

# 메쉬 WLAN의 물리 및 링크 계층의 연구 쟁점

이계상\*

\*동의대학교 정보통신공학과

## Research Issues on Physical and Link Layers for wireless mesh WLANs

Kyesang Lee\*

\*Dept. of Information and Communications Eng., Donggeui University

e-mail : ksl789@gmail.com

### 요 약

최근, 이용이 확산되고 있는 WLAN의 커버리지를 경제적으로 용이하게 해 주는 무선 메쉬망의 연구 및 구축이 활발하다. 기존 IEEE 802.11 표준이나, MANET 또는 WSN을 위해 개발된 프로토콜들이 사용될 수 있지만, 메쉬 WLAN의 몇 가지 요구사항이 다름으로 인해, 그대로 적용될 경우 망의 성능이 제한 되기 때문에, 아직도 많은 연구쟁점들이 해결되어야 한다. 본 논문은 무선 메쉬망 고유의 요구사항을 고려하여 물리계층과 링크계층의 연구쟁점을 살펴 본다.

### ABSTRACT

Recently, research and deployment have been very active on wireless mesh technologies. Wireless mesh networks extends the coverage of the WLAN easily and economically. Although existing protocols developed for MANET and WSN can be used for wireless mesh WLANs, considerable amount of research are still required, because they exhibit poor performance, when applied as they are, due to a few critically different requirements. This paper examine research issues on physical and link layers of WLANs considering those requirements.

### 키워드

WLAN, 무선 메쉬 네트워크, 메쉬 WLAN

### 1. 서 론

최근의 무선 망 기술은 PAN, LAN, MAN에서 WAN 영역에 까지 눈부신 발전을 거듭하고 있다. 특히, IEEE 802.11 표준 기반의 WLAN은 곳곳에서 무선 인터넷 접속을 가능케하는 기술로 날로 그 사용이 확대되고 있다. 커피샵, 호텔 등 작은 영역 뿐 아니라, 최근에는 넓은 캠퍼스 전체 또는 하나의 도시 정도의 넓은 영역을 커버할 수 기술로 응용이 확대되고 있다. 이를 가능케 하는 기술이 무선 메쉬 기술로서, 이는 WLAN의 커버리지를 경제적이면서 용이하게 확장시키는데 사용된다.

메쉬 WLAN의 기본 개념은, 과거 WLAN AP들이 유선으로 상호 연결되어 ESS의 DS를 구성되는데 비해, 무선 메쉬 라우터 (WLAN의 AP에 해당)들이 서로 다시 무선으로 연결되어 무선 DS를 구축함으로써, 케이블 설치에 따른 망 구축 어려움을 피해 간다. 무선 메쉬 라우터들은 자동 설정 및 자동 라우팅 기능을 통해 스스로 메쉬 형태의 네트워크를 구성함으로써 망의 구축을 더욱 용이하게 해준다.

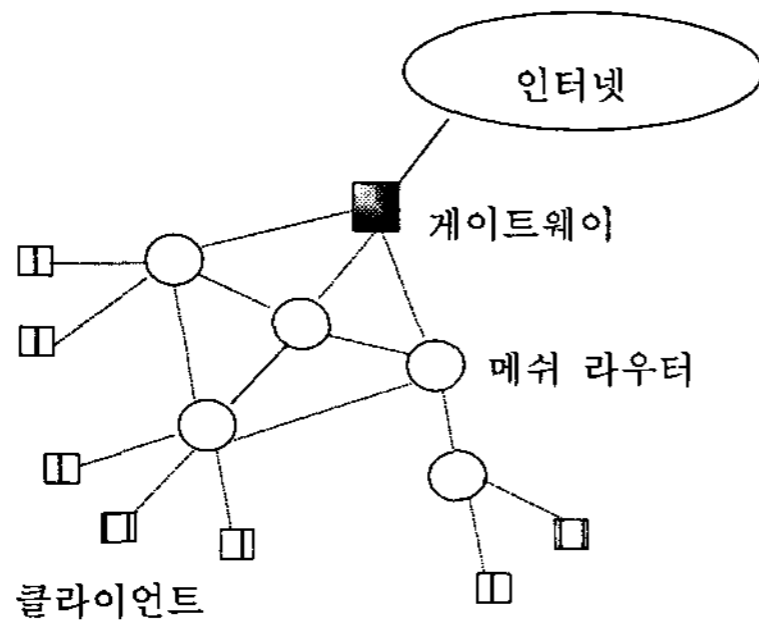
메쉬 WLAN은 스스로 메쉬 형태의 무선 네트워크를 구축한다는 점에서, 기존의 MANET 또는 WSN과 유사하다. MANET는 무선 애드혹 망 구축 기술로 재난 현장이나 전쟁터와 같은 환경에 응용하고자 연구되어 왔다. WSN은 각종 센서 노

드들이 스스로 연결하여 환경 감시 및 제어 등 유비쿼터스 환경 구축을 목적으로 개발되고 있다. 이러한 유사성으로 인해, MANET를 위해 연구개발된 많은 프로토콜들이 WSN에 응용 적용되어 왔으며, 이들은 다시 무선 메쉬망 적용을 위해 연구되고 있다. 하지만, 무선 메쉬망은 기존의 MANET 또는 WSN과는 구별되는 몇 가지 요구사항을 가지고 있어, 기존의 MANET 또는 WSN을 위해 연구된 프로토콜이 수정 적용되거나, 새로이 고안되어야 한다.

본 논문은 무선 메쉬망 고유의 요구사항을 고려하여 물리계층과 링크계층의 연구쟁점을 살펴본다. 이외에도 네트워크 용량 및 보안에 있어서도 많은 연구쟁점들이 있지만, 지면 제한으로 생략한다. 우선, 본 논문의 연구 대상인 메쉬 WLAN의 구조를 먼저 기술한다.

## II. 메쉬 WLAN의 구조

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



(그림 1) 인프라 구조의 메쉬 WLAN

애드혹 구조는 클라이언트들이 메쉬 라우터의 포워딩 기능 까지 맡아 자기들끼리 무선 연결되는 구조이며, 인터넷에 연결되지 않는다. 일부 소수의 메쉬 라우터가 망 구성에 참여할 수도 있다. 혼합형 구조는 인프라 구조와 애드혹의 특징을 혼합한 구조이다. 대부분의 메쉬 WLAN이 인프라 구조를 가질 것으로 기대되므로, 이 논문에서는 인프라 구조를 갖는 WLAN을 가정하여 논의를 전개한다.

## III. 물리 계층과 링크 계층의 연구 쟁점

본 절에서는 무선 메쉬망이 MANET/WSN과는 다르게 갖는 고유의 요구사항을 고려하여 물리계층과 링크계층의 연구쟁점을 살펴본다. 링크계층은 MAC 프로토콜과 라우팅 기능을 나누어 기술한다.

### 물리계층

메쉬 WLAN에 적용될 수 있는 물리계층 무선 기술의 눈부신 발전으로, 전송 속도는 획기적으로 높아지고 있으며, 아울러 가격은 지속적으로 낮아지고 있다. 대표적인 예로 IEEE 802.11n은 아직 드래프트 표준 단계에 머무르고 있으나, 이를 구현한 WLAN AP와 클라이언트 NIC 등의 장비들이 속속 출시되고 있다. MIMO 기술을 이용한 802.11n은 100 Mbps 이상의 높은 속도를 약속하고 있다. 하지만, 이 약속된 속도를 실제 구축 환경에서 그대로 얻기는 거의 힘들다. 거리가 멀어질 때 SNR의 감소는 수신단의 신호 복조를 더 어렵게 하기 때문이다. 이러한 성능 저하는 MIMO 기술 및 스마트 안테나 기술의 발전으로 보완될 수 있을 것이다[1].

상호 간섭은 약속된 성능의 또 다른 저해 요소이다. 많은 수의 노드가 참여하는 멀티 홉 무선 메쉬 망의 경우, 각 노드 간의 동시 전송 시도로 주파수 간섭이 필연적이며, 이는 전송 속도를 떨어뜨리거나, 망 수율을 대폭 감소시킨다. 이 경우, 주파수 간섭을 극대화 시키는 무지향성 안테나 대신 지향성 안테나를 사용함으로써 주파수 재사용 성능을 개선할 수 있다. 다른 대안으로 복수의 무선 인터페이스를 사용하는 방법이 있다. 최근 들어, 무선 인터페이스의 가격 하락으로, 각 노드가, 각기 다른 주파수에서 동작하는 복수의 인터페이스를 가짐으로써 망 수율을 제고할 수 있다. 이 때, 무선 장비 및 안테나의 적절한 배치도 중요한 설계 요소가 된다[2].

무선 인터페이스의 출력 제어를 통한 토폴로지 제어도 또 하나의 중요한 연구쟁점이다. 적절한 신호 출력을 통한 토폴로지 제어는 망의 지나친 상호 간섭을 완화시킬 수 있다. 좀 더 구체적으로는, 최적의 망 토폴로지를 유지하기 위해, 라우팅 계층에서 전송 신호 출력 레벨과 변조 모드 등의 변수에 접근하여 이를 제어한다. 이는 결국 노드 간 상호 간섭을 완화시킴으로써 망의 전체적인 물리 성능을 제고시킨다. 이는 필연적으로 계층간 상호작용을 요구하지만, 조심스럽게 적용되어야 한다[3].

### 링크 계층: MAC

기존의 다양한 무선 MAC 프로토콜이 메쉬 WLAN에 그대로 적용되면 성능이 제한될 것이다. 이는 기존 무선 망과 메쉬 WLAN에서의

MAC 설계 요구사항이 다르기 때문이다. 따라서 메쉬망 적용을 위해 기존 MAC 프로토콜들은 재점검되거나 새로이 고안되어야 한다.

우선, 802.11 WLAN의 MAC 프로토콜을 살펴본다. 802.11 WLAN은 인프라 모드인 경우 노드와 AP 간(또는 애드혹 모드인 경우 노드와 노드 간)에 단일 홉(single hop)으로 통신이 이루어진다. 단일 홉 통신을 가정한 802.11 MAC 프로토콜인 DCF는 멀티 홉 네트워크인 메쉬 WLAN에 적용될 때 그 성능이 저하된다. 예로, 특정 단말이 오랫동안 통신 기회를 가지지 못하는 불균형(unfairness) 문제가 야기된다. 이는 '숨겨진 터미널(hidden terminal) 문제' 또는 '노출된 터미널(exposed terminal) 문제'에 기인한다[4].

나아가, 메쉬 WLAN도 기존 WLAN과 마찬가지로 멀티미디어(오디오/비디오 포함) 트래픽을 운반하여야 한다. 기존 WLAN의 QoS 제공 메커니즘인 802.11e도 역시 단일 홉을 위한 것으로, 이를 멀티 홉인 메쉬망에 적용할 때 만족할 만한 QoS 보장을 달성하는지에 대해 아직 더 많은 연구가 필요하다.

또한, MANET와 WSN을 위해 기존에 연구된 MAC 프로토콜들은 주로 노드의 전력 소비를 최소화해야 하는 설계 요구사항을 가지고 고안되었다. 하지만, 주로 인프라 모드에서 동작하게 될 메쉬망의 각 노드에는 충분한 전력이 공급될 수 있는 환경을 갖는다. 예를 들어, 도시에서는 가로등에 많이 설치될 메쉬 라우터의 경우 가로등에서 쉽게 전원을 공급받을 수 있다. 따라서, 메쉬망의 MAC 프로토콜의 설계는 전원의 효율적 소비 보다는 망의 수율을 최대화하는데 노력이 기울여져야 한다.

한편, 앞 절에서 언급된 바와 같이, 최근의 메쉬망 노드는 멀티 인터페이스 및 멀티 채널을 가진다. 하지만, 기존의 무선 MAC 프로토콜들은 이러한 최근의 물리계층 기술 발전이 고려되지 않고 주로 단일 인터페이스 및 단일 채널을 가정하여 고안되었다.

메쉬망에서 단일 인터페이스가 멀티 채널을 가짐으로써 망의 수율을 제고할 수 있다[5]. 하지만, 멀티 채널간의 과도한 스위칭을 요구하는 트래픽 흐름을 갖게 되는 망에서는 채널 스위칭 지연이 망의 성능을 오히려 저하시켜 기대한 바 결과를 가져 오지 못할 수 있으므로 조심스러운 설계가 요구된다.

멀티 인터페이스가 상호 독립된 단일 채널을 갖는 것도 동시 전송을 가능하게 함으로써 메쉬망의 성능을 제고한다. 예로, 각 노드가 두 개의 인터페이스, 즉, 2.4 GHz의 802.11b/g를 클라이언트와의 전송에 사용하고, 5 GHz 802.11a는 메쉬 라우터 간의 전송에 사용할 수 있다. 하지만, 이 경우, 인터넷 게이트웨이로 향하는 메쉬 라우터 간에 5 GHz 주파수가 공유됨으로써 성능이 저하될 수 있는 단점이 있다.

멀티 인터페이스가 멀티 채널을 가지면, 가장

많은 이점을 갖게 된다. 예로, 바로 위의 예에서와 같이 각 노드가 두 개의 인터페이스를 갖지만, 백홀에 사용되는 5 GHz 인터페이스가 3 개의 멀티 채널을 갖는 경우를 생각할 수 있다. 즉, 한 채널은 인터넷 게이트웨이 방향(up link)으로 사용하고, 또 하나의 채널은 역방향인 down link에 사용하며, 남은 한 채널은 서비스 채널에 사용함으로써, 위에서 지적된 단점을 극복한다. 더욱이, 멀티 인터페이스 멀티 채널의 경우, 지능적이고 효율적인 채널 할당 방식을 채용함으로써 상당한 성능 개선이 가능하다. 이에 대한 많은 연구가 있었고, 또한 진행되고 있다.

현재, 시장에서는 멀티 인터페이스 및 채널을 갖고 각기 다른 고유의 MAC 방식을 채용한 장비가 속속 출시되고 있는 상태로, 표준화가 되어 있지 않아 상호연동성이 큰 문제가 되고 있다.

#### 링크 계층: 라우팅

자동 설정되어 동작해야 하는 멀티 홉 메쉬 망에서 라우팅은 매우 중요한 기능이다. 특히, 멀티 인터페이스/채널을 갖는 최근의 메쉬 망에서는 더욱 다양한 경로가 존재하므로, 그 중 최적의 경로 설정이 보다 중요한 라우팅 이슈로 대두되었다. 이 절에서는 메쉬망 라우팅의 여러 이슈를 살펴본다.

통상 라우팅은 네트워크 계층에서 수행된다. MANET와 WSN의 경우도 라우팅은 이 계층에서 수행되며, 목표는 소비 전력을 최소화 하며 보다 안정되며 견고한 경로의 확보에 있다. 반면, 보통 많은 수의 노드를 갖고 다량의 트래픽을 효율적으로 전송해야 하는 메쉬망은 대부분의 경우 풍성한 전력이 공급되며 전송 수율을 최대로 하는 최적 경로 선택이 주 목표이다.

인터넷과 같이 라우팅이 네트워크 계층에서 이루어지는 경우, 패킷을 전송할 이웃 노드를 결정한 후 ARP를 통해 물리 주소를 얻어야 하는데, 이 때 지연이 유발된다. 또한, 메쉬망의 경우 링크 계층에 연관된 파라미터들이 라우팅 매트릭으로 사용되면 최적 경로 선택에 도움이 많이 된다. 이는 복잡한 크로스 레이어 최적화 연구를 요구한다. 이런 점을 고려하여, 메쉬망 라우팅에 관련된 많은 연구는 계층 2 라우팅을 채택함으로써 주소 변환 지연과 복잡한 크로스 레이어 최적화 노력을 피해 가고 있다. 실제로, IEEE 802.11 위원회의 메쉬 표준화를 담당하는 s 그룹도 계층 2 라우팅을 택하였다[6]. 이러한 접근 방법은 메쉬 라우터가 계층 2 장비인 AP를 확장한 장비라는 사실에도 부합한다. 하지만, 이미 많은 연구가 진행된 MANET/WSN의 라우팅 방식들의 개념이 차용된다.

메쉬 라우팅 방식에는 다양한 메쉬망 요구사항이 반영된 복수의 매트릭 채용이 중요하다. 주로 단일 인터페이스/채널을 채용하는 MANET/WSN에서 사용되는 최소 홉 기반 라우팅 방식은

멀티 홉 메쉬망에서는 적절치 않다. 최소 홉을 선택하다 보면, 전송거리가 멀어지며 더 많은 간섭을 일으키며, 이로 인해 야기되는 저하된 SNR 환경에서 신호 변조를 위해서는 결국 전송 속도를 낮추어야 하기 때문이다. 따라서, 메쉬망에서는 망의 수율을 최대화 하기 위해 링크 손실을 고려한 라우팅 메트릭의 적절한 선택이 매우 중요하다. 대표적인 연구는 링크 특성 중 전송 기대 횟수 (ETX: expected transmission count)를 라우팅 메트릭으로 제안한 [7]를 들 수 있다.

한편, 멀티 인터페이스/채널의 메쉬망에서는 다양한 경로 중 망의 수율을 최대화 하고, 간섭을 최소화하는 최적 경로 선택을 가능하게 하는 라우팅 메트릭의 적절한 선택이 매우 중요하다. 이와 관련된 대표적인 연구는 [8,9,10]을 들 수 있다. 특히, [8]은 ETX를 개선하여 링크 손실 뿐 아니라, 흐름내 간섭을 고려한 라우팅 메트릭인 WCETT (weighted cumulative expected transmission time)를 제안하였다.

부하 분산도 메쉬망 라우팅의 중요 목표이다 [11]. MANET/WSN에서는 임의의 두 노드 간에 트래픽 교환이 일어나므로 저절로 부하 분산이 되지만, 인프라 모드 메쉬망의 경우, 인터넷 게이트웨이를 향하는 경로를 따라 부하 집중 현상이 발생한다. [12]은 스페닝 트리 기반 프로토콜인 AODV-ST를 제안하여 부하 분산을 달성하였다. 트래픽 수율의 최대화와 더불어, 부하 분산은 라우팅에 의한 최적 경로 선택에서 중요한 고려 요소이다.

라우팅 메트릭은 또한 링크 안정성을 반영하여야 한다. 무선 메쉬 링크는 불안정하며 그 특성도 시시각각 변화하기 마련이다. 메쉬망에서 가능한 안정된 링크를 사용하기 위한 링크 파라미터들이 라우팅 메트릭에 포함되어야 하는 연구가 필요하다[4].

마지막으로, 오디오 또는 비디오 트래픽을 포함하는 응용의 서비스 품질 요구사항 (지연 및 지터, 손실, 수율 등)을 만족시키기 위한 QoS 라우팅도 중요한 연구과제이다. 생각할 수 있는 주요 메커니즘으로 CAC (call admission control)의 채용과, 이의 집행을 위한 flow control이 적용을 들 수 있다. 앞에서 언급된 802.11e의 EDCA (enhanced distributed channel access)가 링크 레벨에서 사용될 수 있으며, 상위 레벨에서는 시분할 다중화, 패킷 집적 등의 QoS 보장 메커니즘 연구가 더 필요하다.

#### IV. 맺는말

메쉬 WLAN은 최근 몇 년 동안 연구개발자들의 많은 관심을 받아 왔다. 그 결과, 메쉬 WLAN은 이미 널리 구축되기 시작했다. 하지만, 아직도 메쉬 WLAN의 수율, 용량 등과 같은 성능은 개

선의 여지가 많이 있다. 본 논문에서는 메쉬 WLAN의 물리계층과 라우팅 기능을 포함한 링크 계층의 주요 연구과제들을 살펴 보았다. 순조로운 메쉬 네트워크의 구축 확산을 위해서는, 아직도 이들에 대한 많은 연구가 더 필요하며, 특히, 국제 표준화 작업이 시급하다.

#### 참고문헌

- [1] V. Jain et al., "A Cross Layer MAC with Explicit Synchronization through Intelligent Feedback for Multiple Beam Antennas," Proc. IEEE GLOBECOM, 2005.
- [2] S. Liese, D. Wu, and P. Mohapatra, "Experimental Characterization of an 802.11b Wireless Mesh Network," UC Davis Comp. Sci. Dept. tech. rep.
- [3] V. Kawadia and P. R. Kumar, "A cautionary Perspective on Cross-Layer Design," IEEE Wireless Commun., Feb. 2005.
- [4] N. Nandiraju and et. al., "Wireless Mesh Networks: Current Challenges and Future Directions of Web-in-the-Sky," IEEE Wireless Mag., Aug., 2007.
- [5] J. So and N. Vaidya, "Multi-Channel MAC for Ad Hoc Networks: Handling Multi-Channel Hidden Terminals Using A Single Transceiver," Proc. MobiHOC 2004.
- [6] S. M. Faccin and et. al., "Mesh WLAN Networks: Concept and System Design," IEEE Wireless Mag., Apr., 2006.
- [7] D. D. Couto et al., "A High-Throughput Path Metric for Multi-Hop Wireless Routing," Proc. ACM MOBICOM, 2003.
- [8] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Routing in Multi-Radio, Multi-Hop Wireless Mesh Networks," Proc. MOBICOM, 2004.
- [9] M. Alicherry, R. Bhatia, and L. Li, "Joint Channel Assignment and Routing for Throughput Optimization in Multi-radio Wireless Mesh Networks," Proc. MOBICOM, 2005.
- [10] J. Padhye et al., "Estimation of Link Interference in Static Multi-hop Wireless Networks," Proc. IMC 2005.
- [11] C. Cordeiro and D. P. Agrawal, Ad Hoc & Sensor Networks, Theory and Applications, World Scientific, Spring 2006.
- [12] K. Ramachandran et al., "On the Design and Implementation of Infrastructure Mesh Networks," Proc. IEEE Wksp. Wireless Mesh Networks, 2005.