

IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 QoS 메쉬 라우팅 프로토콜

준회원 김 민*, 정회원 김 화 성*

QoS Mesh Routing Protocol for IEEE 802.16 based Wireless Mesh Networks

Min Kim* *Associate Member*, Hwa-sung Kim* *Regular Member*

요 약

이 논문은 IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 QoS 메쉬 라우팅 프로토콜을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 QoS 메쉬 라우팅 프로토콜은 테이블 관리 (Table-driven or Proactive) 방식의 홵 간 (Hop-by-Hop) QoS 라우팅 프로토콜이다. 제안하는 라우팅 프로토콜의 목표는 송신 노드에서 목적지 노드까지 경로를 찾는 것뿐만 아니라, 대역폭과 지연의 관점에서, QoS 요구사항을 만족시키는 최적 경로를 찾는 것이다. 이 논문에서, 우리는 먼저 이동 Ad Hoc 라우팅 프로토콜과 관련된 연구를 바탕으로, 라우팅 프로토콜의 유형을 분석하고, 테이블 관리 방식의 홵 간 라우팅 프로토콜이 무선 메쉬 네트워크에 가장 적합함을 보인다. 그리고 나서, 본 논문에서 주목하는 IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크의 네트워크 모델을 소개하고, 테이블 관리 방식의 홵 간 라우팅 프로토콜을 기반으로 하는 QoS 메쉬 라우팅 프로토콜을 제안한다. 시뮬레이션을 통해서, 제안하는 라우팅 프로토콜이 QOLSR 프로토콜에 비하여 단대단 지연 (End-to-End Delay)이 낮고, 패킷 전달률 (Packet Delivery Ratio)이 높으며, 라우팅 오버헤드 패킷 양이 적음을 보였다.

Key Words : Wireless Mesh Networks, IEEE 802.16, Proactive, Hop-by-hop, QoS routing

ABSTRACT

This paper proposes QoS mesh routing protocol for IEEE 802.16 based wireless mesh networks. QoS mesh routing protocol proposed in this paper is a proactive hop-by-hop QoS routing protocol. The goal of our routing protocol is not only to find a route from a source to a destination, but also optimal route that satisfies QoS requirements, given in terms of bandwidth and delay as default QoS parameters. In this paper, we first analyze possible types of routing protocols that have been studied for MANET and show proactive hop-by-hop routing protocols are the most appropriate for wireless mesh networks. Then, we present a network model for IEEE 802.16 based wireless mesh networks and propose a proactive hop-by-hop QoS routing protocol. Through our simulation, we represent that our routing protocol outperforms QOLSR protocol in terms of end-to-end delay, packet delivery ratio and routing overhead.

※ 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-10199-0) 지원 및 2006년 광운대학교 교내연구비에 의해 수행되었습니다.

* 광운대학교 전자통신공학과 네트워크 컴퓨팅 연구실({beyond, hwkim}@kw.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-09-430, 접수일자 : 2007년 9월 19일, 최종논문접수일자 : 2007년 11월 28일

I. 서 론

무선 메쉬 네트워크는 차세대 무선 네트워크를 위한 주요 기술로서 최근에 활발히 연구되기 시작하였다. 무선 메쉬 네트워크는 기존의 유선 인프라스트럭처 (Infrastructure)와 비교해서, 적은 비용으로 무선 백본 (Backbone) 네트워크를 구성할 수 있고, 빠르고 유연한 네트워크 확장을 가능하게 한다. 무선 메쉬 네트워크는 메쉬 라우터와 메쉬 클라이언트로 구성되어 있다. 메쉬 라우터는 여러 이기종 네트워크를 연결시켜 줄 수 있는 브리지 (Bridge)의 역할과 인터넷 연결을 제공하는 게이트웨이 (Gateway) 역할을 하고, 메쉬 백본 네트워크를 구성하며, 사용자 단말인 메쉬 클라이언트에게 네트워크 서비스를 제공한다. 메쉬 클라이언트는 메쉬 라우터에 속해 서비스를 제공받는 무선 단말이다¹⁾.

무선 메쉬 네트워크는 유사한 네트워크 토폴로지 형태, 무선 멀티-홉 (Multi-hop) 네트워크라는 점에서 이동 Ad Hoc 네트워크와 많은 유사점을 갖는다. 그러나, 라우팅 기능을 수행하는 메쉬 라우터가 이동성이 거의 없고, 전력 소비에 제한이 없으며, 메쉬 클라이언트들에게 네트워크 서비스를 제공하는 무선 백본 네트워크로 사용된다는 점에서 이동 Ad Hoc 네트워크와 다른 특성을 가진다. 그러므로 기존의 이동 Ad Hoc 네트워크에서 제안된 라우팅 프로토콜은 무선 메쉬 네트워크에 적용될 수 없고, 무선 메쉬 네트워크에 적합한 새로운 라우팅 프로토콜이 필요하다.

현재 무선 메쉬 네트워크는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜을 바탕으로 많은 연구가 이루어지고 있다. IEEE 802.11 기반의 무선 메쉬 네트워크는 기존의 유선 AP (Access Point)를 무선 AP로 바꾸고, 무선 AP들이 서로 무선 멀티-홉 통신을 함으로써 적은 비용으로 커버리지 (Coverage)를 확장할 수 있는 기술이다. 그런데, IEEE 802.11 기반의 무선 메쉬 네트워크는 기본적으로 유선 네트워크에 비해 적은 링크 용량을 가지고, 넓은 간섭 영역에 의해 여러 노드들이 적은 링크 용량을 다시 공유하기 때문에, 노드 당 실제 사용 가능한 용량이 더욱 적어지는 문제점이 존재한다. 이런 문제점은 메쉬 클라이언트들의 데이터와 다른 메쉬 라우터의 데이터를 동시에 처리해야 하는 백본 통신에 적합하지 않다. 또한, IEEE 802.11 MAC 프로토콜인 CSMA/CA는 원래 단일-홉 (Single-hop) 무선 LAN 환경을 위해

서 설계되었기 때문에, 메쉬 라우터들 사이에 홉 연결성 (Connectivity)을 제공하는 MAC 프로토콜로 매우 적합하지 않다²⁾. 따라서, 본 논문에서는 IEEE 802.16 Mesh Mode를 바탕으로 무선 메쉬 네트워크를 구성하는 IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크에 주목한다. IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크는 IEEE 802.11 기반의 무선 메쉬 네트워크보다 더 넓은 서비스 영역을 커버하면서, 더 높은 대역폭을 제공하기 때문에, 무선 인터넷 서비스뿐만 아니라, 멀티미디어 데이터 서비스를 보다 원활하게 제공할 수 있다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성된다. II장에서는 관련 연구로써, 무선 메쉬 네트워크에 대한 기본적인 내용을 소개하고 어떤 라우팅 프로토콜의 유형이 무선 메쉬 네트워크에 가장 적합한 지를 설명하며, 제안한 라우팅 프로토콜과 비교할 QOLSR 프로토콜에 대하여 간략히 설명한다. III장에서는 IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크의 네트워크 모델과 QoS 라우팅 프로토콜이 필요한 이유에 대해 설명한다. IV장에서는 제안하는 QoS 라우팅 프로토콜에 대하여 자세히 설명하고, V장에서는 제안한 라우팅 프로토콜과 QOLSR 프로토콜의 성능을 비교한 시뮬레이션 결과를 통해 성능 향상 여부를 검증한다. 끝으로, VI장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 무선 메쉬 네트워크

무선 메쉬 네트워크는 이동 Ad Hoc 네트워크와 많은 유사점을 가지는 메쉬 구조의 무선 멀티 홉 네트워크로써, 메쉬 라우터와 메쉬 클라이언트, 두 가지 형태의 노드로 구성된다. 그림 1¹⁾에서 나타난 것과 같이 메쉬 라우터는 같은 종류의 네트워크뿐만 아니라, 셀룰러 (Cellular), IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, 센서 (Sensor) 네트워크 등과 같은 여러 이기종 네트워크를 연결시켜주는 브리지의 역할과 메쉬 클라이언트에게 인터넷 연결을 제공하는 게이트웨이 역할을 한다. 또한, 라우팅 기능을 통해 무선 메쉬 네트워크의 백본을 구성하고 메쉬 라우터들 사이의 홉 연결성을 제공한다. 무선 메쉬 네트워크에서 메쉬 라우터는 이동성이 거의 없고, 전력 소비에 제한이 없는 노드이다.

메쉬 클라이언트는 메쉬 라우터에 속해 네트워크 서비스를 제공받는 무선 단말로써, 고정이거나 움직이는 노드 모두 가능하다.

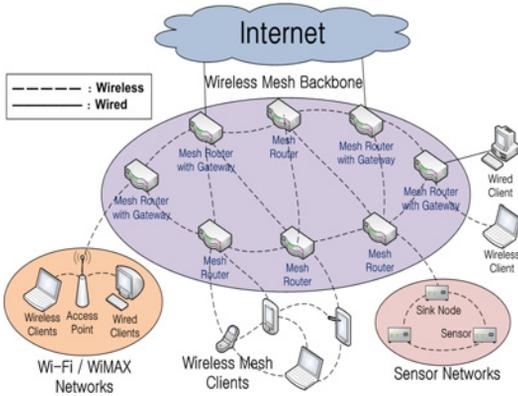


그림 1. 무선 메쉬 네트워크

2.2 무선 메쉬 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜

무선 메쉬 네트워크에서 효과적인 라우팅을 지원하기 위해서는 기존의 이동 Ad Hoc 라우팅 프로토콜 연구를 바탕으로 어떤 유형의 라우팅 프로토콜이 무선 메쉬 네트워크에 가장 적합한 지를 먼저 살펴볼 필요가 있다.

기존 Ad Hoc 라우팅 프로토콜은 라우팅 경로를 계산하는 방법에 따라서 요구 기반 (On-demand or Reactive) 방식과 테이블 관리 (Table-driven or Proactive) 방식으로 나눌 수 있고, 패킷들이 전송되는 방법에 따라서, 소스 (Source) 라우팅 방식과 홉 간 (Hop-by-Hop) 라우팅 방식으로 분류할 수 있다.

우선, 요구 기반 방식은 트래픽이 발생하는 시점에 제어 메시지를 네트워크에 플러딩 (Flooding)함으로써 경로를 탐색하는 방식이다. 무선 메쉬 네트워크는 메쉬 라우터의 이동성이 거의 없기 때문에, 네트워크 토폴로지의 변화가 거의 없다. 무선 메쉬 네트워크에서 요구 기반 방식의 라우팅 프로토콜을 사용하면, 메쉬 라우터의 이동으로 인해 무선 링크가 끊어지는 경우보다 제어 메시지를 플러딩하는 경우가 더 빈번하게 발생한다. 따라서 같은 경로를 반복해서 찾는 중복된 제어 메시지를 발생시켜 대역폭의 낭비를 일으킨다^[5]. 또한, 요구 기반 방식의 라우팅 프로토콜은 초기 경로 탐색에 따른 지연이 발생하기 때문에, QoS 라우팅 프로토콜에 적용하기 어렵다. 그러므로 요구 기반 방식의 라우팅 프로토콜은 무선 메쉬 네트워크에 적합하지 않다.

테이블 관리 방식은 주기적으로 또는 네트워크 토폴로지가 변할 때, 제어 메시지를 브로드캐스트함으로써 모든 노드가 항상 최신의 라우팅 테이블을 유지하는 방식이다. 테이블 관리 방식은 각각의 노

드들이 항상 최신의 경로를 유지하고 있기 때문에 경로 탐색의 지연이 없다. 따라서 테이블 관리 방식은 무선 메쉬 네트워크와 QoS 라우팅 프로토콜에 적합하다.

한편, 소스 라우팅 방식은 송신 노드가 패킷을 전달하기 위한 경로를 계산하고, 계산된 경로를 패킷의 헤더에 포함해서 목적지까지 전달하는 방식이다. 중간 노드들은 단지 패킷 헤더 안에 첨부된 경로를 바탕으로 패킷을 전달한다. 그런데 무선 메쉬 네트워크에서 패킷 크기는 무선 링크의 빈번한 재전송과 작은 링크 용량에 대처하기 위해서 유선 네트워크보다 매우 작다^[5]. 무선 메쉬 네트워크에서 소스 라우팅 방식의 라우팅 프로토콜을 사용하면, 헤더 크기의 증가로 인해 IP 패킷의 페이로드가 줄어들게 된다. 게다가, 라우팅 경로를 계산하기 위한 라우팅 메트릭 (Metric)으로 무선 링크의 품질 (예를 들어, 대역폭, 지연)을 사용하게 되면, 라우팅 경로를 계산할 때의 무선 링크의 품질과 계산된 경로를 실제 데이터가 지날 때의 무선 링크 품질이 서로 달라지는 문제점이 발생한다. 그러므로 소스 라우팅 방식은 무선 메쉬 네트워크에 적합하지 않다.

홉 간 라우팅 방식은 모든 노드가 네트워크의 모든 노드들로 향하는 경로의 다음 홉을 기록한 라우팅 테이블을 유지하는 방식이다. 패킷 헤더에는 단지 송신 노드와 목적지 노드의 주소만 첨부된다. 중간 노드들은 패킷 헤더의 주소를 보고 자신의 라우팅 테이블을 바탕으로 패킷을 전달한다. 홉 간 라우팅 방식은 단순한 프로토콜 설계 요구사항과 적은 라우팅 오버헤드 때문에 무선 메쉬 네트워크에 적합하지만, 루프가 발생할 수 있기 때문에 루프를 피할 수 있는 방법이 필요하다.

지금까지 논의된 내용을 정리하면, 무선 메쉬 네트워크에 가장 적합한 라우팅 프로토콜은 테이블 관리 방식의 홉 간 라우팅 프로토콜이다. 따라서, 본 논문에서는 테이블 관리 방식의 홉 간 라우팅 프로토콜을 기반으로 QoS 라우팅 프로토콜을 제안한다.

2.3 QOLSR (QoS for ad hoc Optimized Link State Routing Protocol)

QOLSR^[6]은 이동 Ad Hoc 네트워크를 위해서 제안된 OLSR (Optimized Link State Routing Protocol)^[7]을 QoS 라우팅으로 확장한 라우팅 프로토콜로서 테이블 관리 방식의 홉 간 QoS 라우팅 프로토콜이다. QOLSR은 QoS 정보를 전체 네트워크에

퍼뜨리기 위해서 QMPR (QoS Multipoint Relay) 선택 알고리즘을 사용하고, HELLO 메시지와 TC (Topology Control) 메시지의 형식을 변경한다.

QMPR 선택 알고리즘은 인접한 2홉 이웃 노드들 중에서 MPR (Multipoint Relay)을 선택하는 OLSR의 MPR 선택 알고리즘과 유사하지만, QoS 요구사항을 고려하기 위해서, 대역폭을 최대로 하고 지연을 최소로 하는 QMPR을 선택하는 것이다. QMPR을 선택하기 위해서, 노드는 홉 정보에 추가로, 2홉 이웃 노드들에 대한 QoS 정보를 필요로 한다. 그래서 HELLO 메시지는 1홉 이웃 노드들 사이의 QoS 정보 교환을 지원하기 위해서 변경되고, 노드는 HELLO 메시지를 사용하여 1홉 이웃들에게 QoS 정보를 알린다. HELLO 메시지를 받은 노드는 QMPR 선택 알고리즘을 사용해서 QMPR을 선택한다.

QOLSR에서, TC 메시지는 OLSR의 TC 메시지와 유사하지만, 링크의 QoS 정보를 추가로 전달한다. MPR은 TC 메시지를 전체 네트워크에 전달하고, 각각의 노드는 TC 메시지를 바탕으로, 경로 계산 알고리즘을 사용해서 라우팅 경로를 계산한다. QOLSR의 경로 계산 알고리즘은 임의의 송신 노드가 목적지 노드까지의 최적 경로를 계산할 때, 그 송신 노드가 선택한 QMPR과 TC 메시지를 통해서 받은 QMPR을 바탕으로 전체 네트워크의 부분적인 토폴로지를 만들고, QoS 정보를 바탕으로 가장 짧고-넓은 (Shortest-Widest) 경로를 선택한다. 다시 말하면, 송신 노드에서 목적지 노드까지 QMPR로 만들어진 다수의 경로 중에서 QoS 트래픽이 요구하는 대역폭을 만족하는 넓은 경로가 여러 개 존재한다면, 그 중에 가장 짧은 지연을 가진 경로가 선택된다.

III. IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크

3.1 네트워크 모델

본 논문에서 제안하는 IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크 모델은 그림 2와 같다. 그림 2의 네트워크 모델은 2.1절에서 논의된 무선 메쉬 네트워크와 유사한 구조를 가지고, 메쉬 라우터의 기능이 추가된 IEEE 802.16 무선 BS (Base Station)와 메쉬 클라이언트의 역할을 하는 IEEE 802.16 SS (Subscriber Station)로 구성된다. BS는 기본적으로 두 종류의 인터페이스 (Interface)를 사용하는데, 하나는 무선 BS들 사이의 무선 메쉬 네트워크를 구성하기 위한 백홀 (Backhaul) 프로토콜로서 IEEE 802.16 Mesh

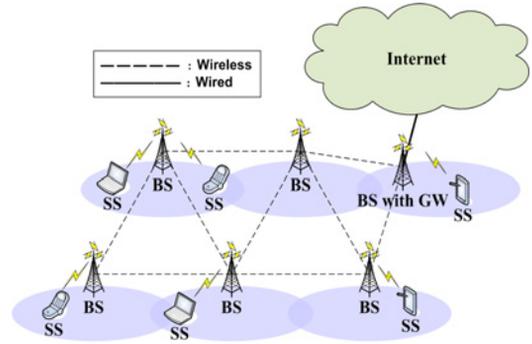


그림 2. IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크

Mode^[3] 표준을 사용하고, 다른 하나는 메쉬 클라이언트인 SS에게 네트워크 접속 서비스를 제공하기 위해서 IEEE 802.16e^[4] 표준을 사용한다. 만약 무선 BS가 메쉬 네트워크를 유선 네트워크로 연결해주는 게이트웨이 역할까지 수행한다면, 그와 관련된 인터페이스가 추가로 필요할 것이다.

SS는 IEEE 802.16e 표준을 사용하는 메쉬 클라이언트로서, 전통적인 IEEE 802.16 네트워크에서 사용하는 무선 이동단말과 같다.

3.2 IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜

이번 절에서는 IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크에 적합한 라우팅 프로토콜에 대해 살펴본다. IEEE 802.16 Mesh Mode 표준은 물리 계층과 MAC 계층에 대해서만 정의하기 때문에 라우팅 프로토콜과 같은 상위 계층에 대한 많은 연구가 필요한 실정이다. 또한, 현재 무선 메쉬 네트워크는 IEEE 802.11 표준을 기반으로 다양하고 많은 연구가 이루어지고 있다. 이미 표준화가 완료된 IEEE 802.16 Mesh Mode와 달리, IEEE 802.11 기반의 무선 메쉬 네트워크는 IEEE 802.11s에서 표준화가 진행 중이다^[8]. IEEE 802.16 Mesh Mode와 IEEE 802.11s는 둘 다 메쉬 네트워크를 지원하기 때문에, IEEE 802.11 기반의 무선 메쉬 네트워크의 많은 연구 결과들이 IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크에서도 적용될 수 있다고 가정할 수 있다. 그러나 두 개의 MAC 프로토콜은 서로 매우 다르기 때문에 직접적으로 이용할 수 없다.

두 개의 MAC 프로토콜의 가장 기본적인 차이점은 IEEE 802.16 Mesh Mode가 TDMA를 바탕으로 하는 시간 슬롯-스케줄된 (Time Slot-Scheduled) 프로토콜인 반면에, IEEE 802.11s는 CSMA/CA를 바

탕으로 하는 경쟁 기반의 프로토콜이라는 점이다. 또한, IEEE 802.16 Mesh Mode는 토폴로지를 인식 하지만 IEEE 802.11s는 그렇지 않다. IEEE 802.16 Mesh Mode에서 노드는 자신의 자원 할당과 스케줄링 과정을 위해서 2홉만큼 떨어진 이웃 노드들의 정보를 사용한다. IEEE 802.11s에서는 단일 홉 정보만 이용할 수 있기 때문에 토폴로지를 인식할 수 없다.

한편, IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 메쉬 클라이언트들은 메쉬 라우터에 접속하기 위한 무선 접속 기술로써 IEEE 802.16e 표준을 사용한다. IEEE 802.16e는 IEEE 802.16-2004와의 역방향 호환성 (Backward Compatibility)을 유지하면서, 2-6GHz의 허가된 주파수 대역에서 단말의 이동성을 지원하기 위한 규격이다. IEEE 802.16e의 다양한 핵심 기능들 중에 한 가지는 단말의 QoS 요구사항을 보장하는 것이다. IEEE 802.16e MAC 계층은 서로 다른 QoS 요구사항을 가진 SDU (Service Data Unit)와 MAC PDU (Protocol Data Unit)를 전달하고 다루기 위해서, 5개의 스케줄링 서비스를 정의한다. 따라서 IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 메쉬 클라이언트들은 메쉬 라우터와 QoS 트래픽을 주고 받을 것이다. 단말의 QoS 트래픽을 받은 메쉬 라우터는 QoS 트래픽을 게이트웨이에게 또는 같은 게이트웨이에 속한 메쉬 라우터에게 전달해야 하며, 역으로 게이트웨이는 외부 네트워크에서 무선 메쉬 네트워크로 유입되는 QoS 트래픽을 올바른 메쉬 라우터에게 전달해야 한다.

라우팅 프로토콜의 관점에서, QoS 트래픽을 다루기 위해서는 IEEE 802.16e 표준에서 정의한 5개의 스케줄링 서비스의 QoS 요구사항을 만족하는 라우팅 경로를 계산해야 한다. 그런데, 5개의 스케줄링 서비스는 서로 다른 QoS 요구사항을 가지기 때문에 5개의 QoS 라우팅 경로가 각각 필요할 것이다. 그러나 제안한 라우팅 프로토콜에서는 5개의 라우팅 경로를 개별적으로 만드는 방법을 사용하지 않는다. 라우팅 경로 계산의 복잡도를 줄이고 효율적인 라우팅 프로토콜이 될 수 있도록, 5개의 스케줄링 서비스의 QoS 파라미터들 중에 공통적으로 고려되는 대역폭과 지연을 라우팅 매트릭의 기본적인 QoS 파라미터로 정하고, 그것들을 바탕으로 QoS 라우팅 경로를 계산한다. 게다가, QoS 파라미터들의 임계치 (Threshold)를 변경함으로써 여러 개의 라우팅 경로를 간단히 계산할 수 있다. 더 자세한 내용은 IV장에서 논의한다.

지금까지 논의한 대로, IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크에서는 MAC 프로토콜의 차이점 때문에 기존의 IEEE 802.11 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 연구되었던 많은 라우팅 프로토콜을 직접적으로 이용할 수 없고, 메쉬 클라이언트의 QoS 요구사항들 때문에 무선 메쉬 네트워크에 적합한 테이블 관리 방식의 홉 간 라우팅 프로토콜을 QoS 라우팅 프로토콜로 확장하는 설계 과정이 필요하다.

IV. QoS 메쉬 라우팅 프로토콜

본 장에서는 IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 QoS 메쉬 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안한 라우팅 프로토콜은 II장에서 논의된 바와 같이, 무선 메쉬 네트워크에 가장 적합한 테이블 관리 방식의 홉 간 라우팅 프로토콜을 바탕으로 하고, III장에서 논의하였던 IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크 모델을 고려하여 메쉬 라우터에 속한 단말들의 QoS 트래픽이 게이트웨이까지 보장될 수 있는 QoS 라우팅 프로토콜이다.

4.1 기본적인 아이디어

4.1.1 테이블 관리 방식의 홉 간 라우팅 프로토콜의 고려사항

테이블 관리 방식의 홉 간 라우팅 프로토콜을 사용하는 무선 메쉬 네트워크에서 메쉬 라우터는 네트워크 전체의 목적지에 대한 다음 홉을 라우팅 테이블에 저장한다. 이를 위해서 메쉬 라우터는 홉 정보와 측정된 링크 품질 정보를 인접한 이웃 메쉬 라우터들과 주기적으로 교환하고, 이를 바탕으로 라우팅 테이블을 갱신한다. 이러한 라우팅 프로토콜을 바탕으로 QoS 라우팅 프로토콜을 설계하게 되면, 메쉬 라우터는 제어 메시지를 바탕으로 QoS 요구사항들을 만족하는 최적 경로를 미리 계산하고, 데이터를 전송할 다음 홉을 결정하여 자신의 라우팅 테이블에 기록하게 된다. 즉, 모든 목적지 노드에 대해서 정해진 QoS 요구사항을 만족하는 경로를 미리 계산한 후 실제 QoS 트래픽이 발생할 때 이를 사용하게 된다. 이 방식은 QoS 트래픽 발생 시에 미리 계산된 경로를 바로 사용할 수 있기 때문에, 경로를 찾는 과정에서 발생하는 지연이 없고 경로 계산에 필요한 추가 비용이 발생하지 않는 장점을 가진다. 그러나 이 방식은 메쉬 라우터가 최적 경로를 미리 계산하기 때문에, 송신 노드에서 최적

경로를 계산할 때와 실제 QoS 트래픽이 최적 경로상의 메쉬 라우터들을 지나갈 때 사용 가능한 링크 자원이 달라지는 상황이 빈번하게 발생할 수 있다. 예를 들어, 임의의 메쉬 라우터 A가 시간 t_1 에 QoS 정보 Q_1 을 측정하였다고 가정하자. 메쉬 라우터 A는 측정된 QoS 정보 Q_1 을 주위의 메쉬 라우터에게 브로드캐스트할 것이다. QoS 정보 Q_1 은 몇 개의 홉을 거쳐 네트워크의 다른 메쉬 라우터 B에게 시간 t_2 에 전달되고, 메쉬 라우터 B는 시간 t_2 에 받은 Q_1 을 바탕으로 메쉬 라우터 A로 향하는 라우팅 경로를 계산할 것이다. 그러나 메쉬 라우터 A에서 시간 t_2 에 측정된 QoS 정보는 Q_2 가 될 수 있고, Q_1 과 Q_2 는 서로 다른 QoS 정보가 될 수 있다.

4.1.2 QOLSR의 문제점

II장에서 살펴본 QOLSR은 OLSR을 QoS 라우팅 매트릭을 사용하여 QoS 라우팅으로 확장한 버전 (Version)이다. QOLSR은 라우팅 오버헤드를 줄이기 위해서 효과적인 브로드캐스트 구조를 제공하고, MPR과 QMPR을 선택하는 최적화를 사용한다. QOLSR도 제안한 라우팅 프로토콜과 같은 테이블 관리 방식의 홉 간 QoS 라우팅 프로토콜이기 때문에, IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크에도 적용될 수 있다고 가정할 수 있다. 그러나 QOLSR은 다음과 같은 몇 가지 문제점들이 존재하기 때문에, 적용될 수 없다. 첫 번째로, QOLSR은 QMPR과 MPR을 선택하는 최적화 때문에 전체 네트워크의 토폴로지가 아닌 부분적인 네트워크 토폴로지를 바탕으로 최적 경로를 선택하게 된다. QOLSR에서는, QoS 트래픽이 반드시 QMPR만을 거쳐서 전송되기 때문에, 다수의 노드들이 동시에 선택한 QMPR은 병목구간으로써 혼잡이 발생할 가능성이 매우 높아지게 된다. 그림 3의 토폴로지에서는 노드 A, B, C, D가 QMPR로 E를 동시에 선택해서 데이터를 동시에 전송한다면, 노드 E는 4개의 노드에서 동시에 유입되는 QoS 트래픽을 처리할 수 없게 되고 많은 데이터를 잃어버리게 될 것이다.

두 번째로, QOLSR은 QoS 요구사항들을 만족하는 최적 경로를 선택할 때 홉 수를 고려하지 않는다. QOLSR에서, 임의의 송신 노드와 하나의 목적지 노드 사이에 많은 QMPR이 존재할 것이고, 그것들을 바탕으로 만들 수 있는 경로들의 집합은 매우 다양할 것이다. QMPR로 만들어진 다양한 경로들 중에 하나의 최적 경로를 선택하기 위해서, QOLSR은 대역폭

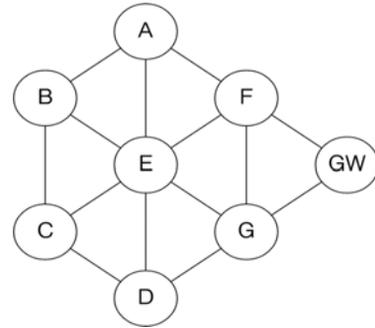


그림 3. QOLSR의 문제점을 위한 네트워크 토폴로지

과 지연만을 고려해서 최적 경로로 선택한다. 그런데, 일반적으로 무선 멀티 홉 네트워크에서는 라우팅 경로의 홉 수가 증가함에 따라서, 연속된 홉 사이의 간섭과 다음 홉으로 전달하기 위한 스케줄링 등의 영향으로 인해, 무선 링크의 쓰루풋 (Throughput)이 급격히 감소하고 단대단 지연이 증가하는 문제점이 존재한다. QOLSR에서 선택된 최적 경로는 QoS 정보로는 최적 경로이지만 홉 수로는 최적 경로가 될 수 없기 때문에 무선 멀티 홉 네트워크에서는 성능 저하가 발생할 것이다. 따라서 이런 문제점을 해결하기 위해서, 제안하는 라우팅 프로토콜은 QoS 정보와 홉 수를 동시에 고려한 라우팅 매트릭을 사용해서 라우팅 경로를 선택하는 방법을 제안한다.

세 번째, QOLSR은 이동 Ad Hoc 네트워크를 위한 QoS 라우팅 프로토콜이기 때문에, 무선 메쉬 네트워크에 최적화되지 않았다. 이동 Ad Hoc 네트워크의 경우 노드의 이동으로 인해 네트워크 토폴로지가 자주 변화하지만, 무선 메쉬 네트워크에서 메쉬 라우터는 이동성이 거의 없기 때문에 한번 형성된 토폴로지는 거의 변하지 않는다. 그러므로 토폴로지의 변화를 의미하는 홉 수는 시간의 흐름에 따라 거의 변화가 없지만, QoS 정보를 의미하는 대역폭, 지연, 지연 지터 (Delay Jitter) 등은 시간의 흐름에 따라 수시로 변할 것이다. 따라서 메쉬 라우터는 이웃으로부터 받은 제어 메시지의 QoS 정보와 홉 정보를 서로 다르게 처리하는 방법이 필요하다.

4.2 제어 메시지의 처리와 QoS 정보 측정 방법

4.2.1 제어 메시지의 처리 방법

본 논문에서 제안하는 제어 메시지의 처리 방법은 다음과 같다. 4.1절에서 논의된 것처럼, QoS 정보가 여러 홉을 거치게 되면 최신의 QoS 정보가 될 수 없기 때문에, 제어 메시지의 QoS 정보가 전

달되는 홉 수를 2홉으로 제한한다. 측정된 QoS 정보는 2홉 이웃 메쉬 라우터에게만 전달되고 홉 정보, 즉 홉 수는 네트워크에 속한 모든 메쉬 라우터에게 전달된다. 메쉬 라우터가 인접한 이웃 메쉬 라우터로부터 QoS 정보와 홉 정보가 포함된 제어 메시지를 받았을 때, 만약 1홉 이웃 메쉬 라우터로부터 받은 제어 메시지라면, QoS 정보와 홉 정보 둘다, 기존에 가지고 있었던 정보와 비교해야 한다. 기존의 정보와 변경된 내용이 있다면, 메쉬 라우터는 제어 메시지를 다음에 브로드캐스트 할 때, 이웃 메쉬 라우터로부터 받았던 QoS 정보와 홉 정보 둘다, 제어 메시지에 포함해서 브로드캐스트 해야 한다. 만약 2홉 떨어진 이웃 메쉬 라우터의 제어 메시지라면, 1홉의 경우와 마찬가지로 QoS 정보, 홉 정보 둘다 기존의 정보와 비교하지만, QoS 정보는 제어 메시지에 포함하지 않고 홉 정보만 포함시켜서 이웃 메쉬 라우터에게 브로드캐스트 해야 한다. 만약 3홉 이상 떨어진 이웃 메쉬 라우터로부터 받은 제어 메시지라면, 홉 정보만 비교하고, 변경된 홉 정보만 제어 메시지에 포함해서 다시 브로드캐스트 한다.

4.2.2 QoS 정보 측정 방법

QoS 정보 측정 방법은 네트워크에서 사용 중인 물리 계층과 MAC 계층에 따라 다르기 때문에, 본 논문에서는 IEEE 802.16 Mesh Mode 표준을 사용했을 때 이용 가능한 대역폭과 평균 지연의 측정 방법을 다음과 같이 제안한다.

(1) 이용 가능한 대역폭 측정

IEEE 802.16 Mesh Mode는 물리 계층으로써 OFDM을 사용하고 MAC 계층으로써 TDMA를 사용한다. 메쉬 라우터는 제어 채널에서 제어 메시지를 통해 2홉 떨어진 이웃 메쉬 라우터와 정보를 교환하고, 이를 바탕으로 스케줄링 과정을 수행하여 데이터 채널에 자원을 할당한다. 데이터 채널은 여러 개의 시간 슬롯 (Time Slot)으로 이루어져 있기 때문에, 메쉬 라우터는 데이터 채널의 시간 슬롯의 수를 계산함으로써 쉽게 대역폭을 측정할 수 있다. 즉, 사용되지 않는 시간 슬롯의 수가 두 개의 메쉬 라우터 사이의 링크의 이용 가능한 대역폭이 된다.

(2) 평균 지연 측정

이용 가능한 대역폭 측정과 함께, 메쉬 라우터는 자신과 이웃 메쉬 라우터 사이의 무선 링크의 지연

정보를 측정해서 이웃 메쉬 라우터에게 알려야 한다. 메쉬 라우터가 지연 정보를 측정하는 방법은 제어 메시지를 이용하는 것이다. 제안한 라우팅 프로토콜은 테이블 관리 방식의 라우팅 프로토콜이기 때문에, 주기적으로 제어 메시지를 브로드캐스트한다. 제어 메시지를 통해 지연을 측정하기 위해서, 메쉬 라우터는 제어 메시지에 타임 스탬프 (Time Stamp)를 기록하여 브로드캐스트하고, 이를 받은 이웃 메쉬 라우터는 제어 메시지를 받은 순간의 타임 스탬프와 비교하여 제어 메시지의 지연을 주기적으로 측정하게 된다. 순간적인 무선 링크의 급격한 변화로 인해 지연 측정값이 빈번하게 변하는 것을 막기 위해서, 일정 시간 또는 정해진 홉수 동안에 측정된 지연 값들의 평균을 사용한다. 메쉬 라우터는 평균 지연 정보를 주기적으로 측정하고 이를 제어 메시지에 첨부하여 브로드캐스트 한다.

4.3 경로 설정 방법

일반적으로, QoS 라우팅은 QoS 요구사항을 만족하는 경로를 결정하기 위한 라우팅 메트릭으로 대역폭, 지연, 지연 지터, 전달률, 손실률 그리고 비용 등의 QoS 파라미터를 고려한다. QoS 라우팅의 계산 복잡도는 라우팅 메트릭을 구성하는 파라미터에 의해서 주로 결정되며, QoS 파라미터는 계산 방법에 따라 3가지로 분류될 수 있다. 지연, 지연 지터, 홉 수 그리고 비용과 같은 덧셈 (Additive) 파라미터, 전달률과 같은 곱셈 (Multiplicative) 파라미터, 그리고 대역폭과 같은 최소/최대 (Min/Max or Concave) 파라미터⁹⁾. QoS 파라미터로 조합할 수 있는 다수의 결합에서 각각의 QoS 파라미터가 서로 독립적일 때, QoS 라우팅은 NP-완전 (NP-Complete)의 복잡도를 갖는다¹⁰⁾. 따라서 제안한 라우팅 프로토콜은 복잡도 문제를 해결하기 위해서, 라우팅 메트릭을 구성하는 기본적인 QoS 파라미터로써 대역폭과 지연을 고려하고, 대역폭 파라미터에 우선순위를 부여하는 방법을 제안한다. 즉, QoS를 만족하는 경로를 계산할 때, QoS 트래픽이 요구하는 최소 임계치 이상의 대역폭을 가지는 경로를 먼저 찾고, 대역폭을 만족하는 경로가 하나 이상이 존재할 때, 그 QoS 트래픽이 요구하는 최대 임계치 이하의 지연을 가지는 경로를 선택한다.

3.2절에서 언급한 대로, 5개의 스케줄링 서비스의 QoS 요구사항을 만족하는 라우팅 경로를 개별적으로 계산하는 것은 라우팅 계산 복잡도나 자원 면에서 매우 비효율적이다. 본 논문에서 제안하는 방법

은 QoS 파라미터들에 우선순위를 부여하기 때문에, 대역폭과 지연뿐만 아니라 추가로 더 많은 파라미터들 (예를 들어, 지연 지터, 패킷 전달률, 등)을 라우팅 메트릭에 적용할 수 있고, 파라미터의 우선순위를 변경함으로써 여러 개의 라우팅 메트릭을 조합할 수 있다. 또한, 파라미터의 임계치를 변경하게 되면, 파라미터의 우선순위가 같은 라우팅 메트릭이라도 다른 QoS 요구사항을 만족시킬 수 있는 다양한 라우팅 메트릭이 만들어질 수 있기 때문에 제안하는 방식은 다수의 QoS 트래픽을 지원하는 라우팅 프로토콜로 확장하기가 매우 용이하다.

QoS 정보의 빈번한 변화와 멀티-홉 네트워크 특성 때문에 발생하는 문제점들을 라우팅 메트릭에 반영하기 위해서, 제안한 라우팅 프로토콜은 QoS 정보를 주고받는 영역을 2홉 이웃 노드로 제한하고, 라우팅 경로 계산 시에도 마찬가지로 2홉 이웃 노드까지만 계산하는 방법을 4.2절에서 제안하였다. 그런데 2홉 이웃 노드까지만 계산하는 방법은 홉간 라우팅에서 루프-없는 라우팅이 될 수 없다. 또한, QoS 정보는 시간의 흐름에 따라 변화가 심하기 때문에, QoS 정보를 라우팅 메트릭으로 사용하는 라우팅 프로토콜은 네트워크의 성능에 매우 해로울 수 있다. 그런 라우팅 프로토콜은 라우팅 메트릭의 빈번한 변화로 인해 많은 양의 제어 메시지를 유발하게 되고, 라우팅 경로 계산은 수렴되지 않으며, 결과적으로 네트워크 불안정을 일으키게 되어 전체 네트워크를 붕괴시킬 수 있다. 이런 현상은 이미 유선 네트워크에서 많은 연구와 실험을 통해 증명되어 왔고, 무선 메쉬 네트워크에서도 동일한 현상이 일어날 것이다.

라우팅 루프, 빈번한 QoS 정보의 변화 그리고 무선 메쉬 네트워크 환경을 라우팅 메트릭에 모두 반영하기 위해서, 라우팅 메트릭에 QoS 정보와 홉 정보를 같이 고려한다. 메쉬 라우터는 주기적인 제어 메시지를 통해 QoS 정보에 추가로 홉 정보를 얻는데, 2홉 이웃 메쉬 라우터에게만 전달되는 QoS 정보와 달리, 홉 정보는 같은 게이트웨이에 속한 메쉬 라우터라면 모두 받을 수 있도록 네트워크 전체에 브로드캐스트 된다.

본 논문에서 제안하는 경로 설정 방법은 다음과 같다. 1번부터 8번까지의 메쉬 라우터가 하나의 게이트웨이에 속해있는 그림 4의 네트워크에서 2번 메쉬 라우터가 GW를 목적지로 하는 라우팅 경로를 계산한다고 가정하자. 각각의 메쉬 라우터는 같은 게이트웨이에 속한 주위의 모든 메쉬 라우터로부터

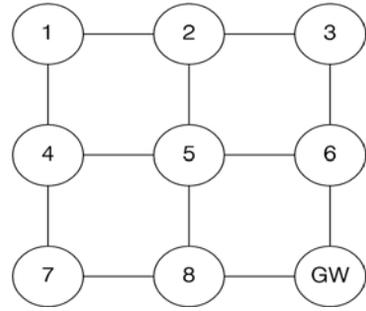


그림 4. 경로 설정 방법을 위한 예제

홉 정보를 받게 될 것이고, 2홉 이웃 노드들에게서 QoS 정보를 받을 것이다. 먼저, QoS 경로를 계산하기 위해서, 2번 메쉬 라우터는 2홉 경로들을 선택한다. 그림 4에서, 2번 메쉬 라우터의 2홉 경로는 2 → 3 → 6, 2 → 5 → 6, 2 → 5 → 8, 2 → 5 → 4, 2 → 1 → 4이다.

이 때, 2번 메쉬 라우터가 주위 이웃 노드들로부터 받은 QoS 정보가 그림 5와 같다고 가정하자. 그림 5에서, 지연 정보에 괄호 안의 숫자는 측정된 평균 지연 정보가 어느 메쉬 라우터의 평균 지연 정보인지를 나타낸다. 예를 들어, 그림 5에서 왼쪽 위의 0ms (2)는 1번 메쉬 라우터가 측정된 2번 메쉬 라우터의 평균 지연 정보이다. 2번 메쉬 라우터는 라우팅 경로를 계산하기 위해서, 5개의 2홉 경로들 중에서 일정한 대역폭과 지연을 만족하는 2홉 경로를 찾는다. 예를 들어, QoS 요구사항을 만족하는 임계치가 각각 대역폭 2Mbps 이상, 지연 3ms 이하라면, 경로 2 → 3 → 6 (대역폭: 2Mbps, 지연: 3ms)과 경로 2 → 1 → 4 (대역폭: 3Mbps, 지연: 1ms)가 선택될 것이다. 앞서 논의한대로, QoS 정보와 홉 정보를 라우팅 메트릭에 동시에 고려하기 위해서, 제안하는 라우팅 메트릭은 다음의 공식을 적용하여 최종적으로 계산한다.

$$\text{Routing Metric} =$$

$$\text{Hop Count} \times (1 - w) + \sum_{\text{source}}^{2 - \text{hop}} (\text{Link Delay} \times w) \quad (1)$$

여기서, Hop Count는 송신 노드에서 목적지 노드까지 라우팅 경로의 홉 수이고, Link Delay는 2홉 노드까지의 지연 값이다. 공식에 지연 값만을 사용하는 이유는 QoS 파라미터들의 우선순위에 따라 지연을 가장 마지막에 고려하기 때문이다. 만약 대역폭과 지연에 추가로, 손실률을 마지막 QoS 파라

미터로 고려한다면, 공식에 지연 값 대신에 손실률을 대입해야 할 것이다. w 는 Hop Count와 Link Delay의 적용비율을 정하는 파라미터로써 $0 \leq w \leq 1$ 의 값을 가지며, 1.0은 지연만을 라우팅 메트릭으로 사용한다는 것을 의미하고, 0.0은 홉 수만 사용한다는 것을 의미한다. V장에서 논의될 시물레이션에 앞서, w 값에 대한 여러 시물레이션을 수행하였고, 0.4의 파라미터 값을 사용하는 경우에 가장 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

앞에서 논의하였던, 그림 5에서 2홉 경로 계산의 예제로 다시 돌아가 보자. QoS 요구사항을 만족하는 선택된 2개의 경로 중에 경로 2 → 3 → 6은 최종 목적지인 게이트웨이까지의 홉 수가 3홉이고, 경로 2 → 1 → 4는 최종 목적지까지의 홉 수가 5홉이다. 만약 홉 정보와 QoS 정보를 동시에 고려하지 않는 QOLSR이라면, 경로 2 → 1 → 4의 QoS 정보가 경로 2 → 3 → 6보다 더 큰 대역폭과 더 작은 지연을 가지고 있기 때문에 라우팅 테이블에 다음 홉으로 기록할 것이다. 그러나 QOLSR이 선택한 경로 2 → 1 → 4는 5홉의 경로이기 때문에, 3홉의 경로보다 더 많은 홉을 거치게 되고 앞서 논의한 여러 문제점들이 발생할 가능성이 높다. 제안하는 라우팅 메트릭 공식에 대입해서 계산하면, 경로 2 → 1 → 4는 3홉의 Hop Count와 3ms의 지연 값을 가지므로 3.0의 라우팅 메트릭 값을 가지고, 경로 2 → 3 → 6은 5홉의 Hop Count와 1ms의 지연 값을 가지므로, 3.4의 라우팅 메트릭 값을 가지게 된다. 따라서 QoS 트래픽이 요구하는 QoS 정보를 만족하면서 동시에 최소 홉 수를 가지는 경로는 2 → 1 → 4이고 2번 메쉬 라우터는 라우팅 테이블에 다음 홉으로써 1번 메쉬 라우터를 기록하게 된다. 이렇게 계산된 라우팅 메트릭 값은 QoS 정보를 통해 QoS 요구사항을 반영하면서, 홉 정보를 통해 QoS 트래픽이 전달되는 과정에서 발생하는 성능 저하도 동시에 반영할 수 있다.

IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 모든 메쉬 라우터는 지금까지 논의된 제어 메시지의 처리 방법, QoS 정보 측정 방법 그리고 경로 설정 방법을 통해 라우팅 테이블을 작성하고, 주기적으로 또는 네트워크의 토폴로지가 변경될 때 QoS 정보와 홉 정보가 담긴 제어 메시지를 브로드캐스팅함으로써 송신 노드에서 목적지 노드까지 경로를 찾는 것뿐만 아니라, QoS 요구사항을 보장할 수 있는 최적 경로를 찾을 수 있다.

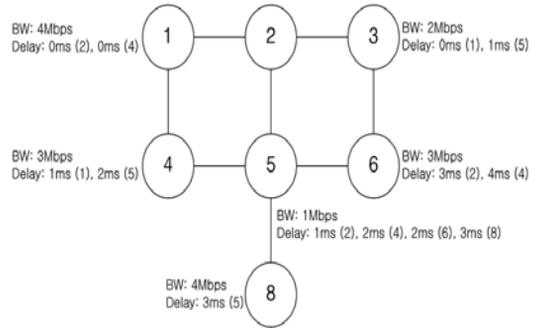


그림 5. 2홉 경로 계산을 위한 QoS 정보

V. 성능 분석 및 비교

5.1 시물레이션 환경

본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜의 성능을 평가 및 비교하기 위해서, NS-2 기반의 시물레이터를 구현하였다. 물리 계층과 MAC 계층은 IEEE 802.16 Mesh Mode를 바탕으로 하였고, QoS 정보를 수집해서 제안한 라우팅 프로토콜로 전달하는 크로스-레이어 (Cross-layer) 형태로 수정하였다. 또한, 홉 정보와 QoS 정보를 1홉 이웃에게만 알리는 제어 메시지는 2초마다, 전체 네트워크의 홉 정보와 2홉 이웃들의 QoS 정보가 담긴 제어 메시지는 6초마다 주기적으로 발생시키도록 설정하였다.

그림 6은 제안한 라우팅 프로토콜의 성능 분석 및 비교를 위한 네트워크 토폴로지를 게이트웨이의 역할을 같이 수행하는 1개의 메쉬 라우터와 24개의 보통의 메쉬 라우터로 구성된다. 각각의 메쉬 라우터는 목적지를 게이트웨이로 하는 일정 속도의 VoIP 트래픽을 발생시킨다. 시물레이션에서 사용된 VoIP 트래픽은 IEEE 802.16e 표준에 정의된 5개의 스케줄링 서비스 중에서 UGS (Unsolicited Grant Services)에 해당하는 QoS 트래픽이다. 제안한 라우팅 프로토콜은 표준에 정의된 UGS의 QoS 파라미터를 참고하여 대역폭 최소 임계치는 64Kbps이상, 지연 최대 임계치는 100ms이하로 설정하였다.

테이블 관리 방식의 라우팅 프로토콜에서는 라우팅 테이블을 만들기 위해서 제어 메시지를 교환하는 시간이 필요하기 때문에, 각각의 메쉬 라우터는 시물레이션 시작 후 25초 이후부터 VoIP 트래픽을 발생하도록 설정하였고, 시물레이션 과정은 300초 동안 지속된다. 무선 메쉬 네트워크에서 메쉬 라우터는 이동성이 거의 없기 때문에 이동 시나리오

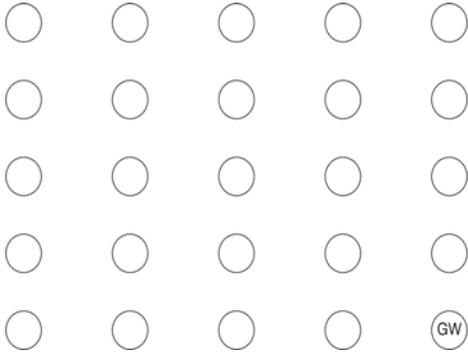


그림 6. 성능 분석 및 비교를 위한 네트워크 토폴로지

표 1. 시뮬레이션 파라미터

항목	설정 값
시뮬레이션 토폴로지	5 × 5 Grid Topology
시뮬레이션 시간	300초
노드의 수	25개
노드간의 거리	100m
전송 거리	100m
PHY, MAC 프로토콜	IEEE 802.16 Mesh Mode
트래픽	VoIP 트래픽
패킷 크기	1000 bytes
패킷 속도	0.5 ~ 1.5 packets/s

고려하지 않았다. 시뮬레이션에서 사용된 파라미터 들은 표 1에 정리하였다.

5.2 시뮬레이션 결과

한 쌍의 송신 노드와 목적지 노드의 관점이 아니라, 네트워크 전체의 관점에서 라우팅 프로토콜의 성능을 분석 및 비교하기 위해서, 네트워크의 트래픽 부하 (Load)가 변할 때, 모든 메쉬 라우터와 게이트웨이 사이의 단대단 지연, 패킷 전달률 그리고 라우팅 오버헤드를 측정하였다. 모든 메쉬 라우터의 결과 값들 중에서 가장 좋은 측정값과 좋지 않은 측정값을 제외하고 나머지 측정값들의 평균을 내어 그림 7, 8, 9에 나타내었다.

그림 7은 네트워크의 트래픽 부하가 증가할수록 평균 단대단 지연이 증가함을 보여준다. 제안한 라우팅 프로토콜은 어떤 트래픽 속도에서도 QOLSR보다 더 낮은 단대단 지연을 가진다. 게다가, QOLSR은 트래픽 속도가 1packet/s인 경우에 평균

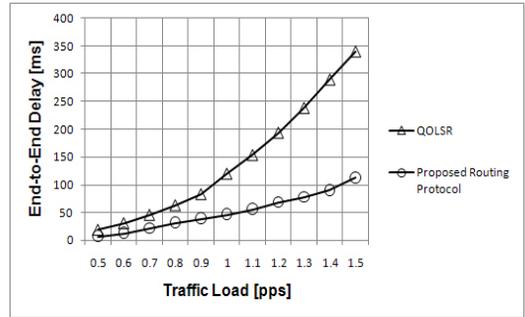


그림 7. 트래픽 부하 변화에 따른 단대단 지연

단대단 지연이 VoIP 트래픽의 지연 최대 임계치를 초과하기 때문에 QoS 요구사항을 만족시키지 못한다. 그에 반해 제안한 라우팅 프로토콜은 1.4packet/s의 트래픽 속도까지 지연 임계치를 초과하지 않는다. 이것은 QOLSR이 라우팅 메트릭으로 홉 수를 고려하지 않아서, QoS 요구사항을 만족하는 경로가 여러 개가 존재할 때, 그 중에서 더 긴 홉 수를 가진 경로를 판단할 수 없기 때문이다.

또한, 트래픽 속도가 증가할수록 네트워크의 트래픽 부하가 증가하면서, 제안한 라우팅 프로토콜과 QOLSR의 성능 차이가 점점 크게 벌어짐을 볼 수 있다. 그 이유는 QOLSR이 QoS 정보의 빈번한 변화를 라우팅 메트릭에 반영하지 않아서, 트래픽 부하가 증가한 현재 네트워크의 상황을 빠르게 인식하지 못할 뿐만 아니라, 네트워크의 상황에 상관없이 반드시 QMPR을 선택해야 하는 의무 때문이다. 무선 메쉬 네트워크는 주위의 메쉬 라우터들의 수가 고정되어 있어 QMPR로 선택할 수 있는 메쉬 라우터의 개수가 유한하다. 만약 네트워크의 트래픽 부하가 증가하여 주위의 모든 메쉬 라우터들이 QoS 요구사항을 만족시킬 수 없다면, 메쉬 라우터는 QMPR을 선택할 수 없게 되고, 결과적으로 주위에 QMPR을 알려줄 수 없게 된다. QMPR을 선택하지 못한다는 것은 QoS 트래픽을 전송할 수도 받을 수도 없다는 것을 의미한다. 따라서 QOLSR은 네트워크 트래픽 부하가 증가할 때 QoS 요구사항을 보장할 수 있는 가능성이 점차 감소하기 때문에, QoS 성공률이 점차 감소하게 되고, 제안한 라우팅 프로토콜보다 성능 저하가 크게 발생한다.

그림 8은 네트워크 트래픽 부하 변화에 따른 패킷 전달률을 보여준다. 그림 8은 네트워크의 트래픽 부하가 증가할수록 패킷 전달률이 감소하는 특성을 보이고, 단대단 지연의 경우와 마찬가지로, 제안하

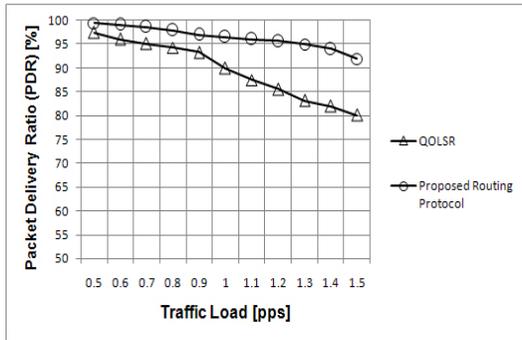


그림 8. 트래픽 부하 변화에 따른 패킷 전달률

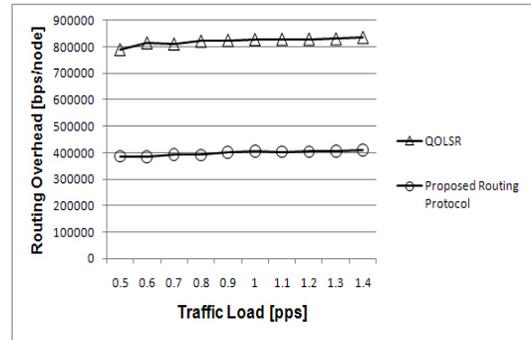


그림 9. 트래픽 부하 변화에 따른 라우팅 오버헤드

는 라우팅 프로토콜이 모든 경우에서 QOLSR에 비해 좋은 성능을 보인다. QOLSR은 단대단 지연의 최대 임계치를 만족시키지 못한 1packet/s의 트래픽 속도부터 급격한 성능 저하를 일으킨다. 그 이유는 단대단 지연에서 논의하였던 QOLSR의 문제점들에 덧붙여, QOLSR에서 VoIP 트래픽은 제안한 라우팅 프로토콜에 비해서 상대적으로 더 많은 홉 수를 거치기 때문이다. VoIP 트래픽은 VoIP 세션 (Session)이 시작되고 종료될 때까지, 메쉬 라우터가 일정한 대역폭을 보장해야 하는 QoS 트래픽이기 때문에, 하나의 메쉬 라우터를 거치는 VoIP 트래픽이 많아질수록 그 메쉬 라우터의 이용 가능한 대역폭의 크기는 점차 줄어들게 된다. 제안한 라우팅 프로토콜은 QoS 요구사항을 만족하면서 최소 홉 수를 갖는 경로를 선택하기 때문에, 트래픽 부하가 증가할 때 이용 가능한 대역폭이 부족해지는 메쉬 라우터의 수가 QOLSR에 비해 상대적으로 느리게 증가한다. 결과적으로, 이것은 QoS 보장률을 증가시키게 되고, 네트워크의 성능을 향상시킨다.

그림 9는 네트워크 트래픽 부하 변화에 따라 네트워크에서 발생시킨 라우팅 오버헤드 패킷의 양을 보여주고 있다. 제안하는 라우팅 프로토콜과 QOLSR은 둘 다 테이블 관리 방식의 홉 간 QoS 라우팅 프로토콜이기 때문에, 트래픽 부하가 변화하더라도 일정한 양의 라우팅 오버헤드를 갖는다. 그러나 제안한 라우팅 프로토콜은 QoS 정보를 주고받는 메쉬 라우터의 수를 2홉으로 제한하기 때문에, 전체 네트워크로 브로드캐스트 되는 제어 메시지의 패킷 크기가 QOLSR에 비해 더 작아져서, 더 적은 양의 라우팅 오버헤드를 갖는다. 그에 반해 QOLSR은 네트워크 전체의 QMPR과 QoS 정보를 제어 메시지에 담아 브로드캐스트하기 때문에 제어 메시지의 패킷 크기가 상대적으로 더 커지게 되어, 더 많은 양의 라우팅 오버헤드를 갖는다.

VI. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 QoS 메쉬 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 먼저, 기존에 이동 Ad Hoc 라우팅 프로토콜의 연구를 바탕으로 무선 메쉬 네트워크에 가장 적합한 라우팅 프로토콜이 테이블 관리 방식의 홉 간 라우팅 프로토콜임을 보이고, 현재 많은 연구가 이루어지고 있는 IEEE 802.11 기반의 무선 메쉬 네트워크보다 커버리지, 전송속도, QoS 지원 등의 측면에서 많은 장점을 가지는 IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크를 연구하였다. 네트워크 모델을 제안하고 그에 적합한 테이블 관리 방식의 홉 간 QoS 라우팅 프로토콜을 제안하였다.

본 논문에서는 대역폭과 지연을 기본적인 QoS 파라미터로 고려하고, IEEE 802.16 Mesh Mode 표준을 하위 계층으로 사용했을 때 이용 가능한 대역폭과 평균 지연을 측정하는 방법을 제안하였다. 그리고 라우팅 메트릭으로써 QoS 정보뿐만 아니라, 홉 정보도 같이 사용함으로써, 이동 Ad Hoc 네트워크와 다른, 무선 메쉬 네트워크의 특별한 무선 멀티-홉 환경을 고려하였다.

본 논문에서 제안하는 QoS 메쉬 라우팅 프로토콜의 성능을 분석 및 비교하기 위한 시뮬레이션에서 제안한 QoS 메쉬 라우팅 프로토콜이 IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크 환경에서 QOLSR에 비해 단대단 지연, 패킷 전달률, 라우팅 오버헤드 측면에서 모두 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] Ian F. Akyildiz, Xudong Wang, "A Survey on Wireless Mesh Networks," *IEEE Radio Communications*, pp. 23-30, September 2005.
- [2] Tzu-Jane Tsai, Ju-Wei Chen, "IEEE 802.11 MAC Protocol over Wireless Mesh Networks: Problems and Perspectives," *In Proceedings of the 19th International Conference on AINA*, March 2005.
- [3] IEEE 802.16d-2004, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks- Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," *IEEE*, October 2004.
- [4] IEEE 802.16e-2005, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks- Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," *IEEE*, February 2006.
- [5] Y. Yang, J. Wang, R. Kravets, "Designing Routing Metrics for Mesh Networks," *IEEE WiMesh*, September 2005.
- [6] H. Badis, K. A. Agha, "Quality of Service for ad hoc Optimized Link State Routing Protocol," *Internet Draft*, draft-badis-man-et-qolsr-05.txt, March 2007.
- [7] T. Clausen, P. Jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol," *IETF RFC3626*, October 2003.
- [8] "IEEE 802.11s Working Group," http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgs_update.htm.
- [9] Pragyansmita Paul, S. V. Rahavan, "Survey of QoS Routing," *In Proceedings of the 15th International Conference on Computer Communications*, August 2002.
- [10] Z. Wang, J. Crowcroft, "Quality of Service Routing for Supporting Multimedia Applications," *IEEE JSAC*, pp. 1228-1234, September 1996.
- [11] "UM-OLSR Implementation web site," <http://masimum.dif.um.es/>.

김 민 (Min Kim)

준회원



2007년 8월 광운대학교 전자통신공학과 졸업
 2007년 9월~현재 광운대학교 전자통신공학과(석사과정)
 <관심분야> Wireless Mesh Networks, QoS, Mobility Management

김 화 성 (Hwa-sung Kim)

정회원



1981년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업
 1983년 2월 고려대학교 전자공학과(석사)
 1996년 Lehigh Univ. 전산학(박사)
 1984년 3월~2000년 2월 ETRI 책임연구원
 2000년 3월~현재 광운대학교 전자통신공학과 교수
 <관심분야> Wireless Internet, NGN 미들웨어 환경, Streaming service