한국ITS학회논문지
제14권, 제1호 (2015년 2월)
pp.57~67

pISSN 1738-0774
Copyright Ⓒ 2015 KITS
DOI http://dx.doi.org/10.12815/kits.2015.14.1.057

OFDM-TDMA 메쉬 네트워크를 위한 다중경로 QoS 라우팅 프로토콜

A Multi-path QoS Routing Protocol for the OFDM-TDMA Mesh Networks

최 정 욱*
(Jungwook Choi)
(LIG Nexone)

이 혁 준**
(Hyukjoon Lee)
(Kwangwoon University)

· Corresponding author : Hyukjoon Lee(Kwangwoon University), E-mail hlee@kw.ac.kr

요 약

무선 메쉬 네트워크에서 다중경로 라우팅 프로토콜은 QoS 충족 또는 링크 단절에 대한 강건성 확보를 위한 해결책으로 자주 사용되어 왔으며, 무선 전술통신 및 재난구조 통신에서는 QoS와 강건성을 동시에 충족시키는 방법에 대한 필요성이 강조되고 있다. 본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜은 OFDM-TDMA collision-free MAC을 기반으로 on-demand 방식으로 대역폭 및 지연시간 제한을 포함하는 사용자의 세션별 QoS 요구사항을 충족시켜 줄 수 있는 다중경로들을 탐색 및 관리하고, 전송실패가 발생할 경우 경로 재탐색 이전에 대체경로를 선택하여 데이터를 재전송하도록 함으로써 지연 및 수용능력 간 트레이드오프를 완화하는 동시에 강건성을 증가시킨다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 제안하는 프로토콜의 성능을 분석하여 제안하는 프로토콜이 QoS 보장 측면과 데이터의 전송성공률 측면에서 우수을 보인다.

핵심어 : OFDM-TDMA, 메쉬 네트워크, 라우팅, 매체접근제어, 다중경로, QoS

ABSTRACT

A large amount of work has been done in the areas of routing, MAC, QoS, capacity, location service, cooperative communication, fault tolerance, mobility models and various applications of mesh networks thanks to their merits of cost-effective way of deployment and flexibility in extending wireline services. Although multi-path routing protocols have been proposed to be used to provide QoS and fault-tolerance, there has not been any significant results discussed that support both in the literature to our best knowledge as they are often required in military and public safety applications. In this paper, we present a novel routing protocol for a mesh network based on the OFDM-TDMA collision-free MAC that discovers and maintains multiple paths that allows retransmitting and forwarding packets that have been blocked due to a link failure using an alternative next-hop node such that the delay-capacity tradeoff is reduced and the reliability is enhanced. Simulation results show that the proposed protocol performs well in terms of both the QoS and delivery ratio.

Key words : OFDM-TDMA, Mesh network, Routing, MAC, Multi-path. QoS

† 이 논문은 2013년도 광운대학교 교내학술연구비 지원 및 한국연구재단의 지원을 받아 일반연구자지원사업(기본연구)로 수행된 연구임(No. NRF-2013R1A1A2065928).
* 주저자 : 광운대학교 컴퓨터공학과 석사과정
** 공저자 및 교신저자 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수
† Received 11 February 2015; reviewed 17 February 2015; Accepted 23 February 2015

Ⅰ. 서 론

무선 메쉬 네트워크는 노드들간의 전송매체로 무선을 사용하며, 일반적으로 그물망 형태의 토폴로지를 형성한다. 무선 메쉬 네트워크는 여러 이기종 네트워크를 연결 시켜 줄 수 있는 게이트웨이 및 브리지 역할을 할 수 있는 메쉬 라우터, 이들 메쉬 라우터로부터 서비스를 제공받는 메쉬 클라이언트로 구성된다. 무선 메쉬 네트워크는 기존 유선망보다 훨씬 저렴한 비용으로 광대역 백본 네트워크를 구축할 수 있으며, 빠르고 유연하게 네트워크를 확장시킬 수 있어 차세대 무선 네트워크를 위한 주요 기술로서 활발히 연구되어 왔다.

특히 IEEE 802.11과 IEEE 802.16 Mesh Mode를 기반으로 하는 네트워크에서 QoS와 다중경로(multi-path)를 지원하기 위한 라우팅 프로토콜에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다. IEEE 802.16 기반 메쉬 네트워크에서는 Tsu-Chieh과 Kim등의 연구에서 QoS를 보장하는 라우팅 프로토콜을 제안하였고[3, 4], Ad-hoc 네트워크에서는 QoS를 고려한 라우팅 프로토콜인 TBR(ticket based routing)[5], SIRCCR(SIR and Channel Capacity Based Routing)[6], NSR(Node State Routing)[7], QOLSR(QoS Optimized Link State Routing)[8], 다중경로를 지원하기 위한 AODV-BR(Ad-hoc On demand Distance Vector Backup Routing)[9], AOMDV(Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector routing)[10], SMR(Split Multipath Routing)[11], MP-DSR(Multi- Path Dynamic Source Routing)[12] 등이 제안되었으나 이런 연구들은 각각 QoS 보장과 내결함성(fault tolerance) 제공 성능을 동시에 만족시키지 못하는 약점을 가지고 있다.

본 논문에서는 대역폭과 지연시간에 대한 QoS를 보장하면서도 오버헤드를 줄일 수 있는 라우팅 알고리즘을 제안한다. 또한 라우팅 프로토콜의 내결함성을 강화시켜 전송 성공률을 향상 시킬 수 있는 다중경로 라우팅 프로토콜을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 라우팅 프로토콜은 AODV의 경로탐색과정을 수정하여 QoS와 다중경로를 제공할 수 있도록 설계 되었다. AODV의 경로탐색과정에서 이용되는 RREQ/RREP는 홉 수를 기준으로 경로선택을 수행 반면 제안하는 라우팅 프로토콜은 응용이 요구하는 QoS를 기준으로 경로선택을 수행한다. 제안하는 프로토콜에서 이용되는 RREQ와 RREP는 응용이 요구하는 대역폭과 단-대-단 지연시간, 그리고 신뢰도등의 QoS 메트릭을 기록할 수 있도록 설계 되었다. 소스 노드는 목적지 노드까지의 경로를 찾기 위해 RREQ에 응용이 요구하는 QoS 기준을 기록하여 주변 노드로 방송하고 RREQ를 수신한 노드들 중 RREQ에 기록된 QoS 기준을 충족시킬 수 노드들만 RREQ를 재방송한다. 이와 같은 기법을 적용하면 RREQ를 재방송하는 노드는 모두 QoS를 충족 시킬 수 있는 노드일 것이고 이런 노드들을 이용하여 구성된 경로는 QoS를 충족 시킬 수 있는 경로로 간주 할 수 있다.

또한, 제안하는 라우팅 프로토콜은 다중경로를 제공하기 위해 RREQ의 중복수신과 RREP의 중복송신을 허용한다. 여러 경로가 기록된 라우팅 테이블을 가지게 되면 하나의 경로를 이용한 전송이 실패할 때 별도의 경로 복구 절차 없이 즉시 다른 경로를 이용하여 전송을 시도할 수 있기 때문에 강건성 높은 라우팅을 수행할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 QoS와 다중경로를 제공하는 라우팅 프로토콜에 관한 기존 연구에 대하여 서술하고, 제 3장에서는 본 논문이 제안하는 메쉬 네트워크를 위한 다중경로 QoS라우팅 프로토콜에 대하여 서술한다. 그리고 이어지는 제 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안하는 라우팅 프로토콜의 성능을 분석하고, 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 관련 연구

1. QoS 라우팅

TBR은 Ad-hoc 네트워크에서 QoS를 지원하기 위하여 응용이 요구하는 자원을 제공할 수 있는 노드들에게만 티켓을 전달하고 이 티켓의 전달에 참여

하는 노드들이 목적지까지의 경로를 구성할 수 있도록 하는 라우팅 프로토콜이다. 티켓은 송신 노드에 의해 발행되고 QoS를 제공하는 경로를 찾기 위한 메시지인 프루브 메시지(probe message)에 실려서 운반된다. TBR을 이용하면 처리량 혹은 지연시간에 대한 요구사항, 두 가지 경우 중 한 가지를 만족시키는 경로를 찾을 수 있으며 이때 티켓의 수를 제한하여 티켓 전송을 위한 메시지가 플로딩(flooding)되는 것을 방지하여 오버헤드를 감소시킨다. 또한 티켓을 분배하여 다음 노드로 전달 할 때에는 더 많은 자원제공이 가능한 노드에게 더 많은 티켓을 전달하여 조건을 만족하는 경로들 중 더 좋은 경로를 선택할 수 있는 기법을 제공한다. TBR를 이용하면 처리량, 혹은 지연시간 측면에서 QoS를 만족하는 경로를 보장받을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 TBR은 처리량과 지연시간에 대한 요구사항을 동시에 충족시킬 수 없으며 이미 알고 있는 토폴로지 내에서 QoS를 만족하는 경로를 찾기 위한 프로토콜이기 때문에 노드의 위치와 경로를 인식할 수 있는 AODV 혹은 DSR과 같은 별도의 라우팅 프로토콜이 필요하다는 단점이 있다.

SIRCCR은 링크의 SIR과 노드가 제공 가능한 슬롯에 대한 요구사항을 만족시킬 수 있도록 선별된 노드들로 목적지까지의 경로를 구성하여 QoS를 제공하고자 하는 라우팅 프로토콜이다. SIRCCR은 AODV의 RREQ/RREP와 유사한 역할을 하는 CHREQ/CHACK 메시지를 이용하여 동작한다. CHREQ에는 요구하는 슬롯의 개수와 SIR값이 저장되어 있으며 CHREQ을 수신한 노드는 SIR과 슬롯 조건, 두 가지 모두 만족 하거나 혹은 SIR조건을 만족하는 경우에 CHREQ를 재방송 하여 경로 탐색과정을 진행한다. 경로 탐색과정의 결과, SIR과 슬롯 제공 측면 모두를 충족시킬 수 있는 하나의 경로가 있다면 그 경로를 선택하고 만족하는 경로가 다수 존재할 경우 가장 먼저 도착한 CHREQ가 거쳐 온 경로를 선택하여 CHACK를 전송한다. 만약 SIR 조건만을 만족하는 경로들만 존재할 경우, 목적지 노드는 SIR을 만족하는 각 경로가 어느 정도의 슬롯을 제공할 수 있는지를 점검하여 SIR을 만족하는 경로들이 제공할 수 있는 슬롯의 총량이 CHREQ의 요구사항을 만족할 경우, 목적지 노드는 SIR만을 만족하는 경로들에게 CHACK를 모두 전송한다.

NSR은 노드에 대한 모든 상태정보를 바탕으로 경로를 탐색하는 라우팅 프로토콜이다. 노드의 상태정보는 주소는 물론이고 노드의 위치와 이동방향, 이동속도, 큐의 크기, 경로손실 등 노드의 상태를 알 수 있는 대부분의 정보를 포함한다. NSR을 수행하기 위해 각 노드는 자신의 상태정보가 담긴 메시지를 주기적으로 주위에 방송하여 자신의 정보를 알리며, 이 정보는 네트워크 전체에 퍼져나간다. 따라서 모든 노드는 자신을 포함한 네트워크 전체 노드에 대한 정보를 가지고 있다. 노드가 데이터를 전송하기 위해서는 먼저 자신이 가진 다른 노드들의 상태정보를 종합하여 해당 목적지 노드로의 경로를 계산해 낸다. 이때 상태정보를 어떻게 이용하느냐에 따라 에너지 소비측면, 신뢰성 측면, 최단거리 측면 등 사용자 혹은 응용이 요구하는 라우팅을 수행할 수 있다. NSR은 별다른 경로탐색 과정 없이 자신이 가지고 있는 정보를 바탕으로 최적의 QoS를 지원하는 라우팅을 수행 할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 그러나 이런 노드의 상태정보를 모든 네트워크가 공유해야 하기 때문에 정보 교환을 위한 오버헤드가 크다는 것이 약점 또한 갖고 있다.

QOLSR은 OLSR을 개선하여 MPR을 선정함에 있어 QoS를 보장하는 MPR을 찾고 해당 MPR을 라우팅에도 이용하는 라우팅 프로토콜이다. 이용할 수 있는 대역폭과 전송 지연시간 등을 고려하여 MPR을 선정하며 이런 대역폭과 전송지연시간 등의 정보는 주기적으로 방송되는 헬로 메시지에 포함되어 전송된다. QOLSR은 이렇게 선정된 MPR을 기반으로 데이터 전송시 처리량과 지연시간을 보장할 수 있다. 그러나 QoS를 만족하는 MPR을 선정하는 것은 NP-complete 문제이며 이를 해결하기 위해 많은 계산 량을 필요로 하는 휴리스틱 방법을 수행한다는 단점을 가진다.

Tzu-Chieh는 SWEB(Shortest Widest Efficient Bandwidth)라는 메트릭을 이용하여 IEEE 802.16기반의 메쉬 네트워크에서 QoS를 보장하는 라우팅을 수행

할 수 있는 프로토콜을 제안하였다. SWEB를 얻기 위해 먼저 단일 링크에서의 전송 성공률에 해당 링크의 수용량을 곱하여 해당 링크에서 사용 가능한 대역폭을 구한다. 다음으로 경로 전체의 링크들 중 링크 수용량의 최소값을 구하여 그 경로가 최소한 어느 정도의 대역폭을 보장해 줄 수 있는지를 알아낸다.

실제 통신이 수행될 때에는 경로를 왕복하게 되므로 계산한 최소 링크 수용량을 반으로 나눈 값에 홉 수를 역으로 곱한 것이 SWEB가 된다.

$$SWEB = \frac{\text{경로전체중최소링크수용량}}{2} \times \frac{1}{\text{홉수}} \quad (1)$$

이 SWEB는 홉수에 반비례하고 사용 가능한 대역폭에 비례하므로 더 높은 SWEB값을 가지는 경로를 선택하면 더 많은 대역폭과 더 짧은 홉 수를 가지는 경로를 선택할 수 있다. SWEB를 이용한 라우팅 프로토콜은 IEEE 802.16기반의 메쉬 네트워크에서 QoS를 제공하는 라우팅을 수행할 수 있지만 SWEB에는 지연시간에 대한 고려가 없고 특히, 더 좋은 경로를 선택할 수는 있지만 응용이 요구하는 QoS를 보장할 수는 없다는 단점이 있다.

Kim(2009)에서는 IEEE 802.16기반의 메쉬 네트워크에서 대역폭과 지연시간, 그리고 홉 정보를 바탕으로 응용이 요구한 QoS를 만족시킬 수 있는 라우팅 프로토콜을 제안한다. 경로 선정을 위해 경로들 중 응용이 요구하는 최소 임계치 이상의 대역폭을 가지는 경로를 선택한다. 이에 만족하는 경로가 다수 존재할 경우 다음 과정으로 최대 임계치 이하의 지연시간을 가지는 경로를 선택한다. 이를 만족하는 경로 또한 다수 존재할 경우 식 (6)을 이용하여 경로를 선택한다.

$$\begin{aligned} &Routing\,Metric = HopCount \times \\ &(1-W) + \sum_{source}^{2-hop} (LinkDelay \times W) \\ &0 \le W \le 1 \end{aligned} \quad (2)$$

이 값은 홉 수와 누적된 지연시간의 값에 비례하므로 작은 값일수록 짧은 홉 수와 낮은 지연시간을 가진 경로임을 의미한다. 따라서 이 값이 가장 작은 값을 가지는 경로를 선택한다. 이때 W는 홉 수와 링크 지연시간의 가중치를 조절하기 위한 값이며 실험을 통하여 얻어낸 결과에 따르면 W가 0.4일 때 가장 좋은 성능을 보인다고 논문은 밝히고 있다. Kim은 대역폭과 지연시간, 홉을 고려하여 QoS를 보장하는 라우팅을 제공한다는 장점이 있지만 QoS 및 홉 정보를 미리 네트워크에 전파해야 하므로 이로 인한 오버헤드가 발생한다는 단점이 있다.

2. 다중경로(Multi-path) 라우팅 프로토콜

AODV-BR은 무선 네트워크의 특징을 이용하여 주변 노드의 통신을 엿듣는(overhearing) 방법으로 다중경로를 가질 수 있도록 고안된 프로토콜이다. AODV-BR은 AODV의 RREQ 전파과정은 동일하지만 다중경로를 제공하기 위하여 RREP 전파과정이 수정되었다. 목적지 노드가 전송한 RREP를 엿들은 주변노드들은 이 정보를 기록해 두어 자신이 목적지로 향하는 대체 경로 중 하나임을 인식할 수 있다. 따라서 중계 노드의 이동으로 주경로가 제 기능을 못하는 상황이 발생하게 되면 대체 노드들이 협력하여 목적지까지 라우팅이 가능하도록 한다.

AOMDV는 각 노드가 목적지로 향하는 경로의 리스트를 유지하는 방법으로 다중경로를 제공할 수 있는 라우팅 프로토콜이다. AOMDV는 AODV에서의 hop_count 필드가 advertised_hopcount 필드로, nexthop 필드가 route_list 필드로 변경된 형태의 라우팅 테이블을 이용한다. Route_list는 다음 홉과 해당 홉이 가지는 홉 수가 조합된 형태의 리스트이며 advertised_hopcount는 해당 노드가 가지고 있는 리스트의 홉 수 중 가장 큰 홉 수를 나타낸다. AOMDV는 수신한 RREQ이더라도 더 작은 advertised_hopcount를 가진 경우라면 중복을 허용하는 방법으로 각 노드가 하나의 목적지로 향하는 다중 경로를 리스트의 형태로 저장할 수 있도록 하여 다중경로 라우팅을 수행할 수 있도록 한다.

SMR은 DSR(Dynamic Source Routing)을 기반으로 하는 다중경로 라우팅 프로토콜이며 AOMDV와 마

찬가지로 조건에 따른 RREQ의 중복 수신을 허용하여 다중경로를 지원하는 기법을 제공한다. 중간 노드가 RREQ를 받게 되면 이미 받은 RREQ인지를 검사하여 자신이 처음 받는 노드로부터 더 짧은 홉 수를 가지는 경로를 통해 전달되는 RREQ 패킷만이 중복 수신이 허용된다. SMR은 중복 RREQ(duplicate RREQ)를 허용하여 목적지 노드가 다수의 RREQ중 원하는 다중경로를 선택할 수 있게 한다. 이때 목적지 노드가 경로를 선정하는 기준은 다음과 같다. 먼저 가능한 서로소(disjoint)인 경로를 찾는다. 이런 경로가 다수 존재할 경우는 가장 짧은 경로를 선택하며, 이런 경로 또한 다수 존재할 경우 도착시간이 빠른 경로를 선택한다. 목적지 노드는 이렇게 선정된 경로를 따라 RREP를 전송하여 다중경로 라우팅을 수행할 수 있도록 한다.

MP-DSR은 SMR과 유사한 알고리즘을 가지고 있지만 선택기준이 홉 수가 아닌 링크의 신뢰도라는 차이점을 가진 라우팅 프로토콜이다. 이를 위해 먼저 종단간 통신에서 요구되는 최소 경로 신뢰도(Lowest path reliability)를 정하여 RREQ에 실어 전송한다. 그리고 경로 누적 신뢰도 값이 최소 경로 신뢰도 보다 작을 경우 해당 노드는 자신까지 포함된 경로 누적 신뢰도 값을 RREQ에 기록한 뒤 RREQ를 재방송 하는 중복 RREQ를 허용하여 다중경로를 가질 수 있도록 한다.

Ⅲ. OFDM-TDMA 메쉬 네트워크를 위한 다중경로 QoS 라우팅 프로토콜

1. OFDM-TDMA 메쉬 네트워크

OFDM-TDMA 메쉬 네트워크는 IEEE 802.16 메쉬 모드에서 제안된 OFDM 물리계층과 TDMA MAC를 기반으로 하며, TDMA 프레임은 그림 1에서처럼 제어 서브 프레임(control sub-frame)과 데이터 서브 프레임으로 나누어지며 각 서브 프레임은 OFDM 심볼로 구성되어 있다. 컨트롤 서브 프레임에는 네트워크 설정 프레임과 스케줄링 프레임(Scheduling Frame)이 있으며 그림 2는 이를 나타낸 그림이다. OFDM-TDMA 네트워크 노드들은 자신이 네트워크에 진입할 것을 알리는 네트워크 엔트리 메시지(MSH-NENT)와 네트워크 구성을 위한 네트워크 구성 메시지(MSH-NCFG), 그리고 데이터 채널의 할당을 위한 스케줄링 메시지들(MSH-DSCH, MSH-CSCH)을 이용하여 망을 구성하고 관리한다.

본 논문에서는 노드간에 교환되는 제어 메시지들을 이용하여 자신으로부터 2홉 내의 거리에 있는 주변 노드들의 정보가 포함된 네이버 테이블을 구성하고 이 네이버 테이블에서 아래와 같은 내용을 얻을 수 있다고 가정한다.

- 주소 : 자신/주변노드 의 IP 주소
- 대역폭 : 자신/주변노드 이 사용 가능한 대역폭 정보
- 지연시간 : 패킷의 지연시간
- 신뢰도 : 자신으로부터 해당 노드 i로의 링크 신뢰도
- 홉수 : 자신과 해당 노드 i까지의 홉 수

3. 다중경로 QoS 라우팅 프로토콜

1) 프로토콜 개요

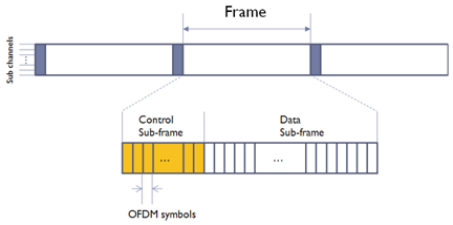
메쉬 네트워크에서 각 노드는 네트워크 구성을 위해 주기적으로 네트워크 구성 메시지를 전송하여 자신의 정보를 인접 노드들에게 알린다. 각 노드들은 자신의 인접 노드들로부터 네트워크 구성 메시지를 수신하여 2홉 거리의 인접 노드들에 대한 네이버 테이블을 구성하고 이를 라우팅에 이용할 수 있다. 또한 이때 교환되는 메시지들에는 QoS관련 정보들이 포함될 수 있다. 따라서 2홉 거리내의 인접 노드들로 향하는 패킷에 대해서는 별도의 경로 탐색과정 없이도 QoS를 보장하는 다중경로 라우팅이 가능하다.

반면 2홉 거리 이상의 노드들로의 라우팅을 위해서는 경로 탐색과정이 필요하다. 이동성이 있는 노드들로 구성된 메쉬 네트워크는 노드의 이동성으로 인해 경로가 단절될 확률이 높기 때문에 본 논문에서는 AODV기반의 On-demand 방식의 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안하는 프로토콜은 AODV와 유사하게 RREQ/RREP/RERR 메시지를 이용하여 경로

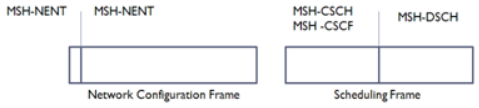
를 탐색하고 선택하며 복구 한다.

그러나 목적지까지의 홉 수를 기준으로 경로를 선택하는 AODV와는 다르게 응용이 요구하는 QoS를 만족하는 노드들만이 RREQ의 전파과정에 참여할 수 있도록 제한하여 단-대-단 QoS를 보장하고 각 노드가 다수의 경로를 저장할 수 있도록 하여 다중경로를 가지는 QoS 라우팅을 제공할 수 있도록 한다.

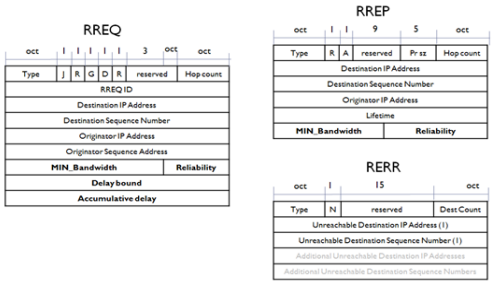
그림 3은 제안하는 라우팅 프로토콜에서 사용되는 RREQ와 RREP, 그리고 RERR의 메시지 포맷을 나타낸 것이다. AODV의 메시지에 QoS와 다중경로 제공을 위한 요소들을 추가하는 형태로 구성되어 있다. 그림 3에서 굵게 강조된 요소들이 제안하는 라우팅 프로토콜을 위해 추가된 요소이며 그 밖의 요소는 AODV의 메시지 포맷을 따른 것이다. 각 메시지에 추가된 요소에 대한 간략한 설명은 다음과 같다.



〈그림 1〉 OFDM-TDMA의 프레임 구조
〈Fig. 1〉 frame structure of the OFDM-TDMA MAC



〈그림 2〉 OFDM-TDMA의 2가지 컨트롤 프레임
〈Fig. 2〉 Two control frames of the OFDM-TDMA MAC



〈그림 3〉 라우팅 메시지 형식
〈Fig. 3〉 Routing message formats

- RREQ
  - MIN_Bandwidth : 응용이 요구하는 최소 대역폭, 16bit
  - Delay bound : 응용이 요구하는 최대 지연 한도, 밀리 초 단위, 32 bit
  - Accumulative delay : 송신지(Source)로부터 현재 노드까지의 지연시간의 누적합, 밀리 초 단위, 32 bit
- RREP
  - REQ_Bandwidth : 응용이 요구하는 최소 대역폭, 16 bit
  - Reliability : RREQ의 목적지로부터 현재 노드까지의 경로 신뢰도, 16bit

2) 제안하는 프로토콜에서의 QoS 메트릭

제안하는 라우팅 프로토콜의 QoS 보장을 위해서 사용되는 QoS 메트릭은 대역폭, 지연시간, 신뢰도이다. 대역폭은 패킷 전송을 위해서 MAC으로부터 할당 받을 수 있는 슬롯(혹은 OFDM 심볼)의 수로 정의한다. 제안하는 라우팅 프로토콜에 사용할 지연시간은 하나의 패킷을 전송하기 위해 노드에서 소모되는 모든 시간을 의미해야 한다. 따라서 링크의 전송상태를 반영한 전송지연과 큐에서의 지연시간이 동시에 고려하여 지연시간을 구한다. 식 (7)에서 D_t는 전송지연을 예측한 값이고 패킷크기/전송률로 계산될 수 있다. Dq는 일정시간 동안 측정된 패킷의 큐잉지연의 평균값으로 MAC으로부터 제공받아 이용할 수 있다. 만약 해당 노드가 기존에 전송한 패킷 전송정보가 평균값을 도출하기에 충분히 많지 않은 등의 이유로 기존 전송정보를 이용할 수 없을 경우, Dq는 최악의 경우를 가정하여 프레임 하나의 기간만큼으로 설정한다. r은 전송성공률을 나타내며 Dt를 r로 나눈 값은 한 번의 전송이 성공할 때 예상되는 전송시간(ETT)을 나타낸다.

$$\text{Delay} = D_q + \frac{D_t}{r} \tag{3}$$

신뢰도는 각 링크의 제어 패킷의 전송성공률을 바탕으로 얻은 해당 노드까지 경로의 신뢰도이다.

노드 i 와 i+1 사이 링크에서의 네트워크 구성 메시지의 전달 성공률이

$$P_{i,i+1}, (0 \le P \le 1) \tag{4}$$

라고 할 때 노드 n에서 노드 m까지의 경로 신뢰도는

$$\prod_{i=n}^{m-1} P_{i,i+1} \tag{5}$$

이다. 제안하는 라우팅 프로토콜에서 사용되는 메트릭 중에서 대역폭과 지연시간은 라우팅에 참여할 수 있는 노드를 선별하기 위해 이용되고 경로의 신뢰도는 대역폭과 지연시간을 만족하는 다수의 경로가 존재할 때 그 경로들에게 우선순위를 부여하는 목적으로 이용된다.

3) 경로 탐색절차

제안하는 라우팅 프로토콜에서 사용되는 라우팅 테이블의 각 항목에 대한 내용은 표 3과 같다. Destination과 Source, Sequence number, 그리고 Expiration time out은 기존 AODV와 마찬가지로 32비트의 형태로 되어 있으며 역할 또한 동일하다. 제안하는 라우팅 프로토콜에서 사용되는 라우팅 테이블이 AODV의 라우팅 테이블과 다른 점은 다음 홉이 하나가 아니라 여러 개의 홉을 저장할 수 있는 리스트의 형태로 되어 있다는 점과 다음 홉 뿐 아니라 이전 홉에 대한 정보도 기록하고 있다는 점이다.

어떤 노드가 패킷을 전송하고자 할 때 목적지 노드로 향하는 라우팅 정보가 없을 경우 그 노드는 목적지까지의 경로를 찾기 위해 RREQ와 RREP 기법을 이용하여 경로를 탐색한다. RREQ를 수신한 노드는 먼저 RREQ의 순서번호를 확인하여 유효한 RREQ인지를 확인한다. RREQ를 수신한 중간 노드는 자신이 할당할 수 있는 대역폭이 추가적인 세션에 대해 수용 가능하고 현재까지 누적된 지연시간과 자신의 지연시간의 합이 RREQ에 기록된 delay bound 값보다 적을 경우에만 RREQ를 재방송 할 수 있는 자격을 부여 받는다. 만약 이미 수신한 노드로부터 RREQ를 다시 받은 경우라면 수신한 RREQ의 누적지연 값과 기존 경로의 누적지연 값을 비교하여 더 작은 값을 갖는 경로를 선택하여 기록해 둔다. 이미 목적지까지의 경로에 대한 정보가 있는 경우, 경로탐색을 수행하지 않고 갖고 있는 경로로 데이터를 전송한다. 그러나 중간노드들의 대역폭이 추가적인 세션에 대해 수용 가능한지 확인 과정이 이루어지지 않아 해당 경로를 이용했을 때, 지연시간 증가를 초래할 수 있다.

이 기법은 동일한 링크를 거치는 경로들 중 가장 빠른 지연시간을 가지는 경로를 선택할 수 있도록 하며 또한 루프방지 효과도 가진다. RREQ를 재방송하는 노드는 RREQ의 송신지 노드 주소를 자신의 라우팅 테이블에 기록한 후 재방송 한다. 그림 4는 지금까지 설명한 RREQ전파 과정을 알고리즘으로 표현한 것이다.

4) 경로 선택절차

목적지 노드는 존재 여부가 불투명한 다른 대체 경로를 불필요하게 기다리는 시간이 낭비되지 않도록 하기 위하여 RREQ를 처음 받는 시점으로부터 별도의 대기시간 없이 자신에게 RREQ를 전송한 노드를 향해 RREP를 전송한다. RREP를 수신한 중간 노드는 수신한 RREP의 정보를 바탕을 라우팅 테이블을 완성한다. 수신한 RREP가 다수일 경우 더 높은 신뢰도를 가지는 경로가 더 높은 우선순위를 가지도록 한다. RREP의 정보를 기록하여 라우팅 테이블을 완성한 노드는 자신이 가진 모든 경로의 이전 노드로 RREP를 재전송한다. 경로의 이전 노드는 자신의 라우팅 테이블의 Prevhop_list 값을

〈표 1〉 제안하는 프로토콜의 라우팅 테이블
〈Table 1〉 Routing table entry of the proposed protocol

Destination	Destination IP address
Source	Source IP address
Sequence number	Sequence number of the node
Prevhop_list	Address list of the previous-hop nodes along multiple paths
Nexthop_list	Address list of the next-hop nodes along multiple paths
Expiration time out	valid time of the entry

참조하여 알 수 있다. RREP를 수신한 노드는 자신의 Prevhop_list를 우선순위에 따라 순회하며 자신에게 RREQ를 전송한 노드들에게 RREP를 전송한다.

```
if( RouteTable_i^d.seqnum =< RREQ_j^d.seqnum ) {
  if( (node[i].BW < RREQ_j^d.BW )
      && (RREQ_j^d.delay_bound > RREQ_j^d.acc_delay + node[i].delay) ) {
          if( j ∈ RouteTable_i^d.prev_list ) {
              if( RREQ_j^d.acc_delay < RouteTable_i^d.prev_list[j].acc_delay ) {
                 delete( RouteTable_i^d.prev_list[j]);
                 insert( RouteTable_i^d.prev_list[j], RREQ_j^d);
              }
              else{
                drop( RREQ_j^d);
              }
          }
          else {
             insert( RouteTable_i^d.prev_list[j] , RREQ_j^d);
          }
  }
}
else{
  drop( RREQ_j^d);
}
```

〈그림 4〉 RREQ 전파 알고리즘
〈Fig. 4〉 RREQ propagation algorithm

중간 노드들을 통해 RREP를 수신한 소스노드가 RREP를 수신하여 라우팅 테이블을 완성하는 과정은 중간노드에서의 과정과 같다. 라우팅 테이블이 완성되면 소스 노드는 가장 높은 우선순위를 가지는 경로를 통해 패킷을 전송한다. 소스 노드가 가질 수 있는 다중경로의 수는 미리 지정된 설정 값을 따르며 이 값은 사용자가 임의로 지정할 수 있다.

5) 경로 복구절차

노드가 주경로(우선순위가 가장 높은 경로)를 이용한 전송에 실패할 경우 자신의 라우팅 테이블에서 주경로에 대한 정보를 삭제하고 다음 우선순위를 가지는 경로로 패킷을 전송한다. 전송실패라고 간주하는 경우는 MAC에서의 전송실패 보고를 받거나 다른 노드로부터 RERR을 받는 경우이다. 만약 자신이 목적지로 도달할 수 있는 경로를 하나도 가지고 있지 않다면 노드는 자신의 이전 노드로 RRER을 전송하여 자신이 가진 경로가 모두 무효화 되었음을 알린다. 이 과정은 모든 경로에 대해 반복된다. 만일 현재의 경로들 중 어떠한 경로도 목적지에 도달하지 못한다는 것이 판명되면 다시 새로운 경로를 찾기 위한 경로 탐색과정에 들어간다. 이러한 방식으로 동작하는 본 프로토콜은 링크에서의 전송 실패가 없는 경우라면 QoS를 보장하는 라우팅을 수행할 수 있고 만일 전송 실패가 발생하더라고 대체경로를 이용하여 목적지 노드에게 패킷을 전송할 수 있는 높은 강건성을 가진 라우팅을 수행할 수 있다.

Ⅳ. 시뮬레이션 및 성능분석

본 논문에서는 NS-2(NS-2.34) 시뮬레이터의 AODV모듈을 수정하여 제안하는 다중경로 QoS 라우팅을 구현하였으며, TDMA기반의 MAC계층을 이용하는 OFDM-TDMA 메쉬 네트워크 환경에서의 성능분석을 위해 MAC TDMA모듈을 수정하여 성능을 분석하였다. 각 노드는 100m의 전송범위를 가지며 임의의 위치에 배치된 뒤 이동성을 부여하도록 한다. 전체 노드는 50개로 고정하며 이때 통신하는 노드 쌍의 수와 속도를 변화시키며 성능을 측정한다. 트래픽은 VoIP를 가정하며 매 10ms마다 발생한다. 전체 시뮬레이션 시간은 200초 이며 이때 전송 성공률과 지연시간, 처리량, 그리고 QoS 만족도를 측정한다.

OFDM-TDMA 기반의 메쉬 네트워크에서 QoS와 강건성을 위한 다중경로를 동시에 고려하는 라우팅 프로토콜에 대한 기존 연구가 거의 존재하고 있지 않아 QoS와 전송신뢰도를 함께 비교하기에 적합한 프로토콜 선정이 매우 어렵다. 따라서 표 1과 같이 비교 프로토콜을 선정하여 실험을 진행하였다.

〈표 2〉 비교 대상 프로토콜
〈Table 2〉 Protocols in comparison

protocol	feature	comparison
MMQR	multi-path, QoS	proposed protocol
MQR	QoS path	reliability
MMR	multi-path	QoS
AOMDV	multi-path	multi-path, QoS

다중경로의 효과를 확인하기 위하여 QoS 경로 제공기법을 적용한 프로토콜과(MQR : Mesh QoS Routing)의 성능비교를 수행하고 QoS 라우팅의 효

과를 확인하기 위해 다중경로 제공기법을 적용한 프로토콜과(MMR : Mesh Multi-path Routing)의 성능 비교를 수행한다. 위 두 프로토콜은 모두 NS-2의 AODV 모듈을 수정하여 구현하였으며 두 프로토콜에 사용된 QoS 경로 제공기법과 다중경로 제공기법은 제안하는 프로토콜에 적용된 기법과 동일한 기법을 적용하였다. 마지막으로, 제안하는 프로토콜과 유사하게 AODV기반의 다중경로 기법을 제안한 AOMDV와의 비교를 수행하여 종합적인 성능을 평가한다. 시뮬레이션에서 사용하는 파라미터들은 표 2와 같다.

그림 5는 통신하는 노드의 쌍을 50개로 고정하고 속도를 변화시키며 진행한 시뮬레이션 결과를 나타낸 그림이다. 속도 증가에 따른 전송성공률의 감소폭이 AOMDV가 가장 크며, MMR이 가장 작다. MMR은 링크단절시 경로 재탐색 과정 없이 다중경로중 하나를 주경로로 재설정하고 재전송을 하기 때문에 링크단절이 많은 이동성이 높은 환경에서도 전송성공률이 많이 하락하지 않는다.

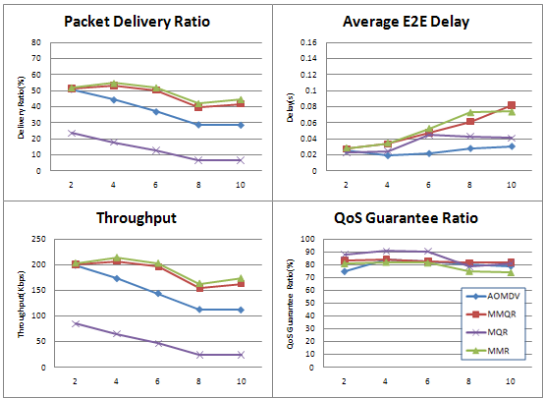
속도 증가에 따른 지연시간의 증가폭은 MMQR이 가장 크며, AOMDV가 가장 작다. 속도 증가에 따라 링크단절 횟수가 증가하고, 재전송되는 패킷들의 수도 증가하게 된다. 이러한 이유로 재전송 기능을 사용하는 MMQR의 지연시간은 속도가 증가할수록 늘어나게 된다. QoS 지원 측면에서는 QoS를 고려하여 경로를 설정하는 MMQR과 MQR의 성능이 AOMDV와 MMR보다 우수하다.

그림 6은 속도를 10m/s으로 고정하고 통신하는 노드의 쌍을 변화시키며 진행한 시뮬레이션 결과를 나타낸 그림이다. 노드의 이동속도가 10m/s 이므로 앞 선 그림에서 나타냈듯이 전송성공률의 결과는 MMQR과 MMR이 AOMDV보다 높다. 그에 따라 처리량에 대한 결과 그래프에서도 항상 높은 성능을 보이는데, 통신하는 노드 쌍의 수 증가에 따른 증가폭도 AOMDV보다 더 크다. 이 결과는 MMQR과 MMR은 링크단절 인지 후에 재전송을 하기 때문이다. 그러나 그 에 따른 많은 지연시간을 보인다.

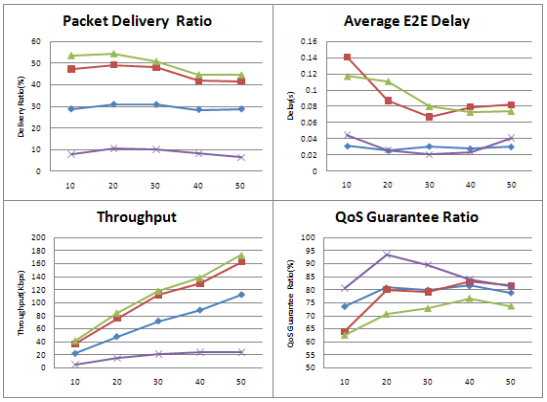
통신하는 노드 쌍의 수 증가에 따라 QoS 만족도는 MMQR의 상승폭이 AOMDV의 상승폭보다 더 크다. MMQR의 QoS를 고려한 경로 탐색 기법을 통해 데이터 경로를 설정하기 때문이다.

〈표 3〉 시뮬레이션 파라미터
〈Table 3〉 Simulation parameters

Parameters	Values
Topology	Random(Uniform)
Mobility model	Random waypoint
speed	[2, 4, 6, 8, 10]
number of nodes	50
number of peers	[10, 20, 30, 40, 50]
Transmission distance	100m
PHY, MAC	OFDM-TDMA
Traffic	VoIP (5bytes, 10ms)
Simulation time	200 seconds



〈그림 4〉 속도 증가에 따른 성능
〈Fig. 4〉 Performance against speed increase



〈그림 5〉 통신노드 쌍 증가에 따른 성능
〈Fig. 5〉 Performance against number of communication pairs

논문에서 제안하는 MMQR은 모든 경우에 위 두 가지 기법을 사용하지만 필요에 따라서는 응용의 요구사항에 맞추어 두 기법을 적절히 혼합하여 사용한다면, 예를 들어 전술명령과 같이 QoS 보다 전송성공률이 우선시 되는 매우 중요한 정보의 경우 MMR의 기법을 이용하여 라우팅을 수행하고 VoIP와 같은 응용의 경우는 MQR의 기법을 이용하여 전송하는 등, 응용의 요구사항에 맞춘 라우팅을 수행할 수 있을 것으로 예상된다.

V. 결 론

논문에서는 기존의 IEEE 802.16 메쉬 네트워크와 IEEE 802.11 기반에서 연구된 QoS 및 다중경로 라우팅에 대한 기존 연구들을 정리 하였고 이를 바탕으로 OFDM-TDMA 기반의 메쉬 네트워크에서 QoS를 보장하고 강건성을 향상시키기 위한 다중경로 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 제안하는 라우팅 프로토콜은 RREQ와 RREP를 이용하는 On-demand 방식의 경로탐색과정에서 응용이 요구하는 대역폭과 단-대-단 지연시간, 그리고 신뢰도 등의 QoS 제한사항을 만족하는 노드들만 라우팅에 참여하도록 하여 단-대-단 QoS를 보장할 수 있는 기법을 제공한다. 또한 중복된 RREQ와 RREP를 허용하여 각 노드가 하나의 목적지로 향하는 여러 경로가 기록된 라우팅 테이블을 가질 수 있도록 하며 하나의 경로를 이용한 전송이 실패할 때에는 별도의 경로 복구 절차 없이 즉시 대체 경로를 이용하여 전송을 시도하는 방법으로 강건성 높은 라우팅 기법을 제공한다.

본 논문에서는 NS-2 시뮬레이터를 기반으로 제안하는 라우팅 프로토콜을 구현하고 성능을 분석하였다. 실험 결과 제안하는 프로토콜은 AODV를 기반으로 멀티패스를 제공하는 AOMDV에 비하여 높은 QoS 만족도를 보이며 다중경로를 지원하지 않는 멀티홉 QoS 라우팅보다 높은 전송 성공률을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 향후 연구 진행 방향으로 제안하는 프로토콜에 협력통신을 이용한 경로 복구 방법을 적용하여 전송성공률을 더 높일 수 있는 기법과 트래픽의 특성에 따라 QoS 보장 수준과 강건성을 차등화 하여 제공 할 수 있는 기법을 적용한 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 계획되어 있다.

REFERENCES

[1] ANSI/IEEE, *802.11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY)*

[2] IEEE 802.16, *IEEE Standard for local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, 1 Octorber 2004

[3] Tzu-Chieh Tsai, Chuan-Yin Wang, "Routing and Admission Control in IEEE 802.16 Distributed Mesh Networks." *Proc. of IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks,* 2007, pp.1-5, 2 July 2007

[4] Min Kim, Ilkyeun Ra, Jisang Yoo, Dongwook Kim, Hwasung Kim, "QoS Mesh Routing Protocol for IEEE 802.16 based Wireless Mesh Networks." *10th International Conference on Advanced Communication Technology*, pp.812-817, 12 Feb. 2008

[5] S. Chen and K. Nahrstedt, "Distributed quality-of-service routing in ad hoc networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 17, pp.1488-1505, Aug. 1999

[6] D. Kim, C.-H. Min, and S. Kim, "On-demand SIR and bandwidth-guaranteed routing with transmit power assignment in ad hoc mobile networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 53, pp.1215-1223, July 2004.

[7] J. Stine and G. de Veciana, "A paradigm for quality of service in wireless ad hoc networks using synchronous signaling and node states." *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 22, pp.1301-1321, Sep. 2004.

[8] H. Badis and K. A. Agha, "QOLSR, QoS routing

for ad hoc wireless networks using OLSR," *Wiley European Trans. Telecomm.*, vol. 15, no. 4, pp.427-442, 2005

[9] S.-J.Lee, M. Gerla, "AODV-BR: Backup Routing in Ad hoc Networks." *Proc. of Wireless Communications and Networking Conference*, vol. 3, pp.1311-1316, 2000

[10] M. K. Marina, S. R. Das, "On-demand multipath distance vector routing in ad hoc networks." *Proc. of Ninth International Conference on Network Protocols 2001*. pp.14-23, 2001

[11] Roy Leung, Jilei Liu, Edmond Poon, Ah-Lot Charles Chan, Baochun Li, "MP-DSR: A QoS-aware Multi-path Dynamic Source Routing Protocol for Wireless Ad-Hoc Networks." *26th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks*, pp.132-141, 2001

[12] Sung-Ju Lee, Mario Gerla, "Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad hoc Networks." *Proc. of IEEE Intnl. Conference on Communications*, vol. 10, pp.3201-3205, 2001

[13] Petar Djukic, Shahrokh Valaee, "802.16 mesh networking." *Handbook of Wimax*, S. Ahson and M. Ilyas, Eds, 2007

[14] S. Shankar N. C. Chou, and M. Ghosh, "Cooperative communication MAC (CMAC) – A new MAC protocol for next generation wireless LANs," *Proc. IEEE Int. Conf. Wireless Networks, Communications and Mobile Computing*, vol. 1 pp. 1-6, June 2005.

[15] J. Alonso-Zarate and J. Gornez C. Verikoukis, L. Alonso, and A. Perez-Neira, "Performance evaluation of a cooperative scheme for wireless networks," *Proc. IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 1-5, Sept. 2006.

저자소개

최 정 욱 (Choi, Jung-Wook)
2008년 광운대학교 컴퓨터공학과(학사)
2010년 광운대학교 대학원 컴퓨터공학과(석사과정)

이 혁 준 (Lee, Hyukjoon)
1987년 : University of Michigan, Computer Science(학사)
1989년 : Syracuse University, Computer Science(석사)
1993년 : Syracuse University, Computer Science(박사)
1994년 ~ 1996년 : 삼성전자(주) 멀티미디어 연구소 선임연구원
1996년 ~ 현재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수