

센서 네트워크에서 퍼지 이론 기반의 동심원 형태 클러스터링 방법*

최진영*, 정성민*, 한영주*, 김종명*, 정태명**

*성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

**성균관대학교 정보통신공학부

e-mail : {jychoi, smjung, yjhan, jmkim}@imtl.skku.ac.kr, tmchung@ece.skku.ac.kr

The Concentric Clustering Method based on Fuzzy Logic in Sensor Networks

Jin-Young Choi*, Sung-Min Jung*, Young-Ju Han*, Jong-Myoung Kim*, Tai-Myoung Chung**

*Dep. of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

**School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

요 약

센서 네트워크는 습도, 온도, 조도 등의 다양한 정보를 수집할 수 있는 센서들을 특정한 지역이나 광범위한 지역에 분포하여 특정 이벤트를 탐지하거나 계속적으로 환경을 관찰하여 수집된 정보를 효율적으로 Base Station 으로 전송하는 일종의 애드 혹 네트워크이다. 본 논문은 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜 중 PEGASIS 와 동심원 형태의 클러스터링 방법에 대해 취약점을 알아보고, 이를 해결하기 위한 방법으로 클러스터 헤드 선출을 위한 두 가지 기준을 정하고, 퍼지 이론을 기반으로 적절한 선택 값을 도출하여 효율적인 클러스터 헤드를 선출하는 방법을 제안한다. 이 방법은 각 센서 노드들의 남아있는 에너지를 고려할 수 있으며, 각 레벨에서 클러스터 헤드들은 가깝게 위치하게 되어 Multi-hop 으로 데이터 전송 시 기존의 방법들보다 전송 거리를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다.

1. 서론

무선 센서 네트워크는 특정한 지역에 주기적으로 데이터를 수집하거나 주변의 환경 변화를 센서를 통해 탐지하고, 탐지된 정보는 무선 통신을 이용하여 BS(Base Station)으로 전달하는 일종의 애드 혹 네트워크이다[1][2]. 하지만 제한된 에너지량, 계산 능력, 작은 메모리의 크기 등의 센서의 능력 때문에 센서 노드들의 에너지 소비를 효율적으로 관리해 네트워크 수명을 늘려야 한다. 따라서 센서 네트워크는 에너지 소모를 효율적으로 줄이기 위해 다양한 라우팅 프로토콜을 제안하고 있다. 이렇게 제안된 라우팅 기법들을 분류하면 플러딩 방법을 이용하는 수평적 라우팅 프로토콜과 클러스터링 방법을 이용하는 계층적 라우팅 프로토콜, 그리고 위치기반의 라우팅 프로토콜이 있다[2].

특히 가장 많이 연구되고 있는 계층적(클러스터 기반) 라우팅 프로토콜 중 PEGASIS[3]와, 이를 PEGASIS 를 개선한 동심원 형태의 클러스터링 방법 [4]을 살펴보면 PEGASIS 는 체인 형성을 통하여 모든 센서 노드들을 연결한다. 이들 중 하나의 노드를 클

러스터 헤드로 선정하고, 수집한 모든 데이터들을 병합하여 BS 까지 전송하는 방법이다[3]. 하지만 이 방법은 클러스터 헤드 노드까지 데이터가 전송될 때 지연이나 병목 현상이 발생할 수 있으며, 클러스터 헤드 노드와 BS 사이의 거리를 고려하지 않아 만약 클러스터 헤드가 BS 와 멀리 떨어져 있을 경우 에너지 소모가 많이 생기는 단점이 있다.

이러한 단점을 개선한 동심원 형태의 클러스터링 방법은 센서 네트워크에 레벨을 설정한 후 각 레벨을 대표하는 클러스터 헤드를 선출하고 클러스터 내에 체인을 형성한 뒤, 데이터를 병합하고 다른 레벨의 클러스터 헤드로 전송하여 BS 까지 데이터를 전송하는 방법이다[4]. 하지만 이것은 센서 노드들의 남아있는 에너지량을 고려하지 않았으며, 만약 각각의 레벨에서 선출된 클러스터 헤드들 사이의 거리가 멀게 된다면 비효율적인 에너지 소비가 발생하는 단점을 가지고 있다. 따라서 이를 개선하기 위해 동심원 형태의 클러스터링 방법에 대해 취약점을 알아보고, 이를 해결하기 위해 퍼지 이론을 적용하여 효율적으로 클러스터 헤드를 선출하는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는

* "본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITA-2008-C1090-0801-0028)

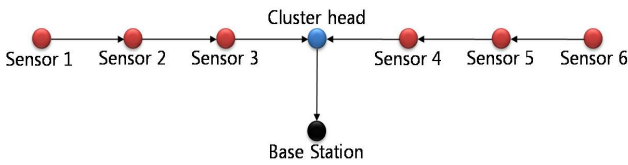
PEGASIS 라우팅 기법과 동심원 형태의 라우팅 기법에 대해서 알아보고, 3 장에서는 동심원 형태의 라우팅 기법의 단점을 해결하기 위해 퍼지 이론을 이용한 효율적인 클러스터 헤드 선출 방법을 제안한다. 마지막으로 4 장에서는 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

계층적 라우팅 기법이란 센서 네트워크를 일정 규모의 집합으로 나누어 그룹을 형성(클러스터)한 후 각각 다른 역할을 하는 센서 노드들이 프로세싱 작업과 정보를 전달하는 다른 역할들을 수행하면서 BS 까지 정보를 전달하는 방식을 말한다[2]. 이번 장은 계층적 라우팅 프로토콜의 예로써 PEGASIS 와 이를 개선한 동심원 형태의 라우팅 기법에 대해서 알아본다.

2.1 PEGASIS

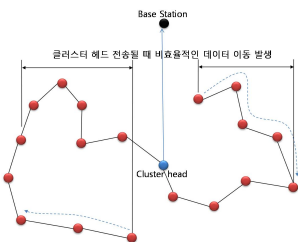
PEGASIS 는 센서들이 특정 지역에 분포된 후 이들을 각각 연결하는 작업으로 체인을 형성한다. 체인 형성은 Greedy 알고리즘을 이용하여 가장 가까운 노드를 찾아나가는 방식으로 진행되어 모든 노드들이 체인으로 연결된다. 체인이 형성이 완료되면 이들 중 하나의 노드를 선택하여 클러스터로 설정하고, BS 에게 데이터를 최종적으로 전송하는 역할을 한다.



(그림 1) PEGASIS 의 체인 형성

데이터 전송은 클러스터 헤드가 토큰을 자신과 연결된 체인으로 보내고, 이를 최종적으로 받은 제일 끝의 노드는 자신의 데이터를 이웃 노드에게 전송하고, 이웃 노드는 이 정보를 자신의 데이터 값과 병합하여 다시 자신의 이웃 노드에게 전송하는 방법으로 동작한다. 데이터가 클러스터 헤드까지 전달되면 클러스터 헤드는 BS 에게 병합된 데이터를 최종적으로 전송하여 데이터 전송 단계를 마친다.

하지만 이 PEGASIS 의 단점은 클러스터 헤드 노드 까지 데이터가 전송될 때 지연이나 병목 현상이 발생하며, 클러스터 헤드 노드와 BS 사이의 거리를 고려하지 않아 만약 클러스터 헤드가 BS 와 멀리 떨어져 있을 경우 에너지 소모가 많이 생긴다.

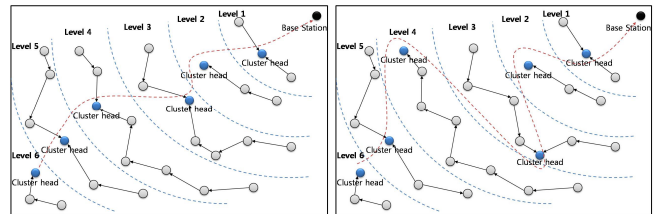


(그림 2) 비효율적인 데이터 전송

2.2 동심원 형태의 라우팅 기법

동심원 형태의 라우팅 기법은 PEGASIS 의 비효율적인 데이터 전송을 개선하기 위해서 데이터의 이동성을 고려하여 네트워크를 신호의 세기에 따라 레벨 단위로 나누고, 각 레벨의 클러스터 헤드를 뽑아서 데이터를 전송하는 방식을 제안하였다[4][5].

레벨 설정 단계에서는 BS 는 각각의 노드에게 신호의 세기에 따라 레벨을 결정하는데, 가장 멀리 떨어져있는 노드는 레벨이 높게 된다. 레벨이 설정되면 같은 레벨에 있는 노드들끼리 체인을 형성하고 이들 중에서 클러스터 헤드를 선출한다. 이렇게 선출된 각 레벨의 클러스터 헤드들끼리 자신보다 낮은 클러스터 헤드 노드나 BS 에게 데이터를 병합하여 전송한다[4].



(그림 3) 효율적/비효율적인 클러스터 헤드 선출

하지만 이 방법은 (그림 3)의 (a)처럼 비슷한 위치에 클러스터 헤드들이 있으면 효율적인 데이터 전송이 가능하나, (그림 3)의 (b)처럼 클러스터 헤드들이 멀리 선출될 경우 비효율적인 데이터 전송이 이루어지게 된다. 즉 클러스터 헤드로 선출되는 노드들의 거리가 연관 관계를 갖고 선출되는 것이 아니기 때문에 데이터 전송에 있어 비효율적인 에너지 소모가 발생할 수 있다.

3. 퍼지 이론 기반의 동심원 형태 클러스터링 방법

동심원 형태의 클러스터링 방법에서 클러스터 헤드 선출은 신중히 고려해야 한다. 기존의 PEGASIS 라우팅 프로토콜은 헤드 노드를 선택할 때 BS 노드의 위치에 대한 고려를 하지 않아 에너지 소모를 발생시켰다. 이를 개선하기 위해서 동심원 형태로 클러스터를 설정하고 클러스터 헤드를 선출하는 클러스터링 방법이 등장하였지만 각각의 노드의 남아있는 에너지량을 고려하지 않았으며, 클러스터 헤드 간의 거리가 멀게 설정될 경우 클러스터 헤드들 사이에서 데이터 전송 시 불필요한 에너지 소모가 발생할 수 있는 단점을 가지고 있다. 본 논문은 위의 단점들을 개선하기 위해서 퍼지 이론을 이용한 효율적인 클러스터 헤드 선출 방법을 제안한다.

3.1 레벨 설정 및 체인 형성

초기 센서 노드가 특정 지역에 분포되면 각각의 노드들은 BS 로부터 자신의 레벨을 부여 받게 되는데, 이것은 신호의 세기에 따라 부여가 되며 레벨이 높을수록 BS 에서부터 멀리 떨어져있음을 나타낸다. 이렇게 부여된 같은 레벨의 노드들은 Greedy 알고리즘을

통해 자신과 가까운 노드와 체인을 형성한다.

3.2 퍼지 이론을 이용한 효율적인 클러스터 헤드 선출

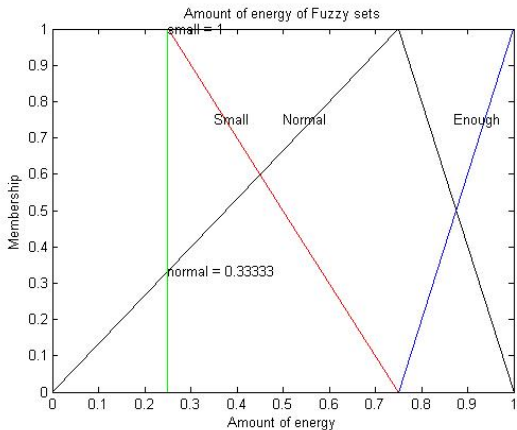
체인이 형성되고 나면 BS 는 레벨 1 에서 퍼지 이론을 이용해 클러스터 헤드를 선출한다. 선출된 레벨 1 의 클러스터 헤드는 레벨 2 의 클러스터 헤드를 퍼지 이론을 적용하여 선출한다. 이러한 방식으로 상위 레벨의 클러스터 헤드에서 자신의 하위 레벨의 클러스터 헤드를 퍼지 이론을 적용하여 선출한다.

클러스터 헤드 선출을 위해서 고려해야 할 사항은 첫째, 노드에 남아있는 에너지량과 둘째, 클러스터 헤드로 선출될 노드들 사이의 거리이다. 노드의 남아있는 에너지량을 고려하면 각 라운드마다 가장 많이 에너지가 남아있는 노드가 클러스터 헤드로 선출되어 네트워크의 수명을 늘릴 수 있다. 그리고 클러스터 헤드로 선출될 노드들 사이의 거리를 고려하여 각 레벨의 클러스터 헤드들이 가깝게 선정될 수 있도록 해야 한다. 각각의 레벨을 대표하는 클러스터 헤드를 선출할 때 노드들의 남아있는 에너지량을 고려하고, 클러스터 헤드들 사이의 거리가 멀어져 불필요한 에너지 소모가 생기지 않도록 하는 장점을 가질 수 있다.

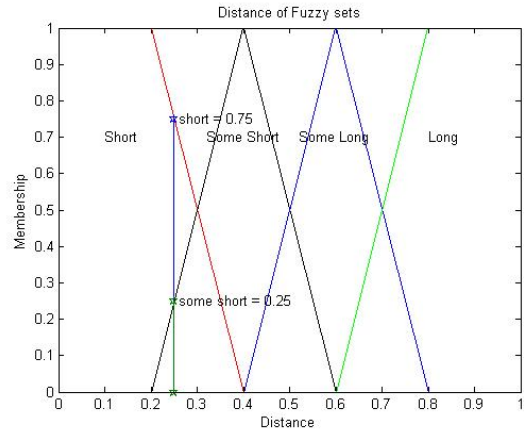
A. 퍼지 집합

클러스터 헤드 선출에 적용되는 퍼지 이론이란 인간의 주관적인 사고와 판단의 애매모호성을 정량적으로 다룰 수 있도록 해준다. 즉 정성적인 개념을 정량적인 명확한 값으로 나타내는데 효율적인 이론이다.

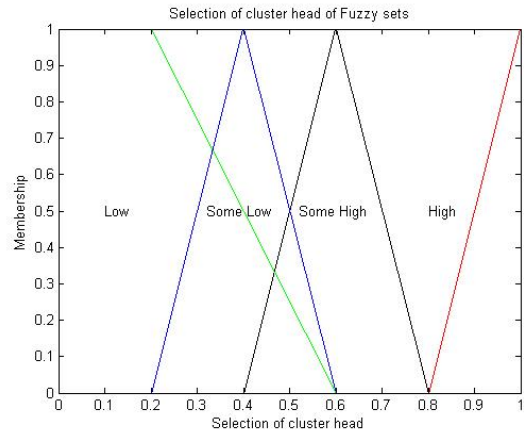
퍼지 이론을 적용시켜 클러스터 헤드를 선출할 때 고려해야 할 두 가지 변수로 노드의 남아있는 에너지량과, 클러스터 헤드로 선출될 노드들 사이의 거리를 설정하여 퍼지 집합을 정의한다. 만약 남아있는 에너지량의 비율 값이 1 일 경우 상대적인 값으로써 에너지량이 가득 차 있음을 나타내며, 클러스터 헤드 노드들 사이의 거리의 비율 값이 1 일 경우 상대적인 값으로써 가장 멀리 떨어져 있음을 나타낸다. 그리고 클러스터 헤드 선출의 멤버십 함수를 통하여 퍼지 집합을 정의하면 (그림 4), (그림 5), (그림 6)과 같다.



(그림 4) 남아있는 에너지량 멤버십 함수



(그림 5) 노드 사이의 거리 멤버십 함수



(그림 6) 클러스터 헤드 선택 멤버십 함수

B. 퍼지 IF-THEN 룰

이 두 가지의 기준을 퍼지 이론에 적용함으로써 최적의 클러스터 헤드를 선출할 수 있도록 퍼지의 12 개의 If-Then 룰을 표를 통하여 설정한다.

<표 1> 퍼지 조건 형성

Energy	Small	Normal	Enough
Distance			
Short	Some-low	Some-high	High
Some-short	Low	Some-high	Some-high
Some-long	Low	Some-low	Some-low
Long	Low	Low	Low

- IF amount of energy is **small** and distance is **short**, THEN rate of selection of cluster head is **some low**.
- ...

C. 퍼지화

퍼지화 작업은 입력 변수 값에 대한 것을 명확한 퍼지 값으로 출력해주는 작업으로써 퍼지 집합을 병합하는 것이다. 본 논문에서는 Mamdani 최소최대 연산법을 사용하였다. 따라서 (그림 4)의 입력 변수 값

으로 0.25 가 입력되면 small=1, normal=0.33333 이 되고 최대 값으로 small=1 이 설정된다. (그림 5)에서도 입력 변수 값으로 0.25 가 입력되면 short=0.75, some short=0.25 이 되어 최대 값으로 short=0.75 이 설정된다.

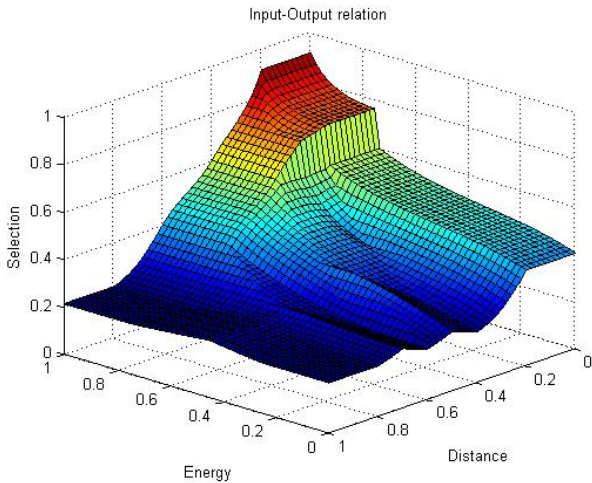
D. 비퍼지화

병합된 퍼지 집합으로부터 명확하고 뚜렷한 값을 추출하기 위해서 비퍼지화를 해야 한다. 다양한 비퍼지화 방법 중에서 CoA(Center of Area) 방법을 이용하여 퍼지 집합의 무게 중심에 해당하는 값을 도출한다.

$$Center\ of\ Area = \frac{\int xf(x)dx}{\int xdx}$$

E. 입출력 관계

앞에서 정의하였던 퍼지 집합과 IF-THEN 룰에서 정한 12 개의 룰을 통하여 퍼지화 작업과 비퍼지화 작업을 마친 후, 각 규칙들의 만족도와 입력 관계를 3차원으로 표시한 것이 (그림 7)이다.



(그림 7) 규칙을 만족하는 입력, 출력 관계

(그림 7)에서 보듯이 에너지량이 충분하고 클러스터 헤드와의, 클러스터 헤드 사이의 거리가 짧다면 클러스터 헤드로 선출될 정도가 높게 나타나지만, 에너지량이 적고 클러스터 헤드와의 거리도 멀리 떨어진다면 클러스터 헤드로 선출될 정도가 낮게 나타나 효율적으로 클러스터 헤드 선출을 할 수 있는 정보를 제공해준다.

3.3 데이터 전달

클러스터 헤드 선출이 된 후 각 체인에서 수집된 정보는 각각의 레벨에서 선출된 클러스터 헤드로 데이터를 전송하고, 클러스터 헤드들은 이 정보를 자신의 상위 레벨에게 전달하게 된다. 이렇게 전달된 데이터는 최종적으로 BS에게 전달된다.

4. 결론

본 논문에서는 동심원 형태의 클러스터링 방법에서 클러스터 헤드를 선출할 때, 각 노드의 남아있는 에너지량을 고려하면서, 클러스터 헤드들이 서로 가깝게 선출될 수 있도록 퍼지 이론을 접목시켰다. 이를 통하여 적당한 클러스터 헤드가 선출될 수 있도록 하여 비효율적인 데이터 전송이 발생하지 않는 장점을 갖는다. 향후 더욱 에너지 효율적인 클러스터 선출을 위해 튜닝 작업을 진행할 것이다.

참고문헌

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Study on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, pp.102-114, Aug. 2002.
- [2] Kamal N. Al-Karaki, Ahmed E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey", IEEE Wireless Commun. Vol. 11, Issue 6, pp. 6-28, Dec. 2004.
- [3] Stephanie Lindsey and Cauligi Raghavendra, "PEGASIS: Power-Efficient GATHERing in Sensor Information System", IEEE Aerospace Conf. Proc., Vol. 3, pp.1125-1130, 2002.
- [4] 정성민, 박선호, 한영주, 정태명, "데이터 방향성에 기반한 향상된 PEGASIS 라우팅 프로토콜 기법 연구", 한국정보처리학회 춘계학술발표대회 논문집 제 13 권 제 1 호, pp. 1029-1032, May 2006.
- [5] Sung-Min Jung, Young-Ju Han, Tai-Myoung Chung, "The Concentric Clustering Scheme for Efficient Energy Consumption in the PEGASIS", International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), Vol.1, pp. 260-265, Feb. 2007.