

무선 센서 네트워크에서 퍼지 기반의 적응형 라우팅 알고리즘 및 시뮬레이션*

홍순오**, 조대호**

Fuzzy based Adaptive Routing algorithm and simulation in Wireless Sensor Networks

Soon Oh Hong, Tae Ho Cho

Abstract

무선 센서 네트워크에서 센서 노드는 배터리와 같은 제한적인 전원을 가지고 있기 때문에, 센서 노드의 수명을 연장하기 위하여 에너지 효율성을 고려한 다양한 라우팅 프로토콜이 연구되고 있다. 하지만 기존에 제안된 라우팅 프로토콜들은 특정 상황 및 응용에 특화되어 있기 때문에, 하드웨어에 내장시킨 단일 라우팅 프로토콜만으로는 동적으로 변화하는 네트워크 상에서 에너지 효율성을 보장할 수 없다는 문제점이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 퍼지 추론 시스템을 기반으로, 다양한 후보 라우팅 프로토콜 중 현재 네트워크 상황에 적합한 라우팅 프로토콜을 선택하여, 이를 동적으로 센서 노드에 적재 혹은 교체하도록 하는 퍼지 기반의 적응형 라우팅 알고리즘을 제안한다. 또한 시뮬레이션을 수행하여 동적인 네트워크 상황 하에서 제안된 라우팅 알고리즘을 사용한 경우가 기존의 단일 라우팅 프로토콜만을 사용한 경우보다 에너지 효율적임을 검증한다.

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

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

** 성균관대학교 정보통신공학부

1. 서론

무선 센서 네트워크는 감지, 계산, 통신 능력을 가지고 있는 센서 노드(Sensor Node)들과 싱크 노드(Sink Node)로 구성된다. 센서 노드는 감지한 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 제안 되었지만, 기존의 알고리즘은 특정 상황 및 응용에 특화되어 있기 때문에, 하드웨어에 미리 내장시켜 놓은 단일 라우팅 알고리즘만으로는 동적인 네트워크 상황 하에서 에너지 효율성을 보장할 수 없다는 것이다[2].

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 효율성을 보장하는 것을 목표로 한다.

2. 퍼지 기반의 적응형 라우팅 알고리즘

2.1 가정

- 모든 노드는 LEACH[3]와 동일한 전파 모델(Radio model)을 사용한다.
- 싱크 노드는 지속적인 전원 공급을 받을 수

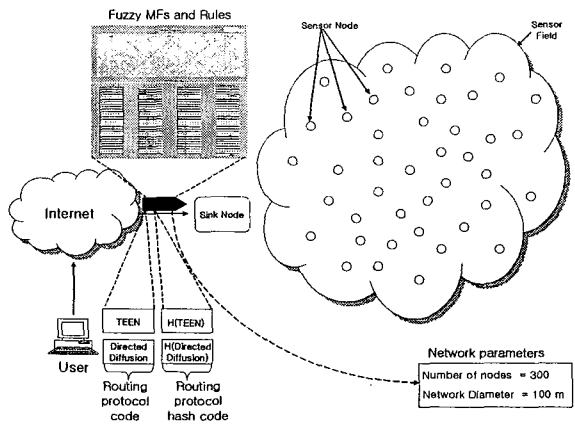
있으며, 센서 노드보다 전파를 송신 범위가 넓다.

- 모든 노드는 자신의 위치를 알고 있다.
- 센서 노드는 임의의 라우팅 프로토콜을 동적으로 탑재할 수 있다.

2.2 알고리즘 수행 절차

FAR 알고리즘은 다음과 같이 4단계로 구성된다.

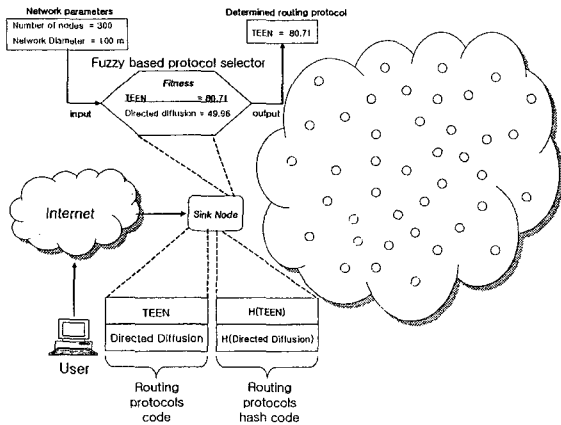
- 초기화 단계



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

- 프로토콜 선택 단계

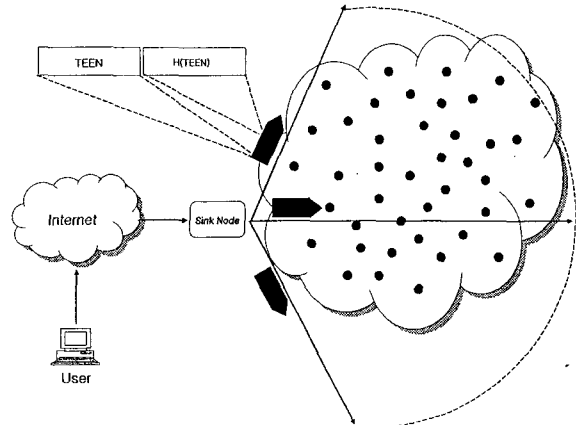


<그림 2> 프로토콜 선택 단계

싱크 노드 내부에 있는 퍼지 기반 프로토콜 선택기(FBPS: Fuzzy Based Protocol Selector)는 <그림 2>와 같이 네트워크 매개변수를 입력 받아 각 프로토콜에 대한 적합도(Fitness)를 계산한 후, 적합도가 가장 큰 프로토콜을 선택한다. FBPS에 관한 자세한 사항은 2.3절에서 설명한다.

• 직접 코드 배포 단계

싱크 노드는 프로토콜 선택 단계에서 선정된 라우팅 프로토콜을 센서 노드로 배포한 적이 있는지 여부를 검토하고, 이미 배포하였다면 직접 프로토콜 교체 단계로 넘어간다. 만약 배포한 적이 없는 라우팅 프로토콜이라면 싱크 노드는 <그림 3>과 같이 라우팅 프로토콜 코드와 이에 대한 해시 코드를 결합한 패킷을 브로드 캐스팅한다.



<그림 3> 직접 코드 배포 단계

한편, 싱크 노드로부터 라우팅 프로토콜 코드를 받은 센서 노드는, 수신한 프로토콜을 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. 해시코드를 받은 센서노드는 현재 사용하고 있는 라우팅 프로토콜을 해시 코드와 일치하는 프로토콜로 교체 사용한다. 이 단계는 라우팅 프로토콜 코드의 재 전송 대신, 크기가 작은 해시코드를 전송하여 프로토콜을 교체 하도록 함으로써 에너지 소모를 줄여준다.

2.3 퍼지 기반 프로토콜 선택기(FBPS)

FBPS는 퍼지 추론 시스템을 기반으로 하는 의사 결정 시스템으로, 현재의 네트워크 상황에서 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 나타낸

다. 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 - 300m
- ✓ Fitness = {Very Good, Good, Normal, Limited, Very Limited}
Range : 0 - 100

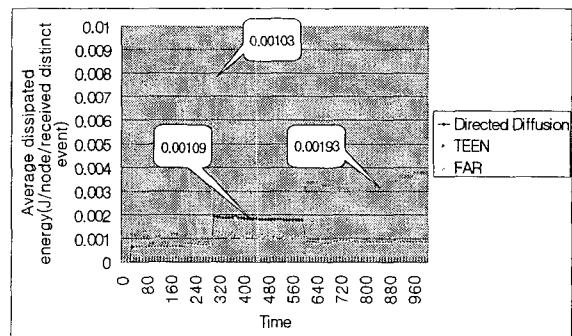
본 논문에서는 교체용 후보 프로토콜로 Directed Diffusion[4]과 TEEN[5] 을 선택하였다. TEEN은 싱글 홉 라우팅 프로토콜이기 때문에, 일정 지역안의 센서노드 수가 증가 하더라도 전체 네트워크의 에너지 소비량은 크게 증가하지 않는다. 반면에 Directed Diffusion은 interest 를 플러딩(flooding)하는 과정 때문에, 일정 지역안의 노드 수가 증가할수록 전체 네트워크의 에너지 소비량이 점점 증가하게 된다. 한편 TEEN 은 클러스터 헤드가 무작위로 결정되기 때문에, 센서 노드가 매우 광범위한 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. 반면에 Directed Diffusion은 멀티 홉 라우팅 방식이기 때문에 넓은 지역에 배치되더라도 위와 같은 문제가 발생하지 않는다.

퍼지 추론 시스템의 룰 베이스는 지금까지 논의한 내용을 바탕으로 구성하였으며, 각 라우팅 프로토콜마다 9개로 구성된 if-then 규칙을 가지고 있다.

3. 시뮬레이션 및 결과 분석

제안된 라우팅 알고리즘의 성능 평가를 위한 시뮬레이션 환경에서 센서 노드의 초기 에너지는 1J로 설정 하였다. 센서 노드의 전파 전송 범

위는 Directed Diffusion의 경우 40m, TEEN의 경우에는 0-300m까지 가변 전송 한다고 설정 하였다. 이벤트는 센서 노드를 배치한 영역 내에서 20초 마다 무작위로 발생하도록 하였다. 시뮬레이션은 1000초 동안 수행하였으며 초기에는 100개의 노드를 100mX100m 공간에 배치하였고, 300초에는 센서 노드 200개를 추가배치 하였으며, 600초에는 센서 노드의 배치 범위를 300mX300m으로 확장하고, 노드 200개를 추가로 배치하였다. <그림 4>는 임무 수행 도중 노드 수와 노드의 배치 범위 변화에 따른 TEEN, Directed Diffusion, FAR 알고리즘의 평균 에너지 소모량을 나타낸 것이다. <그림 4>에서 FAR 알고리즘의 경우 프로토콜 코드 배포 및 적재 시에는 많은 에너지가 소모 된다는 것을 알 수 있다. 하지만 코드 배포는 자주 수행하지 않기 때문에, 이로 인한 평균 에너지 감소량은 그다지 크지 않다. <그림 4>는 FAR 알고리즘을 사용하여 네트워크의 상황 변화에 따라 적절한 라우팅 프로토콜을 적재 및 교체하여 사용하는 것이 단일 라우팅 프로토콜을 사용하는 것보다 평균 에너지 소모량이 적다는 것을 보여준다.



<그림 4> 평균 에너지 소모량

4. 결론

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.

향후 연구 과제로는 싱크 노드가 한번에 전송할 수 없는 거리에 배치된 센서 노드에 라우팅 프로토콜 코드 적재 및 교체를 효율적으로 수행하기 위한 방법에 대한 연구가 필요하다.

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] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.