

무선 센서 네트워크에서 에너지 손실 감소를 위한 LQI 표준편차 라우팅 알고리즘

LQI Standard Deviation Routing Algorithm for Energy Loss Reduction in Wireless Sensor Networks

신현준*, 오창현*

Hyun-Jun Shin*, Chang-Heon Oh*

요 약

무선 센서 네트워크는 주변의 정보를 얻고자 하는 환경에 사용되며, 이러한 정보는 무선 링크를 통해 전송되기 때문에 재전송이 발생하여 노드의 에너지 소모가 크다는 단점이 있다. 이 때문에 신뢰성이 높고 에너지 효율이 좋은 링크를 선택하기 위해 LQI(link quality indication), hop count 등을 이용하여 무선 링크에 대한 품질을 추정하는 기법이 필요하다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 노드들의 데이터 전송률을 높여 재전송을 줄임으로서 에너지 소모를 줄이는 라우팅을 위해 각 경로 내의 LQI를 구한 후 LQI 표준편차가 작은 경로를 선택하는 LQI 표준편차 라우팅 알고리즘을 제안한다. 또한 제안하는 알고리즘을 기존 LQI 알고리즘인 minimum-LQI, Hop-LQI weight과 RF 출력 -7dBm에서 비교하였다. 결과에 의하면 제안하는 알고리즘은 기존 알고리즘에 비해 경유 노드수, 재전송률, 네트워크 수명이 각각 우수하였다. 따라서 LQI 표준편차 라우팅 알고리즘을 에너지 소모에 제한적인 무선 센서 네트워크에 적용할 경우 에너지 소모를 효율적으로 줄일 수 있다.

Abstract

Wireless sensor network is used at the environment to obtain nearby information and since such information is transferred through wireless link, it causes unnecessary re-sending and disadvantage of big energy consumption at node. Because of this to select reliable, energy effective link, method of estimating quality on wireless link using RSSI(received signal strength indication), LQI(link quality indication), etc is needed on wireless link. To set up path extending survival time by reducing energy consumption of nodes at the wireless sensor network, the thesis selects with small standard deviation of LQI after obtaining LQI within each path. Additionally, LQI standard deviation routing algorithm is compared based on LQI algorithm such as minimum-LQI, hop-LQI weight and RF output -7dBm. According to the outcome, the algorithm suggested has superior characters such as the number of node, retransmission rate and network life span respectively compared to existing algorithm. Therefore, energy consumption can be efficiently reduced in case that LQI standard deviation routing scheme suggested by this paper is adapted to wireless sensor network.

Key word : LQI, Routing, Standard Deviation, Hop Count, Wireless Sensor Networks

I. 서 론

무선 센서 네트워크는 군, 의료, 고립지역 및 위험 지역, 자연재해정보 취득 등 사람이 접근하기 어려운 장소나 긴급한 상황 대처 및 대규모의 데이터 수집이

* 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과(Korea of University Technology and Education, Dept. of Electrical, Electronics & Communication Eng.)

· 제1저자 (First Author) : 신현준 (Hyun-Jun Shin) · 교신저자 : 오창현 (Chang-Heon Oh, 010-7655-2953, choh@koreatech.ac.kr)

· 투고일자 : 2012년 10월 16일

· 심사(수정)일자 : 2012년 10월 16일 (수정일자 : 2012년 12월 21일)

· 게재일자 : 2012년 12월 30일

필요한 다양한 상황에 사용자가 원하는 특정 데이터를 수집하기 위한 목적으로 사용되며, 이를 위해 다수의 센서 노드들을 특정 지역에 배치하여 발생하는 각종 이벤트 데이터를 사용자에게 전달한다[1]. 무선 센서 네트워크의 가장 큰 제약점은 센서 노드들이 대부분 주 에너지 공급원으로 배터리를 사용하고 있어 한정된 에너지를 가진다는 점이다. 따라서 센서 노드로 에너지를 지속적으로 공급하거나 배터리 재충전과 같은 방법으로 에너지 공급을 하여야 하지만 현실적으로 어려움이 많아 한정된 에너지를 효율적으로 사용하는 기술을 고려해야 한다[2]-[6].

무선 센서 네트워크에서는 에너지 소모를 최소화하기 위해 다음과 같은 방법들이 주로 사용된다[7].

첫째, 모든 모듈을 가동시켜 소비전력이 많은 액티브 모드와 사용하지 않는 모듈을 정지시켜 소비전력을 절감하는 슬립 모드를 번갈아 선택하는 무선 센서 노드 사용한다. 둘째, 노드의 전송 범위를 조정하여 전력 제어를 한다. 셋째, 효율적 에너지 라우팅 및 데이터 수집한다. 넷째, 불필요한 데이터 전송 및 활동을 제한한다.

본 논문에서는 제한된 에너지 자원을 효율적으로 사용하기 위해 품질이 높은 라우팅 경로로 데이터를 전송하여 재전송률을 줄임으로서 에너지 손실을 감소하는 방법을 다루기로 한다.

제안하는 알고리즘은 무선 센서 네트워크에 존재하는 경로들의 LQI를 구한 후 LQI 표준편차가 작은 경로를 선택한다. 선택 한 경로 중 두 경로 이상이 동일한 LQI 표준편차를 가질 경우에는 누적 LQI와 홉수 메트릭을 이용하여 경로를 선택한다. 누적 LQI 보다 홉수를 먼저 이용하여 경로를 선택할 경우 우회하는 경로를 선택할 경우가 발생할 수 있기 때문에 경로의 품질이 높은 경로를 선택하기 위해 누적 LQI를 먼저 이용하여 경로를 선택하게 되며, 누적 LQI 까지 동일한 경우에 홉수를 이용하여 홉수가 가장 적은 경로를 선택한다.

본 논문의 구성으로 II장에서는 무선 센서 네트워크에서 라우팅 경로를 설정하기 위해 LQI, 홉수를 메트릭으로 사용하여 링크 비용을 도출하는 기존 연구에 대해 기술한다. III장에서는 LQI 표준편차 라우팅 알고리즘의 동작원리를 설명한다. IV장에서는 제안

한 알고리즘의 시뮬레이션을 통해 기존 연구 성능들과 비교 분석한다. 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 링크 품질 기반 기법

무선 센서 네트워크에서는 신뢰성이 높고 에너지 효율이 좋은 링크를 선택하기 위해 LQI, 홉수 등의 메트릭에 대한 많은 관심과 연구가 진행 중이다. 하지만 무선 링크가 열악한 무선 센서 네트워크에서 홉수 메트릭을 적용할 경우 링크 품질은 고려하지 않고 가까이 있는 노드보다 멀리 떨어진 노드를 전송 경로에 포함하기 때문에 설정된 경로는 불안한 경우가 자주 발생할 수 있다. 따라서 일부 센서 네트워크 라우팅 프로토콜들은 홉수 대신 LQI가 좋은 노드들로 구성된 경로를 선호한다[8].

본 장에서는 제안하는 알고리즘과 기존 연구의 성능 비교를 위해 Minimum-LQI와 Hop-LQI wight에 대해 기술한다.

2-1 링크 품질

RSSI를 이용한 거리 측정은 송신기와 수신기 사이에서 전파의 경로 손실을 이용하여 거리를 수학적으로 측정하는 것으로 수신 신호의 세기가 멀어질수록 신호가 약해지는 것을 응용한 것이다. 그림 1은 RSSI의 세기를 거리별로 나타낸다.

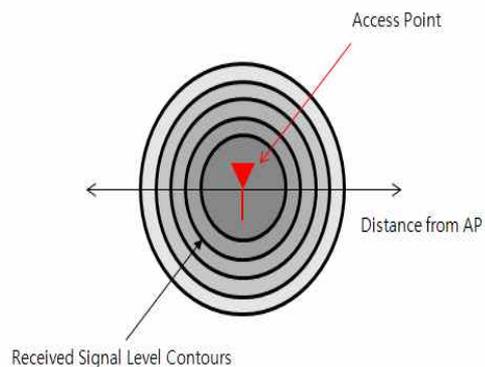


그림 1. 거리에 따른 RSSI 세기
Fig. 1 Level of RSSI according to distance.

Friis의 전파경로손실 공식에 따라 자유 공간에서 신호 감쇠는 식 (1)과 같이 거리의 제곱에 반비례하며, 수신이득에 비례한다[9].

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 n} \quad (1)$$

P_t 는 송신 전력이며, $P_r(d)$ 는 수신 전력, G_t 는 송신 안테나 이득, G_r 는 수신 안테나 이득, d 는 송수신 안테나 사이의 거리(m), n 은 경로 손실 계수이다.

RSSI는 식 (1)을 이용하여 식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$RSSI(dBm) = 10 \cdot \log P_r(d) \quad (2)$$

LQI는 IEEE 802.15.4에서 패킷 수신 신호 세기 RSSI의 값을 1바이트 수치로 정량화한 값을 의미하고 수신 강도가 좋을수록 높은 값을 얻는다. 식 (2)를 이용하여 식 (3)을 구할 수 있다.

$$LQI = \frac{RSSI_{receive}}{RSSI_{max}} \quad (3)$$

여기서, $RSSI_{receive}$ 는 노드가 패킷 수신 시 측정된 RSSI 값이다.

2-2 Minimum-LQI

LQI 메트릭을 이용한 라우팅 프로토콜에는 Minimum-LQI가 있다[10].

Minimum-LQI는 경로 상의 각 구간 LQI 중 가장 작은 LQI를 라우팅 메트릭으로 사용하고, 각 경로의 최소 LQI 값을 비교해서 가장 큰 값을 가진 경로를 라우팅 경로로 선택하는 기법으로 최소 LQI 값을 비교하여 최소 LQI 값이 가장 큰 값을 가진 경로를 선택한다. 하지만 경로마다 LQI의 표준편차는 고려하지 않아 최소 LQI 값이 가장 큰 경로를 선택하더라도 LQI 값들이 고르지 않고 링크 품질의 편차가 커 노드의 에너지가 빨리 소모되는 일이 발생할 수 있는 단점이 있다. 그림 2는 LQI의 표준편차를 이용하지 않을 경우 발생하는 문제를 나타낸 그림이다. 표준편차

를 고려하지 않고 노드들의 LQI 값으로 경로를 설정할 경우 발신지 노드는 LQI 값에 따라 1번과 2번 경로를 이용하게 된다. 이럴 경우 다음노드에서 LQI 값이 큰 2번 경로를 선택하게 되고 안정적으로 목적지 노드까지 데이터를 전송하게 되지만 경로를 우회하기 때문에 에너지의 손실이 발생하는 문제를 가지고 있다.

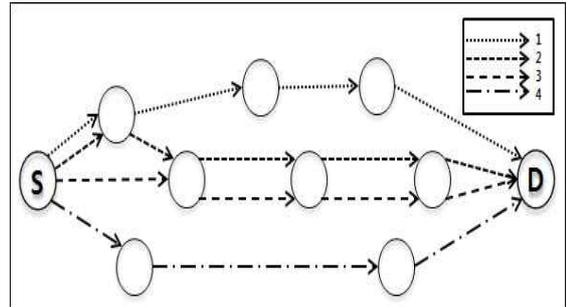


그림 2. Minimum-LQI를 이용한 경로 설정
Fig. 2 Path set-up using minimum-LQI.

2-3 Hop-LQI weight

홉수는 하나의 노드에서 다른 노드로 거쳐 가는 노드의 수를 의미한다. 거리 변화에 따른 노드의 신호 세기 LQI는 곡선형 감소 그래프인 지수 함수 형태를 띄우고 경로 손실 지수 n 은 2~6 사이의 값을 사용한다. Hop-LQI weight 기법은 자유 공간 계수인 2를 사용하였다. 표 1은 환경 변화에 따른 경로손실 계수를 나타낸다[9].

표 1. 환경 변화에 따른 경로 손실 계수
Table. 1 Path loss exponents for different environments.

	통신 채널환경	경로 손실 계수, n
1	자유 공간	2
2	도시 지역 내 셀 방식 무선 전화	2.7 ~ 3.5
3	음영 도시 내 지역 셀 방식 무선 전화	3 ~ 5
4	건물 내 가시선	1.6 ~ 1.8
5	건물 내 방해	4 ~ 6
6	공장 내 방해	2 ~ 3

Hop-LQI weight 알고리즘은 거리차를 함수의 차로 간주하며, 부모-자식간 관계를 설정하기 위한 링크 비용으로 곡선형 감소 그래프인 지수 곱을 취한다.

Hop-LQI weight 알고리즘에서는 지수 곱으로 0보다 크고 1보다 작은 상수 중에서 0.8을 사용한다. 식 (4)는 Hop-LQI weight 알고리즘을 나타내는 식이다 [11].

$$iCost = cLQI \tag{4}$$

$$Cost = cLQI * \alpha^{diff(cHop, pHop)}$$

(α : constant, $0 < \alpha < 1$)

$cLQI$ 는 1 hop 부모와 자신과의 LQI, $cHop$ 은 싱크 노드로부터 자신과의 누적 홉수, $pHop$ 는 전에 설정된 노드까지의 누적 홉수이다.

III. LQI 표준편차를 이용한 라우팅 알고리즘

다수의 노드들이 네트워크를 구성하기 위해서는 연결 단계를 거쳐야 한다. 이 단계에서 새로운 노드는 이웃 노드들을 발견하기 위해 스캔과정을 수행하고 가장 강한 LQI 혹은 가장 인접한 노드를 상위 노드로 설정하여 이 노드와 연결을 수행한다. 하지만 이러한 알고리즘은 전체 네트워크에 대한 정보를 고려하지 않아 재전송 및 오류를 발생시키며, 노드들의 에너지를 빠르게 소모시키고 결과적으로 네트워크 수명이 짧아지게 된다[12]. 따라서 본 논문에서는 전체 네트워크 정보를 고려한 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 노드 간 각 경로마다 LQI를 비교하여 표준편차가 작은 경로를 찾은 후 누적 LQI와 적은 곱수를 비교하여 가장 안정적이며 효율적인 경로를 찾아 자신의 데이터 전송 경로를 선택한다.

그림 3은 본 논문의 알고리즘을 설명하기 위한 그림이다. 발신지 노드는 목적지 노드로 데이터를 전송하는 4개의 경로가 있으며 1~6은 노드를 의미하고 각 구간 사이의 값은 LQI를 의미한다. 각 경로 내의 LQI 표준편차를 구한 후 경로 내의 LQI들을 누적하는데 이러한 이유는 만약 표준편차가 동일한 경로가 발생한다면 누적 LQI 값이 더 큰 경로를 선택해 에너지 효율이 좋은 경로를 선택하기 위함이다. 또한 표준편차는 작고 누적 LQI는 크지만 LQI가 작은 노드들이 다수 구성된 경로를 제외시키기 위해 곱수의 비교를 마지막 우선순위로 정한다.

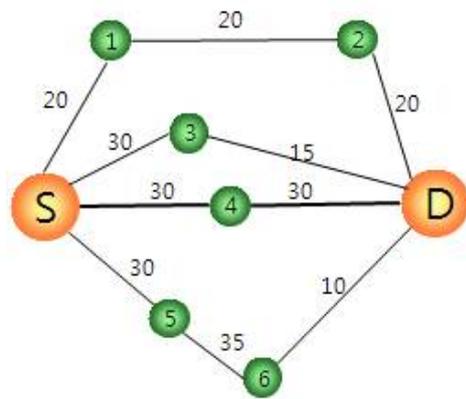


그림 3. LQI 표준편차 라우팅 네트워크
Fig. 3 LQI deviation routing network.

그림 4는 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 흐름도를 나타낸다.

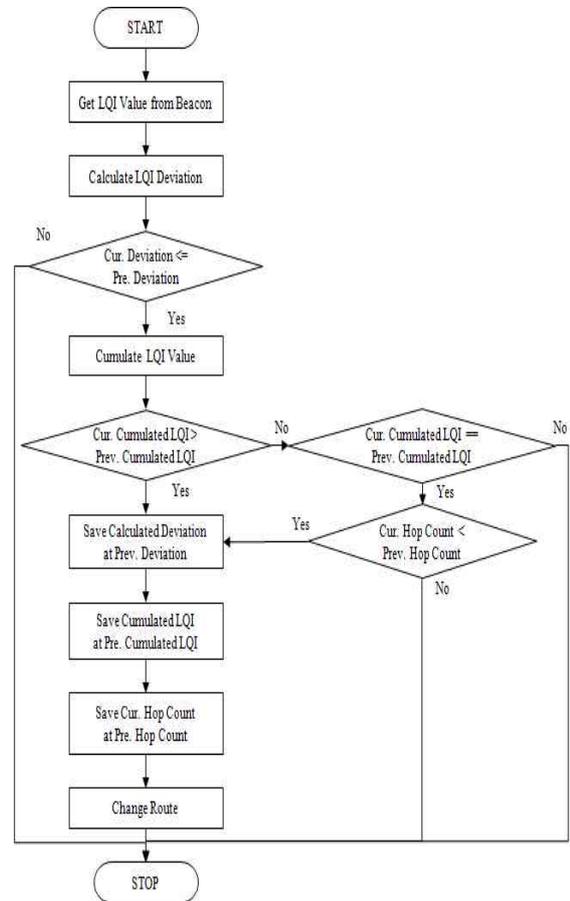


그림 4. LQI 표준편차 라우팅 흐름도
Fig. 4 LQI deviation routing flow chart.

네트워크가 구성되면 발신지 노드에서 목적지 노드까지 노드마다 비콘(beacon)으로부터 LQI 값을 얻

게 된다. 그 후 LQI 표준편차를 구하여 현재와 이전 표준편차 값을 비교한다. 만약 현재 표준편차 값이 이전보다 작거나 같다면 다음 조건문 단계로 진행되며 크다면 알고리즘을 마친다. 그 후 경로 내의 LQI 값을 누적하고 현재와 이전 누적 LQI를 비교하여 현재 누적 LQI 값이 이전보다 크다면 LQI 표준편차, 누적 LQI와 홉수를 저장하며 알고리즘을 마친다. 현재 누적 LQI가 이전과 작거나 같은 경우 다음 조건문 단계로 진행되며 현재 누적 LQI가 이전보다 작은 경우 알고리즘을 마친다. 동일한 경우에는 다음 조건문 단계로 진행되며 현재와 이전 홉수를 비교한다. 현재 홉수가 이전보다 작다면 현재 LQI의 표준편차, 누적 LQI, 홉수를 저장하며 알고리즘을 마친다. 현재 홉수가 이전보다 같거나 크다면 저장 없이 알고리즘을 마친다.

IV. 시뮬레이션 및 평가

본 논문에서는 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 실험을 하였으며 노드가 전송할 트래픽 양은 가변적이지 않으며 주어진 경로를 통해서만 데이터를 전송한다는 환경을 가정하였다. 실험은 MSP 430 K-mote 센서 노드 플랫폼 상에서 TinyOS 운영체제를 사용하여 구현하였다. 프로토콜 구현에 관한 사항은 표 2와 같다.

표 2. 프로토콜 구현 환경 및 설정
Table. 2 Test environment of protocol implementation.

항목	내용
구현 운영체제	TinyOS-2.x
사용 언어	nesC
노드 플랫폼	K-mote(MSP 430 CPU)
PHY/MAC	IEEE 802.15.4 (CC2420)
노드 수	싱크 노드:1, 센서 노드:9
전송 간격	5 초
RF 출력	-7dBm
평균값 산출	실험 당 238회 전송, 총 10회 실험의 평균값

실험 환경은 그림 5와 같이 노드를 5 cm 간격으로 일렬로 배치하였으며, 싱크 노드 1개와 센서 노드 9개로 구성하였다.



그림 5. 실험 환경
Fig. 5 Experimental environment.

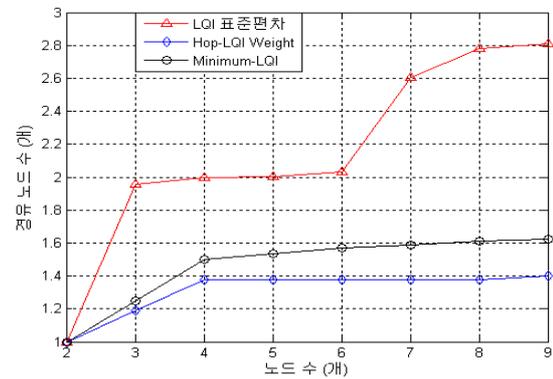


그림 6. 노드 수에 따른 평균 경유 노드 수
Fig. 6 Average count of relay nodes by the number of nodes.

그림 6은 노드 수에 따른 평균 경유 노드 수를 나타낸 그림이다. 노드의 수가 늘어날수록 Hop-LQI weight와 Minimum-LQI에 비해 제안한 알고리즘이 평균 경유 노드의 수가 많아지게 된다. 경유하는 노드들의 수가 증가할 경우 전체 네트워크 수명이 줄어들 수 있어 동일한 조건을 이용하여 네트워크 수명에 대해 실험하였다. 그림 7은 시간에 따른 네트워크 수명을 나타냈다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 우수성을 제시하기 위해 재전송은 고려하지 않았으며, 총 9개의 노드를 이용하여 데이터를 지속적으로 발생시켜 각각의 알고리즘에서 정의하는 경로로 데이터를 전송하게 하였다. 경유하는 노드들이 증가함에도 불구하고 전체적인 네트워크 수명은 타 알고리즘과 비슷한 것을 알 수 있다. 이는 경유 노드가 증가되어 전체 네트워크 에너지 소모율은 증가하지만 노드 수가

증가하는 만큼 전체 네트워크 에너지 소모는 분산 시킬 수 있기 때문에 각각의 노드 에너지는 최소화함으로써 네트워크 수명을 연장시킬 수 있다.

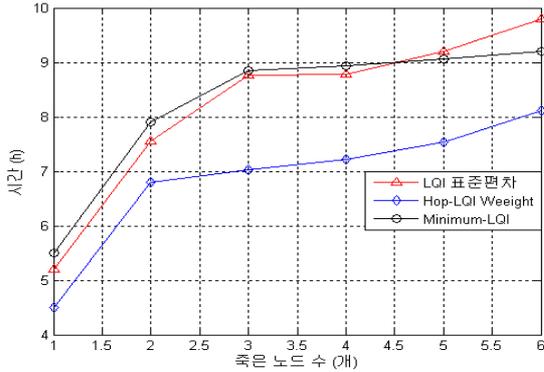


그림 7. 재전송을 고려하지 않은 네트워크 수명
Fig. 7 Networks life-time not consider retransmission.

그림 8은 재전송을 고려한 네트워크 수명을 나타냈다. 재전송을 고려하였을 경우 그림 6에 비해 네트워크 수명은 줄어들지만 타 기법들과 비교하였을 때 6개의 노드에서 약 150분을 더 생존함을 알 수 있다.

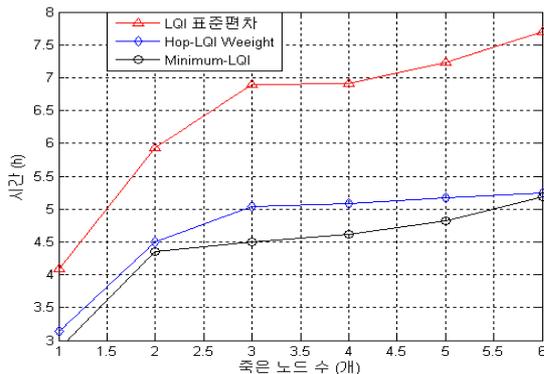


그림 8. 재전송을 고려한 네트워크 수명
Fig. 8 Networks life-time consider retransmission.

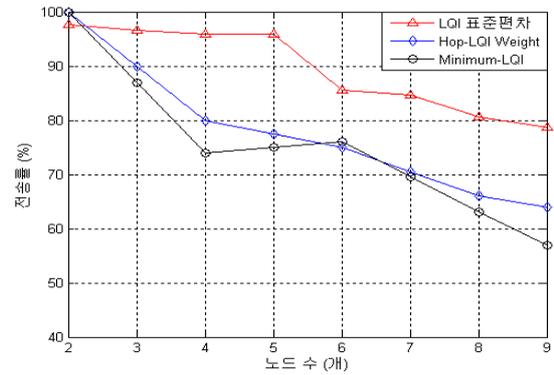


그림 9. 노드 수에 따른 평균 전송률
Fig. 9 Average transmission rate of by the number of nodes.

그림 9는 노드 수에 따른 평균 전송률을 나타낸다. 노드의 수가 늘어날수록 Hop-LQI weight와 Minimum-LQI 기법의 전송률은 급격히 떨어짐에 비해 LQI 표준편차 기법은 9개의 노드를 사용함에도 80% 이상 높은 전송률을 보인다.

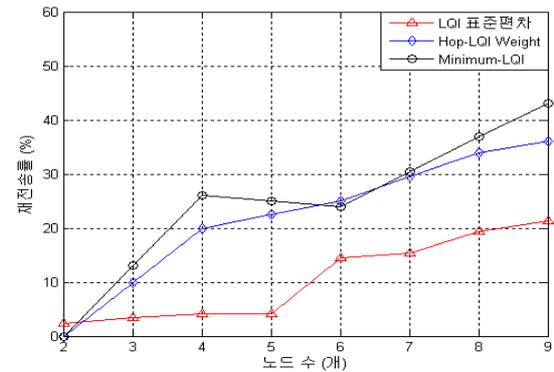


그림 10. 노드 수에 따른 평균 재전송률
Fig. 10 Average retransmission rate of by the number of nodes.

그림 10은 노드들의 평균 재전송률을 나타낸다. 싱크 노드가 데이터를 제대로 수신 하지 못할 경우 재전송 하도록 구성하여 실험을 하였다. LQI 표준편차 기법이 타 기법들에 비해 상대적으로 재전송률이 낮은 것을 확인할 수 있다. 이는 데이터를 목적지에 제대로 전달되지 못하여 재전송함으로써 발생하는 에너지 소모를 줄여 네트워크 수명을 연장시킬 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 효율적인 에너지 손실 감소를 위해 각 경로 내의 LQI를 구한 후 LQI 표준편차가 작은 경로를 선택하고 동일한 값을 갖는 경로가 발생할 시 경로들의 누적 LQI와 흡수를 비교하여 경로를 선택하는 LQI 표준편차 라우팅 알고리즘을 제안하였다. MSP 430 K-mote 센서 노드 플랫폼 상에서 TinyOS 운영체제를 사용하여 구현하였으며 제안하는 알고리즘의 우수성을 제시하기 위해 Hop-LQI weight, Minimum-LQI 기법과 비교, 분석한 결과 9개의 노드를 사용하였을 때 네트워크 수명은 Hop-LQI weight, Minimum-LQI 기법보다 약 150분을 더 생존했으며, 재전송률은 7%, 12%가 우수했다. 이는 최적의 경로를 선택하여 경유되는 노드들의 에너지소모와 재전송으로 인한 노드들의 에너지 소모를 최소화하기 때문이다. 이 결과를 통해 LQI 표준편차 라우팅 알고리즘을 사용하면 무선 센서 네트워크 에너지 소모를 줄일 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 과제(결과물)는 교육과학기술부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업의 연구결과입니다.

Reference

[1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 38, pp. 393-422, Mar. 2002.

[2] Y.M. cho, S.J. Lee, C.H. Kim, S.K. Kim, T.H. Kang, "A study on energy consumption scheduling algorithm of sensor networks at the node's application level," *KIISE Korea computer congress*, vol. 34, no. 1, pp. 520-525, Dec. 2007.

[3] I. Howitt, J. Wang, "Energy balanced chain in distributed sensor networks," *In Proc. IEEE WCNC*

2004, vol. 3, pp. 1721-1726, 21-25, Mar. 2004.

[4] J. H. Chang and L. Tassiulas, "Energy conserving routing in wireless ad-hoc networks," *Proceedings of IEEE INFOCOM 2000*, vol. 1, pp. 22-31, Mar. 2000.

[5] Heungsik Eom and Keonwook Kim, "Study of efficient energy management for ubiquitous sensor networks with optimization of the RF power," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 44-CI, no. 3, pp. 37-42, May 2007.

[6] J.H. Park, K.S. Lew, and Y.D. Kim, "Energy efficient MAC protocols based on S-MAC for wireless sensor networks," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 44-CI, no. 2, pp. 19-24, Mar. 2007.

[7] M. Cardei, M.T. Thai, Y. Li, and W. Wu, "Energy-efficient target coverage in wireless sensor networks," *Proc. IEEE INFOCOM*, vol. 3, pp. 1976-1984, Mar. 2005.

[8] C. Gomez, A. Boix, and J. Paradells, "Impact of LQI-based routing metrics on the performance of a one-to-one routing protocol for IEEE 802.15.4 multihop networks," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2010, pp. 6:1-6:20, Feb. 2010.

[9] Theodore S. Rappaport. *Wireless Communication*, 2003.10.

[10] W.J. Lee et. al, "Minimum LQI based on-demand routing protocol for sensor networks," *Cooperation Society*, vol. 10 No. 5, pp. 3218-3226, Nov. 2009.

[11] J.H. Park, Y.J. Kim, J.W. Chung, "Dynamic tree formation protocol in UAV formation flying network for disaster monitoring," *The Journal of Korea Navigation Institute*, vol. 16, no. 2, pp. 247-254, Apr. 2012.

[12] J.A. Jang, J.D. Choi, B.T Jang, "USN based telematics service and technology development," *ETRI Journal*, vol. 22, no. 3, Jun. 2007.

신 현 준 (愼炫俊)



2011년 2월 : 남서울대학교(공학사)
2011년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학
교 전기전자통신공학부 (석사과정)
관심분야 : MIMO, Channel Coding,
Wireless Sensor N/W

오 창 헌 (吳昌憲)



1988년 2월 : 한국항공대학교 항공통신
공학과 (공학사)
1990년 2월 : 한국항공대학교 대학원
항공통신정보공학과 (공학석사)
1996년 2월 : 한국항공대학교 대학원
항공전자공학과 (공학박사)

1990년 2월 ~ 1993년 8월: 한진전자(주) 기술연구소 전임연구원

1993년 10월 ~ 1999년 2월: 삼성전자(주) CDMA 개발팀
선임연구원

1999년 2월 ~ 현재: 한국기술교육대학교 전기전자통신
공학부 교수

2006년 8월 ~ 2007년 7월: 방문교수(University of
Wisconsin-Madison)

관심분야 : 이동통신, 무선통신, Wireless Sensor N/W,
실천공학교수법, 공학교육 매체개발 등