

논문 2011-6-4

## 무선 센서 네트워크를 위한 QoS 보장 라우팅

### QoS-guaranteed Routing for Wireless Sensor Networks

허준영\*

Junyoung Heo

**요약** 무선 센서 네트워크는 응용에 따라 실시간 전송, 전송 보장 등의 QoS 요구 사항들을 필요로 한다. 동시에 무선 센서 네트워크의 에너지 제약을 감안한 에너지 효율성도 만족 시켜줘야 한다. 본 논문에서는 이러한 요구 사항들을 만족 시켜줄 수 있는 무선 센서 네트워크를 위한 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 주변 노드의 정보만을 바탕으로 싱크 노드까지의 에너지 비용, 지연 시간, 신뢰성을 추정한다. 이 추정을 기반으로 경로를 선택하는 확률을 계산한다. 노드에서 패킷을 전송할 때 계산된 확률에 의해 다음 노드를 선택한다. 선택 확률은 싱크까지의 경로에 소모되는 에너지 비용과 반비례하도록 계산되기 때문에 에너지 비용이 적은 경로일수록 더 자주 선택된다. 실시간 전송을 위해서 제안 알고리즘은 패킷이 제 시간에 싱크까지 갈 수 있는 경로들 중에 선택된다. 신뢰성 있는 전송을 위해서는 노드가 패킷의 소스일 경우 추가 패킷을 다른 경로로 보내도록 할 수 있다. 실험 결과를 통해 제안 알고리즘이 에너지 효율성을 고려하면서 실시간 전송 및 신뢰성 전송을 향상 시킬 수 있음을 알 수 있다.

**Abstract** In some applications of wireless sensor networks, requirements such as energy efficiency, real-time, and reliable delivery need to be considered. In this paper, we propose a novel routing algorithm for wireless sensor networks. It provides real-time, reliable delivery of a packet, while considering energy awareness. In the proposed algorithm, a node estimates the energy cost, delay and reliability of a path to the sink node, based only on information from neighboring nodes. Then, it calculates the probability of selecting a path, using the estimates. When packet forwarding is required, it randomly selects the next node. A path with lower energy cost is likely to be selected, because the probability is inversely proportional to the energy cost to the sink node. To achieve real-time delivery, only paths that may deliver a packet in time are selected. To achieve reliability, it may send a redundant packet via an alternate path, but only if it is a source of a packet. Experimental results show that the proposed algorithm is suitable for providing energy efficient, real-time, reliable communications.

**Key Words :** 무선 센서 네트워크(wireless sensor networks), 실시간 전송(real-time communication), 에너지 고려 라우팅(energy aware routing)

## 1. 서론

무선 센서 네트워크는 수많은 노드들을 특정 지역에 배치하여 스스로 네트워크를 구성하고 환경 데이터를 수집하는데 목적이 있다. 네트워크의 비용을 절감하기 위

해 센서 노드들은 저성능 프로세서, 저용량 메모리 등으로 구성되고 배터리로 동작하는 특징을 갖는다.

무선 센서 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜은 저사양의 센서 노드와 제한된 에너지를 고려하여 설계되어야 한다. 또한 네트워크의 크기에 무관해야 하며 네트워크의 동적 변화를 수용할 수 있어야 한다. 무선 센서 네트워크를 구성하는 노드의 수가 적게는 수십 개부터 많게

\*정회원, 한성대학교 컴퓨터공학과  
접수일자 2011.10.11, 수정완료 2011.11.25  
게재확정일자 2011.12.16

는 수천 개까지 가능하기 때문이다. 만일 노드의 수에 라우팅 프로토콜의 메모리 사용량이 영향을 받는다면 해당 프로토콜은 사용이 불가능할 수도 있다. 노드가 비정상적으로 멈출 수도 있고 배터리를 모두 소모하여 멈출 수도 있기 때문에, 이런 동적인 네트워크의 변화에 대처해야만 한다.

무선 센서 네트워크를 공장 제어나 멀티미디어 데이터 전송에 사용하는 경우에는 앞의 요구사항 뿐 아니라 실시간 전송, 신뢰성 있는 전송과 같은 QoS 요구사항도 만족 시켜줘야 한다. 공장 제어 응용에서는 데이터가 지연 도착할 경우 응용 자체가 오동작할 수 있다. 멀티미디어 데이터 응용은 패킷의 전송 지연이나 손실에 영향을 받기 때문에 일정 수준 이상의 실시간 전송과 신뢰성 있는 전송을 보장해야 한다.

무선 센서 네트워크를 위한 많은 라우팅 연구들이 에너지 효율성에 대해 고려하고 있다. 그리고 실시간 전송이나 신뢰성 있는 전송을 고려하기도 한다<sup>[1, 2, 3, 4, 5, 6]</sup>. 본 논문에서는 이 모든 요구사항을 고려한 라우팅 기법을 제안한다.

본 논문의 제안 기법은 실시간 전송, 신뢰성 있는 전송을 제공하면서 동시에 에너지 효율성도 고려한다. 특히 제안 기법은 패킷의 신뢰성을 설정할 수 있도록 설계되었다. 중복 패킷의 전송은 패킷의 신뢰성 뿐 아니라 실시간 전송까지 향상시키지만 네트워크 내의 패킷수를 증가시키게 된다. 그리고 증가된 패킷으로 인해 에너지 소모가 증가되는 문제가 생긴다. 따라서 패킷의 신뢰성을 설정할 수 있게 하여 에너지 효율성과 신뢰성 간의 균형을 조절할 수 있다.

제안 기법은 싱크 노드까지의 경로들의 에너지 비용, 지연, 신뢰성 기댓값을 예측한다. 이 값들은 주변 이웃 노드들로부터 받은 정보만으로 계산할 수 있다. 이 값들에 기초하여 제안 기법은 에너지를 적게 쓰고, 지연 시간이 짧고, 높은 신뢰성을 제공하는 경로를 선택하도록 한다. 그리고 네트워크 전체에 고른 에너지 소모를 위해 작은 확률로 최적 경로가 아닌 경로를 택하기도 한다. 이 경우에도 패킷의 실시간 전송을 해치지 않는 범위 내에서 선택한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 관련 연구를 소개하고, III장에서는 제안 라우팅 기법을 설명한다. 그리고 IV장에서 제안 기법의 성능 평가를 위한 실험 결과를 보이고 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 라우팅에 관련한 많은 연구가 수행되어 왔다<sup>[7, 8]</sup>. 대부분의 연구들은 에너지 효율성만 고려하고 패킷의 실시간 전송이나 신뢰성 있는 전송을 고려하지는 않았다. 소수의 연구만 패킷의 데드라인이나 신뢰성을 고려하였다<sup>[1, 2, 3, 4, 5, 6]</sup>. 본 절에서는 이 연구들을 살펴본다.

SPEED는 양단간의 실시간 전송 프로토콜로 He 등에 의해 제안되었다<sup>[1]</sup>. 이 프로토콜은 피드백 제어와 비결정적 지리적 전달 방식의 조합을 통해 원하는 전달 속도를 보장하여 실시간 전송을 제공한다. 하지만 에너지 소모는 전혀 고려하고 있지 않다. Felemban 등이 제안한 MMSPEED는 SPEED의 확장 버전으로 실시간 전송뿐 아니라 신뢰성 있는 전송도 제공한다. 그러나 SPEED와 마찬가지로 에너지를 고려하지는 않는다.

관련 연구<sup>[2, 3]</sup>에서는 실시간 전송을 위해 최소 비용과 지연 제약을 만족하는 경로를 찾는 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 이 연구에서는 각 노드가 모든 노드의 위치와 노드간의 패킷 전송 비용을 안다고 가정한다. 그리고 Dijkstra의 최단 경로 알고리즘을 사용하여 경로를 탐색한다. 하지만 이러한 가정으로 인해 무선 센서 네트워크의 확장성을 지원하기가 어려워진다. Ammari 등은 에너지 절약과 전송 지연의 상관관계를 이론적으로 설명하는 연구를 수행하기도 하였다<sup>[4]</sup>. 전송 지연과 에너지 소모를 다양한 전송 거리에 대해 계산하기 위해 관련 연구<sup>[2]</sup>에서 사용한 것과 유사한 알고리즘을 사용하였다.

Mahapatra 등은 실시간 전송을 위한 에너지 고려 QoS 라우팅을 제안하였다<sup>[5]</sup>. 실시간 전송을 제공하는 기법은 SPEED<sup>[1]</sup>와 매우 유사하지만 전송 지연과 에너지 소모를 동시에 고려하여 우선순위를 계산하고 다음 노드를 선택하는 차이가 있다. 신뢰성 있는 전송을 제공하기 위해서는 중복된 백업 패킷을 항상 전송한다.

EAR-RT<sup>[6]</sup>는 EAR<sup>[7]</sup>과 EAR-DPS<sup>[8]</sup>에 기반을 둔 실시간 전송 라우팅 프로토콜이다. EAR<sup>[7]</sup>과 EAR-DPS<sup>[8]</sup>는 소스 노드부터 목적지 노드까지 여러 개의 경로를 찾아 확률적으로 경로를 선택하는 방식이다. 이때 에너지 소모가 적은 경로를 더 자주 선택하도록 확률을 정한다. EAR-RT는 이 방식에 패킷을 시간 내에 전송할 수 있는 경로를 선택하는 기법을 추가한 것이다. EAR-RT<sup>[6]</sup> 기법을 바탕으로 하여 산업용 무선 센서 네트워크에 적용

한 것이 EARQ<sup>[10]</sup>이다. EARQ는 본 논문의 기반이 되는 연구 결과이다.

### III. 제안 라우팅 기법

제안 라우팅 기법은 라우팅 테이블을 계속 유지, 관리하는 pro-active 라우팅 프로토콜 방식이다. 다른 pro-active 라우팅과 마찬가지로 제안 기법은 이웃 노드들로부터 필요한 정보를 수집하여 라우팅 테이블을 유지, 관리한다. 필요한 정보 수집을 위해 HELLO 메시지를 이웃 노드 간에 교환한다. 또한 실제 패킷이 전송되는 경로는 패킷이 전송되는 과정에서 정해진다.

제안 기법에서는 두 종류의 메시지를 정의한다. HELLO와 데이터 패킷이다. HELLO 메시지는 이웃 노드 간에 교환되는 메시지로 라우팅 테이블을 만들고 관리하는데 사용된다. HELLO 메시지를 받으면 기대 에너지 비용, 전송 지연, 신뢰성을 계산하여 라우팅 테이블이 생성되거나 수정된다. HELLO 메시지는 최종 목적지인 싱크 노드까지 경로를 인지한 노드에서 보내기 시작한다.

데이터 패킷을 만들어서 보내는 소스 노드는 라우팅 테이블이 완성된 후 전송을 시작한다. 중간 노드들은 데이터 패킷을 테드라인 내에 전송할 수 있는 이웃 노드들 중에 하나에게 패킷을 전달한다. 패킷을 전달할 이웃 노드는 기대 전송 지연과 확률에 근거하여 선택된다. 이 확률은 이웃 노드의 패킷 전송에 필요한 기대 에너지 비용에 반비례한다. 따라서 에너지 소모가 적은 경로가 다른 경로에 비해 자주 선택된다. 신뢰성 전송을 위해서는 소스 노드에서만 패킷 전달을 위해 선택한 이웃 노드의 기대 신뢰성이 원하는 신뢰성을 만족하지 못할 경우에 백업 패킷을 보내도록 한다.

#### 1. HELLO 메시지와 라우팅 테이블

모든 노드는 라우팅 테이블을 관리하기 위해 HELLO 메시지를 이웃 노드와 교환한다. 노드  $i$ 가 HELLO 메시지를 보낼 경우, HELLO 메시지는 기대 에너지 비용 ( $\overline{C}_i$ ), 기대 시간 지연 ( $\overline{T}_i$ ), 기대 신뢰성 ( $\overline{R}_i$ ), 에너지 잔량 값 ( $B_i$ )을 가지고 있다.  $\overline{C}_i$ 는 패킷을 노드  $i$ 에서 싱크 노드까지 보내는데 필요한 기대 에너지 비용이고,  $\overline{T}_i$ 는 패킷을 노드  $i$ 에서 싱크 노드까지 보내는 기대 시간이고,

$\overline{R}_i$ 는 패킷을 노드  $i$ 에서 싱크 노드까지 예리 없이 보낼 수 있는 확률이다. 싱크 노드에서는 이 값들이 상수이고  $\overline{C}_{sink} = 0$ ,  $\overline{T}_{sink} = 0$ ,  $\overline{R}_{sink} = 1$ 이다<sup>[6]</sup>. HELLO 메시지는 노드  $i$ 의 위치 정보도 포함한다.

노드의 각 기댓값들은 노드의 에너지 잔량이 줄어 들고 네트워크의 상태가 동적으로 바뀌면서 변경될 수 있다. 노드가 싱크 노드까지의 경로를 알고 나면, 이웃 노드에게 기댓값 정보를 전달하기 위해 주기적으로 HELLO 메시지를 전송한다. 싱크 노드의 기댓값들은 상수이기 때문에 네트워크가 처음 셋업될 때와 빈 HELLO 메시지를 받을 때에만 HELLO 메시지를 보낸다. 모든 노드는 다른 노드로부터 빈 HELLO 메시지를 받으면 그 노드에게 HELLO 메시지로 응답해야 한다. 새로운 노드가 네트워크에 들어오면 그 노드는 빈 HELLO 메시지를 이웃 노드에 전송하여 이웃 노드로부터 HELLO 메시지를 받게 되고 라우팅 테이블을 구성할 수 있다.

노드가 어떤 이웃 노드로부터 HELLO 메시지를 받으면 그 이웃 노드가 자신보다 싱크에 가까운 노드일 경우 라우팅 테이블에 해당 이웃 노드를 추가한다. 해당 이웃 노드가 이미 라우팅 테이블에 있을 때에는 기댓값만 갱신한다. 그림 1은 노드  $i$ 의 라우팅 테이블에 들어갈 수 있는 이웃 노드의 예를 보여준다. 영역  $A$ 의 노드들은 노드  $i$ 의 이웃 노드들이다. 즉, 이 노드들은 노드  $i$ 와 무선으로 통신 가능한 거리 내에 있음을 의미한다. 영역  $B$ 는 싱크 노드를 중심으로 하고 싱크와 노드  $i$ 간의 거리를 반지름으로 하는 원을 표시한 것이다. 즉, 영역  $B$ 에 있는 노드들은 노드  $i$ 보다 싱크 노드에 가까운 노드를 의미한다. 따라서 영역  $A$ 와  $B$ 의 교집합 영역에 있는 노드들이 노드  $i$ 의 라우팅 테이블에 들어가게 된다. 그림에서는 해당 노드들이 검은색으로 표시되어 있다.

HELLO 메시지에 의해 이웃 노드의 기댓값이 변경될 때, 라우팅 확률( $P_{i,k}$ )가 갱신되고,  $\overline{C}_i$ ,  $\overline{T}_i$ ,  $\overline{R}_i$ 는 다시 계산된다. 노드  $i$ 가 이웃 노드  $j$ 로부터 HELLO 메시지를 받은 경우 위의 값들은 다음과 같이 계산된다.

HELLO 메시지는  $\overline{C}_j$ ,  $\overline{T}_j$ ,  $\overline{R}_j$ 를 포함하고, 이를 바탕으로 다음을 계산한다.

$$\overline{C}_{i,j} = \overline{C}_j + E_{i,j} \quad (1)$$

$$\overline{T}_{i,j} = \overline{T}_j + H_{i,j} \quad (2)$$

$$\overline{R_{i,j}} = \overline{R_j} \cdot L_{i,j} \quad (3)$$

$\overline{C_{i,j}}$ 는 노드  $i$ 에서 노드  $j$ 를 통해 싱크 노드까지 패킷을 전송하는데 필요한 기대 에너지를 의미한다.  $\overline{T_{i,j}}$ 는 노드  $i$ 에서 노드  $j$ 를 통해 싱크 노드까지 패킷을 전송할 때 예상되는 지연 시간을 의미한다.  $\overline{R_{i,j}}$ 는 노드  $i$ 에서 노드  $j$ 를 통해 싱크 노드까지 패킷을 전송할 때의 기대 신뢰성을 의미하는 확률이다.  $E_{i,j}$ ,  $H_{i,j}$ ,  $L_{i,j}$ 는 각각 노드  $i$ 와 노드  $j$  사이에서 단일 홉 통신의 에너지 비용, 평균 전송 시간, 전송 성공 확률을 의미한다.

노드  $i$ 의 라우팅 테이블( $RT$ )에 있는 모든 노드에 대해 다음과 같이 라우팅 확률( $P_{i,k}$ )을 계산한다. 라우팅 테이블에 있는 모든 노드  $k$ 에 대해

$$P_{i,k} = \frac{1/\overline{C_{i,k}}}{\sum_{m \in RT} 1/\overline{C_{i,m}}} \quad (4)$$

$P_{i,k}$ 는 노드  $i$ 가 노드  $k$ 를 패킷 전달할 다음 노드로 선택할 확률이다. 그래서 에너지를 적게 소모하는 이웃 노드가 선택될 가능성이 높아지게 된다.

최종적으로 노드  $i$ 의 각 기댓값은 다음과 같다.

$$C_i = \sum_{k \in RT} P_{i,k} \overline{C_{i,k}} \quad (5)$$

$$T_i = \sum_{k \in RT} P_{i,k} \overline{T_{i,k}} \quad (6)$$

$$R_i = \sum_{k \in RT} P_{i,k} \overline{R_{i,k}} \quad (7)$$

$E_{i,j}$ ,  $H_{i,j}$ ,  $L_{i,j}$ 는 각각 노드  $i$ 와 노드  $j$  사이에서 단일 홉 통신의 에너지 비용, 평균 전송 시간, 전송 성공 확률을 의미하며 다음과 같이 계산된다.

$$E_{i,j} = (d_{i,j}^3)^\alpha / B_j^\beta \quad (8)$$

$$H_{i,j} = \frac{1}{|DT_j|} \sum_{p \in DT_j} Delay_p \quad (9)$$

$$L_{i,j} = \frac{1}{|DT_j|} \sum_{p \in DT_j} ACK_p \quad (10)$$

여기에서  $d_{i,j}$ 는 노드  $i$ 와 노드  $j$ 간의 거리를 의미한다.  $B_j$ 는 노드  $j$ 의 에너지 잔량으로 초기 에너지에 일반화한 값이다.  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 가중치 요소이다<sup>[7, 8]</sup>.  $DT_j$ 는 노드  $j$ 로  $\Delta t$ 동안 전송한 패킷의 수를 의미한다.  $Delay_p$ 는 노드  $i$ 에서 노드  $j$ 로 단일 홉 통신으로 패킷을 보낼 때 전송 지연을 의미한다.  $ACK_p$ 는 패킷  $p$ 가 노드  $j$ 로 성공적으로 전송할 경우는 1, 그렇지 않으면 0의 값을 갖는다. 이 값들은 MAC 레이어에서 가져오게 된다.

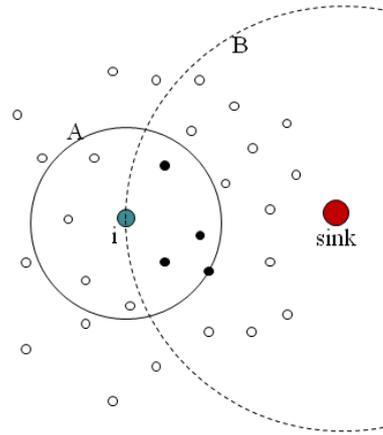


그림 1. 노드  $i$ 의 라우팅 테이블에 속한 이웃 노드  
Fig. 1. Neighboring nodes in Routing Table of node  $i$

## 2. 패킷 전달을 위한 이웃 노드 선택

본 연구에서는 사용자가 요구하는 패킷 데드라인과 신뢰성  $R$ 이 패킷을 전송하기 전에 결정된다고 가정한다. 데드라인은 싱크까지 패킷이 전달되는 한계 지연 시간을 의미 한다. 신뢰성  $R$ 은 0과 1사이의 값으로 패킷의 싱크까지 전달 가능성이  $R$ 이상이어야 함을 의미한다.  $R=0$ 은 신뢰성이 필요 없다는 것을 의미한다.

제안 기법은 어떤 노드  $i$ 가 패킷을 전달하는 과정에서 싱크까지의 경로를 생성한다. 노드  $i$ 가 패킷을 전달할 다음 이웃 노드는 다음 규칙에 의해 결정된다. 단, 각 패킷은 전달 될 때마다 남아 있는 데드라인 잔여 시간을 유지한다.

- 1) 라우팅 테이블에서 지정 데드라인 내에 전달할 수 있는 노드를 선택한다. 즉, 데드라인 잔여 시간 내에 전달 가능한 이웃 노드를 선택한다.

- 2) 선택된 노드들만으로 라우팅 확률( $P_{i,k}$ )를 다시 계산한다.
- 3) 2번에서 다시 계산된 확률에 기반을 두어 다음 노드를 무작위로 선택한다<sup>[6]</sup>.
- 확률에 따라 최적 경로 외에도 다른 여러 경로가 선택되기 때문에 최적 경로만 패킷을 전달하여 에너지 소모가 집중 되는 것을 막을 수 있게 된다.

#### IV. 실험 결과

제안 기법의 성능을 측정하기 위해 GloMoSim<sup>[9]</sup> 시뮬레이터를 사용하였다. GloMoSim은 무선 통신을 위한 매우 빠르고 효율적인 이벤트 기반 시뮬레이터이다. 또한 구체적인 전달 모델, 라디오, MAC 레이어를 가지고 있다. 표 1은 구체적인 실험 환경에 대한 파라미터이다.

표 1. 실험 파라미터  
Table 1. Simulation Parameters

MAC Layer	802.11 (Simplified DCF)
Radio Layer	RADIO-ACCNOISE
Propagation model	TWO-RAY
Bandwidth (Kb/s)	200
Payload size (bits)	256
Terrain (m × m)	100 × 100
Node number	100, 90, 80, 70, 60, 50
Node placement	Random (Sink: center of the terrain)
Radio Range (m)	25
Initial energy per node (mWhr)	1

모든 센서 노드들은 매초마다 싱크 노드로 데이터를 전송한다. 그리고 10초마다 HELLO 메시지를 주변 노드에 전송한다. 에너지 비용  $E_{i,j}$ 에서  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 각각 1과 50을 사용하였다. 패킷의 데드라인은 0.6초로 설정하였으며 이 값은 노드의 밀집도와 싱글 홉 통신의 지연 시간을 고려하여 선정하였다. 그리고 신뢰도 R을 1.0부터 0.7까지 다양한 값에 대해 실험하였다. 비교 대상 알고리즘으로 제안 알고리즘으로 EAR<sup>[7]</sup>과 QoS보장을 목표로 설계된 EQOS<sup>[5]</sup>를 비교하였다.

그림 2는 데드라인을 넘겨서 도착했거나 중간에 손실

된 패킷의 수를 각 알고리즘마다 보여주는 그래프이다.

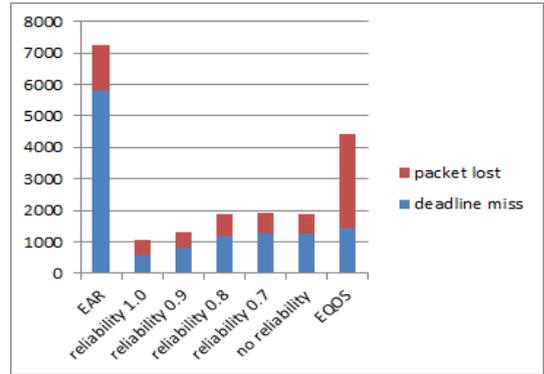


그림 2. 손실하거나 데드라인 미스된 패킷의 수  
Fig. 2. The number of deadline missed or lost packets

y축은 손실 또는 데드라인 미스된 패킷의 수를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 제안 알고리즘(reliability 1.0부터 0까지)이 EAR이나 EQOS보다 월등히 좋은 결과를 보인다. 특히 EQOS는 데드라인을 지키기 위해 중간에 버린 패킷이 많아 손실 패킷수가 상대적으로 크다.

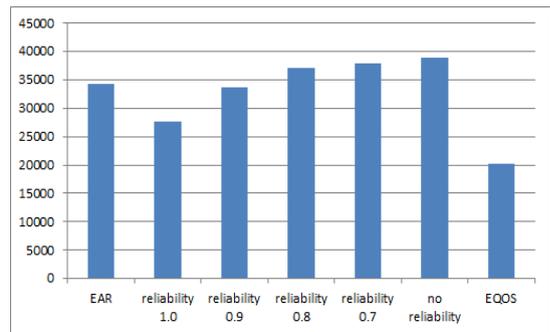


그림 3. 패킷성공률/사용에너지 비율  
Fig. 3. The ratio of packet successful arrivals and used energy

그림 3은 사용한 에너지에 비해 얼마나 많은 패킷이 성공적으로 전송되었는지 보여주는 그래프이다. y축은 단위 사용 에너지당 패킷 전달 성공률을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 제안 알고리즘에서 신뢰도(reliability)가 1.0인 경우에는 EAR보다 성능이 떨어지지만 신뢰도(reliability)를 낮추면 신뢰성을 전혀 고려하지 않는 EAR보다도 성능이 좋은 것으로 나온다. 실험결과에서 신뢰

도가 0.8 이하부터 EAR보다 에너지 소모 측면에서도 좋은 결과를 나타낸다.

## V. 결론

무선 센서 네트워크는 특정 지역의 데이터를 수집하여 적절한 대응을 하기에 매우 적절한 방법이다. 하지만, 데이터 전송이 지연되거나 잃어버리게 되면 응용에 따라 대응이 늦어지거나 올바르게 못하게 될 수 있다. 따라서 기존의 센서 네트워크 요구사항 외에 실시간 전송, 신뢰성 있는 전송 등의 새로운 요구사항을 고려할 필요가 있다.

본 논문에서는 제안한 라우팅 기법은 무선 센서 네트워크에서 실시간 전송, 신뢰성 있는 전송을 제공한다. 제안 기법은 기존 에너지 고려 라우팅 기법의 에너지 효율을 유지하면서 실시간 전송을 제공한다. 제안 기법은 데이터 패킷을 싱크 노드까지 지정 시간 내에 전송할 수 있는 경로들 중에서 에너지 소모를 적게 하는 경로를 선택한다. 그리고 최적 경로외의 경로를 가끔씩 선택함으로써 에너지 소모를 네트워크 전체에 고루 분포하게 한다. 그리고 신뢰성을 만족하지 못할 가능성이 있는 경우 데이터 패킷의 소스에서 백업 패킷을 전송하게 하여 신뢰성을 보장한다. 실험 결과를 통해 제안 기법이 기존의 QoS 라우팅 기법들보다 에너지를 고려하면서 데드라인 미스 패킷이나 손실된 패킷의 수를 줄임을 알 수 있었다.

## 참고 문헌

- [1] T. He, J. A. Stankovic, C. Lu, and T. Abdelzaher, "SPEED: A stateless protocol for real-time communication in sensor networks," in Proc. International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), 2003, pp. 46 - 55.
- [2] K. Akkaya and M. Younis, "An energy-aware qos routing protocol for wireless sensor networks," in Proc. International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), 2003, pp. 710 - 715.
- [3] K. Akkaya and M. Younis, "Energy-aware delay-constrained routing in wireless sensor networks," International Journal of Communication Systems, vol. 17, no. 6, pp. 663 - 687, 2004.
- [4] H. M. Ammari and S. K. Das, "Trade-off between energy savings and source-to-sink delay in data dissemination for wireless sensor networks," in Proc. ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM), 2005, pp. 126 - 133.
- [5] A. Mahapatra, K. Anand, and D. P. Agrawal, "Qos and energy aware routing for real-time traffic in wireless sensor networks," Computer Communications, vol. 29, no. 4, pp. 437 - 445, 2006.
- [6] J. Heo, S. Yi, G. Park, Y. Cho, and J. Hong, "EAR-RT: Energy aware routing with real-time guarantee for wireless sensor networks," Lecture Notes in Computer Science, Springer, vol. 3994, pp. 946 - 953, 2006.
- [7] R. Shah and J. Rabaey, "Energy aware routing for low energy ad hoc sensor networks," in Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2002, pp. 350 - 355.
- [8] G. Park, S. Yi, J. Heo, W. C. Choi, G. Jeon, Y. Cho, and C. Shim, "Energy aware routing with dynamic probability scaling," Lecture Notes in Computer Science, Springer, vol. 3642, pp. 662 - 670, 2005.
- [9] X. Zeng, R. Bagrodia, and M. Gerla, "GloMoSim: a library for parallel simulation of large-scale wireless networks," ACM SIGSIM Simulation Digest, vol. 28, no. 1, pp. 154 - 161, 1998.
- [10] J. Heo, J. Hong, and Y. Cho, "EARQ: Energy Aware Routing for Real-Time and Reliable Communication in Wireless Industrial Sensor Networks", IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 5, No. 1, Feb. 2009.

※ 본 연구는 한성대학교 교내연구비 지원 과제임.

### 저자 소개

#### 허 준 영(정회원)



- 1998년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사).
- 2009년 서울대학교 컴퓨터공학부 졸업(박사).
- 2009년~현재 한성대학교 컴퓨터공학과 전임강사.

<관심 분야: 운영체제, 무선 센서 네트워크, 임베디드 시스템, 결합허용 시스템>