

WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 QoS를 지원하는 라우팅 프로토콜

(A Routing Protocol supporting QoS in WiMAX based
Wireless Mesh Networks)

김 민 * 김 화 성 **
(Min Kim) (Hwasung Kim)

요약 이 논문은 WiMAX기반의 무선 메쉬 네트워크에서 QoS를 지원하는 라우팅 프로토콜을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜은 대역폭과 지연을 QoS 파라미터로 사용하여 QoS 요구사항을 만족시키는 최적 경로를 찾는 테이블 관리(table-driven or proactive) 방식의 홉 간(hop-by-hop) QoS 라우팅 프로토콜이다. 우리는 먼저 WiMAX기반의 무선 메쉬 네트워크의 네트워크 모델을 소개하고, WiMAX기반의 무선 메쉬 네트워크에서 QoS 라우팅 프로토콜이 필요한 이유를 설명한다. 그리고 나서 단말과 게이트웨이 사이를 왕복하는 트래픽의 QoS를 보장하는 테이블 관리 방식의 홉 간 QoS 라우팅 프로토콜을 제안한다. 성능평가를 위한 시뮬레이션은 제안하는 라우팅 프로토콜이 QOLSR 프로토콜에 비하여 단대단 지연(end-to-end delay)이 낮고, 패킷 전달률(Packet Delivery Ratio)이 높으며, 라우팅 오버헤드 패킷량을 줄일 수 있음을 보여준다.

키워드 : 무선 메쉬 네트워크, 와이맥스, 테이블 관리, QoS 라우팅

Abstract In this paper, we propose a QoS routing protocol for WiMAX based wireless mesh networks. The proposed routing protocol is a proactive hop-by-hop QoS routing protocol. It can find an optimal route that satisfies QoS requirements using bandwidth and delay as QoS parameters. In this paper, we first present a network model for WIMAX based wireless mesh networks and explain why QoS routing protocol is the most appropriate for WiMAX based wireless mesh networks. Then, we propose a proactive hop-by-hop QoS routing protocol that meets QoS requirements of traffic flowing between mesh client and the gateway. The simulation results show that the proposed routing protocol outperforms QOLSR protocol in terms of end-to-end delay, packet delivery ratio and routing overhead.

Key words : Wireless Mesh Networks, WiMAX, table-driven, QoS routing

1. 서론

최근 무선 통신 기술의 발달로 인해 무선 네트워크를 백본 네트워크로 사용하는 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구 중에 가장 활발히 진행되고 있는 기술은 무선 메쉬 네트워크이다. 무선 메쉬 네트워크는 유선과 비교해서 보다 적은 비용으로 무선 백본(backbone) 네트워크를 빠르게 구성할 수 있어 매우 효율적이다. 무선 메쉬 네트워크는 메쉬 라우터와 메쉬 클라이언트, 두 가지 형태의 노드로 구성된다. 메쉬 라우터는 같은 종류의 네트워크뿐만 아니라, 서로 다른 네트워크를 연결시켜줄 수 있는 브리지의 역할과 인터넷 연결을 제공하는 게이트웨이 역할을 한다. 또한, 무선 메쉬 라우터는 무선 백본을 구성하여 메쉬 라우터들 사이에 연결성(connectivity)

* 본 연구는 한국과학재단 특장기초연구(R01-2006-000-10199-0) 지원 및 2007년 광운대학교 교내연구비 지원으로 수행하였습니다.

* 학생회원 : 광운대학교 전자통신공학과
beyond@kw.ac.kr

** 종신회원 : 광운대학교 전자통신공학과 교수
hwkim@kw.ac.kr

논문접수 : 2008년 5월 13일

심사완료 : 2009년 1월 29일

Copyright©2009 한국정보과학회: 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저술물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제36권 제1호(2009.2)

tivity)과 mesh 클라이언트들에게 네트워크 서비스를 제공하고, 이동성이 거의 없으며, 전력 소비에 제한이 없다. 한편, mesh 클라이언트는 mesh 라우터에 속해 서비스를 받는 무선 단말으로써, 고정적이거나 움직이는 노드 둘 다 가능하다[1].

무선 mesh 네트워크는 토폴로지(topology) 형태와 무선 멀티 홉 네트워크라는 점에서 이동 Ad hoc 네트워크와 많은 유사점을 갖지만, 라우팅 기능을 수행하는 mesh 라우터가 이동성이 거의 없고, 전력 소비에 제한이 없으며, mesh 클라이언트들에게 네트워크 서비스를 제공하는 무선 백본 네트워크로 사용된다는 점에서 기존의 이동 Ad hoc 네트워크와 또 다른 특성을 가진다. 따라서 기존의 이동 Ad hoc 네트워크에서 제안된 라우팅 프로토콜과는 다른 새로운 라우팅 프로토콜이 필요하다.

한편, 현재 무선 mesh 네트워크는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜을 사용한 무선 LAN을 바탕으로 많은 연구가 이루어지고 있다. 무선 LAN 기반의 무선 mesh 네트워크는 기존의 유선 AP(Access Point)를 무선 AP로 수정하고, 무선 AP들 사이의 멀티 홉(multi-hop) 통신을 통해 무선 단말들에게 네트워크 서비스를 제공한다. 그런데, 무선 LAN 기반의 무선 mesh 네트워크는 유선 네트워크에 비해 낮은 용량의 무선 링크를 공유하기 때문에, 노드 당 사용 가능한 실제 링크 용량은 더욱 낮아지는 문제점이 존재한다. 이런 문제점은 mesh 라우터에 속한 많은 mesh 클라이언트들의 데이터와 다른 mesh 라우터의 데이터를 동시에 처리해야 하는 백본 네트워크의 광대역 무선 통신에 적합하지 않다. 또한, IEEE 802.11 MAC 프로토콜인 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)는 원래 멀티 홉 무선 네트워크를 위해서가 아닌, 단일 홉(single-hop) 무선 LAN 환경을 위해서 설계되었기 때문에 mesh 라우터들간 홉 연결성을 위한 MAC 프로토콜로서 적합하지 않다[2]. 따라서, 본 논문에서는 WiMAX와 Mobile WiMAX를 바탕으로 무선 mesh 네트워크를 구성하는 WiMAX기반의 무선 mesh 네트워크에 주목한다. WiMAX기반의 무선 mesh 네트워크는 무선 LAN 기반의 무선 mesh 네트워크보다 더 넓은 커버지리와 더 높은 대역폭을 제공하기 때문에, 무선 백본에 적합하다. 게다가, 이동성을 지원하기 때문에, 사용자들에게 인터넷 서비스뿐만 아니라 멀티미디어 데이터 서비스도 끊임없이 제공할 수 있다.

본 논문에서 앞서 연구된 [3]은 기존의 Ad Hoc 네트워크와 다른 무선 mesh 네트워크의 특성을 고려하여 QoS 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 그러나 [3]은 테이블 관리 방식 라우팅 프로토콜의 단점인 라우팅 오버헤드가

증가하는 문제를 고려하지 않았기 때문에 무선 mesh 네트워크에서 성능 저하가 발생할 수 있다. 또한, 무선 mesh 네트워크에서 발생하는 대부분의 트래픽이 게이트웨이와 mesh 라우터를 왕복한다는 점을 고려하지 않았기 때문에 무선 mesh 네트워크에서 QoS 요구사항을 만족시키지 못할 수 있다. 따라서 본 논문은 연구 [3]을 바탕으로 라우팅 오버헤드를 줄이고 QoS를 보장하기 위해서 계층적인 토폴로지와 다중 경로를 이용한 라우팅 프로토콜을 제안한다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성된다. 2장은 관련 연구로서, 본 논문에서 연구하는 WiMAX기반의 무선 mesh 네트워크 모델을 살펴보고 성능을 비교할 QOLSR에 대해 간략히 설명한다. 3장에서는 새롭게 제안하는 라우팅 프로토콜에 대하여 자세히 설명하고, 4장에서는 제안하는 라우팅 프로토콜에 대한 성능 향상 여부를 시뮬레이션 결과를 통해 검증한다. 마지막으로, 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 WiMAX 기반의 무선 mesh 네트워크

본 논문에서 제안하는 WiMAX기반의 무선 mesh 네트워크 모델은 그림 1과 같다. WiMAX기반의 무선 mesh 네트워크는 일반적인 무선 mesh 네트워크와 유사한 구조를 가지고, 무선 BS(Base Station)간 그리고 무선 BS와 ASN-GW(Access Service Network-Gateway) [4]사이에서 무선 백본을 형성한다. 그림 1의 네트워크 모델은 mesh 라우터의 기능이 추가된 무선 BS, mesh 라우터의 기능에 추가로 외부 네트워크와 WiMAX기반의 무선 mesh 네트워크를 서로 연결하는 게이트웨이의 기능이 추가된 ASN-GW 그리고 mesh 클라이언트의 역할을 하는 MS(Mobile Subscriber)로 구성된다. 무선 BS는 기본적으로 두 종류의 네트워크 인터페이스(interface)를 사용하는데, 하나는 무선 BS들 사이의 무선 mesh 네트워크를 구성하기 위한 백홀(backhaul) 프로토콜

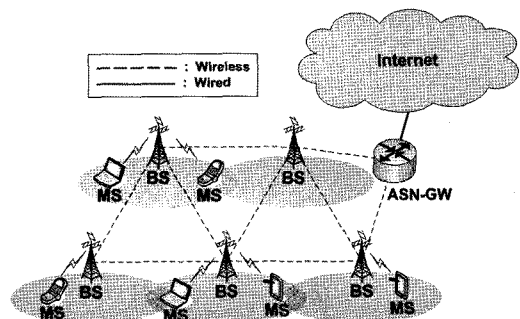


그림 1 WiMAX 기반의 무선 mesh 네트워크

로써 WiMAX Mesh Mode[5]를 사용하고, 다른 하나는 메쉬 클라이언트인 MS에게 네트워크 접속 서비스를 제공하기 위해서 Mobile WiMAX[6,7]를 사용한다. ASN-GW는 WiMAX Mesh Mode와 게이트웨이 역할을 수행하기 위한 별도의 인터페이스가 필요하다. MS는 Mobile WiMAX기반의 메쉬 클라이언트로써, 기존의 WiMAX시스템에서 사용하는 무선 이동단말과 같다.

2.2 QOLSR

QOLSR[8]은 이동 Ad hoc 네트워크를 위해서 제안된 OLSR(Optimized Link State Routing Protocol) [9]을 QoS 라우팅으로 확장한 라우팅 프로토콜이다. QOLSR은 QoS 정보를 전체 네트워크에 퍼뜨리고 QoS 요구사항을 만족하는 라우팅 경로를 찾기 위해서, QMPR(QoS Multipoint Relay) 선택 알고리즘을 제안하고 HELLO 메시지와 TC(Topology Control) 메시지의 형식을 변경한다.

QMPR 선택 알고리즘은 인접한 2 홉 이웃 노드들 중에서 MPR(Multipoint Relay)을 선택하는 OLSR의 MPR 선택 알고리즘과 유사하지만, QoS 요구사항을 고려하기 위해서, 선택된 MPR 중에 QMPR을 추가로 선택하는 것이다. 즉, 선택된 여러 MPR 중에서 대역폭을 최대로 하고 지연을 최소로 하는 MPR을 QMPR로 선택한다. QMPR을 선택하기 위해서, 각각의 노드들은 홉 정보에 추가로, 자신의 2홉 이웃 노드들에 대한 QoS 정보를 필요로 한다. 그래서 HELLO 메시지들은 1홉 이웃 노드들 사이의 QoS 정보 교환을 지원하기 위해서 변경되고, 각각의 노드는 HELLO 메시지를 통해 이용 가능한 대역폭과 지연을 자신의 1 홉 이웃들에게 알린다. HELLO 메시지를 받은 노드는 QMPR 선택 알고리즘을 사용해서 자신들의 QMPR을 선택할 수 있다.

TC 메시지는 OLSR의 그것들과 유사하지만, 무선 링크와 관련된 QoS 정보를 추가로 전달할 수 있도록 수정되었다. 선택된 MPR들은 QoS 정보를 포함한 TC 메시지를 전체 네트워크에 퍼뜨리고, 각각의 노드는 TC 메시지에서 얻은 정보들을 바탕으로, 경로 계산 알고리즘을 사용해서 라우팅 경로를 계산한다. QOLSR의 경로 계산 알고리즘은 임의의 송신 노드에서 하나의 목적지 노드까지 최적 경로를 계산할 때, 자신이 속한 인접 지역에서 자신이 선택한 QMPR과 TC 메시지를 통해서 받은 자신이 속하지 않은 지역의 QMPR을 바탕으로 전체 네트워크의 부분적인 토폴로지를 만들고, TC 메시지의 QoS 정보를 바탕으로 가장 짧고-넓은(shortest-widest) 경로를 선택한다. 다시 말해, 송신 노드에서 목적지 노드까지 QMPR로 이루어진 넓은 대역폭을 가지는 경로가 여러 개가 존재한다면, 그 중에 가장 짧은 지연을 가진 경로가 선택된다.

3. 제안하는 라우팅 프로토콜

본 장에서는 WiMAX기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 QoS 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안하는 라우팅 프로토콜은 WiMAX기반의 무선 메쉬 네트워크에 속한 단말들의 QoS 트래픽이 게이트웨이까지 보장될 수 있는 테이블 관리 방식의 홉 간 QoS 라우팅 프로토콜이다. 또한, 무선 메쉬 네트워크에서는 메쉬 라우터와 게이트웨이 사이에 계층적인(hierarchical) 토폴로지를 구성할 수 있기 때문에, 이를 활용하여 테이블 관리 방식 라우팅 프로토콜의 가장 큰 문제점인 라우팅 오버헤드를 줄이고, 라우팅 경로 재설정 과정이 빠르게 수행될 수 있는 라우팅 프로토콜이다. 게다가, 이동 Ad hoc 네트워크와 다르게, 무선 메쉬 네트워크에서는 메쉬 라우터와 게이트웨이 사이를 왕복하는 데이터의 흐름이 가장 많기 때문에, 각각의 메쉬 라우터는 목적지가 게이트웨이일 때만 다중 경로를 설정함으로써 QoS를 보장할 수 있는 성공률을 높이고, 결과적으로 네트워크의 전체 성능을 향상시킬 수 있는 라우팅 프로토콜이다.

3.1 기본적인 아이디어

3.1.1 WiMAX 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 라우팅 프로토콜의 고려사항

WiMAX표준은 물리 계층과 MAC 계층에 대해서만 정의하기 때문에, 무선 메쉬 네트워크에서 적용하기 위해서는 라우팅 프로토콜과 같은 상위 계층에 대한 많은 연구가 필요한 실정이다. 또한, 현재 무선 메쉬 네트워크는 IEEE 802.11 표준을 바탕으로 많은 연구가 진행되었다. 이미 표준화가 완료된 WiMAX Mesh Mode와 달리, IEEE 802.11 기반의 무선 메쉬 네트워크는 IEEE 802.11s에서 표준화가 진행 중이다[10]. WiMAX Mesh Mode와 IEEE 802.11s 둘 다 메쉬 네트워크를 지원하기 때문에, IEEE 802.11s에서 연구된 라우팅 기법과 같은 연구 결과들을 WiMAX기반의 무선 메쉬 네트워크에 적용할 수 있다고 가정할 수 있다. 그러나, 두 개의 MAC 프로토콜은 서로 매우 다르기 때문에 직접적으로 이용할 수 없다.

한편, 본 논문에서 제안하는 WiMAX무선 메쉬 네트워크에서 메쉬 라우터에 속한 메쉬 클라이언트들은 메쉬 라우터에 접속하기 위한 무선 접속 기술로써 Mobile WiMAX를 사용한다. Mobile WiMAX표준의 다양한 핵심 기능들 중에 한 가지는 단말의 QoS 요구사항을 보장하는 것이다. 그러므로 WiMAX기반의 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,

반대로 게이트웨이에서 네트워크로 유입되는 QoS 트래픽을 올바른 메쉬 라우터에게 전달해야 한다.

라우팅 프로토콜의 관점으로 볼 때, QoS 트래픽을 다루기 위해서는 WiMAX 표준에서 정의한 5개의 스케줄링 서비스(Scheduling Service)의 QoS 요구사항을 만족하는 라우팅 경로를 각각 계산해야 한다. 그런데 5개의 스케줄링 서비스는 서로 다른 QoS 요구사항을 가지기 때문에 각각의 스케줄링 서비스를 위한 5개의 라우팅 경로가 필요할 것이다. 그러나 5개의 라우팅 경로를 구하는 것은 라우팅 계산 복잡도(complexity)나 메쉬 라우터의 자원 면에서 매우 비효율적이기 때문에 본 논문에서 제안하는 방법은 5개의 스케줄링 서비스의 요구사항 중에서 공통적으로 고려되는 대역폭과 지연을 라우팅 매트릭의 기본 QoS 파라미터로 정하고, 이를 바탕으로 QoS 라우팅 경로를 계산한다.

지금까지 논의한 대로, 두 MAC 프로토콜의 차이점 때문에 WiMAX기반의 무선 메쉬 네트워크에서는 기존의 IEEE 802.11 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 연구되었던 라우팅 프로토콜을 직접적으로 이용할 수 없고, 메쉬 클라이언트의 QoS 요구사항들 때문에 라우팅 프로토콜을 QoS 라우팅 프로토콜로 확장하는 설계 과정이 필요하다.

3.1.2 테이블 관리 방식의 QoS 라우팅 프로토콜

테이블 관리 방식의 라우팅 프로토콜을 바탕으로 QoS 라우팅 프로토콜을 설계하게 되면, 메쉬 라우터들은 주기적으로 교환된 제어 메시지들을 바탕으로 사전에 약속된 QoS 요구사항들을 만족하는 최적 경로를 미리 계산한다. 그리고 나서 데이터를 전송할 다음 홉을 결정해서 자신의 라우팅 테이블에 기록한다. 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 각각의 메쉬 라우터들이 최적 경로를 얻기 위해서 주기적으로 수집된 정보를 바탕으로 미리 계산을 하기 때문에, 송신 노드에서 최적 경로를 계산할 때와 실제 QoS 트래픽이 최적 경로상의 메쉬 라우터들을 거쳐갈 때 사용 가능한 자원이 달라지는 상황이 빈번하게 발생할 수 있다. 예를 들어, 그림 2에서 메쉬 라우터 A가 Time 1에서 QoS 정보 QoS 1을 측정하였다고 가정하자. 메쉬 라우터 A는 측정된 QoS 1을 주위의 메쉬 라우터들에게 브로드캐스트할 것이다. 무선 링크에서는 거리가 증가할수록 신호의 세기가 감소하기 때문에, QoS 1은 몇 개의 홉을 거쳐 같은 메쉬 네트워크에

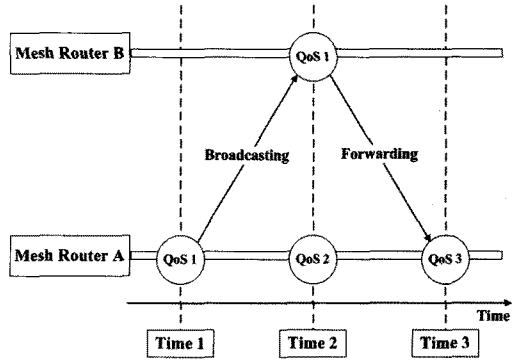


그림 2 시간에 따른 QoS 정보의 변화

속한 다른 메쉬 라우터 B에게 Time 2에 전달되게 되고, 당연히 메쉬 라우터 B는 Time 2에 받은 메쉬 라우터 A의 QoS 1을 바탕으로 라우팅 경로를 계산할 것이다. 그러나 시간이 흐르면서 Time 2에 메쉬 라우터 A의 QoS 정보는 QoS 2가 되고, B가 계산할 때 사용한 QoS 1과 다른 QoS 정보를 가지게 된다. 게다가, 무선 링크의 QoS 정보를 측정하고 이웃 노드들에게 알리기 위해서 제어 메시지를 주기적으로 브로드캐스팅해야 하므로, 라우팅 오버헤드가 증가하는 단점이 발생한다.

3.1.3 QOLSR의 문제점

2.2절에서 살펴본 QOLSR은 MPR과 QMPR 선택 알고리즘을 사용해서 효과적인 브로드캐스트 구조를 제공하고 링크 메시지들의 수를 줄인다. QOLSR이 테이블 관리 방식의 홉 간 QoS 라우팅 프로토콜이기 때문에, WiMAX기반의 무선 메쉬 네트워크에도 적용될 수 있다고 가정할 수 있다. 그러나, QOLSR은 다음과 같은 많은 단점들을 가지기 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 토폴로지에서 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 계산할 때 홉 수를 고려하지 않는다. QOLSR에서 TC 메시지에 의해서 광고된 많은 QMPR이 존재할 것이고, 그것들을 바탕으로 만들 수 있는 경로들의 집합은 다양할 것이다. QMPR로 만들어진 다양

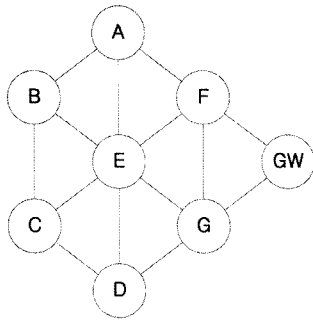


그림 3 QOLSR의 문제점

한 경로들 중에 하나의 최적 경로를 선택하기 위해서, QOLSR은 대역폭과 지연만을 고려해서 최적 경로로 선택한다. 그런데, 일반적으로 무선 멀티 홉 네트워크에서는 라우팅 경로의 홉 수가 증가함에 따라서, 연속된 홉들간의 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 QoS를 만족하는 최적 경로이지만 홉 수로는 최적 경로가 될 수 없기 때문에 무선 멀티 홉 네트워크에서는 성능 저하가 발생할 것이다. 따라서, 이런 문제점을 해결하기 위해서는 QoS와 홉 수를 동시에 고려한 라우팅 메트릭을 사용해서 라우팅 경로를 선택하는 것이 필요하다.

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, 토폴로지에 따라 변화하는 홉 수는 시간이 흘러도 거의 변화가 없지만, QoS에 영향을 주는 대역폭, 지연, 지연 지터(jitter) 등은 시간의 흐름에 따라 수시로 변할 것이다. 따라서, 메쉬 라우터들은 이웃에게서 받은 QoS 정보와 홉 정보를 무선 메쉬 네트워크 환경에 맞도록 서로 다르게 처리해야 한다. 또한, 무선 메쉬 네트워크에서는 메쉬 라우터와 게이트웨이가 계층적인 토폴로지를 형성하기 때문에 제어 메시지가 광고되는 네트워크 크기를 제한함으로써 라우팅 오버헤드를 줄일 수 있다. 게다가, 무선 메쉬 네트워크에서는 대부분의 트래픽이 메쉬 라우터와 게이트웨이 사이를 왕복하는 트래픽이기 때문에 메쉬 라우터와 게이트웨이 사이의 데이터 전송에 신뢰성을 높이고, 네트워크 성능을 높이기 위하여 다중경로 라우팅이 필요하다.

3.2 제어 메시지의 처리와 QoS 정보 측정 방법

3.2.1 제어 메시지의 처리 방법

본 논문에서 제안하는 제어 메시지의 처리 방법은 다음과 같다. 3.1.2절에서 논의된 것처럼, QoS 정보가 여러 홉을 거치게 되면 최신의 QoS 정보가 될 수 없기 때문에, 본 논문에서는 QoS 정보가 전달되는 홉 수를 2홉으로 제한한다. 측정된 QoS 정보, 즉 대역폭과 지연은 자신의 2홉 이웃 노드들까지만 전달되고 홉 정보, 즉 홉 수는 네트워크에 속한 모든 노드들에게 전달된다. 임의의 노드가 인접한 이웃 노드들로부터 QoS 정보와 홉 정보가 포함된 제어 메시지를 받았을 때, 만약 1홉 이웃 노드로부터 받은 제어 메시지라면, QoS 정보와 홉 정보 둘 다 자신이 기존에 가지고 있었던 정보와 비교해야 한다. 기존의 정보와 변경된 내용이 있다면, 그 노드가 다음에 자신의 제어 메시지를 브로드캐스트 할 때, 이웃 노드로부터 받았던 QoS 정보와 홉 정보 둘 다 자신의 제어 메시지에 포함해서 브로드캐스트 해야 한다. 만약 2홉 떨어진 이웃 노드의 제어 메시지라면, 1홉의 경우와 마찬가지로 QoS 정보, 홉 정보 둘 다 자신의 정보와 비교하지만, 2홉만큼 떨어진 노드의 QoS 정보는 자신의 제어 메시지에 포함하지 않고 이웃 노드들에게 브로드캐스팅 해야 한다. 만약 3홉 이상 떨어진 이웃 노드로부터 받은 제어 메시지라면, 홉 정보만 비교하고, 자신의 제어 메시지에 변경된 홉 정보만 포함해서 다시 브로드캐스트 한다. 이렇게 함으로써, 메쉬 라우터들은 주위의 2홉 이웃 노드까지의 QoS 정보와 같은 메쉬 네트워크에 속한 모든 메쉬 라우터까지의 홉 수를 가지게 된다.

3.2.2 QoS 정보 측정 방법

제어 메시지를 통한 QoS 정보 측정 방법은 하위 계층인 물리 계층과 MAC 계층에 따라 다르며, 본 논문에서는 WiMAX Mesh Mode를 사용했을 때 이용 가능한 대역폭과 평균 지연의 측정 방법을 다음과 같이 제안한다.

3.2.2.1 이용 가능한 대역폭 측정

WiMAX Mesh Mode는 물리 계층으로써 OFDM을 사용하고 MAC 계층으로써 TDMA를 사용한다[5]. 메쉬 라우터는 제어 채널에서 제어 메시지를 통해 자신과 2홉 떨어진 이웃 노드들과 정보를 교환하고 이를 바탕으로 스케줄링 과정을 수행하여 데이터 채널에 자원을 할당한다. 데이터 채널은 여러 개의 시간 슬롯으로 이루어져 있기 때문에, 메쉬 라우터는 자신의 시간 슬롯의 수를 계산함으로써 쉽게 대역폭을 측정할 수 있다. 즉, 사용되지 않는 시간 슬롯의 수가 두 개의 노드 사이의 무선 링크의 이용 가능한 대역폭이 된다.

3.2.2.2 평균 지연 측정

메쉬 라우터가 지연 정보를 측정하고 계산할 수 있는 방법은 제어 메시지를 이용하는 것이다. 제안하는 라우팅 프로토콜은 테이블 관리 방식의 라우팅 프로토콜이

기 때문에, 주기적으로 제어 메시지를 브로드캐스트한다. 메시 라우터는 자신이 브로드캐스트하는 제어 메시지에 타임 스탬프(time stamp)를 기록하여 브로드캐스트하고 이를 받은 이웃 메시 라우터들은 자신이 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 횟수 동안에 측정한 지연 값들의 평균을 사용한다. 메시 라우터는 평균 지연 정보를 주기적으로 측정하고 자신의 제어 메시지에 첨부하여 브로드캐스트 한다.

3.3 경로 설정 방법

일반적으로, QoS 라우팅은 QoS 요구사항을 만족하는 경로를 결정하기 위한 라우팅 메트릭으로 대역폭, 지연, 지연 지터, 전달률, 손실을 그리고 비용 등의 파라미터들을 고려한다. QoS 라우팅의 계산 복잡도는 라우팅 메트릭을 구성하는 파라미터들에 의해서 주로 결정되며, 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) 파라미터[11]. QoS 파라미터들의 가능한 다수의 결합에서 파라미터들이 서로 독립적일 때, QoS 라우팅은 NP-완전(NP-Complete)의 복잡도를 갖는다[12]. 따라서, 제안하는 라우팅 프로토콜은 복잡도 문제를 해결하기 위해서, 라우팅 메트릭으로서 대역폭과 지연, 두 가지를 고려하고, 대역폭 파라미터에 우선 순위를 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.

QoS 정보의 빈번한 변화와 멀티-홉 네트워크 특성 때문에 발생하는 문제점들을 라우팅 메트릭에 반영하기 위해서, 제안하는 라우팅 프로토콜은 QoS 정보를 주고 받는 영역을 2홉 이웃 노드들로 제한하고, 라우팅 경로 계산 시에도 마찬가지로 2홉 이웃 노드까지만 계산하는 방식을 3.2.1절에서 제안하였다. 그런데, 2홉 이웃 노드까지만 계산하는 것은 홉 간 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 메시 네트워크에서도 동일한 현상이 일어날 가능성이 높다.

라우팅 루프, 빈번한 QoS 정보의 변화 그리고 무선 멀티 홉 환경을 라우팅 메트릭에 모두 반영하기 위해서, 라우팅 메트릭에 QoS 정보와 홉 정보를 같이 고려한다. 무선 메시 네트워크는 노드들의 이동성이 거의 없으므로 홉 정보는 변화가 거의 없다. 즉, 한번 토폴로지가 형성되면 새로운 노드가 진입하거나 떠나지 않는 한 그 토폴로지는 계속 유지 된다. 2홉 이웃 노드에게만 전달되는 QoS 정보와 다르게, 홉 정보는 같은 게이트웨이에 속한 메시 라우터라면 모두 받을 수 있도록 네트워크 전체로 브로드캐스트 된다.

본 논문에서 제안하는 경로 설정 방법은 다음과 같다. 1번부터 8번까지의 메시 라우터가 하나의 게이트웨이에 속해있는 그림 4의 네트워크에서 2번 메시 라우터가 GW를 목적지로 하는 라우팅 경로를 계산한다고 가정하자. 각각의 메시 라우터는 같은 게이트웨이에 속한 주위의 모든 메시 라우터부터 홉 정보를 받게 될 것이고, 2홉 이웃 노드들에게서 QoS 정보를 받을 것이다. 먼저, QoS 경로를 계산하기 위해서 2번 메시 라우터는 2홉 경로들을 선택한다. 그림 4에서, 2번 메시 라우터의 2홉 경로는 2→3→6, 2→5→6, 2→5→8, 2→5→4, 2→1→4이다.

이 때, 2번 메시 라우터가 주위 이웃 노드들로부터 받은 QoS 정보가 그림 5와 같다고 가정하자. 그림 5에서,

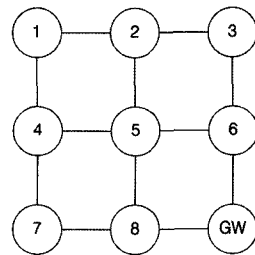


그림 4 경로 설정 방법을 위한 토폴로지 예제

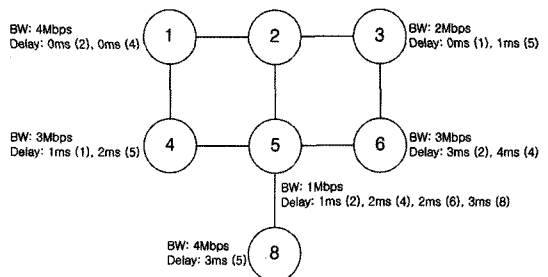


그림 5 2홉 경로 계산을 위한 QoS 정보

지연 정보에 괄호 안의 숫자는 측정한 평균 지연 정보가 어느 메쉬 라우터의 평균 지연 정보인지를 나타낸다. 예를 들어, 그림 5에서 왼쪽 위의 0ms(2)는 1번 메쉬 라우터가 측정한 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 2Mbps이상, 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.

$$\begin{aligned}
 & \text{Routing Metric} = \\
 & \text{Hop Count} \times (1-w) + \sum_{\text{source}}^{2-\text{hop}} (\text{Link Delay} \times w) \quad (1)
 \end{aligned}$$

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. w는 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 수만을 사용한다는 것을 의미한다. 5장에서 논의될 시뮬레이션에 앞서, w값에 대해 많은 시뮬레이션을 수행하였고, 0.4의 파라미터 값을 사용하는 경우에 가장 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

앞에서 논의하였던, 그림 5의 2홉 경로 계산의 예제로 다시 돌아가보자. 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 라우팅 메트릭에 홉 정보와 QoS 정보를 동시에 고려하지 않는 QOLSR이라면, 경로 2→1→4의 QoS 정보가 경로 2→3→6보다 더 큰 대역폭과 더 적은 지연을 가지고 있기 때문에 다음 홉으로 선택될 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 메트릭은 QoS 정보를 통해 직접적으로 QoS 요구사항에 영향을 끼치는 여러 가지 정보들(대역폭, 지연 등)을 고려하면서, 홉 수가 증가하여 QoS 트래픽이 전달되는 과정에서 발생하는 성능 저하도 동시에 고려할 수 있다.

3.4 계층적인 토폴로지

테이블 관리 방식은 요구 기반 방식의 라우팅 프로토콜보다 서비스 요구 시 빠른 응답이 가능하다는 장점이 있지만, 주기적으로 제어 메시지의 브로드캐스팅을 수행해서 네트워크의 전체 토폴로지를 유지하는 라우팅 테이블을 관리해야 하기 때문에, 라우팅 오버헤드가 크다는 단점이 존재한다. 본 논문에서는 메쉬 라우터와 게이트웨이의 계층적인 토폴로지를 이용하여 네트워크의 크기를 제한함으로써, 라우팅 오버헤드를 줄이는 방식을 제안한다.

그림 6에 나타난 것처럼, 메쉬 라우터 A와 B는 서로 다른 게이트웨이에 속한 메쉬 라우터이지만, 서로 1홉 이웃이고 무선 링크의 브로드캐스트 특성으로 인해 제어 메시지를 서로 주고 받을 수 있다. 만약 네트워크 크기를 제한하지 않는다면, 메쉬 라우터 A는 메쉬 라우터 B에 대한 QoS 정보와 홉 정보를 주위 메쉬 라우터들에게 알릴 것이고 메쉬 라우터 B도 마찬가지로 메쉬 라우터 A에 대한 정보를 주위 메쉬 라우터들에게 알려줄 것이다. 이렇게 다른 게이트웨이에 속한 메쉬 라우터들의 정보도 모두 알린다면, 네트워크의 크기가 점점 커질수록 라우팅 오버헤드가 증가하게 되는 확장성 문제가 발생한다.

네트워크의 크기를 제한하기 위해서 본 논문에서는 다음과 같은 방식을 제안한다. 메쉬 라우터는 제어 메시지 안에 자신이 속한 게이트웨이에 대한 정보를 표시함으로써 자신이 어느 게이트웨이에 속해있는지를 이웃 메쉬 라우터들에게 알린다. 주위의 이웃 메쉬 라우터들로부터 제어 메시지를 받을 때, 다른 게이트웨이에 속한

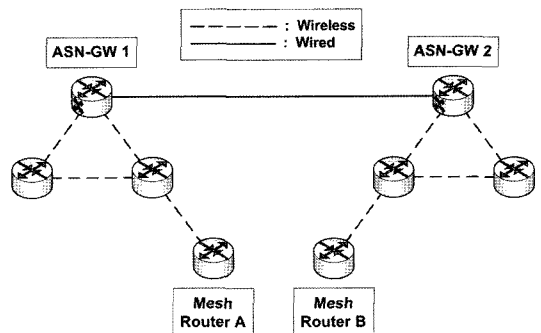


그림 6 서로 다른 게이트웨이에 속한 메쉬 라우터들

메쉬 라우터의 제어 메시지라면, 그 제어 메시지에 담긴 QoS 정보와 홉 정보는 자신의 제어 메시지에 포함시키지 않고, 브로드캐스트한다.

그런데, 이렇게 네트워크의 크기를 같은 게이트웨이에 속한 메쉬 라우터로 제한하게 되면 다른 게이트웨이에 속한 메쉬 라우터와의 통신은 무조건 자기가 속한 게이트웨이를 거쳐서 통신하게 된다. 즉, 그림 6에서, 메쉬 라우터 A와 B는 서로 다른 게이트웨이에 속해있기 때문에, 메쉬 라우터 A가 메쉬 라우터 B와 통신하려면 메쉬 라우터 A는 자기가 속한 게이트웨이(ASN-GW1)를 반드시 거쳐서 통신해야 한다. 그런데, 직접 통신할 수 있는 1홉 경로보다 오히려 더 많은 홉 수를 가지는 경로를 선택하게 되므로, 더 좋지 않은 경로를 선택하게 되는 문제점이 발생한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서, 서로 다른 게이트웨이에 속해 있는 메쉬 라우터는 1홉 이웃인 경우에만 직접 통신이 가능하도록 설정한다. 앞서 논의한 대로 네트워크의 크기를 제한하기 위해서, 서로 다른 게이트웨이에 속한 메쉬 라우터의 제어 메시지 정보들은 브로드캐스트 되지 않는다. 그러나, 1홉 이웃인 경우에만 직접 통신이 가능하도록 설정하기 위해서, 제어 메시지의 정보들 중에서 다른 게이트웨이에 속한 메쉬 라우터의 1홉 QoS 정보와 홉 정보는 버리지 않고, 기존에 사용중인 라우팅 테이블이 아닌 별도의 라우팅 테이블에 기록하여 필요할 경우에 이를 사용한다. 단, 다른 게이트웨이에 속한 메쉬 라우터들의 홉 수를 모두 기록하는 것이 아니라, 간단히 어느 메쉬 라우터가 속해있는지만 기록한다. 예를 들어, 그림 6에서 메쉬 라우터 A와 B는 서로 인접한 1홉 이웃이지만, 다른 게이트웨이에 속해있기 때문에 네트워크 크기를 제한하게 되면 서로 직접 통신할 수 없을 것이다. 메쉬 라우터 A는 메쉬 라우터 B로부터 받은 제어 메시지에서 1홉 QoS 정보와 홉 정보를 별도의 라우팅 테이블에 기록한다. 메쉬 라우터 A는 별도의 라우팅 테이블을 통해서 B로 향하는 링크의 QoS 정보를 알 수 있고, 다른 게이트웨이(ASN-GW2)에 속한 메쉬 라우터들을 알 수 있을 것이다.

이렇게 네트워크 크기를 제한하면, QoS와 홉 정보의 변화로 인한 라우팅 경로 재설정 과정이 빠르게 수행할 수 있기 때문에, 라우팅 테이블 갱신 시간을 줄일 수 있고, 라우팅 오버헤드의 증가를 막을 수 있는 장점이 있다. 게다가, 별도의 라우팅 테이블을 이용함으로써, 3계층 핸드오버나 로드 밸런싱 기법에 활용할 수 있다.

3.5 다중경로 설정

이동 Ad hoc 네트워크와 다르게, 무선 메쉬 네트워크는 대부분의 트래픽이 메쉬 라우터와 게이트웨이를 왕복하는 특성을 지닌다. 그러므로, 목적지로 가는 다음

홉 정보를 여러 개 가지는 다중경로를 이용한다면 데이터 전송에 신뢰성을 높여 네트워크의 성능을 높일 수 있다. 게다가 홉 간 라우팅 프로토콜에서 다중경로를 이용하면, 데이터를 보내기 직전에 다음 홉을 여러 개로 선택할 수 있기 때문에, 홉 간 다중경로가 되어 데이터 분산의 효과를 추가적으로 얻을 수가 있다. 이는 전체 네트워크에 데이터 양이 많아질 때, 메쉬 라우터가 조건에 따라 다음 홉을 다르게 하여 데이터를 전송함으로써 네트워크 전체로 데이터를 분산시켜 병목현상이 되는 메쉬 라우터가 발생하지 않게 할 수 있고, 경로에 오류가 발생했을 때 대체 경로를 빠르게 선택할 수 있는 장점이 있다.

다중경로에 대한 기존의 연구들은 다중경로를 설정하는 방법에 대한 연구를 주로 해왔다. 그런데 본 논문에서 제안하는 테이블 관리 방식의 라우팅 프로토콜에서 다중경로를 이용하게 되면, 각각의 메쉬 라우터는 네트워크의 모든 목적지에 대해 다중경로를 설정해야 한다. 이렇게 모든 목적지에 대해 다중경로를 설정하는 것은 상당한 메모리 요구사항을 강요할 것이고 라우팅 테이블을 조회할 때 많은 지연을 유발할 것이다. 또한, 무선 메쉬 네트워크에서 대부분의 트래픽은 메쉬 라우터와 게이트웨이를 왕복하기 때문에, 목적지가 게이트웨이가 아닌 같은 네트워크에 속한 다른 메쉬 라우터라면, 그 목적지로 가는 다중경로는 게이트웨이에 비해서 상대적으로 사용될 것이고, 이는 매우 비효율적이다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같은 다중경로 설정 방법을 제안한다.

제안하는 방식은 네트워크의 여러 개의 목적지 중에서 게이트웨이를 목적지로 하는 경로만 다중경로로 설정하고, 그 외의 목적지로 가는 경로들은 단일경로로 설정한다. 다중경로 설정 기준은 3.3절에서 논의하였던 경로설정 방법의 라우팅 매트릭 공식에서 쉽게 얻을 수 있다. 계산된 라우팅 매트릭 값에 따라 서로 다른 경로가 되고, 라우팅 매트릭 값이 더 낮은 값일수록, 최적의 경로를 의미하기 때문에, 이를 통해 다중경로를 쉽게 설정할 수 있다. 제안된 방식은 다중경로 설정을 위한 추가 제어 메시지를 발생시키지 않고, 단순히 경로설정 과정에서 계산된 수치를 바탕으로 다중경로를 설정하기 때문에, 복잡도에도 영향을 주지 않는다.

4. 성능 평가

4.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜의 성능을 평가하기 위해서, NS-2 기반의 시뮬레이터를 구현하였다. 물리 계층과 MAC 계층은 WiMAX 표준의 Mesh Mode를 사용하였고, 라우팅 프로토콜과 크로스 레이어

표 1 시뮬레이션 파라미터

항목	설정 값
토폴로지	Grid
시뮬레이션 시간	250초
노드의 수	5개~41개
노드간의 거리	100m
전송 거리	100m
PHY, MAC	WiMAX Mesh Mode
트래픽	VoIP 트래픽
패킷 크기	1000bytes
패킷 속도	200pkts/s

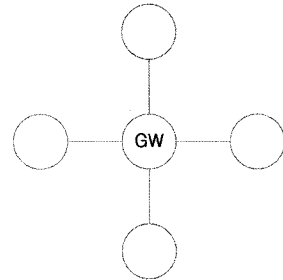


그림 7 성능 측정을 위한 초기 토폴로지

형태로 동작할 수 있도록 수정하였다. 테이블 관리 방식의 라우팅 프로토콜에서는 시뮬레이션이 시작된 이후에 노드들이 제어 메시지를 교환하고 라우팅 테이블을 만들기 위한 시간이 필요하기 때문에, 모든 시뮬레이션에서 각각의 메쉬 라우터는 시뮬레이션 시작 후 25초가 지나서부터 VoIP 트래픽을 발생시킨다. 또한, 1홉 이웃에게 자신의 홉 정보와 QoS 정보를 알리는 제어 메시지는 2초마다, 자신이 수집한 네트워크의 홉 정보와 QoS 정보가 포함된 제어 메시지는 6초마다 주기적으로 발생시키도록 설정하였다. 네트워크 크기가 변하면서 트래픽 양이 변하는 시나리오에서 네트워크 전체의 평균 단대단 지연, 평균 패킷 전달률, 라우팅 오버헤드를 측정하였다. 무선 메쉬 네트워크에서 메쉬 라우터는 이동성이 거의 없기 때문에 이동 시나리오는 고려하지 않았다. 시뮬레이션에서 사용된 파라미터들은 표 1에 정리하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

이 시나리오에서는 네트워크의 크기를 변화시키기 위해서 같은 게이트웨이에 속한 메쉬 라우터의 수를 변화시키고 그에 따른 네트워크의 성능 변화를 측정하였다. 메쉬 라우터의 현실적인 배치를 고려하기 위해서 그림 7과 같이 하나의 게이트웨이에 속한 초기 메쉬 라우터의 수는 5개로 정하고 메쉬 라우터를 4방향에 한 개씩 추가함으로써 4개씩 증가시켜 네트워크의 크기를 변화시켰다. 본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜은 라우팅 오버헤드를 줄이기 위해서 무선 메쉬 네트워크 크기를 제한하므로 25개의 메쉬 라우터를 하나의 무선 메쉬 네트워크로 간주하도록 설정하였다. 즉, 메쉬 라우터가 4개씩 추가되다가 25개가 되면 이후에 추가된 메쉬 라우터는 다른 무선 메쉬 네트워크로 인식한다. 각각의 네트워크 크기마다 시뮬레이션은 250초 동안 지속되며, 모든 메쉬 라우터는 목적지를 게이트웨이로 하는 VoIP 트래픽을 발생시킨다. 전체 네트워크 관점에서 성능을 비교 및 분석하기 위해서 모든 메쉬 라우터의 결과값들 중에서 가장 좋은 측정값과 좋지 않은 측정값을 제외한 나

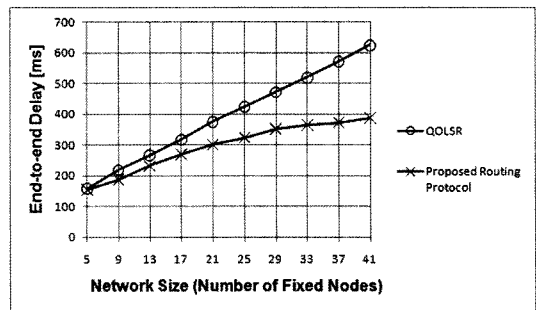


그림 8 평균 단대단 지연

머지 측정값들의 평균을 내어 그림 8, 9, 10에 나타내었다.

그림 8은 네트워크에 메쉬 라우터의 수가 증가할수록 평균 단대단 지연이 증가함을 보여준다. 제안한 라우팅 프로토콜은 모든 네트워크 크기에서 QOLSR보다 더 낮은 단대단 지연을 가진다. 네트워크의 크기가 점점 증가하면 VoIP 트래픽을 발생시키는 메쉬 라우터의 수가 증가하여 단대단 경로의 홉 수가 증가하게 되고 네트워크에 트래픽이 많아지게 된다. 라우팅 메트릭으로 홉 수를 고려하지 않는 QOLSR은 QoS 요구사항을 만족하는 다수의 경로 중에서 어느 경로가 더 적은 홉 수를 갖는지 선택할 수 없기 때문에 제안한 라우팅 프로토콜보다 더 큰 단대단 지연을 가진다. 또한, 네트워크 크기가 증가할수록 제안한 라우팅 프로토콜과 QOLSR의 성능 차이가 점점 심해지는 것을 알 수 있다. 그 이유는 QOLSR이 QoS 정보의 빈번한 변화를 라우팅 매트릭에 반영하지 않기 때문에 네트워크 크기가 커져 트래픽 부하가 증가한 현재 네트워크의 상황을 빠르게 인식하지 못하기 때문이다. 게다가, 제안한 라우팅 프로토콜은 홉 간 다중 경로를 통해서 목적지가 게이트웨이인 트래픽을 서로 다른 경로로 전송할 수 있기 때문에 네트워크 전체로 트래픽을 분산시킬 수 있다. 네트워크 크기가 점점 커져 VoIP 트래픽이 증가하면 QoS 요구사항을 만족시킬 수 있는 경로가 점점 줄어들기 때문에 QoS 성공률이 감소하게 되는데, 제안한 라우팅 프로토콜은 홉 간

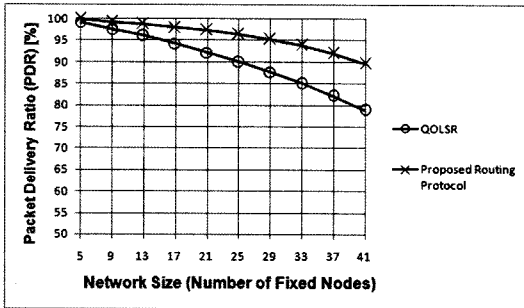


그림 9 패킷 전달률

다중 경로를 통해 트래픽을 분산시켜 병목현상을 막고 QoS 요구사항을 만족하지 못하는 경로가 발생했을 때 대체 경로를 빠르게 선택할 수 있기 때문에 단일 경로만을 사용하는 QOLSR에 비해 단대단 지연에서 좋은 성능을 나타낸다.

그림 9는 네트워크 크기 변화에 따른 패킷 전달률을 보여준다. 네트워크 크기가 증가할수록 패킷 전달률이 감소하고, 단대단 지연과 마찬가지로 모든 경우에서 제안한 라우팅 프로토콜이 QOLSR에 비해 좋은 성능을 보인다. 그 이유는 앞서 단대단 지연에서 논의하였던 QOLSR의 문제점들에 추가로, QOLSR에서 VoIP 트래픽은 제한한 라우팅 프로토콜에 비해 더 많은 홉 수를 거치기 때문이다. VoIP 트래픽은 VoIP 세션(Session)이 시작되어 종료될 때까지 일정한 대역폭을 보장해야 하는 QoS 트래픽이기 때문에, 메쉬 라우터를 거치는 VoIP 트래픽이 증가할수록 그 메쉬 라우터가 다른 VoIP 트래픽에 할당할 수 있는 대역폭이 점차 감소하게 된다. 제한한 라우팅 프로토콜은 QoS 요구사항을 만족하면서 최소 홉 수를 갖는 경로를 선택하고, 홉 간 다중 경로를 설정하여 전체 네트워크로 트래픽을 분산시킨다. 따라서 네트워크 크기가 증가하여 트래픽 양이 증가하더라도 대역폭을 보장할 수 없는 메쉬 라우터의 수가 QOLSR에 비해 느리게 증가하기 때문에 좋은 성능을 나타낸다.

그림 10은 네트워크 크기 변화에 따라 네트워크에서 발생된 라우팅 오버헤드 패킷 양의 변화를 보여주고 있다. 네트워크 크기가 증가하여 메쉬 라우터가 추가되면 제한한 라우팅 프로토콜과 QOLSR 둘 다 추가된 메쉬 라우터에 관한 라우팅 경로를 만들기 때문에 라우팅 오버헤드가 점차 증가한다. 그런데 QOLSR은 메쉬 라우터의 수가 25개가 되는 시점부터 라우팅 오버헤드가 제안한 라우팅 프로토콜보다 급격히 증가한다. 그 이유는 앞서 언급한 대로 제안한 라우팅 프로토콜은 하나의 무선 메쉬 네트워크를 25개의 메쉬 라우터로 제한하여 계층적인 토폴로지를 구성하지만 QOLSR은 추가되는 메

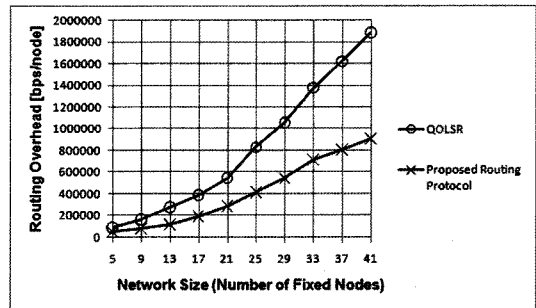


그림 10 라우팅 오버헤드

쉬 라우터를 모두 하나의 네트워크로 인식해서 라우팅 오버헤드를 줄일 수 없기 때문이다. 게다가 제한한 라우팅 프로토콜은 QoS 정보를 주고받는 메쉬 라우터의 수를 2홉으로 제한하기 때문에 전체 네트워크로 브로드캐스트되는 제어 메시지의 패킷 크기가 QOLSR보다 더 작아져서 네트워크 크기가 커지더라도 더 적은 양의 라우팅 오버헤드를 갖는다. 그에 비해 QOLSR은 네트워크 전체의 QMPR과 QoS 정보를 제어 메시지에 포함하여 브로드캐스트하기 때문에 제어 메시지의 패킷 크기가 상대적으로 커지게 되어 더 많은 양의 라우팅 오버헤드를 갖는다. 라우팅 오버헤드가 많아지게 되면 전체 네트워크 대역폭에서 제어 메시지가 차지하는 비중이 증가하기 때문에 네트워크의 성능 저하를 일으킨다.

5. 결론

본 논문에서는 WiMAX기반의 무선 메쉬 네트워크에 적합한 QoS 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 현재 많은 연구가 이루어지고 있는 IEEE 802.11 기반의 무선 메쉬 네트워크보다 커버리지, 전송속도, 이동성 관리, QoS 지원 등의 측면에서 많은 장점을 가지는 WiMAX기반의 무선 메쉬 네트워크를 연구하였다. WiMAX무선 메쉬 네트워크의 모델을 제안하고 그에 적합한 테이블 관리 방식의 홉 간 QoS 라우팅 프로토콜을 제안하였다.

본 논문에서는 대역폭과 지연을 QoS 파라미터로 고려하고, WiMAX Mesh Mode를 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. 또한 본 논문에서 앞서 연구되었던 논문에서 추가로 무선 메쉬 네트워크의 계층적인 토폴로지를 이용하여 테이블 관리 방식의 가장 큰 문제점 중에 하나인 라우팅 오버헤드를 줄여 라우팅 경로 재설정 과정이 빠르게 수행할 수 있도록 제안하였고, 무선 메쉬 네트워크의 트래픽 패턴을 이용하여 메쉬 라

우터가 게이트웨이를 목적지로 하는 트래픽만 다중 경로를 설정하게 함으로써 전체 네트워크의 성능을 향상시켰다.

시뮬레이션을 통해서, 본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜이 WiMAX기반의 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 and Xudong Wang, "A Survey on Wireless Mesh Networks," IEEE Radio Communications, pp. 23-30, September 2005.
- [2] Tzu-Jane Tsai and Ju-Wei Chen, "IEEE 802.11 MAC Protocol over Wireless Mesh Networks: Problems and Perspective," In Proceedings of the 19th International Conference on AINA, March 2005.
- [3] 김민, 김화성, "IEEE 802.16 기반의 무선 메쉬 네트워크를 위한 QoS 메쉬 라우팅 프로토콜", 한국통신학회 논문지, Vol.32, No.12, pp. 1226-1237, December 2007.
- [4] WiMAX Forum NWG, "Stage-2: Architecture Tenets, Reference Model and Reference Points," 2007.
- [5] 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.
- [6] IEEE 802.16e-2005, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems," IEEE, February 2006.
- [7] WiMAX Forum NWG, "Stage-3: Detailed Protocol and Procedures," 2007.
- [8] H. Badis and K. A. Agha, "Quality of Service for Ad hoc Optimized Link State Routing Protocol," IETF draft, draft-badis-manet-qolsr-05.txt, March 2007.
- [9] T. Clausen and P. Jacquet, "Optimized Link State Routing Protocol," IETF RFC 3626, October 2003.
- [10] "IEEE 802.11s working group," http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/tgs_update.htm.
- [11] Pragyansmita Paul and S V Raghavan, "Survey of QoS Routing," In Proceedings of the 15th International Conference on Computer Communications, pp. 50-75, August 2002.
- [12] Z. Wang and J. Crowcroft, "Quality of Service Routing for Supporting Multimedia Applications," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.14, No.7, pp. 1228-1234, September 1996.



김 민

2007년 광주대학교 전자통신공학과 졸업(학사) 2007년~현재 광주대학교 전자통신공학과 석사과정. 관심분야는 Wireless Mesh Networks, Mobility Management, QoS



김 화 성

1981년 고려대학교 전자공학과(학사). 1983년 고려대학교 전자공학과(석사). 1996년 Lehigh Univ 전자학과(박사). 1984년~2000년 ETRI 책임연구원 2003년~현재 광주대학교 전자통신공학과 교수. 관심분야는 Wireless Internet, NGN 미들웨어 환경, Streaming service