

# 무선 센서 네트워크에서 메시지 라우팅을 위한 퍼지로지 기반의 전달 영역 제한 기법\*

지상훈<sup>1</sup>, 조대호<sup>2</sup>

Fuzzy Logic based Propagation Limiting Method for message routing in Wireless Sensor Networks

Chi, Sang Hoon and Cho, Tae Ho

## Abstract

최근 마이크로 센서와 무선 통신 기술의 진보는 센서 네트워크의 발전을 가능하게 하였다. 이와 같은 사실은 무선 센서 네트워크를 위한 수많은 라우팅 프로토콜의 개발로 이어졌으며, 다양한 구조의 알고리즘들이 제안되었다. 특히, 디렉티드 디퓨전(Directed Diffusion; DD)은 데이터 중심 기반의 라우팅 알고리즘으로 속성 값 쌍을 이용하여 통신하는 센서 네트워크의 한 패러다임이라고 할 수 있다. 그러나 기존의 DD에서는 작업을 요청하는 질의 메시지(interest message)가 전체 센서 네트워크에 플러딩(flooding)되는 데, 이러한 과정은 에너지 소비 측면에서 볼 때 매우 비효율적이라고 할 수 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 센서 노드의 에너지와 밀도 정보를 고려한 임계값을 이용하여 데이터의 전송 지역을 제한함으로써, 네트워크의 에너지 소비를 줄일 수 있는 새로운 메시지 전달영역 제한기법(propagation limiting method; PLM)을 제안한다. 퍼지 규칙 기반 시스템은 센서 필드에 배치된 노드들의 에너지와 밀도 정보를 입력 파라미터로 사용하여 메시지 라우팅을 위한 임계값 결정에 사용된다. 본 연구에서 제안된 기법을 사용하여 센서 네트워크의 에너지 소비를 실험한 결과 기존에 제안되었던 알고리즘들에 비해 상대적으로 높은 효율성을 나타내었으며, 전체적으로 네트워크의 수명도 연장할 수 있었다.

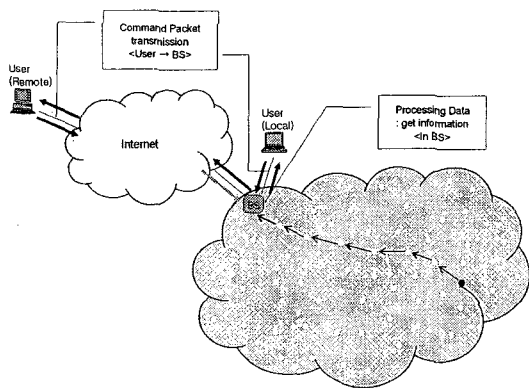
**Key Words:** Wireless Sensor Network, Routing Protocol, Fuzzy Logic, Location Information

\* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성, 지원사업의 연구결과로 수행되었음.

\*\* 성균관대학교 정보통신공학부

## 1. 서론

최근 마이크로 전자 기기 시스템과 무선 통신 기술의 진보는 저비용의 센서 네트워크 발전을 가능하게 하였다[1]. 무선 센서 네트워크(wireless sensor network)란 센싱, 프로세싱 그리고 무선 통신 능력을 갖는 작은 센서 노드들로 구성된 네트워크로, <그림 1>과 같이 특정한 정보가 요구되는 장소에 수백 개 이상의 노드와 하나 이상의 BS(base station)를 배치하여 이루어지는 형태를 말한다[2].



<그림 1> 무선 센서 네트워크의 구조

일반적으로 센서 노드는 낮은 가격과 작은 크기를 유지하기 위하여 에너지와 대역폭이 제한되며[3], 이러한 문제를 해결하기 위해서는 효율적인 에너지 소비 정책이 요구된다. DD는 BS와 노드 간에 데이터를 전달하기 위한 통신 패러다임으로, 사용자의 요구에 따라 질의 메시지(interest message)를 특정지역에 전달하여 필요한 데이터를 수집한다[2]. 그러나 메시지 전달과정에서 질의 메시지가 모든 노드를 향하여 전달되는 것을 볼 수 있는데, 이는 데이터가 중복되거나 불필요한 지역까지 전달되므로 심한 에너지 소비를 초래하게 된

다[3][4].

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 퍼지 규칙 기반 시스템을 적용한 새로운 라우팅 방법을 제안한다.

## 2. 관련 연구 및 동기

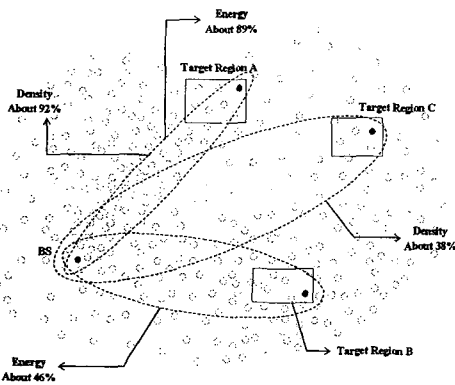
DD는 BS에서 특정한 지역으로 작업을 요청하고 그 지역의 노드로부터 수집된 데이터를 보고받는 형태로 이루어진다[4]. 질의 메시지는 사용자가 원하는 작업 내용이 기술된 것으로 속성 값 쌍을 이용하여 정의된다. BS에서 시작된 질의 메시지가 이웃 노드에게 전송되면 데이터 전달을 위한 방향(gradient)이 형성되며, 이는 데이터의 전달 방향과 속성 값을 나타낸다. 질의 메시지가 목표 지역에 전달되면, 해당 노드는 데이터를 수집하고 이를 BS에게 전달한다.

방향 기반 라우팅(gradient-based routing; GBR)은 DD를 약간 변형한 형태로 질의 메시지를 전달할 때 홉 수를 기록하여 경로를 결정하는 알고리즘이다[5]. 그러나 전체 네트워크에 메시지를 전송하므로 많은 에너지가 소비된다. 지리와 에너지 정보 기반의 라우팅(geographical and energy aware routing; GEAR)은 위치 정보를 이용하여 특정 지역에만 질의 메시지를 전달할 수 있도록 개선된 프로토콜이나, 네트워크의 밀도가 높은 경우에만 효율적으로 동작한다[6].

## 3. 메시지 전달영역 제한 기법

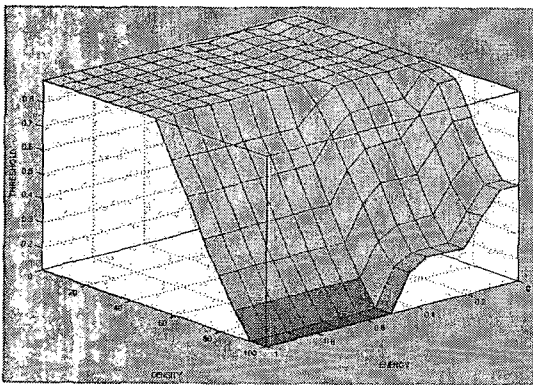
본 논문에서는 기존의 라우팅 알고리즘들의 단점을 개선하기 위하여 새로운 메시지 전달 영역 제한 방법을 제안한다. 질의 메시지의 전달 영역을 결정하기 위해서는 노드의 에너

지와 밀도 그리고 위치 정보가 요구되며, 모든 노드는 자신의 위치 정보를 알 수 있다고 가정한다[4]. 메시지를 전달할 경우 에너지가 적은 노드들로 구성된 지역이나 노드 간 밀도가 낮은 지역은 신뢰적인 데이터 전송을 수행하기 힘들다. <그림 2>는 목표 지역 A, B, C에 따라 각기 다른 에너지와 밀도에 대한 전달 영역의 차이를 보여준다.



<그림 2> 에너지와 밀도에 따른 전달영역의 차이

BS는 퍼지 셀렉터를 이용하여 임계값을 결정하는데, 에너지와 밀도는 입력 파라미터로서 적절한 상황을 고려하기 위하여 사용된다. 퍼지 로직에 사용하기 위한 입출력 파라미터의 멤버쉽 함수는 <그림 3>에 표현되어있다.

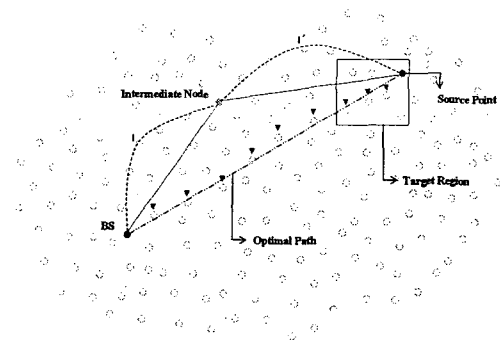


<그림 3> 입출력 파라미터에 대한 멤버쉽 함수

퍼지 셀렉터에 의해서 임계값이 설정되면, BS는 요청된 위치정보에 따라 목표 지역을 결정하고, 최적 경로를 계산한다. 최적 경로는 식 (1)에 의해서 계산되며, 여기서 출력된 값  $d$ 는 질의 메시지에 기록된다.

- BS's Location:  $B(b_x, b_y)$
- Source's Location:  $S(s_x, s_y)$

$$d = \sqrt{(s_x - b_x)^2 + (s_y - b_y)^2} \quad (1)$$



<그림 4> 최적 경로와 중간 노드의 실제거리

<그림 4>는 BS와 목표지역 간의 최적 경로인 직선상에 위치한 노드들을 보여준다. 이 경로 상의 노드들은 에너지 측면에서 볼 때 가장 효율적이지만 신뢰성 높은 데이터 전송을 보장할 수는 없다. 이러한 문제 때문에 BS는 최적 경로 외에 주변의 이웃한 노드들을 통하여 보다 넓은 전달 영역을 형성하며 메시지를 전송한다. 전달 영역에 포함될 노드는 임계값  $t'$ 에 의해서 결정된다.  $t'$ 는 식 (2)에서 계산되며,  $t$ 값을 이용하여 메시지 라우팅을 위한 최소의 값과 최대의 값을 결정한다.

$$t' = d \times (t + 1) \quad (2)$$

BS에서 생성된 질의 메시지는 이웃 노드들에게 전달되며, BS와 목표 지역 사이에 위치한 노드는 메시지를 받은 후 위치 정보를 이용하여 현재 거리  $d'$ 를 계산한다.

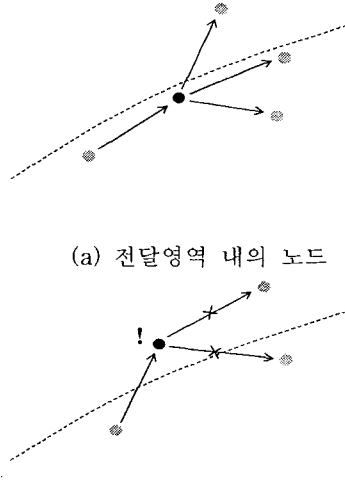
• Intermediate node's Location:  $N(n_x, n_y)$

$$I = \sqrt{(n_x - b_x)^2 + (n_y - b_y)^2}$$

$$I' = \sqrt{(s_x - n_x)^2 + (s_y - n_y)^2} \quad (3)$$

$$d' = I + I'$$

중간 노드는  $d'$ 를 계산한 후, 질의 메시지에 기록된  $t'$ 와 비교한다. 이 과정을 통하여 중간 노드는 자신이 전달 영역 이내에 위치한 노드인지 아닌지를 결정한다. 전달 영역인지에 대한 여부를 판단한 후, 만약 해당 노드가 내부 노드라면 <그림 5> (a)에서 표현된 것처럼 목표지역을 향하여 질의 메시지를 계속 전달하고, 만약 계산 결과 외부 노드라면 <그림 5> (b)와 같이 메시지 전송을 중단한다.



(a) 전달영역 내의 노드

(b) 전달영역 밖의 노드

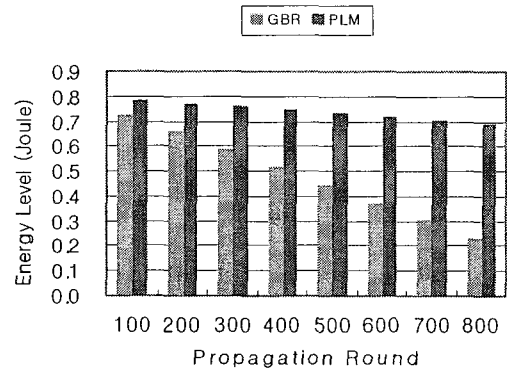
<그림 5> 메시지 전달을 위한 노드 선택

목표 지역에 질의 메시지가 전달되면 해당

노드들은 센싱 작업을 수행하고, 수집된 데이터는 BS를 향하여 보고된다. 이 과정에서는 홉 수와 에너지 정보를 이용한 경로 강화 (reinforcement) 메커니즘을 통하여 보다 효율적으로 데이터를 전달한다.

#### 4. 실험 결과

시뮬레이션을 통하여 제안된 방법의 성능을 측정하였다. 실험을 위하여  $400 \times 400m^2$ 의 필드에 노드를 배치하였고, 각 노드의 초기 에너지 레벨은 1J로 설정하였다. 하나의 메시지를 송신하는데 소비되는 에너지는 0.0001J이고, 수신에 소비되는 비용은 0.00005J이다. <그림 6>은 메시지의 라우팅 반복 횟수에 따른 에너지 소비 결과를 보여준다. 그래프를 보면 횟수가 100씩 증가함에 따라 각 시간대 별로 GBR의 에너지가 평균 0.07J 감소된 것을 볼 수 있다. 반면에 PLM은 대략 0.015J 정도의 에너지가 감소된 것을 볼 수 있다.



<그림 6> 반복 횟수에 따른 에너지 소비 결과

실험 결과는 GBR이 퍼지 로직을 사용한 PLM보다 더 많은 에너지를 소비하였음을 보여준다. 이를 통하여 기존의 방법을 적용했을

때 보다 약 2.94배 정도의 네트워크 수명이 증가되었음을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 데이터 통신을 위한 퍼지 로직 기반의 메시지 전달영역 제한 기법을 제안하였다. DD는 특정 지역의 데이터를 얻기 위한 통신 패러다임이지만, 질의 메시지를 전체 네트워크에 전달함으로써 많은 에너지를 소비한다. 그러나 PLM에서는 퍼지 시스템을 사용하여 특정한 임계값을 결정하고, 이 값을 기반으로 메시지의 전달영역을 제한할 수 있었다. 제안된 방법을 통하여 BS는 네트워크 전체에 메시지를 flooding하지 않고 부분적으로 제한하여 전송함으로써, 불필요한 지역에 전달되어 소비되는 에너지 손실을 줄일 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [2] K. Akkaya and M. Younis, "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," *Ad hoc networks*, 3(3):325-349, 2004.
- [3] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey," *Wireless Communications, IEEE*, 11(6), pp. 6-28, Dec. 2004.
- [4] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, "Directed diffusion for wireless sensor networking," *IEEE/ACM Trans. Networking*, 11(1):2-16, Feb. 2003.
- [5] C. Schurgers and M. B. Srivastava, "Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks," *In Proc. MILCOM 2001*, pp. 357-361, Oct. 2001.
- [6] Y. Yu, R. Govindan, and D. Estrin, "Geographical and Energy Aware Routing: a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks," *UCLA/CSD-TR-01-0023*, May. 2001.