

## A Mechanism of Finding QoS Satisfied Multi-Path in Wireless Sensor Networks

Yong-Hyeog Kang\*

### Abstract

Wireless sensor networks are composed of many wireless sensor nodes that are sensing the environments. These networks have many constraints that are resource constraints, wireless communication, self-construction, etc. But they have many applications that are monitoring environment, tracking the object, etc. In this paper, a mechanism of finding QoS Satisfied multi-path is proposed in wireless sensor networks. In order to satisfy the QoS requirement, the proposed mechanism extends the AODV protocol to find multiple paths from a source node to a destination node by using the additional AODV message types that are proposed. This mechanism will be used to support many QoS applications such as minimum delay time, the better reliability and the better throughput by using the QoS satisfied multi-path. Overheads of the proposed mechanism are evaluated using simulation, and it is showed that QoS satisfied multiple paths are found with a little more overhead than the AODV mechanism.

▶ Keyword : Quality of Service, Multi-path routing, AODV extension

### I. Introduction

WSN(Wireless Sensor Network)은 환경을 협력적으로 센싱하고 제어할 수 있는 노드들의 네트워크라고 할 수 있다[1]. MEMS의 발전과 저비용 통신의 발달로 인해 WSN은 현재 개념적인 모델에서 실제로 적용되는 네트워크로 발전하였다. IoT는 WSN과 같이 발전하였으며, IoT는 통신 기술에 대한 제한이 없지만, 무선 통신은 응용의 확장성에 아주 중요한 역할을 한다. 작고 값이 싸고 낮은 파워를 갖는 WSN 센서들은 IoT를 더욱 넓은 영역의 응용까지 가능하게 한다[2].

WSN은 다른 분산시스템처럼 동작하지만, 여러 가지 제약요소를 가지고 있다. 우선 센서 노드는 제한된 에너지를 보유하고 있다. 제한된 에너지로 인해 오버헤드 없는 연산과 통신이 필요하다. 두 번째 제약요소로는 집중화되지 않고 자체적으로 관리해야 한다는 것이다. 임시로 배치되거나 인간의 개입없이 운영되어야 한다. 무선통신 제약조건은 에너지 제약조건과 같이 고

려할 때 다중홉(multi-hop) 통신을 해야만 한다. WSN을 설계할 때는 이러한 제약조건을 고려해야 한다[3].

WSN 응용 중에 현재 실제적으로 유용한 것들은 환경 모니터링, 타겟 추적, 물/기름/가스 파이프라인 모니터링, 헬스케어, 구조물 헬스 모니터링, 공급망 관리, 수송, 인간 행동 모니터링, 등이 있다[3]. 미래에는 더욱 많이 응용될 것으로 예상된다. 이러한 응용들은 단일 목적 설계(single purpose design) 형태를 가지며 몇몇 응용들은 특별한 성능과 품질 요구사항을 가진다. 예를 들어 중대한(critical) 응용인 경우 지연시간 최소화를 요구하고 비디오(video) 센서인 경우 높은 처리량을 요구할 수 있다. 이러한 WSN의 구성도는 여러 가지 형태를 가질 수 있지만 본 논문에서는 그림 1과 같은 일반적인 환경을 전제로 한다 [3].

\*First Author: Yong-Hyeog Kang, Corresponding Author: Yong-Hyeog Kang

\*Yong-Hyeog Kang(yhkang@kdu.ac.kr), Dept. of Global Business Administration, Far East University

\*Received: 2016. 12. 05, Revised: 2016. 12. 26, Accepted: 2017. 01. 26.

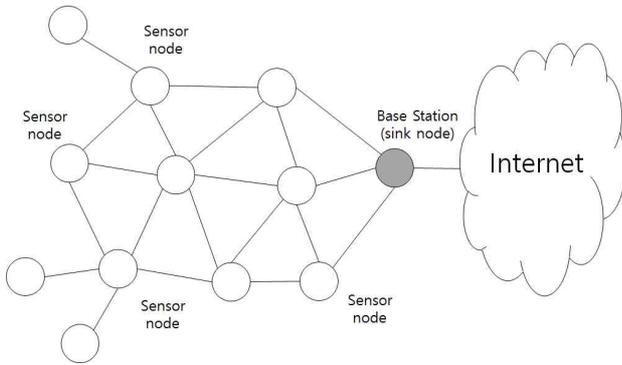


Fig. 1. Architecture of Wireless Sensor Networks

MANET에서 제안된 QoS(Quality of Service) 메커니즘을 WSN의 QoS 기법으로 적용하는 데에는 여러 가지 부적합한 이유가 있다. 첫 번째로는 구조적인 차이로 WSN에서는 다양한 이기종인 무선 기술들이 사용되어 동일한 무선통신을 사용하는 MANET 보다는 경로 선정이 어려워진다. 두 번째로는 트래픽 차이로 내부 노드들끼리의 통신보다는 싱크 노드(sink node)를 통해 외부로의 통신이 주를 이룬다. 따라서 싱크 노드로 가는 트래픽이 많아지며 싱크 노드 주위에 있는 노드들은 트래픽을 많이 전송하게 되어 부하 균형이 중요해진다[4]. 자원제약성으로 인해 트래픽을 위해 자원을 예약하여 전송하는 것은 적합하지 않으며, 많은 노드들로 구성하고 있어서 다양한 통신 분배가 가능하다. WSN의 이동성은 ad-hoc 네트워크와 비교했을 때 매우 제한적이며 자원 가용성은 네트워크 상황보다는 부하에 의해 동적으로 변경된다. WSN의 대규모성은 노드들 간의 통신 책임을 분산시킬 수 있다[4].

본 논문에서는 이러한 WSN 환경에서 QoS를 만족시키는 다중 경로들을 찾는 기법을 제안한다. 제안기법은 AODV에서 사용되는 메시지를 확장하여 제시하였으며 센서 중간 노드들은 부가적인 자료들을 유지해야 한다[6]. 2장에서는 관련연구를 기술하고, 3장에 제안기법을 설명한다. 4장에서는 성능평가를 통해 제안기법을 평가하고, 5장에서 결론 및 향후 연구 과제를 제시한다.

## II. Related Works

WSN 상에서 QoS에는 다양한 메트릭(metric)이 존재한다. 우선 가용 대역폭, 단대단 지연(end-to-end delay), 지연 지터(delay jitter), 패킷 손실(packet loss) 등이 있다[7]. 하지만 엄격한(hard) QoS를 보장하기는 어려워서 상대적인(relative) QoS 개념을 사용하는 것이 일반적이다[4]. 상대적인 QoS 제공 기법은 더 나은 평균 QoS를 보장하는 기법이다.

WSN 환경에서의 QoS 연구는 많이 진행되었다. 다양한 QoS 기법들은 다음과 같이 세 가지 유형으로 구분할 수 있다[4].

- 가) 최적화 기반 경로 선정 기법
- 나) 최소 비용 경로 선정 기법
- 다) 피드백 기반 경로 선정 기법

최적화 기반 경로 선정 기법(Optimization-Based Path Selection Technique) 유형의 QoS 기법들은 목적 함수(objective function)의 값을 최대화 또는 최소화하는 것을 이용하여 QoS 라우팅을 지원하는 기법들이다. 이러한 기법들은 중앙 집중적인 계산(centralized computation) 및 수렴 시간(convergence time)이 필요하며 많은 메시지 전송이 필요할 수 있다.

최소 비용 경로 선정 기법(Minimum-Cost Path Selection Technique)들은 소스에서 목적지까지에 존재하는 모든 경로에 값을 기준으로 메트릭 차원에서 가장 최적화된 경로를 사용하는 기법이다. 경로마다 값이 배정되어 있어서 가장 적합한 경로를 선택하는 기법이다. 하지만 이 기법의 가장 큰 단점은 너무 최적화를 하여 사용되는 노드들만 계속 사용되어 특정 노드들만 빠르게 에너지를 소비할 수 있다는 것이다[4].

피드백 기반 경로 선정 기법(Feedback-based Path Selection Technique)들은 시행 착오(trial-and-error) 기법으로 초기 경로를 선정한 후 피드백 신호를 이용하여 효율적으로 경로 선정이 이루어지고 필요시 경로를 변경하는 기법이다. 이러한 기법들의 대부분은 부하 균형을 향상시키는 기법이다[4].

이러한 QoS 메커니즘은 모두 복잡하여 자원제약적인 WSN 노드에게 적용하기에는 부적합하다. 따라서 QoS 메커니즘이 단순하게 설계되어야 한다[4]. 또한, 피드백(feedback) 메커니즘은 아직 많이 연구되지 않아서 많은 연구가 필요한 분야이다. 본 제안기법에서는 단순한 방식으로 WSN 상에서 QoS를 지원할 수 있도록 하는 기법이다.

본 논문에서 제시하는 QoS 그래프를 구성하는 기법과 유사한 연구로는 SAR 기법이 있다. 이 기법에서는 싱크(sink) 노드로부터 그래프를 구성하며 다중 경로를 갖는다. 하지만 경로를 구성하거나 유지하는 데에는 오버헤드가 많이 발생할 수 있다[8]. SPEED 기법의 확장기법인 Multi-path Multi SPEED 기법은 이웃 노드까지만 QoS 정보를 유지하며 여러 개의 후보 집합을 유지하면서 QoS 라우팅을 지원한다. 하지만, 이웃 노드간 주기적인 비컨(beacon) 메시지 교환을 수행해야 하며, 전체 경로를 고려하지 않기 때문에 명확한 QoS 요구조건에 맞추기 어렵다[9].

## III. The proposed Mechanism

본 논문에서는 WSN 상에서 QoS 서비스를 위해서 AODV를 확장하여 다중 경로를 찾고 유지하는 방법을 제시한다[10]. 제안기법은 기존 AODV 메시지 형식(format)을 확장하여 그림 2,

그림 3, 그림 4와 같은 QMRREQ 및 QMRREP와 QMRADM 메시지 형식을 추가하며, 추가적으로 요구되는 정보는 그림 5와 같은 확장형으로 제공된다.

|                             |   |    |          |                 |           |
|-----------------------------|---|----|----------|-----------------|-----------|
| 0                           | 8 | 10 | 20       | 24              | 31        |
| type                        | J | R  | Reserved | Multipath count | Hop count |
| Broadcast ID                |   |    |          |                 |           |
| Destination IP Address      |   |    |          |                 |           |
| Destination Sequence Number |   |    |          |                 |           |
| Source IP Address           |   |    |          |                 |           |
| Source Sequence Number      |   |    |          |                 |           |

Fig. 2. QMRREQ Message Format

|                             |   |          |                 |               |           |    |
|-----------------------------|---|----------|-----------------|---------------|-----------|----|
| 0                           | 8 | 9        | 15              | 19            | 24        | 31 |
| type                        | R | reserved | Multipath count | Prefix length | Hop count |    |
| Destination IP Address      |   |          |                 |               |           |    |
| Destination Sequence Number |   |          |                 |               |           |    |
| Source IP Address           |   |          |                 |               |           |    |
| Lifetime                    |   |          |                 |               |           |    |

Fig. 3. QMRREP Message Format

|                             |          |    |    |                 |    |
|-----------------------------|----------|----|----|-----------------|----|
| 0                           | 8        | 15 | 19 | 28              | 31 |
| type                        | reserved |    |    | Multipath count |    |
| Destination IP Address      |          |    |    |                 |    |
| Destination Sequence Number |          |    |    |                 |    |
| Source IP Address           |          |    |    |                 |    |
| Lifetime                    |          |    |    |                 |    |

Fig. 4. QMRADM Message Format

QMRREQ와 QMRREP는 AODV에서처럼 라우팅 경로를 찾는 데 사용되는 메시지 유형이다. QMRADM는 라우팅 정보의 추가(Add), 삭제(Delete), 수정(Modify)을 위한 메시지이다. 세 메시지 유형 모두 QM Extension 메시지 형식이 필요하며 QMRADM은 type 필드에 따라 조금씩 확장 메시지 형식이 다르다. QMRREQ와 QMRREP 및 QMRADM에서 사용되는 multipath count 필드는 다중 경로의 개수를 의미한다. multipath count가 0 또는 1이면 기존 AODV와 동일한 방식으로 단일 경로만을 구하는 것이며, 이 값이 2이상일 경우에 다중 경로를 구하게 되며, 확장형 메시지 형식이 포함되게 된다.

|                        |        |         |             |    |
|------------------------|--------|---------|-------------|----|
| 0                      | 8      | 16      | 24          | 31 |
| type                   | length | QoSType | Path length |    |
| Required QoS Value     |        |         |             |    |
| Best QoS Value         |        |         |             |    |
| Path and QoSValue List |        |         |             |    |
| ...                    |        |         |             |    |

Fig. 5. QM Extension Message Format

QM 확장 메시지 유형의 type 필드는 QMRREQ, QMRREP, QMRADD, QMRDELETE, QMRMODIFY 값을 갖는다. length 필드는 확장 메시지 형식의 전체 길이를 의미하며 QoSType 필드는 QoS에 사용되는 유형을 기록하게 된다. path length 필드는 Path and QoSValue list의 개수를 의미한다. Required QoS Value는 응용에서 요구되는 QoS의 값을 의미하며 Best QoS Value는 현재까지의 최적의 QoS의 값을 저장한다. Path and QoSValue list는 소스 노드에서 현재 노드까지의 경로 및 경로에 해당하는 QoS의 값들이 목록으로 유지된다.

제안기법을 위해서는 경로 상에 있는 센서 노드들은 표 1과 같은 정보를 생명주기동안 유지해야 한다. 이러한 요구사항은 자원제한적인 센서 노드에는 부하를 많이 발생하지만, QoS를 위한 응용에서는 센서 노드들은 QoS를 지원하지 않는 일반적인 센서 노드보다 좀 더 자원을 많이 확보할 것으로 예상되며, 경로를 사용할 때만 유지하므로 큰 부담이 되지 않을 것이다.

기존 AODV가 목적지 기반으로 라우팅 테이블 항목을 가지는 것에 반해, 제안기법은 목적지, 소스, QoSType 값에 따라 라우팅 정보를 가진다. 즉, 기존 AODV에서는 목적지당 하나의 라우팅 테이블이 필요했지만, 제안기법에서는 같은 목적지를 갖더라도 소스가 다르면 다른 라우팅 테이블을 가지며, 목적지와 소스가 같더라도 QoSType에 따라 다른 라우팅 테이블을 갖는다. 목적지 노드 근처에 있는 노드들은 여러 소스로부터 발생하는 라우팅 테이블을 유지하기 위해 보다 많은 오버헤드가 발생할 수 있다. 하지만 이러한 라우팅 테이블도 응용에 따라 생명주기를 갖기 때문에 소스와 목적지까지의 경로 노드의 오버헤드는 일시적으로 증가하므로 크게 부담이 되지 않을 것이다.

Table 1. Information maintained by intermediate nodes

| data structures                  | description  |
|----------------------------------|--|
| precursor list                   | list of previous nodes forwarding the message to the destination node through the current node |
| successor list                   | list of next nodes through which the current node forwards the message to the destination node |
| PBestQoSValue                    | best value of QoS values of precursor list   |
| SBestQoSValue                    | best value of QoS values of successor list   |
| MultipathCount                   | number of disjoint paths required by an application  |
| MultipathCtr                     | counter of replies of the QMRREP message   |
| RequiredQoSValue                 | QoS Value required from the source node  |
| QoSValue list of Successor Nodes | list of QoS values between the current node and the successor node                             |

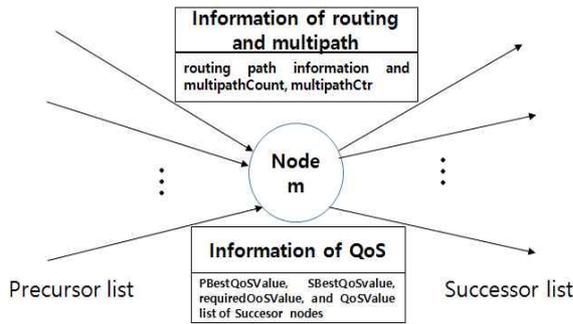


Fig. 6. Information maintained by node m

그림 6은 노드 m이 제안기법을 위해 유지하는 정보에 대한 그림이다. 임의의 노드는 AODV에서 사용되는 전위 노드 (precursor) 목록과 유사한 전위 노드 목록을 유지하며 제안기법에서는 추가적으로 후위 노드(successor) 목록을 유지해야 한다. 기존 AODV의 전위 노드는 각 항목마다 nexthop과 hop count만 유지하지만, 제안기법에서는 bestQoSValue 및 bestQoSPath를 유지한다. 후위 노드는 QMRREP를 받았을 때 생성되거나 갱신된다. 후위 노드도 전위 노드와 유사한 형태를 유지하지만, 이웃하는 후위 노드들의 QoS 값이 변경되는 것을 모니터링하기 위한 정보를 유지한다. 전위 노드 목록의 개수는 QMRREP를 보내기 위한 정보로 MultipathCount 개수만큼만 유지해도 되지만, 후위 노드 목록의 개수는 QMRREP 메시지를 보내는 노드의 개수만큼 유지하므로 MultipathCount 보다 커질 수 있다.

PBestQoSValue와 SBestQoSValue는 각각 전위 노드 목록과 후위 노드 목록에서 최적의 QoS 값을 저장하는 항목이다. MultipathCount는 응용에서 필요로 하는 다중 경로의 개수이며 MultipathCtr는 QMRREP 메시지 전송 개수를 계산하기 위한 계수기이다. QoSValue list of Successor Nodes는 현재 노드와 Successor 노드와의 QoS 값이 변경되었을 때를 감지하기 위한 자료구조이다.

경로를 찾는 기법은 QoS 메트릭(metric)에 따라 다르다. 가산(additive) 메트릭인 경우에는 예를 들어 최소지연시간인 경우 최단경로를 찾는 것과 동일하게 수행한다. 하지만 하나의 최단 경로만을 찾는 것이 아니고 여러 개의 QoS를 만족하는 최단 경로를 찾는다. 따라서 기존의 하나의 최단 경로만을 찾는 Shortest Path 알고리즘으로는 불충분하며 다른 메커니즘이 필요하다. 승산(multiplicative) 메트릭인 경우에는 신뢰성과 같은 것으로 노드들 간의 연결의 신뢰도를 바탕으로 평가한다. 이 기법은 최소값이 아니라 최고값을 기반으로 탐색하며 메트릭들의 덧셈이 아니라 곱셈으로 하여 수행하는 점 이외에는 최단 경로를 찾는 기법과 유사하다. 오목(concave) 메트릭인 경우에는 예를 들어 최소대역폭 보장 같은 것으로 경로 상의 대역폭들의 최소값으로 표현되며 이 경우에도 최고값을 기반으로 탐색되며 메트릭들의 덧셈이 아니라 최소값으로 표현되는 것 이외에는 최단 경로를 찾는 기법과 유사하다. 앞으로는 단순화를 위해 지연 시간같은 가산 메트릭 기반으로 설명하지만 다른 메트릭도

유사하게 처리할 수 있다.

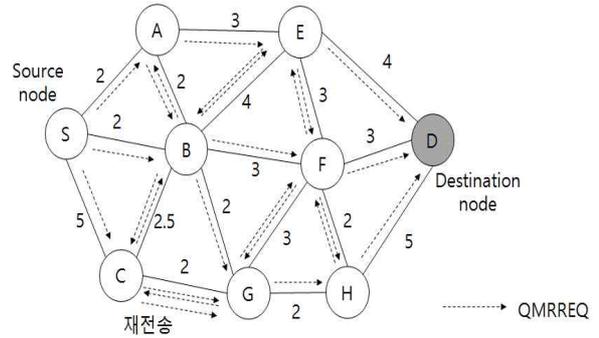


Fig. 7. Propagation of QMRREQ

그림 7은 QMRREQ가 전송되는 상황을 보여주는 그림이다. MultipathCount값에 상관없이 QMRREQ 메시지를 전송하는 데 동일한 메시지인 경우에는 대부분 재전송하지 않지만, 더 좋은 QoS 값을 갖는 경로로부터 오는 메시지는 재전송된다. 동일한 메시지가 재전송되는 경우는 C 노드가 QMRREQ 메시지를 보낸 후에 B 노드로부터 QMRREQ 메시지를 받은 경우에 해당된다. 하지만, 이러한 재전송은 목적지 노드로 접근하는 경로인 경우에는 많이 확산되지는 않을 것으로 파악된다. 그림에서 G 노드에서 QMRREQ 메시지를 C 노드로부터 두번 받았지만, B 노드로 부터 받은 QMRREQ 메시지를 받았을때가 가장 최적인 경우이므로 재전송은 일어나지 않는다.

그림 8은 MultipathCount가 2인 경우 QMRREP 메시지가 목적지 노드에서 소스 노드까지 전송되는 것을 보여준다. 경로에 포함되는 모든 노드는 전위 노드인 인접 노드를 기준으로 최적 QoS 값을 가지고 있다. 이를 기준으로 QMRREP 메시지를 전송한다. 소스 노드는 이러한 과정을 통해 최적 QoS 값을 갖는 경로인 SBFD를 구할 수 있으며 중첩되지 않는 두번째 최적 경로인 SAED 경로를 가지게 된다. 추가적으로 SBFD와 F 노드가 중첩되지만 SCGFD라는 경로를 얻게 된다.

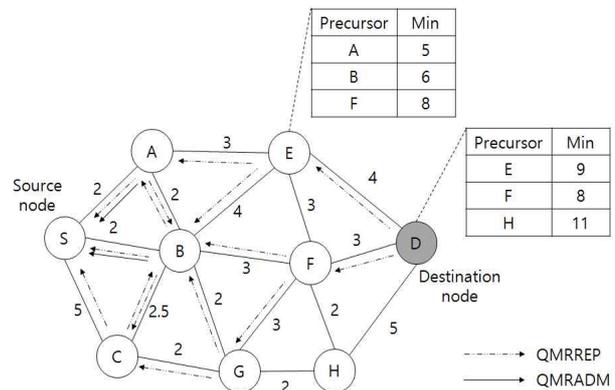


Fig. 8. Deliveries of QMRREP and QMRADM

또한 후위 노드 목록을 살펴보면 E 노드인 경우 D 노드만을 가지지만, B 노드인 경우 QoSRequired 값이 허용되는 경우 QMRREP를 자신에게 보낸 노드들인 A, C, E, G, F를 후위 노

드 목록으로 유지하게 된다. 그리고 B 노드는 이러한 후위 노드들과의 QoS 값이 변경될 경우 소스 노드에게 QMRADM 메시지를 보낼 수 있다. QMRADM 메시지를 줄이기 위해서는 알고리즘을 조금 더 효율적으로 구성하면 된다. 즉, 경로가 목적지 노드를 제외하고 중첩되는 경우에는 메시지 전송이 필요하다. B 노드가 E 노드에서 받은 경우에는 중첩되는 경우가 없으므로 후위 노드로 등록하지만, B 노드가 A 노드에서 받은 경우에는 E로 가는 경로와 중첩되므로 메시지 전송이 불필요하다. 마찬가지로 G 노드에서 받은 경우에도 F 노드가 중첩되므로 삭제할 수 있다. 최종적으로는 E에서 B로 가는 경로는 QoSGraph에 포함되게 된다. 그림 9는 소스 노드인 S 노드가 최종적으로 갖는 QoSGraph이다.

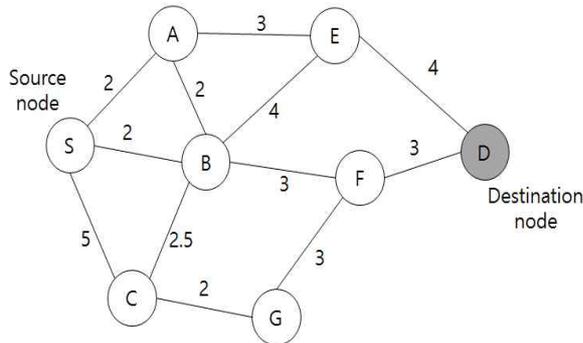


Fig. 9. Result of QoSGraph maintained by Node S

그림 10은 임의의 소스 노드가 QoS 응용에 따라 목적지 노드까지 QoS 기반으로 전송이 필요할 때 수행되는 알고리즘이다. 소스 노드는 QoS 기반 다중 경로가 필요할 때 QoSType과 QoSRequiredValue를 기반으로 경로를 찾는다. 소스 노드들은 QoS 기반 통신을 위해 QoSGraph를 유지하고 있다. 알고리즘에서 findQoS SatisfiedPath 함수는 QMRREQ와 QMRREP 및 QMRADM 메시지에 의해 생성된 QoSGraph에서 QoS 요구조건을 만족하는 경로들을 찾는 함수이다. 소스 노드는 QoSGraph가 존재하고 lifetime이 유효할 경우에 이 그래프를 이용하여 다중 경로를 찾은 후 QoS 트래픽을 다중 경로를 이용하여 전송한다. 다중 경로는 중첩이 있는 여러 개의 경로가 구할 수 있으며 중첩이 없는 최대 MultipathCount만큼 비중첩(disjoint) 경로를 구할 수도 있다. QoSGraph로부터 유효한 경로를 찾지 못할 때에는 QMRREQ 메시지를 이웃노드들에게 전송함으로써 QoSGraph의 재구성을 시작한다.

```

A.1 when a node n has QoS messages to destination node d

if ((multipaths = findQoS SatisfiedPath(d, q) != NULL)
    send the messages with multipaths;
else
    broadcast the QMRREQ message to neighbor nodes;
    
```

Fig. 10. Algorithm on having QoS messages

```

A.2 When a node m receive QMRREQ from l

tmpValue = MBestQoSValue+ QoSValue between l and m

if (tmpValue > requiredQoSValue)
    return;
add or update precursor list with l;

if (m is the destination node) {
    if (this message is the first message of QMRREQ) {
        add m to path list of the QMRREP message;
        sendQMRREPmessages(MultipathCount);
    }
} else if (tmpValue is not better than PBestQoSValue)
    return;
else {
    PBestQoSValue = tmpValue;
    MBestQoSValue = tmpValue;
    add m to path list of the QMRREQ message;
    broadcast QMRREQ message to neighbors
}
    
```

Fig. 11. Algorithm on receiving QMRREQ

그림 11은 센서 노드들이 QMRREQ 메시지를 받았을 때 수행하는 알고리즘이다. QMRREQ에는 소스 노드의 QoS 요구사항과 이전 노드까지의 최적의 QoS 경로 정보가 들어간다. 우선 QoS 요구조건을 맞출 수 없으면 QMRREQ 메시지를 폐기한다. 목적지 노드가 아닌 중간 노드인 경우 QMRREQ 메시지 확산을 줄여야 한다. 이를 위해 RREQ ID가 동일한 경우 최초 또는 최적 QoS 역경로를 갖는 QMRREQ 경우에만 메시지를 전달하며 나머지 QMRREQ는 전달하지 않도록 해야 한다. QMRREQ를 받은 노드는 QMRREQ 메시지를 보낸 이웃 노드에 대한 QoS 정보들을 유지하고 있으며 최적인 QoS 정보도 유지한다. 최적인 QoS 정보의 역할은 QMRREQ 재전송 확률을 줄이는 것이다. 최적 QoS 정보와 비교하여 최적인 QoS 경로가 아닌 노드로 부터 오는 동일한 RREQ ID를 갖는 QMRREQ는 재전송하지 않는다. QMRREQ 메시지를 받은 노드가 목적지 노드이며 첫 번째 메시지인 경우에는 QMRREQ를 받은 이웃 노드에게 QMRREP로 응답한다. 목적지 노드는 이러한 QMRREP 메시지를 MultipathCount만큼만 전송한다. sendQMRREPmessage 함수는 전위 노드 목록에서 최적 경로들을 multipathCount 만큼 순서대로 찾아서 QMRREP 메시지를 전송하는 것이다. 현재까지 구성된 전위 노드 목록이 부족한 경우 multipathCount 만큼 QMRREP를 보내기 위해 타이머를 이용한다.

그림 12는 센서 노드들이 QMRREP 메시지를 받았을 때 수행하는 알고리즘이다. QMRREP를 받으면 QoS 요구조건에 맞출 수 있는지 체크하여 맞출 수 없을 경우 QMRREP 메시지를 폐기한다.

```

A.3 When a node  $m$  receive QMRREP from  $l$ 

tmpValue = MBestQoSValue+ QoSValue between  $l$  and  $m$ 
totalValue = tmpValue+ PBestQoSValue

if (totalValue > requiredQoSValue)
    return;

add or update successor list with  $l$ ;

if( $m$  is the source node) {
    update QoSGraph with the QMRREP message
    restart A.1
} else {
    if (tmpValue is better than PBestQoSValue) {
        PBestQoSValue = tmpValue;
        MBestQoSValue = tmpValue;
        add  $m$  to path list of the QMRREP message;
        sendQMRREPmessages(MultipathCount);
    } else {
        sendQMRADMmessage(source_node);
    }
}
}

```

Fig. 12. Algorithm on receiving QMRREP

QoS 요구조건을 맞출 수 있을 경우에는 목적지까지의 경로 정보를 successor list로 유지한다. QMRREP를 받은 노드가 소스 노드인 경우에는 QoSGraph를 갱신한 후 QoS 트래픽 전송을 재시작한다. QMRREP를 받은 노드가 소스 노드가 아닌 중간 노드인 경우에는 최적의 경로로 응답하며, 동일한 목적지와 소스를 갖는 QMRREP 메시지를 중복해서 받았을 경우 목적지까지의 최적의 역경로가 아니면 재전송하지 않는다. sendQMRADMmessage 함수는 해당 경로가 최적 경로는 아니지만 기존 경로와 중첩되지 않는 경우에 QoSGraph에 경로를 추가하고자 하는 경우에 소스 노드에 직접 전송한다.

QMRREP는 엄청나게 증가할 수 있으나 메시지 수신자가 중복되거나 QoS 요구 조건을 맞출 수 없는 경우에는 QMRREP 메시지 증가가 감소한다. 또한, 동일한 메시지를 받은 수신자는 최적 경로가 아닌 경우에는 재전송을 하지 않으므로 메시지의 증가를 줄일 수 있다. 이러한 QMRREQ, QMRREP, QMRADM 메시지 전송을 통해 소스 노드는 QoSGraph를 얻게 되며 이 그래프를 이용하여 소스와 목적지를 제외한 노드들이 중첩되지 않는 다중 경로를 QoSGraph에서 찾을 수 있다.

QoSGraph의 정보는 전송 기간 동안 계속 갱신될 수 있다. 전송 경로에 있는 노드들에 대한 정보는 전송 데이터에 피기백(piggyback) 기법을 이용하여 효율적으로 갱신할 수 있다. 전송 경로에 있지 않는 노드들은 노드들과 후위 노드들 간의 QoS 정보들을 모니터링하여 QoS 요구조건을 참고하여 필요할 때 QMRADM 메시지를 전송하여 QoSGraph를 갱신할 수 있다.

## IV. Performance Evaluation

제안기법은 QoSGraph를 통해 효과적으로 최적의 QoS 경로를 찾을 수 있다. 하지만 QoSGraph를 구성하거나 유지하는 데 오버헤드가 많이 발생할 수 있다. 이러한 오버헤드를 평가하기 위해 QMRREQ와 QMRREP 메시지 개수를 평가한다. 또한, 중첩되지 않는 다중 경로를 찾을 수 있는 지 평가한다. 시뮬레이션은 SIMLIB 기법을 적용하였으며 표 2와 같은 파라미터를 사용하였다[11].

Table 2. Parameters of simulation

| Parameters                  | Values                                  |
|-----------------------------|---|
| number of sensor nodes      | 200, 250, 300, 350                      |
| Rectangular region          | 400m * 400m                             |
| radio range                 | 40m                                     |
| position of the sink node   | the nearest node to the position (0, 0) |
| position of the source node | (100~400, 100~400)                      |

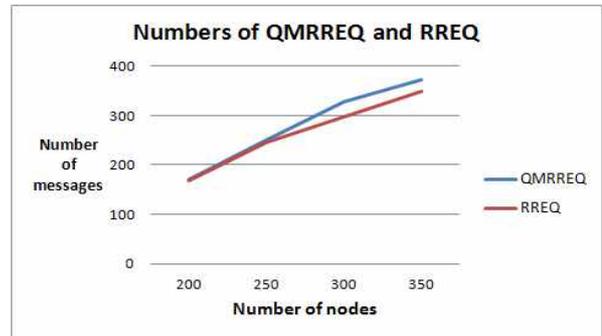


Fig. 13. Results of numbers of QMRREQ and RREQ

그림 13은 제안기법의 QMRREQ와 기존 AODV의 RREQ의 메시지 개수를 비교하였다. QMRREQ 메시지는 기존 AODV 메시지보다는 많지만, AODV에 비해 거의 차이가 나지 않는다. 노드의 수가 200일 때는 거의 차이가 나지 않지만 노드의 수가 증가할수록 QMRREQ 메시지는 증가한다. 이러한 증가는 더 좋은 QoS 경로가 노드의 수가 많을수록 많이 있음을 의미한다. 이로 인해 더 좋은 QoS 경로를 통해 QoS 서비스를 할 수 있음을 의미한다. 노드의 수가 200일 때 AODV의 RREQ 메시지의 수가 200보다 작은 것은 연결되지 않은 노드가 있다는 의미이며 노드의 수가 증가할수록 연결되지 않는 노드가 없어진다.

그림 14는 QMRREP의 메시지 개수가 AODV의 RREP에 비해 상당히 많이 발생함을 보여주고 있다. 왜냐하면 AODV의 RREP 메시지 개수는 경로의 길이와 같으며 표 2와 같은 환경에서 평균 경로의 길이는 10보다 작기 때문이다. 하지만, QMRREP는 네트워크 전체로 확산되지 않고 수신 노드들이 중첩되기 때문에 이론적인 수치와 비교했을 때 크지 않다고 평가된다. 이것은 다중 경로의 수를  $m$ 이라하고 경로의 길이가  $l$ 일 때, 이론적으로는 QMRREP 메시지 개수는  $m^{(l-1)}$ 만큼 증가할

수 있다. 성능 평가 결과는 그것보다는 작은 값을 갖는다는 것을 보여주고 있다.

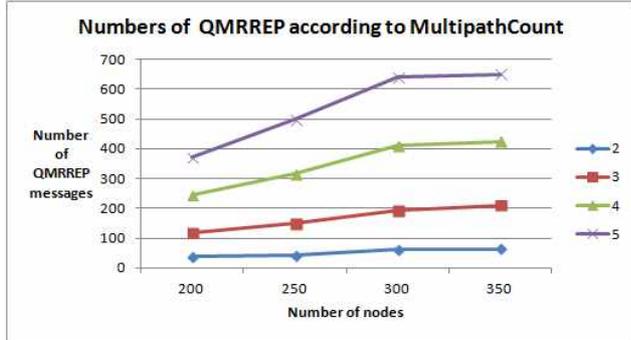


Fig. 14. Results of numbers of QMRREP

이러한 메시지를 줄이기 위해서는 여러 가지 방법이 있다. AODV의 RREQ 메시지처럼 브로드캐스트 기법을 사용하면 더욱더 QMRREP 메시지 양은 줄어들게 된다. 즉, 이웃하는 노드 전체에게 브로드캐스트하고 메시지를 받은 노드는 후위 노드 목록을 확인하여 자신에게 온 메시지인지를 확인하고 QoS 요구사항을 만족시키는 후위 노드가 있으면 브로드캐스트하고 없으면 브로드캐스트하지 않는 방식이다. 이 방식은 메시지 최상한선은 시스템에 존재하는 노드의 수만큼만 증가할 수 있다. 또한, QoS 요구사항을 세밀하게 설정함으로써 최적 QoS 경로에서 벗어나는 곳에 QMRREP 메시지가 확산되는 것을 막을 수 있다.

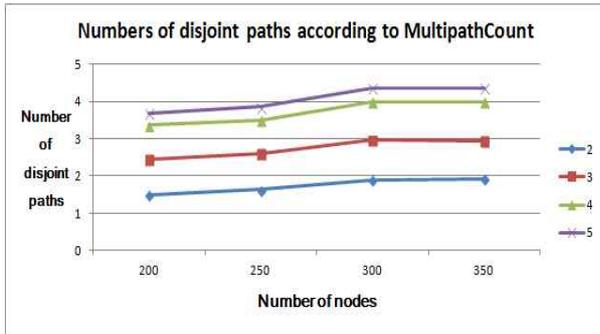


Fig. 15. Results of Numbers of disjoint paths

그림 15는 제안기법에 의해 생성된 QoSGraph가 중첩되지 않는 다중 경로를 얼마만큼 갖는지를 보여주고 있다. 다중 경로의 수는 노드의 수가 작을 때는 기대치에 못 미칠 때가 있지만 300개 이상 있을 때는 충분히 다중 경로를 확보하고 있다. 하지만, MultipathCount 값에 따른 다중 경로의 수를 분석해보면, 이 값이 5인 경우에는 4인 경우보다 많이 증가하지 않음을 알 수 있다. 즉, MultipathCount 값이 어느 정도 이상이 되면, 다중경로의 수가 선형적으로 증가되지 않음을 알 수 있다.

성능평가를 통해 제안기법은 QMRREQ 메시지 전송량은 미미하게 증가하지만 QMRREP 메시지는 기존 기법에 비해 많이 증가함을 알 수 있다. 또한, 제안기법으로 인해 노드의 수가 증가할수록 선형적으로 많은 다중 경로를 확보할 수 있지만 어느

정도 이상이 되면 다중 경로의 수가 선형적으로 증가하지 않음을 보였다. 제안기법이 기존 기법들에 비해 가지는 장점은 여러 가지가 있다. 우선 다중 경로를 구하는 동시에 QoS를 동시에 고려하였으며, AODV 프로토콜 확장하여 상세 프로토콜을 설계하고 패킷 처리 알고리즘을 제시하였다. 또한, 기존 기법들에 비해 본 논문에서는 다중 경로를 찾는 오버헤드를 평가했으며, 몇 개의 다중 경로가 구해지는지를 평가하였다.

## V. Conclusion and Future Works

본 논문에서는 QoS를 만족시키는 다중경로를 찾는 기법을 제안하였다. 이 기법은 기존 AODV 기법을 확장하여 다중 경로를 찾는 기법과 QoS를 만족시키는 경로를 찾는 기법이다. 성능 평가를 통해 제안기법이 오버헤드는 있지만 다중 경로를 찾을 수 있음을 보였다.

이러한 다중 경로는 다양한 곳에서 응용될 수 있다. 우선 QoS 트래픽을 위해 사용할 수 있으며, 다중 경로를 통해 보안 문제[12] 및 에너지 및 부하 분산 문제 등도 적용할 수 있다 [13]. 향후 연구 과제로는 이러한 다중 경로를 통해 다양한 응용 분야에 대한 적용과 QMRREP 메시지의 오버헤드를 줄일 수 있는 방법에 대한 연구이다.

## REFERENCES

- [1] Sun-Chol Kim, Seung-Kwon Choi, Yong-Hwan Cho, "Clustering Algorithm for Extending Lifetime of Wireless Sensor Networks," Journal of The Korea Society of Computer and Information Vol. 20, No. 4, April 2015.
- [2] Wireless Sensor Networks Project Team, "Internet of Things: Wireless Sensor Networks (White Paper)," July 2015, <http://www.iec.ch>.
- [3] W. Dargie and C. Poellabauer, "Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice," Wiley, pp. 3-16, 2010.
- [4] S. Basagni, M. Conti, S. Giordano, and i. Stojmenovic, "Mobile Ad-hoc Networking: The Cutting-edge Directions", John-wiley, pp. 275-313, 2013.
- [5] A. Boukerche, "Algorithms and Protocols for Wireless Sensor Networks," John Wiley & Sons Inc., pp. 365-436, 2009.
- [6] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad Hoc

- OnDemand Distance Vector (AODV) Routing," Internet Engineering Task Force (IETF), RFC 3561, July 2003.
- [7] Kang Hong Cho, "Hybrid Link State Update Algorithm in QoS Routing," *Journal of The Korea Society of Computer and Information* Vol. 19, No. 3, March 2014.
- [8] K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi, and G. Pottie, "Protocols for Self-organization of a Wireless Sensor Network," *IEEE Personal Communications*, Vol. 7, No. 5, 2000.
- [9] E. Felemban, C. G. Lee, and E. Ekici, "MMSPEED: Multipath multi-SPEED Protocol for QoS Guarantee of Reliability and Timeliness in Wireless Sensor Networks," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, Vol. 5, No. 6, 2006.
- [10] C. E. Perkins, "Ad Hoc Networking," Addison- Wesley, pp. 173-219, 2001.
- [11] A. Law and W. Kelton, "Simulation Modeling and Analysis," 3rd ed., McGraw-Hill, 1999.
- [12] S. M. Zin, N. B. Anuar, M. L. M. Kiah, and I. Ahmedy, "Survey of Secure Multipath Routing Protocols for WSNs," *Journal of Network and Computer Applications* 55, 2015.
- [13] Shi-Kyu Bae, "An EIBS Algorithm for Wireless Sensor Network with Life Time Prolongation," *Journal of The Korea Society of Computer and Information* Vol. 19, No. 9, September 2014.

### Authors



Yong-Hyeog Kang received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Electrical and Computer Engineering from Sungkyunkwan University, Korea, in 1996, 1998, and 2003, respectively.

Dr. Kang joined the faculty of the Department of Business Administration at Far East University, Chungbuk, Korea, in 2003. He is currently a Associate Professor in the Department of Global Business Administration, Far East University. He is interested in Internet of things, secure computing, and cloud computing.