

# WDS 환경에서 전송계층 프로토콜의 성능 평가 및 분석

김태섭<sup>1</sup>, 김승연<sup>2</sup>, 김명섭<sup>1</sup>, 이형우<sup>2</sup>, 조총호<sup>1</sup>,

고려대학교 컴퓨터정보학과<sup>1</sup>, 전자및정보공학부<sup>2</sup>,

{ree31206, kimsy8011, tmskim, hwlee, chcho}@korea.ac.kr

## Performance Evaluation and Analysis of Transport Layer Protocol in Wireless Distribution System

Taesub Kim<sup>1</sup>, Seungyeon Kim<sup>2</sup>, Myungsup Kim<sup>1</sup>, Hyongwoo Lee<sup>2</sup>, Choongho Cho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Computer and Information Science, Korea University

<sup>2</sup> Department of Electronics and Information Engineering, Korea University

### 요 약

현재 대부분의 무선랜은 유선 분산 시스템을 통하여 백본에 연결되어 있다. 그러나 지역회담이나 재해난 지역 그리고 군사용등은 유선 백본을 사용할 수 없다. 따라서 무선으로 액세스 포인트를 연결하여 일시적으로 네트워크 서비스를 원하는 곳이나 케이블을 연결하기 힘든 지역에서 빠르고 쉽게 네트워크 구성을 제공하기 위한 무선 메쉬 네트워크의 요구가 늘어나고 있다. 본 논문에서는 이러한 무선 메쉬 네트워크의 기반 기술인 무선 분산 시스템 환경에서 TCP와 UDP 프로토콜의 성능에 대하여 연구하였다. 시스템 성능 측정은 IEEE 802.11g 인터페이스를 가지고 있는 액세스 포인트에서 체인 토폴로지를 기본으로 측정 되어졌고, 홉 수와 트래픽 종류 그리고 트래픽 흐름의 방향에 따라 수율(throughput)과 전송시간(transaction time) 그리고 전송실패율(loss rate) 등을 비교 분석하였다.

### 1. 서 론

무선 네트워크 사용이 폭넓게 확장되면서, 무선 네트워크의 대역폭을 향상시키기 위한 연구와 표준화 재정 등의 연구단계를 넘어 유선망과의 연결 없이 망 확장이 용이하며, 이에 따른 망 설치의 신속성 및 경제성, 다중 경로에 의한 Redundancy 제공 등, 망의 유연성 및 확장성에 장점을 가지고 있는 무선 메쉬 네트워크의 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 무선 메쉬 네트워크의 기반 기술인 무선 분산 시스템(WDS, Wireless Distribution System)기능은 AP(Access Point)들 간의 무선 네트워크를 구성할 수 있게 해주는 기능으로써 무선 bridge/repeater의 역할을 해주어 사용 가능한 무선 통신 범위를 확장할 수 있게 해주는 기술이다. 현재 이 기술의 응용범위를 살펴본다면 외장 안테나를 달지 않고 무선신호의 가용범위를 연장할 수 있고, 무선 신호의 음역지역 해소를 위하여 사용할 수 있으며, 케이블을 연결하기 힘든 구역에 응용하여 사용할 수 있다. 하지만 무선 분산 시스템으로 구성된 AP들 간은 통신을 위하여 같은 채널을 설정해 주어야 하는 단점이 있다. 따라서 이러한 동일 채널을 사용하는 무선 분산 시스템을 이용하여 가정이나 사무실의 소규모 네트워크를 구성하는데 있어서 성능감소의

문제가 나타날 것이다. 이에 따라 기존의 유선망에서 오류가 거의 없는 환경에서 동작하도록 설계된 프로토콜들이 무선 트래픽 성능에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 알아보며, 유선네트워크와 비교하여 무선 분산 시스템의 한계성을 검토해 본다.

시스템 성능 측정은 IEEE 802.11g 인터페이스를 가지고 있는 액세스 포인트에서 체인 토폴로지를 기본으로 측정 되어졌고, 홉 수와 트래픽 종류 그리고 트래픽 흐름의 방향에 따라 수율(throughput)과 전송시간(transaction time) 그리고 전송실패율(loss rate) 등을 비교 분석하였다.

2장에서는 관련연구로 IEEE 802.11s 무선 메쉬 네트워크와 관련한 표준과 무선랜 액세스 기술에 대해 살펴보고, 3장에서 구축된 실험 환경과 테스트에서 사용된 트래픽 생성 방법에 대하여 알아보도록 하며, 4장에서는 테스트를 통하여 얻어진 결과를 비교, 분석하고 마지막으로, 5장에서는 본 논문의 연구 결과와 향후 연구 과제에 대하여 기술하도록 할 것이다.

### 2. 관련연구

#### 2.1 무선랜의 액세스 기술

IEEE 802.11 표준을 사용하는 무선랜의 경우, CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 방식을 사용한다. 같은 셀 안의 노드들은 같은 채널을 공유하는 802.11의 경우, 한 노드가 데이터를 전송하기 위해서 미디어를 확인한 후 전송중인 노드가 없으면, 일정 시간이 지난 후 전송을 시도한다. 서로 충돌이 나지 않으며 미디어를 공평하게 공유할 수 있는 방식으로 제안된 것이 DCF(Distributed Coordination Function) 이다. 802.11 WLAN의 DCF는 충돌이 발생할 때마다 충돌 윈도우를 지속적으로 증가시킨다. 전송 시점은 충돌 윈도우에 의해 결정되므로, 충돌이 발생한 노드는 채널 경쟁에서 우위를 빼앗기게 된다.

두 홉의 거리를 가진 노드 간의 통신에서 송신자와 수신자는 상대방의 상태를 알지 못한다. 같은 시간에서 서로 전송 시도를 하다가 충돌이 생기는 경우가 존재한다. 이를 숨은 노드 문제(Hidden Node Problem)라고 부른다. 이를 해결하기 위해 RTS(Request To Send)/CTS(Clear To Send) 방식이 제안되었다.



그림 1. 무선랜의 전송방식

그림 1은 이러한 무선 랜의 전송 방식을 도식적으로 나타낸 그림이다. 전송을 원하는 노드는 RTS 메시지를 전송하기 위한 노드에게 전달하고, RTS 메시지를 받은 노드는 주변의 모든 노드에게 CTS를 보내어 주위의 다른 노드들의 전송을 막도록 한다. 이를 통하여 데이터의 충돌은 많은 부분 경감된다. 하지만, 데이터 전송에 참여하지 않는 CTS를 받은 노드는 데이터를 보내지도 받지 못하기 때문에 사용 가능한 대역폭을 낭비하게 된다. 이를 알려진 노드 문제(Exposed Node Problem)이라 부른다. 위에서 언급한 두 가지 문제는 널리 알려진 무선랜의 한계이다[1].

2.2 IEEE 802.11s

무선 메쉬 네트워크 관련한 표준화는 IETF (Internet Engineering Task Force)의 MANET(Mobile Ad hoc Network Working Group) 그룹에서 Ad hoc 라우팅에 대한 표준화와 IEEE 802.11의 TGs(MESH SG)에서의 무선 LAN 기반의 무선 메쉬 네트워크 표준화가 진행되고 있다.

IEEE 802.11s 프로젝트의 연구 범위는 self-configuring multi-hop 기술을 사용하는 AP 간에 방송/멀티캐스트(multicast)와 유니캐스트(unicast)를

지원하기 위해, IEEE 802.11 PHY/MAC 레이어를 이용하여 IEEE 802.11 WDS(Wireless Distribution System)에서 IEEE 802.11 ESS Mesh Networking을 개발하기 위한 것이다. IEEE 802.11-1999(2003 edition) 표준은 WDS를 생성하기 위해 AP 간에 교환하는 데이터 패킷에 대하여 4개-주소 프레임 포맷을 제공하였다.

그러나 WDS를 어떻게 사용하고 구성하는가에 대한 정의가 되지 않았다. 따라서 IEEE 802.11s 프로젝트의 목적은 4개 또는 확장된 주소 프레임 포맷을 이용하는 ESS Mesh에서 방송/멀티캐스트와 유니캐스트를 지원하기 위해서 WDS에서 self-configuring multi-hop 기술을 지원하는 AP 간에 자동 경로 설정에 대한 프로토콜을 정의하는 것이다. 현재, IEEE 802.11 WLAN의 하부구조는 Ethernet LAN을 이용하여 연결되어 있으므로 고정형으로 사용할 수밖에 없다.

통신 커버리지의 감소 없이 정보 대역폭을 증가시키고, 이동 컴퓨팅 응용에 대하여 최종 사용자뿐만 아니라 이동성을 지원하기 위한 하부구조가 요구된다는 것이 앞으로의 경향이다. 이 두 가지 경우에 대하여 ESS 메시지는 WLAN AP 사이에 multi-hop 무선 전달을 통하여 해결하고자 한다. ESS 메쉬를 이용하면 집, 병원 호텔과 공항 및 가까운 이웃과 대학 캠퍼스 내 커버리지에서 AP 도입 또는 SSID 설정 없이 무선으로 확장하여 사용할 수 있다. 11s에서 현재 가장 중점적으로 논의되고 있는 연구 주제는 다음과 같다.

- MP(Mesh Point) Neighbor Discovery Mechanism
- Channel Selection
- Extensible Path Selection Framework
- \* Airtime Link Metric Function - Mandatory protocol
- \* Hybrid Wireless Mesh Protocol (HWMP) - Mandatory protocol
- \* Radio-Aware Optimal Link State routing(RA-OLSR) - Optional protocol

경로선택을 위한 필수 프로토콜인 HWMP는 root portal(inside, outside mesh)과 non-root portal(inside, outside mesh) 등 경우에 따라 4가지 시나리오로 연구되고 있다. 참고로 IEEE 802.11s 내 Mesh 관련된 연구그룹으로는 802.15.5, 802.16a/j가 있다[2].

3. 실험환경 구성 및 평가방법

3.1 실험환경 구성

전체적인 실험환경 구성은 그림 2와 같이 기본적으로 트래픽별, 전송량별 측정을 위한 무선 분산 시스템 환경의 체인(Chain) 형태로 구성하였다.

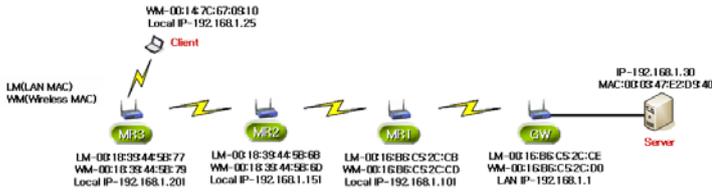


그림 2. 무선 분산 시스템 구성도

기본적인 무선 환경을 구성하기 위하여 802.11g의 54Mbps 환경을 제공하는 3com USB LAN card와 Linksys WRT54Gv4 유무선 공유기를 가지고 사용자와의 무선 통신이 가능함 무선 네트워크를 구축하고 100Mbps를 지원하는 유선 연결을 통해 서버인 일반 데스크 탑과 연결을 하였다.

그림 2에서 보듯이 GW(Gateway), MR1(Mesh Router 1), MR2(Mesh Router 2) 그리고 MR3(Mesh Router 3)은 유선의 연결이 아닌 무선 분산 시스템을 지원 가능하게 한 무선으로 연결을 확장한 환경이 구성되어 있고, 동일 채널을 사용하여 통신을 하도록 되어 있다.

### 3.2 트래픽 생성

트래픽은 Iperf v1.7.0[3]을 이용하여 실제로 패킷을 최대한으로 전송하여 네트워크의 최대 대역폭과 100Mbyte를 보내는데 걸리는 인터벌을 구한다. 이 과정마다 Mesh Router의 숫자를 조정하여 홉 수를 다르게 함으로써 각 홉 수에 따른 성능을 측정하여 무선 분산 환경에서의 TCP와 UDP 트래픽의 특성을 분석해 본다. 나온 값 중 평균값을 1차 결과 값으로 구하고 이에 대한 신뢰성을 높이기 위하여 이 과정을 10회 반복하여 실행하여 최종 평균값을 구하여 데이터로 설정한다.

## 4. 실험 결과 및 분석

TCP나 UDP와 같은 전송 프로토콜은 MAC과는 무관한 전송 비율을 가지기 때문에 전송 프로토콜의 성능이 유선망에서 보다 크게 낮은 값을 가진다. 앞선 연구들은 전송 프로토콜과의 연관성에 대한 설명이 부족하였으며, 일부 논문에서 역시 성능 저하의 원인을 밝히지는 않고 있다[4].

본 장에서는 전송계층 프로토콜인 TCP와 UDP 트래픽을 각 시나리오별로 생성한 트래픽에 대한 성능을 다양하게 분석하고 무선 분산 시스템 환경에서 성능저하의 원인과 특징을 살펴보고자 한다.

### 4.1 TCP 트래픽 성능

TCP 프로토콜은 네트워크의 혼잡상황을 고려한 프로토콜로서 사용자가 원하는 비율로 데이터를 보낼 수 있어 UDP에 비해 기능이 많아지고, ACK 패킷을 통해 역방향 피드백을 받는 점이 특징이다. 역방향 트래픽이 존재하는 TCP는 UDP에 비해 전송률이 낮을 것으로 예상되지만, 실험을 통해 홉 수가 증가함에 따라 UDP보다 안정적인 데이터 전송률을 보이고 있다. TCP 패킷 유실의 직접적인 원인은 MAC 레벨에서 충돌로 인한 유실과 인터페이스 큐의 용량 이상의 데이터 전송으로 인한 패킷 유실이다. 데이터 패킷의 유실은 송신자와 다음 홉의 중간 노드에서 많이 나타났으며, 이후로는 점차 안정적으로 동작하는 것을 볼 수 있다.

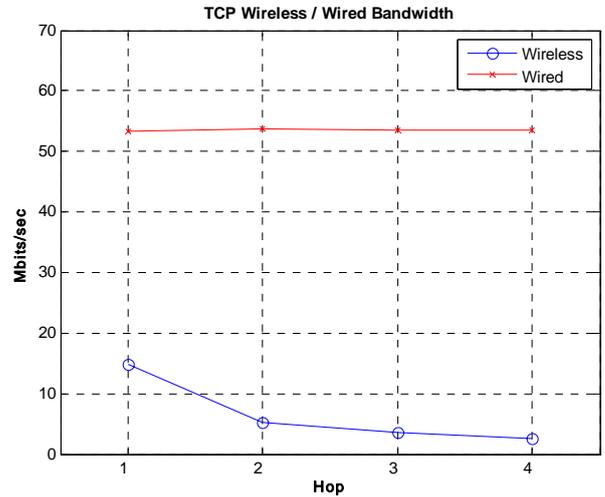


그림 3. TCP Wireless/Wired Bandwidth (Mbits/sec)

위 그림 3에서는 네트워크의 혼잡상황을 고려하는 TCP 프로토콜의 사용을 유선과 무선을 비교하고, 홉 수를 늘려가면서 성능을 측정하였다. 유선에서는 라우터의 개수에 상관없이 가용 대역폭을 최대한 사용하고 있지만, 무선으로 연결된 라우터들은 홉 수가 증가함에 따라 홉 간의 확인응답 메시지에 대한 시간이 더 걸리며, Single Channel의 사용으로 MAC 레벨에서 충돌로 인한 유실과 인터페이스 큐의 용량 이상의 데이터 전송으로 인한 패킷 유실 때문에 유선에 비해 무선으로 연결된 무선분산시스템 환경에서는 그 성능이 현저하게 떨어짐을 알 수 있다.

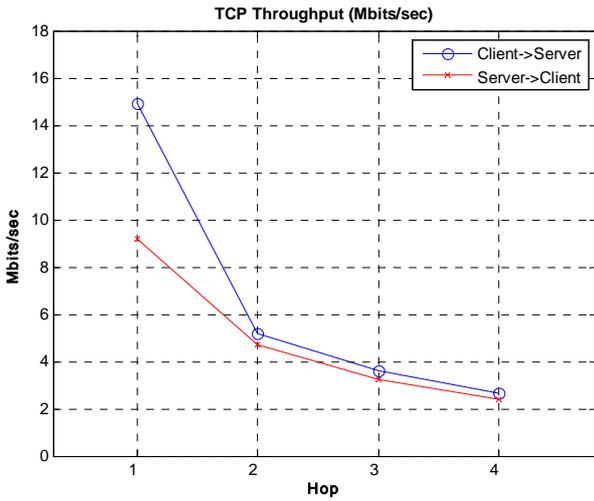


그림 4. TCP Throughput (Mbits/sec)

위 그림 4에서는 TCP 패킷을 단말에서 서버로, 서버에서 단말로 패킷을 보낼 때의 성능과 각 홉 수의 증가에 따른 성능을 비교한 그래프이다. 네트워크의 속도가 다른 링크 사이, 즉 빠른 유선구간의 링크에서 느린 무선구간의 링크로 연결되는 지점에서 혼잡으로 인한 라우터의 인터페이스 큐의 용량 이상의 데이터 전송으로 인한 패킷 유실로 버퍼 오버플로우 현상이 일어나 패킷들의 손실이 일어나게 되어 단말에서 서버로 전송되는 성능보다 서버에서 단말로 패킷을 보낼 때의 성능이 더 낮게 나옴을 알 수 있다.

#### 4.2 UDP 트래픽 성능

UDP 프로토콜은 TCP에 비해 가볍고, 사용자가 원하는 비율로 데이터를 전송한다. 초점을 맞추고자 하는 UDP와 TCP의 차이점은 TCP의 경우 ACK 패킷을 통해 역방향의 피드백을 받는 점이다. 역방향 트래픽이 존재하는 TCP와 비교하여 UDP의 전송률은 높을 것으로 예상된다. 그러나 UDP 트래픽은 홉 수의 증가에 따른 불안정한 패킷 전송률을 보여준다.

UDP 전송 트래픽의 경우 경쟁이 없는 한 홉의 통신에서는 거의 패킷 유실 없이 보내고자 하는 데이터 전송률로 전송을 하고 있다. 하지만, 홉 수가 늘어나면서 경쟁의 영향으로 인해 거의 모든 패킷이 유실되는 것을 관찰할 수 있다.

특히 패킷 유실은 전송을 시작한 노드와 다음 노드에 거의 집중되어 분포하는 것을 확인하였다. 이는 UDP 데이터그램이 송신측에서 수신측의 상황이나 네트워크의 상태를 고려하지 않고 전송을 시도하며, MAC 수준의 DCF에 전적으로 의존하기 때문이다. 더구나 어플리케이션은 사용자가 원하는 전송률로 계속 데이터를 네트워크로 보내려고 시도하므로 인터페이스 큐가 넘치는 유실이 대부분이다. 이렇게 전송

초기단계에서 유실된 패킷은 네트워크의 사용 가능한 네트워크의 대역폭을 낭비하게 되고 심지어 TCP 보다도 낮은 패킷 전송률을 보인다.

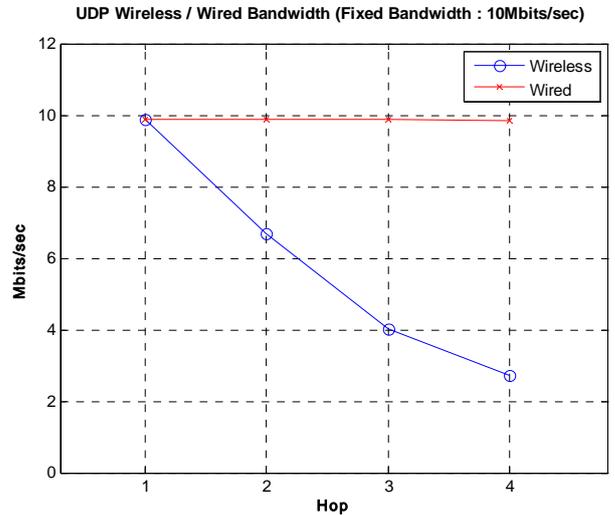


그림 5. UDP Wireless/Wired Bandwidth, Fixed Bandwidth : 10Mbits/sec

그림 5와 그림 6에서는 네트워크의 혼잡상황을 고려하지 않는 UDP 프로토콜의 사용을 유선과 무선 그리고 홉 수에 따른 성능을 비교하고, UDP 패킷의 손실율을 구하여 그 성능을 알아본다. 고정된 대역폭인 10Mbps의 속도로 주어졌을 때 유선에서는 패킷 유실이 거의 없이 주어진 대역폭을 유지하는 반면, 무선으로 연결된 무선분산시스템 환경에서는 홉 수가 증가함에 따라 각 라우터의 버퍼용량을 넘어서는 패킷들이 유실되고 있어 점차 성능이 떨어지는 것을 볼 수 있다.

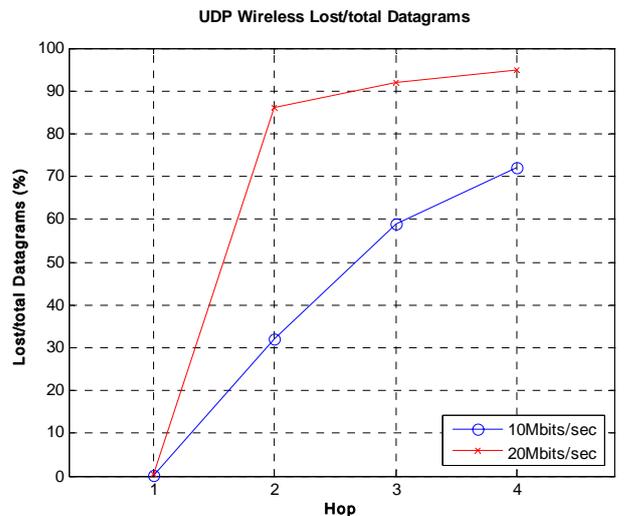


그림 6. UDP Wireless Lost/total Datagrams(%)

또한 한 홉 간의 통신에서는 거의 패킷의 유실이 없이 보내고자 하는 트래픽을 모두 보내는 반면, 송신자와 다음 홉의 중간 노드에서 많은 패킷 손실이 나타났으며, 이후로는 점차 안정적으로 동작하는 것을 볼 수 있다. 4홉의 경우에 고정된 UDP 대역폭이 10Mbps/sec일 때는 약70% 이상의 패킷이 손실을 보여주고, 20Mbps/sec에서는 약90% 이상의 패킷이 유실됨을 알 수 있다.

4.3 TCP/UDP 트래픽 성능 비교

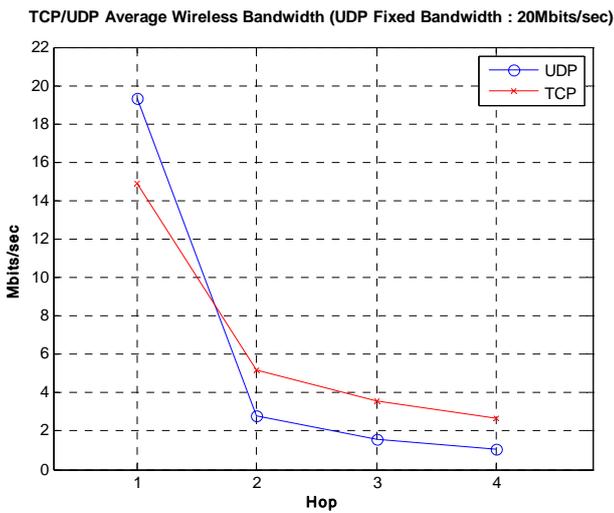


그림 7. TCP/UDP Average Wireless Bandwidth (Mbps/sec), UDP Fixed Bandwidth : 20Mbps/sec

그림 7, 그림 8에서는 TCP와 UDP프로토콜의 성능을 비교하고, 100Mbytes의 데이터를 보내는데 홉 수에 따라 걸리는 지연시간 비교 측정한 그래프이다. TCP의 경우 UDP와는 다르게 네트워크의 상황을 고려하여 만들어진 프로토콜로써 혼잡을 피할 수 있는 여러 메커니즘이 들어가 있다. 이는 UDP에 비하여 지연되는 시간이 더 걸릴 수 있다. 홉 수가 늘어남에 따라 ACK가 일정시간 안에 들어오지 않아 재전송의 결과로 새로운 데이터를 보내는 시간이 늦어지고, 각 홉에서 주고받은 확인응답 메시지 또한 지연의 한 이유가 될 수 있다.

UDP 프로토콜의 패킷 유실은 전송을 시작한 노드와 다음 노드에 거의 집중되어 분포하는 것을 그림 6을 통해 확인하였다. 이는 UDP 데이터그램이 송신측에서 수신측의 상황이나 네트워크의 상태를 고려하지 않고 전송을 시도하며, MAC 수준의 DCF에 전적으로 의존하기 때문이다. 더구나 어플리케이션은 사용자가 원하는 전송률로 계속 데이터를 네트워크로 보내려고 시도하므로 인터페이스 큐가 넘치는 유실이 대부분이다. 이렇게 전송 초기단계에서 유실된 패킷은 네트워크의 사용 가능한 네트워크의 대역폭을 낭비하게 되고 심지어 TCP보다도 낮은 패킷 전송률을 보인다.

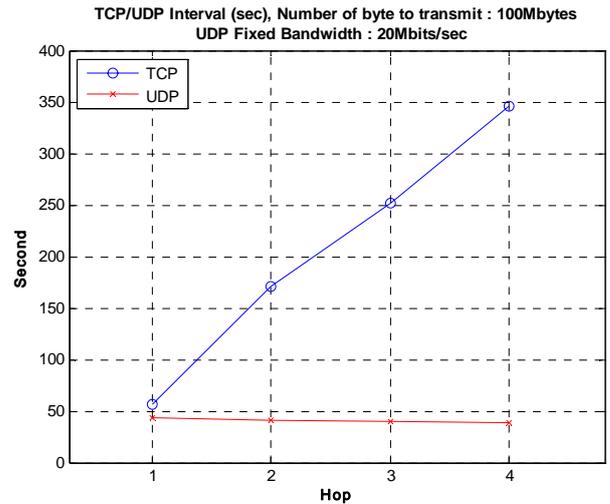


그림 8. TCP/UDP Interval(sec), Number of bytes to transmit:100Mbytes, UDP Fixed Bandwidth:20Mbps/sec

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 유선 인터넷에 맞춰진 전송 프로토콜인 TCP와 UDP를 IEEE 802.11 MAC을 사용하는 무선 분산 시스템 환경에서 다양하게 성능을 측정해보고 분석하였다.

무선 분산 시스템 환경에서 TCP 프로토콜은 UDP에 비해 보다 안정적인 Throughput을 볼 수 있었으며, UDP의 고정 대역폭을 높게 하였을 경우에 TCP가 UDP에 비해 그 성능이 더 좋게 나옴을 알 수 있었다.

유선링크와 비교하였을 때 유선 환경에서는 bit-error rate가 상당히 낮기 때문에, 유선 환경에서 발생하는 모든 packet loss 들을 TCP는 congestion 때문이라고 생각한다. 결국 TCP는 wireless network 상에서의 high bit-error rate, 일시적인 disconnection, high latency등으로 인해 발생하는 packet loss에 대해 유선 환경에서처럼 congestion 때문이라 생각한다. 결과적으로, TCP가 쓸데없는 congestion control 및 congestion avoidance mechanism을 수행함으로써, performance의 저하, throughput의 저하, delay의 증가 등의 결과를 초래한다. 또한 빠른 link인 유선구간과 느린 link인 무선구간과 연결되어 있는 경우 빠른 쪽에서 느린 쪽으로 혼잡이 발생하게 되어 이 연결지점에서 라우터의 버퍼용량을 넘어서는 데이터에 의한 손실로 그 성능이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

역방향 트래픽이 없는 UDP의 경우, 경쟁의 문제는 심하게 발생하지 않으나, 전송 프로토콜의 수준에서 MAC의 경쟁으로 인한 최적의 전송률을 알지 못하므로 송신 초기 단계에 많은 패킷이 유실되고 심지어

TCP보다도 낮은 데이터 처리율을 보이기도 하였다. 또한 어플리케이션은 사용자가 원하는 전송률로 계속 데이터를 네트워크로 보내려고 시도하므로 인터페이스 큐가 넘치는 유실이 대부분이다.

TCP는 유선환경에서 네트워크의 상황에 잘 적응하며, 신뢰성 있는 전송을 하는 특징을 가지고 있다. 따라서 무선 환경에서는 수신측이나 네트워크로부터 피드백을 받는 것이 바람직하며, 네트워크의 용량 자체가 유선 네트워크의 지연시간과 대역폭의 곱으로 계산되지 않고, 채널을 잡기위한 경쟁이 네트워크의 용량에 고려되어야 하겠다. 또한 일반적인 TCP의 슬라이딩 윈도우 기법 대신 TCP의 전송률을 고려한 프로토콜이 전체 네트워크의 링크 사용률 측면에서 볼 때 유리하다. 따라서 무선랜과 같은 링크를 사용하는 경우, 전송 프로토콜이 경쟁을 최소화 할 수 있는 전송률을 찾아내고 이 환경에 따라 적응하는 방식의 연구가 필요하다.

## 6. 감사의 글

이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-521-D00315).

## 7. 참고문헌

- [1] Venkatesh Ramarathinam and Miguel A. Labrador, "Performance Analysis of TCP over Static Ad Hoc Wireless Networks" In Proc, fourteenth IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems(PDCS 2002), November 4-6, 2002.
- [2] 이태진, 오종택, "WLAN Mesh Usage Model and Consideration for Hot Spot Service", 911-04-0680-01-000s-wlan-meshusage-model-and-consideration s-hotspot-service.ppt, 2004. 7.
- [3] Iperf, <http://dast.nlanr.net/projects/Iperf>
- [4] Venkatesh Ramarathinam and Miguel A. Labrador Networks" In Proc. fourteenth IASTED International Conference on Parallel and Distributed Computing and Systems(PDCS 2002), November 4-6, 2002.
- [5] Matthew Gast, "802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide", O'reilly, 2002.
- [6] Packetyzer, <http://www.packetyzer.com>
- [7] Ethreal, <http://www.ethereal.com>
- [8] Airoppeek Wireless LAN Analyer, <http://www.wildpacket.com>