

전송계층을 고려한 무선랜의 시간 공정성 보장

(Temporal Fairness Provisioning in Wireless LANs Considering Transport Layer Protocols)

강 지 명 [†] 조 성 호 ^{**} 최 선 응 ^{***} 김 중 권 ^{****}
(Jimyung Kang) (Seongho Cho) (Sunwoong Choi) (Chong-kwon Kim)

요 약 무선랜(Wireless LAN)으로 현재 널리 쓰이고 있는 IEEE 802.11 표준 프로토콜은 채널상태에 따라 다양한 데이터 전송률(data rate)을 지원한다. 서로 다른 데이터 전송률을 사용하는 여러 단말들이 동일한 무선랜에 존재할 경우 낮은 전송률을 사용하는 단말 때문에 높은 전송률을 지원하는 단말의 처리율이 저하되는 성능 이상(Performance Anomaly) 문제가 발생한다. 이러한 성능 이상 문제를 해결하는 방법으로 모든 단말에 동일한 전송시간을 제공하는 시간 공정성(Temporal Fairness) 개념이 제안되었다. 그러나 현재 제안된 대부분의 시간 공정성 제공방안은 MAC 계층에서 보낼 패킷이 항상 있는 상황을 가정하여 전송계층 프로토콜의 특성은 고려하지 않았다는 제약점을 가지고 있다. 본 논문에서는 대표적인 전송계층 프로토콜인 TCP와 UDP가 사용되는 환경에서 현재까지 제시된 시간 공정성 제공방안이 어떤 성능을 보이는지 분석하고, 전송계층의 특성 때문에 발생하는 문제점들을 해결하기 위해서 AP에 높은 우선순위를 제공하는 AP 우선순위 방법과 노드의 CWmin 을 조절하는 동적 CWmin 조절 방안을 제안한다. 제안한 방법을 적용하면 다중 데이터 전송률을 사용하는 무선랜에서 전송계층으로 TCP, UDP 프로토콜이 혼재할 경우에도 전체적인 시간 공정성을 유지할 수 있고 전체 데이터 처리율(total throughput)이 향상된다는 것을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 검증하였다.

키워드 : IEEE 802.11, 무선랜, 시간 공정성, 전송계층

Abstract IEEE 802.11 WLANs support various data rates in order to adapt to wireless channel condition. It is known that when some WLAN stations use a lower data rate than the others, total throughput is considerably degraded. The concept of temporal fairness which provides equal time to all stations has been introduced to alleviate this performance anomaly problem. However, most previous mechanisms assume that stations have infinite backlogs in the MAC layer and do not consider transport layer. In this paper, we first examine and analyze the performance of previous methods considering transport layer protocols. We then propose two new temporal fairness guarantee methods: AP priority and dynamic CWmin adjustment. We carried out extensive performance study via ns-2 computer simulations. The results show that the proposed methods provide temporal fairness and improve the throughput of WLANs in various environments.

Key words : IEEE 802.11, Wireless LAN, Temporal fairness, Transport layer

· 본 논문은 서울시 산학연 협력사업에서 시행하고 서울시립대학교 "지능형 도시 사업단(스마트-유비쿼터스-시티 사업단)"이 주관하는 "스마트시티를 위한 지능형 도시정보 컨버전스 시스템 개발"사업의 지원과 2008년도 국민대학교 교내연구비를 지원받아 수행된 연구임
· 이 논문은 SWCC 2007에서 "전송계층을 고려한 무선랜의 시간공정성"의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임.

[†] 정 회 원 : 한국전기연구원 융합기술연구단
jmkang@keri.re.kr

^{**} 정 회 원 : 삼성전자 기술총괄
scott.cho@samsung.com

^{***} 종신회원 : 국민대학교 전자공학부 교수
schoi@kookmin.ac.kr
(Corresponding author)

^{****} 종신회원 : 서울대학교 전기.컴퓨터공학부 교수

ckim@snu.ac.kr

논문접수 : 2008년 1월 21일

심사완료 : 2008년 6월 4일

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 제5호(2008.10)

1. 서론

무선랜(Wireless Local Area Network)은 장소에 구애받지 않고 편리하게 인터넷 접속 기능을 제공하므로 최근 급속도로 확산 보급되고 있다. 사용자가 여러 장소를 이동하면서 여러 AP에 접근하는 무선랜에서는 표준 프로토콜을 사용하는 것이 매우 중요한 문제가 된다. IEEE 802.11 표준 위원회에서는 현재 널리 보급되고 있는 무선랜의 표준[1]을 제정하여 무선랜이 확산되는 기반을 제공하였다. 무선랜 표준이 확립됨에 따라 무선랜 장비의 가격이 하락하고 상호호환성이 가능하게 되었으며 이에 따라 공항, 호텔, 지하철 등 공공장소에 무선랜이 널리 보급되었다[2].

IEEE 802.11 표준위원회는 a, b, g 등의 워킹 그룹을 통해 2.4GHz 혹은 5GHz 대역의 비허가 대역(unlicensed band) 주파수를 이용한 PHY와 MAC 프로토콜을 정의하였다. IEEE 무선랜 표준에서는 채널 상황에 따라 다른 데이터 전송률을 사용할 수 있는 다중 데이터 전송률(Multi-rate)을 PHY 계층에서 제공하고 있다. 예를 들어 802.11b 표준[3]은 1, 2, 5.5, 11Mbps의 전송 속도를 지원하며, 802.11a/g 표준[4,5]은 6Mbps부터 54Mbps까지 8가지 데이터 전송률을 지원하고 있다. 현재 무선랜 노드들이 채널상태에 따라 데이터 전송률을 동적으로 결정하는 방법들[6,7]이 제안되었으며 상용 무선랜 제품들도 전송률을 역동적으로 결정하는 기능을 지원하고 있다[8-10].

IEEE 802.11 표준에서는 PCF(Point Coordination Function)와 DCF(Distributed Coordination Function)의 두 가지 채널 접근 방식을 정의하는데, PCF는 경쟁 없이 폴링방식에 의해 자원을 공유한다. 일반적으로 널리 쓰이는 DCF는 경쟁 기반 방식으로 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 프로토콜로 채널 접근을 제어한다.

IEEE 802.11 DCF는 공평한 채널 사용을 위해서 모든 단말이 동일한 확률로 채널에 접근하는 접근 확률 공정성(access probability fairness)을 제공한다. 접근 확률 공정성에서는 전송속도에 상관없이 모든 단말이 채널을 접근하는 빈도가 같게 되며 처리율도 같게 된다. 전송속도가 낮은 단말은 같은 길이의 패킷을 전송해도 전송속도가 높을 때에 비해 전송시간이 길어지기 때문에 전송속도가 높은 단말보다 더 오래 동안 채널을 점유한다. 결과적으로 전송속도가 서로 다른 단말들이 같은 시스템에 있을 때 전체 시스템의 성능이 낮아진다는 DCF의 성능이상(performance anomaly) 문제가 보고되었다[11].

무선랜의 이러한 성능이상 문제를 해결하기 위하여

시간 공정성(temporal fairness) 개념이 도입되었다[12]. 시간 공정성이란 같은 무선랜 시스템에 있는 단말들이 시스템을 이용하는 시간을 동일하게 하려는 개념으로서 Sadeghi 등에 의해서 처음 제안되었다. 무선랜의 성능 이상 문제는 전송속도가 낮은 단말이 채널을 너무 오랜 시간 점유하는 것이기 때문에, 단말들이 동일한 시간을 사용하도록 한다. 그러면 전송속도가 빠른 노드는 많은 패킷을 전송할 수 있게 되기 때문에, 무선랜의 전체 처리율을 증가시킬 수 있다.

기존에 제안된 대부분의 시간 공정성 제공방법은 전송할 패킷이 MAC 계층에 항상 존재한다는 것을 가정하였다. 그러나 전송 계층 프로토콜의 특성에 따라 MAC 계층에 전송할 패킷이 없을 가능성이 있다. 시간 공정성을 제대로 실현하기 위해서는 전송계층 프로토콜의 특성을 고려한 새로운 방법을 제안할 필요가 있다.

본 논문의 주요 내용은 두 가지이다. 첫째, 전송계층 프로토콜인 TCP와 UDP의 특성에 따라 기존 방법들의 성능이 어떻게 변화하는지 분석하여서 그 한계점을 제시한다. 둘째, TCP와 UDP 프로토콜의 특성을 고려하여 시간 공정성을 제공할 수 있도록, AP에 더 높은 우선순위를 제공하는 AP 우선순위 방안과 무선 노드들의 CWmin(minimum Contention Window) 값을 동적으로 조절하는 방법을 제안하였다. CWmin은 각 노드들의 채널에 접근 확률을 결정하는 경쟁 윈도우의 기본 값이다.

제안한 AP 우선순위 방안을 통해 전송계층 프로토콜에 관계없이 무선 노드 사이의 시간 공정성이 제공되고 이에 따라 전체 처리율이 증가하는 것을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 검증하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 시간 공정성 제공과 관련된 연구를 소개하고, 3장에서는 이러한 방안이 UDP와 TCP에서 보이는 성능 차이를 제시한다. 4장에서는 UDP와 TCP 프로토콜의 특성을 고려해서 시간 공정성을 제공하기 위한 AP 우선순위 방안과 동적 CWmin 조절 알고리즘을 제시하고, 5장에서 실험을 통해 이를 검증한 뒤 6장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

IEEE 802.11 무선랜은 다중 데이터 전송률을 지원하는데, 이로 인하여 성능이상 문제가 존재한다[11]. 같은 네트워크에 있는 노드들이 서로 다른 전송속도를 선택하면 노드들이 동일한 크기의 패킷을 보내더라도 전송 시간이 모두 다르게 된다. 즉 낮은 전송속도를 가진 노드는 채널에 접근할 때마다 상대적으로 긴 시간 동안 채널을 사용하고 전송속도가 높은 노드는 채널 사용시간이 상대적으로 짧다. IEEE 802.11 DCF는 모든 노드들에게 동일한 채널 접근 확률을 제공하기 때문에 낮은

전송속도를 지원하는 노드가 채널을 점유하는 비율이 높아지고 결과적으로 평균 전송속도가 낮아져 전체 시스템의 처리율도 저하된다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 시간 공정성이라는 개념이 제시되었다[12]. 그림 1은 전송률이 다른 두 노드가 하나의 공유 무선 채널을 사용하는 모습을 나타낸 것이다. 두 노드의 전송률이 각각 1Mbps와 11Mbps라고 하자. IEEE 802.11 DCF는 각 노드가 동일한 확률로 채널에 접근할 수 있도록 하므로, 긴 시간을 두고 보면 그림 1(a)와 같이 두 노드가 채널을 번갈아 가면서 사용하는 꼴로서 같은 처리율을 얻게 된다. 반면 시간 공정성은 그림 1(b)와 같이 각 노드가 채널을 점유하는 시간을 동일하게 하는 것을 목적으로 한다. 시간 공정성을 지킬 때, 더 많은 데이터가 전송되는 즉, 전체 시스템의 성능이 향상되는 것을 볼 수 있다.

지금까지 제안된 WLAN 시스템에서 시간 공정성을 제공하는 방법들을 살펴보기로 하자. Trinello 등[13]은 802.11e[14]의 TXOP(Transmission Opportunity) 개념을 기반으로 시간 공정성을 제공하는 방법을 제안하였다. 802.11e에서는 TXOP 시간(TXOP duration)이라는 값이 노드에게 할당된다. DCF와 마찬가지로 노드는 CSMA/CA 프로토콜에 따라 채널에 접근한다. 채널을 성공적으로 확보한 노드는 패킷을 하나만 보내는 것이 아니라 TXOP 시간 동안 채널을 계속 사용할 수 있다. 채널을 확보한 노드는 한 패킷을 전송한 다음 ACK을 받고 SIFS 동안 기다린 후 다음 CSMA/CA 과정 없이 패킷을 계속 전송한다. 채널을 확보한 노드는 TXOP 시간이 지나거나 더 이상 보낼 패킷이 없을 때까지 패킷을 전송한다. 채널 접근 공정성은 DCF에 의해 보장되므로 모든 노드에게 동일한 TXOP 시간을 할당하면 시간 공정성을 보장할 수 있을 것이다.

Bruno 등은 채널 접근 확률을 전송속도에 비례하게 할당하는 방안을 제안하였다[15]. IEEE 802.11 DCF의 채널 접근 확률은 CW의 크기에 따라 결정된다[16]. 그러므로 전송속도가 빠른 노드의 CW를 작게 설정하여 채널 접근 확률을 높여주면 성능 이상 문제가 해결될

수 있다.

Tan 등은 AP의 패킷 스케줄링을 통한 시간 공정성 제공방안을 제시하였다[17]. AP는 각 노드들이 업링크(uplink)로 전송하거나 다운링크를 통해 패킷을 받을 때마다 그 사용시간을 기록한다. 만약 노드가 시간 공정성을 만족하기 위해서 사용해야 하는 시간보다 많은 시간을 사용하였다면 그 노드에게는 다운링크 패킷을 전송하지 않는다. 다운링크 패킷을 AP가 조절하기 때문에 무선 노드가 사용하는 채널의 시간을 강제로 동일하게 맞출 수 있다. 그러나 이 방법은 AP에 많은 큐(Queue)를 유지해야 하고, 무선 노드별로 정보를 관리하는 등 복잡한 동작을 요구 한다.

3. 전송계층이 시간 공정성에 미치는 효과

이 장에서는 기존에 제안된 시간 공정성 제공방안이 전송계층 프로토콜에 따라 어떤 성능을 보이는지 Ns-2[18] 시뮬레이션을 통해 살펴보고자 한다. Trinello 등이 제안한 TXOP 할당 방법과 Tan, Gutttag이 제안한 AP 스케줄링 방법을 차례로 분석한다.

3.1 시뮬레이션 셋업

시뮬레이션에서 사용한 망 구성은 그림 2와 같다. 시뮬레이션 망은 고속 링크와 라우터로 구성된 백본 망이 있고, 유선 접근 망에 연결된 다수의 노드와 한 개의 무선망 AP가 접속된 형태이다. 무선 AP에 접속한 노드들

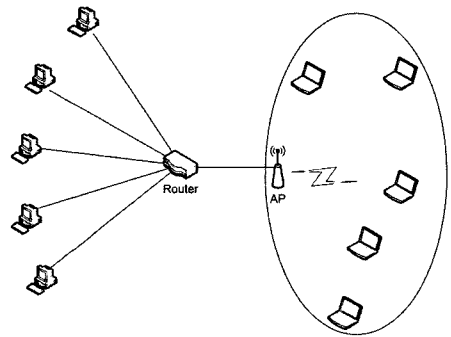
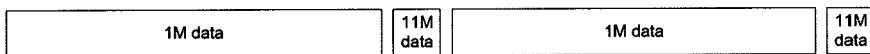
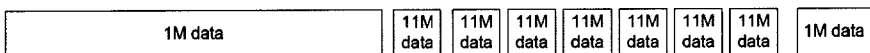


그림 2 시뮬레이션 환경



(a) DCF



(b) 시간 공정성

그림 1 DCF와 시간 공정성의 비교

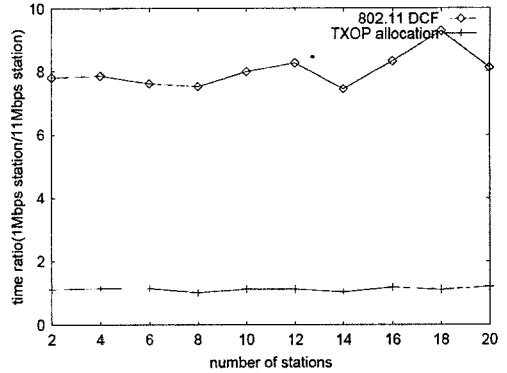
은 1Mbps와 11Mbps 중에서 전송속도를 선택하고, 1Mbps를 사용하는 노드와 11Mbps를 사용하는 노드의 수는 동일하게 조정하였다. 유선 링크의 대역폭(bandwidth)은 100Mbps, 전파 지연(propagation delay)은 4ms로 가정하였고, UDP, TCP 패킷의 크기는 1500 바이트로 고정하였다. TCP는 TCP Tahoe를 사용하였으며, delayed ACK은 없다고 가정하였다. 응용 계층에서는 항상 보낼 데이터가 있도록 하였다.

송신자의 위치와 관련하여 두 가지의 상황을 생각할 수 있다. 첫 번째는 송신자가 무선노드에 있는 업링크 시나리오이고, 두 번째는 송신자가 유선노드에 있는 다운링크 시나리오이다. 다운링크 시나리오에서는 항상 AP가 먼저 패킷을 전송하기 때문에 보다 쉽게 AP가 쉽게 채널을 통제할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 무선노드들의 경합을 AP가 통제할 수 없는 업링크 환경에 집중하였다. 앞으로의 시뮬레이션에서도 특별한 언급이 없는 경우 동일한 환경을 가정하였다. 각 무선노드에는 TCP 또는 UDP를 사용하는 하나의 플로우만 있다고 가정하였다.

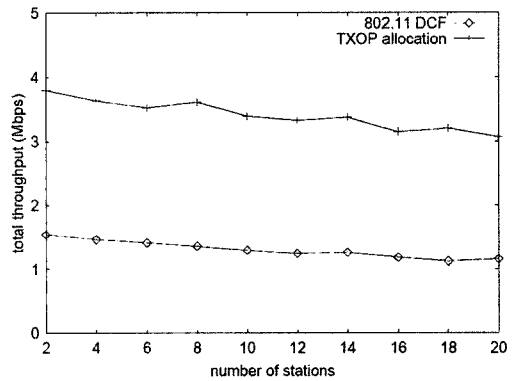
채널 상황에 따라 전송률을 동적으로 조절하는 전송 속도 조절(Rate Adaptation)은 고려하지 않았다. 성능 이상은 전송속도의 변화와는 무관하게, 다양한 전송속도가 존재하는 상황만으로 생기는 것이기 때문이다. 또한 무선채널로 인한 다른 패킷 에러는 없다고 가정하였다. 높은 전송속도를 사용하여 BER(bit error rate)이 증가하면, 무선 노드들이 이에 대처하여 가장 적절한 전송속도를 선택한다고 가정할 수 있기 때문이다.

3.2 TXOP 할당을 통한 시간 공정성 제공의 한계

먼저 전송계층 프로토콜로 UDP가 사용될 때 TXOP 할당 방식이 시간 공정성을 제대로 지원는지 살펴보자. TXOP의 크기는 1Mbps 노드가 1500 바이트 길이의 패킷을 하나 전송하는데 걸리는 시간과 같은 13ms로 고정하였다. 그림 3(a)는 1Mbps 노드와 11Mbps 노드가 채널을 사용하는 시간 사용 비율(Time ratio)을 시스템 내에 있는 노드 수에 따라 표현한 것이다. 시간 사용 비율은 1Mbps 노드가 11Mbps 노드에 비해 얼마나 많은 시간동안 채널을 점유 했는가를 비율로 표시하는 수치로서, 이 시간 사용 비율이 1을 가리키게 되면, 시간을 정확히 공정하게 나누어 쓴다는 뜻이 된다. 시뮬레이션에서 DCF로 동작했을 경우에는 1Mbps 노드가 11Mbps 노드에 비해 8배 정도 채널을 더 오래 점유하나 TXOP 할당 방식에서는 거의 정확하게 시간 공정성을 제공하는 것을 관찰할 수 있다. 그림 3(b)는 전체 데이터 처리율(total throughput)을 보여준다. 시간 공정성을 제공하는 TXOP 방식을 사용한 경우 DCF에 비하여 전체 처리율이 두 배 이상 높아진 것을 알 수 있다.



(a) 시간 사용 비율



(b) 전체 처리율

그림 3 시간 공정성의 효과

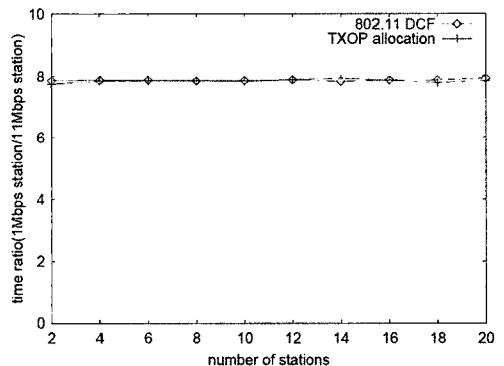


그림 4 TCP트래픽의 시간 공정성

그림 4에서는 전송계층으로 TCP를 사용할 경우의 시간 사용 비율을 나타내었다. TCP의 경우에는 UDP의 결과와는 다르게 TXOP 할당 방안을 사용하더라도 802.11 DCF와 마찬가지로 1Mbps 노드가 11Mbps 노드에 비해서 여전히 많은 시간을 사용하는 것을 볼 수 있다. 이 결과는 TCP의 혼잡제어 기능 때문에 발생한

다. TXOP 할당 방안은 한번 전송을 시작하면 TXOP 기간 동안 채널을 독점함으로써 시간 공정성을 보장한다. 예를 들어 11Mbps 노드는 1Mbps 노드보다 1500byte 패킷을 보내는데 7배 빠르기 때문에 7개의 패킷을 연속적으로 TXOP 기간 안에 보낼 것으로 기대한다. 그러나 TCP의 혼잡회피 구간(congestion avoidance phase)에서는 TCP-ACK 패킷을 하나 받아야 다음 패킷을 전송할 수 있기 때문에 MAC 계층은 패킷 전송 권한이 있더라도 보낼 패킷이 없으므로 채널을 포기하게 된다.

만약 delayed ACK을 사용하는 TCP라면, 하나의 TCP-ACK을 수신하여 여러 TCP 패킷을 생성할 수 있다. 따라서, delayed ACK을 사용하는 경우에는 TXOP의 낭비가 줄어들 것을 기대할 수 있다. 그림 5는 delayed ACK을 사용하는 TCP의 경우에 TXOP 할당 방안의 성능을 보여준다. 노드의 개수가 2개일 경우에는 delayed ACK이 동작하여 시간 사용 비율이 다소 향상되었지만, 여전히 공평한 비율에는 크게 못 미친다. 노드의 개수가 그보다 많은 경우에는 그나마도 별다른 차이를 관찰할 수 없다.

TXOP 기간을 얼마나 활용할 수 있는지 알아보기 위해서 N을 하나의 TXOP 기간 동안 연속적으로 보내는 패킷의 개수라고 하자. N은 TXOP 기간의 효율성을 직접적으로 보여주는 중요한 값이 된다.

그림 6에서 분석을 위해 패킷 전송의 예시를 나타내었다. AP는 TCP-ACK을 전송하고, 무선 노드는 TCP Data 패킷을 전송한다. TXOP 기간 동안의 패킷전송 개수는 실제 데이터 전송이 시작되기 이전에 TCP-ACK을 몇 개나 받았는가에 따라서 결정된다. T₁을 MAC 계층에 패킷전송을 위한 데이터가 도착하는 시간부터 실제로 패킷을 전송하는데 까지 걸리는 시간이라고 하고, T₂를 무선노드에 도착하는 TCP-ACK 패킷의 시간간격이라고 하면 TCP의 혼잡회피구간에서 N의 평균은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

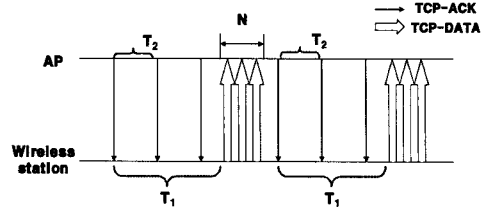


그림 6 패킷 전송 시나리오

$$E(N) = 1 + \frac{E(T_1)}{E(T_2)} \tag{1}$$

$$= 1 + \frac{E(T_1)}{E(D_{wired})/awnd + E(T_{1-AP}) + T_{ACK}}$$

$$< 2$$

D_{wired}, awnd, T_{1-AP}, T_{ACK}은 각각 유선 구간의 지연 시간, TCP 프로토콜의 advertised window, AP의 T₁, TCP-ACK 패킷의 전송 시간을 나타낸다.

문제는 AP가 패킷을 전송하기 위해서 기다려야 하는 T_{1-AP}가 T₁과 본질적으로 동일하다는 것이다. 즉 T_{1-AP}를 포함하고 있는 T₂는 평균적으로 T₁보다 크기 때문에 무선노드는 TCP-ACK 패킷을 많이 받기 전에 TCP 데이터를 전송하게 되는 것이다. 간단한 분석이지만, 이를 통해서 TXOP 기간 동안 연속적으로 전송 가능한 패킷의 평균값이 2 미만이라는 것을 확인 할 수 있다. 그림 7에서 실제 11Mbps 노드가 하나의 TXOP 기간에 전송하는 패킷의 평균 개수를 나타내었다. 우리의 분석대로 이 값은 2 미만에 머물러 있다.

반면에, 전송계층 프로토콜이 UDP일 경우, N은 아래 처럼 나타낼 수 있다.

$$E(N) = \min\left(\frac{TXOP}{T_{data}}, E(T_1) \times \frac{Cffered Load}{T_{data}}\right) \tag{2}$$

T_{data}는 데이터 패킷의 전송시간(transmission time)

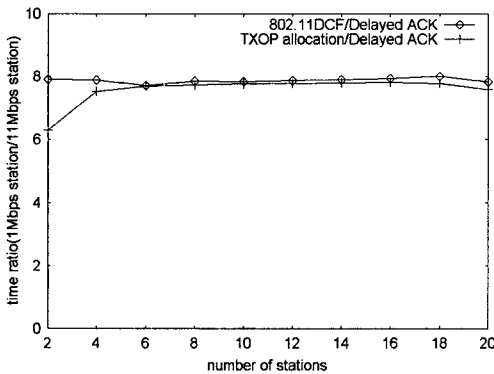


그림 5 Delayed ACK의 영향

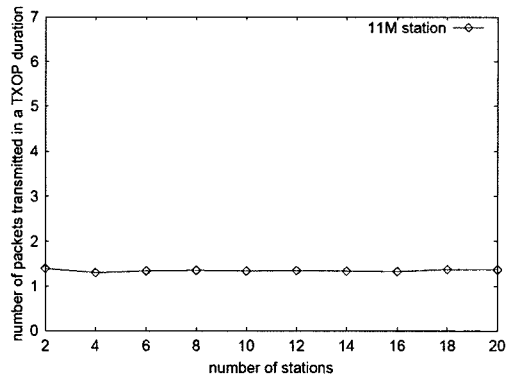


그림 7 TCP 트래픽에서 TXOP의 사용

을 나타낸다. 식에서 알 수 있듯이, UDP 프로토콜의 경우 주어진 시스템 로드가 충분히 클 경우, 무선노드는 TXOP 기간을 모두 활용할 수 있게 된다.

식 (1)과 (2)에서 전송계층 프로토콜이 시간 공정성에 미치는 효과를 분석 하였다. TCP는 윈도우 기반의 혼잡제어를 함으로써, TCP-ACK을 받아야 다음 패킷을 전송할 수 있기 때문에 MAC 계층에서 TXOP 시간이 남아 있어서 현재 채널에 전송할 수 있는 권한이 있다 하더라도 TCP에서 패킷 생성이 되지 않을 경우 채널을 포기하게 된다. Choi 등[19]은 무선랜에서 TCP가 동작할 때 AP가 패킷을 빨리 보내주지 못하기 때문에 TCP 송신자의 채널 접근이 제한된다는 것을 확인하였다. 즉 TCP는 MAC 계층에 보낼 패킷을 항상 대기시키지 못하는 상황이 되기 때문에 TXOP 시간을 할당하는 것만으로는 TCP에서의 시간 공정성을 제공하지 못하는 문제가 생긴다.

3.3 AP 스케줄링을 통한 시간 공정성 제공의 한계

Tan 등이 제안한 AP 스케줄링[17]은 다운링크 트래픽을 조절하여 업링크 트래픽까지 조절한다. TCP는 업 TCP, 다운 TCP를 불문하고 패킷을 하나 받아야 다음 패킷을 전송할 수 있기 때문에 성능 좋은 AP를 사용해 링크 별로 다른 큐를 사용하고, 다운링크 트래픽을 조절하면 TCP의 시간 공정성을 제공할 수 있다.

TCP와 UDP 트래픽이 공존하는 경우에 AP 스케줄링 방안의 시간 공정성 제공을 살펴보자. 11Mbps TCP 노드, 1Mbps TCP 노드, 11Mbps UDP 노드, 1Mbps UDP 노드의 네 종류 노드가 같은 비율로 존재하는 경우를 가정하였다. AP 스케줄링과 TXOP 할당 방안을 같이 사용하고, 모든 노드에 동일한 TXOP 시간을 할당 하였다.

AP 스케줄링 방법은 TXOP와 달리 TCP 노드 간의 시간 공정성도 만족시킬 수 있다. 그림 8에서 UDP 노

드 사이의 시간 공정성, TCP 노드 사이의 시간 공정성이 잘 지켜지는 것을 볼 수 있다. 그러나 TCP 노드와 UDP 노드 사이의 시간 공정성은 제공하지 못하고 있다. AP 스케줄링 방법이 TCP, UDP 사이의 시간 공정성을 제공하지 못하는 이유는 두 전송 프로토콜의 특성이 다르기 때문이다. AP 스케줄링 방법은 다운링크 트래픽을 조절해서 시간 공정성을 제공하는데, UDP 패킷을 전송하는 노드의 경우 다운링크 쪽으로 트래픽이 존재하지 않기 때문에 아무런 제한을 받지 않게 된다. 즉 UDP 노드는 항상 MAC 계층에 전송할 패킷을 가지고 있어서 채널에 많이 접근하는 반면 TCP 노드는 그렇지 못하여서 TCP 노드와 UDP 노드 사이의 시간 공정성이 제공되지 못하고 있다.

4. 전송계층을 고려한 시간 공정성

4.1 AP 우선순위

여기에서는 전송계층을 고려하여 시간 공정성을 제공할 수 있는 방안으로 AP 우선순위 방안을 제안한다. 3장에서 AP가 TCP-ACK 패킷을 충분히 전송하지 못하기 때문에 무선 노드에는 보낼 패킷이 부족하다는 것을 분석하였다. 또한, AP 스케줄링 방법은 TCP 트래픽만 존재하는 상황에서 발생하는 문제에는 대처할 수 있으나, TCP와 UDP가 혼재된 상황에서는 해결책이 되지 못하는 것을 보였다.

제안하는 AP 우선순위 방안은 AP에 전송기회를 더 많이 부여하여 TCP 무선 노드에 보낼 패킷이 충분히 생성되도록 방법이다. AP가 TCP-ACK 패킷을 많이 전송하면 무선노드가 TXOP 시간을 충분히 활용할 수 있을 것이기 때문이다. 또한 TCP와 UDP가 같이 존재하는 상황이라도 AP가 패킷을 많이 전송해 주게 되면 TCP 노드의 MAC 계층에 패킷이 항상 대기 하고 있기 때문에 UDP 노드와 동등하게 채널에 접근을 시도하게 되고 TXOP 시간을 충분히 활용할 것을 기대할 수 있다.

AP 우선순위 방안을 사용할 경우 식 (1)에서 제시된 평균 패킷 전송개수는 아래처럼 쓰일 수 있다.

$$\begin{aligned}
 E(N) &= E(N_{TCP-ACK}) \left(1 + \frac{E(T_1)}{E(T_2)} \right) \\
 &= E(N_{TCP-ACK}) \left(1 + \frac{E(T_1)}{E(D_{wired}) + E(T_{1-AP}) + T_{ACK}} \right)
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

$N_{TCP-ACK}$ 은 AP가 한번 채널을 접근했을 때 연속적으로 전송하는 TCP-ACK 패킷의 평균 개수이다.

식 (3)에서 우리가 조절할 수 있는 값은 $N_{TCP-ACK}$ 과 T_{1-AP} 이다.

AP에 더 높은 채널 접근 우선순위를 제공하는 방법으로는 AP에 무선 노드보다 더 큰 TXOP 시간을 주는

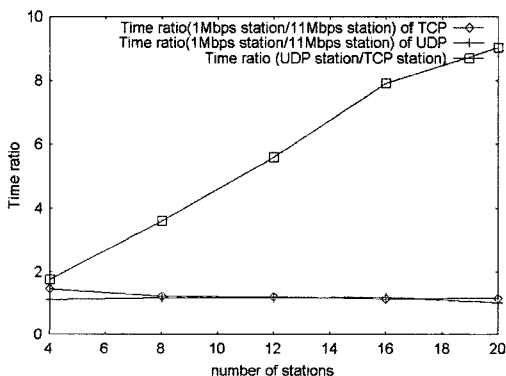


그림 8 AP 스케줄링과 TXOP를 함께 사용한 경우의 시간 공정성

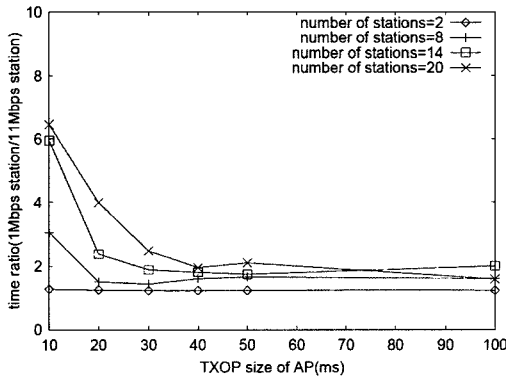
방법과, AP의 CWmin을 줄이는 방법이 있다. AP에 큰 TXOP 시간을 주는 경우($N_{TCP-ACK}$ 이 증가한다), AP가 한번 채널에 접근했을 때 많은 패킷을 전송할 수 있다. 즉 채널 접근 확률은 동일하지만 한번 접근하면 한 번에 많은 양의 TCP 패킷이 전송된다. AP에 작은 CWmin을 할당하면(T_{LAP} 가 줄어든다), 채널 접근 확률이 높아진다. 즉 AP는 무선 노드가 한번 채널에 접근하는 동안 몇 번 더 채널에 접근 할 수 있기 때문에 많은 패킷을 전송할 수 있다. 이런 방법을 통해서 AP가 패킷을 많이 내려 보내게 되면 무선 노드에서 보낼 패킷을 많이 만들어서 TXOP 시간을 활용할 수 있게 된다.

AP 우선순위 방안은 802.11e에서 제시된 TXOP 시간 개념만 활용할 수 있으면 다른 정보나 알고리즘 없이 동작 할 수 있다는 장점이 존재한다. 또한 무선 노드의 세팅이나 동작을 수정할 필요가 없다. AP 스케줄링에서 필요로 하는 패킷을 다른 큐에 나누어서 조절하는 등의 새로운 기능을 가진 AP가 필요 없다. 예측할 수 있는 하나의 단점은 모든 노드가 전송을 하기 위해 대기 상태에 있기 때문에 충돌이 늘어나게 되어 이로 인

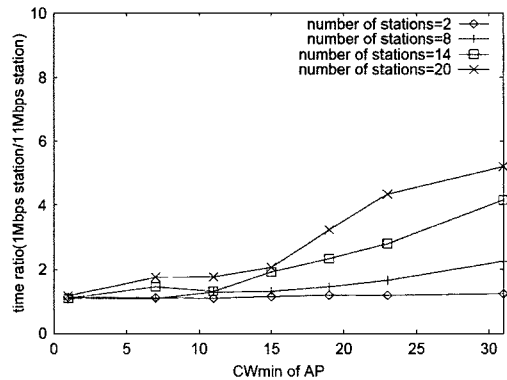
한 자원 낭비가 일어날 우려가 있다는 점이다.

그림 9에서는 AP의 TXOP의 크기에 따른 AP 우선 순위 방안의 성능을 나타내었다. 그림 9(a)에서 AP의 TXOP 시간을 크게 할수록 시간 공정성이 1에 근접해 가는 것을 볼 수 있다. 그러나 AP의 TXOP 시간을 무한대로 하더라도 시간 비율이 1에 도달하지는 못하였다. 이것은 AP가 한 번에 많은 패킷을 보낼 수 있지만 일단 AP가 채널에 접근하는데 시간이 오래 걸리기 때문이다. 전체 처리율을 나타낸 그림 9(b)에서 AP의 TXOP 크기가 커질수록, 즉 노드들의 시간 사용 비율이 1에 가까워질수록 전체 처리율이 높아지는 것을 볼 수 있다.

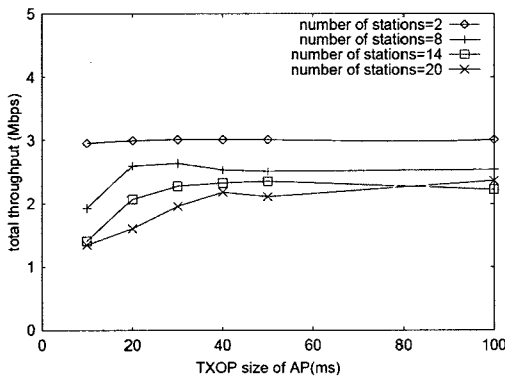
그림 10은 CWmin 값에 따른 AP 우선순위 방법의 성능을 나타내고 있다. 그림 10(a)에서 AP의 CWmin값을 작게 함에 따라서 시간 공정성을 나타내는 시간 비율이 1에 점점 근접해 간다. 무선 노드가 TXOP 시간을 잘 활용하여서 시간 공정성이 유지되는 것이다. 그림 10(b)에서 이때의 전체 처리율을 나타내었다. 시간 공정성 제공에 따라 전체 처리율이 증가하는 것을 확인할



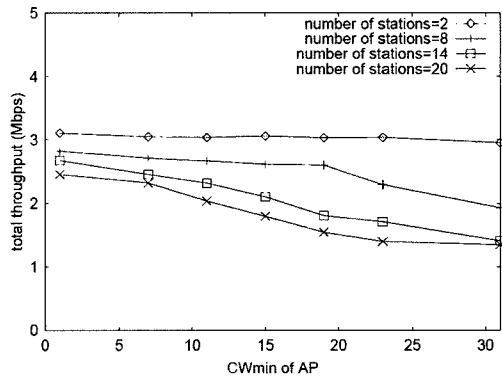
(a) 시간 사용 비율



(a) 시간 사용 비율



(b) 전체 처리율



(b) 전체 처리율

그림 9 TXOP 변화에 의한 AP 우선순위

그림 10 CWmin 변화에 의한 AP 우선순위

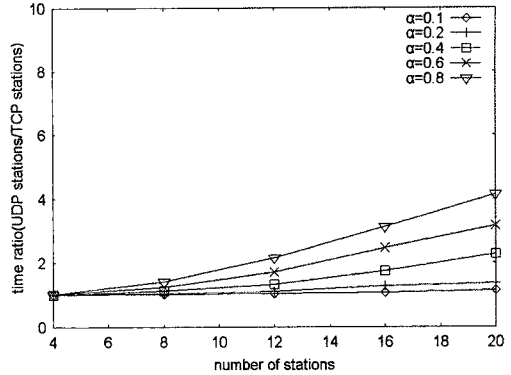
수 있다. CWmin을 작게 하면 AP의 채널 접근이 빈번해지고 충돌이 증가할 우려가 있다. 그러나 CWmin을 극단적으로 작게 하더라도 전체 처리율이 오히려 증가하는 것으로 볼 때, 충돌에 따른 성능 감소보다는 시간 공정성 제공에 의한 성능 증가가 더 크다는 것을 관찰할 수 있다.

4.2 동적 CWmin 조절(Dynamic CWmin Adjustment)

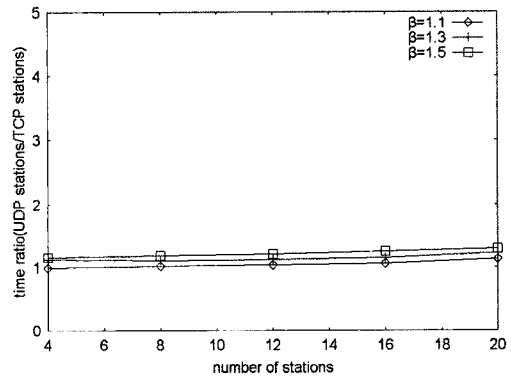
AP 우선순위 방법 외에, AP 스케줄링 기법을 바탕으로 UDP 노드의 CWmin 조절을 통해 UDP와 TCP 간의 시간 공정성을 제공하는 방안도 생각할 수 있다. AP 스케줄링 방안은 다운링크 트래픽의 조절을 통해 업링크 트래픽까지 조절하는데 UDP 트래픽이 존재할 경우 AP가 이를 제어하지 못하기 때문에 결국 시간 공정성을 제공하지 못한다는 것을 3장에서 살펴보았다. 이 문제를 극복하기 위해서는 UDP 노드가 사용하는 시간을 줄여야 할 필요가 있는데 UDP 노드가 사용하는 시간을 줄이는 방법으로는 UDP 노드의 TXOP 시간을 줄이는 방법과 CWmin을 늘리는 방법을 고려해 볼 수 있다. TXOP 시간을 줄이는 방법은 TXOP 시간을 효율적으로 사용하기 위해서 MAC 계층에서 패킷 분할을 수행하여야 하는 문제점이 존재한다. 이에 반해 CWmin을 줄이는 방안은 그런 제약점이 존재하지 않으므로 UDP 노드의 CWmin을 동적으로 조절하는 방안을 채택하였다.

동적 CWmin 조절 방법의 동작을 자세하게 살펴볼도록 하자. 그림 11은 동적 CWmin 조절의 알고리즘을 나타내고 있다. AP는 먼저 각 노드들이 업링크로 데이터를 전송하여 채널을 사용하는 시간을 측정한다. 특정 시간(a)마다 이 알고리즘은 동작하게 되는데, 이 시간 동안 TCP 노드와 UDP 노드가 채널을 사용하는 평균 시간(T_{TCP} , T_{UDP})을 AP가 측정한다. T_{TCP} 와 T_{UDP} 의 비율이 β 를 초과하게 되면 UDP 노드들의 CWmin을 γ 만큼 동적으로 조절한다. CWmin값을 노드에게 알려주는 데에는 비콘 프레임(beacon frame)이 유용하게 사용될 수 있다.

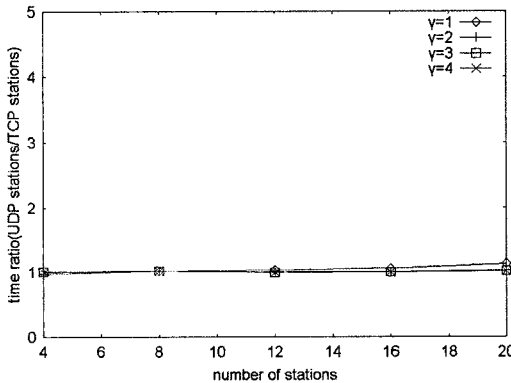
그림 12는 동적 CWmin 조절 알고리즘의 파라미터들이 성능에 미치는 영향을 나타내고 있다. 그림 12(a)에서는 알고리즘 수행 주기(a)를 변화시켰는데, 수행 주기가 짧을수록 성능이 좋게 나타났다. 수행 주기가 짧을수록



(a) α 에 따른 변화 ($\beta=1.1, \gamma=1$)



(b) β 에 따른 변화 ($\alpha=0.1, \gamma=1$)



(c) γ 에 따른 변화 ($\alpha=0.1, \beta=1.1$)

그림 12 동적 CWmin 조절의 성능

```

Every  $\alpha$  second
 $T_{tcp}$  = time consumed by TCP stations / # of TCP stations
 $T_{udp}$  = time consumed by UDP stations / # of UDP stations
if( $T_{udp}/T_{tcp} > \beta$ )
    CWmin of UDP stations +=  $\gamma$ 
else if( $T_{tcp}/T_{udp} > \beta$ )
    CWmin of UDP stations -=  $\gamma$ 
else do nothing
    
```

그림 11 동적 CWmin 조절 알고리즘

록 알고리즘 수행에 따른 오버헤드가 커지겠지만, CWmin을 할당하는 정보를 AP가 다른 패킷에 피기백(piggyback)하여 전송할 수 있기 때문에 그 오버헤드는 크지 않다. 그림 12(b)에서는 CWmin을 조절하는 기준이 되는 시간 사용 비율을 변화시켰는데 시간 공정성을 나타내는 1에 가까울수록 미세하지만 더 좋은 성능을 나타

내었다. 그리고 그림 12(c)에서는 한 번에 조절하는 CWmin의 크기를 변화시켰다. CWmin을 1씩 변화시킬 때 보다는 2이상으로 변화시킬 때 미세하게 그 결과가 더 좋게 나타났다.

동적 CWmin 조절 방법은 UDP 노드와 TCP 노드 사이의 시간 공정성을 제공할 수 있지만, AP 스케줄링에 추가된 알고리즘이기 때문에 AP가 많은 정보와 많은 큐를 유지해야 하는 AP 스케줄링의 단점은 그대로 존재하게 된다.

5. 성능 평가

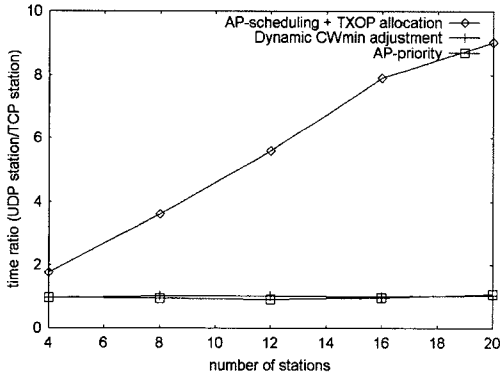
이번 장에서는 앞에서 제시한 AP 우선순위 방법과 동적 CWmin 할당 방법의 성능을 비교한다. 11Mbps TCP 노드, 1Mbps TCP 노드, 11Mbps UDP 노드, 1Mbps UDP노드의 네 종류 노드가 같은 비율로 존재하는 환경에서 시뮬레이션을 진행하였다.

그림 13에서는 AP 우선순위 방안, 동적 CWmin 조절 방안을 AP 스케줄링과 TXOP 할당 방안의 조합과

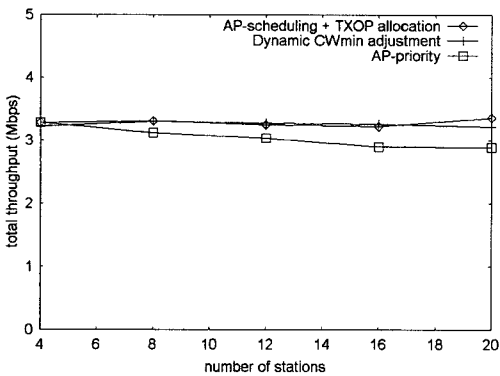
비교하였다. 그림 13(a)에서 볼 수 있듯이, AP 스케줄링과 TXOP 할당 방안을 조합하더라도 UDP노드와 TCP 노드 사이에 시간 공정성을 제공하지 못하는 것은 3장에서 이미 설명하였다. 그에 비하여 AP 우선순위 방안은 UDP 노드와 TCP 노드 간에 시간 공정성을 제공하는 것을 볼 수 있다. AP 우선순위 방안은 AP가 TCP-ACK 패킷을 많이 전송할 수 있도록 하기 때문에 무선 노드에서는 전송할 패킷을 많이 생성할 수 있고, 따라서 무선노드는 UDP와 TCP에 관계없이 MAC 계층에서 전송할 패킷을 많이 가지고 있을 수 있게 된다. 즉 MAC계층의 입장에서는 TCP도 마치 UDP와 비슷하게 동작하게 되어 전송할 패킷을 많이 내려 보내주게 되는 것이다. 동적 CWmin 조절 방안의 경우에도 AP 우선순위 방안과 마찬가지로 시간 공정성을 제공함을 확인할 수 있다. 동적 CWmin 조절 방안에서 $\alpha=0.1$, $\beta=1.1$, $\gamma=2$ 로 세팅하였다. 그러나 AP 우선순위 방안은 AP에서 복잡한 처리 과정이 필요 없고, 추가적인 메시지 교환이 필요 없기 때문에 더 효율적인 방안이라 할 수 있다. 그림 13(b)에서는 전체 처리율을 나타내었다. 모든 경우 전체 처리율은 별로 차이가 없는데, 이것은 AP 스케줄링 + TXOP 할당 방안의 경우 시간 공정성은 제공되지 않았지만 UDP 노드가 채널을 독점하여 패킷을 많이 전송하였기 때문이다. AP 우선순위 방안이 전체 처리율이 약간 떨어지는 것은 AP 우선순위 방안은 보다 많은 노드들이 채널을 다투기 때문이다. 그러나 그 차이는 크지 않다.

6. 결론

시간 공정성의 개념이 다중 데이터 전송률을 지원하는 무선랜에서 전체 데이터 처리율을 높이는 데에 아주 효과적이라는 것은 이미 널리 알려져 있고 몇몇 논문에서 이를 고려하였다. 그러나 전송계층 프로토콜이 시간 공정성 제공 방안에 미치는 효과는 많이 연구되지 않았다. 본 논문에서는 시간 공정성 제공방안에서 TCP 트래픽과 UDP 트래픽이 보이는 차이점을 설명하였고, 그 한계를 제시하였다. 또한 전송 계층 프로토콜에 관계없이 시간 공정성을 제공하는 AP 우선순위 방법과 동적 CWmin 조절 방법을 제시하였다. 특히, AP 우선순위 방안은 TXOP 시간 개념만을 사용해서 구현이 아주 간단하고, 새로운 기능을 가진 장비가 필요 없으며, TCP와 UDP의 전송계층 프로토콜의 종류에 관계없이 잘 동작할 수 있다. 제안된 방안들이 다중 데이터 전송률을 지원하는 무선랜에서 전송계층 프로토콜에 관계없이 시간 공정성을 제공하고, 전체 처리율을 DCF에 비해 100% 이상 개선 할 수 있음을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.



(a) 시간 사용 비율



(b) 전체 처리율

그림 13 TCP와 UDP가 공존하는 경우 시간 공정성 성능 비교

참 고 문 헌

[1] IEEE Std. 802, Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, ANSI/IEEE Std. 802.11-1999, August 1999.

[2] Roshan Pejman, Leary Jonathan, 802.11 Wireless Lan Fundamentals, Macmillan Technical Pub, 2003.

[3] IEEE 802.11b. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications : High-speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band. Supplement to IEEE 802.11 Standard, Sep. 1999.

[4] IEEE 802.11a. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications : High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band. Supplement to IEEE 802.11 Standard, Sep. 1999.

[5] IEEE 802.11g. Part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications : Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band.

[6] A. Kamerman and L. Monteban. WaveLAN II: A high-performance wireless LAN for the unlicensed band. Bell Labs Technical Journal, pages 118-133, Summer 1997.

[7] G. Holland, N. Vaidya, and P. Bahl. A rate-adaptive MAC protocol for multi-hop wireless networks. In Proceedings of ACM MOBICOM'01, Rome, Italy, 2001

[8] Data Sheet of Cisco Aironet 350 Series Access Points. http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/witc/ao350ap/prodlit/carto_in.htm.

[9] A. Kamerman and L. Monteban. Wavelan ii: A highperformance wireless lan for the unlicensed band. Bell Labs Technical Journal, pages 118 - 133, Summer 1997.

[10] ORiNOCO AS-2000 System Release Note.

[11] M. Heusse, F. Rousseau, G. Berger-Sabbatel, A. Duda, "Performance anomaly of 802.11b," In Proc. of IEEE INFOCOM'03, April 2003.

[12] B. Sadeghi, V. Kanodia, A. Sabharwal, and E. Knightly, "Opportunistic media access for multi-rate ad hoc networks," In Proc. of ACM MOBICOM'02, Sept 2002.

[13] Ilenia Tinnirello and Sunghyun Choi, "Temporal fairness provisioning in multi-rate contention-based 802.11e WLANs," In Proc. of IEEE WoWMoM'05, June 2005.

[14] IEEE 802.11e Part 11: : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications : Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements, 2005.

[15] Raffaele Bruno, Marco Conti, Enrico Gregori, and Romano Fantacci, "Throughput vs. temporal fair MAC protocols in multi-rate WLANs: analysis and performance evaluation," In Proc. of IEEE VTC'04, Sept 2004.

[16] G. Bianchi. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 18(3): 535-547, March 2000.

[17] Godfrey Tan and John Guttag., "Time-based fairness improves performance in multi-rate WLANs," USENIX'04, July 2004.

[18] The network Simulator-ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

[19] Sunwoong Choi, Kihong Park, and Chong-kwon Kim, "Performance impact of inter-layer dependence in infrastructure WLANs". IEEE Transactions on Mobile Computing, vol.5, no.7, pp.829-845, July 2006.



강 지 명
2004년 서울대학교 컴퓨터공학부(학사)
2006년 서울대학교 컴퓨터공학부(석사)
2006년~현재 한국전기연구원 융합기술
연구단. 관심분야는 애드혹 네트워크, 초
광대역 통신, 전력선 통신



조 성 호
1999년 서울대학교 수학교산통계학과 전
산전공(학사). 2001년 서울대학교 대학원
전기.컴퓨터공학(석사). 2008년 서울대학
고 대학원 전기.컴퓨터공학(박사). 2007
년~현재 삼성전자 기술총괄. 관심분야는
무선 네트워크, 메쉬 네트워크, 홈 네트
워크, 프로토콜 설계



최 선 응
1998년 서울대학교 전산과학과(학사). 2000
년 서울대학교 전산과학과(석사). 2005년
서울대학교 전기.컴퓨터공학(박사). 2005
년~2007년 삼성전자 정보통신총괄 책임
연구원. 2007년~현재 국민대학교 전자
공학부 전임강사. 관심분야는 무선 네트
워크, 네트워크 자원관리, 시스템 성능 평가

김 중 권
정보과학회논문지 : 정보통신
제 35 권 제 1 호 참조