

WiMedia 기반 무선 메쉬 네트워크에서 QoS를 고려한 경로 설정

박성우*

QoS Routing for WiMedia-Based Wireless Mesh Networks

Sung-Woo Park*

요 약

WiMedia에서는 최대 1Gbps의 초고속 전송이 가능하나, 디바이스 간의 전송 범위가 대략 10m 이내로 제한된다. 네트워크 영역 확장을 위해 멀티-홉 형태로 구축할 경우 기존의 홉(hop)-기반 라우팅으로는 QoS를 보장하기 어렵다. 본 논문에서는 WiMedia 무선 메쉬 네트워크를 위한 QoS 라우팅 방안을 제안한다. TDMA를 사용하는 WiMedia MAC 특성을 반영하여, 주문형(on-demand) 라우팅과 테이블-구동형(table-driven) 라우팅 각각에 대해 QoS 확장 방안을 제시하였다. 제안한 QoS 라우팅 방식이 홉-기반 라우팅 방식에 비해 성능 면에서 우수함을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 또한, QoS 주문형 라우팅과 QoS 테이블-구동형 라우팅은 전송 전력에 따라 각각 상반된 성능 결과를 보여 주었다.

ABSTRACT

WiMedia provides the data rate of up to 1Gbps, but the transmission range is restricted to approximately 10 meters. When constructing a multi-hop WiMedia network to extend its coverage, conventional hop-based routing may not guarantee satisfactorily the required QoS. We propose two QoS routing techniques for the WiMedia-based wireless mesh network. The proposed QoS routing reflects the characteristics of TDMA-based WiMedia MAC and develops QoS extensions separately for on-demand routing and table-driven routing. Through simulations, we identify that the QoS routing shows better performance than the hop-based routing. It also turns out that the QoS on-demand routing and the QoS table-driven routing show conflicting performance results depending on the transmission power.

키워드

UWB, WiMedia, WMN, QoS, Routing
초광대역, 와이미디어, 무선 메쉬 네트워크, 서비스 품질, 경로 설정

1. 서 론

WiMedia는 UWB(Ultra-Wide Band) 기반의 PHY/MAC 계층 프로토콜로서 최대 1Gbps의 전송

속도를 제공하며 간섭에 강한 특징을 갖고 있다. WiMedia 고속 WPAN(Wireless Personal Area Network)은 QoS 보장, 저전력 소모, 보안 안전성 등의 장점을 바탕으로 비디오 응용과 같은 고품질 멀티

* 교신저자 : 한남대학교 정보통신공학과
• 접수일 : 2016. 02. 29
• 수정완료일 : 2016. 03. 13
• 게재확정일 : 2016. 03. 24

• Received : Feb. 29, 2016, Revised : Mar. 13, 2016, Accepted : Mar. 24, 2016
• Corresponding Author : Sung-Woo Park
Dept. of Information and Communication Eng., Hannam University
Email : swpark@hnu.kr

미디어 서비스에 적합한 구조를 갖고 있다[1-2].

물리 계층에서 UWB 전송 방식을 채택하고 있는 WiMedia는 에너지 효율이 높지만 저전력 전송으로 인해 디바이스 간의 직접적인 전송 거리가 10m 이내로 제한되고, 주파수 특성상 장애물을 통과하기 어렵다는 단점을 지니고 있다. 네트워크를 확장함에 있어서 이런 문제점은 멀티-홉 토폴로지에 의해 극복할 수 있으며, 이 때 라우팅은 네트워크 성능을 결정하는 핵심 기능이 된다.

또한, WiMedia 기반 무선 메쉬 네트워크를 구축할 때 주요 응용 분야가 멀티미디어 서비스라는 점을 고려하면, 프로토콜 설계 시 프레임 처리율, 지연시간, 대역폭과 같은 QoS가 우선적으로 고려되어야 한다. 단일 홉에서 멀티-홉으로의 확장은 QoS를 급격하게 저하시키는 주요 요인이 되기 때문에 멀티-홉 환경에서도 QoS를 보장할 수 있는 라우팅 알고리즘의 역할이 매우 중요하다[3].

본 논문의 목적은 WiMedia 기반의 무선 메쉬 네트워크에서 효율적 멀티-홉 서비스 지원을 위한 QoS 라우팅 알고리즘을 제안하는 것이다.

WiMedia MAC(Medium Access Control) 계층은 채널 접속을 위해 TDMA(Time Division Multiple Access)를 바탕으로 예약 기반의 분산 프로토콜을 사용한다. 홉-기반 라우팅과는 달리 QoS 라우팅은 MAC 고유의 파라미터를 이용하여 라우팅 매트릭을 설정함으로써 MAC-네트워크 계층간 최적화를 통해 성능 향상을 추구한다.

WiMedia QoS 라우팅은 경로탐색 방식에 따라 주문형(on-demand)과 테이블-구동형(table-driven)으로 구분하여 개발한다. 일반적으로, 지연시간 측면에서는 경로가 사전에(proactive) 결정되는 테이블-구동형 라우팅이 우수하나, 네트워크의 변동성이 클 경우 반응적으로(reactive) 경로가 결정되는 주문형 라우팅의 성능이 우수하다고 알려져 있다[4].

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 WiMedia PHY/MAC 계층의 기능을 소개한다. 3장에서는 WiMedia 기반 무선 메쉬 네트워크에서 멀티-홉 서비스를 위한 QoS 라우팅 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 제안한 QoS 알고리즘에 대한 성능 평가를 한다. 5장에서는 이 논문의 결론을 맺는다.

II. WiMedia MAC 개요

WiMedia 채널은 65,536 μ sec 길이의 수퍼프레임이 시간적으로 반복된다. 하나의 수퍼프레임은 MAS(Medium Access Slot)라 불리는 시간 슬롯 256 개로 구성된다. MAS 하나는 256 μ sec에 해당한다.

그림 1의 수퍼프레임은 비콘 구간(Beacon Period)과 데이터 전송 구간(Data Transmission Period)으로 구분한다. 비콘 구간에서는 모든 디바이스가 각각 자신의 비콘을 전송한다. 비콘 프레임을 교환함으로써 각 디바이스는 수퍼프레임과 동기를 맞추고 동시에 인접 디바이스의 존재를 인지하고 데이터 전송 구간에서의 채널 접속 권한을 조정할 수 있다.

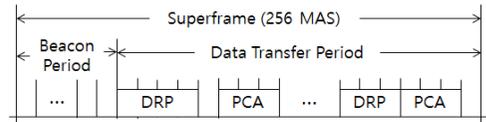


그림 1. 수퍼프레임 구조
Fig. 1 Superframe structure

WiMedia에서는 데이터 전송 구간에서 예약 기반의 DRP(Distributed Reservation Protocol)와 경쟁 기반의 PCA(Prioritized Contention Access)라는 두 가지 채널 접속 방식을 정의하고 있다. DRP는 분산 TDMA로서 주로 실시간 트래픽 처리를 위해 이용된다. DRP는 QoS 보장을 위해 필요한 MAS 개수를 산출하고 인접 디바이스와의 시그널링을 통해 MAS를 사전 예약한다. DRP는 하나 이상의 MAS를 예약할 수 있다. 예약 협상은 그림 2와 같은 DRP IE를 비콘에 포함시키거나 별도의 명령 프레임(DRP Reservation Request/Reply)을 사용한다.. DRP IE 각 필드에 관한 상세한 설명은 [5]를 참조한다.

Octets : 1	1	2	2	4	...		
Element ID	Length	DRP Control	Target/Owner DevAddr	DRP Allocation 1	...		
Bits: b15-13	b12	b11	b10	b9	b8-b6	b5-b3	b2-b0
Reserved	Unsafe	Conflict The breaker	Owner	Reservation status	Reason Code	Stream index	Reservation Type

그림 2. DRP IE 구조
Fig. 2 DRP IE structure

III. QoS 경로설정

3.1 라우팅 메트릭

라우팅 메트릭으로 사용되는 링크 비용은 수퍼프레임 당 필요한 MAS의 개수로서 정의된다. D 를 수퍼프레임 당 전송 데이터의 양[bits], L 을 수퍼프레임의 길이 (65,536 [μsec]), B_i 를 링크 i 에서 제공하는 데이터 전송 속도[bps]라고 하자. 링크 i 의 링크 비용을 C_i 라고 하면, $C_i = \left\lceil \frac{D}{L} \cdot \frac{1}{B_i} \cdot 256 \right\rceil$. H 를 임의의 경로를 구성하는 링크들의 집합이라고 하고 그 경로의 QoS 경로 비용을 P 라 하면, $P = \sum_{i \in H} C_i$.

QoS 라우팅은 각각의 출발지-목적지 쌍에 대해 요구하는 QoS를 만족하면서 경로 비용 P 을 최소화하는 경로를 결정하는 것이다[6-7]. 경로 비용 및 요구하는 QoS는 MAS 개수에 의해 표현된다. QoS의 보장은 대역폭에 해당하는 MAS의 예약에 의해 이루어진다.

3.2 주문형 QoS Routing

WiMedia QoS 라우팅은 AODV(: Ad-hoc On-demand Distance Vector)[8]와 같은 주문형 라우팅 프로토콜의 확장을 통해 가능하며, 이 때 MAS 예약과 경로 설정이 동시에 이루어진다. 그림 3과 같이 주문형 QoS 라우팅에서는 RREQ-OD(: Reservation Request On-Demand) 메시지가 출발지로부터 브로드캐스트되고, RREP-OD(: Reservation Reply On-Demand) 메시지가 목적지로부터 출발지로 유니캐스트됨으로써 최소 비용 QoS 경로가 설정된다.

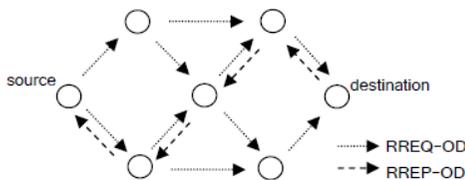


그림 3. 주문형 QoS 라우팅에서의 경로 발견
Fig. 3 Route discovery in on-demand QoS routing

출발지는 먼저 특정 목적지에 대해 필요한 만큼의 MAS 개수를 산출한 후 QoS 경로를 찾기 위한 RREQ-OD 메시지를 브로드캐스트한다. RREQ-OD

메시지는 목적지 주소, 필요한 MAS 개수, 순서 번호 등과 같은 QoS 라우팅 정보를 포함하고 있다.

인접 디바이스가 RREQ-OD 메시지를 수신하면, 요구하는 QoS의 수용 여부를 판단한다. 이용 가능한 MAS의 개수가 요구하는 MAS의 개수보다 많을 경우 RREQ-OD 메시지를 다시 브로드캐스트한다. 부족할 경우 RREQ-OD 메시지를 폐기한다. RREQ-OD 메시지는 목적지에 전달될 때까지 중간 디바이스들에 의해 반복적으로 브로드캐스트된다.

RREQ-OD 메시지가 목적지에 도달하면, 지나온 경로에 대한 누적 링크 비용, 즉 경로 비용을 포함한다. 목적지는 하나 이상의 RREQ-OD 메시지를 수신할 수 있다. 목적지는 수집된 경로 비용(들)을 바탕으로 최소 비용 경로를 선택하고 이 경로를 따라 출발지로 RREP-OD 메시지를 유니캐스트한다. 출발지는 일정 시간이 지나도 RREP-OD 메시지가 수신되지 않으면 경로를 재탐색한다.

라우팅 기능을 네트워크 계층에 구현할 경우 RREQ-OD 메시지와 RREP-OD 메시지는 네트워크 계층 PDU(: Protocol Data Unit)로 정의해야 하고, MAC 계층에 구현하고자 하면 MAC 계층 PDU인 DRP IE를 멀티-홉 형태로 확장해야 한다.

MAS 예약은 RREQ-OD 메시지에 의한 순방향 또는 RREP-OD 메시지에 의한 역방향으로 이루어질 수 있다. 순방향 예약은 불필요한 MAS 예약으로 인해 심각한 성능 저하를 가져올 수 있다. 역방향 예약은 대역폭 효율이 좋아지나 RREQ-OD 메시지와 RREP-OD 메시지의 시간차에 의해 예약 실패 확률이 높아질 수 있다. 주문형 QoS 라우팅에서는 동작 특성상 RREP-OD 메시지에 의한 역방향 예약 방식을 사용하는 것이 적절하다.

3.3 테이블-구동형 QoS Routing

WiMedia QoS 라우팅은 OLSR(: Optimized Link State Routing)[9]과 같은 테이블-구동형 라우팅 프로토콜의 확장을 통해서도 가능하다. 이 경우에도 MAS 예약과 경로 설정은 동시에 이루어진다. 그림 4에서와 같이 테이블-구동형 QoS 라우팅에서는 RREQ-OD 메시지가 출발지로부터 목적지로 유니캐스트되고, RREP-OD 메시지가 목적지로부터 출발지로 유니캐스트됨으로써 최소 비용의 QoS 경로가 설정된다.

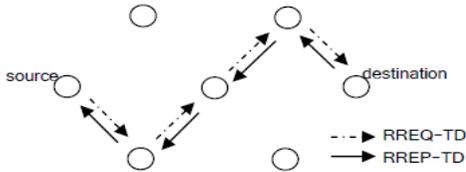


그림 4. 테이블-구동형 QoS 라우팅에서의 경로 발견
Fig. 4 Route discovery in table-driven QoS routing

경로 발견은 사전에 수집된 링크 상태 정보를 기반으로 이루어진다. 각 디바이스는 자신의 링크 상태를 네트워크 내 모든 디바이스에게 LS(: Link State) 메시지를 통해 브로드캐스트한다. LS 메시지는 주기적으로 보낼 수도 있고 링크 상태에 중대한 변화가 발생할 경우에만 보낼 수도 있다. LS 메시지의 교환을 통해 모든 디바이스는 네트워크 전체의 링크 상태 토폴로지를 확보하게 된다. LS 메시지 역시 네트워크 계층 PDU 형태로 정의할 수도 있고, MAC 계층 PDU인 DRP Availability IE를 멀티-홉 형태로 확장할 수도 있다.

출발지에서 데이터 프레임 전송하고자 하면 일단 링크 상태 토폴로지에서 요구하는 QoS를 만족하지 못하는 링크를 제거한다. 그리고 변경된 링크 상태 토폴로지에 대해 Dijkstra 알고리즘을 적용하여 QoS 제한 조건을 만족하는 최소 비용 경로를 산출한다. 출발지는 이 QoS 경로 상의 다음-홉(next-hop) 디바이스를 확인하고 이 디바이스로 RREQ-TD(: Reservation Reply Table-Driven) 메시지를 유니캐스트한다.

다음-홉 디바이스가 RREQ-TD 메시지를 수신하면 이전 디바이스와 같은 방식으로 최소 비용 QoS 경로를 찾아내고 경로 상의 다음-홉 디바이스로 RREQ-TD 메시지를 전달한다. 만약 QoS 경로를 찾지 못하면, 수신한 RREQ-TD 메시지를 폐기한다. RREQ-TD 메시지는 목적지에 전달될 때까지 중간 디바이스들에 의해 반복적으로 유니캐스트된다.

목적지에 도달한 RREQ-TD 메시지는 자신이 발견한 QoS 경로 정보를 제공한다. 주문형과 달리 테이블-구동형에서는 RREQ-TD 메시지가 유니캐스트되기 때문에 목적지가 RREQ-TD 메시지를 한번만 수신한다. RREQ-TD 메시지를 수신한 목적지는 출발지를 향해 RREP-TD(: Reservation Reply Table-Driven) 메시지를 유니캐스트한다. 출발지는 일정 시간이 지나

도 RREP-TD 메시지가 수신되지 않으면 경로를 재탐색한다.

테이블-구동형 QoS 라우팅에서도 MAS 예약은 RREQ-TD 메시지에 의한 순방향 또는 RREP-TD 메시지에 의한 역방향으로 이루어질 수 있다. RREQ-TD 메시지가 유니캐스트되기 때문에 과도한 MAS 예약으로 인해 대역폭이 낭비될 가능성은 없다. 역방향 예약을 하는 주문형과는 달리, 테이블-구동형에서는 RREQ-TD 메시지가 순방향으로 진행할 때 MAS 예약이 이루어지는 것이 보다 효율적이다.

테이블-구동형 QoS 라우팅에서도 LS 메시지와 RREQ-TD 메시지 간의 시간차로 인해 중간 디바이스에서의 예약 실패 가능성이 있다. 이 경우 이전 디바이스에서 우회 경로를 재탐색해야 한다.

IV. 시뮬레이션 결과

4.1 실험 환경

제한한 주문형 QoS 라우팅 방식과 테이블-구동형 QoS 라우팅 방식에 대해 네트워크 시뮬레이터인 NS-2¹⁾를 이용하여 성능 평가를 수행하였다. 성능 분석을 위한 네트워크 토폴로지는 그림 5와 같이 25개의 디바이스들 사이에 일정한 거리를 유지하는 격자 형식으로 배치하였다.

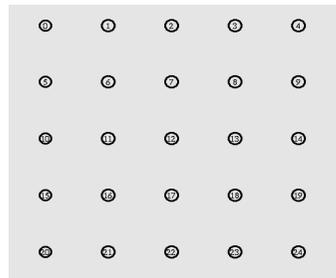


그림 5. 네트워크 토폴로지
Fig. 5 Network topology

본 논문에서 수행한 시뮬레이션 환경을 요약하면 표 1과 같다.

1) <http://www.isi.edu/nsnam/ns>

표 1. 시뮬레이션 환경

Table 1. Simulation Environments

Simulation variables	Values
Network size	25m X 25m
No. of devices	25
Simulation time	33 sec
Traffic pattern	CBR (Constant Bit Rate)
Traffic generation	12 streams generated sequentially during 1~20 sec.
Device mobility	Fixed

인접 디바이스의 수에 따른 라우팅 성능을 분석하기 위해 전송 전력을 낮은 수준과 높은 수준의 두 단계로 나누어서 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 6에서와 같이 각 디바이스는 저전력 전송과 경우 네 개씩, 고전력 전송의 경우 여덟 개씩의 인접 디바이스를 갖게 된다. 전송 전력을 크게 해서 인접 디바이스의 수가 증가 하면 디바이스 간의 간섭이 심해져서 사용 가능한 MAS의 개수가 감소할 것이다. 하지만, 출발지-목적지간 경로의 홉 수를 감소시켜 지연 시간을 줄일 수 있는 장점이 있다.

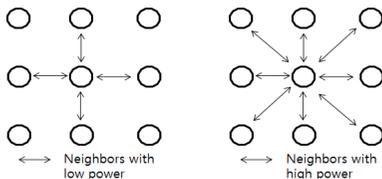


그림 6. 전송 전력에 따른 이웃 노드

Fig. 6 Neighbors according to transmission power

성능 평가를 위해 세 가지 기준을 사용하였다.

- 처리율(throughput): 목적지에서 수신한 데이터 양
- 지연시간(delay): 종단간 프레임 평균 전달 시간
- 홉 수(hop count): QoS 경로들에 대한 평균 홉 수

4.2 실험 결과

주문형/테이블-구동형 QoS 라우팅 외에 홉 기반 주문형/테이블-구동형 라우팅의 시뮬레이션도 함께 수행하였다. 홉-기반 라우팅에서는 MAS 예약을 하지 않고 최소 홉 경로를 설정한다. 시뮬레이션을 위한 네 가지 라우팅 방식을 다음과 같이 약자로 표현하였다.

- HOD(: Hop-based On-Demand routing)
- HTD(: Hop-based Table-Driven routing)
- QOD(: QoS On-Demand routing)
- QTD(: QoS Table-Driven routing)

그림 7과 그림 8은 전송 전력이 낮을 경우와 높을 경우에 대해서 각 라우팅 방식의 처리율을 보여준다. 시뮬레이션 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

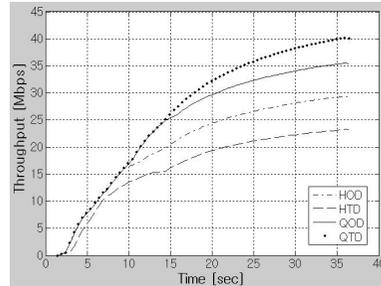


그림 7. 저전력 전송시의 처리율

Fig. 7 Throughput with low-power transmission

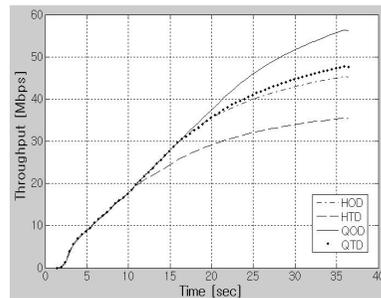


그림 8. 고전력 전송시의 처리율

Fig. 8 Throughput with high-power transmission

첫째, 전송 전력에 상관없이 QoS 라우팅(QOD/QTD)은 홉-기반 라우팅(HOD/HTD)에 비해 향상된 처리율을 보이고 있다. 홉 기반 라우팅은 홉 수만을 고려하여 출발지와 목적지 사이의 최소 비용 경로를 제공한다. 반면, QoS 라우팅은 필요한 MAS 개수를 고려하여 최소 비용 경로를 제공하기 때문에 향상된 성능을 보이는 것은 당연한 결과이다.

둘째, QoS 라우팅의 경우 전송 전력이 낮을 때는 테이블-구동형(QTD)이 높은 처리율을 보이고 있으나, 반대의 경우 주문형(QOD)이 높은 처리율을 보여준다. 전송 전력이 낮을 경우 인접 디바이스의 개수는

감소하면서 QoS 경로의 홉 수가 증가하게 된다. MAS 예약시 주문형(QOD)은 역방향 예약, 테이블-구동형(QTD)은 순방향 예약을 하는데, 늘어난 홉 수는 역방향 예약을 하는 주문형(QOD)에게는 불리하게 작용할 것이다. 전송 전력이 높을 경우, 홉 수의 감소는 주문형(QOD)에게 유리하게 작용함을 알 수 있다.

셋째, 홉-기반 라우팅의 경우 전송 전력에 상관없이 주문형(HOD)이 테이블-구동형(HTD)보다 항상 높은 처리율을 보이고 있다. 홉-기반 라우팅의 경우 MAS 예약을 하지 않기 때문에 인접 디바이스의 간섭이나 경로 홉 수에 큰 영향을 받지 않는다. 주문형(HOD)이 트래픽 동적 변화에 보다 효과적으로 적응하는 것을 알 수 있다.

그림 9와 그림 10은 각 라우팅 방식의 평균 지연시간을 보여주고 있다. 시뮬레이션 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

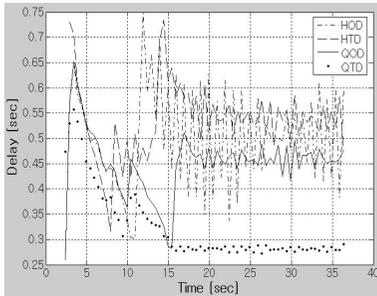


그림 9. 저전력 전송시의 지연시간
Fig. 9 Delay with low-power transmission

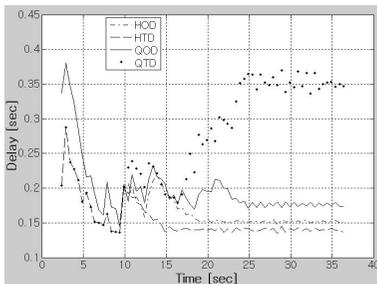


그림 10. 고전력 전송시의 지연시간
Fig. 10 Delay with high-power transmission

첫째, QoS 테이블-구동형(QOD)을 제외한 다른 세 가지 라우팅은 전송 전력이 높을 경우, 전송 전력이

낮은 경우에 비해 지연시간이 1/3 정도로 감소한다. 그 이유는 전송 전력이 높아질수록 감소하는 경로 홉 수의 영향을 강하게 받기 때문이다. QoS 테이블-구동형(QOD)의 경우 전송 전력에 상관없이 비슷한 지연시간을 보이고 있다. 그 이유는 전송 전력이 높아지면 디바이스 간의 간섭이 심해지면서 경로 재탐색이 보다 빈번하게 일어나기 때문이다. 즉, 경로 홉 수의 감소에 의한 영향보다는 디바이스간의 간섭 증가에 의한 영향을 더 많이 받기 때문이다.

둘째, QoS 라우팅의 경우 전송 전력이 낮을 때는 테이블-구동형(QTD)의 지연시간이 상대적으로 짧아지고, 전송 전력이 높을 때는 주문형(QOD)의 지연시간이 상대적으로 짧아진다. 전송 전력이 낮아지면 순방향 예약을 하는 테이블-구동형(QTD)에게 유리하기 때문에 테이블-구동형(QTD)의 처리율이 증가하고 지연시간이 짧아지게 된다.

그림 11과 그림 12는 각 라우팅 방식의 평균 경로 홉 수를 각각 보여주고 있다. 시뮬레이션 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

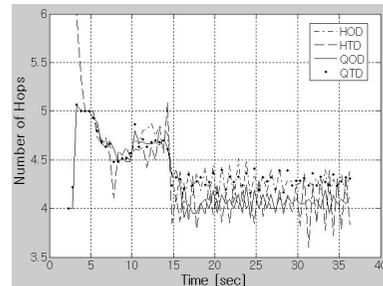


그림 11. 저전력 전송시의 홉 수
Fig. 11 Hop count with low-power transmission

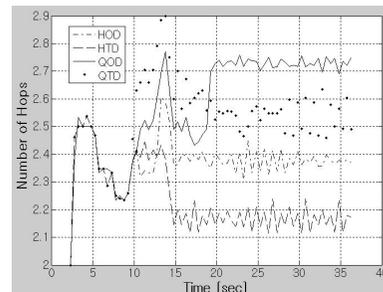


그림 12. 고전력 전송시의 홉 수
Fig. 12 Hop count with high-power transmission

첫째, 전송 전력이 높은 경우, 전송 전력이 낮은 경우에 비해 네 가지 라우팅 방식 모두 평균 홉 수가 약 1/2로 감소한다.

둘째, 전송 전력이 낮을 때 각 라우팅 방식은 비슷한 수준의 홉 수를 유지하고 있으나, 전송 전력이 높아지면 QoS 라우팅(QOD/QTD)의 홉 수는 홉-기반 라우팅(HOD/HTD)에 비해 상대적으로 커진다. QoS 라우팅은 MAS 예약을 하기 위해 홉-기반 라우팅과는 다른 우회 경로를 찾는 경우가 많은데, 전송 전력이 낮을 경우 우회 경로의 홉 수가 최소 홉 경로의 홉 수와 비슷하지만, 전송 전력이 높을 경우 우회 경로의 홉 수가 상대적으로 증가함을 알 수 있다.

V. 결 론

WiMedia 무선 메시 네트워크에서 QoS 라우팅 방안을 주문형과 테이블-구동형으로 구분하여 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 QoS 라우팅의 성능을 분석하였고 기존의 홉-기반 라우팅과 비교하였다.

QoS 라우팅이 홉-기반 라우팅에 비해서 처리율이 최대 50% 정도까지 개선된 성능을 보이는 것을 확인하였다. 또한, QoS 주문형 라우팅은 전송 전력이 낮을 때, QoS 테이블-구동형 라우팅은 전송 전력이 높을 때 상대적으로 우수한 성능을 보여 주었다. 따라서, 전송 전력에 따라 주문형과 테이블-구동형을 선택적으로 전환하면서 사용함으로써 QoS 보장성을 보다 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

향후 보다 다양한 환경(트래픽 패턴, 이동성 등등)에서 추가적인 시뮬레이션을 수행함으로써 제안한 QoS 라우팅 방안에 대한 추가적 검증이 필요하다.

References

[1] T. Chung, C. Chung, and J. Kim, "Fast MAS reallocation method for efficient video streaming service of WiMedia MAC DRP," *J. Korean Institute of Communication and Information Sciences*, vol. 40, no. 6, 2015, pp. 1048-1057.

[2] J. Sim, "A MAC design for collision avoidance in wireless USB home networks," *J.*

of the Korea Institute of Electronic Communication Science, vol. 8, no. 1, 2013, pp. 55-64.

[3] F. Xianyang, "Design and implementation of QoS routing protocol for wireless sensor network," *Proc. 4th Int. Conf. Digital Manufacturing and Automation*, Qingdao, China, June 2013, pp. 428-431.

[4] J. Raju, "Performance comparison and analysis of table-driven and on-demand routing protocols for mobile ad-hoc networks," *Int. J. Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Comm. Eng.*, vol. 2, no. 12, 2008, pp. 2809-2817.

[5] Standard Draft, "Distributed medium access control(MAC) for wireless networks, release 1.5," *WiMedia Alliance*, Dec. 2009.

[6] H. Suh, "An improved algorithm of distributed QoS in real-time networks," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 7, no. 1, 2012, pp. 53-59.

[7] H. Suh, "Multipath routing method for QoS support in WMSNs," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 8, no. 3, 2013, pp. 453-458.

[8] C. Perkins, E. Royer, and S. Das, "Ad-hoc on-demand distance vector (AODV) routing," *Request for Comments 3561*, Internet Engineering Task Force, July 2003.

[9] T. Clausen and P. Jacquet, "Optimized link state routing protocol (OLSR)," *Request for Comments 3626*, Internet Engineering Task Force, Oct. 2003.

저자 소개



박성우(Sung-Woo Park)

1985년 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1989년 Texas A&M 대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1992년 UC, Irvine 대학교 대학원 전기및컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

1992년 ~ 현재 한남대학교 정보통신공학과 교수

※ 관심분야 : 컴퓨터네트워크

