

무선 랜에서의 상·하향 TCP 플로우 공정성 제고를 위한 AP의 스케줄링 알고리즘 연구

임도현[†], 석승준^{**}

요 약

표준 IEEE 802.11 무선 랜 환경에서는 AP를 중심으로 상향 플로우와 하향 플로우가 데이터 처리량에 있어서 상호 불공평성이 발생한다. 이 불공평성의 원인은 무선 랜에서 사용하는 DCF(Distributed Coordination Function) MAC(Medium Access Control) 프로토콜이 AP(Access Point) 노드에게 다른 무선 단말과 같은 우선순위를 부여하기 때문이다. 또한 TCP(Transmission Control Protocol) 프로토콜에서 데이터 세그먼트가 확인(Acknowledgement) 세그먼트보다 손실 시 처리량 저하에 미치는 영향이 크기 때문에 불공평성이 더욱 증가된다. 본 논문에서는 우선 발생하는 불공평성의 정도를 알아보기 위하여 여러 가지 네트워크 환경을 구성하여 시뮬레이션을 실시한다. 또한 불공평성 문제를 일으키는 원인들의 정도를 실험을 통해서 확인한다. 이러한 불공평성 현상을 개선시키기 위하여 논문에서는 AP의 스케줄링 구조 및 알고리즘을 제안한다. 제안방안은 ns2 시뮬레이션을 통해서 성능을 확인한다.

A Scheduling Algorithm of AP for Alleviating Unfairness Property of Upstream-Downstream TCP Flows in Wireless LAN

Do-Hyun Lim[†], Seung-Joon Seok^{**}

ABSTRACT

There is a serious unfairness problem between upstream and downstream flows of AP in IEEE 802.11 Wireless LAN. This problem is because Wireless LAN's DCF MAC protocol provides AP with equal channel access priority to mobile noded. Also, it makes this problem worse that the TCP's Data segment loss is more effective on throughput than the TCP's ACK segment. In this paper, we first make several simulations to analysis the unfairness in the various point of view and to find reasons of the unfairness. Also, this paper presents AP's scheduling scheme to alleviate the unfairness problem and evaluate the scheme through ns2 simulator.

Key words: Wireless LAN (무선 랜), AP Scheduling (AP 스케줄링), TCP Up-Down Stream Unfairness (TCP 상하향 스트림 불공평성)

1. 서 론

최근 들어 무선 랜의 급속한 보급으로 공공장소에서 무선 단말기를 사용한 인터넷 사용자 수가 빠르게

증가하고 있다. 한편 일반적인 가입자 망 트래픽 특성과 일치하게 무선 랜에서도 무선 단말기로부터 AP(Access Point)로 전송되는 상향(Upstream) 트래픽 보다는 하향(Downstream) 트래픽이 더 많은

※ 교신저자(Corresponding Author) : 석승준, 주소 : 경상남도 마산시 월영동 449(631-701), 전화 : 055)249-2710, FAX : 055)248-2554, E-mail : sjseok@kyungnam.ac.kr
접수일 : 2009년 9월 30일, 수정일 : 2009년 10월 26일
완료일 : 2009년 11월 4일

[†] 준회원, 경남대학교 컴퓨터공학부
(E-mail : bluebamus@net.kyungnam.ac.kr)

^{**} 정회원, 경남대학교 컴퓨터공학부 조교수

※ 본 연구는 경남대학교 학술진흥연구비 지원[연구기간: 2008년 9월 ~ 2009년 8월]으로 수행되었음

비중을 차지한다[1]. 특히 Infrastructure 모드의 WLAN(Wireless LAN) 구조에서는 모든 상향 트래픽은 AP를 향해 집중되고 하향 트래픽은 AP로부터 전송되기 때문에 AP에 많은 트래픽이 집중되는 구조이다.

IEEE 802.11 표준방식의 무선 랜(Wireless LAN)에서 사용되는 DCF(Distributed Coordination Function) MAC(Medium Access Control) 프로토콜은 AP를 포함한 모든 무선 단말기들에게 공평한 채널 접근 빈도를 제공한다. 하지만 AP 노드를 무선 단말과 구분하지 않는 DCF 프로토콜은 무선 랜에서 상향과 하향 트래픽 사이에 심각한 불공평성 문제를 야기하게 된다. 이러한 불공평성은 TCP (Transmission Control Protocol)를 사용하는 트래픽의 경우 더욱 확대되는 특성이 있다. 이는 DCF의 동작과 더불어 AP에서 지연 등의 이유로 인해 충분한 버퍼를 확보하지 못했기 때문에 발생하는 것이다.

무선 랜의 상·하향 트래픽 사이의 불공평성 문제를 개선하기 위한 연구는 그동안 지속적으로 이루어져 왔다. 논문[2,3]에서는 무선 랜에서의 이러한 불공평성을 고려한 TCP 처리량에 대한 수학적 모델을 제시하고 있다. 본 논문의 2장에서는 우선 본 논문에서 다루고 있는 불공평성 문제를 정의하고, 시뮬레이션 결과를 통하여 문제의 원인을 심도 있게 살펴볼도록 한다. 3장에서는 그 동안 연구된 해결방안 들에 관해서 정리한다. 4장에서는 불공평성 문제를 해결하기 위해 본 논문에서 제안하는 방안을 서술하고, 5장에서 제안하는 방안의 성능을 평가한다.

2. 무선 랜에서의 상·하향 TCP 플로우 사이의 불공평성 문제

그림 1의 네트워크 구조에서 N개의 무선 단말기는 AP를 통해서 각기 다른 서버를 향해서 데이터를 전송하고 또 다른 N개의 단말기는 AP로부터 서버가 보낸 데이터를 수신한다. 이러한 환경에서 AP가 다른 무선 단말과 같은 무선 채널 접근 확률을 갖도록 하는 DCF MAC 프로토콜 때문에 N개의 하향 플로우들의 총 처리량이 N개의 상향 플로우들의 총 처리량보다 매우 작은 결과가 나타난다. 이점이 본 논문에서 다루고 있는 상·하향 플로우 사이의 불공평 문제이다. 또한 앞서 언급한 DCF MAC 프로토콜의

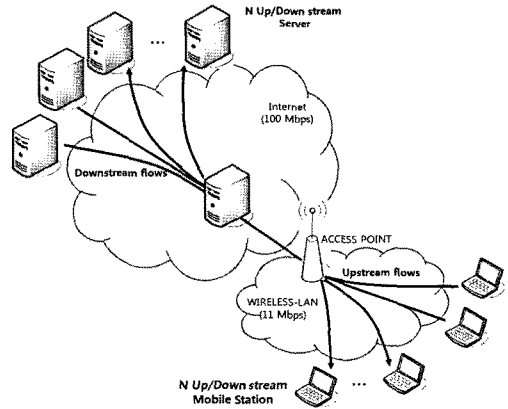


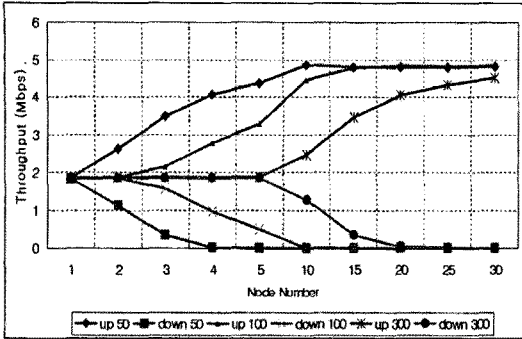
그림 1. 인프라 (Infrastructure) 모드의 무선 랜 모델

영향이 불공평성 문제의 첫 번째 원인이 된다.

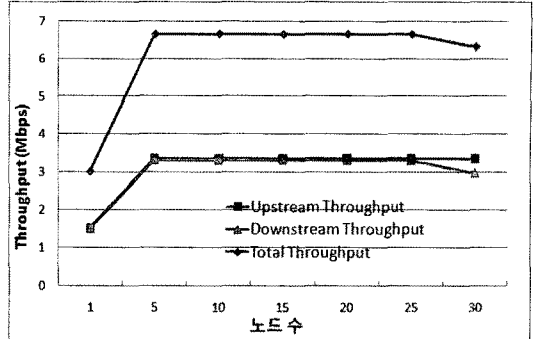
다른 한편으로 위 네트워크 환경에서 TCP 플로우가 사용되는 경우에는 TCP 혼잡제어(Congestion Control) 메커니즘이 불공평성 문제에 영향을 미친다. 즉 TCP 프로토콜은 자신이 전송한 데이터 패킷이 목적지에 도착하기 전에 손실되는 경우 네트워크 내 혼잡이 발생한 것으로 생각하고 혼잡 윈도우 크기를 절반 혹은 초기 값으로 줄인다. 하지만 확인(ACK) 패킷이 손실되는 경우에는 누적 확인(Cumulative ACK) 메커니즘에 의해서 복구될 수 있기 때문에 대부분의 경우 윈도우 크기를 줄이지 않는다.

혼잡에 의한 데이터 손실은 병목 구간 링크의 버퍼가 넘쳐서 발생한다. 따라서 그림 1의 네트워크 환경에서 무선 랜이 병목링크가 된다면 AP의 버퍼에 들어가지 못하는 하향 플로우의 데이터 패킷과 상향 플로우의 확인 패킷의 손실이 발생하게 된다. 결국 이러한 혼잡현상은 하향 플로우의 처리량에 대한 심각한 저하를 일으키지만 상향 플로우의 영향은 상대적으로 적게 된다. 정리하면 TCP 혼잡제어 메커니즘은 무선 랜의 상·하향 플로우 불공평성 문제의 두 번째 원인이 된다.

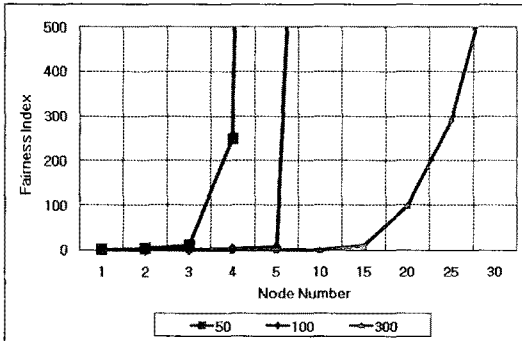
그림 2는 상·하향 TCP 플로우를 사용하는 무선 단말이 각각 1개에서 30개까지 증가하는 경우 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 또한 AP의 버퍼크기가 50, 100, 300 패킷의 경우를 고려하였다. 본 논문에서는 ns2 [4] 시뮬레이터를 사용한다. 그림 2(a)는 무선 단말의 수가 증가할수록 상향과 하향 플로우의 처리량의 차이가 커지고 일정한 지점에서는 하향 플로우는 데이터를 거의 전달하지 못하게 된다. 이러한 불공평



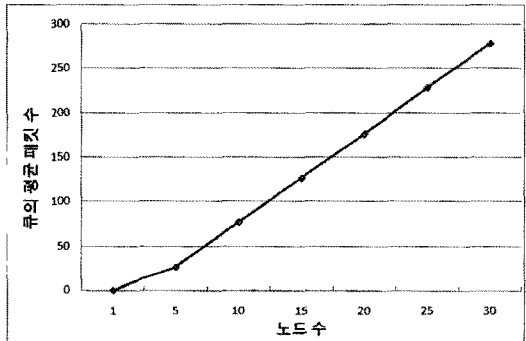
(a) 상·하향 TCP 플로우 처리량 비교



(a) 상·하향 TCP 플로우 처리량 비교



(b) 불공평성 지수



(b) AP 버퍼의 평균 길이(패킷 수)

그림 2. AP 버퍼의 크기(50, 100, 300)에 따른 무선 랜 상·하향 TCP 플로우 불공평성 실험결과

그림 3. AP의 버퍼 크기가 매우 큰 경우 상·하향 TCP 플로우 처리량과 버퍼의 평균 길이

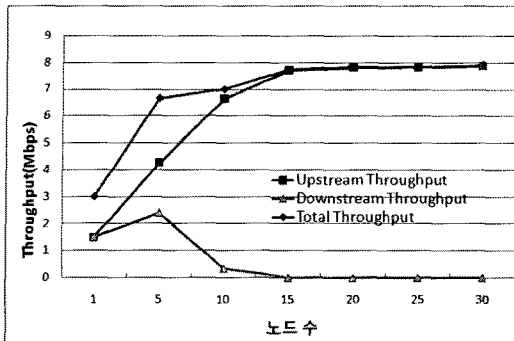
성 현상은 AP의 버퍼 크기가 작을수록 일찍 발생하고 버퍼 크기가 증가할수록 더 많은 혼잡상황에서 불공평성이 나타나게 된다. 이러한 결과로 보아 AP의 버퍼 크기가 패킷을 손실시키지 않을 정도로 충분히 크다면 불공평성을 막을 수 있다는 것을 알 수 있다. 그림 2(b)는 불공평성 지수(Fairness Index(R) = 상향 플로우 처리량의 합 / 하향 플로우 처리량의 합)로 실험결과를 표현하고 있다. 논문[5]은 위의 실험에서 보이고 있는 무선 랜 AP의 버퍼의 크기와 상·하향 TCP 플로우들 사이의 불공평성 사이의 상관관계를 수확 모델을 사용하여 증명하였다.

그림 3은 앞서 실험에서 버퍼의 크기를 매우 큰 값(1000 패킷)으로 사용한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 버퍼의 크기가 혼잡에 의한 손실이 발생하지 않을 정도로 매우 크다면 상향과 하향 플로우 사이에 불공평성이 발생하지 않는다. 하지만 이 경우 노드 수(플로우 수)가 증가함에 따라 버퍼의 평균 패킷 수와 패킷의 바이트 수도 급

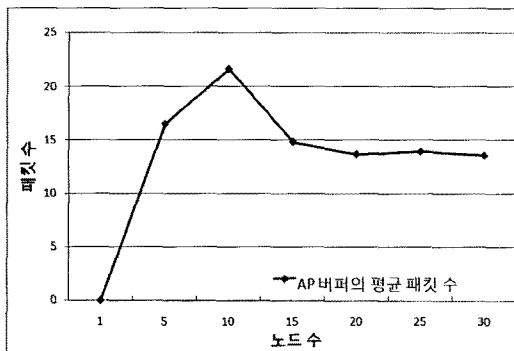
격히 증가하는 현상이 발생하고 이로 인해서 중단간 전달 지연이 크게 증가하게 되는 문제가 발생한다.

그림 4는 앞서 실험에서 크기가 100 패킷인 RED (Random Early Detection) 버퍼를 사용하는 경우 실험결과이다. 그림 4(a)에서 보이고 있는 것과 같이 노드 수가 증가할 때마다 버퍼의 손실이 증가하여 상·하향 TCP 플로우 불공평이 급격히 증가하는 현상이 발생한다. 그림 4(b)의 버퍼의 패킷 수는 15노드 이후 안정적인 값을 나타내고 있으나 그림 4(c)의 평균 큐 길이는 매우 감소하는 현상을 보이고 있다. 이러한 결과로 보아 불공평성이 증가할수록 버퍼에 저장된 패킷 중 TCP 확인 패킷의 비율이 데이터 패킷보다 급격히 높아진다는 것을 유추할 수 있다.

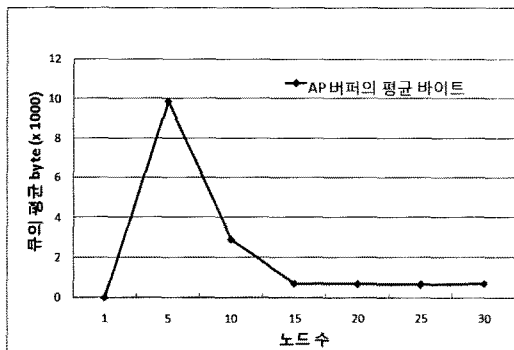
이와 같은 연구결과는 AP의 버퍼 길이 혹은 버퍼의 패킷 손실률이 상·하향 플로우의 사이의 불공평성 크기를 나타내는 척도로서 사용될 수 있음을 보이고 있다. 본 논문에서는 이점을 활용한 불공평성 개선 방안을 제안한다.



(a) 상·하향 TCP 플로우 처리량 비교



(b) 버퍼의 평균 패킷 수



(c) 버퍼의 평균 바이트 수

그림 4. 크기가 100인 RED 버퍼의 경우 상·하향 TCP 플로우 처리량과 버퍼의 평균 길이

3. 관련연구

이 장에서는 그동안 상·하향 TCP 플로우 불공평성 문제를 해결하기 위해 제안된 방법들을 접근방식에 따라서 MAC 계층 기법과 TCP 크로스 레이어 기법으로 분류하고 그 특징과 문제점에 대해서 정리한다.

3.1 MAC 계층 기법

MAC 계층 방안은 하향 처리량이 상향 처리량과 동일하도록 DCF의 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance) 메커니즘의 파라미터(CW, IFS, 재전송 회수 등) 혹은 동작을 조정하는 방법이다. 예를 들어 AP의 CW(Contention Window)min 값을 감소시키거나 무선 단말기의 CWmin 값을 증가시키는 방법을 사용할 수가 있다 [6,7]. 이러한 CSMA/CA 파라미터 조절방법은 무선 단말기의 수에 따라서 파라미터 값을 변경하여야 한다. 따라서 정밀한 제어가 어려운 문제점이 있다. 다른 방법으로 AP에 상향 플로우를 위한 Rate-Limiter를 설치하는 방법으로서, Rate-Limiter는 무선 단말기로부터 해당 플로우가 허락된 속도를 초과하는 경우 해당 패킷을 손실시키게 된다. 그 결과 상향 TCP 플로우 내부 혼잡제어 동작에 의해서 전송속도는 줄어들게 된다[8,9]. 이 방법은 이미 무선 랜의 자원을 사용하여 AP에 도착한 패킷을 손실시킴으로서 무선 자원이 소모되어 총 처리량이 줄어들게 되는 문제점이 있다.

3.2 TCP/MAC 계층 크로스 레이어 기법

TCP 크로스 레이어 기법은 링크 혹은 네트워크 계층에서 패킷에 포함된 TCP 계층 정보를 활용하는 방법을 의미한다. 이에 속한 방법의 공통 개념은 AP에서 상향 플로우의 확인(ACK) 패킷을 제어하여 상향 플로우의 처리량을 줄이고 그 결과 하향 플로우의 처리량을 증가 시키도록 하는 것이다.

우선 가장 간단한 방법으로는 AP의 하향 버퍼를 두 개로 나누고 데이터와 확인 패킷을 분리하여 넣도록 하는 것이다. 특히 확인 패킷용 버퍼의 크기를 상대적으로 작게 하여 혼잡시 데이터 패킷보다 먼저 손실되도록 한다[10]. 이보다 더 세련된 방법으로 AP에서 데이터와 확인 패킷을 위해 정밀하게 계산된 스케줄링 알고리즘을 동작시키는 방법이 있다[1,7,11]. 특히 [12]에서는 상향 플로우의 확인 패킷에 대해서 혼잡제어(Congestion Control) + 필터링(Filtering) 기법을 적용하여 하향 데이터 패킷에 대한 링크 우선순위를 높이도록 하는 방법을 제안하고 있다. 또한, AP의 하향버퍼를 물리적으로 분할하지 않고 데이터와 확인 패킷을 위하여 AQM(Active Queue Management) 기

출인 RED(Random Early Detection) 메커니즘을 각각 적용하도록 하는 방법이 있다[6,13,14].

다른 접근 방법으로 AP 지나가는 상·하향 TCP 확인 패킷의 수신측 윈도우 크기(Receiver Window Size) 필드의 정보를 수정하여 상·하향 플로우의 처리량을 조절하는 방법이 있다[10]. 논문 [15]에서는 무선 단말기에서 상향 플로우의 TCP 혼잡 윈도우 크기를 조절하는 방법을 제안하였다. 또한, AP가 명시적으로 TCP 송신측에게 정보를 전달하여 전송속도를 조절하도록 하는 방법도 있다[3].

이러한 크로스 레이어 기법의 가장 큰 문제점은 시스템 복잡성이다. AP는 지나가는 모든 패킷의 내용을 열어 TCP 헤더 정보를 추출하고 그 결과에 따라 다른 동작을 수행해야 한다.

3.3 무선 랜 충돌윈도우 조절 기법

AP와 무선 단말의 CWmin 값을 변경하는 경우 무선 랜의 불공평성의 실험결과는 그림 3, 4와 같다. AP의 CWmin 크기를 무선 단말보다 줄인다면 하향 플로우의 처리량이 늘어나고 상향 플로우의 처리량이 줄어들어 불공평성은 개선됨을 알 수 있다. 하지만 무선 단말의 전송량을 제어하지 않기 때문에 AP의 전송 빈도를 높이는 이러한 방법은 무선 랜의 혼잡을 더욱 증가시켜서 시스템 총 처리량을 줄이는 효과가 발생한다(그림 5). 무선 단말의 CWmin 값을 늘려 AP보다 채널 전송빈도를 줄이는 경우 상향 플로우의 처리량이 감소하여 불공평성이 다소 개선되지만 이는 하향 플로우의 처리량을 충분히 증가시키지 못하기 때문에 무선 랜의 불공평성 상태가 개선된 것이라 판단할 수 없다(그림 6). 그림 7은 AP의 CWmin 크기를 8로 감소시키고 CWmax 크기를

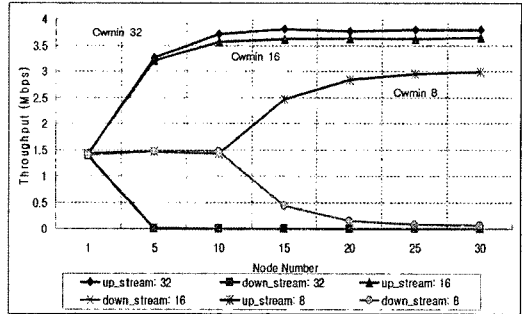


그림 6. AP의 CWmin 감소와 불공평성

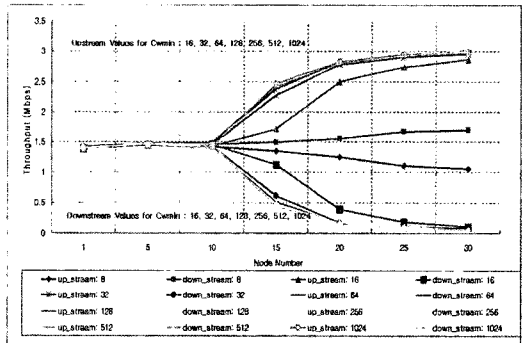


그림 7. AP의 CWmin, CWmax 감소와 불공평성

1024부터 8까지 변화 시키는 경우 무선 랜 상·하향 플로우 공평성이 상당히 개선될 수 있음을 보이고 있다. 하지만 앞서 살펴본 것과 같이 이 경우에도 링크 혼잡율이 기존의 경우보다 증가하게 되어 전체 시스템 처리량은 어느 정도 감소하게 된다.

4. AP를 위한 DCF 스케줄링 알고리즘

본 논문에서는 무선 랜의 상·하향 플로우 사이의 불공평성을 개선하기 위하여 링크 계층에서 단말기들 사이의 전송 순서를 조절하는 MAC 스케줄링 방식으로 APS(AP's Priority Scheduling) 알고리즘을 제안한다. APS 알고리즘은 AP에 의해서 동작하고 두 가지 패킷 전송 방식을 사용하여 무선 랜의 MAC 스케줄링을 시도한다. 그 중 하나는 AP가 다른 무선 단말기들에 비해 최우선 적으로 패킷을 전송하는 우선전송(Priority Transmission) 방식이고 다른 하나는 CSMA/CA 백오프 규칙에 따라 무선 단말기들과 경쟁하여 패킷을 전송하는 경쟁전송(Contention Transmission) 방식이다.

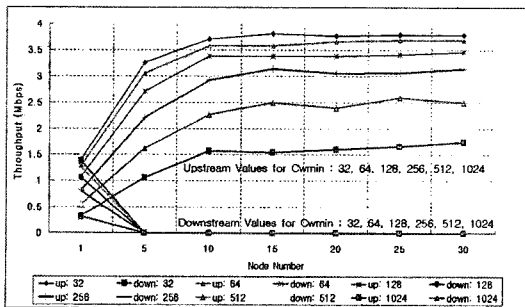


그림 5. 무선 단말의 CWmin 증가와 불공평성

만일 상·하향 플로우 불공평성이 악화되어 하향 플로우들의 처리량이 상향 플로우들에 비해 줄어든다면 AP의 MAC 스케줄러는 우선전송을 실시하고 반대로 불공평성이 허용할 수준이라면 AP는 CSMA/CA 방식에 따른 경쟁전송을 한다. 이를 위하여 APS 알고리즘은 현재 불공평성을 판단하는 방법이 필요하게 된다. 본 논문에서는 이를 위하여 UDA(Unfairness Detection Algorithm)을 제안한다.

앞서 2장에서 언급한 바와 같이 AP의 버퍼 길이는 불공평성 정도를 나타내는 척도로 활용될 수 있다. 하지만 버퍼의 길이가 제한적인 상황에서는 그 또한 정확한 방법은 아니다. 다른 척도로서 버퍼에 저장된 TCP 데이터 패킷과 TCP 확인 패킷의 비율이 사용될 수 있다. 지연 확인 메커니즘이 TCP에서 사용되지 않는다고 가정한다면 데이터 패킷과 확인 패킷의 증가율은 거의 일치한다. 따라서 상향 플로우의 대역폭이 하향 플로우에 비해서 크다면 버퍼에 확인 패킷의 비율이 높을 것이고 반대의 경우는 데이터 패킷의 비율이 높아진다고 예상할 수 있다.

UDA는 AP의 버퍼를 그림 8과 같이 3구역으로 구분한다. 버퍼의 길이가 ① 구역에 있는 경우 불공평성이 발생하지 않는다고 가정한다. 또한 ③ 구역은 RED 알고리즘이 동작하는 구간으로 입력되는 패킷을 확률적으로 손실시킨다. 만약 버퍼의 크기가 ② 혹은 ③의 구역에 있다면 UDA 알고리즘은 불공평성이 발생할 가능성이 높다고 생각하고 버퍼에 저장된 데이터 패킷과 확인 패킷의 비율을 조사한다. 그 비율이 일정 비율 이하라고 한다면 APS에게 우선전송을 하도록 지시한다.

그림 8은 APS 알고리즘이 적용된 AP의 구조이다. AP가 전송하고자 하는 패킷은 일단 버퍼에 입력된다. 이때 RED 알고리즘에 의해서 평균 버퍼의 길이를 고려하여 확률적으로 패킷을 손실시킨다. 이는 제한된 크기를 갖는 버퍼에 의해서 발생할 수 있는

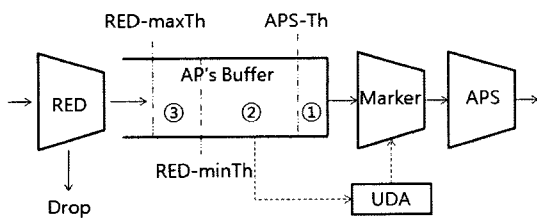


그림 8. 제안하는 AP의 스케줄러 구조

TCP 글로벌 동기화를 방지하는 효과를 얻기 위함이다. 버퍼에서 출력되는 패킷은 UDA에 의해서 불공평성 유무가 헤더에 표시되어 APS 블록으로 전송된다. APS 블록은 UDA의 판단에 따라 우선전송 혹은 경쟁전송을 한다.

APS가 우선전송을 수행하는 방법은 CSMA/CA MAC 파라미터를 변경하여 해당 패킷을 위퍼서 Backoff 없이 전송되도록 한다. 구체적으로 설명하면 우선전송 시 사용하는 DIFS* 시간은 경쟁전송을 위한 DIFS 보다 한 단위 시간(Slot Time) 작도록 하고, 충돌윈도우 크기를 0으로 해서 다른 무선 단말들보다 우선적으로 무선 채널을 점유할 수 있도록 하는 것이다. 제안하는 APS 알고리즘에서는 패킷별로 우선전송과 경쟁전송을 판단하도록 하고 있다.

UDA 알고리즘은 앞서 언급한 바와 같이 버퍼의 평균길이와 데이터 패킷과 확인 패킷의 비율을 사용하여 불공평성 정도를 확률적으로 판단한다. 패킷이 마커에 도착하는 경우 UDA는 아래와 같은 알고리즘에 의해서 불공평성 상황을 판단하고 패킷 전송방식을 결정한다.

```

if Average Buffer Length(BL) > APS-Th
    if A > a
        p = 0
    else β < A < a
        p = γ(a - A)/a
    else
        p = 1
else
    p = 0
    
```

A : AP의 버퍼에 저장되어 있는 TCP 데이터 패킷과 TCP ACK 패킷의 비율, [A = 데이터 패킷 수 / 총 패킷 수]

p : 무선 랜에서 상·하향 TCP 플로우간 불공평성 발생 확률, 0 < p < 1

a, β : Thresholds

γ: coefficient

먼저 평균 버퍼의 길이가 APS-Th보다 작다면 공평한 상황으로 보고 패킷을 APS에게 전달한다. 하지만 APS-Th 보다 크다면 버퍼에 저장된 데이터 패킷의 비율(A)을 보고 A가 a보다 크다면 역시 불공평성이 발생하지 않은 것으로 간주한다. 하지만 A가 β보

다 크고 α 보다 작은 상황에서는 불공평성을 확률적으로 판단하고 그 확률에 따라서 패킷의 우선전송 여부를 결정한다. 마지막으로 A 가 β 보다 작은 상황에서는 확실히 불공평성이 발생한 것으로 보고 해당 패킷을 우선전송 하도록 표시한다.

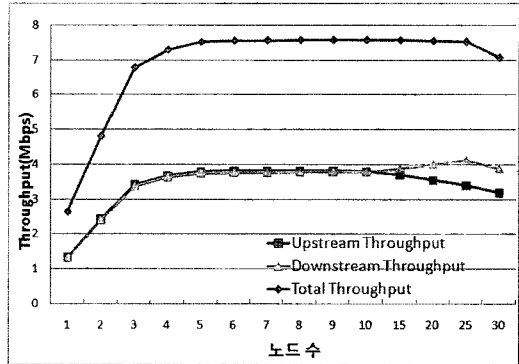
5. 성능평가

본 논문에서는 시뮬레이션을 통해서 제안한 스케줄링 알고리즘의 성능을 평가한다. 앞서 2장에서 수행한 것과 같이 ns2 시뮬레이터를 사용하며 실험 환경은 그림 1의 무선 랜 구조이고 AP는 크기가 100인 RED 버퍼를 사용하도록 한다. 세부적인 실험환경은 표 1과 같다.

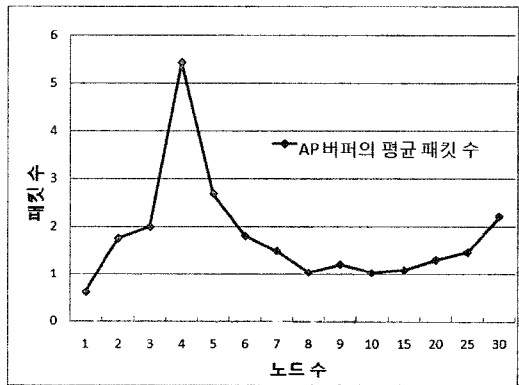
실험은 상향 TCP 연결과 하향 TCP 연결을 하나씩 생성하는 무선 노드 수를 증가시켜서 APS 스케줄링 알고리즘이 적용되는 경우 상·하향 플로우의 불공평성 변화를 살펴본다. 그림 9는 제안하는 AP 스케줄링 기법을 적용한 실험결과이다. 실험결과는 제안하는 기법이 무선 랜의 혼잡 정도(무선 단말 수)에

표 1. 시뮬레이션 파라미터

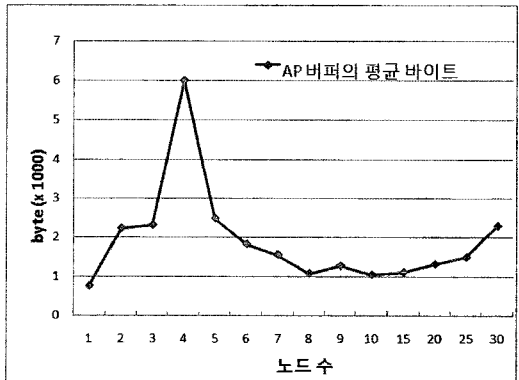
Parameters	Value
Packet Payload	1000 Bytes
MAC Header	28 Bytes
RTS Packet	44 Bytes
CTS Packet	38 Bytes
ACK Packet	38 Bytes
PHY Preamble	24 Bytes
Date Rate	11 Mbps
Slot Time	20 us
SIFS	10 us
DIFS	50 us
Short Retry Limit	7
Long Retry Limit	4
DIFS	30 us
RED-minTh	50
RED-maxTh	80
RED-pmax	1
UDA- α	0.7
UDA- β	0.5
UDA- γ	3



(a) 상·하향 TCP 플로우 처리량 비교



(b) AP 버퍼의 평균 패킷 수



(c) AP 버퍼의 평균 바이트 수

그림 9. APS 알고리즘 성능평가 결과

관계없이 상·하향 플로우들 사이에 공평성을 일정하게 유지시킬 수 있음을 보이고 있다. 또한 AP 버퍼에 저장된 패킷 수와 바이트 수가 유사한 패턴을 갖는 결과로부터 제안하는 기법이 하향 데이터 패킷과 ACK 패킷 사이의 비율을 일정하게 유지시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

6. 결 론

많은 장점과 보편성에 의하여 널리 사용되고 있는 IEEE 802.11 표준 무선 랜은 상향과 하향의 TCP 플로우들이 혼재된 상황에서 아직 만족할 만큼의 효율적인 성능을 제공하지 못하고 있다. 이러한 문제의 원인은 무선 랜의 DCF MAC 방식과 TCP의 혼잡제어 메커니즘이 원인이 된다. 본 논문에서는 상·하향 플로우 사이의 불공평성 문제를 해결하기 위하여 MAC 스케줄링 방법으로서 혼잡상황 시 AP의 패킷을 다른 단말에 비해 최우선적으로 전송하도록 하는 APS 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션 결과 본 논문에서 제안하는 APS 스케줄링 기법은 무선 랜의 혼잡 정도에 관계없이 상·하향 플로우의 처리량을 일정하게 유지시킬 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] F. Vacirca, and F. Cuomo, "Experimental results on the support of TCP over 802.11b: an insight into fairness issues," 2006 WONS'06, pp. Jan. 18~20, 2006.
- [2] F. Keceli, I. Inan, and E. Ayanoglu, "Fair and Efficient TCP Access in IEEE 802.11 WLANs," 2008 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 1745-1750, Mar. 31~Apr. 3, 2008.
- [3] E.C. Park, D.Y. Kim, H. Kim, and C.H. Choi, "A Cross-Layer Approach for Per-Station Fairness in TCP over WLANs," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, Vol.7, No.7, pp. 898-911, July 2008.
- [4] ns2 simulator: <<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>>
- [5] O. Bhardwaj, G.V.V. Sharma, M.K. Panda, and A. Kumar, "Modeling finite buffer effects on TCP traffic over an IEEE 802.11 infrastructure WLAN," 2009 COMSNETS, pp. 1-10, Jan. 5~10, 2009.
- [6] X. Qiuyan, J. Xing, and M. Hamdi, "AQM with Dual Virtual PI Queues for TCP Uplink/Downlink Fairness in Infrastructure WLANs," 2007 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 2137-2142, Mar. 11~15, 2007.
- [7] M. Bottigliengo, C. Casetti, C.-F. Chiasserini, and M. Meo, "Smart Traffic Scheduling in 802.11 WLANs with Access Point," 2003 VTC 2003-Fall, pp. 2227-2231, Oct. 4~6, 2003.
- [8] N. Blefari-Melazzi, A. Detti, A. Ordine, and S. Salsano, "Controlling TCP Fairness in WLAN access networks using a Rate Limiter approach," 2005 2nd International Symposium on Wireless Communication Systems, pp. 375-379, Sep. 7, 2005.
- [9] N. Blefari-Melazzi, A. Detti, I. Habib, A. Ordine, and S. Salsano, "TCP Fairness Issues in IEEE 802.11 Networks: Problem Analysis and Solutions Based on Rate Control," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.6, No.4, pp. 1346-1355, Apr. 2007.
- [10] S. Pilosof, R. Ramachandran, D. Raz, Y. Shavitt, and S. Prasun, "Understanding TCP Fairness over wireless LAN," in Proc. of 2003 IEEE INFOCOM, pp. 863-872, Mar. 30~Apr. 3, 2003.
- [11] Y. Wu, N. Zhisheng, and Z. Janfeng, "Upstream/downstream unfairness issue of TCP over wireless LANs with per-flow queueing," 2005 IEEE International Conference on Communications, pp. 3543-3547, May 16~20, 2005.
- [12] F. Keceli, I. Inan, and E. Ayanoglu, "Achieving Fair TCP Access in the IEEE 802.11 Infrastructure Basic Service Set," 2008 IEEE International Conference on Communications, pp. 2637-2643, May 19~23, 2008.
- [13] M. Gong, C. Qian, and C. Williamson, "Queue Management Strategies to Improve TCP Fairness in IEEE 802.11 Wireless LANs," 2006 IEEE WiOpt, pp. 1-8, Apr. 3~6, 2006.
- [14] X. Qiuyan, J. Xing, and M. Hamdi, "Dual Queue Management for Improving TCP Performance in Multi-Rate Infrastructure WLANs," 2008 IEEE International Conference

on Communications, pp. 2531-2535, May 19~23, 2008.

- [15] M. Seyedzadegan, and M. Othman, "Class-Based Weighted Window for TCP Fairness in WLANs," 2009 International Conference on Future Networks, pp. 196-202, Mar. 7~9, 2009.



이 도 현

2001년 3월~2007년 2월 경남대학교 정보통신공학부 공학사

2007년 3월~2009년 2월 경남대학교 컴퓨터공학과 공학석사

관심분야 : 무선랜 프로토콜, 네트워크 관리, 임베디드 소프트웨어



석 승 준

1991년 3월~1997년 2월 건국대학교 전자공학과 공학사

1997년 3월~1999년 2월 고려대학교 전자공학과 공학석사

1999년 3월~2003년 2월 고려대학교 전자공학과 공학박사

2004년 3월~현재 경남대학교 컴퓨터공학부 전임강사, 조교수

관심분야 : 무선인터넷 프로토콜, 미래인터넷, 센서네트워크, 트래픽 엔지니어링