

메쉬 네트워크 기반의 유무선 통합망 성능 평가

(Performance Evaluation in Combination of Wired and Wireless Mesh Networks)

한 진 영 [†] 정 희 동 ^{**}
(Jinyoung Han) (Heedong Jung)

임 영 빈 ^{***} 이 정 근 ^{****}
(Youngbin Im) (Jeongkeun Lee)

류 지 호 [†] 권 태 경 ^{****}
(Jiho Ryu) (Taekyoung Kwon)

최 양 희 ^{*****}
(Yanghee Choi)

요 약 미래 인터넷의 주요한 접근 수단 중 하나가 될 무선 메쉬 네트워크를 기반으로 하는 유무선 통합망의 성능은 사용자에게 제공될 서비스의 품질에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 본 논문에서는 유선망과 연결된 메쉬 네트워

크의 성능을 평가하여 서비스 망으로서의 실효성을 검증한다. 이를 위해 서울대와 미국 HP 연구소의 무선 메쉬 네트워크 테스트 베드를 광대역 유선망인 KOREN/Abilene으로 연결하여 유무선 통합망을 구축하고, 다양한 TCP 프로토콜들의 성능 측정 및 분석을 수행하였다. 특히 유무선 통합망의 여러 구간에서 지연시간 (RTT)등을 측정하여 VoIP등의 다양한 서비스를 제공할 만한 적절한 RTT값을 가짐을 밝혀냈으며, 패킷 손실이 많이 발생하는 무선구간과 높은 대역폭과 긴 지연시간을 가지는 유선구간이 복합되어 있는 환경에서 좋은 성능을 낼 수 있는 TCP 프로토콜의 형태와 특성을 제시하였다.

키워드 : 무선 메쉬 네트워크, 유무선 통합, TCP 프로토콜

Abstract The performance in combination of wired and wireless mesh network which will be a main access network in future internet is directly linked with service quality to users. In this paper, we evaluate variant TCP performance and analyze traffic characteristics on Wireless (Seoul National University Mesh testbed) - Wired (KOREN/Abilene) - Wireless (HP Mesh testbed in the USA) Network. We found that RTT is proper in this network to serve a VoIP service. Also we propose an enhanced TCP protocol which can perform well in both wireless network which has many packet losses and wired network which has high bandwidth and long delay.

Key words : Wireless Mesh Network, Combination of Wired and Wireless network, TCP Protocol

1. 서 론

미래 인터넷의 가장 주요한 접근 수단 중 하나가 될 무선 메쉬 네트워크에 대한 연구가 전세계적으로 활기를 띠고 있다. 무선 메쉬 네트워크 기술은 기존의 IEEE 802.11 기술을 통한 무선 인터넷 서비스보다 저비용으로 넓은 지역에 서비스를 제공할 수 있는 무선 접속망 구축을 위해 제안된 것으로, 관련 연구가 이미 많이 진행되어 왔다[1]. 하지만 무선 메쉬 네트워크가 고속 광대역망으로 연결된 환경에 대한 연구는 거의 진행되고 있지 않다.

미래 인터넷 접속 기술로서의 메쉬 네트워크의 실효성을 검증하기 위해서 실제 고속 광대역 백분망과의 연계를 통한 연구가 매우 중요하다. 왜냐하면 무선 메쉬 네트워크가 액세스 망으로 사용되는 경우 백분망의 전송용량 및 성능이 메쉬 네트워크 종단의 성능에 직접적인 영향을 미치게 되고 이러한 환경은 사용자에게 제공할 서비스의 품질에 직결되기 때문이다.

유선 실험망인 한국의 KOREN과 미국의 Abilene과 같이 높은 대역폭과 긴 RTT를 가지는 광대역 환경과 무선 메쉬 네트워크가 복합적으로 구성되는 상황에서 현재의 TCP 프로토콜의 성능은 좋지 않을 것으로 예상된

· 본 논문은 한국정보사회진흥원의 광대역통합연구개발망 사업을 통해 개발된 결과임을 밝힙니다.

· 이 논문은 2008 한국컴퓨터종합학술대회에서 '메쉬 네트워크 기반의 유무선 통합망 성능 평가'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것이다

[†] 학생회원 : 서울대학교 컴퓨터공학부
jyhan@mmlab.snu.ac.kr

jhyu@mmlab.snu.ac.kr

^{**} 비 회원 : 서울대학교 컴퓨터공학부 인턴연구원
hdjung@mmlab.snu.ac.kr

^{***} 비 회원 : 서울대학교 컴퓨터공학부
ybim@mmlab.snu.ac.kr

^{****} 비 회원 : HP연구소 포닥연구원
jkleee78@gmail.com

^{*****} 정 회원 : 서울대학교 컴퓨터공학부 교수
tkkwon@snu.ac.kr

^{*****} 총신회원 : 서울대학교 컴퓨터공학부 교수
yhchoi@snu.ac.kr

논문접수 : 2008년 8월 27일

심사완료 : 2008년 10월 27일

Copyright©2008 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 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 : 컴퓨팅의 실제 및 레터 제14권 제8호(2008.11)

다. 왜냐하면 채널 에러가 많은 무선 환경에서의 패킷 손실로 인한 TCP의 성능 저하뿐만 아니라 큰 Bandwidth Delay Product (BDP) 환경에서의 혼잡 윈도우 증가가 느리기 때문이다. 따라서 이 두 가지를 개선할 수 있는 네트워크 프로토콜에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 서울대학교의 무선 메쉬 네트워크 테스트 베드, 높은 대역폭과 긴 지연시간을 가지는 유선망 KOREN/Abilene, 미국 HP 연구소의 무선 메쉬 네트워크 테스트 베드가 연동된 네트워크에서 중단간의 지연시간, 네트워크 용량을 측정하여 유무선 통합망의 성능을 검증하고, 이런 환경에서 TCP 성능을 최대화하는 방안을 연구하는 것을 목표로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 현재 주로 사용되는 TCP 프로토콜들이 유선, 무선 환경을 어떻게 고려하는지 살펴보고, 3장에서는 유무선 통합망 구축을 위한 테스트 베드 설정에 대해서 설명한다. 4장에서 유무선 통합망의 성능과 TCP 성능을 측정하고 TCP 성능을 최대화하는 방안에 대해 살펴본 후 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

TCP Reno는 가장 널리 사용되고 있는 TCP 프로토콜이지만 패킷 손실이 항상 네트워크 혼잡으로 인해 발생한다고 가정하고 연결 초기에 윈도우 크기가 느리게 증가하기 때문에 여러 문제가 발생하였고, 이를 해결하기 위한 프로토콜들이 개발되었다[2]. Reno는 패킷 손실이 발생하면 혼잡 윈도우(cwnd)크기를 급격하게 줄이는데 무선 환경에서처럼 비트 에러로 인한 패킷 손실이 많이 발생하는 경우에 이러한 과도한 윈도우 크기 감소는 오히려 성능 저하를 가져오게 된다. 따라서 TCP Venof[2], Westwood[3] 등의 프로토콜의 경우 패킷 손실시 윈도우 크기를 상황에 따라 적절히 조절해 TCP의 성능 향상을 꾀한다. 또한 Reno의 경우 초기에 윈도우 크기가 너무 느리게 증가하기 때문에 큰 BDP 환경에서 좋은 성능을 내지 못하게 되는데 TCP Cubic[4]이 이러한 문제를 해결하기 위한 프로토콜로 제안되었다.

이 절에서는 실험에 사용한 이들 TCP 프로토콜이 어떤 특성이 있는지 살펴보도록 한다.

2.1 TCP Veno

이 프로토콜은 네트워크의 혼잡 상태를 관찰하여 상황에 따라 적절하게 혼잡 윈도우 크기와 슬로우 스타트 임계치(slow start threshold: ssthresh)를 조정한다[2]. 혼잡 상태를 측정하기 위해 TCP Vegas 프로토콜이 사용한 방법을 쓰는데, 우선 측정된 지연시간의 최소값과 최근의 지연시간 값을 구하고 그 둘의 차이를 이용해서 혼잡 상태를 판단하기 위한 값을 구한다. 윈도우 크기가

슬로우 스타트 임계치보다 큰 경우, 이 계산된 값을 이용하여 혼잡도를 판단하고 혼잡도가 큰 경우 윈도우를 천천히 늘리고 작은 경우 빨리 늘린다. 3개의 중복된 ACK 메시지를 받은 경우도 계산값에 따라 윈도우 크기를 줄이는 정도를 달리한다.

2.2 TCP Westwood

Westwood도 네트워크의 상황에 따라 윈도우 크기와 슬로우 스타트 임계치를 적절하게 조정하도록 하는 프로토콜이다[3]. 기본적으로 네트워크의 대역폭을 예측하여 이를 바탕으로 패킷 손실이 발생했을 때 윈도우 크기와 슬로우 스타트 임계치를 설정한다. 보내는 측은 계속적으로 BandWidth Estimate(BWE)를 계산하고 BWE가 높은 경우에는 패킷 손실이 발생해도 윈도우 크기와 슬로우 스타트 임계치를 과도하게 줄이지 않는다.

2.3 TCP Cubic

Cubic은 큰 BDP 환경의 네트워크에서 TCP의 성능을 향상시키고 동시에 다른 TCP와의 형평성도 유지하기 위해 개발되었다[4]. 앞에서 소개한 Westwood도 이러한 기능을 상당히 포함하고 있다. 큰 BDP 네트워크에서는 일반적인 TCP 프로토콜의 경우 윈도우 크기가 느리게 증가하는데 이 프로토콜에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 윈도우 증가 함수(window growth function)을 정의하여 상황에 따라 윈도우 크기를 다르게 조절한다.

3. 테스트 베드 설정

본 실험은 무선 네트워크와 큰 BDP 네트워크가 결합된 환경에서 다양한 TCP들의 성능을 측정하고 이를 바탕으로 성능을 최대화 하는 TCP의 특성을 발견하며 유무선 통합망이 사용자에게 적절한 서비스를 제공할 수 있을 만큼의 성능을 보이는지 검증하는 것을 목적으로 한다.

이러한 목적에 따라 앞에서 언급한 대로 그림 1과 같이 서울대의 무선 메쉬 네트워크 테스트 베드, KOREN/Abilene, 미국 HP 연구소의 무선 메쉬 네트워크 테스트 베드 순으로 무선-유선-무선 형태의 테스트 베드를 구축하였다.

보내는 노드인 SNU client와 도착 노드인 HP client는 리눅스 환경의 노드로 양단의 무선 메쉬 네트워크 서비스를 제공해주는 메쉬 포탈(MP)와 유선으로 연결하였다. 서울대 메쉬 네트워크와 HP 메쉬 네트워크 사이에 통신이 KOREN/Abilene 광대역 통합망을 거쳐 이루어지게 하기 위해서 KOREN IP를 가지고 있는 SNU-KOREN machine을 중간에 두었다. 또한 메쉬 노드들이 백본과 연결 되도록 해주는 역할을 하는 서울대 Mesh Management Server (MMS)와 SNU-KOREN machine 사이, 그리고 SNU-KOREN machine과 HP MMS사이엔 openVPN[5]을 사용하여 가상사설망(VPN)으로 터널링

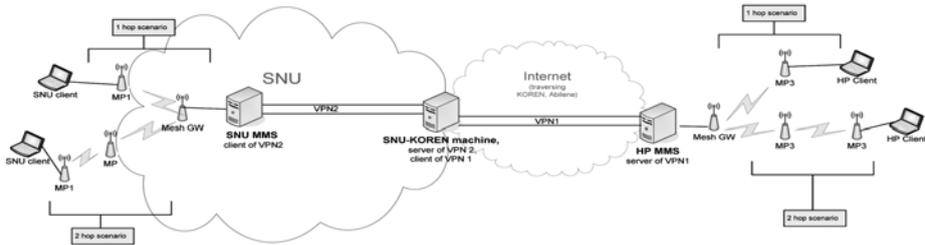


그림 1 테스트베드 설정

하였다. VPN을 사용한 목적에는 서울대 메쉬 네트워크와 KOREN에 직접 연결되어 있는 SNU-KOREN machine을 연결하고 HP 메쉬 네트워크로 가는 모든 트래픽이 강제로 이 VPN 터널을 통해 SNU-KOREN machine으로 전달되도록 하기 위한 것, 사실 IP 주소를 가지고 있는 서울대와 HP의 메쉬 네트워크 노드들이 서로를 같은 네트워크로 인식하도록 설정하기 위한 것이다. 이들이 같은 네트워크로 인식해야 하는 이유는 각각의 사설망 안에 있는 노드들끼리 NAT (Network Address Translation)등의 특별한 추가 메커니즘 없이 서로 통신이 가능하도록 하기 위해서이다.

4. 성능 평가

4.1 실험 설정을 위한 기본 실험

유무선 통합 네트워크의 성능 측정을 위한 실험설정을 위해 먼저 기본적인 네트워크 전송 특성을 파악할 필요가 있어서 전송되는 구간별 지연시간을 측정하였다. SNU client에서부터 HP client까지 총경로에서의 각 구간별 평균 누적 지연시간은 그림 2와 같다. 서울대 무선 구간은 메쉬 노드가 가까운 거리에 있고 간섭이 적어서 지연시간이 작았지만, KOREN/Abilene 유선 구간에서 지연시간이 크고 또한 HP 무선구간에서도 추가적인 지연시간이 있었음을 알 수 있다.

무선구간과 유선구간의 특성을 좀더 자세히 파악하기 위해 실험구간을 표 1과 같이 5개 구간으로 나누었다. 이때 무선 구간이 멀티홉이 되었을 때의 성능 평가를 위해 1홉과 2홉인 경우에 대해 실험하였고, 다른 무선 기기의 간섭을 최소화하기 위하여 802.11a를 사용하였다.

표 1 실험 구간 설정

구간명	구간 정의	Description
구간1	SNU client-SNU MMS	서울대 메쉬 무선 구간
구간2	SNU MMS-HP MMS	KOREN/Abilene 유선구간
구간3	HP MMS-HP client	HP 메쉬 무선구간
구간4	SNU client-HP MMS	무선-유선구간
구간5	SNU client-HP client	전체구간

그리고 성능 평가를 위해 각 구간별로 RTT, Capacity, Available bandwidth를 ping, iperf[6], pathrate[7]를 이용하여 측정하였다. 여기서 Capacity는 경쟁하는 트래픽이 없을 때 해당경로가 제공할 수 있는 최대 쓰루풋이고, Available bandwidth는 현재 링크가 제공할 수 있는 최대 쓰루풋이다. 특별히 구간별 Available bandwidth는 각 TCP 프로토콜이 각 구간에서 갖고 있는 이점을 파악하여 TCP 성능을 최대화 하는 방안을 찾기 위해 TCP Reno, Veno, Westwood, Cubic으로 TCP 종류를 바꾸어 가며 실험을 진행하였다.

4.2 무선구간이 1홉 일 때 실험결과

4.2.1 구간별 지연시간 (RTT)

이 장에서는 메쉬 기반 유무선 통합망에서 VoIP를 사용하기에 지연시간이 적합한지를 검증하고 지연시간의 병목구간을 찾기 위해, 무선 구간이 1홉일 때 각 구간별로 지연시간을 측정하였다. 구간별 지연시간의 결과인 그림 3을 보면, 서울대의 무선구간에서의 지연시간은 아주 작지만 서울대 외부 인터넷 구간에서 지연시간이 커지는 것을 알 수 있다. 여기에서 지연시간의 병목구간은 광대역 유선망이라고 할 수 있다. 전체적으로 서울대 client부터 HP client까지 평균 지연시간이 193.84ms였는데, 이는 VoIP를 무리 없이 하기 위한 delay 200ms를 만족하였다.

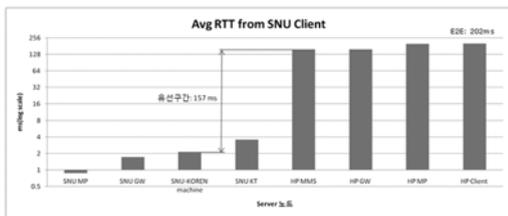


그림 2 SNU client로부터의 평균 누적 지연시간

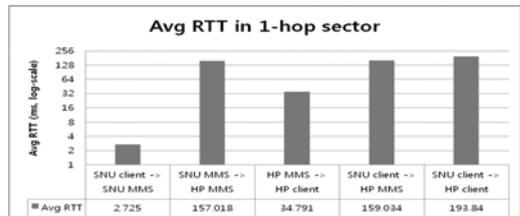


그림 3 무선 1-hop 환경에서의 구간별 RTT

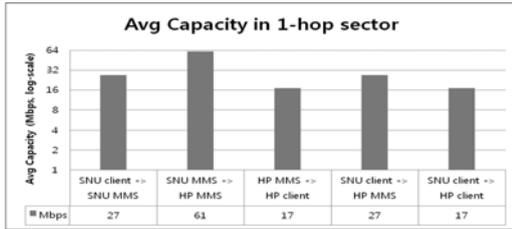


그림 4 무선 1-hop 환경에서의 구간별 Capacity

4.2.2 구간별 Capacity

그림 4는 Capacity 병목구간을 찾기 위해 무선 구간이 1홉일 때 각 구간별로 Capacity를 측정된 결과이다. 구간별로 살펴보면 구간 1인 서울대 무선 구간에서의 값은 802.11a가 낼 수 있는 최대치에 가까운 값을 나타낸다. 구간 2의 경우는 연구망인 KOREN/Abilene 유선 구간을 거치기 때문에 약 59~63Mbps의 높은 Capacity가 측정되었다. HP 무선 구간인 구간 3의 경우는 HP gateway와 HP client의 물리적인 거리가 서울대 노드들보다 상대적으로 멀고 동작중인 다른 802.11a 무선 노드들이 많았기 때문에 서울대 무선 구간보다 작은 Capacity가 나오는 것으로 보인다. 무선-유선 구간인 구간 4와 무선-유선-무선 구간인 구간 5의 경우를 보면 각 구간의 병목지점인 무선구간 같은 성능임을 알 수 있다. 이 결과들을 볼 때 무선망이 연구망인 KOREN/Abilene을 거치는 경우 Capacity 병목구간은 무선 구간이라고 할 수 있다.

4.2.3 구간별 Available bandwidth

이 장에서는 메쉬 기반의 유무선 통합망에서 TCP 성능을 최대화하는 방안을 찾기 위해 각 구간별로 TCP 종류와 설정을 바꾸어가며 Available bandwidth를 측정하였다. 각각 지연시간과 Capacity의 병목구간인 유선구간/무선구간의 성능을 개선하기 위해서, 서울대 client에서 TCP 종류를 Reno, Veno, Westwood, Cubic으로 바꾸어 가며 실험을 진행하였다. 구간 2, 3의 경우는 서울대 client가 아니기 때문에 TCP 변경을 임의로 할 수 없어서 제외하였다. 그리고 앞에서 언급한대로 환경에 따라 다른 윈도우 크기가 성능에 영향을 미치게 되기 때문에 TCP 최대 윈도우 크기를 16.0Kbyte~2MByte로 변경시키며 실험을 진행하였다.

최대 TCP 윈도우 크기를 운영체제에서 기본적으로 설정한 16.0Kbyte로 하였을 때의 결과는 TCP 종류들 간에 차이가 거의 없었다. 무선-유선 구간인 구간 4의 경우에만 Westwood와 Cubic이 Reno나 Veno에 비해 약간 좋은 성능을 보이는데 이는 Westwood나 Cubic은 큰 BDP 환경을 고려하는 프로토콜이기 때문이다. 서울대 무선구간은 1홉이고 간섭으로 패킷 손실이 거의 일어나

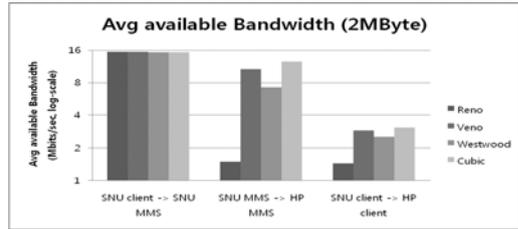


그림 5 구간별 TCP bandwidth (2MByte)

지 않아 무선 환경 특성이 거의 없다고 볼 수 있기에 무선 환경을 고려한 프로토콜인 Veno는 Reno와 거의 비슷한 성능을 나타내는 것으로 보인다.

최대 TCP 윈도우 크기를 2MByte로 늘렸을 때의 결과는 전보다 훨씬 좋은 성능을 보였고, 최대 윈도우 크기가 그림 5와 같이 Cubic > Veno > Westwood > Reno의 순서로 좋은 성능을 나타내었다. 전체 성능이 증가한 이유는 최대 TCP 윈도우 크기를 증가시킴에 따라 유선 구간의 성능이 증가했기 때문이다. 이는 무선 구간보다 유선 구간이 양단간 TCP 성능을 결정하는 중요 요소임을 나타낸다. 같은 이유로 큰 BDP 환경을 고려한 프로토콜인 Westwood와 Cubic이 Reno보다 월등한 성능을 나타내었고, Veno의 경우도 Reno보다 좋은 성능을 보였는데 이것은 Veno의 프로토콜 특성상 네트워크가 혼잡이라고 판단이 되면 Reno보다 혼잡 윈도우 크기를 천천히 증가 하게 되고 따라서 혼잡이 발생하기 전까지 상대적으로 큰 혼잡 윈도우 크기를 유지할 수 있기 때문이라고 보인다.

4.3 무선구간이 2홉 일 때 실험결과

4.3.1 구간별 지연시간 (RTT)

이 장에서는 멀티홉 메쉬 네트워크 기반의 유무선 통합망에서 VoIP를 사용하기에 지연시간이 적합한지를 검증하고 지연시간의 병목구간을 찾기 위해 무선 구간이 2홉일 때 각 구간별로 지연시간을 측정하였다. 1홉일 때와 마찬가지로 지연시간의 병목구간은 유선구간이었고, SNU mesh client 부터 HP mesh client까지 평균 지연시간이 약 170ms 정도였는데, 이는 VoIP를 하기 위한 200ms 제약을 만족한 것이다.

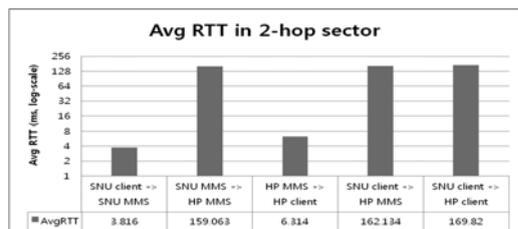


그림 6 무선 2-hop 환경에서의 구간별 RTT

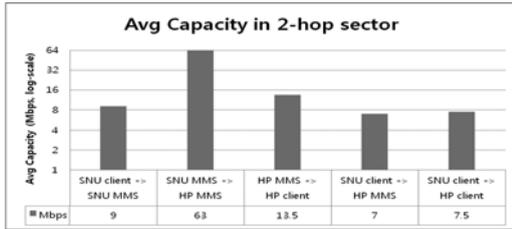


그림 7 무선 2-hop 환경에서의 구간별 Capacity

4.3.2 구간별 Capacity

그림 7은 Capacity 병목구간을 찾기 위해 무선 구간이 2홉일 때 각 구간별로 Capacity를 측정된 결과이다. 서울대 무선 구간이 1홉일 때 평균 27Mbps 에서 2홉이 되면서 약 1/3에 해당되는 9Mbps 정도로 감소하였다. HP 무선구간도 감소하였지만, 1홉일 때보다 간섭이 다소 적어서 서울대 무선구간보다 오히려 좋게 측정되었다. 이 경우에도 결국 종단간의 Capacity 병목구간은 무선구간임을 알 수 있다.

4.3.3 구간별 Available bandwidth

이 장에서는 무선 구간이 2홉일 때 메쉬 기반의 유무선 통합망에서 TCP 성능을 최대화하는 방안을 찾기 위해 각 구간별로 TCP 종류와 설정을 바꾸어가며 Available bandwidth를 측정하였다. Available bandwidth를 측정해보니 무선구간이 1홉일 때와는 달리 Capacity 값에서 차이를 보였다. 그 이유는 Capacity가 추정된 값인데, 무선구간이 멀티홉이 되면서 생길 수 있는 간섭등으로 인해 실제 측정된 대역폭이 더 작아진 것으로 보인다. 최대 윈도우 크기가 16Kbyte 일 때는 전처럼 각 TCP 별로 성능차이가 잘 나타나지 않아서 최대 윈도우 크기를 2MByte로 설정한 경우에 대해서만 살펴보기로 한다.

최대 TCP 윈도우 크기를 2MByte로 늘렸을 때의 결과는 16Kbyte 일 때 보다 훨씬 좋은 성능을 보였다. 먼저 서울대 무선구간에서의 성능은 Westwood > Veno > Cubic > Reno 순으로 측정되었다. 무선 구간이 2홉이 되면서 무선구간 성능 향상을 위해 제안된 프로토콜인 Westwood와 Veno가 좋은 성능을 나타낸 것으로 보인다. 무선-유선 구간 성능인 구간 4의 결과는 Cubic > Westwood > Veno > Reno 순서로 측정되었다. 큰 BDP를 갖는 유선구간이 추가되자 이러한 환경에서 유리한 프로토콜인 Cubic이 가장 좋은 성능을 보였다. 마지막으로 서울대 client로부터 HP client에 이르는 종단간 성능의 경우는 Westwood > Cubic > Veno > Reno 순서로 나타났다. 유선 구간에서의 성능향상이 비교적 크지 않기 때문에 Veno보다 Cubic이 더 좋은 성능을 보였고, 무선환경과 유선구간에서의 성능향상을 모두 고려하는 Westwood가 가장 좋은 성능을 나타냈다.

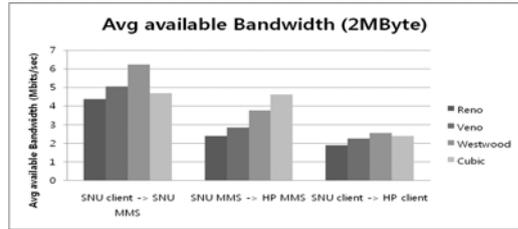


그림 8 구간별 TCP bandwidth (2MByte)

5. 결론

본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크가 광대역 유선망을 통하여 다른 무선 메쉬 네트워크와 연결되는 유무선 통합망의 성능에 대한 실험 결과를 제시하였다. 그 결과 지연시간(RTT)는 VoIP를 사용하기에 무리가 없는 수준인 200ms 미만으로 측정되었다. 또한 패킷 손실이 많이 발생하는 무선구간과 큰 BDP를 가지는 유선구간이 복합되어 있는 환경에서 좋은 성능을 낼 수 있는 TCP 프로토콜의 형태로 무선과 유선 양 구간의 특성을 모두 고려하는 Westwood + Cubic 형태의 TCP 프로토콜을 제안한다. 특별히 이 새로운 프로토콜은 긴 전송 지연과 높은 대역폭을 가지는 유선 구간에서 TCP 성능을 더욱 향상시키기 위해 최대 TCP 윈도우 크기를 충분히 확보하는 것이 필요하다는 것을 보여 주었다.

앞으로의 연구를 통하여 위의 언급한 특성을 가진 새로운 TCP 프로토콜을 구현해서 유무선 통합 환경에서 실제로 어떤 성능 개선을 가져오는지 검증할 예정이다.

참고 문헌

- [1] J. Bicket, D. Aguayo, S. Biswas, and R. Morris, "Architecture and Evaluation of an. Unplanned 802.11b Mesh Network," in MobiCom 2005.
- [2] C. P. Fu, and S. C. Liew. "TCP Veno: TCP Enhancement for Transmission over Wireless Access Networks," IEEE Journal of Selected Areas in Communications, Vol. 21, Issue 2, 2003.
- [3] S. Mascolo, C. Casetti, M. Gerla, S.S. Lee, and M. Sanadani, "TCP-Westwood: Congestion window control using bandwidth estimation," in Globecom 2001.
- [4] I. Rhee and L. Xu, "Cubic: A new tcp-friendly high-speed tcp variant," in PFLDnet Workshop 2005.
- [5] OpenVPN, "http://openvpn.net/index.php"
- [6] Iperf, "http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf"
- [7] Pathrate, "http://www.cc.gatech.edu/fac/Constantinos.Dovrolis/pathrate.html"