

# IEEE 802.11n 기반 대용량 무선 메쉬 네트워크의 성능 평가

\*윤원준, \*임영빈, \*최낙중, \*최양희, \*권태경  
\*서울대학교

\*{wjyoon,ybim,fomula}@mmlab.snu.ac.kr, \*{yhchoi,tkkwon}@snu.ac.kr

## Performance Evaluation of

## IEEE 802.11n-based High-Capacity Wireless Mesh Networks

\*Wonjun Yoon, \*Youngbin Im, \*Nakjung Choi, \*Yanghee Choi, \*Taekyoung Kwon

\*School of Computer Science and Engineering, Seoul National University, Seoul, Korea

### 요약

무선 메쉬 네트워크는 새로운 백본 네트워크 기술로 주목 받고 있다. 그러나 다중 홉 무선 전송환경의 특성으로 인해 플로우 사이의 간섭, 데이터 손실 및 에러 발생률이 높고, 이는 무선 메쉬 네트워크의 전송효율 저하의 원인이 된다. IEEE 802.11n 표준은 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 등의 새로운 기술 채택을 통해 기존의 성능을 크게 향상시키고 있다. 본 논문에서는 IEEE 802.11n 표준 기반의 대용량 무선 메쉬 네트워크를 구축하고, 성능 평가를 수행함으로써 백본 네트워크로서 IEEE 802.11n 기반 메쉬 네트워크의 활용 가능성을 살펴보았다.

### I. 서론

무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Network)는 무선 노드들간에 신뢰성 있는 통신이 이루어지도록 메쉬 토폴로지 형태로 구성된 네트워크를 말한다. 무선 메쉬 네트워크는 메쉬 클라이언트와 메쉬 라우터로 구성되어 있으며 노드간에 다중 경로를 구성할 수 있기 때문에 하나의 링크가 끊어져도 다른 경로로 우회할 수 있다. 따라서 네트워크의 신뢰성이 높고 트래픽 분산이 가능하다는 장점이 있다. 이러한 장점을 기반으로 무선 메쉬 네트워크는 긴급 재난 상황, 건설 현장, 전쟁 감시 시스템 등 다양한 시나리오에 적용될 수 있다.

무선 네트워크 기술의 발전과 가격 경쟁력을 바탕으로 이를 활용한 무선 메쉬 네트워크가 새로운 백본 네트워크 기술로서 각광받고 있다. 무선 메쉬 네트워크는 기존 유선 백본망에 비해 비용이 저렴하고, 설치와 유지보수가 용이하다는 장점을 지니고 있다. 무선 메쉬 네트워크를 백본으로써 활용하기 위해서는 높은 대역폭과 낮은 지연 시간이 필수적으로 요구된다. 하지만 무선 전송 환경의 특성상 플로우 사이의 간섭, 링크에서의 데이터 손실 및 에러가 빈번하게 발생하게 되고, 이는 다중 홉 환경에서 전송 효율 저하의 심각한 원인이 된다[1].

이러한 다중 홉 무선 환경에서의 단점을 극복하고 무선 메쉬 네트워크의 장점을 활용하기 위해 많은 연구들이 진행되어 왔다. 대표적으로 지향성 안테나 기술을 이용하여 무선 전송 과정의 간섭과 충돌을 최소화하는 연구 분야[2]와 다중 홉 환경에서 다중 채널을 이용하여 각 링크 사이의 간섭을 최소화하는 연구 분야[3]가 있다.

IEEE 802.11n 표준은 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 등의 새로운 기술의 채택을 통해

성능을 크게 향상시켜 사용자들의 주목을 받고 있다. 현재 2007년 발표된 Draft 2.0 [4] 기반의 상용 장비가 출시되었고, 최근 표준화 작업이 마무리 단계에 있다. Draft 2.0 기반의 IEEE 802.11n 장비는 최종적으로 펌웨어 업그레이드만으로 IEEE 802.11n 표준과 호환이 가능하다. 본 논문에서는 IEEE 802.11n 표준을 활용하여 기존의 802.11a/b/g 를 이용한 경우보다 높은 성능을 제공하는 대용량 메쉬 네트워크를 구축하고, 성능 평가를 수행한다.

### II. 대용량 무선 메쉬 네트워크

다중 홉 환경에서 대용량 무선 메쉬 네트워크의 성능을 측정하기 위해 IEEE 802.11n 기반의 무선 메쉬 네트워크 테스트베드를 구축하였다. 테스트베드는 5 개의 노드를 체인 토폴로지로 N1-N2-N3-N4-N5 순서대로 일정한 거리를 두고 배치하였고, 각 노드에는 IEEE 802.11n 네트워크 인터페이스 카드 Linksys WUSB600N Dual-Band Wireless-N USB Network Adapter 가 장착되어 있다.

실험은 다른 무선 신호의 영향을 최소화하기 위하여 5GHz 대역에서 진행하였으며, 모두 단일 채널 36 번을 사용하였다. 처리율을 측정하기 위한 도구로는 Iperf 와 tcpdump 를 이용하였다. Iperf 는 TCP 와 UDP 데이터를 발생시키고 네트워크 대역폭을 측정할 수 있는 네트워크 테스트 도구이며, tcpdump 는 네트워크 인터페이스를 거치는 다양한 패킷들을 수집하고 분석해주는 프로그램이다.

첫 번째 실험은 전송 속도를 15~300Mbps 로 다양하게 변화시켜가며 N1 → N2 의 단일 홉에서 처리율을 측정하였다. 두 번째 실험에서는 N1→N2, N1→N3, N1→N4, N1→N5 로 홉 수를 변화시켜가며

TCP 와 UDP 패킷을 전송하였을 때 N2~N5 에서의 각각의 처리율을 측정하였다. 세 번째 실험에서는 N1→N4 의 3 홉 환경에서 20Mbps 로 인코딩된 약 47 초 길이의 MP4 비디오 파일 스트림을 10 초 간격으로 하나씩, 총 3 개를 전송하였을 때 시간에 따른 각 스트림의 실제 처리율(Goodput) 과 전체 스트림의 실제 처리율의 합을 측정하였다.

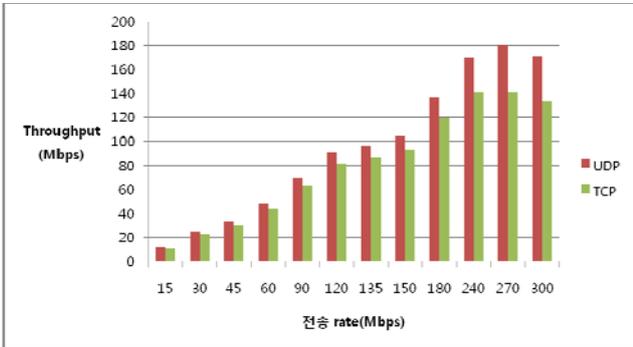


그림 1. 단일 홉에서 전송 속도별 TCP/UDP 성능

그림 1 은 단일 홉에서 전송 속도를 15~300Mbps 까지 변화시키면서 TCP 와 UDP 패킷을 전송하였을 때의 처리율을 측정한 첫 번째 실험의 결과이다. 그림 1 을 보면 TCP 와 UDP 모두 270Mbps 까지 전송 속도를 높일수록 처리율이 높아짐을 확인할 수 있다. 또한 손실이 거의 없는 환경이기 때문에 UDP 가 TCP 보다 성능이 좋으며 처리율이 정확히 전송 전송 속도와 비례하지는 않는다는 것을 확인할 수 있다.

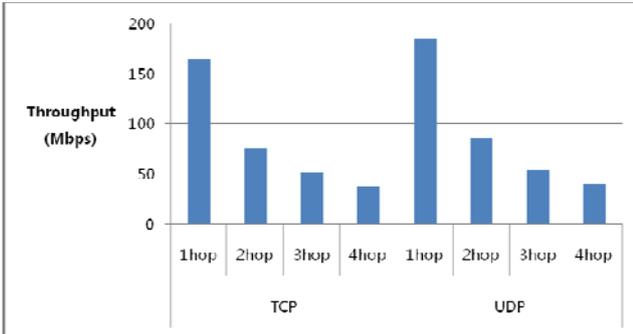


그림 2. 단일 채널, 멀티 홉 환경에서 TCP/UDP 성능

그림 2 은 단일 채널, 멀티 홉 환경에서 홉 수를 변화시켜가며 TCP 및 UDP 데이터를 전송했을 때 각 노드에서의 처리율을 측정한 두 번째 실험의 결과이다. 본 실험에서는 270Mbps 의 전송 속도를 사용하였다. 1 홉일 때와 비교하였을 때 2 홉일 때는 대략 1/2 의 처리율을 보이고, 3 홉일 때는 대략 1/3, 4 홉일 때는 대략 1/4 의 처리율을 보인다. 그 원인은 단일 채널의 실험 환경이므로 하나의 채널을 노드들이 공유하기 때문이다. 또한, 홉 수가 증가함에 따라 정확히 홉 수만큼 처리율이 나누어지지 않고, 더 낮은 처리율을 보이는 이유는 홉 수가 많아짐에 따라 간섭 및 충돌로 인한 패킷 손실이 많아지기 때문으로 판단된다.

그림 3 는 3 홉, 단일 채널 환경에서 20Mbps 로 인코딩된 비디오 스트림을 10 초의 간격을 두고 N1 에서 하나씩, 총 3 개를 전송하였을 때 N4 에서의 실제 처리율을 측정한 세 번째 실험의 결과이다. UDP 의 경우 3 홉을 거쳤을 때, 두 번째 실험 결과에서 확인할 수 있듯이, 최대 약 55Mbps 의 처리율을 보인다.

처음 10 초 동안에는 N1 에서 stream1 만 전송되고 이는 3 홉 경로의 대역폭인 55Mbps 에 미치지 못하므로

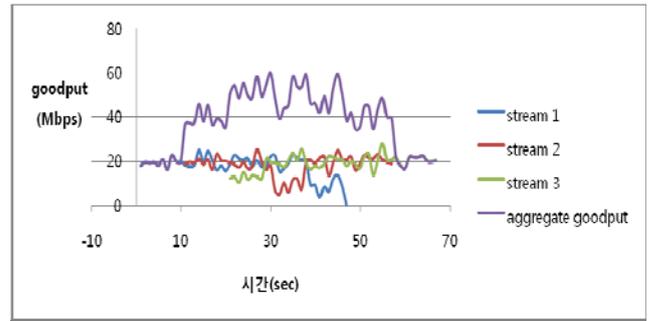


그림 3. 스트림 수의 증가에 따른 실제 처리율의 변화

실제 처리율은 대략 20Mbps 를 유지한다. 10 초에서 20 초 사이에는 stream1 과 stream2 가 함께 전송되고 전체 실제 처리율은 약 40Mbps 가 된다. 20 초에서 50 초 사이에는 3 개의 스트림이 전송되어 총 전송량이 60Mbps 가 되었다. 그러나 이는 3 홉의 대역폭인 55Mbps 를 넘어 개별 스트림의 실제 처리율이 시간에 따라 조금씩 떨어짐을 확인할 수 있다. 약 47 초 이후에는 stream 1 전송이 끝나고, 다시 전송 속도가 40Mbps, 20Mbps 로 낮아져서 각 stream 에 대한 실제 처리율이 최대에 가깝게 높아짐을 확인할 수 있다.

### III. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11n 기반의 대용량 무선 메쉬 네트워크를 구축하고, 성능 평가를 수행하였다. 실험은 전송 속도와 홉 수, 트래픽 종류 등을 바꾸어 가며 다양한 환경에서 수행하였다. 실험을 통해 각 링크는 백본 네트워크의 필수적 요구사항인 대용량을 제공해 주지만, 단일 채널을 사용할 경우 홉 수 증가에 따른 성능 저하가 크다는 것을 확인하였다. 따라서 멀티 채널을 통해 무선 간섭을 최소화하는 등의 추가적인 보완 기술이 필요하다는 것을 알 수 있다.

#### 감사의 글

본 논문은 2009 년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-331-D00267).

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음[2007-F-038-03, 미래 인터넷 핵심기술 연구].

이 연구를 위해 연구장비를 지원하고 공간을 제공한 서울대학교 컴퓨터연구소에 감사 드립니다.

#### 참고 문헌

- [1] I. Akyildiz and X. Wang, "A survey on wireless mesh networks," IEEE communications Magazine, vol.43, no. 9, Sep 2005.
- [2] Su Yi, Yong Pei, Shivkumar Kalyanaraman. "On the Capacity Improvement of Ad Hoc Wireless Networks Using Directional Antennas," *MobiHoc' 03*, June 1- 3, 2003
- [3] A. Raniwala and T.-C. Chiueh. Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network. In Proc. IEEE INFOCOM. 2005.
- [4] IEEE WG, "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Enhancements for Higher Throughput," IEEE 802.11n D7.0, November 2008.