

---

# IEEE 802.11 프로토콜 기반 메쉬 무선랜의 성능분석

이 계 상\*

Performance Analysis of Mesh WLANs based on IEEE 802.11 protocols

Kye-Sang Lee\*

---

이 논문은 2005학년도 동의대학교 교내 연구비에 의해 연구되었음 (2005AA161)

---

## 요 약

메쉬 라우터들이 무선 멀티 홉 메쉬 형상으로 자동설정 연결되어 동작되는 메쉬 무선랜 (Mesh WLAN)은, 유선으로 AP (Access Point)를 연결하여 무선랜을 확장하는 기존 방식보다 구축의 편리성 및 신속성, 운용의 유연성 면에서 장점을 갖는다. 하지만, 멀티 홉 메쉬 무선랜에서 인접 홉 간의 전파 간섭으로 인한 망 성능의 저하 및 기존의 무선 네트워크 프로토콜이 그대로 재활용될 수 있는지 등의 미해결 기술 과제가 남아 있다.

본 연구에서는 멀티 무선 인터페이스를 적용한 IEEE 802.11a/g 기반 선형 메쉬 무선랜의 VoIP 지원 성능을 모의 실험을 통해 분석한다. 분석 결과를 통해, 메쉬 라우터의 홉 위치에 따라 VoIP 패킷 지연 등 네트워크 성능의 불공평성(unfairness)이 존재함을 보이고, 음성 패킷의 페이로드 크기를 증가시켜 프로토콜 오버헤드를 줄임으로써 네트워크의 호 수용 용량은 증가되지만, 기대치에는 미치지 못함을 보인다. 이는 기존 무선랜을 위해 고안된 802.11 MAC 프로토콜이 메쉬망에 그대로 적용되었을 때의 한계를 드러내는 것이며, 기존 프로토콜의 개선 및 새로운 프로토콜의 개발이 요구됨을 암시한다.

## ABSTRACT

Mesh WLANs, which consist of wireless mesh routers connecting each other in a mesh topology and self-operate after their autoconfiguration, have several advantages in convenience, swiftness and flexibility of deployment and operation over existing WLANs the expansions of which are done by connecting the APs with wires. However, many technical issues still remain to be solved. Among them, network performance degradations due to the interference between the adjacent hops in multi-hop mesh WLANs, and the reusability of the existing wireless network protocols are critical problems to be answered.

This work evaluates the VoIP support performance of IEEE 802.11a/g-based mesh WLANs with multiple wireless interfaces with simulations. The results show that there exist an unfairness in VoIP packet delay performances among mobile routers located at different hops, and that although the capacity of the admitted calls can be increased by increasing the size of voice packet payload it is far less than the expected one. This suggests that the existing 802.11 MAC protocols have their limitation when applied in mesh networks and their enhancement or even a newer one may be required.

## 키워드

무선랜, 무선 메쉬 네트워크, 불공평성, 무선 멀티 인터페이스, IEEE 802.11

## I. 서론

IEEE 802.11 프로토콜 표준을 기반으로 한 무선랜은 캠퍼스, 호텔, 공항, 커피숍, 가정 등 우리 일상의 많은 곳에서 인터넷 접속을 가능하게 하고 있다. 이에 더하여, 최근 더 많은 무선랜 접속 요구가 늘어감에 따라, 무선랜의 지리적인 커버리지의 확장 요구 또한 증대되고 있다. 이를 수용하기 위해서는 신규 AP가 증설되어야 하고 이는 다시 백본 인터넷에 유선으로 연결되어야 하는 데서 많은 비용 발생이 유발된다.

최근에는, 유선 AP 대신 무선 라우터를 사용하여 메쉬 형태의 무선 네트워크를 구성하고 게이트웨이를 통해 인터넷에 연결하는 무선 메쉬망 기술이 많은 관심을 끌고 있다. 무선 메쉬망은 망 설정 및 라우팅이 MANET (Mobile Adhoc Network)에서와 같이 자동으로 이루어지므로 구축 및 운용시 편리성과 신속성 및 융통성을 갖는다. 메쉬 형상을 이루는 어느 한 노드의 고장시 이 노드가 우회되어 자동으로 망 연결이 복구되는 장점 또한 메쉬망의 주요 특징이다.

무선 메쉬망의 폭넓은 구축을 위해서는, 하지만 아직도 여러 가지 기술 문제가 해결되어야 한다[1]. 이 중, 본 연구와 관련된 주요 두 과제로는, 우선, 단일 주파수를 사용함으로써 메쉬 라우터의 인접 홉 간에 전파 간섭이 발생하고 이 결과 네트워크 성능이 저하되고 결국 네트워크 용량이 감소되는 결과를 초래하는 문제를 들 수 있다. 또한, 무선 메쉬망 구현에 기존 무선망 프로토콜을 그대로 재활용할 수 있는지 여부도 자세히 검토되어야 할 문제이다.

본 연구는 멀티 무선 인터페이스를 갖는 메쉬 라우터로 구성된 IEEE 802.11a/g 프로토콜 기반 메쉬 무선랜의 성능을 분석하고자 한다. 메쉬 무선랜은 초고속 인터넷 접속, 멀티 미디어 응용 지원 등 다양한 응용 및 서비스를 제공할 것으로 기대된다. 그 중에서도 VoIP 서비스는 메쉬 무선랜의 킬러 응용이 될 것으로 예측되고 있어, 본 연구에서도 메쉬 무선랜의 성능 분석을 VoIP 응용을 대상으로 모의실험 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 다음 장에서 메쉬 무선랜의 구조 및 관련 연구를 살핀 후, III장에서는 모의실험 모델을, IV장에서는 그 성능 분석 결과를 기술한 다음, V장의 결론으로 맺는다.

## II. 메쉬 무선랜의 구조 및 관련 연구

메쉬 무선랜은 보통 세 가지 구조를 갖는 것으로 분류된다[1]. 인프라 구조, 애드혹 구조와 혼합형 구조이다. 인프라 구조는 그림 1과 같이 메쉬 라우터들이 상호 무선으로 연결되어 메쉬 형상의 백본(백홀, 또는 802.11 용어로는 distribution system)을 구성하고, 게이트웨이를 통해 인터넷에도 연결된다. 단말은 메쉬 라우터의 지엽 노드(leaf node)로 무선 연결된다.

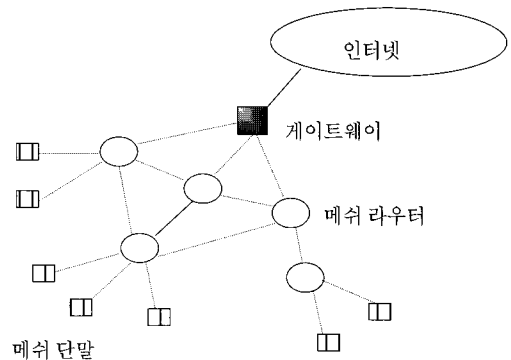


그림 1. 인프라 구조의 메쉬 무선랜  
Fig. 1 Infrastructure Mesh WLAN

애드혹 구조는 단말들이 메쉬 라우터의 포워딩 기능까지 맡아 자기들끼리 무선 연결되는 구조이며, 인터넷에 연결되지 않는다. 일부 소수의 메쉬 라우터가 망 구성에 사용될 수도 있다. 혼합형 구조는 인프라 구조와 애드혹 구조의 특징을 혼합한 구조이다. 대부분의 메쉬 무선랜이 인프라 구조를 가질 것으로 기대되므로, 본 연구에서는 인프라 구조를 갖는 메쉬 무선랜을 가정하여 모의 실험하였다.

메쉬 무선랜의 전반적인 연구쟁점에 대해서는 [1,2]에서 조사된 바 있다. 최근 메쉬 무선랜의 연구개발과 축적이 활발하지만, 아직도 많은 연구 과제가 남아 있다.

메쉬 무선랜에 사용될 수 있는 무선 전송 기술은 그간 눈부신 발전을 해 왔다. 예로, 802.11n의 경우 표준은 100 Mbps 이상의 높은 속도를 약속한다. 하지만, SNR이 낮은 실제 구축 환경에서 약속된 전송 속도를 얻으려면 아직도 MIMO 및 스마트 안테나 기술의 개선이 필요하다 [3].

더욱이, 멀티 홉 무선 메쉬 네트워크에서 인접 홉간에 동일 주파수를 사용하는 동시 전송으로 초래되는 상호간섭은 메쉬 망의 전송속도와 망 수율을 대폭 저하시킨다. 이 경우, 지향성 안테나를 사용하여 주파수 간섭을 줄이고 주파수 재사용성을 개선할 수 있다. 하지만, 좀 더 근본적인 대안은 멀티 무선 인터페이스를 사용하는 것이다. 최근 들어, 무선 인터페이스의 가격 하락으로 하나의 메쉬 라우터에 여러 개의 무선 인터페이스의 장착이 가능해지고 있다[4]. 또한, 각 무선 인터페이스는 다시 여러 개의 직교 채널(즉, 멀티 채널)을 제공할 수 있다.

멀티 채널 멀티 인터페이스를 사용하는 무선 메쉬망에 관한 연구들은 주로 효율적이고 지능적인 다이나믹 채널 할당 방식에 관한 것들이다[5,6]. 다이나믹 채널 할당 방식은 특히 메쉬 노드의 밀도가 높아 간섭이 심해지는 경우 때때로 채널 스위칭이 요구되는 환경에서 효율적이다. 다이나믹 채널 할당 방식이 적용된 멀티 채널 멀티 인터페이스 메쉬 네트워크에서는 라우팅 계층과 링크 계층 간의 복잡한 상호작용이 요구되는 경우도 많다. 하지만, 노드 밀도가 낮고 충분한 수의 인터페이스가 존재하는 변화가 거의 없는 네트워크 환경에서는 고정된 채널 할당이 단순하지만 바람직하며 견고한 방식이 될 것이다. 본 연구의 모의실험에서는 후자의 방식을 가정한다.

기존 무선 네트워크에서 사용된 프로토콜이 메쉬망에서 그대로 활용될 수 있을지도 또한 많은 연구의 과제가 되고 있다. 예를 들어, MANET 연구에서 개발된 여러 라우팅 프로토콜과 무선랜을 위해 IEEE에서 개발된 802.11 계열 MAC 프로토콜이 재검토 되고 있다. 본 연구에서는 라우팅 프로토콜의 영향을 배제하고 802.11 MAC 프로토콜의 성능이 부각될 수 있도록 선형 토폴로지를 선택하였다.

### III. 모의실험 모델

성능 모의실험을 위한 네트워크 토폴로지는 그림 2와 같이 5대의 메쉬 라우터 (MR<sub>i</sub>, i=1,...,5)가 선형으로 연결된 기본적인 토폴로지를 선택하였다. 선형 토폴로지는 간단하지만, 임의의 형상을 갖는 일반적인 망 토폴로지의 성능을 추정해 볼 수 있는 기본 단위망이며, 라우팅 영향을 배제한 상태의 네트워크 성능을 고찰할 수 있는

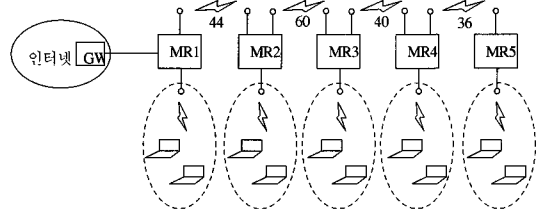


그림 2. 모의실험 모델  
Fig. 2 Simulation Model

장점을 갖는다. 메쉬 라우터 간을 연결하는 백홀 연결은 802.11a 표준을 따르고, 메쉬 라우터와 단말 간의 연결은 802.11g를 따른다.

양 쪽 가장자리에 위치한 홉 1과 5의 메쉬 라우터는 두 개의 무선 인터페이스를 가지며 이들 사이에 위치한 홉 2, 3, 4 메쉬 라우터는 각기 세 개의 무선 인터페이스를 갖는다. 메쉬 라우터의 상향과 하향 및 인접 홉간에는 각각 서로 다른 채널을 할당함으로써 상호 전파 간섭이 일어나지 않도록 하였다. 인접한 802.11g 무선랜 간에서도 서로 다른 채널을 사용하여 간섭이 일어나지 않도록 하였다. 외부 인터넷과 유선으로 연결되는 홉 1에 위치한 메쉬 라우터는 두 개의 무선 인터페이스 외에 하나의 유선 인터페이스를 갖는다.

다양한 부하가 인가되었을 때의 성능을 살피기 위해, 각 메쉬 라우터마다 802.11g 메쉬 단말을 1대에서 5대까지 늘려가며 모의실험 한다. 각 단말은 하나의 VoIP 호를 생성하는 것으로 가정한다. 각 호는 게이트웨이를 거쳐 메쉬 단말과 인터넷 사이에 개설된다.

각 단말에서 발생하는 VoIP 패킷은 G.729[7]을 따른다. G.729 인코더는 8 kbps의 디지털 음성 트래픽을 발생시킨다. 이는 1바이트/ms에 해당되는데, 보통 10~100 ms 범위의 주기로 패킷화된다. 본 실험에서는 패킷 크기에 따른 성능변화를 살피기 위해 20 ms와 50 ms 주기의 패킷화를 가정하였다. 즉, 20과 50 ms 주기 마다 각각 20과 50 바이트 페이로드가 발생하며, 이들은 40 바이트의 IP/UDP/RTP 헤더와 더해져 각각 60, 90 바이트 패킷이 된다.

### IV. 성능분석

모의실험은 멀티 인터페이스용으로 확장된 ns-2를 사

용하여 리눅스 시스템에서 수행하였다[8]. 이는 ns-2.1b9a를 기본으로 하여 멀티 무선 인터페이스가 가능하도록 뉴욕주립대에서 확장된 것이다. 음성 트래픽의 발생은 CBR 트래픽을 사용하였다.

그림 3은 메쉬 단말에서 게이트웨이 방향, 즉, 상향으로의 음성 호내 20 바이트 음성 페이로드 패킷들이 겪는 지연을 보인다. 그림은 홉 증가에 따른 지연의 증가를 보인다. 이는 더 큰 부하가 인가 되었을 때 (즉, 단말 수의 증가시) 더욱 두드러진다. 예로, 단말 2대의 부하를 갖는 경우, 홉 1에서는 영향이 거의 없지만, 홉 2~5는 170 ms 남짓의 상당한 지연을 겪게 된다. 단말 5대의 부하를 인가했을 때, 각 홉에서의 지연 증가는 홉의 증가에 따라 증가세가 나중에 다소 둔화되지만, 그 차이는 뚜렷하다. 이 그림을 통하여 부하 증가시 각 홉간의 불공평성이 뚜렷이 존재함을 알 수 있다. 게이트웨이에서 더 많이 떨어져 있는 홉이 그만큼 더 불리한 서비스를 받게 된다. 특히, 홉 1은 부하의 증가에도 불구하고 거의 영향을 받지 않는 유리한 위치에 있음을 알 수 있다. 또한 그림에서 단말 2대 정도의 부하로도 홉 2 이상에서는 지연이, ITU 기준[9]인 150 ms를 넘어서며 만족할만한 음성 호로 수용이 어려운 것을 알 수 있다.

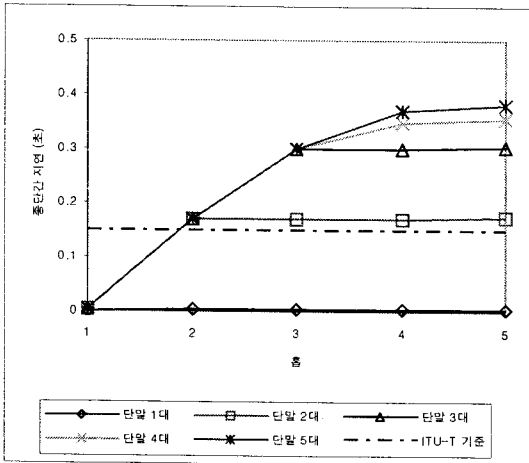


그림 3. 상향 음성 패킷의 지연 (20 바이트 페이로드)  
Fig. 3 Delay of upstream voice packets with 20 byte payload

그림 4는 하향, 즉, 게이트웨이로부터 메쉬 단말로 의 음성 호내 20 바이트 패킷들이 겪는 지연을 보인다. 상향의 경우 보다 훨씬 더 심한 지연을 가짐을 알 수 있다. 단

말이 두 대 이상 인가된 경우, 두 번째 홉에서부터 800 ms 이상의 과도한 지연을 겪는 것을 알 수 있다. 그림 3과 4로부터, 20 바이트 음성 페이로드 패킷으로는 각 메쉬 라우터 당 한 대의 VoIP 단말 밖에 수용할 수 없음을 알 수 있다.

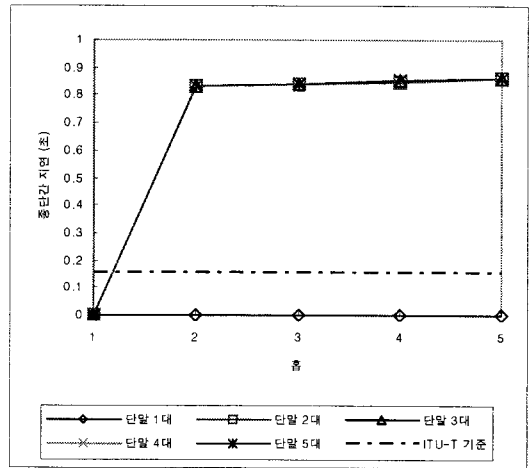


그림 4. 하향 음성 패킷의 지연 (20 바이트 페이로드)  
Fig. 4 Delay of downstream voice packets with 20 byte payload

이는 20 바이트 음성 페이로드를 갖는 작은 패킷이 한 호당 1초에 50개씩 발생되는데 이를 처리해야 하는데서 오는 프로토콜 오버헤드가 크기 때문이다. 즉, 위에서 언급된 바 처럼, 20 바이트 페이로드 앞에 40 바이트 상위 계층 패킷 헤더가 전송되어야 하고, 이외에 MAC 계층과 물리계층의 프로토콜 오버헤드가 추가된다. 특히, MAC 계층에서는 MAC 헤더 전송 시간, 데이터 프레임 전송에 대한 응답 (ACK) 프레임의 수신 대기시간, DIFS와 SIFS와 같은 프로토콜 고유의 대기시간 외에 지수함수적으로 증가되는 매체 경쟁 시간이 포함된다. 20 바이트 페이로드 전송에 많은 오버헤드가 부가되는 것을 알 수 있다.

따라서, 하나의 패킷에 실리는 음성 페이로드를 크게 하면 성능을 향상시킬 수 있다. 다음은 실제로 음성 페이로드를 50 바이트로 증가 하였을 때의 성능 개선을 살펴본다.

그림 5는 50 바이트 음성 페이로드를 갖는 패킷이 상향으로 전송시 겪는 지연을 보인다. 20 바이트 페이로드 경우 때 보다 전체적으로 향상된 성능을 보인다. 홉에 따른 지연 증가는 낮은 부하에서는 두드러지지 않으나, 높은 부하 (단말 5대)에서는 홉마다 차이를 드러낸다. 단

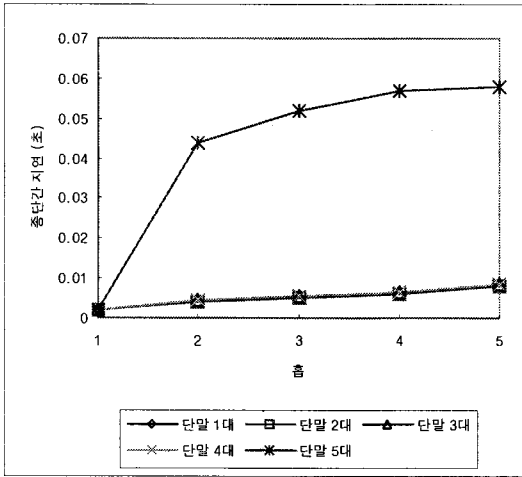


그림 5. 상향 음성 패킷의 지연 (50 바이트 페이로드)  
Fig. 5 Delay of upstream voice packets with 50 byte payload

말 5대의 부하 인가시, 홉 2부터 지연이 증가하며, 증가 추세가 둔화는 되나 홉의 증가에 따라 꾸준히 늘어난다. 홉 간의 불공평성이 아직도 존재하나 그 정도는 많이 완화된 것을 알 수 있다. 그림은 모든 경우에서 60 ms 이하의 작아진 지연을 보인다. 페이로드의 크기를 크게 하여 패킷 오버헤드를 상대적으로 줄임으로써 높은 부하에서도 망의 지연 성능을 제고하여, 결국 수용되는 호의 용량을 증가시킬 수 있음을 보인다. 하지만, 이는 인코딩시 패킷화 지연을 추가하게 되므로 적절한 타협이 이루어져야 한다. 최종적으로 수용가능한 호의 용량은 좀더 열악한 성능을 갖는 하향 지연 성능에 의해 결정됨을 다음 그림에서 보인다.

50 바이트 패킷의 하향 전송 지연을 보이는 그림 6은 그림 5와 유사한 경향을 보인다. 즉, 홉에 따른 지연 증가는 낮은 부하에서는 거의 차이가 없으나, 높은 부하(단말 5대)에서는 홉 간의 불공평성을 드러낸다. 그러나, 지연의 절대값은 상향에서보다 더 큰 값을 갖는다. 단말 수가 4대일 때 까지는 홉 수가 5가 되더라도 10 ms 이하의 지연 성능을 보인다. 하지만, 단말 수가 5가 되면, 홉 2에서 이미 ITU 기준인 150 ms를 상회하게 되고, 홉 수가 증가하면 200 ms 가까이 증가한다. 결국, 이 때문에 50 바이트 패킷 전송의 경우에도, 수용할 수 있는 단말 대수는 각 메쉬 라우터 당 최대 4대이며 네트워크 전체로 볼 때 20

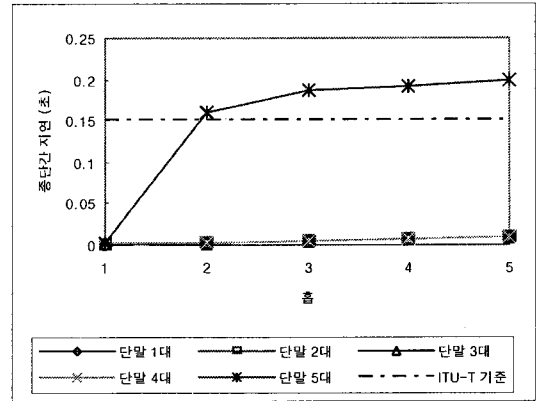


그림 6. 하향 음성 패킷의 지연 (50 바이트 페이로드)  
Fig. 6 Delay of downstream voice packets with 50 byte payload

대로 제한된다. 하지만, 이 값은 20 바이트 페이로드 사용시 메쉬 라우터 당 1대로 네트워크 전체로 볼 때 5대에 불과한 것에 비해 그 용량이 4배로 커진 결과에 해당된다.

만족할 만한 음성 품질을 유지하기 위해서는 패킷 지연 뿐 아니라, 패킷 손실율도 기준치 이하로 유지되어야 한다. G.729의 50 바이트 음성 페이로드 전송의 경우, 패킷 손실은 0.08% 이하로 유지되어야 한다. 시뮬레이션을 통해 단말이 4대로 증가할 때 까지 상향/하향 패킷 손실율은 모두 기준치 이하를 유지한 것을 확인하였다. 그림 7은 단말의 수를 5대로 증가시켰을 때, 상향 및 하향

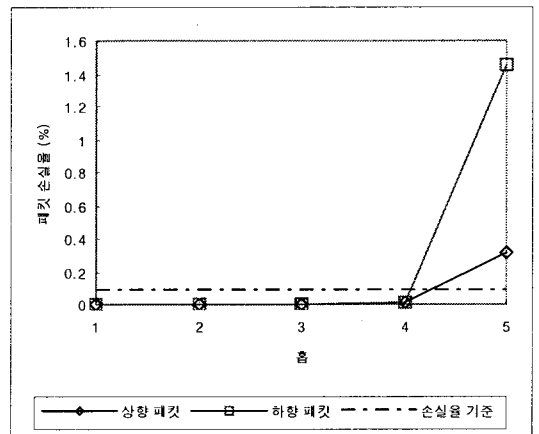


그림 7. 음성 패킷 손실율 (단말 수 = 5)  
Fig. 7 Loss rate of voice packets with 5 clients

패킷 손실율을 보인다. 홉 5의 경우에만 상향 손실율이 1.4%를, 하향 손실율이 0.3%를 넘어서 기준이 초과됨을 알 수 있다.

## V. 결 론

분석결과, 메쉬 라우터의 홉 위치에 따라 음성 패킷 지연에 있어 불공평성이 존재함을 확인하였다. 이 불공평성은 선형이 아닌 임의의 토폴로지에서 존재할 것이다. 따라서, 트래픽이 집중되는 인터넷 게이트웨이 부근에서는 부하를 분산시키는 트래픽 엔지니어링이 필요할 것이다. 또한, 음성 패킷의 페이로드 크기를 20 ms에서 50 ms로 증가시킬 때 수용 가능한 호의 수가 5에서 20으로 증가하지만, 이는 기대치에 못 미치는 결과이다. 멀티 인터페이스를 사용했음에도 네트워크의 호 수용 용량을 충분히 달성치 못한 것은 기존 MAC 프로토콜 사용이 더 큰 병목임을 말해주며 멀티 홉 메쉬망에 그대로 적용되었을 때의 한계를 드러낸 것으로, 기존 프로토콜의 개선이나 새로운 프로토콜의 개발이 필요함을 암시한다.

## 참고문헌

- [1] I. F. Akyldiz and et. al., "A Survey on Wireless Mesh Networks," IEEE Radio Communications., pp S23-S30, Sep., 2005.
- [2] S. M. Faccin and et. al., "Mesh WLAN Networks: Concept and System Design," IEEE Wireless Mag., pp 10-17, Apr., 2006.
- [3] V. Jain et al., "A Cross Layer MAC with Explicit Synchronization through Intelligent Feedback for Multiple Beam Antennas," Proc. IEEE GLOBECOM, pp 3196-3200, 2005.
- [4] S. Liese, D. Wu, and P. Mohapatra, "Experimental Characterization of an 802.11b Wireless Mesh Network," UC Davis Comp. Sci. Dept. tech. rep.
- [5] P. Kyasanur and N. H. Vaidya, "Routing and Interface Assignment in Multi-Channel Multi-Interface Wireless Networks," IEEE WCNC, New Orleans, LA,

pp2051-2056, Mar. 2005.

- [6] K. Ramachandran et al., "Interference-Aware Channel Assignment in Multi-Radio Wireless Mesh Networks," IEEE INFOCOM, pp 1-12, 2006.
- [7] ITU-T Recommendation G.729, "Coding of Speech at 8 kbits Using Conjugate-Structure Algebraic-Code-Excited Linear Prediction (CS-ACELP)," Mar., 1996.
- [8] "Hyacinth: An IEEE 802.11-based Multi-channel Wireless Network," <http://www.ecsl.cs.sunysb.edu/multichannel>.
- [9] ITU-T G.114, "One-Way Transmission Time," 1996.

## 저자소개

### 이 계 상 (Kye-Sang Lee)



1981 서울대학교 전자공학과 석사  
 1997 KAIST 전기전자공학 박사  
 1982~1997 ETRI 선임연구원  
 1997~현재 동의대학교 정보통신공학과 재직