

# 무선 센서 네트워크에서 메시지 라우팅을 위한 퍼지 기반 전달 영역 제한 기법의 모델링 및 시뮬레이션

지상훈<sup>1</sup> · 이해영<sup>1</sup> · 조대호<sup>1†</sup>

## Modeling and Simulation of Fuzzy based Propagation Limiting Method for message routing in Wireless Sensor Networks

Sang-Hoon Chi · Hae-Young Lee · Tae-Ho Cho

### ABSTRACT

Sensor networks consist of small nodes with sensing, computation, and wireless communications capabilities. A number of routing protocols to transmit the data between the base station and sensor nodes have been proposed. Intanagonwiwat et al. proposed the directed diffusion in which the base station sends interest messages and waits for data from the nodes in the specific regions. Since the directed diffusion propagates every interest message to whole nodes in the network, it causes energy dissipation of nodes. In this paper, we propose a novel data propagation method, which limits the data transmission area according to a threshold value for reducing the energy consumption in the network. A fuzzy logic is exploited to determine the threshold value by considering the energy and density of all the deployed nodes. The simulation models are designed and implemented based on DEVS formalism which is theoretically well grounded means of expressing discrete event simulation models.

**Key words** : Sensor Networks, Routing Protocol, Fuzzy Logic, Modeling and Simulation

### 요 약

센서 네트워크는 감지, 처리 그리고 무선 통신 능력을 갖는 작은 노드들로 구성되어 있다. 최근에는 기지 노드와 센서 노드들 간의 데이터 전송을 위한 수많은 라우팅 프로토콜이 개발되었으며, 특히 Intanagonwiwat가 제안한 디렉티드 디퓨전은 기지 노드에서 특정 지역에 요청 메시지를 전달하여 각 노드들로부터 데이터를 수집하기 위한 대표적인 라우팅 프로토콜이라고 할 수 있다. 그러나 디렉티드 디퓨전은 네트워크 내에 배치된 모든 노드들을 향하여 요청 메시지를 전달하기 때문에 많은 에너지를 소비시킨다. 따라서 본 논문에서는 센서 네트워크의 에너지 소비를 줄이기 위하여 특정한 임계값을 이용하여 데이터 전달 영역을 제한할 수 있는 새로운 데이터 전송 기법을 제안한다. 여기서 임계값은 네트워크에 배치된 모든 노드들의 에너지와 밀도 정보를 고려하여 사전에 설계된 퍼지 로직에 의해서 결정된다. 시뮬레이션 모델은 이산 사건 시뮬레이션 모델을 이론적으로 표현해 놓은 DEVS 형식론을 기반으로 설계하고 구현하였다.

주요어 : 센서 네트워크, 라우팅 프로토콜, 퍼지 로직, 모델링 시뮬레이션

## 1. 서 론

최근 마이크로 전자 기기 시스템 기술과 무선 통신 기술

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

2006년 8월 29일 접수, 2006년 11월 28일 채택

<sup>1)</sup> 성균관대학교 정보통신공학부

주 저 자 : 지상훈

교신저자 : 조대호

E-mail; taecho@ece.skku.ac.kr

의 진보는 저비용의 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network: WSN)를 가능하게 하였다.<sup>[1,2]</sup> 이러한 결과로, 센서 네트워크는 위험 지역의 오염 물질 추적, 전장에서 의 적군 감시, 생태계 환경 감시 및 건물이나 교량 감시 등의 다양한 분야에 적용하기 위한 중요한 도구로서 대두되었다.<sup>[3]</sup>

무선 센서 네트워크란 감지, 처리 그리고 무선 통신 능력을 갖는 소형의 센서 노드들로 구성된 네트워크를 말하는 것으로, 일반적으로 특정한 정보를 필요로 하는 곳 (Sensor Field)에 수백 또는 수천 개 이상의 센서 노드와

기지 노드(Base Station: BS) 또는 다수개의 BS를 배치함으로써 이루어지는 형태를 말한다. 이러한 센서 노드들은 주변의 정보를 수집하여 BS까지 전달하며, BS는 센서 네트워크를 직접 연결된 사용자나 혹은 인터넷과 같은 기존 통신 인프라와 연결하여, 원격의 사용자가 노드들로부터 수집된 데이터에 접근할 수 있도록 해준다.<sup>[4]</sup> 그림 1은 무선 센서 네트워크의 전체적인 구조를 보여준다.

센서 네트워크를 보다 다양한 분야에 적용하기 위해서는 에너지 소비에 관한 문제 해결이 반드시 요구되는데 특히, 센서 노드는 대부분의 응용에서 에너지와 자원이 매우 제한적이며, 일반적으로 위험한 지역이나 사람이 접근하기 힘든 지역에 배치되기 때문에 배터리의 교체가 사실상 어렵다고 할 수 있다. 따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위한 노드들의 효율적인 에너지 소비 정책이 수반되어야 한다.<sup>[1]</sup> 이러한 사실로 인하여 최근 센서 네트워크 분야에서는 더욱 에너지 효율적이고 신뢰적인 데이터 전달을 위한 많은 라우팅 알고리즘과 프로토콜이 제안되었다. 특히, 디렉티드 디퓨전(Directed Diffusion: DD)은 데이터 중심(Data Centric)의 통신 방식을 이용하여 BS와 센서 노드 간의 데이터를 전달하기 위한 통신 패러다임으로,<sup>[2,3]</sup> 이 프로토콜의 목적은 BS에서 생성된 요청 메시지(Interest Message)를 센서 필드에 위치한 노드들에게 전달함으로써 특정 지역의 데이터를 수집하는데 있다.<sup>[5,6]</sup> 그러나 DD의 요청 메시지 전달 과정을 살펴보면, 센서 필드에 위치한 모든 노드에게 메시지가 전달(Flooding)되는 것을 볼 수 있는데, 이러한 플러딩 방식은 중복된 데이터들에 의해 심한 에너지 소비를 초래하게 된다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 새로운 퍼지 기반의 라우팅 기법을 제안한다. 제안된 기법은 에너지와 밀도 정보를 입력 파라미터로 하는 퍼지 기반의 임계값 셀렉터를 사용하며, 이로부터 출력되는 값을 위치 정보와 함께 이용함으로써 메시지 라우팅을 위한 전달 영역을 제한할 수 있다. 또한 DD의 라우팅 방식을 개선한

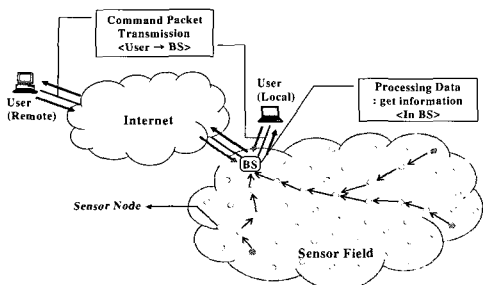


그림 1. 무선 센서 네트워크의 구조

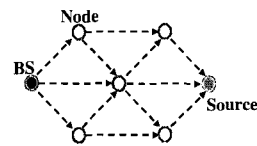
기존의 알고리즘을 이용하여 라우팅을 진행했을 경우 소비되는 에너지와 비교하여 퍼지 기반의 시스템을 적용하여 라우팅을 했을 때, 얼마나 에너지가 소비되는지를 시뮬레이션 하여 에너지 효율성을 비교할 것이다. 또한 이산 사건 시뮬레이션을 수행하기 위하여 체계적으로 잘 정립된 이론인 DEVS 형식론을 이용하여 제안된 기법 기반의 센서 네트워크를 모델링 한다.

## 2. 배경이론 및 관련연구

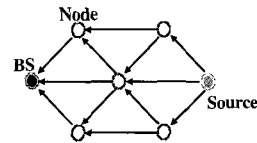
### 2.1 Directed Diffusion

일반적으로 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜은 평면 기반(Flat-based Routing), 계층 기반(Hierarchical-based Routing), 그리고 위치 기반 라우팅(Location-based Routing)으로 크게 3가지의 형태로 분류될 수 있다. 이러한 라우팅 방식 중 DD는 데이터 중심의 평면 기반 라우팅 알고리즘으로, BS에서 임의의 특정 지역에 요청 메시지를 전달하고 그 지역의 노드들로부터 수집된 데이터를 보고받는 형태로 이루어진다.<sup>[6]</sup> 이러한 방식의 DD는 특정한 애플리케이션에 적용될 경우 중복 데이터 제거 방법을 이용하여 네트워크의 에너지의 소비를 효율적으로 줄일 수 있다.<sup>[1,4]</sup>

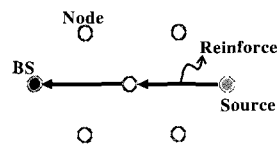
요청 메시지는 사용자가 원하는 작업 내용이 기술된 것으로 목표타입, 목표지역, 데이터 전송률 등의 속성 값을 이용하여 정의되며, 이러한 속성들은 실제 메시지 전송 과정에서 라우팅을 결정하는 요소로 사용된다. 그림 2(a)



(a) 요청 메시지 전달



(b) 기울기 설정



(c) 강화된 경로를 이용한 데이터 메시지 전달

그림 2. Directed Diffusion의 메시지 전달 과정

는 요청 메시지의 전달 과정을 보여주는 것으로, 센서 필드에 위치한 노드들을 향하여 요청 메시지가 전달되면, 메시지를 수신한 센서 노드들은 라우팅을 위한 기울기(Gradient)를 형성한다. 기울기는 데이터의 전달 방향과 이웃 노드의 정보를 나타내기 위한 것으로 요청 메시지를 전달한 노드를 향하여 형성된다. 이 과정은 그림 2(b)에 표현되어 있으며,<sup>[6,7]</sup> 모든 이웃한 노드에게 기울기가 설정될 때까지 계속된다. 요청 메시지가 목표 지역에 위치한 노드들에게 전달되면, 노드들은 센서를 이용하여 주변의 데이터를 수집하고, 이에 따라 데이터 메시지를 생성하여 역 경로를 따라 BS에게 전달한다. 이때 더 이상의 플러딩을 방지하기 위하여 센서 노드는 이웃 노드 중에서 에너지 효율성이 높고 데이터 전달 속도가 빠른 경로를 강화하여, 그 특정 경로를 따라 데이터 메시지를 전달한다. 그림 2(c)를 통하여 강화된 경로를 따라 데이터 메시지가 전달되는 과정을 볼 수 있다.<sup>[3,4]</sup>

## 2.2 Gradient Based Routing

Gradient Based Routing (GBR)은 DD를 약간 변형한 형태의 라우팅 알고리즘으로 요청 메시지 전달시 홉 수를 메시지에 기록하고, 이 기록된 홉 수를 이용하여 경로를 설정하는 알고리즘이다.<sup>[8,9]</sup> 요청 메시지를 센서 네트워크 전체에 전달할 경우, 각 노드는 BS로부터 최소의 홉 수를 갖는 이웃 노드를 찾는다. 이러한 홉 수 기반의 경로 설정은 수집한 데이터를 BS로 전달할 경우 보다 우수한 경로를 결정할 수 있도록 해준다.<sup>[2,3]</sup> GBR은 전체 센서 네트워크의 트래픽을 분산시키고, 모든 노드에 대한 분산부하를 수행함으로써 네트워크의 수명을 증가시킨다.

GBR은 DD에서 조금 개선된 방법으로 홉 수를 이용하여 경로를 설정하고 특정한 경로를 강화한다. 그러나 이 방법은 네트워크 전체에 요청 메시지를 전달하기 때문에 경로 설정을 위한 기초 과정에서 많은 에너지를 소비한다. 이와 같은 사실은 플러딩의 사용이 에너지 측면에서 볼 때 매우 비효율적이라는 것을 보여준다.<sup>[1-3,6,9]</sup>

## 2.3 DEVS 형식론

DEVS 형식론은 집합 이론에 근거하여, 연속적인 시간 상에서 발생하는 이산 사건 시스템을 시뮬레이션하기 위해 정립된 모델링 방법론이다. 이는 모델의 구조와 행동을 시뮬레이션 수행으로부터 추상화시키기 위해 모델을 집합 이론적 방법으로 이용한 것으로, 시스템을 계층적이고 모듈화(Modular)된 형식으로 기술한다.<sup>[10]</sup>

DEVS에서는 기본 모델(Basic Model)과 결합 모델(Coupled Model)을 정의한다. 기본 모델은 시간 명세 상태 천이 레벨(Timed state transition level)에서 시스템의 동작을 표현하는 모델로서 다음의 항으로 명세할 수 있다.

$$M = \langle X, S, Y, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, ta \rangle$$

$X$  : 입력 사건 집합  
 $S$  : 상태들의 집합  
 $Y$  : 출력 사건 집합  
 $\delta_{int} : S \rightarrow S$  내부 상태 전이 함수  
 $\delta_{ext} : Q \times X \rightarrow S$  외부 상태 전이 함수  
 $\lambda : S \rightarrow Y$  출력 함수  
 $ta : S \rightarrow R^+$  시간 진행 함수

결합 모델은 시스템 구성 요소간의 상호 작용을 표현하기 위한 모델로서 기본 모델이나 결합 모델로 기술된 구성 요소 모델들을 연결하여 만든 모델이다. 이 모델은 다음과 같은 항으로 명세가 가능하다.

$$N = \langle X, Y, D, \{Md \mid d \in D\}, EIC, EOC, IC, Select \rangle$$

$X$  : 입력 사건 집합  
 $Y$  : 출력 사건 집합  
 $D$  : 구성 요소 이름의 집합  
 $Md$  : DEVS 모델의 구성 요소  
 $EIC$  : 외부 입력 관계  
 $EOC$  : 외부 출력 관계  
 $IC$  : 내부 입출력 관계  
 $Select : 2^D - \{ \} \rightarrow D$

## 3. 메시지 전달 영역 제한 기법 및 모델 설계

본 절에서는 메시지 전달영역 제한 기법(Propagation Limiting Method: PLM)에 대하여 상세히 설명하고, 이를 위해 설계된 각각의 모델들에 대하여 소개한다. PLM은 메시지의 전달 지역을 네트워크의 상황에 따라 결정함으로써 센서 네트워크의 에너지 소비를 감소시킬 수 있는 알고리즘으로 다음과 같은 요소들이 사용된다. 첫째로 에너지와 밀도는 PLM의 임계값 결정에 사용되는 가장 중요한 요소이며, 이 임계값은 BS에 탑재된 퍼지 셀렉터에 의해서 생성된다. 이를 위하여 BS는 에너지와 밀도에 대한 대략적인 정보를 사전에 메모리에 저장해 둔다. 두 번째 요소는 센서 노드의 위치정보인데, 이는 실제로 메시지를 전달하는 과정에서 임계값과 함께 사용되며, 본 논

문에서는 노드들의 위치정보가 삼각측량법 등에 의해서 가능할 것으로 가정한다.<sup>[3,6,11]</sup> 그림 3은 퍼지를 기반으로 메시지의 전달 영역을 제한하기 위한 센서 네트워크의 기본적인 구조를 보여준다.

### 3.1 대상 네트워크의 SES

그림 4는 대상 네트워크의 SES(System Entity Structure)를 나타낸 것이다. 각 모델들은 계층적으로 분할(Decomposition), 분류(Specialization) 그리고 다중 분할(Multi Decomposition)의 관계를 갖고 있으며, 다음 절에서 하위 모델들의 기능에 대하여 설명한다.

### 3.2 센서 네트워크의 설계

#### 3.2.1 Sensor Network 모델

BS와 센서 노드들을 통제하고 이벤트 발생과 연동되는 Sensor Network 모델의 구조도는 그림 5와 같다.

Base Station과 Sensor Node 모델은 실제 센서 네트워크를 구성하는 노드를 나타내며, EF 모델은 이벤트를 관리하는 Transducer 모델과 U.E. Generator 모델 그리고 E.E. Generator 모델의 커플링으로 이루어져 있다.

Sensor Network 모델은 EF 모델과 연동되며, 크게 두 가지의 이벤트에 따라 동작하게 된다. U.E. Generator 모델은 사용자의 요청 메시지를 생성하며, E.E. Generator 모델은 센서 필드에 발생하는 이벤트 메시지를 생성하는 역할을 한다.

그림 6은 Base Station 모델의 구조도를 나타낸다. Base Station 모델은 크게 외부 사용자의 요청과 작업을 관리하는 Controller 모델과 요청 메시지 생성을 위한 Message Generator 모델 그리고 센서 노드들과의 통신을 담당하는 RF Transceiver 모델의 커플링으로 이루어져 있다.

Controller 모델은 Receiver 모델을 통하여 외부로부터 작업 요청을 받아 Task Manager 모델에게 작업 내용을 전달하는 역할을 하며, 작업 내용은 Logger 모델에 기록된다. Task Manager 모델은 작업 내용을 Message Generator 모델에 전달하는 역할과 함께 작업 관리의 역할을 수행한다. Message Generator 모델은 요청 메시지를 생성하기 위하여 Fuzzy System 모델을 포함하며, 요청된 작업이 수신된 경우 Memory 모델로부터 네트워크의 정보를 입력으로 하여 임계값을 결정한다. 임계값 결정을 위한 자세한 퍼지 시스템 설계는 다음절에서 소개한다. 결정된 임계값은 Packet Generator 모델을 통하여 요청 메시

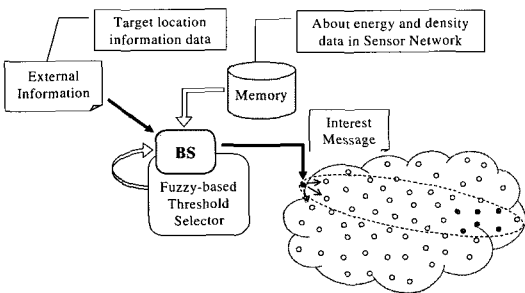


그림 3. 전달 영역 제한 기법을 위한 기본 구조

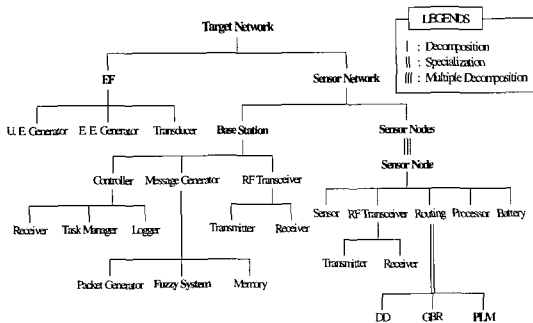


그림 4. 대상 네트워크의 SES

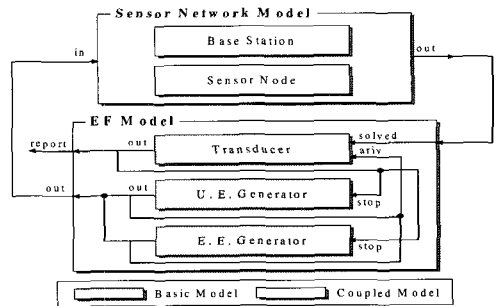


그림 5. Sensor Network 모델의 구조도

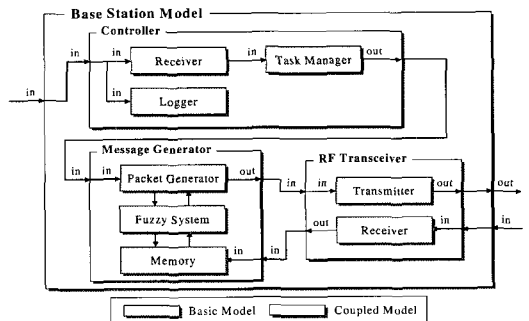


그림 6. Base Station 모델의 구조도

지에 포함되며, 이 메시지는 RF Transceiver 모델을 거쳐 센서 노드 모델과 통신하게 된다. RF 모델의 Receiver 모델은 센서 노드들로부터 수신된 메시지를 분석하여 네트워크의 상황 정보를 Memory 모델로 전달함으로써, 최근 정보가 Memory 모델에 저장될 수 있도록 한다.

### 3.2.3 Sensor Node 모델

그림 7의 Sensor Node 모델은 Base Station 모델로부터 전달된 메시지를 이웃한 노드들과 통신하는 모델로서, 메시지를 송수신하기 위한 RF Transceiver 모델과 메시지 처리를 위한 세부 모델들로 구성된다.

RF 모델을 통하여 수신된 메시지는 Routing 모델을 통하여 처리되는데, Routing 모델에는 DD와 GBR 그리고 PLM 등의 라우팅 프로토콜이 설계되어 있다. Processor 모델은 센서 노드의 작업을 수행하기 위한 관리 역할을 하며, 통신과 감지 작업에서 소비되는 에너지양을 계산한다. Battery 모델은 센서 노드의 동작에 따른 에너지 소모량과 현재 에너지양을 표시하며, Sensor 모델은 실제 센서 노드의 감지 작업을 수행하는 역할을 한다.

## 3.3 메시지 전달 영역에 영향을 주는 요소

### 3.3.1 에너지

센서 네트워크에서 에너지는 가장 먼저 고려되어야 할 요소이다. 일반적으로 센서 노드는 작은 크기를 갖기 때문에 에너지가 제한되며, 사람이 접근하기 힘든 지역에 배치되므로 배터리를 교체할 수 없는 특징을 갖는다. 이와 같이 제한된 에너지 문제는 네트워크의 전체적인 수명과 연관되므로 효율적인 에너지 소비 정책은 매우 중요하다고 할 수 있다<sup>[1]</sup>. 예를 들어 특정 지역의 정보를 얻기 위하여 초기에 요청 메시지를 전달하는 경우, 만약 에너지가 적은 노드들로 구성된 지역을 통하여 메시지를 전달

한다면, 에너지 고갈에 따른 노드의 실패로 인하여 신뢰적인 데이터 전송을 할 수 없을 것이다. 또한 너무 좁은 전달 영역을 통하여 즉, 노드의 개수가 적은 지역을 통하여 메시지를 전달할 경우 노드 실패에 따른 대안 경로를 회복할 수 없을 것이다.<sup>[12]</sup>

이러한 사실을 고려하여 본 연구에서는 에너지 정보를 기반으로 퍼지를 이용하여 설정된 임계값을 요청 메시지에 포함시켜 전달함으로써 메시지의 전달 영역을 결정할 수 있다. 메시지 전달 과정에서 임계값은 전달 영역의 폭을 제한하거나 늘리기 위한 척도로 사용되며, 노드가 갖는 위치정보와 함께 계산되어진다. 그림 8은 목표 지역 A에 대한 전달 영역(약 89%)과 목표지역 B에 대한 전달 영역(약 46%)의 차이를 보여주는데, 지역별로 표시된 비율은 노드들의 잔여 에너지를 나타내는 것으로 사용자의 요청에 따라 지역별로 노드들의 잔여 에너지가 상이한 것을 보여주기 위한 것이며, 본 연구의 실험 과정에서 사용된 한 예를 참고하여 표현한 것이다. 이 그림을 통하여 센서 필드에 위치한 노드들의 잔여 에너지에 따라 실제 메시지가 전달되는 라우팅 경로의 차이를 볼 수 있다.

### 3.3.2 밀도

전달 지역 이내에 위치한 노드의 수는 네트워크의 밀도를 나타내는데 사용된다<sup>[13]</sup>. 노드 간 통신은 일반적으로 적은 에너지와 제한된 대역폭으로 인하여 짧은 전송 범위를 갖기 때문에 밀도는 데이터 신뢰성과 관련되는 매우 중요한 요소가 된다<sup>[3]</sup>. 노드 간 밀도가 높은 지역은 상대적으로 밀도가 낮은 지역과 비교해 볼 때 보다 좁은 메시지 전달 영역을 형성할 수 있는데, 이는 이웃 노드와의 거리와 주변에 메시지를 보낼 수 있는 노드의 개수가 밀도가 낮은 경우와 비교해 볼 때 보다 신뢰적인 데이터 전송을 갖기 때문이다. 이러한 내용을 바탕으로 본 연구에

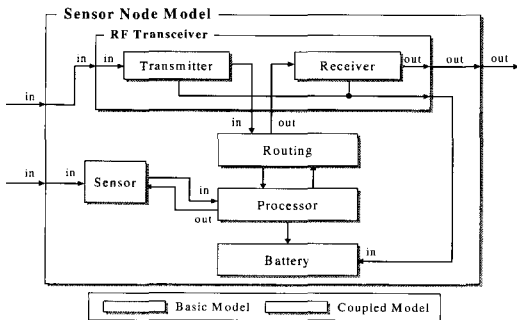


그림 7. Sensor Node 모델의 구조도

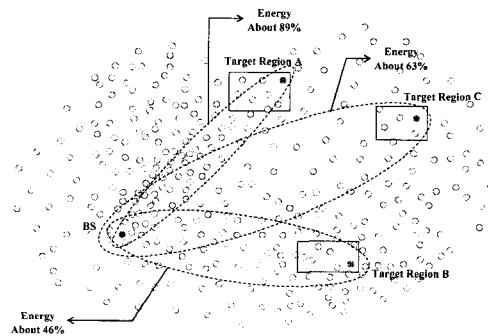


그림 8. 네트워크의 에너지에 따른 전달 영역 차이

서는 임계값을 결정하기 위한 두 번째 요소로서 밀도 정보를 이용하여 메시지의 전달 영역을 결정한다.

네트워크의 밀도에 따른 전달 영역의 차이는 그림 9에 나타났다. 센서 노드가 매우 밀집하게 배치된 목표 지역 A(약 92%)의 전달 영역에 비해 상대적으로 밀도가 낮은 목표 지역 C(약 38%)의 전달 영역은 데이터를 전달할 때 메시지 전송이 실패할 경우, 대안 경로가 가능한 이웃의 수가 적기 때문에 A 지역보다 신뢰성이 떨어진다. 그러므로 밀도가 높은 A지역과 달리 C지역은 보다 넓은 라우팅 영역을 형성하도록 임계값을 설정함으로써, 메시지 전송 실패에 대한 대안 경로를 확보할 수 있도록 한다. 그림에서 사용된 비율은 실험 과정에서 사용된 한 예를 참고하여 표현하였으며, 각각의 비율은 임의로 배치된 노드의 밀도 계산식을 이용하여 얻은 값이다.<sup>[13]</sup>

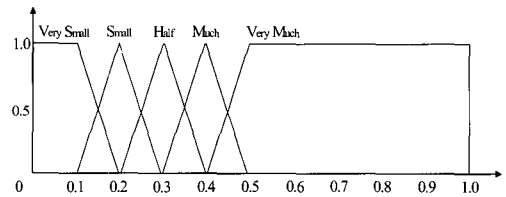
### 3.4 퍼지 기반 임계값 셀렉터의 설계

BS는 퍼지 기반의 셀렉터를 이용하여 얻은 임계값을 요청 메시지에 추가함으로써 메시지의 전달 영역을 제한할 수 있다. 퍼지 셀렉터는 사용자로부터 요청된 작업에 따라 네트워크의 에너지와 밀도를 입력 파라미터로 사용하여 임계값을 결정하는데, 이를 위한 입력 파라미터는 다음과 같은 경우를 고려하여 퍼지 셀렉터에 입력된다. 에너지가 적은 노드들이 배치된 지역에 메시지를 전달하는 경우는 상대적으로 에너지가 많은 지역과 비교해 볼 때 보다 넓은 지역을 통하여 전달된다. 그러나 에너지가 적은 지역이라도 이웃한 노드 간의 밀도가 높은 지역이라면, 밀도가 낮은 지역에 비해 상대적으로 좁은 전달 영역을 형성하여 메시지를 전달할 수 있다. 본 내용을 근거로 퍼지 셀렉터는 노드들의 에너지와 밀도를 고려하는 멤버십 함수를 이용하여 적절한 임계값을 출력해주며, 퍼지 셀렉터를 위한 입출력 파라미터는 다음과 같이 표현된다.

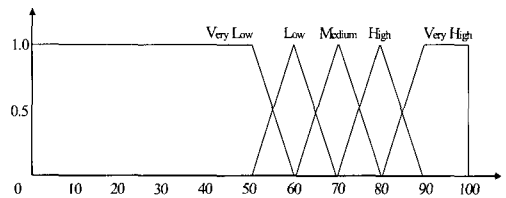
- ENERGY = {Very Small, Small, Half, Much, Very Much}
- DENSITY = {Very Low, Low, Medium, High, Very High}
- THRESHOLD = {Very Small, Small, Medium, Large, Very Large}

또한, 각각의 파라미터에 대한 멤버십 함수는 그림 10에 설계되어 있다.

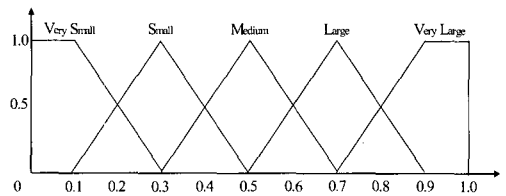
ENERGY는 전달 영역 이내에 위치한 노드들의 잔여 에너지 레벨을 나타내고 DENSITY는 노드들 간의 밀도 레벨을 나타낸다. 그리고 THRESHOLD는 두 개의 입력을 통하여 얻어지는 임계값의 레벨을 나타낸다. 예를 들어, ENERGY가 Small이고 DENSITY가 Very Low이면 THRESHOLD 값은 Small보다 낮거나 혹은 높은 값들 중에서 하나를 선택하게 된다. 다음은 퍼지 규칙의 일부분을 보여준다.



(a) ENERGY에 대한 멤버십 함수



(b) DENSITY에 대한 멤버십 함수



(c) THRESHOLD에 대한 멤버십 함수

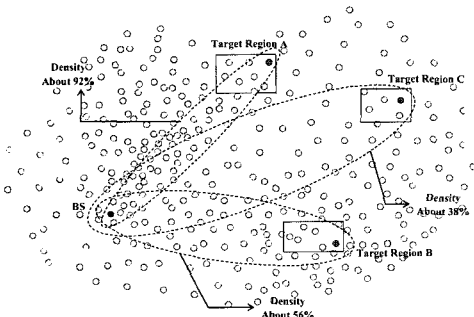


그림 9. 네트워크의 밀도에 따른 전달 영역 차이

그림 10. 퍼지 셀렉터의 입·출력 변수를 위한 멤버십 함수

RULE 08:

IF (ENERGY is SMALL)  
AND (DENSITY is MEDIUM)  
THEN (THRESHOLD is LARGE)

RULE 09:

IF (ENERGY is SMALL)  
AND (DENSITY is HIGH)  
THEN (THRESHOLD is LARGE)

RULE 10:

IF (ENERGY is SMALL)  
AND (DENSITY is VERY\_HIGH)  
THEN (THRESHOLD is MEDIUM)

### 3.5 요청 메시지

외부의 사용자로부터 특정 지역에 관한 정보가 요청되면, BS는 전략적으로 네트워크의 한 부분을 선택하여 주변 환경을 감지할 수 있다. 이때 BS는 작업이 요청된 위치 정보에 따라 목표 지역(Source)을 결정하고, 요청 메시지를 생성하기 위한 한 속성으로 최적 경로를 계산한다. 최적 경로는 식 (1)에 의해서 계산되며 여기서 나온 최적 경로 값  $d$ 는 목표지역에 대한 위치 정보와 함께 요청 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 11은 BS와 목표지역 간의 최적 경로인 직선상에 위치한 노드들을 보여주며, 검은색 삼각형으로 표시된 노드가 최적 경로를 형성하는 노드들을 나타낸다. 이 노드들은 에너지 측면에서 볼 때 통신비용을 줄이기 위한 최

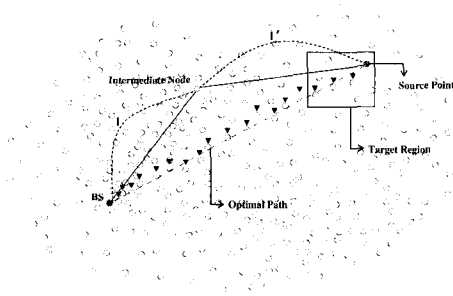


그림 11. BS와 목표지역 간의 최적 경로 및 중간 노드의 실제거리

적 경로가 되며, BS는 이 경로를 따라 요청 메시지를 전달할 수 있다. 그러나 이 최적 경로상의 노드들만을 이용하여 메시지를 전달하게 되면 신뢰성 높은 데이터 전송률을 보장할 수 없는 문제점이 발생한다.

이러한 문제 때문에 BS는 최적 경로를 사용하는 것 이외에 그 경로 주변의 이웃한 노드들을 통하여 보다 넓은 전달 영역을 형성하며 요청 메시지를 전송한다. 최적 경로 외에 추가로 전달 영역에 포함될 노드들은 임계값  $t'$ 에 의해서 결정이 되는데, BS는 이 값  $t'$ 를 생성하기 위하여 식 (2)을 이용하여 값을 계산한다. 여기서 생성된  $t'$  값은 요청 메시지에 추가되어 전달되며, 실제로 메시지의 전달 영역을 결정하기 위한 최종 임계값이 된다. 식 (2)의 임계값  $t$ 는 메시지가 전송되기 이전에 퍼지 셀렉터에 의하여 생성된 초기 임계값이며, 이 식에서는  $t$ 값을 이용하여 메시지 라우팅을 위한 최소의 값과 최대의 값을 계산한다.  $t'$ 값은  $t$ 값이 0부터 1의 값을 가질 때  $d$ 부터  $2d$ 의 값을 가질 수 있다.

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

마지막으로 BS는 임계값  $t'$ 와 목표지역의 위치정보 그리고 2절에서 설명되었던 요청된 작업과 관련된 정보들을 취합하여 요청 메시지를 생성한다.

### 3.6 전달 영역에 대한 노드 선택

BS에서 생성된 요청 메시지는 이웃 노드를 향하여 전달된다. BS와 목표 지역 사이에 위치한 노드는 메시지를 받은 후 자신의 엔트리에 저장하고 BS와 자신의 위치정보 및 목표 지역의 위치정보를 이용하여 현재 거리를 계산한다. 요청 메시지를 수신한 중간 노드의 현재 거리 계산은 식 (3)에 나타나 있다.

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

$$l = \sqrt{(n_x - b_x)^2 + (n_y - b_y)^2} \quad (3)$$

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

$$d' = l + l'$$

식 (3)을 이용하여  $l$ 과  $l'$ 를 계산하고, 두 값의 합을 구하여 실제 거리  $d'$ 를 생성한다.  $d'$ 는 BS에서부터 목표지역까지 요청 메시지를 전달하기 위한 중간 노드의 실제거리를 나타내는 것으로, 그림 11에서는 BS와 중간노드 그

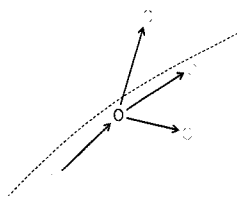
리고 목표지역을 실선으로 연결하여 표현하였다.

메시지를 전달받은 중간 노드는 자신의 위치정보를 이용하여  $d'$ 값을 계산하고 이 값과 요청 메시지에 기록된  $t'$ 를 비교한다. 이 과정을 통하여 중간 노드는 자신이 전달 영역 이내에 위치한 노드인지 아닌지를 결정한다. 만약  $t'$  값이  $d'$ 값 보다 작거나 같다면 전달 영역 내부에 위치한 것으로 판단하고, 크다면 외부에 위치한 것으로 판단한다.

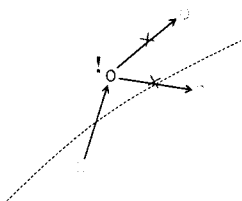
- IF  $t' \leq d'$  THEN Interior Node
- IF  $t' > d'$  THEN Exterior Node

전달 지역의 노드인지의 여부를 판단한 후, 만약 해당 노드가 내부 노드라면 그림 12(a)에서 표현된 것처럼 목표지역을 향하여 이웃 노드에게 다시 요청 메시지를 전달한다. 그러나 계산 결과 외부 노드라면 그림 12(b)에서와 같이 이웃 노드를 향해 더 이상 메시지 전송을 하지 않는다. 그리고 저장된 요청 메시지는 자신의 엔트리에서 삭제 시킨다.

목표 지역에 위치한 노드들이 BS로부터 전달된 요청 메시지를 받으면, 해당 노드들은 각각 자신의 감지 유닛을 이용하여 목표 데이터를 수집하고, 이렇게 수집된 데이터는 데이터 메시지에 추가되어 BS에게 보고된다. 데이터



(a) Interior node



(b) Exterior node

그림 12. BS와 목표 지역 간의 메시지 전달을 위한 노드 선택

메시지를 전달하는 과정에서 GBR<sup>[9]</sup>은 전송률 높은 경로 선택을 위하여 전달 경로 강화 메커니즘(Reinforcement)을 사용한다.

PLM에서도 이와 같은 기존의 알고리즘을 기반으로 데이터 메시지 전송을 위한 전달 경로를 강화하는데, 이때 강화 경로는 잔여 에너지와 홉 수에 의해서 결정된다. 전달 경로를 강화하여 요청 메시지를 전송하기 위해서는 메시지 전달 과정에서 사용되었던 노드의 수에 따라 홉 수를 메시지에 기록시킨다. 이때, BS에서는 출발하는 메시지에 초기 홉 수를 0으로 기록하고 이웃한 노드로 전달될 때마다 홉 수를 하나씩 증가시킨다. 목표 지역 이내의 노드는 주변의 노드들 중에서 최소의 홉 수를 갖는 노드에게 데이터 메시지를 전달한다. 만약, 이웃한 노드의 홉 수가 동일할 경우에는 메시지를 전달할 이웃 노드들 중에서 잔여 에너지가 많은 노드를 선택하여 전달한다. 마지막으로 BS는 이웃 노드들로부터 전달 받은 데이터 메시지를 취합하여 사용자에게 보고한다.

마지막으로 그림 13에서는 본 연구에서 제안하는 PLM 알고리즘의 전체적인 내용을 단계별로 요약하여 순서도로 표현하였다.

## 4. 시뮬레이션 결과

### 4.1 시뮬레이션 방법 및 성능 지표

이 절에서는 시뮬레이션을 통하여 제안된 PLM의 성능을 측정하였다. 실험을 위하여 400×400m<sup>2</sup> 크기의 사각형 센서 필드에 300개의 센서 노드를 배치하였고, 이후 50개씩 센서 노드를 추가로 배치하여 실험하였다. 각 노드의 초기 에너지 레벨은 1J로 설정하였으며, 하나의 메시지 송/수신에는 각각 390/300μJ의 에너지를 소비한다<sup>[14]</sup>. 그리고 노드는 데이터를 전달하기 위하여 RF통신 방식을

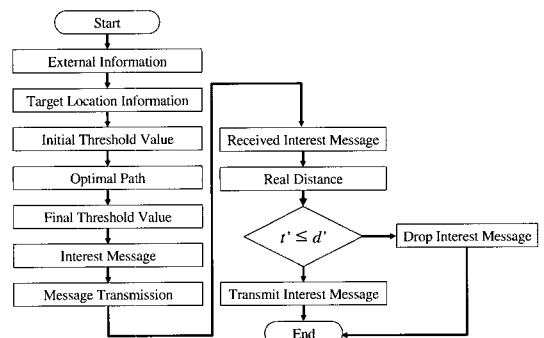


그림 13. PLM 알고리즘의 순서도



사용하며 전송 범위는 40m로 고정시켰다. 본 연구를 위한 시뮬레이션은 메시지 라우팅의 반복 횟수와 센서 노드의 개수에 따른 두 가지 경우에 대하여 수행하였고, 성능을 평가하기 위하여 기존의 DD, GBR 라우팅 프로토콜과 제안된 퍼지 기반의 PLM을 비교하였다.

#### 4.2 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 14는 요청 메시지의 라우팅 반복 횟수에 따른 에너지 효율성의 결과를 보여준다. 이 그래프는 반복된 횟수가 100씩 증가함에 따라 DD, GBR 그리고 PLM의 에너지 레벨이 감소되는 것을 표현하고 있는데, 상대적으로 PLM은 다른 알고리즘에 비하여 적은 에너지를 소비함으로써 에너지 효율성 측면에서 볼 때 더욱 우수하다고 할 수 있으며, 그래프 상에서 우위를 차지하고 있는 것을 볼 수 있다. DD의 경우는 라우팅의 반복 횟수가 증가함에 따라 에너지 소비량의 차이가 매우 급격하지만, PLM의 경우는 보다 균일하게 에너지를 사용하였다.

그림 15는 DD와 GBR 그리고 PLM 각각에 대하여 네트워크 크기에 따른 에너지 효율성의 결과를 시뮬레이션

을 통하여 보여준다. 여기서 네트워크 크기란 고정된 센서 필드에 배치된 노드의 개수를 의미하며, 본 실험에서는 초기에 300개의 노드를 배치하고 이 후 50개씩 추가로 배치함으로써 각 프로토콜에 대한 에너지 효율성을 측정하였다. 이 그래프를 통하여 DD, GBR과 비교해 볼 때 네트워크의 크기와는 독립적으로 어떤 경우에도 PLM의 에너지 효율성이 나머지 두 프로토콜보다 우위를 차지하고 있는 것을 볼 수 있다.

위에서 살펴 본 시뮬레이션 결과는 DD와 GBR 프로토콜이 퍼지 로직을 사용한 PLM보다 더 많은 에너지를 소비하였음을 보여주며, 이러한 결과를 통하여 PLM을 적용한 센서 네트워크의 전체 수명이 기존의 라우팅 알고리즘을 적용했을 때 보다 연장된 것을 확인할 수 있다.

### 5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 데이터 통신을 위한 퍼지 기반의 메시지 전달 영역 제한 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 특정 지역의 데이터를 얻기 위하여 전체 네트워크에 요청 메시지를 전달하는 DD의 단점을 개선하기 위한 것으로, 메시지의 라우팅을 위하여 네트워크의 에너지와 밀도 정보를 이용하였으며, 이 두 가지 정보를 입력으로 하는 퍼지 시스템과 위치 정보에 의해서 메시지 전달에 필요한 임계값을 생성하였다. 네트워크의 상황에 따라 생성된 임계값을 요청 메시지에 추가하여 목표지역에 전달함으로써 수신하는 센서 노드는 자신의 전달 여부를 결정할 수 있었고, 이를 통하여 BS는 요청 메시지를 네트워크 전체에 플래딩하지 않고 전달 영역을 부분적으로 제한하여 불필요한 지역에 전송되어 소비되는 에너지를 줄일 수 있었다.

결론적으로 PLM이 적용된 센서 네트워크는 기존의 다른 방법들에 비해 전달 영역을 제한하는 기법을 이용함으로써 상대적으로 적은 에너지를 소비하였으며, 이에 따라 전체 센서 네트워크의 수명을 연장시킬 수 있었다.

향후 과제로는 멀티 홉 환경의 메시지 라우팅 과정에서 발생할 수 있는 에너지 소비 공격과 문제점들에 대하여 살펴 볼 것이며, 이에 따른 보안 대책에 관하여 연구할 것이다.

### 참고 문헌

1. I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian, and E. Cayirci (2002), "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, pp. 102-114.

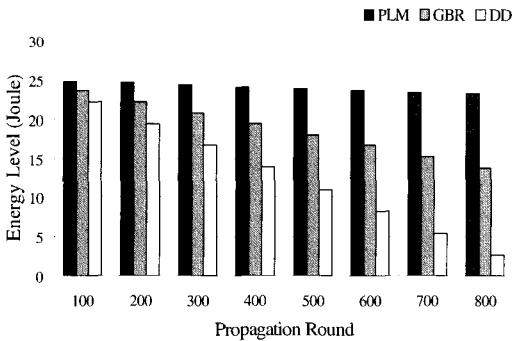


그림 14. 라우팅 반복 횟수에 따른 에너지 효율성 비교

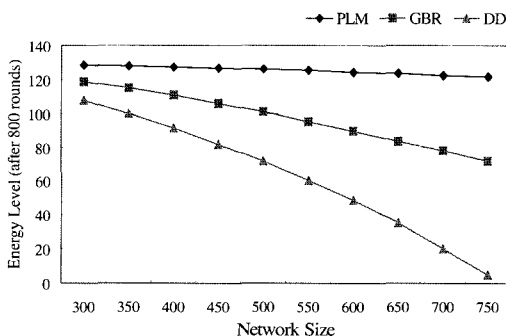


그림 15. 노드 개수에 따른 에너지 효율성 비교

2. K. Akkaya and M. Younis (2004), "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," *Ad hoc networks*, Vol. 3, No. 3, pp. 325-349.
3. J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal (2004), "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 11, No. 6, pp. 6-28.
4. Qiangfeng Jiang and D. Manivannan (2004), "Routing Protocols for Sensor Networks," *Proc. of the CCNC*, pp. 63-98.
5. D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, and S. Kumar (1999), "Next century challenges: Scalable coordination in sensor networks," *Proc. of the 5th Annual ACM/IEEE Int. Conf. MobiCom*, pp. 263-270.
6. C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva (2003), "Directed diffusion for wireless sensor networking," *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol. 11, No. 1, pp. 2-16.
7. J. Heideman, F. Silva, C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, and D. Ganesan (2001), "Building Efficient Wireless Sensor Networks with Low-Level Naming," *Proc. of the 18th ACM SOSP*, pp. 146-159.
8. C. Schurgers and M. B. Srivastava (2001), "Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks," *Proc. of the MILCOM*, pp. 357-361.
9. F. Ye, G. Zhong, S. Lu, and L. Zhang (2005), "GRAdient Broadcast: A Robust Data Delivery Protocol for Large Scale Sensor Networks," *ACM WINET*, Vol. 11, No. 2.
10. B. P. Zeigler, H. Praehofer, and T. G. Kim (2000), *Theory of Modeling and Simulation*, 2nd Edition Academic Press.
11. Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin (2001), "Geography-informed Energy Conservation for Ad-hoc Routing," *Proc. of the ACM/ IEEE Int. Conf. MobiCom*, pp. 70-84.
12. D. Ganesan, R. Govindan, S. Shenker, and D. Estrin (2001), "Highly-resilient, energy -efficient multipath routing in wireless sensor networks," *Mobile Computing and Communications Review*, Vol. 4, No. 5.
13. N. Bulusu, D. Estrin, L. Girod, and J. Heidemann (2001), "Scalable Coordination for wireless sensor networks: Self-Configuring Localization Systems," *Proc. of the 6th ISCTA*.
14. F. Ye, H. Luo, and S. Lu (2005), "Statistical En-Route Filtering of Injected False Data in Sensor Networks." *IEEE J. Sel. Area Communications*, Vol. 23, No. 4, pp. 839-850.



**지 상 훈** (craken78@ece.skku.ac.kr)

2004년 배재대학교 정보통신공학부 학사  
2005년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 컴퓨터공학과 석사과정

관심분야 : USN, 모델링 및 시뮬레이션, 네트워크 보안, 인공지능



**이 해 영** (software@ece.skku.ac.kr)

2003년 성균관대학교 정보통신공학부 학사  
2003년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야 : USN, 모델링 및 시뮬레이션, 인공지능, ERP



**조 대 호** (taecho@ece.skku.ac.kr)

1983년 성균관대학교 전자공학과 학사  
1987년 Univ. of Alabama 전자공학과 석사  
1993년 Univ. of Arizona 전자 및 컴퓨터공학과 박사  
1993년 경남대학교 전자계산학과 전임강사  
1995년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 조교수  
1999년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 부교수  
2002년 성균관대학교 정보통신공학부 부교수  
2004년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수

관심분야 : USN, 모델링 및 시뮬레이션, 지능 시스템, 네트워크 보안