

# 무선 센서 네트워크에서 퍼지 기반의 적응형 라우팅 알고리즘에 관한 연구

홍순오\*, 조대호\*

\*성균관대학교 컴퓨터공학과  
e-mail:akk1234@ece.skku.ac.kr

## A Study on Fuzzy based Adaptive Routing Algorithm in Wireless Sensor Networks

Soon-Oh Hong\*, Tae-Ho Cho\*

\*Dept of Computer Engineering, Sungkyunkwan University

### 요 약

현재 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율성을 고려한 많은 라우팅 프로토콜이 연구되고 있다. 하지만 기존에 제안된 무선 센서 네트워크 라우팅 프로토콜은 특정 상황 및 응용에 특화되어 있기 때문에, 동적으로 변화하는 네트워크 상에서는 데이터 전달의 정확성 및 에너지 효율성이 떨어지는 문제점이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 퍼지 추론 시스템을 이용한 라우팅 프로토콜 선택 기법과 라우팅 프로토콜의 동적 배치 기법을 기반으로 한 퍼지 적응형 라우팅(FAR) 알고리즘을 제안한다.

### 1. 서론

무선 센서 네트워크는 센싱, 계산, 무선 통신 능력을 가지고 있는 소형 센서 노드(Sensor Node)들과 싱크 노드(Sink Node)로 구성된다. 센서 노드들은 일반적으로 센서 노드들이 배치되는 영역인 센서 필드 내에 흩뿌려지며, 각 센서 노드는 센싱한 데이터를 외부에 있는 싱크 노드까지 전달한다. 그리고 싱크 노드는 센서 네트워크를 인터넷과 같은 기존 통신 인프라와 연결하여, 사용자가 수집한 데이터에 접근할 수 있도록 해준다[1].

대부분의 응용에서 센서 노드에 공급되는 에너지는 제한적이다. 따라서 센서 노드의 수명을 연장하기 위해서는 에너지 소모를 최소화 하는 라우팅 알고리즘의 설계가 매우 중요하다. 문제점은 지금까지 에너지 효율을 고려한 많은 라우팅 알고리즘이 제안되었지만, 기존의 알고리즘은 특정 상황 및 응용에

특화되어 있기 때문에 하나의 고정된 라우팅 알고리즘만으로는 동적으로 변화하는 네트워크 상황에서 에너지 효율성 및 데이터 전달의 정확성을 보장할 수 없다는 것이다[2,3].

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 퍼지 기반의 적응형 라우팅(FAR: Fuzzy Adaptive Routing) 알고리즘을 제안한다. FAR 알고리즘은 기존에 연구된 라우팅 프로토콜 중에서, 퍼지 추론 시스템을 사용하여 주어진 네트워크의 상황 하에서 가장 적합한 라우팅 프로토콜을 결정한 후 센서 노드들이 선택된 라우팅 프로토콜을 사용하여 데이터를 전송하도록 하여 네트워크의 상황 변화 하에서도 에너지 효율성과 데이터 전달 정확성을 보장하는 것을 목표로 한다.

### 2. 퍼지 기반의 적응형 라우팅 알고리즘

#### 2.1 가정

FAR 알고리즘을 위한 무선 센서 네트워크에 대

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성·지원사업의 연구결과로 수행되었음.

한 가정은 다음과 같다.

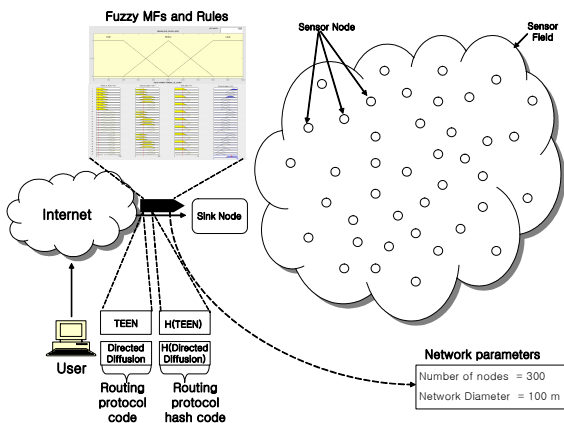
- 모든 노드는 LEACH[4]와 동일한 전파 모델(Radio model)을 사용한다.
- 싱크 노드는 지속적으로 전원 공급을 받는다.
- 모든 노드는 자신의 위치를 알고 있다.
- 센서 노드는 임의의 라우팅 프로토콜을 동적으로 탑재할 수 있다.

LEACH의 전파 모델을 사용하면 싱크 노드는 센서노드 제어를 위한 메시지를 한번에 먼 거리까지 직접 전송할 수 있기 때문에, 이 과정에서 센서 노드들이 라우팅 할 필요가 없어지며, 이는 센서 네트워크 전체의 에너지 소모를 줄이는데 크게 기여할 수 있다. 한편, 본 알고리즘을 위해서는 센서 노드가 임의의 라우팅 프로토콜을 동적으로 적재할 수 있어야 한다. 이를 실현할 수 있는 방법 중 하나가, 능동 네트워크 기술(Active networking technologies)을 활용하는 것이다[5].

2.2 알고리즘 수행 절차

FAR 알고리즘은 기본적으로 초기화(Initialization), 프로토콜 선택(Protocol selection), 직접 코드 배포(Direct code distribution), 직접 프로토콜 교체(Direct protocol switching), 데이터 전송(Data transmission)의 5단계로 구성되며, 예외 상황에 대해서는 요구응답 코드 배포(On-demand code distribution), 요구응답 프로토콜 교체(On-demand protocol switching)단계가 추가된다.

• 초기화 단계

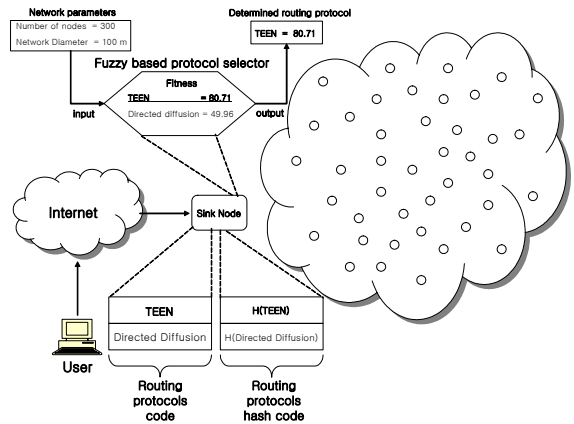


(그림 1) 초기화 단계

사용자는, (그림 1)과 같이 인터넷을 통해서 현재 수행하려는 임무에 적합한 여러 개의 라우팅 프로토콜 코드와 이에 대한 해시코드(Hash code), 초기 네트워크 환경에 대한 매개변수(Parameter), 퍼지 소

속 함수(Fuzzy membership function), 퍼지 규칙(Fuzzy rules)등을 싱크 노드로 전송한다.

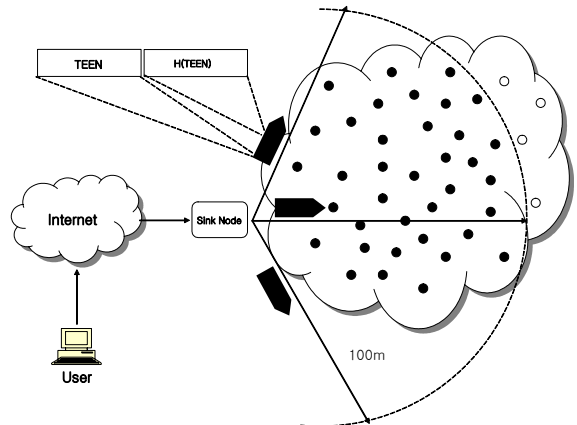
• 프로토콜 선택 단계



(그림 2) 프로토콜 선택 단계

싱크 노드 내부에 있는 퍼지 기반 프로토콜 선택기(FBPS: Fuzzy Based Protocol Selector)는 (그림 2)와 같이 현재의 네트워크 상황을 나타내는 매개변수를 입력 받아 각 프로토콜에 대한 적합도(Fitness)를 계산한다. 그리고 각 프로토콜의 적합도가 결정되면 이 중에서 가장 큰 적합도를 가지는 프로토콜을 선택한다. 현재의 상황에서 가장 사용하기 적합한 라우팅 프로토콜을 결정하는 FBPS에 관한 자세한 사항은 2.3절에서 설명한다.

• 직접 코드 배포 단계



(그림 3) 직접 코드 배포 단계

싱크 노드는 프로토콜 선택 단계에서 선정된 라우팅 프로토콜의 해시코드를 이용하여, 해당 라우팅 프로토콜을 센서 노드로 배포한 적이 있는지 여부를 검토하고, 이미 배포하였다면 직접 프로토콜 교체 단계로 넘어간다. 만약 센서 노드로 배포한 적이 없는 라우팅 프로토콜이라면 싱크 노드는 (그림 3)과 같이 라우팅 프로토콜 코드와 이에 대한 해시 코드

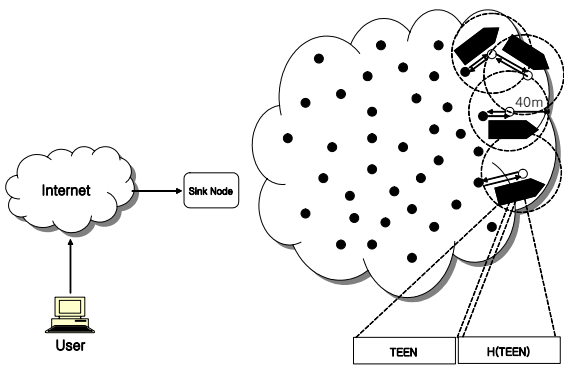
를 결합한 패킷을 브로드 캐스팅 한다. 한편, 싱크 노드로부터 라우팅 프로토콜 코드를 받은 센서 노드는, 수신한 프로토콜 코드를 추가 탑재하고 이를 사용하여 라우팅을 시작한다.

• 직접 프로토콜 교체 단계

싱크 노드는 선택된 프로토콜이 현재 사용 중인 경우 이 단계를 종료한다. 그 외의 경우라면 싱크 노드는 해당 프로토콜에 대한 해시코드를 브로드 캐스팅 한다. 싱크 노드로부터 해시코드를 받은 센서 노드는 현재 사용하고 있는 라우팅 프로토콜을 해시코드와 일치하는 프로토콜로 교체한다. 이 단계는 불필요한 라우팅 프로토콜 코드의 재 전송 대신, 크기가 작은 해시코드를 전송하여 프로토콜을 교체하도록 함으로써 에너지 소모를 줄여준다.

한편, 센서 노드가 싱크 노드의 전파 도달 범위 밖에 배치된 경우에는 직접 코드 배포 단계에서 라우팅 프로토콜 코드를 받을 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 다음의 단계가 추가로 필요하다.

• 요구응답 프로토콜 배포 단계



(그림 4) 요구응답 프로토콜 배포 단계

이벤트를 센싱한 센서 노드가 라우팅 프로토콜을 가지고 있지 않은 경우, (그림 4)와 같이 프로토콜 코드를 요청하는 메시지를 주변 노드로 브로드 캐스팅 한다. 이 메시지를 받은 주변 노드들은 현재 사용 중인 라우팅 프로토콜의 코드와 해시코드를와 같이 요청한 노드로 전송한다.

• 요구응답 프로토콜 교체 단계

센서 노드는 현재 선택되어 있는 라우팅 프로토콜을 사용하여 데이터를 전송 한다. 이 데이터를 수신한 주변 센서 노드는 송신 측의 라우팅 프로토콜이 현재 사용 중인 라우팅 프로토콜이 아니라고 판

단되는 경우 해시코드를 브로드 캐스팅하여, 프로토콜을 교체하도록 한다.

• 데이터 전송 단계

센서 노드는 현재 선택된 라우팅 프로토콜을 사용하여 데이터 전송을 수행한다.

2.3 퍼지 기반 프로토콜 선택기(FBPS)

FBPS는 퍼지 추론 시스템을 기반으로 하는 의사 결정 시스템으로, 현재의 네트워크 상황 하에서 가장 적절한 라우팅 프로토콜을 선택하는 역할을 수행한다. FBPS의 입력 변수는 네트워크 환경의 요소를 표현하는 퍼지 집합으로, 이 중에서 "Number of nodes"는 임무 수행을 위해 배치되는 센서노드의 수를 의미하며, "Network diameter"는 센서 네트워크가 배치된 영역의 직경이다. 출력 변수인 "Fitness"는 라우팅 프로토콜이 현재의 상황에 얼마나 적합한지를 나타낸다. 본 논문에서 입출력 변수의 구성 및 범위는 다음과 같이 설정 하였다.

✓ Number of nodes = {Small, Medium, Large}

Range : 100 - 1000

✓ Network size = {Small, Medium, Large}

Range : 100 - 600m

✓ Fitness = {Very Good, Good, Normal, Limited, Very Limited}

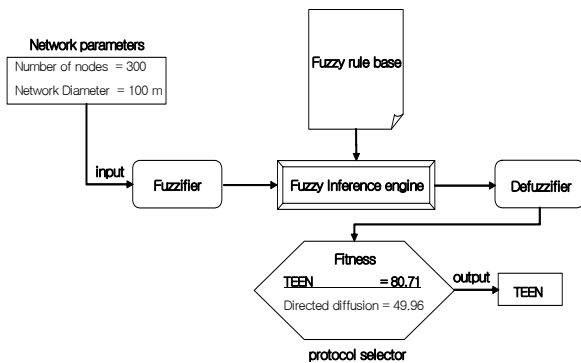
Range : 0 - 100

본 논문에서 교체용 후보 프로토콜로 선택한 TEEN[6]은 센서 노드에서 클러스터 헤드 노드를 거쳐서 기지노드로 한번에 전송되기 때문에 일정 지역안의 센서노드 수가 증가 하더라도 라우팅 횟수는 일정하며, 따라서 전체 네트워크의 에너지 소비량은 크게 증가하지 않는다. 반면에 Directed Diffusion은 interest를 플러딩(flooding)하는 과정이 있기 때문에, 일정 지역안의 노드 수가 증가할수록 전체 네트워크의 에너지 소비량이 점점 증가하게 된다. 즉, TEEN은 Directed Diffusion에 비해서 상대적으로 확장성(Scalability)이 좋은 라우팅 프로토콜이다[1,2]. 한편 TEEN은 클러스터 헤드가 무작위로 결정되기 때문에, 센서 노드가 매우 광범위한 지역에 배치된 경우, 싱크 노드가 클러스터 헤드의 최대 전파 전송 거리보다 먼 곳에 존재할 수도 있다. 따라서 이러한 곳에 위치한 클러스터 헤드로부터 전송되는 모든 데이터는 싱크 노드가 받을 수 없는데, 이는 곧 에너지 낭비를 의미한다. 따라서 LEACH를 기반으로 하고 있는 TEEN은 넓은 지역에 배치된 경우 에너지 효

율성이 떨어진다[3]. 반면에 Directed Diffusion은 멀티 홉 라우팅 방식이기 때문에 넓은 지역에 배치되더라도 위와 같은 문제없이 싱크 노드로 데이터를 전송할 수 있다. <표 1>은 이러한 사실을 고려하여 작성한 Directed Diffusion에 대한 퍼지 규칙의 일부이다.

<표 1> Directed Diffusion에 대한 퍼지규칙

RULE 0: IF (Number_of_nodes is Small) AND (Network_Diameter is Small) THEN (Fitness is Normal); RULE 1: IF (Number_of_nodes is Small) AND (Network_Diameter IS Medium) THEN (Fitness is Limited); RULE 2: IF (Number_of_nodes is Small) AND (Network_Diameter IS Large) THEN (Fitness is Very Limited);
---



(그림 5) 퍼지 기반 프로토콜 선택기(FBPS)

(그림 5)는 지금까지 논의한 내용을 바탕으로 구성한 FBPS의 구조이다. 룰 베이스에는 각 라우팅 프로토콜마다 9개로 구성된 if-then 규칙을 가지고 있다. 추론 과정에서는 맘다니(Mamdani) 모델의 min-max 합성(Composition)방법을 사용하고, 실수 값 출력을 위한 역퍼지화(Defuzzification)방법에는 무게중심법(Center of Area)을 사용한다.

### 3. 결론

본 연구에서는 동적인 센서 네트워크 환경 하에서도 데이터 전달의 정확성 및 에너지 효율성을 보장하기 위한 방안으로 FAR 알고리즘을 제안하였다. FAR 알고리즘은 네트워크의 상황 변화에 따라 적절한 라우팅 프로토콜을 선택하여, 이를 이용해서 데이터를 전달하는 방식으로 효율적인 라우팅을 수행한다. 또한 본 알고리즘을 위한 핵심 요소인 FBPS에서는 네트워크의 상황에 대한 매개변수를 입력 받아서 각 라우팅 프로토콜에 대한 적합도를 계산하여, 적합도가 가장 큰 라우팅 프로토콜을 선택하는 기능을 수행한다. 이 때 수많은 네트워크 상황에 대한 각 라우팅 프로토콜의 적합도는 명확한 수치로 정의할 수 없기 때문에, 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 FBPS에 퍼지 추론 시

스템을 도입하였다.

### 4. 향후 과제

본 연구의 향후 과제는 체계적으로 잘 정립된 이론인 DEVS(Discrete Event system Specification) 형식론[7]을 기반으로 센서 네트워크 환경 및 라우팅 프로토콜 모델링 한 후, 동적인 센서 네트워크 환경 하에서 FAR 알고리즘과 Directed Diffusion, TEEN의 평균 에너지 소모량, 데이터 전달 정확도 등의 성능 분석을 위한 시뮬레이션을 수행 하는 것이다. 그리고 시뮬레이션 결과의 비교 분석을 통하여 동적인 네트워크 환경 하에서 제안한 라우팅 알고리즘의 효율성을 증명하고, 실제로 적용 가능한 분야를 제시 하고자 한다.

### 참고문헌

- [1] 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.
- [2] Qiangfeng Jiang, Manivannan, D., "Routing protocols for sensor networks," *Consumer Communications and Networking Conference, 2004, First IEEE*, pp.93-98, Jan. 2004.
- [3] K. Akkaya, M. Younis., "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," *Ad Hoc Networks, Elsevier Science*, To appear.
- [4] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy efficient Communication Protocol for Wireless Micro Sensor Networks," in *Proc. of the 33rd Annual Hawaii International Conf. on System Sciences*, pp.3005-3014, 2000.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] B. P. Zeigler, "Object-Oriented Simulation with Hierarchical, Modular Models," *USA:Academic Press, San Diego CA*, 1990.