

# 무선메쉬네트워크 테스트베드를 통한 IEEE 802.11e의 실험적 성능분석

유재용<sup>o</sup>, 김종원

광주과학기술원 정보통신공학과 네트워크미디어실험실

## Experimental Effectiveness Analysis of IEEE 802.11e by using Wireless Mesh Network Testbed

Jae-Yong Yoo<sup>o</sup>, JongWon Kim

Networked Media Lab., Department of Information & Communications,

Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)

{jyyoo<sup>o</sup>, jongwon}@nm.gist.ac.kr

### 요 약

WMNs(Wireless Mesh Networks)은 기존 유·무선망 구축 시 발생하는 고가의 비용 및 이동성 제약 등의 단점을 극복하기 위해 제안된 네트워크 구조로써 네트워크 구축비용에 비해 광범위한 인터넷 접근영역을 제공하는 장점을 가진다. 특히, IEEE 802.11e를 MAC계층으로 사용하는 WMN은 기존 IEEE 802.11에서 보다 강화된 QoS(Quality of Service)기능을 가지므로, 안정적 멀티미디어 관련 응용 계층을 지원하는 WMN 구축을 위해 주목받고 있는 기술 중 하나이다. 본 논문은 광주과학기술원에 설치된 MIMC(Multi-Interface Multi-Channel) WMN 테스트베드를 QoS 기능 지원을 위해 IEEE 802.11e 기반으로 확장한다. 특히, 확장에 필요한 소프트웨어 요소 및 하드웨어 요소에 대해 논한다. 또한, 확장된 IEEE 802.11e WMN 테스트베드를 사용하여 현재 주목받고 있는 IEEE 802.11e기반 WMN의 기본 쓰루풋 성능, 쓰루풋 차별화 성능등을 실험적으로 분석한다.

### 1. 서 론

All-IP 기반 유비쿼터스 통합망의 최종 액세스 네트워크로 각광받고 있는 WMNs(Wireless Mesh Networks)의 세부적인 요소 기술들은 기존 유·무선망 구축시 나타나는 고가의 설치/관리 비용, 전력소모 및 이동성 지원 제약 등을 극복하며 광범위한 인터넷 접근 영역을 지원한다. 특히, WMN중 IEEE 802.11 WLAN(Wireless Local Area Network) 기반 WMN은 이미 많은 분야에서 그 활용성이 크게 기대되는 메쉬 네트워크이다. 그러나 WMN이 갖는 설치/관리상의 장점에 비해, 이를 통한 인터넷 접속은, 기존 유선망에 비해 성능(낮은 쓰루풋, 높은 지연)이 낮은 문제점이 있다. 특히, WMN이 갖는 근본적 한계인, 종단 홉 거리에 비례한 쓰루풋의 감소문제는 높은 대역폭을 요구하는 멀티미디어 스트리밍과 같은 응용계층을 지원하는 장애요소이다.

특히, 이러한 낮은 쓰루풋 기반 네트워크에서 다수의 사용자를 지원할 경우, 문제는 더욱 어려워진다. 멀티미디어 스트리밍과 같은 높은 대역폭을 요구하는 응용의 사용자는, 그 이외의 사용자에 비해 우선적 쓰루풋을 지원받아야한다. 이러한 차별화 방안으로 IEEE 802.11e와 같은 QoS(Quality of Service)를 지원하는 MAC 계층 프로토콜이 필요하며, 이에 관한

연구가 진행되고 있다[1, 2].

IEEE 802.11e는 WLAN상에서 QoS를 지원하기 위해 제안된 MAC 계층 프로토콜로서, 기존 802.11을 보완한 것이다. 특히, 802.11e는 트래픽 차별화를 지원하기 위해, 트래픽을 4가지 클래스로 구별한다. 각 클래스는 BackGround(BK), BestEffort(BE), Video (VI)와 Voice(VO)이다. 각 클래스는 각기 다른 미디어 접근 인자를 가지며, 데이터 프레임들 서로 다른 우선순위로 전달한다. 이때, 트래픽의 우선순위는 올림차순으로, BK, BE, VI 그리고 VO로 구별된다.

본 논문은, 광주과학기술원에 설치된 MIMC GIST WMN 테스트베드에[3] QoS 기능을 지원하도록 기본 MAC 프로토콜인 IEEE 802.11을 IEEE 802.11e로 확장한다. 또한, IEEE 802.11e를 가능케 하는 소프트웨어 구성, 하드웨어 구성에 관해 논하며, 추가적으로 테스트베드의 실제 배치에 관해 논한다. 그 후 구축된 IEEE 802.11e WMN 테스트베드의 유효성 및 IEEE 802.11e WMN의 효율성을 검증하고자, 다수의 쓰루풋 성능 테스트 및 쓰루풋 차별성 테스트등을 통해 테스트베드 구축의 유효성을 검증한다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성된다. 2절은 현재 수행되고 있는 WMN 테스트베드 관련연구를 정리한다. 3절에서는 기존 설치된 MIMC GIST WMN 테스트베드에 관해 논한다. 그리고 4절은 IEEE 802.11e WMN

테스트베드의 배치 상태, 기본 링크 성능 실험, 중단 간 성능 및 쓰루풋 차별화 실험 등의 결과를 발표하며, 5절에서 결론을 내린다.

2. 관련 연구

다수 연구기관에서 WMN관련 기술을 연구하기 위한 테스트베드의 구축이 진행되고 있다[5, 6]. 표 1은 각 연구기관에서 구축한 테스트베드의 특징을 보여준다.

표 1 연구기관별 테스트베드 특징 및 연구 목표

	Node #	Radio #	QoS support	Device Type	Goal
Microsoft Research	23	2	None	Desktops	Community Mesh Network
UC Santa Barbara	25	1	None	Embedded System	Robust operation of WMN
GIST	6	2	IEEE 802.11e	Desktops	QoS Supporting WMN

MSR(Microsoft Research) 연구진은 CMN (Community Mesh Network)을 구축하기 위한 프로젝트를 수행하고 있다[5]. 테스트베드를 구성하는 메쉬노드로 2.66GHz 인텔 펜티엄4 기반 데스크탑과 Windows XP운영체제를 사용한다. 프로젝트의 목표는 기존 무선 인터넷 접근영역을 CMN을 통해 넓힘으로서, 주변 이웃들과의 인터넷 접근 게이트웨이의 공유를 가능하게 하는 것이다. 위의 목표를 달성하기 위해 해결해야 할 문제들로서 범위확장, 성능, 자기치유(self-healing), 관리, 보안, 공정성 등이 있다. MSR에서 진행중인 테스트베드는 현재 IEEE 802.11e는 지원하지 않고 있지 않다. 캘리포니아에 위치한 Santa Barbara 대학의 Belding Royer는 MeshNet이라 불리는 WMN 프로젝트를 진행하고 있다[6]. MeshNet 프로젝트의 목표는 안정적인 다중용 무선 네트워크를 위한 분산 프로토콜의 개발이다. 이 프로젝트에서 구축된 테스트베드는 두개의 WRT54G Linksys 디바이스가 장착된 메쉬노드로 구성된다. MeshNet프로젝트에서 구축된 테스트베드는 확장성 있는 라우팅 프로토콜, 효율적 네트워크 관리체계, 멀티미디어 스트리밍 및 다중용 무선네트워크의 QoS연계체계의 연구를 위해 사용된다. 하지만, Santa Barbara팀의 테스트베드 또한 현재 IEEE 802.11e는 지원하지 않고 있지 않다.

3. IEEE 802.11 WMN 테스트베드 구성

본 논문은 광주과학기술원에서 구축된 MIMC GIST WMN 테스트베드를[3] 기반하에 QoS 기능을 확장한다.지원하기 위해 기본 MAC 프로토콜을 IEEE 802.11e로 확장한다.

MIMC GIST WMN 테스트베드를 구성하는 하드웨어는 다음과 같다. 현재 총 6대의 메쉬 라우터로 구성되어 있으며, 각 라우터는 인텔 펜티엄 4 기반 데스크탑으로 3Ghz CPU와 512MB의 메모리를 가진다. 다중인터페이스를 지원하기 위해 각 라우터는 IEEE 802.11a/b/g를 지원하는 두개의 D-Link AirPremier DWL AG-520 Wireless PCI Adapter들이 장착되어 있다.

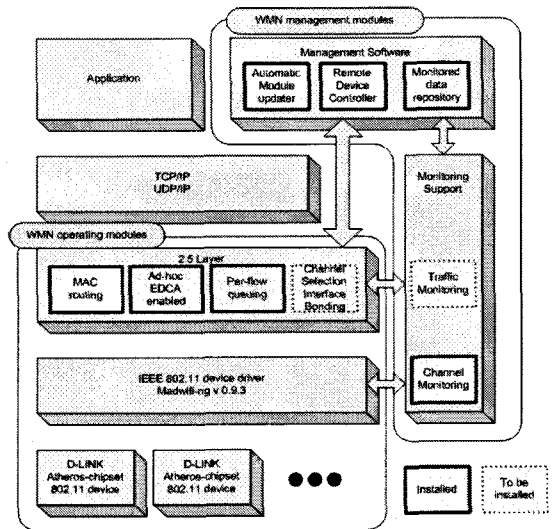


그림 1: WMN 소프트웨어 아키텍처.

운영체제로서 리눅스 Fedora Core 4 커널 버전 2.6.19을 사용한다. D-Link 인터페이스를 운용하는 시스템 소프트웨어로서, MadWifi v-0.9.3를 사용한다.

4. IEEE 802.11e WMN 테스트베드 확장 및 검증

4.1 IEEE 802.11e로의 확장

MadWifi v-0.9.3은 IEEE 802.11e를 인프라스트럭처 모드에서만 지원한다. 하지만 WMN은 기본 미디엄 접근 모드를 에드혹 모드로 설정해야 하기 때문에, MadWifi를 수정하여, IEEE 802.11e를 에드혹모드에서 사용 가능하게 만든다. 그 후, 부분적 IEEE 802.11s를 지원하기 위한 MAC 라우팅, 정교한 플로우별 조절을 위한 per-flow queuing등이 구현되었다. 본 논문은 QoS를 위한 IEEE 802.11e를 목표로 하기 때문에, 이에 대한 실험은 수행하지 않는다. 또한, 구축된 테스트베드의 관리를 위해 WMN 관리 모듈이 설치되었다 [3]. 위에 설명된 각 소프트웨어 모듈은 그림 1의 WMN 소프트웨어 아키텍처에 나타나있다. 또한, IEEE 802.11e기반 WMN테스트베드를 구성하는 6대 메쉬 라우터의 자세한 배치도는 그림 2에 나타나 있다.

4.2 기본 링크 성능 검증

IEEE 802.11e WMN 테스트베드의 올바른 구축을 검증하기 위해 기초 링크 성능 실험 및 IEEE 802.11e기반 중단 간 쓰루풋 실험을 수행한다. 첫째로, 단일 링크 쓰루풋을 측정한다. 측정을 위한 환경은 다음과 같다. 각 링크의 채널할당은 실험 전에 모두 같은 채널로 설정한다. 링크의 물리계층 전송률 조절 알고리즘은 SampleRate을[4] 사용하며, 전송 파워는 16dBm로 조절한다. 무선 인터페이스는 5.26Ghz 주파수대역을 사용하는 IEEE 802.11a로 설정한다. 본 실험은 외부 무선장비(공용AP등)가 많이 사용하는 2.4Ghz대역이 아닌 5.26Ghz대역을 사용하여, 외부 장비에 대한 간섭 가능성을 매우 낮춘다.

이와 같은 환경에서 최고 가능 1홉 링크 쓰루풋을 구하기 위해 소스전송률은 40Mbps의 UDP 트래픽을 사용한다. 목적지 노드의 쓰루풋은 iperf를 통해 측정한다. 그림 2에 표시되어 있는 바와 같이 WMN 테스트베드에는 5개의 링크가 존재하며, 각 링크의 1홉 쓰루풋은 표 2를 통해 볼 수 있다.

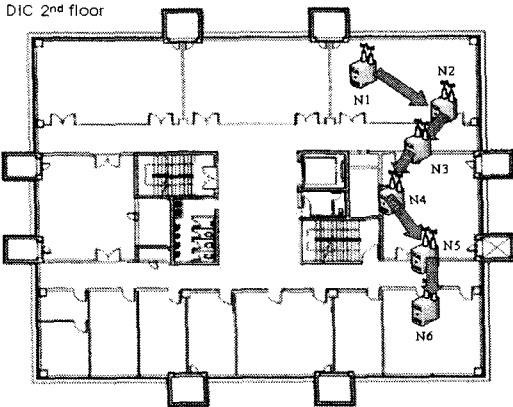


그림 2: MIMC GIST WMN 메쉬 라우터 배치도 (광주과학기술원 정보통신공학과 C동 건물).

표 2: MIMC GIST WMN 테스트베드의 1홉 링크 쓰루풋.

	N1-N2	N2-N3	N3-N4	N4-N5	N5-N6
1홉 쓰루풋 (Mbps)	31.2	31.5	31.2	30.8	31.4

중단 간 기본 쓰루풋을 측정하기 위해 다음의 실험을 수행한다. 라우팅은 고정 라우팅 (static routing)을 사용한다. 실험에 사용되는 트래픽은 UDP로서 고정 소스 전송률을 가지며 트래픽 클래스는 BE로 설정한다. 각 홉의 소스전송률은 1홉 40Mbps, 2홉 20Mbps, 3홉 13Mbps, 4홉 10Mbps, 5홉 8Mbps를 사용한다. 이렇게 각 홉 당 정해진 소스전송률을 사용하는 것은, 홉 거리가 멀어질수록 중단 간 쓰루풋이 홉 거리에 비례하여 줄어드는 현상을 반영하여, 가용 쓰루풋에 비해 너무 많은 트래픽을 보내지 않기 위함이다. 위의 환경을 바탕으로 측정된 중단 간 쓰루풋은 그림 3과 같다. 무선 멀티홉 네트워크에서는 홉 거리가 증가할수록 중단 간 쓰루풋이 홉 거리에 비례하여 감소한다. 구축된 테스트베드를 통해 측정된 중단 간 쓰루풋 또한, 그림 3에 나타난 바와 같이, 홉 거리에 비례하여 감소하는 것을 볼 수 있다. 이것은 무선 멀티홉 네트워크 테스트베드 구축의 유효함을 보인다.

### 4.3 차별화 성능 검증

IEEE 802.11e의 차별화 성능을 비교하기 위해, 네트워크 환경을 그림 4와 같이 설정한다. 두 명의 사용자가 1~5 홉 거리를 통해 트래픽을 보낸다. 본 실험은 IEEE 802.11e의 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)를 사용한다.

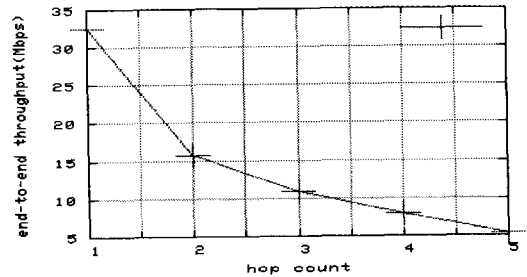


그림 3: 홉 거리를 변화대비 중단 간 쓰루풋.

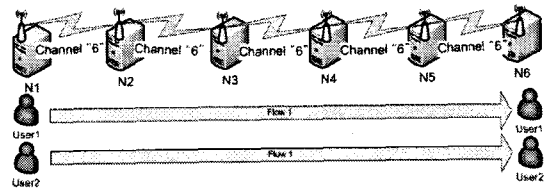


그림 4: 차별화 성능 비교를 위한 네트워크 환경.

EDCA는 각 사용자의 트래픽 클래스를 BK, BE, VI, VO로 나누어, 클래스별 미디엄 접근인자를 차별화한다. 각 접근인자는 AIFS (Arbitrary Inter-Frame Space), CWmin (Contention Window Minimum), CWmax (Contention Window Maximum), TxOP (Transmission Opportunity)로 구성된다. AIFS는 프레임 전송 간 (특히, 백오프를 시작하기 전 채널이 유희상태임을 확인하는 시간) 시간을 의미한다. CWmin과 CWmax는 백오프를 감소시키는 시간으로서, 패킷 동시 전송에 의한 충돌을 회피하기 위한 시간이다. TxOP는 패킷 전송에 성공한 노드가 추가적으로 패킷을 더 보낼 수 있는 시간으로, IEEE 802.11의 MAC 오버헤드를 감소시키기 위한 기법이다.

실험에 사용된 조합은 (BK, BK), (BK, BE), (BK, VI), (BK, VO)로 한다. IEEE 802.11e에서 각 클래스별 미디엄 접근인자는 표 3과 같다.

표 3. 트래픽 클래스 미디엄 접근인자

	AIFS	CWmin	CWmax	TxOP
BackGround	7	4	10	0
BestEffort	3	4	6	0
Video	1	3	4	94
Voice	1	2	3	47

실험 결과는 그림 5에 나타나 있다. 그림 5에서 보듯이, 높은 우선순위의 트래픽이 낮은 우선순위의 트래픽보다 높은 쓰루풋을 달성하는 것을 볼 수 있다. 이것은, IEEE 802.11e의 트래픽 차별화 기능에 의한 효과로서, IEEE 802.11e WMN 테스트베드의 올바른 구축을 보인다.

### 4.4 CWmin값에 대한 쓰루풋 민감성

그림 6의 그래프의 x축 라벨은 각 플로우의 접근인자를 BK, BE, VI, VO로 조합을 의미한다. 즉, 두

번째 라벨인 BK, BE 는 하나의 플로우는 BK, 나머지 하나는 BE 로 설정함을 의미한다. IEEE 802.11e 를 멀티홉 네트워크 적용할 경우, 그림 6 에 나타난 바와 같이, 높은 우선순위의 패킷이 낮은 우선순위의 패킷에 비해 통합 쓰루풋 (aggregated throughput)이 낮은 결과를 보인다. 이것은 높은 우선순위의 클래스는 비교적 낮은 CWmin 값을 사용하기 때문이다. CWmin 값 변경에 대한 영향을 확인하기 위해, 1 개의 flow 를 CWmin 값과 홉 거리를 변화시켜 가며 추가적 실험을 수행한다. 그림 7 에 나타난 바와 같이, 홉 거리가 1~2 홉일 경우, CWmin 값이 낮을 수록 높은 쓰루풋이 나온다. 하지만, 홉 거리가 멀어질 수록, 종단 간 쓰루풋은 CWmin 값이 낮은 경우 쓰루풋이 감소하는 현상을 보인다. 이것은 너무 낮은 CWmin 은 경로 내부적 경쟁 (intra-path contention) 을 일으켜 더욱 많은 2 계층 충돌을 유발하기 때문이다. 이 현상은 그림 5 에 나타난 현상을 설명한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 적응적 CWmin 조절 알고리즘들이 [7] 시뮬레이션 기반 하에 제안되고 있다.

테스트, 쓰루풋 차별성 테스트를 수행하였다. 본 논문을 통해 확장된 IEEE 802.11e 기반 WMN 테스트베드는 앞으로 멀티미디어의 지원을 위해 종단간 가용 대역폭 측정, 콜 수락제어 등에 관한 연구를 진행할 계획이다.

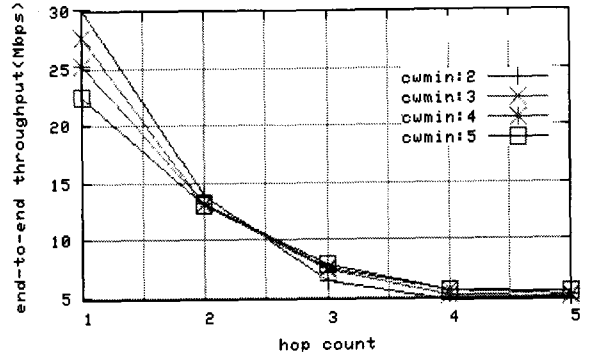


그림 7: CWmin 값과 홉 거리를 변화하며 종단 간 쓰루풋 테스트 결과.

### 감사의 글

이 논문은 2007년도 한국정보사회진흥원의 지원을 받아 수행된 유무선 통합을 지원하는 안정/효율적인 무선미디어센터네트워크 테스트베드 설계 및 구축에 관한 연구임.

### 참고 문헌

- [1] T. B. Reddy, J. P. John, and C. S. Murthy, "Providing MAC QoS for multimedia traffic in 802.11e based multi-hop ad hoc wireless networks," *Elsevier Computer Networks*, vol. 51 no. 1, pp. 153-176, Jan. 2007.
- [2] C. T. Calafate, P. Manzoni, and M. P. Malumbres, "Assessing the effectiveness of IEEE 802.11e in multi-hop mobile network environments," in *Proc. of IEEE MASCOTS*, Oct. 2004.
- [3] J. Yoo, J. Kim, "Construction and validation of multi-interface multi-channel wireless mesh network testbed," in *Proc. of JCCI*, May 2007.
- [4] John Bicket, "Bit-rate selection in wireless networks," *Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology*, Feb. 2005.
- [5] Microsoft Research, Mesh Networking Research Group, online available at <http://research.microsoft.com/mesh/>.
- [6] University of California Santa Barbara, Mesh Net, online available at <http://moment.cs.ucsb.edu/meshnet/>.
- [7] L. Gannoune and S. Robert, "Dynamic tuning of the contention window minimum (CWmin) for enhanced service differentiation in IEEE 802.11 wireless ad-hoc networks," In *Proc. of IEEE PIMRC*, Sep. 2004.

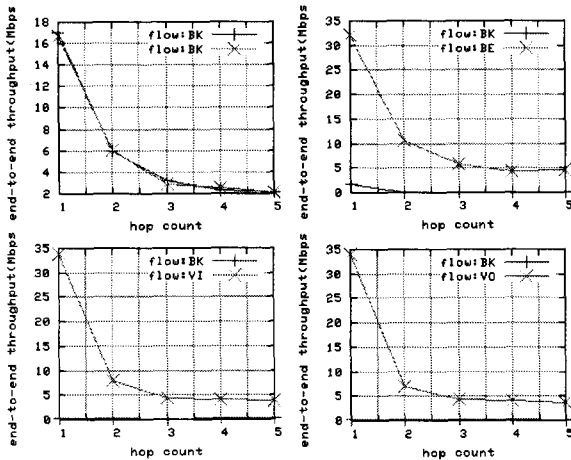


그림 5: 두 플로우의 각 조합별 차별화 성능 비교.

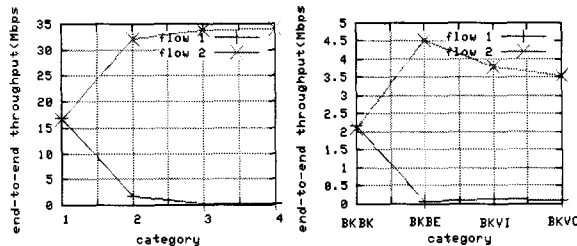


그림 6: 두 플로우의 성능 비교 (1홉, 5홉 고정).

### 5. 결론

본 논문은 6대의 메쉬 라우터로 구성된 IEEE 802.11e 기반 WMN 테스트베드의 구축에 대해 논하였다. WMN상의 QoS를 지원하기 위해 IEEE 802.11e를 멀티홉으로 확장하여 적용하였으며, 올바른 테스트베드의 QoS 작동을 검증 및 구축된 IEEE 802.11e의 효율성을 확인하기 위해 다수의 기본 쓰루풋