텍처

Stop & Wait ARQ 기법을 이용하여 데이터 전송의 신뢰성을 보장한다. BLD 모듈은 IEEE 802.11 기반의 MAC 계층과 TCP에서 사용하는 에러 복구 기법의 효율적인 연동을 통해 지역 재전송을 수행하는 프로토콜이다. 효율적인 재전송을 위해 BLD 모듈은 무선 구간에서 TCP 패킷의 처리시간(θ)을 기반으로 지역 재전송 타이머를 산출하여 TCP의 Timeout 발생을 예방하고, 이전에 손실된 패킷에 대해서도 지역적으로 빠르게 복구한다. 또한, MAC 계층의 프레임 처리시간(δ)을 기반으로 현재 무선 구간의 채널 상태에 따라 Retry Limit 값을 조절하여 다른 플로우의 전송 지연을 완화한다.

그림 9는 BLD 모듈의 시스템 아키텍처를 나타낸 것이다. 기존의 재전송 기법의 문제점을 개선하기 위해 그림 9에서 보는 바와 같이 시스템에 재전송 기능을 담당하는 BLD 모듈을 MAC 계층과 상위 계층 사이에 추가하였다. 그림 9와 같은 시스템 아키텍처가 가지는 장점은 MAC 계층과의 연동을 통해 현재 채널의 상태를 빠르게 판단하여 효율적인 재전송을 수행할 수 있으며, 상위 계층 프로토콜인 TCP와의 연동을 통해서 TCP의 Timeout 발생으로 인한 전송률 저하 문제를 해결할 수 있다.

BLD 모듈은 TCP와의 연동을 통해 전송 버퍼로 수신되는 모든 TCP 패킷을 확인하여 패킷의 목적지를 알 수 있는 필요 정보를 확인한다. 확인된 패킷은 무선 채널로의 전송을 위해 MAC 계층으로 전달되기 이전에 해당 패킷을 재전송 버퍼에 저장하고, 현재 무선 채널의 상태를 나타내는 패킷의 전송 성공 여부에 대한 정보를 MAC 계층의 ARQ로부터 전달되기를 기다린다. 만약, 전송에 성공할 경우 BLD 모듈은 저장되었던 패킷을 재전송 버퍼로부터 제거하고, Retry Limit을 조절하기 위한 δ 값을 갱신한다. 또한, 이전에 같은 목적지를 갖는 패킷이 재전송 버퍼에 저장되었다면, 전송 버퍼 내에 있는 패킷 보다 우선순위를 가지고 재전송을 수행한다. 반면에, 전송 실패에 대한 정보를 MAC 계층의 ARQ로부터

터 수신한 경우 TCP Timeout 발생 이전에 재전송을 수행하기 위해 δ 값을 기반으로 산출된 재전송 타이머로 손실된 패킷을 관리한다. 또한, 현재의 채널 공유상태를 확인하여 δ 값을 기반으로 Retry Limit을 조절한다. 이러한 BLD 모듈의 하위 계층 및 상위 계층과의 연동 과정과 Retry Limit 조절 및 재전송 타이머의 산출 기법은 3.2, 3.3과 3.4절에서 자세히 기술한다.

3.2 MAC 계층과의 상호 작용

IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 기본적으로 무선 구간에서 신뢰할 수 있는 데이터 전송을 보장하기 위해서 MAC계층의 ACK 패킷을 기반으로 한 Stop & Wait ARQ 기법을 사용한다. 따라서 무선 구간의 전송 손실은 MAC 계층에서 가장 빠르게 판단할 수 있다. 이러한 MAC 계층의 정보를 BLD 모듈에서 이용하기 위해 MAC 계층에 전송 여부를 BLD 모듈로 전달하기 위한 MAC-Interface를 정의한다. MAC-Interface는 MAC 계층의 응답 패킷(MAC-ACK)의 수신여부를 기반으로 무선구간의 전송 성공과 실패를 빠르게 판단하고, Channel-on 또는 Channel-off 이벤트를 발생시켜 패킷의 전송 여부에 대한 정보를 BLD 모듈로 통보하여 효율적인 지역 재전송을 수행하게 한다. MAC-Interface에서 BLD 모듈로 발생 시키는 두 가지의 이벤트에 대한 설명은 다음과 같다.

- Channel-on 이벤트: 전송을 성공한 경우에 발생하는 이벤트로서, 수신단으로부터 전송한 패킷에 대한 MAC-ACK 패킷을 수신한 경우 BLD 모듈로 통보하는 이벤트이다.
- Channel-off 이벤트: MAC 계층에서 해당 패킷을 전송하지 못하였을 경우에 발생하는 이벤트다. 즉, 미리 정의 되어진 Retry Limit 만큼 재전송을 수행하여도 전송한 패킷에 대해 MAC-ACK 패킷을 수신하지 못하여 Timeout이 발생 하였을 때 BLD 모듈에게 통보하는 이벤트이다.

3.3 상위 계층과의 상호작용

BLD 모듈은 상위 계층으로부터 수신되는 패킷을 조사하여 재전송 타이머를 위한 패킷의 수신 시간을 포함

한 필요한 모든 정보를 저장한다. 3.1절에서 언급한 것과 같이 BLD 모듈은 하위 계층으로 전달되기 직전에 전송할 패킷을 저장한다. 패킷이 하위 계층으로 전달된 이후에 BLD 모듈은 MAC-Interface로부터 해당 패킷에 대한 전송 성공 여부와 관련된 이벤트가 발생되기를 기다린다. 만약 Channel-on 이벤트가 MAC-Interface로부터 발생된 경우 BLD 모듈은 해당 패킷을 버퍼에서 삭제하고, Retry Limit의 조절을 위해 δ 값을 갱신한다. 또한 이전의 전송 실패로 인해 저장한 패킷이 같은 목적지를 가지고 있을 경우, 전송 버퍼내의 패킷보다 높은 우선순위를 가지고 손실된 패킷을 재전송 한다. 반면에, 전송한 패킷에 대해 MAC-Interface로부터 Channel-off 이벤트가 발생한 경우에는 재전송을 위해 손실된 패킷을 재전송 버퍼에 저장하고, δ 값을 기반으로 산출된 재전송 타이머로 저장된 패킷을 관리한다.

3.4 재전송 타이머 산출 및 Retry Limit 조절 기법

IEEE 802.11은 2.1절에서 언급한 것과 같이 CSMA/CA를 기본적인 매체 접근 메커니즘으로 사용한다. 또한, 하나의 추가 옵션으로써 MAC 계층의 데이터 패킷과 응답 패킷을 주고받기 전에 RTS/CTS 패킷을 교환한다. 이러한 매체 접근 방법은 무선구간에서 패킷 충돌을 최소화 하는 효율적인 방법으로 알려져 있다. 그림 10은 이러한 매체 접근 방법을 이용한 하나의 MAC 프레임 및 TCP 패킷의 전송과정을 나타낸 것이다.

T_{out} 에서 소스 노드는 데이터를 전송하기 위해서 매체 접근 메커니즘을 수행하며, 매체가 전송 범위 내의 다른 노드에 의해 점유되었음을 감지하고 Backoff 윈도우의 초기 크기와 함께 지수급수 백오프(Exponential backoff) 알고리즘을 수행한다. 그 후에 소스 노드는 매체가 다른 노드에 의해 점유되지 않음을 감지하고, 매체를 점유하기 위해 RTS 프레임의 목적지 노드로 전송한다. RTS 프레임을 수신한 노드는 SIFS(Short Inter-Frame Space)의 시간 후에 자신의 전송범위 내에 있는 모든 노드의 NAV(Network Allocation Vector) 갱신을 위해 CTS 프레임으로 응답한다. 이러한 과정 이후에 소스 노드는 데이터 패킷을 전송하며, 그 패킷을 정확히 수신한 목적

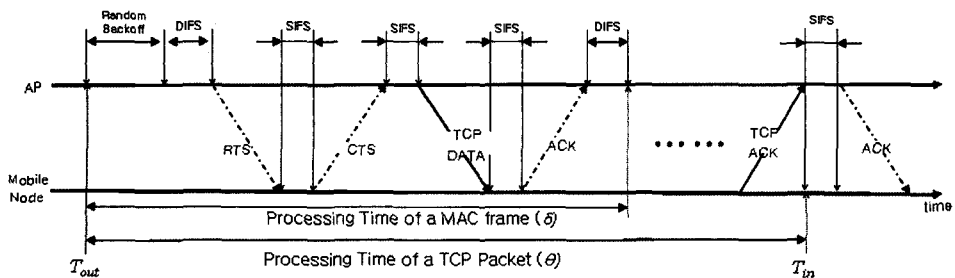


그림 10 TCP 패킷 및 MAC 프레임의 전송과정

지 노드는 ACK 패킷을 전송한다. T_{in} 에서 소스 노드는 목적지 노드로부터 TCP의 확인 응답 패킷(TCP-ACK)을 수신하게 된다.

BLD 모듈은 손실된 패킷을 TCP의 Timeout발생 이전에 손실된 패킷을 복구하기 위해서 ϵ 값을 기반으로 재전송 타이머를 사용한다. 타이머를 산출하기위해 앞서 언급한 TCP-ACK의 수신시간 까지를 고려하여 θ 값을 식 (4)과 같이 계산하고, 전반적인 TCP 패킷의 처리 시간을 계산하기 위해서 식 (5)와 같이 재전송 타이머를 산출한다.

$$\theta_i = T_{in} - T_{out} \quad (4)$$

$$\bar{\theta}_i = (1-\alpha) \times \bar{\theta}_{i-1} + \alpha \times \theta_i \quad (5)$$

BLD 모듈은 무선 채널의 상태에 따라 Retry Limit 값을 조절하기 위해서 MAC 프레임의 처리시간을 기준으로 한다. 이는 프레임의 전송이 원활이 이루어지고 있을 경우에 소모되는 패킷의 처리 시간은 다른 플로우의 전송 시간 증가에 영향을 주지 않는 최소 단위이기 때문이다. 이러한 MAC 프레임의 계산 방법은 식 (6)과 같이 계산한다.

$$\delta_i = \sum_{i=0}^{RL} T_{Backoff}(i) + (RL+1)T_{rx} \quad (6)$$

식 (6)에서 $T_{backoff}$ 는 MAC 계층의 전송 과정에서 발생하는 Backoff 시간을 나타낸 것이고 T_{rx} 는 하나의 MAC 프레임을 전송하기 위해 소모되는 시간을 나타낸 것이다. 식 (7), (8)은 이 두 값의 계산식을 나타낸 것이다.

$$T_{Backoff}(i) = \text{Random}(0, CW_i) \times \text{timeslot} \\ = \frac{CW_i}{2} \times \text{timeslot} = 2^{k+i} - \frac{1}{2} \times \text{timeslot} \quad (7)$$

$$T_{rx} = t_{DIFS} + t_{PHY} + t_{MPDU} + t_{SIFS} + t_{PHY} + t_{ACK} \\ = t_{DIFS} + t_{SIFS} + \frac{2D_{PHY}}{\text{Basic_rate}} + \frac{(D_{MPDU} + D_{ACK})}{\text{Data_rate}} \quad (8)$$

BLD 모듈은 Channel-On 이벤트가 발생한 경우 전송을 성공하기위해 수행한 재전송 과정까지 고려한 시간을 기반으로 Channel-Off 이벤트가 발생 했을 때 식 (9)와 같이 계산된 값을 기반으로 재전송 횟수를 결정한다.

$$\bar{\delta}_i = \alpha \times \bar{\delta}_{i-1} + (1-\alpha) \times \bar{\delta}_i \quad (9)$$

그림 11은 이렇게 계산된 값들을 기반으로 BLD 모듈이 Channel-off, Channel-on 이벤트를 수신한 경우와 재전송 타이머가 만료된 경우에 동작 기법을 나타낸 것이다. 그림 11과 같이 MAC 프레임의 처리시간을 기반으로 BLD 모듈은 Channel-Off 상태가 되었을 때 현재 전송 버퍼에 다른 플로우가 존재하지 않을 경우 Retry

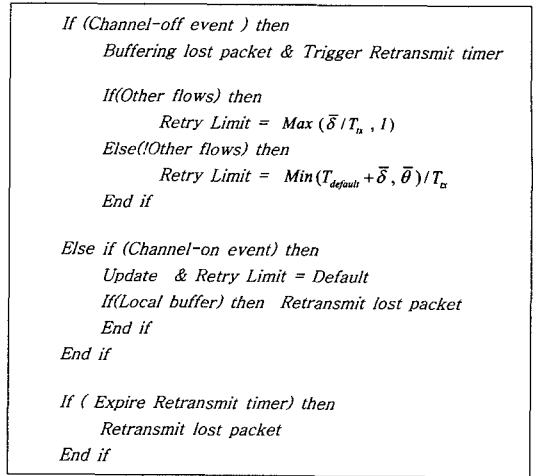


그림 11 BLD 모듈의 재전송 알고리즘

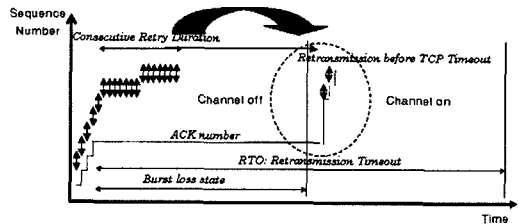


그림 12 증가된 Retry Limit으로 손실된 패킷 복구

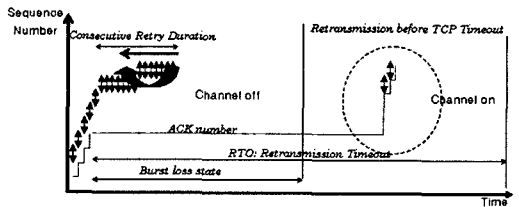


그림 13 재전송 타이머를 이용한 손실된 패킷 복구

Limit의 증가가 다른 플로우의 전송시간에 영향을 주지 않으므로 재전송 타이머 보다 Retry Limit 값이 크지 않는 한 $\bar{\delta}$ 만큼씩 증가시켜 손실된 패킷을 효율적으로 복구한다. 그림 12는 이러한 재전송 과정을 나타낸 것이다. 만약 다른 플로우가 전송 버퍼 안에 존재한다면, 그림 11과 같이 불필요한 Retry Limit증가로 인한 다른 플로우의 전송률 저하를 방지하기 위해서 Retry Limit 값을 $\bar{\delta}$ 만큼씩 줄이고 재전송 타이머를 이용하여 TCP의 Timeout 이전에 손실된 모든 패킷을 복구한다. 그림 13은 이러한 재전송 과정을 나타낸 것이다.

4. 실험 및 성능 평가

본 장에서는 새로 제안한 BLD 모듈의 성능 평가를

위해 무선 구간의 연접적인 패킷 손실이 발생하는 무선랜 환경에서 전송 성능 및 전송 지연과 지연에 따른 무선 단말의 에너지 효율성 실험을 LBNL(Lawrence Berkely National Laboratory)의 ns-2(network simulator)를 사용하여 수행하였고, 기존의 IEEE 802.11 기반의 MAC 계층 재전송 기법(802.11-MAC), MAC-layer LDA 기법과 비교, 평가하였다[13].

4.1 무선랜 환경에서의 전송 성능 실험

무선랜 환경은 신뢰성이 상대적으로 낮은 전송 매체인 무선 채널을 포함하고 있어 전송 에러에 의한 패킷 손실이 빈번히 발생한다. 따라서 본 절에서는 연접적인 패킷 손실이 발생하는 무선 채널을 가진 무선랜 환경에서 BLD 모듈의 성능 평가를 위해 802.11-MAC 기법 및 MAC-layer LDA 메커니즘과 전송 성능을 비교하였으며, 결과를 통해 BLD 모듈이 기존의 연구에 비해 무선랜 환경에서 더 효율적으로 동작한다는 것을 확인하였다.

4.1.1 실험 환경

무선랜 환경에서 제한한 BLD 모듈의 전송 성능을 평가하기 위해 그림 14와 같은 실험 환경을 구성하였다. 무선랜 환경에서 발생하는 연접적인 패킷 손실에 따른 전송 성능을 평가하기 위하여 무선 단말의 이동성을 배제한 환경으로 IEEE 802.11b MAC을 사용한 무선 링크를 설정하였다. 실험을 위한 파라미터 값은 표 1과 같다. 성능 평가를 위해 채널 오류에 의한 연접적인 패킷

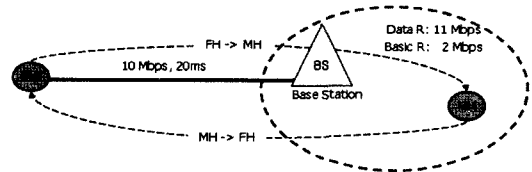


그림 14 실험 환경

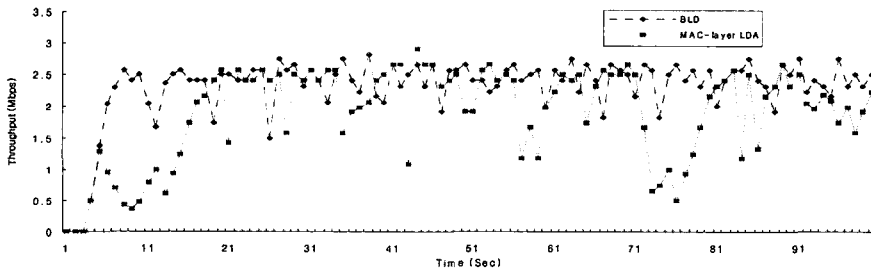
표 1 실험환경을 위한 파라미터 설정 정보

파라미터	값
Slot	20 μ s
SIFS	10 μ s
DIFS	50 μ s
PLCP Preamble +header	96 μ s
Data Rate	11 Mbps
Basic Rate	2 Mbps
TCP Mechanism	TCP-Reno

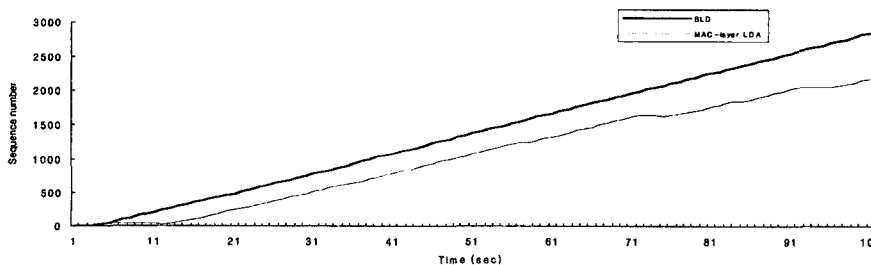
손실률을 0%~10%로 각각 나누어 실험을 하며, 총 100초 동안 1Kbytes 크기의 패킷을 계속적으로 전송한다. 유선 구간의 혼잡에 의한 패킷 손실을 방지하기 위해 경쟁하는 트래픽을 배제하였다.

4.1.2 무선랜 환경에서 BLD 모듈의 전송률 실험

그림 15와 16은 무선 구간의 연접적인 패킷 손실률이 4%와 7%로 두어 100s동안 FH에서 MH로 전송을 하였을 경우, BLD 모듈과 MAC-layer LDA 기법의 전송

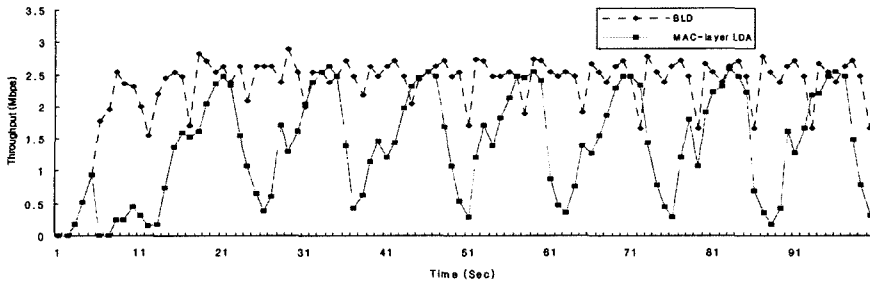


(a) 전송률 비교

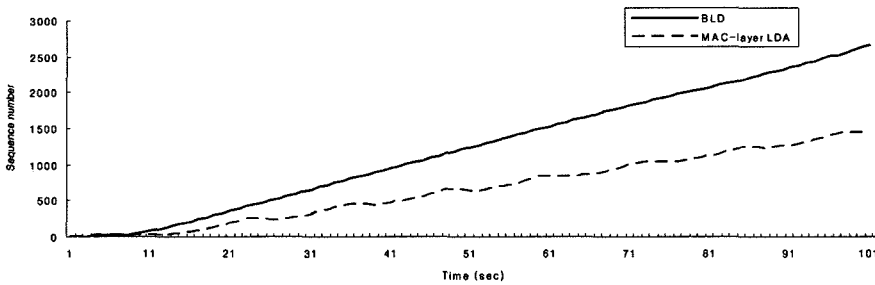


(b) 시퀀스 넘버 비교

그림 15 4%의 연접된 패킷 손실률에 따른 전송률 및 시퀀스 넘버 비교



(a) 전송률 비교



(b) 시퀀스 넘버 비교

그림 16 7%의 연결된 패킷 손실률에 따른 전송률 및 시퀀스 넘버 비교

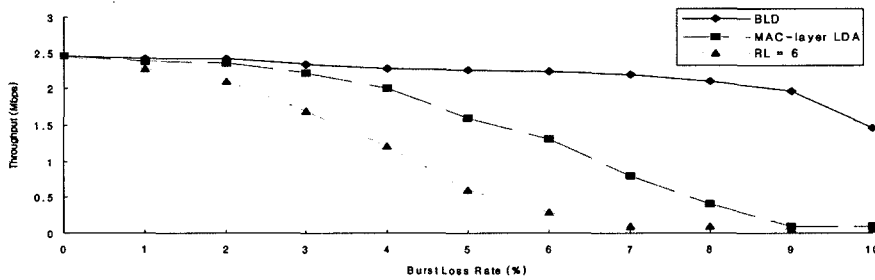


그림 17 연결된 패킷 손실률에 따른 평균 전송률

률과 시퀀스 번호 증가율에 대한 실험 결과이다. 그림 15와 16에서 알 수 있듯이 효율적인 지역 재전송을 수행하고 무선 구간의 연속된 패킷 손실 구간에서 빠른 복구의 수행을 도와 전송률을 유지하는 BLD 모듈의 성능이 전반적으로 높은 전송율과 시퀀스 번호의 증가를 보이는 것을 실험을 통해 확인할 수 있다. 단순히 Retry Limit을 최대 18개까지 설정하여 CRD 값을 증가시키는 MAC-layer LDA 기법은 연결된 패킷 손실률이 7%인 경우 CRD 값이 연결된 패킷손실구간 보다 작아져 전송률이 급격히 떨어지는 현상이 발생하지만, 재전송 타이머를 두어 TCP의 Timeout 이전에 손실된 패킷을 복구하는 BLD 모듈은 연결된 패킷 손실률에 관계없이 고른 성능 향상을 보이는 것을 확인할 수 있다.

그림 17은 무선 구간의 연결적인 패킷 손실 발생률을

0%~10%까지 변화 시켜가며 100초 동안 802.11-MAC, MAC-layer LDA 기법과 BLD 모듈의 평균 전송률을 실험한 결과다. 앞서 설명한 바와 같이 BLD 모듈은 Retry Limit의 조절뿐만 아니라 TCP의 Timeout 이전에 패킷을 복구할 수 있도록 TCP 패킷의 처리시간을 기반으로 한 재전송 타이머를 사용하기 때문에 연결된 패킷 손실률의 증가에 큰 영향을 받지 않고 고른 성능 향상을 보이는 것을 확인할 수 있다. 기존의 802.11-MAC 기법과 MAC-layer LDA와 같은 재전송 매커니즘은 연결적인 패킷 손실률이 높아짐에 따라 CRD 값이 연결된 패킷손실 구간이상 커지지 못하여 재전송의 횟수만 증가시키고, 손실된 패킷을 복구하지 못한다. 따라서 TCP의 Timeout을 유발하고, 전송률의 심각한 성능 저하를 가져온다.

4.2 무선 환경에서 전송지연 및 에너지 효율성 실험

본 실험은 BLD 모듈이 MAC-layer LDA 기법과 달리 6 값을 기반으로 망의 혼잡 상태에 따라 Retry Limit을 조절하여 다른 플로우의 전송 지연문제를 개선할 수 있음을 확인하고, 무선 단말의 에너지 효율성 또한 향상시켰음을 검증하기 위한 실험이다. 실험은 무선 랜 환경에서 MAC-layer LDA와의 전송 지연과 에너지 효율성의 비교를 통해 수행한다.

4.2.1 실험 환경

그림 18과 같이 FH1, FH2의 송신자와 MH1, MH2의 수신자로 망을 구성하였다. FH1, FH2의 송신자는 각각 MH1, MH2의 수신자로 라우터 R을 통해 데이터를 전송한다. 다른 플로우의 전송 지연시간과 에너지 효율성을 비교하기 위해 패킷 손실 발생률을 0%~10%까지 변화 시키며 FH1의 전송자는 TCP-Reno를 사용하여 0초~100초 동안 MH1의 수신자로 데이터를 전송하며, FH2의 송신자는 UDP를 사용하여 0초~100초 동안 MH2의 수신자로 데이터를 전송한다. 또한 BLD 모듈과 MAC-layer LDA의 에너지 효율성을 실험하기 위해 무선 단말의 초기 에너지는 100J(Joule)로 설정하였으며, AT&T사의 제품인 WaveLAN PCMCIA카드를 기준으로 ns-2에서 모델링한 에너지 소비 값으로 각각의 소비 에너지를 패킷 전송 및 수신 시 0.6W(Watt), RTS/CTS와 ACK 송신 및 수신 시 0.3W, 유휴 시간 동안의 에너지 소모를 초당 0.1W를 소비하도록 설정하였다[14].

4.2.2 MH2의 전송 지연 실험

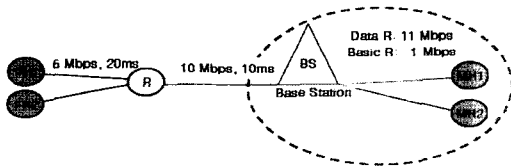


그림 18 전송 지연과 에너지 효율성을 위한 실험 환경

그림 18과 같이 연결된 패킷 손실이 발생하는 실험 환경을 기반으로 6의 Retry Limit값을 갖는 기존의 802.11-MAC, MAC-layer LDA 기법과 BLD 모듈에 의해서 발생하는 UDP(FH2→MH2) 플로우의 전송 지연시간의 증가에 대해 실험하였으며, 패킷 손실률이 0% 일 경우 모두 같은 방법으로 동작하므로 고려하지 않았다. 그림 19와 같이 연결된 무선 구간이 존재하는 환경에서 다른 플로우를 고려하지 않고 Retry Limit으로 CRD를 증가시키는 MAC-layer LDA 기법은 다른 플로우의 채널 접근을 막아 단일 패킷의 전송 시간을 최대 2.6s 까지 지연 시키는 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 전송 버퍼내의 다른 플로우가 존재할 경우 Retry Limit을 줄이고 전송에 실패할 경우 재전송 타이머를 이용하여 TCP의 Timeout이전에 손실된 패킷을 복구하는 BLD 모듈은 연결된 패킷 손실률이 증가가 전송 지연에 큰 영향을 미치지 못하여 연결된 패킷 손실률이 최대 10%까지 증가하였을 때, MAC-layer LDA 기법과 최대 2.3s까지 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다.

4.2.3 MH1 및 MH2의 에너지 효율성 실험

각 프로토콜의 에너지 효율 실험을 위해 그림 18의 실험 환경에서 0~10%의 패킷 손실률에 따른 에너지 효율 실험을 각 패킷 손실률 마다 100초 동안 수행하였다. 식 (10)은 송신자가 전송한 데이터의 양과 그에 의해 소비된 에너지를 통해 무선 단말의 에너지 효율을 나타내는 식으로써 일정 에너지로 서비스할 수 있는 데이터의 양을 나타내게 된다. 이 식을 바탕으로 기존 802.11-MAC, MAC-layer LDA 기법 그리고 BLD 모듈의 에너지 효율을 평가한다.

$$Energy\ Efficiency(\eta) = \frac{Throughput}{Consumed\ Energy} (Kb/sJ) \quad (10)$$

그림 20은 6의 Retry Limit 값을 가지는 기존 802.11-MAC, MAC-layer LDA 기법 그리고 BLD 모듈의 연결적인 패킷 손실률에 따른 MH1과 MH2의 평균 에너지 효율을 나타내는 결과 그래프이다. BLD 모듈은 0%

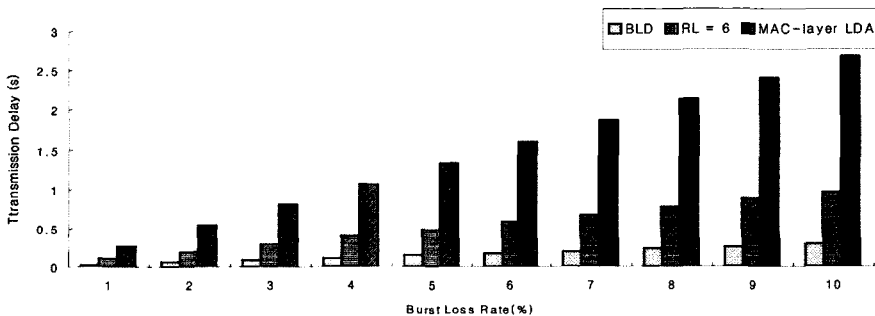


그림 19 패킷 손실률에 따른 전송 지연 비교

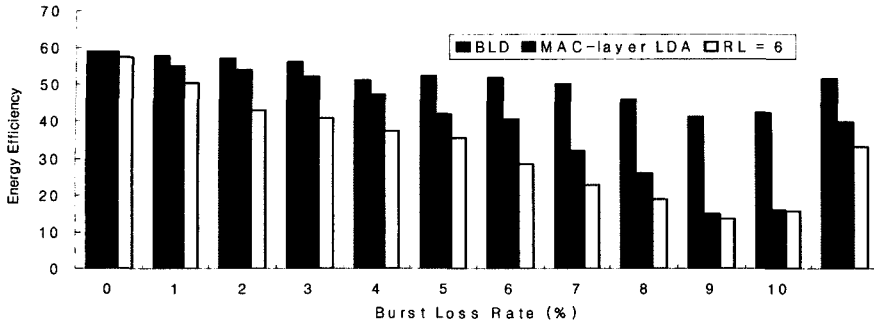


그림 20 패킷 손실률에 따른 에너지 효율

~10%의 연접적인 패킷 손실률 전체에서 기존 MAC 계층 재전송 기법과 MAC-layer LDA 기법보다 좋은 성능을 보이게 된다. 또한 평균 에너지 효율은 BLD 모듈의 경우 약 51Kb/sJ, MAC-layer LDA의 경우 약 39Kb/sJ이며, 기존 802.11-MAC 기법의 경우 약 33Kb/sJ을 나타낸다. 패킷의 손실률이 5%일 때 기존 MAC 계층의 재전송 기법, MAC-layer LDA, BLD 모듈에서 FH1과 FH2의 평균 전송률은 각각 약 0.4Mbps, 1.1Mbps, 1.4Mbps이며, 이 때 소비된 에너지의 양은 각각 약 11J, 26J, 27J이다. 6의 Retry Limit 값을 갖는 기존 802.11-MAC 기법은 소비된 에너지가 아주 작지만 전송한 데이터의 양이 작기 때문에 에너지 효율이 낮게 되는데 이는 곧 재전송에 의한 에너지 소비가 많았음을 의미하게 된다. MAC-layer LDA 기법과 BLD 모듈은 비슷한 에너지를 소비했지만, 전송한 데이터의 양이 MAC-layer LDA 기법에 비해 BLD 모듈이 많기 때문에 더 좋은 에너지 효율을 보이게 된다. 이러한 결과는 MAC-layer LDA는 CRD의 증가로 다른 플로우의 전송률을 저하시킬뿐만 아니라, TCP의 빠른 복구만 돕고 손실된 패킷을 재전송 하지 않지만, BLD 모듈은 ARQ 정보와 재전송 타이머를 통해 재전송을 수행하고, 효율적인 Retry Limit의 조절로 다른 플로우의 전송 시간의 지연 문제를 완화하기 때문이다.

무선 랜 환경에서 무선 단말의 에너지 효율은 시간당 전송한 데이터의 양과 이 때 소비된 에너지에 의해서 결정되게 된다. 시간당 전송한 데이터의 양이 많더라도 그 데이터를 전송하는 에너지의 소비가 많다면 상대적으로 에너지 효율이 낮게 되며, 시간당 전송한 데이터의 양이 적더라도 에너지의 소비가 적다면 상대적으로 에너지 효율이 높을 수도 있다. 이와 같은 관점에서 BLD 모듈은 MAC 계층의 ARQ 정보와 재전송 타이머를 이용하여 망의 상태를 빠르게 판단하고, 망의 상태가 좋은 경우에 손실된 패킷을 빠르게 보상하므로 불필요한 패킷의 재전송을 방지하고, 높은 전송률을 유지하여 소비

되는 에너지의 양을 줄일 수 있었다. 또한 효율적인 Retry Limit 조절기법을 통해 다른 플로우의 전송 시간의 지연 문제를 완화하여 네트워크내의 다른 무선 단말의 에너지 효율 측면에서도 기존의 지역 재전송 메커니즘에 비해 높은 성능을 나타내게 된다.

5. 결론 및 향후 과제

현재 IEEE 802.11 MAC 프로토콜에서 무선 링크의 신뢰성을 보장하기 위해서 사용하는 MAC-ACK 기반의 Stop & Wait ARQ 기법은 무선 랜 환경에서 발생하는 패킷 손실을 무선 구간에서의 재전송을 통해 보상하여 TCP 전송률을 효과적으로 향상시켜주는 프로토콜이다. 하지만, 무선 링크의 연접적인 패킷 손실이 발생하는 경우에는 TCP의 전송률이 크게 저하된다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서 MAC-layer LDA 기법이 연구 되었지만, 다수의 사용자가 하나의 채널을 공유하는 무선 랜 환경에서 다른 플로우에 대한 고려 없이 Retry Limit을 기반으로 CRD를 증가시키는 기법은 다른 플로우의 전송 시간을 증가 시키며, 전체 네트워크 안의 에너지 효율성 또한 저하시킨다는 문제를 발생시킨다.

본 논문에서 새롭게 제안한 BLD 모듈은 이러한 재전송 기법들의 단점을 보완하기 위해 Cross-layer 기반의 새로운 재전송 기법인 BLD 모듈을 제안하였다. BLD 모듈은 MAC 계층의 ARQ 기법을 이용하여 재전송을 수행함으로써 좀 더 효율적인 재전송을 수행할 수 있을 뿐만 아니라, TCP 패킷의 처리시간을 기반으로 산출한 재전송 타이머로 TCP의 Timeoue 이전에 손실된 패킷의 복구를 가능하게 하였다. 또한, MAC 프레임의 처리 시간을 기반으로 한 Retry Limit의 조절 기법은 다른 플로우의 전송 지연시간을 증가 시키는 문제를 해결할 수 있었다.

컴퓨터 시뮬레이터를 이용한 실험을 통해서 무선 랜 환경에서 BLD 모듈의 성능을 검증하고, 관련 연구와의

성능 비교를 위해 무선 단말의 에너지 효율 및 전송 성능, 다른 플로우의 전송 지연시간 대해 비교 분석하였다. 실험 결과를 통해서 제안한 BLD 모듈은 연립적인 패킷 손실이 발생하는 무선 랜 환경에서 기존의 재전송 메커니즘보다 개선된 전송 성능을 보였으며, 에너지 효율성 측면에서 MAC-layer LDA보다 약 2배의 성능 향상을 확인할 수 있었다. 또한 다른 플로우의 전송 시간을 증가시키는 문제도 개선하여 기존의 MAC-layer LDA보다 다른 플로우에게도 채널 접근을 도와 공평하게 동작하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 제안한 BLD 모듈은 연립적인 패킷 손실이 발생하는 무선망에서 높은 에너지 효율성 및 향상된 전송 성능을 가지며, 다른 플로우의 전송 지연시간을 완화시킬 수 있었다.

향후 연구과제로는 본 논문에서 제안하는 제어 방식을 실제로 구현하여 실제 환경에서 성능을 확인해 보아야 할 것이며 이를 위하여 핸드오프와 같은 상황에서 다른 곳으로 버퍼와 모듈의 상태를 넘겨주는 문제가 고려되어야 한다. 또한, 다양한 TCP 기반의 응용프로그램들에 대하여서도 적용력 있는 제어모듈이 될 수 있도록 하는 패킷 처리 알고리즘에 대한 집중적인 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

[1] Chung Ho Nam, Soung C. Liew, Cheng Peng Fu, "An Experimental Study of ARQ Protocol in 802.11b Wireless LAN," The IEEE Vehicular Technology Conference, September 2003.

[2] V. Tsaoussidis and I. Matta, "Open Issues on TCP for Mobile Computing," The Journal of Wireless Communications and Mobile Computing, February 2002.

[3] L. Qiong and M. Schaar, "Providing Adaptive QoS to Layered Video Over Wireless Local Area Networks through Real-Time Retry Limit Adaptation," IEEE Transaction on Multimedia, April 2004.

[4] C. Jone, K. M. Sivalingam, P. Agrawal and J. C. Chen, "A Survey of Energy Efficient Network Protocol for Wireless Networks," ACM Computer Communication Review, October 1997.

[5] R. Jiang, V. Gupta and C. Ravishankar, "Interaction Between TCP and the IEEE 802.11 MAC Protocol," DARPA Information Survivability Conference and Exposition, April 2003.

[6] K. Nahm, A. Helmy, C. Kuo, "On Interaction Between MAC and Transport Layers in 802.11 Ad-hoc Networks," SPIE ITCOM, October 2004.

[7] V. Gupta, S. Krishnamurthy and M. Faloutsos, "Improving the Performance of TCP in the Presence of Interacting UDP Flows in Ad-hoc

Networks," International Federation for Information Processing 2004, May 2004.

[8] S. Lohier, Y. Doudane and G. Pujolle, "The Benefits of a Cross-layer Approach for TCP Performance Improvements in WLANs," IEEE Applications and Service in Wireless Networks Workshop, May 2005.

[9] IEEE 802.11g WG, Part 11-Amendment 4: Further Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band, 2003.

[10] H. Singh, S. Saena and S. Singh, "Energy Consumption of TCP in Ad Hoc Networks," Wireless Networks, September 2004.

[11] V. Raisinghani and S. Iyer, "Cross-layer Design Optimization in Wireless Protocol Stack," Computer Communications(Elsevier), May 2004.

[12] V. Raisinghani and S. Iyer, "ECLAIR: An Efficient Cross Layer Architecture for Wireless Protocol Stacks," Fifth World Wireless Congress, May 2004.

[13] The network simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nanam/ns/>

[14] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," Proceeding of IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, February 1999.



김 재 훈

2005년 광운대학교 전자공학부 학사. 2005년~현재 광운대학교 전자통신공학과 석사과정. 관심분야는 인터넷 QoS, 유비쿼터스 컴퓨팅, Ad-hoc & Wireless 통신망

정 광 수

정보과학회논문지 : 정보통신 제 35 권 제 1 호 참조