# 무선 메쉬 네트워크의 최적화를 위한 프로토콜 계층별 기술적 요구사항에 관한 분석

이순식* · 윤상만* · 이상욱** · 전성근** · 이우재***

## Analysis for Protocol Layer Technical Requirements of Wireless Mesh Networks Optimization

Soon-Sik Lee*·Sang-Man Yun*·Sang-Wook Lee**·Seong-Geun Jeon**·Woo-Jae Lee***

요 약

무선 메쉬 네트워크는 이동성을 가지며 메쉬 클라이언트와 메쉬 라우터로 구성되어 있다. 무선 메쉬 네트워크는 IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, 센서 네트워크와 같이 이기종 네트워크와의 통신이 가능한 네트워크 환경이다. 무선 메쉬 네트워크는 애드 혹 네트워크를 기본으로 WLANs, WPANs, WMANs 등이 가지고 있는 한계를 극복하기 위한 많은 연구와 개발이 진행되고 있다. 무선 메쉬 네트워크는 개인, 지역, 학교, 거대 도시까지 서비스 영역의 제약을 넘어서 수많은 서비스를 제공할 수 있는 기반을 제공한다. 하지만, 무선 메쉬 네트워크의 성능을 극대화하고 보편적으로 적용하기 위해서는 해결해야 할 많은 부분들이 있다. 그 중에서 기존의 프로토콜 계층이 가지고 있는 문제점들은 무선 메쉬 네트워크를 최적화하기 위해서는 개선되어야 할 부분들이 많이 있다. 본 논문은 무선 메쉬 네트워크를 지원하기 위해 발생하는 이슈들과 여기서 발생하는 문제점을 지적하고 대응방안에 대한 방향을 제시한다. 그리고 QoS를 지원을 위한 요구사항 및 이에 대한 방향도 제시한다.

ABSTRACT

Wireless Mesh Networks are consist of mobility mesh clients and mesh routers. WMNs can communicate with heterogeneous networks such as IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16 and sensor networks. WMNs which is based on ad hoc network are on research and developing to enhance WLANs, WPANs, or WMANs. WMNs can offer environment to serve human, service to person area, campus, and metro. But WMNs has many problems to solve about enhancing performance and generalization. Among them, Existing protocol layers has many problems enhancing to optimize WMNs. This document issues problems about WMNs in protocol layer and suggest the solutions. Also, suggests the requirements and the methods of QoS supporting issue.

키워드

WMN, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16

Key word

WMN, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16

* 경상대학교 대학원 정보통신공학과
** 경상대학교 정보통신공학과 교수
*** 경상대학교 정보통신공학과 교수(교신저자)

접수일자 : 2009. 05. 28
심사완료일자 : 2009. 07. 30

## Ⅰ. 서 론

무선 메쉬 네트워크는 기존의 기술을 무선 카테고리를 중심으로 다양한 서비스를 제공하는 것을 목적으로 하고 있다. 무선 메쉬 네트워크를 구성하는 핵심 요소는 메쉬 라우터와 메쉬 클라이언트의 조합이다. 무선 메쉬 네트워크는 동적 자가 조직성, 자가 구성의 특징을 가지고 있다. 이러한 특징은 기존의 네트워크 기술에 비해 비용절감, 간편한 네트워크 구성, 시스템의 견고성 및 서비스의 신뢰성 향상 등을 제공한다. 하지만, 기존의 기술들을 이용한 무선 메쉬 네트워크의 구성은 확장성, 이기종과의 연결성, 이동성, 전원관리 등에서 다른 환경을 요구하기 때문에 실제로 최적화된 성능을 제공하지 못하고 있다. 이러한 문제점과 QoS의 지원을 위해서는 기존의 기술들을 개선하거나 새로운 형태의 기술 개발이 필요하다.

본 논문은 현재까지 무선 메쉬 네트워크를 지원하기 위해 사용되었던 기술들에 대한 문제점 및 대안과 함께 QoS를 지원하기 위해 필요한 기술적 요소들을 지적하고 이러한 결과를 토대로 QoS를 제공할 수 있는 기술적 방안을 찾아보는 것을 목적으로 한다. 2장에서는 무선 메쉬 네트워크가 가지고 있는 특징과 전반적인 문제점을 설명하고 3장에서는 프로토콜 계층에서 무선 메쉬 네트워크를 지원할 때 발생하는 문제점과 이들을 개선하기 위한 방안을 제안한다. 4장은 보안에서의 문제점 및 해결방안을 모색하고 5장에서는 QoS를 지원하기 위해 필요한 요소들과 방안들을 소개한다. 6장에서는 무선 메쉬 네트워크의 개선방안에 대한 핵심요소들을 정리하고 QoS를 지원하는 기술에 대한 연구방향을 제시하고자 한다.

## Ⅱ. 무선 메쉬 네트워크의 기술적 요소

### 1. 무선 메쉬 네트워크 구성

무선 메쉬 네트워크는 구성되는 노드의 배치에 따라 3가지로 구분된다.

1) 인프라스트럭처 백본

무선 네트워크와 유선 네트워크의 조합으로 구성되며 메쉬 라우터가 메쉬 클라이언트와 다른 메쉬 라우터를 연결하여 자가 구성과 자가 치유를 이용해 하부구조를 형성한다.

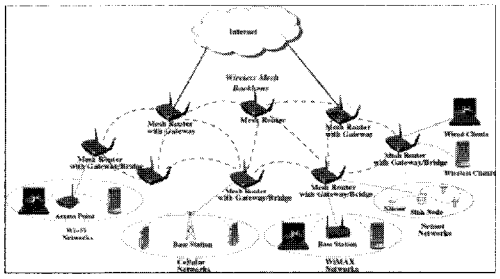


그림 1. 인프라스트럭처 백본
Fig. 1 Infrastructure Backbone

2) 클라이언트

각각의 클라이언트가 peer-to-peer 구조를 갖는 것이 특징이다. 클라이언트가 네트워크를 형성하면서 라우팅과 자가 구성 기능을 가지고 있다. 메쉬 라우터를 필요로 하지 않는 특징이 있다.

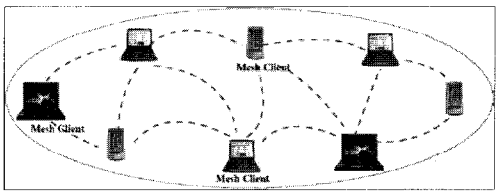


그림 2. 클라이언트
Fig. 2 Client

3) 하이브리드

인프라스트럭처 백본과 클라이언트의 조합된 형태이다.

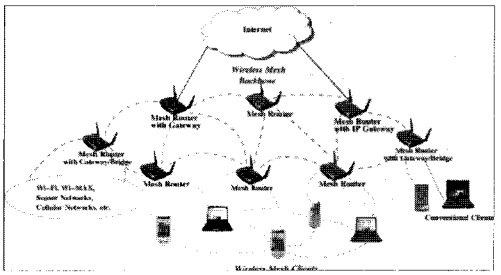


그림 3. 하이브리드
Fig. 3 Hybrid

하이브리드는 인프라스트럭처 백본 구조의 특징을 그대로 활용해서 인터넷, Wi-Fi[1], WiMAX[2], 셀룰러 네트워크 그리고 센서 네트워크 등 다양한 네트워크와의 연결을 가능하게 할 수 있다. 이로 인해서 메쉬 클라이언트는 강화된 라우팅 기능이 요구되는 것도 하나의 특징이다. 하이브리드 구조는 가장 이상적인 구조를 가지고 있으며 무선 메쉬 네트워크의 기본적인 구조이다.

### 2. 무선 메쉬 네트워크와 애드 혹 네트워크의 차이점

무선 메쉬 네트워크는 일반적으로 애드 혹 네트워크의 한 종류로 인식된다. 셀룰러 네트워크나 Wi-Fi와 같이 기지국이나 AP(access point)가 별도로 구분되어 있지 않은 네트워크 구조를 가지고 있기 때문이다. 하지만, 무선 메쉬 네트워크는 메쉬 라우터를 통한 백본 서비스 제공, 다른 네트워크와의 통합적인 연결성, 무선 메쉬 네트워크를 위한 라우팅 방법과 구성 방법, 다중 주파수 사용 기능 등과 같은 요소들의 차이로 인해 애드 혹 네트워크에 의한 다양한 기술들을 그대로 수용하지 못하는 부분들이 존재한다.

### 3. 무선 메쉬 네트워크의 기술적 요소와 한계점

무선 메쉬 네트워크는 기존의 애드 혹 네트워크뿐만 아니라 기존의 다양한 기술과는 다른 요구사항들을 가지고 있다. 이러한 요구사항과 설계가 가능하게 하기 위해서는 새로운 디자인, 개발, 그리고 운영 기술이 필요하다.

#### 1) 주파수 기술

무선 시스템의 근간인 주파수 기술은 방향성 스마트 안테나[3], MIMO 시스템[4] 그리고 다중 통신/다중 채널 시스템[5, 6]과 같은 기술들이 개발되었으며 최근에 MIMO의 경우는 IEEE 802.11n [7]에서 표준으로 채택되어 제품화에 성공하였다[8]. 향상된 기능을 구현하기 위해 재구성 가능한 무선 통신, 주파수 민첩성과 무선 인지[9, 10], 소프트웨어[11]과 같은 주파수 기술이 연구되고 있지만 아직은 초기단계이다.

#### 2) 확장성

다중 홉은 무선 메쉬 네트워크에서는 필수적인 특징이다. 하지만, 다중 홉에서 사용되는 통신 프로토콜은 확장성에 문제가 있다[12, 13]. 전형적인 IEEE 802.11에서 제안하는 MAC 프로토콜은 적절한 성능을 보장하지 못하기 때문에 최대 홉의 수가 4개 미만이다. 기존의 문제점들을 개선하기 위해서는 CSMA/CA와 TDMA 또는 CDMA의 복합적 다중 접속 구조의 개발이 필요하다.

#### 3) 메쉬 접속

무선 메쉬 네트워크의 특징은 노드의 증가에 따른 제약이 없이 수많은 접속이 가능해진다는 점이다. 하지만, 이러한 메쉬 접속은 기존 프로토콜로는 구현이 어렵다. MAC과 라우팅 프로토콜의 수정이 필요하며 자가 조직 및 위치관리 알고리즘은 메쉬 접속을 지원하기 위해 필수적이다.

#### 4) 광대역 및 QoS

무선 메쉬 네트워크는 기술적 발달로 인해서 광대역 서비스가 가능해졌으며 외부 서비스와의 연계를 고려할 경우 QoS의 지원은 필수적이다. 이러한 요구조건을 충족시키기 위해서는 통신 프로토콜에 대해서도 충분한 연구가 필요하다.

#### 5) 보안

무선 메쉬 네트워크는 기존의 무선 랜을 위해 제안된 보안기술을 그대로 사용하기에는 근본적인 문제점을 가지고 있다. 기존의 보안기술은 키를 관리할 신뢰할만한 서버에 의해서 운영되지만 무선 메쉬 네트워크는 중앙서버의 개념이 없다. 애드 혹 네트워크에서 제안하는 보안기술도 있지만 아직 초기 단계이며 무선 메쉬 네트워크와 애드 혹 네트워크와의 설계의 차이로 인해서 그대로의 적용도 힘들다

## Ⅲ. 프로토콜 계층 분석

무선 메쉬 네트워크에 대한 성능향상을 위해서는 프로토콜 계층에 대한 수정, 또는 새로운 설계가 필수적이다. 실제 각 계층에 따라 개발된 대표적인 기술들을 살펴보고 무선 메쉬 네트워크를 지원할 때 발생되는 문제점과 개선 방안을 살펴보면 다음과 같다.

**1. 물리 계층**

무선통신의 근간을 제공하는 물리 계층의 발달은 무선통신 기술의 발달을 의미한다. 무선 주파수 변조와 코딩 비율의 다양한 조합으로 다중전송을 지원할 수 있을 만큼 진행되었다[14, 15]. 능동적 에러 복원기술은 링크 적응을 통해서 지원이 가능하다[16].

다중안테나 기술은 성능향상, 지연 확산, 공동 채널 간섭 등의 장애를 최소화하기 위해 적용된다[17, 18]. A노드와 B노드의 통신을 고려할 때 노드 A가 M개 송신안테나와 N개의 수신안테나를 가지고 있다고 가정하고 B노드가 K개의 송신안테나와 L개의 수신안테나를 가지고 있다고 가정할 때 M, N, K, L의 값을 변경함으로써 다양한 다중 안테나 시스템을 구현할 수 있다.

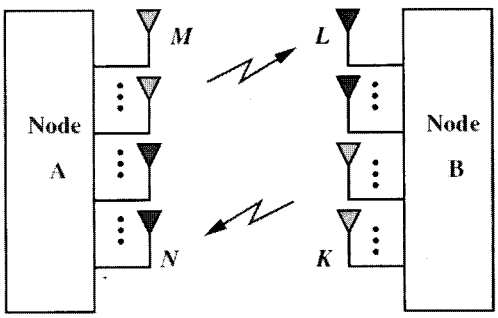


그림 4. 다중 안테나 시스템
Fig. 4 Multiple antenna systems

1) 수신노드 다중안테나, 송신노드 단일안테나
(K=1, M=1, L>1 또는 N>1)

스마트 안테나와 같은 기술이 다중 안테나 시스템에 사용이 가능하다. 작은 이동 기기에서 완벽하게 구현되는 적응 스마트 안테나 사용이 필요하다.

2) 송신노드 다중안테나, 수신노드 단일안테나
(N=1, L=1, K>1 또는 M>1)

안테나 다양성 또는 스마트 안테나는 CSI (channel state information)가 필수적이다. 채널상태에 대한 부분 정보가 송신측에 의해 활용이 가능하다. 이 경우 다양성에 대한 정보를 얻기 위해서 STC(space time coding)을 이용한다[19]. STC는 대역폭의 확장 없이 이득을 획득할 수 있는 기술이며 CSI를 이용한 스마트 안테나 발신 관련 분야 개발이 진행 중이다[20].

3) 송신노드, 수신노드 양방향 안테나
(M>1 또는 L>1, K>1 또는 N>1)

MIMO 시스템을 말하며 다양성과 동시 전송이 가능하다. MIMO 시스템은 잠재적으로 시스템의 성능을 3배 이상 향상시킬 수 있다.

물리 계층을 통한 전송속도 개선과 향상된 기능 활용을 위해서는 MAC 프로토콜과 같은 상위 프로토콜 보완이 필요하다. 전송속도 개선을 위해서 다중 안테나 시스템과 같이 향상된 기술들이 개발되고 있지만 복잡도와 고비용으로 적용이 쉽지 않다.

**2. MAC 계층**

기존의 MAC 프로토콜과 무선 메쉬 네트워크에서 요구하는 MAC 프로토콜의 차이점은 1홉 이상의 통신 커뮤니케이션 지원, 다중 접속을 위한 커뮤니케이션 지원, 분산 환경의 지원과 다중협력 지원, 네트워크 자가 조직을 위한 토플로지 정보 관리기능[21], 노드의 이동성에 대한 배려 및 이를 위한 네트워크 토플로지 추가정보 정의[22] 등과 같다. MAC 계층을 무선 메쉬 네트워크에 최적화하기 위해서는 기존의 MAC 프로토콜을 확장하거나 새로운 MAC 프로토콜을 만드는 방법이 있다. 단일채널과 다중채널에서 문제점과 개선방향을 살펴보면 다음과 같다.

1) 단일 채널 MAC

MAC 계층을 개선하기 위한 방법은 다음 3가지 형태로 진행되고 있다. 각각의 제안방안에 대한 분석 및 문제점은 다음과 같다.

① 기존의 MAC 프로토콜 개선 : CSMA/CA 프로토콜[23, 24]를 개선한 다중 홉 애드 혹 네트워크용 MAC 프로토콜은 경쟁 윈도우 크기와 같은 CSMA/CA 파라미터들을 조정하거나 백오프 절차를 수정해서 단일 홉 통신의 성능을 향상시킨다. 하지만, 다중 홉에서는 낮은 성능을 나타낸다. 이웃하고 있는 노드와의 경쟁이 일어날 확률을 줄이지 못해 이웃 노드와의 경쟁이 발생하고 이로 인한 백오프와 경합 절차의 잦은 호출이 발생하기 때문이다.

② 향상된 물리 계층을 이용한 교차 레이어 설계 : 지향성 안테나에 기반을 둔 MAC[25, 26]과 다른 하나는 전원 관리를 포함한 MAC[27]이다. 그러나 두 가지 모두 음

영노드에 대한 문제점을 해결하지 못하고 있으며 전원 관리의 경우 최소화된 전원관리[28]로 인해 문제가 있는 노드를 발견하지 못하기도 한다.

③ 새로운 MAC 프로토콜 설계 : 애드 혹 다중 홉 네트워크에서 부족한 확장성을 해결하기 위해 CSMA/CA와 같은 제어 프로토콜은 효율적인 해결책이 아니다. TDMA나 CDMA 기반 MAC 프로토콜의 재설계가 필요하다[29, 30]. 하지만, TDMA나 CDMA를 이용한 MAC의 개발, 배포, 상호 연동하는데 들어가는 비용과 복잡성이 크다는 것과 기존의 MAC 프로토콜과 TDMA 또는 CDMA MAC간의 상호 호환성 문제가 존재한다. IEEE 802.16에서는 처음부터 TDMA에 집중된 MAC 프로토콜에 관심을 가졌고 IEEE 802.16 메쉬를 위한 분산 TDMA MAC을 연구하였다. IEEE 802.11에 기반을 둔 무선 메쉬 네트워크에서는 CSMA/CA을 오버랩한 분산 TDMA MAC 프로토콜의 개발에 관심을 가지고 지속적으로 연구 중이다[30].

2) 다중 채널 MAC

다중 채널 MAC 계층을 개선하기 위한 방법은 다음 3가지 형태로 진행되고 있다.

① 다중 채널 단일 전송 MAC : 비용과 호환성을 고려하면 하나의 채널을 가지고 있는 전송이 최선이다. 오직 하나의 채널만이 각각의 네트워크 노드에서 동시에 활성화 된다. 시스템의 성능을 향상시키기 위해서 다른 노드들은 다른 채널에서 동시에 작동해야 한다. 이때 노드간의 동등한 전송을 보장하기 위해서는 다중 채널 MAC 프로토콜[5]와 SSCH(Seed Slotted Channel Hopping)[31] 방식이 필요하다. SSCH는 IEEE 802.11 MAC의 상위에서 작동하면서 IEEE 802.11 MAC의 어떤 변경도 필요로 하지 않으므로 실제로는 가상 MAC 프로토콜이라고 볼 수 있다.

② 다중 채널 다중 전송 MAC : 무선이 다중 병렬과 동시성을 가지는 몇 개의 채널을 지원하는 밴드 처리 모듈을 가지고 있을 때 이다. 물리 계층 상단에는 다중 채널 기능과 상호작용하는 MAC 계층만이 존재한다. 다중 채널 무선 랜 스위칭 기술[8]이 이러한 범주에 포함이 된다.

③ 다중 무선 MAC : 노드가 다중 주파수를 가지고 있으며 각각의 MAC과 물리 계층을 가지고 있는 경우이다. 각 주파수사이의 통신은 완전히 독립적이다. 모든 채널사이에 동등한 통신을 위해 최상단 MAC에 MUP (Multi-radio Unification Protocol) [6]과 같은 가상 MAC 프로토콜이 필요하다. 하나의 주파수는 다중의 채널을 가질 수 있다. 하지만, 설계와 어플리케이션을 단순화하기 위해서 각 주파수에 단일 채널이 사용된다.

**3.** 네트워크 계층

무선 메쉬 네트워크가 애드 혹 네트워크의 기능을 공유하기 때문에 애드 혹 네트워크를 위해 개발된 라우팅 프로토콜은 무선 메쉬 네트워크에도 적용이 가능하다. TBRPF(Topology broad-cast based on reverse-path forwarding)에 기반을 둔 Firetide Networks[32, 33], DSR(dynamic source routing)에 기반을 둔 마이크로소프트 무선 메쉬 네트워크[34], AODV(ad hoc on-demand distance vector) 라우팅 등이 이에 해당한다[35]. 이러한 애드 혹 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜[36]은 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 성능 통계의 필요성, 기존 라우팅 프로토콜의 확장성 부재, 전원의 효율성과 이동성의 차이 등이 지원되어야만 실제 무선 메쉬 네트워크에서 최적의 성능이 지원된다.

무선 메쉬 네트워크에 적용된 라우팅 프로토콜의 문제점과 해결방안은 다음과 같다.

1) 라우팅 프로토콜과 성능 통계

[37]을 살펴보면 라우팅 프로토콜에서 성능 통계는 매우 중요하다. 그래서 DSR에 기반을 둔 LQSR (Link Quality Source Routing)이 제안되었다. LQSR은 링크 품질 통계에 따라 라우팅 경로를 선택한다. LQSR에서는 ETX(Expected Transmission Count)[38], per-top RTT, 그리고 한 쌍의 단일 홉과 같은 3개의 성능 통계가 각각 구현된다. 하지만, 위의 방식이 모든 경우에 최고의 성능을 보장하지는 않는다. 노드가 이동 중일 경우에는 최소 홉 방식이 더 성능이 좋다. 그러므로 이동성이 고려된 무선 메쉬 네트워크 상황에서 링크 품질 통계가 필수적이다[39].

2) 다중 무선 라우팅

무선 메쉬 네트워크에서 각 노드마다 다중 무선 채널을 가지면 MAC 프로토콜을 수정하지 않고 성능을 향상

시킬 수 있다. [40]에서는 그러한 다중 무선 메쉬 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜을 제안하였다.

3) 다중 부하 균형 조정 및 결함 허용에 따른 라우팅

다중 경로 라우팅은 효율적인 부하 분담과 오류 허용 오차[41]의 지원이 가능하다. 다중 경로는 시작지점과 목적지점 사이에 다중의 경로를 설정하고 채널의 상태가 나빠지거나 이동으로 인해서 링크가 되지 않으면 다른 경로를 이용해서 데이터를 전송하는 방법이다. 새로운 경로를 설정하기 위한 대기시간, 전송량, 그리고 오류 허용오차가 모두 향상된다. 다중 경로 라우팅의 복잡성과 짧은 경로선택에 의한 다중 경로 라우팅 적용 불가능 상태에 대한 문제점을 해결되어야 한다.

4) 계층적 라우팅

다양한 계층적 라우팅 프로토콜은 [42, 43]에서 제안되었다. 이들의 공통점은 계층적 라우팅에서 네트워크를 클러스터로 만들기 위한 특별한 자가 구성 방법론이 사용된 것이다. 각각의 클러스터는 하나 이상의 클러스터 헤더를 갖는다. 노드는 클러스터 헤더와 한개 이상 홉의 거리만큼 떨어져 있다. 클러스터와 클러스터간의 통신도 필요하기 때문에 특별한 노드는 하나 이상의 클러스터와 통신을 하면서 게이트웨이의 역할을 수행하게 된다. 클러스터 상호간의 라우팅에는 표준 프로토콜이 사용될 수 있지만 클러스터 내부에서는 필요에 의해서만 실행될 수 있다[43]. 노드의 밀집도가 높을 경우 계층적 라우팅 프로토콜은 적은 오버헤드와 평균 라우팅 경로에 의해 좋은 성능을 발휘할 수 있다. 이 방법은 계층 구조 방식을 유지하기 위한 복잡성과 그로 인한 구현이 매우 힘들다.

5) 지리적 라우팅

지리적 라우팅 기술은 패킷을 전송하기 위해 노드의 근접성과 목적지 노드와 같은 위치 정보를 이용한다[7]. 토플로지 변화는 다른 라우팅 프로토콜보다 지리적 라우팅에 영향이 적다. 전원의 효율성을 향상시키기 위한 알고리즘은 [44]에서 제안된다. 전송의 보장을 유지하기 위해 지리적 라우팅 알고리즘에 의하여 평면 알고리즘도 제안되었다[45, 46]. 이러한 알고리즘에는 해결할 문제점들이 존재하고 있다. 스킨케어 라우팅 알고리즘[45]에서 통신을 위한 오버헤드는 단일 경로 라우팅 알고리즘보다 훨씬 높게 나타난다[7].

**4.** 전송 계층

무선 메쉬 네트워크를 위한 전송 프로토콜은 아직까지 제안되지 않고 있다. 애드 혹 네트워크에 기반을 둔 전송 프로토콜의 문제점과 개선방안은 다음과 같다.

1) 신뢰할만한 데이터 전송을 위한 프로토콜

신뢰할만한 데이터 전송을 해서는 TCP를 개선하거나 완전히 새롭게 전송 프로토콜을 정의해야 한다. TCP 개선[47, 48, 49]는 기존의 유선 TCP를 개선한 프로토콜을 포함하고 있으며 완전히 새롭게 정의한 전송 프로토콜[50]은 기존 TCP의 문제점을 제거하는 것이 목적이다.

① TCP 개선

전통적인 TCP의 성능은 애드 혹 네트워크에서는 확연하게 성능이 저하된다. 이러한 TCP가 가지고 있는 근본적인 문제점들과 관련된 해결법을 중심으로 다양하게 확장된 TCP 프로토콜을 살펴보면 다음과 같다.

- 혼잡여부에 따른 상태의 손실 구분 불가[51] : 혼잡이 아닌 상태에서의 손실이 발생하면 네트워크의 전송률은 급격하게 떨어진다. 그리고 무선 채널에서 전통적인 TCP는 복구를 실행하지 못한다. [48]에서 제안하는 프로토콜은 혼잡과 무선채널 손실의 차이점을 알 수 있도록 피드백 메커니즘을 이용하여 개선하였다. 이러한 개념은 무선 메쉬 네트워크에도 적용이 가능하다.
- 링크 오류 : 모든 노드가 이동성인 이동 애드 혹 네트워크에서 자주 발생한다. 무선 메쉬 네트워크의 관점에서 링크 오류는 이동 애드 혹 네트워크에서는 치명적인 문제점은 아니지만 무선채널과 메쉬 클라이언트의 이동성 때문에 링크 오류는 지속적으로 발생한다. TCP의 성능을 개선하기 위해서 혼잡손실과 링크 오류 구분이 필요하며 ELFN(Explicit Link Failure Notification)기술[49]는 이러한 구분을 수행할 수 있다.
- ACK에 의존적 : 무선 메쉬 네트워크에서 TCP 데이터와 TCP ACK 패킷은 다른 경로를 선택할 수 있고 서로 상이한 패킷 손실률, 잠재적 문제점[50]등을 가지

고 있다. TCP 데이터와 TCP ACK가 같은 경로를 선택할 경우에도 채널의 상태와 대역폭이 시간에 따라 다르기 때문에 네트워크 비대칭성의 문제가 발생할 수 있다. 결론적으로 TCP는 무선 다중 홉 애드 혹 네트워크[51, 39]에서는 취약점을 가질 수밖에 없다. 이러한 네트워크 비대칭성 문제점을 해결하기 위해 ACK 필터링, ACK 혼잡제어[47]이 제안되었다.

- RTT의 동적 변동 : 무선 메쉬 네트워크에서 메쉬 라우터와 메쉬 클라이언트는 애드 혹 네트워크로 연결되어 있으므로 동적인 라우팅 경로의 변경은 일반적이다. 이동성을 고려해서 링크 품질 변수, 트래픽 부하, 그리고 다른 요소들의 변화는 매우 빈번하게 일어나고 RTT에서의 변동을 발생시킨다. 이러한 상황은 TCP의 일반적인 동작에서 RTT의 변동이 크지 않을 때 발생하므로[52] TCP의 성능을 저하시킨다. TCP를 수정해서 RTT의 변동에도 견고성을 가질 수 있도록 한다.

② 새로운 전송 프로토콜의 제시

[53]에서는 ATP(Ad hoc Transport Protocol)가 애드 혹 네트워크를 위해 제안이 되었다. ATP의 전송은 지연 기반을 둔 혼잡탐색을 통해서 혼잡손실과 비 혼잡손실의 모호성은 없어졌다. ATP에서는 재전송을 위한 타임아웃도 없어졌으며 혼잡제어와 신뢰성도 갖게 되었다. 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해 완전히 새롭게 설계한 결과로 ATP의 성능은 변형된 TCP보다 성능이 향상되었다. 하지만 무선 메쉬 네트워크에서는 호환성의 문제가 발생한다. ATP는 무선 메쉬 네트워크가 단일 홉일 경우만을 가정하는 이동 애드 혹 네트워크에서만 유효하다.

2) 실시간 전송을 위한 프로토콜

종단 간에 실시간으로 전송하기 위해서는 TCP대신 UDP를 사용한다. 하지만, UDP의 일반적인 형태로는 실시간 전송을 보장할 수 없다. 그래서 RTP(Real Time Protocol)나 RTCP(Real Time Transport Control Protocol)이 UDP에서도 필요하다. RTP/RTCP의 최우선에는 혼잡제어를 위해 RCP (Rate Control Protocol)도 필요하다. 혼잡에 의한 손실과 무선채널에 의한 손실을 구분을 할 수 있는 방법이 RCP에 채택되고 있다. 혼잡을 제어할 수 있는 다양한 LDAs(Lose Differentiation Algorithms)가 연구중에 있다[54]. [55]는 하이브리드 LDA가 효과적인 것을 보여주고 있다. 그러나 이 방법들은 수신측과 송신측 사이에 다중 무선 경로가 존재하기 때문에 무선 메쉬 네트워크에 바로 적용하는 것은 힘들다.

애드 혹 네트워크에 적합한 속도 제어 기술로는 ADTFRC(Adaptive Detection Rate Control) [56]에 의해서 이동 애드 혹 네트워크를 위한 제안이 있다. TCP와 비슷한 속도 제어 기술을 위한 종단 간 다중 통계를 공동감지에 의해 개발되었지만 멀티미디어 전송을 실시간으로 전달하기 위해서는 탐지 방법의 정확성이 부족하다.

## Ⅳ. 보안

무선 랜에서는 AAA(Authentication Authorization Accounting)을 구현한다. AAA는 RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Service)와 같은 중앙 집중화된 서버를 통해서 구현한다. 그러나 중앙 집중방식은 무선 메쉬 네트워크에서 구현하기 힘들다. 무선 메쉬 네트워크는 무선 매체를 공유하는 채널과 노드의 취약성, 인프라의 부재, 그리고 네트워크 토플로지의 동적인 변동 등에 의한 취약성으로 인해 보안이 취약해질 수 있다[57]. MAC 프로토콜의 라우팅 프로토콜을 공격하는 형태도 존재하며 백오프 절차와 IEEE 802.11 MAC의 가상 캐리어 감지를 위한 NAV가 악의적인 노드에 의해서 항상 혼잡을 일으켜서 잘못 활용되는 경우도 있다. 공격자는 암호화 도구를 악용해서 네트워크로 침입할 수 있고[58] 암호화 프로토콜에서는 사용자간에 정보를 자주 교환하며 사용자는 적정한 교환 프로토콜이 이용되는데 이러한 프로토콜은 신뢰하는 제3의 기관에 의존한다. 그러나 무선 메쉬 네트워크는 신뢰할만한 제3의 기관이 존재하지 않는다. 키 관리는 네트워크 보안에서 가장 중요한 요소 중에 하나이지만 무선 메쉬 네트워크에서는 중앙관리, 신뢰할만한 제3의 기관 또는 서버가 없어 키를 관리할 수 없기 때문에 불가능하다. 자기 조직기술[59]는 보안키를 분산 관리하는 방법이 있다. 무선 메쉬 네트워크에서 보안을 발전시키기 위해서는 두 가지 방법의 채택이 시급하다. 첫째는 라우팅 프로토콜 및 MAC 프로토콜과 같은 네트워크 프로토콜에 보안메커니즘을 포함시키는 것이다. 둘째는 보안모니터링과 대응 시스템

을 개발해서 공격, 모니터 서비스의 붕괴를 찾아내고 공격에 빠른 대응을 할 수 있도록 하는 것이다. 하나의 프로토콜 계층에 위치하는 기술은 다른 계층의 문제점을 해결하지 못하기 때문에 공격을 막는 역할이 매우 제한적이다. 그러나 공격은 모든 계층에 걸쳐 동시에 일어나는 것이 보통이다. 그러므로 다중 프로토콜 계층 보안기술의 개발이 필요하다.

## V. QoS 지원을 위한 요소 및 해결사항

무선 메쉬 네트워크에서 QoS의 보장은 매우 중요하며 이를 위해서는 기존의 문제점들이 포괄적으로 해결되어야 한다. QoS 지원이 가능하면 안정적이고 다양한 서비스의 제공이 가능하다. VoIP와 VOD 서비스등과 같은 멀티미디어 서비스에서부터 실시간을 필요로 하는 응급서비스까지 다양하게 적용이 가능하다.

QoS를 지원하기 위해 필요한 요소들을 정리하면 다음과 같다.

### 1. 확장성

기존의 MAC, 라우팅, 전송 프로토콜이 무선 메쉬 네트워크를 지원할 수 있도록 보완해서 다중 홉에서의 성능저하, 처리량 저하, 종단지연과 같은 문제점을 해결해야 한다. 해결방식으로는 노드의 성능을 향상하는 방법을 고려할 수 있다. 노드마다 다중 무선 채널을 적용하거나 초고속 전송의 무선 주파수를 개발하는 방법도 있지만 무선 메쉬 네트워크에 맞는 MAC, 라우팅, 전송 프로토콜의 새로운 정의가 가장 적합하다.

### 2. 보안

무선 메쉬 네트워크의 구조적 특징으로 모든 계층에서 외부공격에 취약하다. 이 문제를 해결하기 위해서는 기존의 프로토콜 계층이 특정 공격에만 효율적으로 대응하는 방식을 수정해서 모든 계층을 통한 공격에 대응 가능하도록 대응책을 강구하는 것이 필요하다.

### 3. 전원 관리

이동성이 중요한 무선 메쉬 네트워크에서 전원관리는 메쉬 라우터의 경우 연결성, 간섭[60], 스펙트럼 공간적 재활용, 토플로지[21]의 제어가 중요한 만큼 전원에 제한이 없지만, 적절한 전원의 관리는 음영노드의 발생을 제한하면서 간섭과 스펙트럼공간의 활용성을 높일 수 있다[60]. 이를 위해서는 MAC 프로토콜의 성능과 전원관리를 적절하게 조절하는 방법이 필요하다. 메쉬 클라이언트는 전원의 효율성이 가장 우선시 되는 프로토콜이 필수적이다.

## VI. 결론

최근 몇 년 동안 연구 개발자들은 무선 메쉬 네트워크에 많은 관심을 보여 왔다. 그 결과 무선 메쉬 네트워크는 이미 널리 구축되어 활용되어지고 있다. 하지만 실제 서비스 중인 사례를 살펴보면 많은 문제점들이 발생하여 기대 이하의 성능에 머물러 있다.

본 논문은 무선 메쉬 네트워크에 대한 전반적인 분석을 통해서 실제 무선 메쉬 네트워크에 적용된 기술들을 살펴보았다. 그리고 이러한 제안들이 실제 무선 메쉬 네트워크에서 어떻게 적용되고 있으며 발생할 수 있는 문제점들을 해결하기 위해 필요한 사항들에 대한 방향을 제시하였다.

무선 메쉬 네트워크의 최적화를 통해서 다양한 서비스가 안정적으로 지원되기 위한 QoS는 하나의 문제해결이 아닌 네트워크 전반적인 부분들이 해결됨으로써 지원이 가능하다. 기본적으로 모든 프로토콜에 영향을 주는 MAC 프로토콜의 새로운 대안 제시가 QoS지원을 위한 필수요소라 할 수 있다.

본 논문은 기존 무선 메쉬 네트워크 기술의 분석과 문제점 제시를 목적으로 하였다. 향후 본 논문에서 제시한 문제점들과 해결방안을 기초로 무선 메쉬 네트워크의 최적화를 위한 프로토콜을 제안하고 이 프로토콜을 이용한 QoS 지원 가능성에 대한 연구를 제안할 계획이다.

## 참고문헌

[1] The Wi-Fi Alliance. Available from: <http://www.wi-fi.org/>.

[2] The WiMAX Forum. Available from: <http://www.wimaxforum.org/home>.

[3] R. Ramanathan, On the performance of ad hoc networks with beamforming antennas, ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MOBIHOC), pp. 95 - 105, October 2001.

[4] W. Xiang, T. Pratt, X. Wang, A software radio testbed for two-transmitter two-receiver space time coding wireless LAN, IEEE Communications Magazine 42 (6), pp. 20 - 28, 2004.

[5] J. So, N. Vaidya, Multi-channel MAC for ad hoc networks: handling multi-channel hidden terminals using a single transceiver, ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MOBIHOC), pp. 222 - 233, May 2004.

[6] A. Adya, P. Bahl, J. Padhye, A. Wolman, L. Zhou, A multi-radio unification protocol for IEEE 802.11 wireless networks, International Conferences on Broadband Networks (BroadNets), 2004.

[7] IEEE 802.11 Standard Group Web Site. Available from: <http://www.ieee802.org/11/>.

[8] Engim Inc, Multiple Channel 802.11 Chipset. Available from: <http://www.engim.com/products_en3000.html>.

[9] M. McHenry, Frequency Agile Spectrum Access Technologies, FCC Workshop on Cognitive Radios, May 2003.

[10] B. Lane, Cognitive radio technologies in the commercial arena, FCC Workshop on Cognitive Radios, May 2003.

[11] J. Mitola, Software Radio Architecture: Object-Oriented Approaches to Wireless System Engineering, Wiley Inter-Science, New York, 2000.

[12] L. Huang, T. Lai, On the scalability of IEEE 802.11 ad hoc networks, ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MOBIHOC), pp. 173 - 182, 2002.

[13] K. Jain, J. Padhye, V. Padmanabhan, L. Qiu, Impact of interference on multi-hop wireless network performance, ACM Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), pp. 66 - 80, September 2003.

[14] IEEE 802 Standard Working Group, Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: high-speed physical layer in the 5 GHz Band, IEEE 802.11a Standard, 1999.

[15] IEEE 802 Standard Working Group, Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: further higher data rate extension in 2.4 GHZ Band, IEEE 802.11g Standard, 2003.

[16] D. Qiao, S. Choi, K.G. Shin, Goodput analysis and link adaptation for IEEE802.11a wireless LANs, IEEE Transactions on Mobile Computing 1(4), pp. 278 - 292, 2002.

[17] R. D. Murch, K. Ben Letaief, Antenna systems for broadband wireless access, IEEE Communications Magazine 40(4), pp. 76 - 83, 2002.

[18] A. Acharya, A. Misra, S. Bansal, High-performance architectures for IP-based multihop 802.11 networks, IEEE Wireless Communications 10(5), pp. 22 - 28, 2003.

[19] S. M. Alamouti, A simple transmit diversity technique for wireless communications, IEEE Journal on Selected Areas in Communications 16(8), pp. 1451 - 1458, 1998.

[20] L. U. Choi, K. B. Letaief, R. D. Murch, MISO CDMA transmission with simplified receiver for wireless communication handsets, IEEE Transactions on Communications 49, pp. 888 - 898, 2001.

[21] L. Li, J. Y. Halpern, P. Bahl, Y. M. Wang, R. Wattenhofer, A cone-based distributed topology-control algorithm for wireless multi-hop networks, IEEE/ACM Transactions on Networking, 2003.

[22] D. N. C. Tse, M. Grossglauser, Mobility increases thecapacity of ad hoc wireless networks, IEEE/ACM Transactions on Networking 10(4), pp. 477 - 486, 2002.

[23] F. Cali, M. Conti, E. Gregori, Dynamic tuning of the IEEE 802.11 protocol to achieve a theoretical throughput limit, IEEE/ACM Transactions on Networking 8(6), pp.785 - 799, 2000.

[24] D. Qiao, K. Shin, UMAV: a simple enhancement to IEEE 802.11 DCF, Hawaii International Conference on System Science, 2002.

[25] Y. B. Ko, V. Shankarkumar, N. H. Vaidya, Medium access control protocols using directional antennas in ad hoc networks, IEEE Annual Conference on Computer Communications (INFOCOM), pp. 13 - 21, 2000.

[26] R. R. Choudhury, X. Yang, R. Ramanathan, N. H. Vaidya, Using directional antennas for medium access control in ad hoc networks, ACM Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), pp. 59 - 70, 2002.

[27] N. Poojary, S. V. Krishnamurthy, S. Dao, Medium access control in a network of ad hoc mobile nodes with heterogeneous power capabilities, IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. 872 - 877, 2001.

[28] C. F. Chiasserini, R. R. Rao, A distributed power management policy for wireless ad hoc networks, IEEE Wireless Communications and Networking Conference(WCNC), pp. 1209 - 1213, 2000.

[29] J. W. Kim, N. Bambos, Power efficient MAC scheme using channel probing in multirate wireless ad hoc networks, IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 2380 - 2384, 2002.

[30] X. Wang, W. Wang, M. Nova, A high performance single-channel IEEE 802.11 MAC with distributed TDMA, Technical Report of Kiyon, Inc. (submitted for patent application), October 2004.

[31] P. Bahl, R. Chandra, J. Dunagan, SSCH: slotted seeded channel hopping for capacity improvement in IEEE 802.11 ad hoc wireless networks, ACM Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), pp. 216 - 230, 2004.

[32] Firetide Networks. Available from: <www.firetide.com>.

[33] R. Ogier, F. Templin, M. Lewis, Topology dissemination based on reverse-path forwarding (TBRPF), IETF RFC 3684, February 2004.

[34] Microsoft Mesh Networks. Available from: <http://research.microsoft.com/mesh/>.

[35] Kiyon Autonomous Networks. Available from: <http://www.kiyon.com>.

[36] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing, IETF RFC 3561, July 2003.

[37] D. Aguayo, J. Bicket, S. Biswas, G. Judd, R. Morris, Link-level measurements from an 802.11b mesh network, ACM Annual Conference of the Special Interest Group on Data Communication (SIGCOMM), pp. 121 - 131, August 2004.

[38] D. S. J. De Couto, D. Aguayo, J. Bicket, R. Morris, A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing, ACM Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), pp. 134 - 146, 2003.

[39] R. Draves, J. Padhye, B. Zill, Comparisons of routing metrics for static multi-hop wireless networks, ACM Annual Conference of the Special Interest Group on Data Communication (SIGCOMM), pp. 133 - 144, August 2004.

[40] R. Draves, J. Padhye, B. Zill, Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks, ACM Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), pp. 114 - 128, 2004.

[41] S. Mueller, D. Ghosal, Multipath routing in mobile ad hoc networks: issues and challenges, M. C. I Calzarossa, E. Gelenbe (Eds.), Lecture Notes in Computer Science, 2004.

[42] E. M. Belding-Royer, Multi-level hierarchies for scalable ad hoc routing, ACM/Kluwer Wireless Networks 9(5), pp. 461 - 478, 2003.

[43] A. K. Saha, D. B. Johnson, Self-organizing hierarchical routing for scalable ad hoc networking, Technical Report, TR04-433, Department of Computer Science, Rice University.

[44] M. Heissenbuttel, T. Braun, BLR: beacon-less routing algorithm for mobile ad hoc networks, Computer Communications 27(11), pp. 1076 - 1086, 2004.

[45] P. Boseetal, Routing with guaranteed delivery in ad hoc wireless networks, 3rd ACM International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications, pp. 48 - 55, August 1999.

[46] S. Datta, I. Stojmenovic, J. Wu, Internal node and shortcut based routing with guaranteed delivery in wireless networks, Proceedings of the IEEE International Conference on Distributed Computing and Systems; Wireless Networks and Mobile Computing Workshop, Phoenix, AZ, pp. 46-66, April 2001.

[47] H. Balakrishnan, V. N. Padmanabhan, R. H. Katz, Network asymmetry: the effects of asymmetry on TCP performance, Mobile Networks and Applications 4, pp. 219 - 241, 1999.

[48] K. Chandran, S. Raghunathan, S. R. Prakash, A feedback-based scheme for improving TCP performance in ad hoc wireless networks, IEEE Personal Communications 8(1), pp. 34 - 39, 2001.

[49] G. Holland, N. Vaidya, Link failure and congestion: analysis of TCP performance over mobile ad hoc networks, ACM Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), pp. 219 - 230, 1999.

[50] G. Xylomenos, G. C. Polyzos, P. Mahonen, M. Saaranen, TCP performance issues over wireless links, IEEE Communications Magazine 39(4), pp. 52 - 58, 2001.

[51] M. Petrovic, M. Aboelaze, Performance of TCP/UDP over ad hoc IEEE 802.11, International Conference on Telecommunications, pp. 700 - 708, 2003.

[52] A. A. Abouzeid, S. Roy, Stochastic modeling of TCP in networks with abrupt delay variations, ACM/Kluwer Wireless Networks 9, pp. 509 - 524, 2003.

[53] K. Sundaresan, V. Anantharaman, H. Y. Hsieh, R. Sivakumar, ATP: a reliable transport protocol for adhoc networks, ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MOBIHOC), pp. 64 - 75, 2003.

[54] K. Sanzgiri, B. Dahill, B. N. Levine, C. Shields, E. M. Belding-Royer, A secure protocol for ad hoc networks, IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP), pp. 78 - 87, 2002.

[55] S. Cen, P. C. Cosman, G. M. Voelker, End-to-end differentiation of congestion and wireless losses, IEEE/ACM Transactions on Networking 11(5), pp. 703 - 717, 2003.

[56] Z. Fu, X. Meng, S. Lu, A transport protocol for supporting multimedia streaming in mobile ad hoc networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications 21(10), pp. 1615 - 1626, 2003.

[57] L. Buttyan, J. P. Hubaux, Report on a working session on security in wireless ad hoc networks, ACM Mobile Computing and Communications Review 7(1), pp. 74 - 94, 2002.

[58] N. Borisov, I. Goldberg, D. Wagner, Intercepting mobile communications: the insecurity of 802.11, ACM Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), pp. 180 - 188, September 2002.

[59] J. P. Hubaux, L. Butttan, S. Capkun, The quest for security in mobile ad hoc networks, ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MOBIHOC), pp. 146 - 155, 2001.

[60] L. Krishnamurthy, Making radios more like human ears: alternative MAC techniques and innovative platforms to enable large-scale meshes, Microsoft Mesh Networking Summit, June 2004.

## 저자소개

이순식(Soon-Sik Lee)

2006년 경남대학교 정보통신공학과 학사
2009년 경상대학교 정보통신공학과 석박사통합과정 수료

※ 관심분야 : 네트워크 보안, VoIP

윤상만(Sang-Man Yun)

1998년 경남대학교 전자공학과 학사
2005년 경남대학교 전자공학과 공학석사
2008년 경상대학교 정보통신공학과 박사과정 수료
※ 관심분야 : 유무선 통합 네트워크, 차세대통신

이상욱(Sang-Wook Lee)

1977년 부산대학교 전자공학과 학사
1988년 부경대학교 전자공학과 공학석사
2000년 부경대학교 대학원 전자공학과 공학박사
1995년~현재 경상대학교 정보통신공학과 교수
해양산업연구소 연구원
※ 관심분야 : 신호처리

전성근(Seong-Geun Jeon)

1970년 항공대학교 통신공학과 학사
1982년 건국대학교 전자공학과 공학석사
1996년 경상대학교 대학원 전자공학과 공학박사
1995년~현재 경상대학교 정보통신공학과 교수
해양산업연구소 연구원
※ 관심분야 : 전자장 및 마이크로파회로설계

이우재(Woo-Jae Lee)

1973년 항공대학교 전자공학과 학사
1982년 건국대학교 전자공학과 공학석사
2001년 경남대학교 대학원 전자공학과 공학박사
1995년~현재 경상대학교 정보통신공학과 교수
해양산업연구소 연구원
※ 관심분야 : 이동통신