

# 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 퍼지 기반 적응형 라우팅 알고리즘 및 시뮬레이션<sup>†</sup>

홍순오\*, 조대호\*

## Fuzzy based Energy-Efficient Adaptive Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks

Soon Oh Hong, Tae Ho Cho

### Abstract

Recent advances in wireless sensor networks have led to many routing protocols designed for energy-efficiency in wireless sensor networks. Despite that many routing protocols have been proposed in wireless sensor networks, a single routing protocol cannot be energy-efficient if the environment of the sensor network varies. This paper presents a fuzzy logic based Adaptive Routing (FAR) algorithm that provides energy-efficiency by dynamically changing protocols installed at the sensor nodes. The algorithm changes protocols based on the output of the fuzzy logic which is the fitness level of the protocols for the environment. A simulation is performed to show the usefulness of the proposed algorithm.

**Key Words:** adaptive routing, fuzzy inference system, wireless sensor network, simulation

<sup>†</sup> 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성, 지원사업의 연구결과로 수행되었음.

\* 성균관대학교 정보통신공학부

## 1. 서론

최근 무선 통신 및 전자 기술의 발전으로 인하여 저비용으로 저 전력, 다기능의 근거리 통신이 가능한 소형 센서 노드를 개발할 수 있게 되었다[1]. 이러한 결과로 무선 센서 네트워크(WSN: Wireless Sensor Network)는 위험한 지역의 오염물질 추적, 자연 생태 환경 감시, 전장에서 적군 추적, 교통량 감시등을 위한 새로운 도구로서 등장하게 되었다[2].

무선 센서 네트워크는 감지, 계산, 무선 통신 능력을 가지고 있는 소형 센서 노드들로 구성된다. 그리고 각 센서노드는 센서, 프로세서, 메모리, 무선 트랜시버, 위치 측정 시스템, 배터리 등으로 구성된다. 센서 노드는 감지를 통해서 데이터를 수집하여 전송하며, 수신한 데이터를 다른 노드로 전달하는 라우팅 기능을 수행한다. 이러한 센서 노드들은 일반적으로 센서 노드들이 배치되는 영역인 센서 필드 내에 흩뿌려지며, 각 센서 노드는 감지한 데이터를 외부에 있는 기지 노드(BS: Base Station) 까지 전달한다. BS는 센서 네트워크를 인터넷과 같은 기존 통신 인프라와 연결하여, 사용자가 수집한 데이터에 접근할 수 있도록 해준다[3].

대부분의 응용에서 센서 노드에 공급되는 에너지는 제한적이다[2,3]. 따라서 센서 노드의 수명을 연장하기 위해서는 에너지 소모를 최소화 하는 라우팅 알고리즘의 설계가 매우 중요하다. 문제점은 지금까지 에너지 효율을 고려한 많은 라우팅 프로토콜이 제안 되었지만, 기존의 라우팅 프로토콜은 특정 응용 혹은 네트워크에 특화되어 있기 때문에, 모든 네트워크 상황 하에서 항상 에너지 효율성을 보장할 수 있는 라우팅 프로토콜은 없다는 것이다 [2,4]. 예를 들어, 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜인 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[5]에서는 클러스터 헤드가 자신의 클러스터 내에 있는 센서 노드로부터 데이터를 받은 후, 이를 BS 까지 한번에

직접 전송하는 싱글 홉 라우팅 방식을 사용하기 때문에, 넓은 지역에서는 사용하기 어렵다 [4]. 즉, LEACH에서는 클러스터 헤드와 BS의 거리가 클러스터 헤드의 라디오 범위보다 큰 경우에는 하드웨어의 한계로 데이터를 전송할 수가 없거나, 전송 가능하다라도 에너지 소모가 매우 커지는 문제점이 있다. 따라서 지진이 발생한 지역의 인명 구조 시 LEACH가 탑재된 센서 노드를 사용한다면, 여진으로 인하여 피해 지역이 넓어져 노드의 배치 범위가 확대 되었을 때, 효율적인 임무 수행이 어렵게 된다.

본 연구에서는 이러한 경우의 문제를 해결하기 위하여 퍼지 기반의 적응형 라우팅(FAR: Fuzzy Adaptive Routing) 알고리즘을 제안한다. FAR 알고리즘은 BS가 퍼지 추론 시스템을 사용하여 기존에 연구된 라우팅 프로토콜 중 현재의 네트워크 상황 하에서 가장 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜을 결정한 후, 센서 노드들이 BS가 선택한 라우팅 프로토콜을 사용하도록 하여, 네트워크의 상황 변화 하에서도 에너지 효율성을 보장하는 것을 목표로 한다. 이러한 FAR 알고리즘은 네트워크 상황이 변할 때 마다, 주어진 상황에서 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜을 교체 사용하도록 함으로서 에너지 소모를 줄여준다.

마지막으로, 본 연구에서는 시물레이션을 수행하여 동적인 센서 네트워크 환경 하에서 FAR 알고리즘을 사용한 경우가 기존의 단일 라우팅 프로토콜만 사용했을 때 보다 에너지 효율적임을 검증한다.

## 2. 배경 이론

### 2.1 능동 네트워크(Active Networks)

능동 네트워크[6,7,8]는 기존 네트워크를 구성하고 있는 중간 노드들의 정적인 특성 때문에, 새로운 기술 및 서비스를 네트워크에 신속히 적용할 수 없다는 한계를 극복하기 위하여

제시된 개념이다. 이러한 능동 네트워크는 프로그램 가능하도록 구성된 중간 노드에 프로그램 코드를 전송하고 실행함으로써, 네트워크에 새로운 프로토콜이나 응용 프로그램을 신속하고 경제적으로 도입 가능하게 한다.

능동 네트워크를 구현하는 방식은 분리 방식(Discrete approach)과 통합 방식(Integrated approach)의 두 가지로 분류할 수 있다. 분리 방식에서는 프로그램을 실제 데이터 패킷과 분리하여 프로그램 가능한 중간 노드, 즉 능동 노드(Active node)에 설치한다. 그리고 호스트에서는 수행 하려는 프로그램에 대한 식별자와 데이터가 포함된 패킷을 능동 노드에 전송하여 원하는 서비스를 수행하는 방식이다. 반면에 통합 방식은 프로그램과 데이터가 결합된 패킷을 능동 노드에 전송하고, 능동 노드에서는 이를 실행하여 원하는 서비스를 수행하는 방식이다.

## 2.2 TEEN

TEEN(Threshold sensitive Energy Efficient Sensor Network protocol)[9]은 LEACH와 유사한 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜이다.

TEEN에서 센서 노드들은 클러스터 헤드로부터 받은 임계 값인  $H_t$ 와  $S_t$ 을 기반으로 감지된 데이터를 전송할지 여부를 결정한다. 즉, TEEN은 감지된 데이터의 값이 최초로  $H_t$ 를 초과하게 되면, 해당 데이터를 SV(sensed value)라 불리는 노드의 내부 변수에 저장한 후 전송한다. 이후에는 감지된 데이터의 값이  $H_t$  보다 크고, 동시에 SV와 감지된 데이터 값의 차이가  $S_t$  보다 크거나 같은 경우에만 전송을 하는 방식이다.

TEEN은 LEACH의 클러스터 형성 기법을 사용하지만, 센서들이 감지된 데이터를 주기적으로 전송하는 LEACH와는 달리 클러스터 헤드가 브로드 캐스트 한 임계 값을 기반으로 데이터를 전송하기 때문에 반응형(reactive)

센서 네트워크에 적합하다[10].

## 2.3 Directed Diffusion

Directed Diffusion[11]은 BS의 질의(query)를 기반으로 하는 데이터-중심(data-centric) 라우팅 프로토콜이다.

Directed Diffusion에서 질의는 속성과 값의 쌍으로 구성되는 interest로 표현된다.[10] 이러한 interest는 주기적으로 BS로부터 센서 네트워크 전체로 플러딩(flooding)되고, 센서 노드들이 데이터를 BS로 전송하기 위한 경사(gradient)가 설정된다. 경사가 설정된 이후에는 BS와 센서노드 간에 다중 경로가 생성되며, 이를 통하여 센서 노드가 감지한 데이터가 BS로 전송된다. 그리고 BS에 의해 다중 경로 중 하나 혹은 몇 개의 경로가 강화되어, 강화된 경로를 통하여 데이터가 전송되며, 이는 불필요한 플러딩을 방지하여 센서 네트워크의 에너지 소모를 줄여준다.

Directed Diffusion은 필요에 따라 구현 시 디자인을 수정할 수 있으며, 질의 반응형(query-driven) 센서 네트워크에 적합하나, 이벤트 반응형(event-driven) 센서 네트워크에도 적용 가능하다[11,12].

## 3. 퍼지 기반 적응형 라우팅 알고리즘

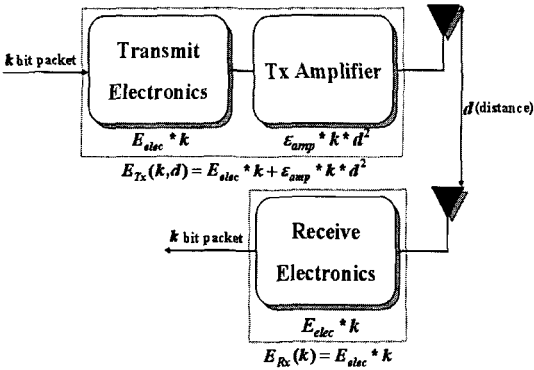
본 절에서는 FAR 알고리즘에 대해서 논의한다. 3.1절에서 본 알고리즘에 대한 가정에 대해 기술하고, 3.2절에서 FAR 알고리즘 수행 절차에 대해 논의한다. 마지막으로 3.3절에서는 FAR 알고리즘에서 사용하는 퍼지 기반 프로토콜 선택기(FBPS: Fuzzy Based Protocol Selector)의 구조에 대해서 논의한다.

### 3.1 가정

무선 센서 네트워크는 응용에 따라서, 다양한 구성이 가능하다. FAR 알고리즘을 위한 무

선 센서 네트워크에 대한 가정은 다음과 같다.

- 모든 노드는 LEACH, TEEN과 동일한 <그림 1>의 라디오 모델(Radio model)을 사용한다.



Transmitter Electronics( $E_{Tx-elec}$ ) = Receiver Electronics( $E_{Rx-elec}$ ) =  $E_{elec} = 50$  nJ/bit  
 Transmit Amplifier( $\epsilon_{amp}$ ) =  $100$  pJ/bit/m<sup>2</sup>

<그림 1> 라디오 모델

본 알고리즘에서 BS는 메시지를 센서 노드로 브로드 캐스트 할 때 증폭기(Amplifier)를 사용한다. 이러한 라디오 모델을 사용하면 BS는 센서 노드에 프로토콜 코드를 배포하거나 프로토콜 교체 메시지를 한번에 먼 거리까지 직접 전송할 수 있기 때문에, 이 과정에서 센서 노드들이 라우팅 할 필요가 없어지며, 이는 전체 센서 네트워크의 에너지 소모를 줄이는데 크게 기여할 수 있다. 본 연구에서는 BS 및 센서 노드의 전파 범위를 300m로 가정 하였다.

- BS는 지속적으로 전원 공급을 받을 수 있다.

무선 센서 네트워크에서 BS는 센서 노드로부터 정보를 수집하고, 이를 인터넷을 통해서 작업 관리 노드(task manager node)로 전달하는 역할을 수행한다[1,3]. 또한 BS는 퍼지 연산을 수행하며, 프로토콜 코드 및 교체 메시지를

를 센서 노드로 브로드 캐스트 하는 역할을 수행하므로, 이를 위해서는 지속적인 전원 공급이 필요하다.

- 모든 노드는 대략적인 자신의 위치를 알고 있다.

이를 위해서 저 전력 GPS(Global Positioning System)[13]를 사용하거나, 비용을 줄이기 위해 매우 적은 수의 일부 노드에만 GPS를 장착하여 노드들의 대략적인 위치를 파악할 수 있는 삼각법(Triangulation)[14]을 사용할 수도 있다.

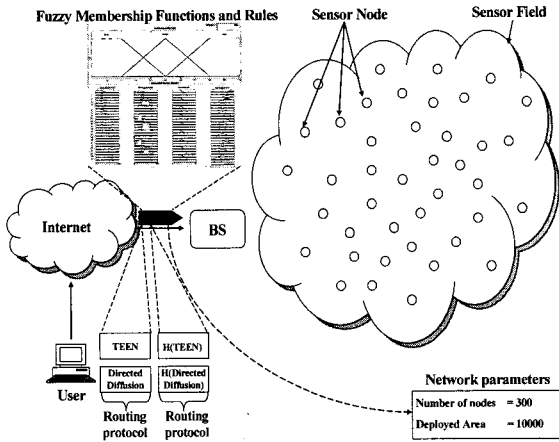
- 모든 노드는 임의의 라우팅 프로토콜을 동적으로 탑재할 수 있어야 한다.

본 알고리즘을 위해서는 모든 센서노드가 임의의 라우팅 프로토콜을 동적으로 탑재할 수 있어야 한다. 이를 실현할 수 있는 방법 중 하나가, 능동 네트워크 기술(Active networking technologies)을 활용하는 것이다[15]. 능동 네트워크에서 노드는 기존 네트워크의 기능인 라우팅 뿐만 아니라 계산 기능을 가지고 있다. 센서 노드 역시 이러한 특성을 가지고 있기 때문에, 능동 네트워크를 참조한다면, 라우팅 프로토콜을 동적으로 탑재 할 수 있는 센서 노드를 구현할 수 있을 것이다.

### 3.2 알고리즘 수행 절차

FAR 알고리즘은 기본적으로 초기화(Initialization), 프로토콜 선택(Protocol selection), 직접 코드 배포(Direct code distribution), 직접 프로토콜 교체(Direct protocol switching)의 4단계로 구성되며, 예외 상황에 대해서는 요구 응답 코드 배포(Request-response code distribution), 지역 프로토콜 교체(Local protocol switching)단계가 추가된다.

• 초기화 단계



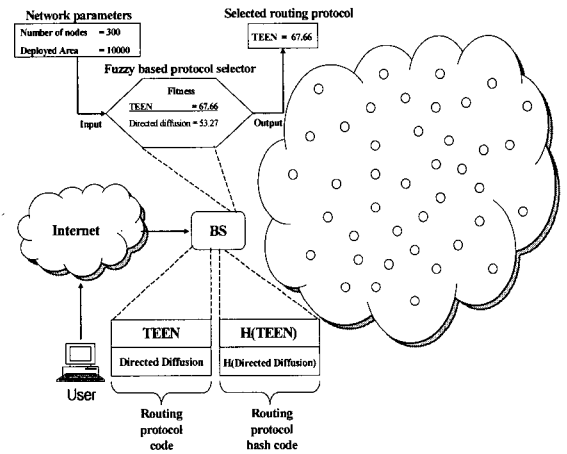
<그림 2> 초기화 단계

사용자가 관리하는 작업 관리 노드는, 인터넷을 통해서 현재 수행하려는 임무에 적합한 여러 개의 라우팅 프로토콜 코드와 이에 대한 해시 코드(Hash code), 네트워크 환경에 대한 매개변수(Parameter), 퍼지 소속 함수(Fuzzy membership function), 퍼지 규칙(Fuzzy rules)등을 BS로 전송한다. 그리고 BS는 작업 관리 노드로부터 받은 데이터를 가지고 초기화 작업을 수행한다. 각 라우팅 프로토콜에 대한 해시 코드는 MD5, RIPEMD-160 등과 같은 해시 알고리즘을 사용하여 생성할 수 있다. 본 연구에서는 각 라우팅 프로토콜에 대한 해시 코드가 유일하게 식별 가능하다는 특성을 이용하여, 이러한 해시 코드를 프로토콜 교체 메시지로 사용한다. 만약 BS 초기화 이후에, 임무 수행 중 노드의 추가 배치나 배치 범위의 확대 등과 같은 네트워크의 환경 변화가 있다면, 이 단계에서 작업 관리 노드는 BS로 새로운 네트워크 환경에 대한 매개변수를 전송한다. <그림 2>는 초기화 단계의 한 예로서, 사용자가 TEEN, Directed Diffusion과 같은 라우팅 프로토콜의 코드와 이에 대한 해시 코드, 퍼지 규칙, 퍼지 소속 함수 및 네트워크 환경 매개변수를 BS로 전송하는 것을 보여준

다. 여기서 네트워크 환경에 대한 매개변수는 다음과 같다.

- Number of nodes = 300 ; 센서 필드에 배치된 센서노드의 수
- Deployed Area = 10000m<sup>2</sup> ; 센서 네트워크가 배치된 정사각 영역의 넓이

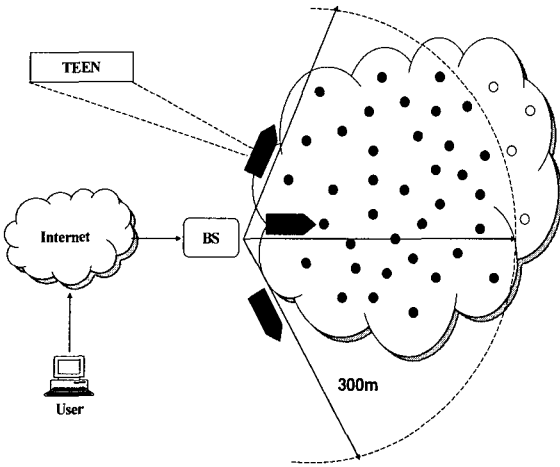
• 프로토콜 선택 단계



<그림 3> 프로토콜 선택 단계

BS가 작업 관리 노드로부터 네트워크 환경 매개 변수를 수신하게 되면, BS 내부에 있는 FBPS는 현재의 네트워크 상황을 나타내는 매개변수를 입력 받아 각 프로토콜에 대한 적합도를 계산한다. 그리고 각 프로토콜의 적합도가 결정되면 이 중에서 가장 적합도가 큰 프로토콜을 선택한다. 만약 적합도가 최대인 프로토콜이 두 가지 이상 인 경우에는 모두 선택한다. <그림 3>은 FBPS가 네트워크 매개 변수(Number of nodes = 300, Deployed Area = 10000m<sup>2</sup>)를 입력 받아서 현재의 상황에서 사용하기에 가장 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜로 TEEN을 선택하는 예를 보여준다. 주어진 상황에서 가장 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜을 결정하는 FBPS에 관한 자세한 사항은 3.3절에서 다룬다.

• 직접 코드 배포 단계



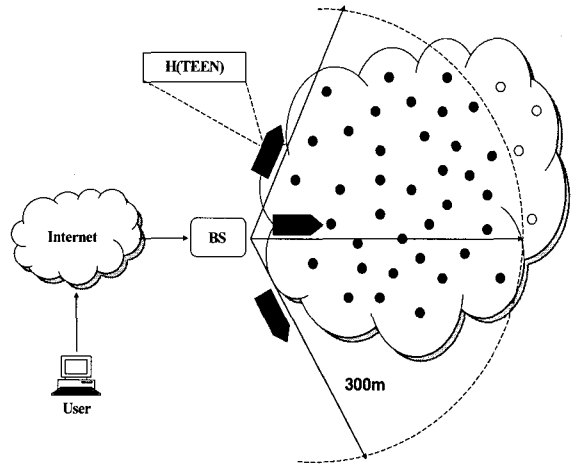
<그림 4> 직접 코드 배포 단계

BS는 FBPS에 의해 선택된 라우팅 프로토콜의 해시 코드가 캐시(cache)의 라우팅 프로토콜 코드 배포 기록에 존재하는지를 확인한다. BS는 이러한 방법으로 선택된 라우팅 프로토콜을 센서 노드로 배포한 적이 있는지 여부를 검토하고, 이미 배포하였다면 직접 프로토콜 교체 단계로 넘어간다. 만약 센서 노드로 배포한 적이 없는 라우팅 프로토콜이라면 BS는 라우팅 프로토콜 코드를 자신의 라디오 범위 내에 있는 모든 센서노드에 브로드 캐스트한 후, 해당 프로토콜의 해시 코드를 라우팅 프로토콜 배포 기록에 저장한다. 한편, BS로부터 라우팅 프로토콜 코드를 수신한 센서 노드는, 해당 라우팅 프로토콜을 추가 탑재하고 이를 사용하여 라우팅을 시작한다. <그림 4>는 BS가 프로토콜 선택 단계에서 선정된 TEEN 코드를 센서 노드로 브로드 캐스트하는 예이다.

• 직접 프로토콜 교체 단계

BS는 FBPS에 의해 선택된 라우팅 프로토콜의 해시 코드가 캐시에 저장되어 있는 해시

코드와 일치 하는지를 비교한다. 만약 일치 한다면 선택된 라우팅 프로토콜은 현재 사용 중인 프로토콜과 일치 하므로, BS는 프로토콜 교체를 수행하지 않는다.

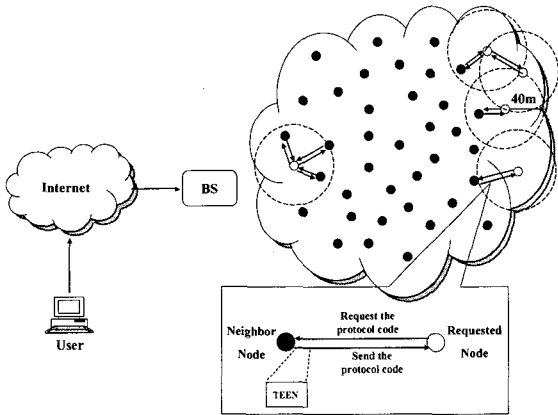


<그림 5> 직접 프로토콜 교체 단계

그 외의 경우라면 BS는 선택된 프로토콜에 대한 교체 메시지로, 해당 프로토콜에 대한 해시 코드를 브로드 캐스트하고 이를 캐시에 저장한다. BS로부터 해시 코드를 받은 센서노드는 현재 사용하고 있는 라우팅 프로토콜을 해시 코드와 일치하는 프로토콜로 교체하고, 이를 이용하여 라우팅을 수행한다. <그림 5>는 BS가 프로토콜 선택 단계에서 선정된 TEEN의 해시 코드를 센서노드로 브로드 캐스트하는 예를 보여준다. 이 단계는 라우팅 프로토콜 교체 메시지로 프로토콜 코드 대신 크기가 작은 해시 코드를 사용함으로써, 프로토콜 교체 시 소모되는 에너지를 크게 줄여준다.

한편, <그림 5>와 같이 센서 노드가 임무의 변경에 따라 추가 배치되거나 혹은 BS의 라디오 범위(300m) 밖에 배치된 경우에는 라우팅 프로토콜 코드나 교체 메시지를 받을 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 다음의 단계가 추가로 필요하다.

• 요구 응답 프로토콜 배포 단계



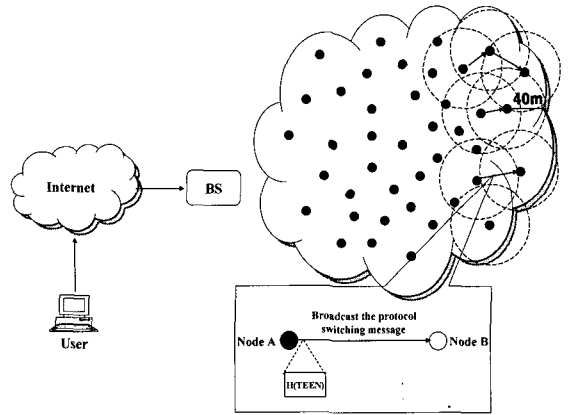
<그림 6> 요구응답 프로토콜 배포 단계

이벤트를 감지하거나 이웃 노드로부터 데이터를 수신한 센서 노드는, 우선 캐시 내에 라우팅 프로토콜이 있는지 검토 한다. 만약 라우팅 프로토콜이 노드 내에 없는 경우에는 프로토콜 코드 요청 메시지를 이웃 노드로 브로드캐스트 한다. 그리고 요청 메시지를 받은 이웃 노드들은 현재 사용 중인 라우팅 프로토콜을 요청한 노드로 전송한다. <그림 6>은 BS로부터 라우팅 프로토콜 코드를 받지 못한 노드가 요구응답 방식으로 TEEN 프로토콜 코드를 수신하는 것을 보여준다.

• 지역 프로토콜 교체 단계

BS로부터 라우팅 프로토콜 교체 메시지를 수신한 센서 노드 중 BS의 라디오 범위 근처 (300±5m 이내)에 배치되어 있는 노드들은, 이 메시지를 브로드 캐스트 한다. 이렇게 함으로써 BS의 라디오 범위 밖에 존재하는 센서 노드들도 프로토콜 교체 메시지를 수신할 수 있다.

<그림 7>은 BS로부터 라우팅 프로토콜의 해시 코드를 받은 센서 노드 중 라디오 범위 근처에 있는 노드들이 TEEN 프로토콜의 해시 코드를 주변으로 브로드 캐스트 하는 것을 보여준다.

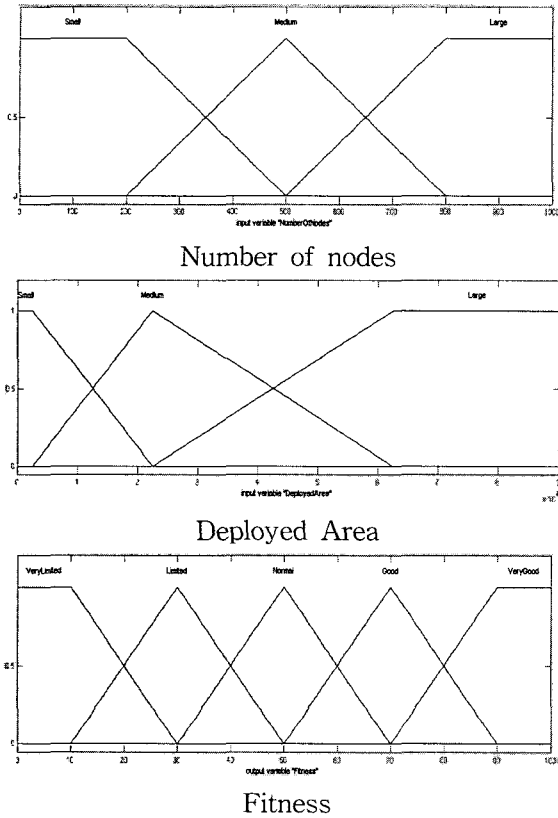


<그림 7> 지역 프로토콜 교체 단계

FAR 알고리즘은 위에서 언급한 6단계의 절차를 통해 작동하며, 임무 수행 중 센서노드의 추가 배치로 인한 노드 수 증가 및 배치 범위 확대와 같은 네트워크 변화가 생길 때 마다 1-6단계를 반복한다.

3.3 퍼지 기반 프로토콜 선택기(FBPS)

FBPS는 퍼지 추론 시스템을 기반으로 하는 의사 결정 시스템으로, 현재의 네트워크 상황에서 가장 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜을 선택하는 역할을 수행한다. 이러한 FBPS는 입력 변수로 "Number of nodes"와 "Deployed Area"를, 출력 변수로 "Fitness"를 가지고 있다. 입력 변수는 네트워크 환경의 요소를 표현하는 퍼지 집합으로, 이 중에서 "Number of nodes"는 임무수행을 위해 배치되는 센서노드의 수를 의미하며, "Deployed Area"는 센서노드가 배치된 정 사각 영역의 면적이다. 출력 변수인 "Fitness"는 라우팅 프로토콜이 현재의 상황에 얼마나 적합한지를 나타낸다. 해당 입·출력 변수의 구성 및 범위는 <그림 8>과 같이 설정하였다.



<그림 8> FBPS의 퍼지 입·출력 변수

본 연구에서는 교체용 후보 프로토콜로 Directed Diffusion과 TEEN을 선택하였다. TEEN은 싱글 홉 라우팅 프로토콜이기 때문에, 일정 지역안의 센서노드 수가 증가 하더라도 전체 네트워크의 에너지 소비량은 크게 증가하지 않는다. 반면에 Directed Diffusion은 interest 메시지를 플러딩(flooding)하는 과정이 있기 때문에, 일정 지역안의 노드 수가 증가할수록 전체 네트워크의 에너지 소비량이 점점 증가하게 된다. 한편 TEEN은 클러스터 헤드가 무작위로 결정되기 때문에, 센서 노드가 매우 광범위한 지역에 배치된 경우, BS가 클러스터 헤드의 라디오 범위 보다 먼 곳에 존재할 수도 있다. 따라서 이러한 곳에 위치한 클러스터 헤드로부터 전송되는 모든 데이터는 BS가 받을

수 없는데, 이는 곧 에너지 낭비를 의미한다. 따라서 LEACH를 기반으로 하고 있는 TEEN은 넓은 지역에 배치된 경우 에너지 효율성이 떨어진다. 반면에 Directed Diffusion은 멀티 홉 라우팅 방식이기 때문에 넓은 지역에 배치되더라도 위와 같은 문제없이 BS로 데이터를 전송할 수 있다.

<표 1> TEEN에 대한 퍼지 규칙

Number of node / Area	Small	Medium	Large
Small	Very Good	Good	Good
Medium	Normal	Good	Good
Large	Very Limited	Limited	Limited

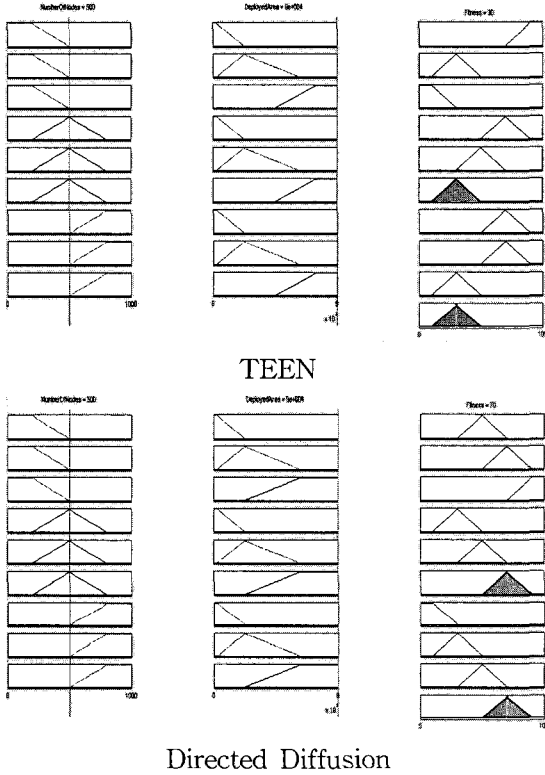
<표 2> Directed Diffusion에 대한 퍼지 규칙

Number of node / Area	Small	Medium	Large
Small	Good	Limited	Very Limited
Medium	Good	Good	Good
Large	Very Good	Good	Good

<표 1>과 <표 2>는 이러한 사실을 고려하여 작성 한 퍼지 규칙이며, '센서노드의 수'와 '센서노드 배치 영역의 면적'의 변화에 대한 라우팅 프로토콜의 적합도를 보여준다.

<그림 9>는 지금까지 논의한 내용을 바탕으로 구성한 퍼지 추론 시스템이다. 본 추론 시스템은 각 라우팅 프로토콜에 대한 9개의 if-then 규칙을 가지고 있으며, 추론 과정에서 맘다니(Mamdani)[16] 모델의 min-max 합성(Composition)방법을 사용하고, 실수값 출력을 위한 역퍼지화(Defuzzification)방법에는 무게 중심법(Center of Area)을 사용한다.





Directed Diffusion

<그림 9> FBPS의 퍼지 추론 시스템

## 4. 시뮬레이션

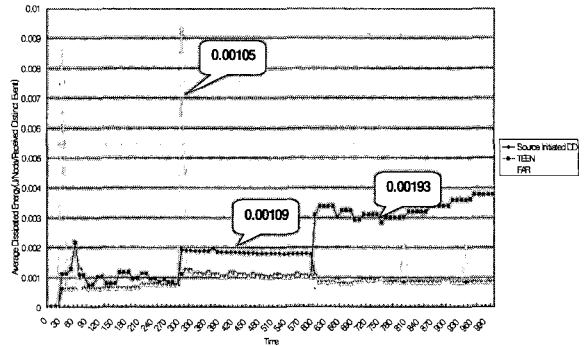
### 4.1 시뮬레이션 환경 설정

제안한 알고리즘의 성능 평가를 위하여, 본 연구진은 자체 개발한 DEVS 기반의 시뮬레이터인 DEVS Object C를 이용하여 시뮬레이션 환경을 다음과 같이 구성 하였다. 센서 노드의 초기 에너지는 1J, 라디오 범위는 Directed Diffusion의 경우 40m, TEEN의 경우에는 0-300m까지 가변 전송 하도록 설정 하였다. BS는 (0, 0)에 위치하며, 센서 노드는 정 사각의 배치 영역 내에 무작위로 고르게 분포 시켰으며, 이벤트는 센서 노드를 배치한 영역 내에서 20초 마다 무작위로 발생하도록 하였다. 시뮬레이션은 1000초 동안 수행하였으며 초기

에는 100개의 노드를 10000m<sup>2</sup> (100m x 100m) 영역에 배치하였고, 이후 300초에는 센서 노드 200개를 추가로 배치하였으며, 600초에는 센서 노드의 배치 영역을 90000m<sup>2</sup>(300m x 300m)으로 확장하고, 노드 200개를 추가로 배치하였다.

### 4.2 시뮬레이션 결과 및 분석

본 연구에서는 단일 라우팅 프로토콜만 사용하였을 때와 FAR 알고리즘을 사용한 경우의 에너지 효율성을 평가하기 위하여 평균 에너지 소모량을 성능 지표로 설정 하였다. 평균 에너지 소모량은 센서 네트워크를 구성하고 있는 각각의 센서 노드가 소모한 에너지를 BS가 수신한 중복되지 않은 이벤트 수로 나눈 값이다. 즉, 평균 에너지 소모량은 하나의 이벤트를 BS로 전달하기 위해 각 노드가 소모하는 에너지의 평균값을 의미한다. 따라서 이 값이 작을수록 보다 작은 에너지로 이벤트를 BS에 전달 할 수 있음을 의미한다.



<그림 10> 평균 에너지 소모량 비교

<그림 10>은 임무 수행 도중, 노드 수와 노드의 배치 범위 변화에 따른 TEEN, Directed Diffusion, FAR 알고리즘의 평균 에너지 소모량을 나타낸 것이다. FAR 알고리즘의 경우 임무가 시작되는 시점에는 Directed Diffusion 프로토콜 코드가, 300초에는 TEEN의 코드가 배포되며, 600초에는 사용 중인 라우팅 프로토

콜이 다시 Directed Diffusion으로 교체된다. <그림 10>은 FAR 알고리즘이 프로토콜 배포를 수행할 경우 상당히 많은 에너지를 소모함을 보여준다. 반면에 프로토콜 교체 시에는 배포 시 보다 에너지 소모가 상대적으로 매우 작다는 것을 알 수 있다. 그 이유는 FAR 알고리즘에서 프로토콜 교체 시 사용하는 메시지는 MD-5 해시 코드이며, 이 코드의 경우 크기가 128bit로 매우 작기 때문이다. 그리고 <그림 10>에서 시뮬레이션이 종료된 후의 평균 에너지 소모량은 FAR 알고리즘이 가장 작는데, 이는 FAR 알고리즘에서 프로토콜 코드 배포 시에는 에너지 소모가 크지만, 프로토콜 코드의 배포는 자주 수행되지 않기 때문에 이로 인한 에너지 소모는 결과적으로 큰 영향을 미치지 않기 때문이다. 또한 센서 노드로 프로토콜 코드의 배포가 완료된 이후에는 프로토콜의 교체가 필요하다고 판단되는 경우 128bit MD-5 해시 코드를 이용하여 센서 노드의 프로토콜을 교체하도록 하였기 때문에 에너지 소모를 많이 줄일 수 있으며, 따라서 FAR 알고리즘을 사용한 경우가 단일 라우팅 프로토콜만을 사용했을 때 보다 에너지 소모가 작다는 것을 알 수 있다.

## 5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 동적인 네트워크 환경 하에서 센서 노드의 에너지 효율성을 보장하기 위한 방안으로 FAR 알고리즘을 제안 하였으며, 시뮬레이션 수행 결과 제안한 알고리즘을 사용한 경우가, 단일 라우팅 프로토콜만을 사용하였을 때 보다 에너지 효율적임을 보여준다. 그리고 제안한 알고리즘은 센서노드가 배치되는 환경에 따라, 그에 적합한 다른 라우팅 프로토콜들을 선택하여 사용할 수 있도록 라우팅 프로토콜을 센서 노드에 동적으로 배치하는 기법 역시 포함하고 있다. 또한 본 연구에서는 퍼지 입력 변수로 “노드의 수”와 “센서 노드 배치 영역의 면적”만을 고려하였지만, 에

너지 효율성을 보다 높이기 위하여 상황에 따라 노드 고장률(Node failure rate), 패킷의 크기(Packet size)등과 같은 요소 등을 입력 변수로 추가할 수도 있다.

FAR 알고리즘은 네트워크 환경이 변할 때 마다, FBPS가 현재 상황에서 에너지 효율적인 프로토콜 선택 및 프로토콜 코드/교체 메시지의 전송 여부를 제어하여, 전송으로 인한 오버헤드를 줄여준다. 하지만 본 알고리즘은 프로토콜 교체가 자주 일어날 수밖에 없는 환경에서는 교체 메시지 전송으로 인한 에너지 효율성이 저하될 수도 있는데, 이 때는 해당 상황에서의 에너지 효율성을 고려한 후 사용 여부를 결정해야 한다. 또한 FAR 알고리즘에서는 센서 노드가 여러 프로토콜을 적재해야 한다. 센서 노드는 사용 목적에 따라 다양한 성능을 가질 수 있는데, 제안한 알고리즘을 위해서는 일반적인 센서 노드보다 성능이 좋은 것이 요구된다. 따라서 FAR 알고리즘을 실제로 적용하기 위해서는 해당 응용에 사용될 후보 라우팅 프로토콜의 수와 이를 수용할 수 있을 정도의 메모리를 가진 센서 노드의 가격을 고려하여 사용여부의 적절성을 판단해야 할 것이다.

마지막으로 FAR 알고리즘의 에너지 효율성은 응용 분야 및 주어진 네트워크 환경에 적절한 라우팅 프로토콜의 후보를 선택하는 것에 달려 있다. 따라서 FAR 알고리즘의 가치를 높이기 위해서는, 반드시 기존에 연구된 라우팅 프로토콜들의 특성 및 장·단점의 분석에 관한 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- [1] Akyildiz, I.F., Weilian Su, Sankara-subramaniam, Y., Cayirci, E., "A survey on sensor networks," IEEE Communications Magazine, Vol. 40, pp.102-114, Aug. 2002.
- [2] Qiangfeng Jiang, Manivannan, D.,

- "Routing protocols for sensor networks," Consumer Communications and Networking Conference, 2004, First IEEE , pp.93-98, Jan. 2004.
- [3] Al-Karaki, J.N., Kamal, A.E., "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey," *Wireless Communications, IEEE*, Vol. 11, Issue: 6, pp.6-28, Dec. 2004.
- [4] K. Akkaya, M. Younis., "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," *Ad Hoc Networks*, Elsevier Science, To appear.
- [5] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks," in the Proceeding of the Hawaii International Conference System Sciences, Hawaii, Jan. 2000.
- [6] Tennenhouse, D.L., Smith, J.M., Sincoskie, W.D., Wetherall, D.J., Minden, G.J., "A survey of active network research," *Communications Magazine, IEEE*, Vol. 35 , Issue: 1, pp.80-86, Jan. 1997.
- [7] James P.G. Sterbenz, Bernhard Plattner, "Introduction to Active Networks Tutorial," May, 2003.
- [8] K. Psounis, "Active networks: Applications, security, safety, and architectures," *IEEE Commun. Surveys*, vol. 2, no. 1, 1999.
- [9] A. Manjeshwar, D. Agrawal, "TEEN: a Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," in International Proc. of the 15th Parallel and Distributed Processing Symposium, pp.2009-2015, 2001.
- [10] 배정숙, 김정희, "무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜", ITFind mailzine, 132호. 2004.
- [11] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol.11, pp.2-16, Feb. 2003.
- [12] TILAK, S., ABU-GHAZALEH, N., AND HEINZELMAN, W., "A taxonomy of wireless micro-sensor network communication models," *ACM Mobile Computing and Communication Review* , Apr. 2002.
- [13] V. Rodoplu and T. H. Meng, "Minimum Energy Mobile Wireless Networks," *IEEE Journal Selected Areas in Communications*, vol. 17, no. 8, pp. 1333-1344, Aug. 1999.
- [14] N. Bulusu, J. Heidemann, D. Estin, "GPS-less low cost outdoor localization for very small devices," *Personal Communications, IEEE* [see also *IEEE Wireless Communications*], Vol. 7, Issue 5, pp. 28 - 34, Oct. 2000.
- [15] Bernhard Plattner, James P.G. Sterbenz, "Mobile Wireless Active Networking: Issues and Research Agenda," *IEICE Workshop on Active Network Technology and Applications (ANTA) 2002*, Tokyo, pp.71-74, Mar. 2002.
- [16] E.H. Mamdami and S. Asilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *Int. J. Man-Mach. Studies* vol. 7, pp.1-13, 1975.

주 작 성 자 : 홍 순 오

논문투고일 : 2005. 12. 05

논문심사일 : 2005. 12. 08(1차), 2005. 12. 10(2차),  
2005. 12. 14(3차)

심사판정일 : 2005. 12. 14

## ● 저자소개 ●



홍순오

2004 성균관대학교 정보통신공학부 학사

2004 ~ 현재 성균관대학교 정보통신공학부 컴퓨터공학과 석사과정

관심분야: USN, 모델링 및 시뮬레이션, 네트워크 보안



조대호

1983 성균관대학교 전자공학과 학사

1987 Univ. of Alabama 전자공학과 석사

1993 Univ. of Arizona 전자 및 컴퓨터공학과 박사

1993 ~ 1995 경남대학교 전자계산학과 전임강사

1995 ~ 1999 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 조교수

1999 ~ 2002 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 부교수

2002 ~ 2004 성균관대학교 정보통신공학부 부교수

2004 ~ 현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수

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