

# 무선 센서 네트워크에서 퍼지 논리를 이용한 클러스터 헤드 선출 메커니즘에 대한 연구<sup>†</sup>

김종명\*, 박선호\*, 한영주\*\*, 정태명\*\*\*

\*성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

\*\*성균관대학교 컴퓨터공학과

\*\*\*성균관대학교 정보통신공학부

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

## A Study on Cluster Head Election Mechanism using Fuzzy Logic in Wireless Sensor Networks

Jong-Myoung Kim\*, Seon-Ho Park\*, Young-Ju Han\*\*, and Tai-Myoung Chung\*\*\*

\*Dept. of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

\*\*Dept. of Computer Engineering, Sungkyunkwan University

\*\*\*School of Information Communication Engineering, Sungkyunkwan University

### 요 약

본 논문은 무선 센서 네트워크의 에너지 효율적인 운영을 위해 무선 센서 네트워크 환경에 적합한 클러스터 헤드 선출 메커니즘을 제안한다. LEACH 와 같은 기존의 확률 모델 기반의 클러스터 헤드 선출 메커니즘들은 각 라운드마다 클러스터 헤드로 선출될 확률과 라운드 횟수 등을 바탕으로 클러스터 헤드를 선출한다. 그러나 이와 같은 방법은 각 노드의 상황을 고려하지 않아 네트워크의 수명을 단축시킬 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 각 센서 노드의 에너지 및 노드 분포 상황을 고려하여 클러스터 헤드를 선출해야 한다. 하지만 실제 무선 센서 네트워크 환경에서는 클러스터 헤드 선출을 위해 정확한 정보를 수집하고 이를 계산하는데 있어 큰 오버헤드가 발생하는 문제점이 있다. 이에 본 논문에서는 정보 수집 및 계산에 있어서 오버헤드를 줄이고 네트워크의 수명을 극대화하기 위하여 퍼지 논리를 이용한 퍼지 논리 기반의 클러스터 헤드 선출 메커니즘을 제안한다. Matlab 을 통한 시뮬레이션 결과 LEACH 에 비해 퍼지 논리 기반의 클러스터 헤드 선출 메커니즘을 이용했을 경우 네트워크 수명이 약 16.3% 향상되었다.

### 1. 서론

최근 저전력 디지털 회로 및 무선 통신 기술 발전을 바탕으로 무선 센서 네트워크에 대한 관심이 더욱 커지고 있으며 이미 군사적 용도, 생태계 모니터링, 생체 변화 모니터링 등의 다양한 분야에서 널리 쓰이고 있다[1]. 또한 차세대 유비쿼터스 사회에 있어서 상황 인식 서비스제공을 위한 중요한 기반 기술로 인식되고 있다[2].

무선 센서 네트워크는 제한된 전력, 메모리, 그리고 계산 능력을 갖는 저가의 수많은 무선 센서 노드들로 구성된다. 특히 센서 노드들이 일단 목표 지역에 배치되고 나면 배터리 교체가 거의 불가능하기 때문에 센서 네트워크를 설계함에 있어서 에너지 문제는 가장 큰 고려사항 중 하나이다. 그에 따라 하드웨어와 운영체제는 물론 통신 및 라우팅 프로토콜에 있어서 에너지 효율성을 고려한 설계가 필수적이다.

라우팅 프로토콜에 있어서 에너지 효율을 달성하기 위한 방법 중 하나로 클러스터 라우팅 기법을 많이 이용한다. 클러스터 라우팅 기법이란 센서 네트워크를 클러스터라 불리는 서브네트워크로 나누고, 각 클러스터에서는 클러스터 헤드를 선출하여 클러스터 헤드가 클러스터 내의 정보를 수집, 병합하고 BS 에게 전달하도록 하는 메커니즘을 의미한다. 이 기법은 클러스터 헤드만이 정보를 병합하여 BS 에게 전달하기 때문에 모든 노드가 BS 와 통신함으로써 발생하는 오버헤드를 크게 줄일 수 있다.

그러나 클러스터 라우팅 기법은 에너지 소비가 클러스터 헤드로 집중된다는 단점 역시 존재한다. 이러한 이유로 효율적인 클러스터 헤드 선정 기법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 대표적인 기법으로는 확률 모델을 기반으로 국부적인 클러스터 구성(localized clustering) 방법을 사용하는 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[3]가 있다.

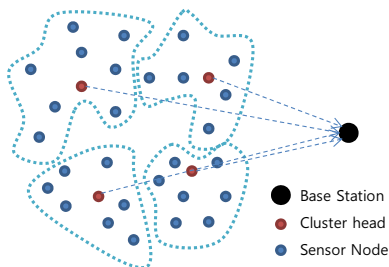
<sup>†</sup> "본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITA-2007-C1090-0701-0028)

LEACH 의 경우 클러스터 헤드에 집중된 에너지 소비를 분산시키기 위해 확률 모델을 적용하여 클러스터 헤드를 센서 노드들이 고르게 수행하게 한다. 하지만 각 센서 노드의 상황을 고려하지 않아 비 효율적으로 클러스터 헤드가 선출될 수 있으며 결국 무선 센서 네트워크의 수명을 단축시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 클러스터 헤드 선출에 적합한 요소들을 도출하고, 이 요소들을 기반으로 퍼지 if-then 규칙을 적용한 클러스터 헤드 선출 메커니즘을 제안한다. 퍼지 이론을 적용함으로써 계산상의 오버헤드를 줄이고 노드 에너지 및 노드 분포 상황을 고려함으로써 네트워크의 수명을 연장 할 수 있다.

본 논문은 다음과 같은 구성으로 이루어진다. 2 장에서는 본 논문에서 기반이 되는 시스템 모델을 정의하고 3 장에서는 관련연구로서 LEACH 메커니즘에 대해 설명한다. 4 장에서는 본 논문에서 제안하는 메커니즘에 대해 상세하게 살펴본 뒤 5 장에서는 시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제안하는 메커니즘의 효율성을 증명한다. 마지막으로 5 장에서는 본 논문의 결론과 앞으로의 연구방향에 대하여 논한다.

## 2. 시스템 모델

(그림 1)은 클러스터 기반의 무선 센서네트워크의 전형적인 구조이다. 각 노드들은 각자의 클러스터 헤드들에게 수집한 데이터를 전송하고, 클러스터 헤드는 데이터들을 병합하여 BS 에게 전송한다.



(그림 1) 무선 센서 네트워크 구조

본 논문은 무선 센서네트워크 환경을 다음과 같이 가정한다.

- 에너지 제약을 가지는 동종의 노드들로 구성되어 있다.
- 무선 신호의 세기에 따라 거리 측정이 가능하다.
- 노드들은 거의 이동하지 않는다.
- 센서 노드들의 초기 에너지 소유량은 동일하다.
- 일정 주기(라운드)로 클러스터 헤드를 새롭게 선출한다.

## 3. LEACH

LEACH 는 에너지 효율적인 통신을 위해 클러스터를 형성하는 기법 중 하나 이다. 일정 주기로 클러스터

헤드를 선출하며 이 주기가 한 라운드를 의미한다. 클러스터 헤드를 선출하기 위해 각 라운드마다 각 센서 노드  $n$  은 0 에서 1 사이의 랜덤 수를 선택하고, 만약 랜덤 수가 임계값  $T(n)$ 보다 작으면, 자신을 해당 라운드의 클러스터 헤드로 선출하고 주변 노드들에게 이 사실을 알린다. 주변에 있는 노드들은 이러한 메시지를 수신하고 신호의 세기를 통해 거리를 측정하여 자신과 가장 가까운 클러스터 헤드와 클러스터를 형성하고 통신을 시작한다. 이 때 임계값  $T(n)$ 은 다음과 같이 계산된다. 이 때  $p$  는 센서 네트워크에서 요구되는 클러스터 헤드의 비율을 의미하며,  $r$  은 해당 라운드 수 그리고  $G$  는 최근  $1/p$  라운드 동안 클러스터 헤드로 선출되지 않은 센서 노드의 집합을 나타낸다.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p \times (r \bmod \frac{1}{p})} & ,if \quad n \in G \\ 0 & ,otherwise \end{cases}$$

위의 식을 통해 각 센서 노드는  $1/p$  라운드 내에 한번씩 클러스터 헤드로 선출 된다. 이는 클러스터 헤드로 집중되는 에너지 소비를 분산시키기 위한 방법이다.

그러나 LEACH 에는 클러스터 헤드 선출에 있어 몇 가지 한계점을 지닌다. 첫째, 클러스터 헤드의 선출이 오직 확률에만 의존하기 때문에 클러스터 헤드들이 서로 인접할 수 있다. 이는 결국 비효율적인 클러스터를 형성하는 원인이 된다. 두 번째로, 노드의 에너지 상황을 고려하지 않아 에너지가 상대적으로 적은 노드가 클러스터 헤드로 선출되어 네트워크의 수명이 짧아질 수 있다. 세 번째, 선택된 노드는 네트워크의 가장자리 혹은 노드의 밀집도가 낮은 곳에 위치할 수 있어 노드들이 클러스터 헤드에게 데이터를 전송하기 위해 많은 양의 에너지를 소모할 수 있다.

## 4. 제안하는 기법

본 논문에서는 퍼지 if-then 규칙을 적용하여 네트워크의 수명을 향상시키는 퍼지 논리 기반 클러스터 헤드 선출 메커니즘을 제안한다. 이 메커니즘은 크게 클러스터 헤드 지원 단계, 클러스터 헤드 선출 단계 그리고 클러스터 결성 단계의 3부분으로 나뉜다.

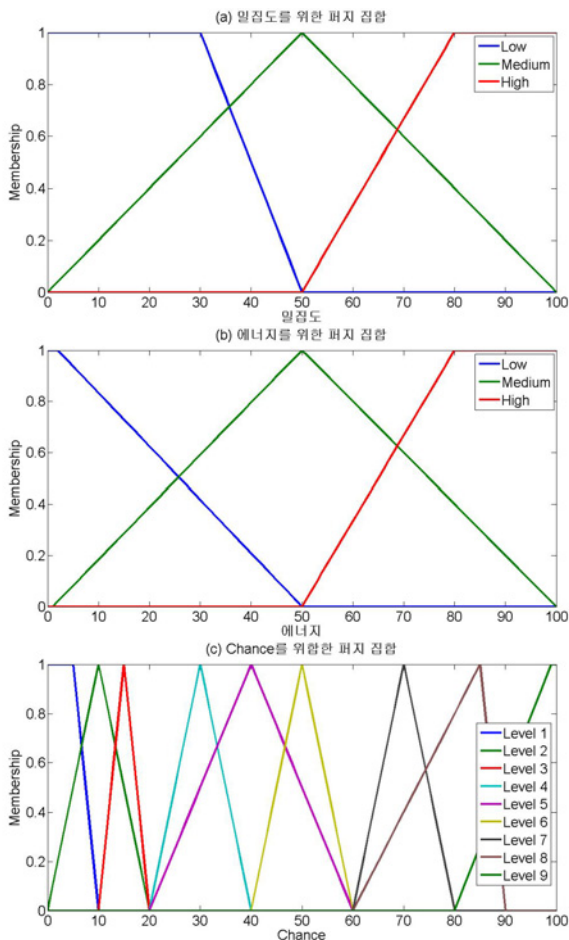
### 4.1. 클러스터 헤드 지원

클러스터 헤드 지원 단계는 크게 두 단계로 나뉜다. 밀집도와 에너지량을 바탕으로 퍼지 if-then 규칙을 적용하여 각 노드의 클러스터 헤드 선출 기회 값(chance)을 계산하는 단계와 일정 확률로 chance 와 함께 자신이 클러스터 헤드 후보라는 메시지를 전송하는 단계이다. 이 때 밀집도는 각 노드를 중심으로 단위 반경  $r$  이내의 노드 밀도를 나타내는 지수이며 에너지량은 현재 남은 배터리의 양을

나타내며 최대값은 초기 센서 에너지값이 된다. 여기서  $r$  은 단일 클러스터가 평균적으로 가지는 반지름을 의미하며 다음과 같이 계산된다. 이 때  $p$  는 네트워크에서 요구되는 클러스터 헤드의 비율이며  $area$  는 네트워크의 넓이 그리고  $n$  은 네트워크의 총 노드 수이다.

$$r = \sqrt{\frac{area}{\pi \cdot n \cdot p}}$$

밀집도와 에너지를 0 과 100 사이의 값으로 매칭시켜 퍼지 if-then 규칙을 정의하면 (그림 2)와 <표 1>과 같이 표현된다. 퍼지 if-then 규칙은 에너지가 많을수록 그리고 밀집도가 높을수록 큰  $chance$  를 가지도록 설정하였다. 이는 에너지가 많고 주변에 노드가 많을수록 클러스터 헤드로 선출될 기회가 높도록 한 것이다. 밀집도가 높을수록 주변의 노드들이 클러스터 헤드에게 메시지를 전송할 때 에너지 손실이 적기 때문이다. 또한 (그림 2)의 (c)와 같이 퍼지 집합을 정의함으로써  $chance$  를 결정하는데 있어서 에너지가 밀집도보다 우선하도록 했다. 최종 defuzzification 된  $chance$  값을 얻기 위해 COA(Center of Area) 방법을 이용하였다.



(그림 2) 퍼지 집합

퍼지 if-then 규칙을 통해  $chance$  를 계산한 후, 각 센서 노드는 LEACH 와 마찬가지로 0 과 1 사이의 랜덤 값을 생성하여 일정 확률  $P_{candidate}$  보다 낮을 경우  $chance$  와 함께 자신이 클러스터 헤드 후보라는 메시지를 broadcast 한다.  $P_{candidate}$  는 네트워크에서 요구되는 클러스터 헤드의 비율  $p$  보다 큰 값을 가지게 된다. 상대적으로 낮은  $chance$  를 가지는 클러스터 헤드 후보는 클러스터 헤드로 선정되지 않기 때문이다.

4.2. 클러스터 헤드 선출

일정시간 후 클러스터 헤드 후보로 선출된 센서 노드들은 반경  $r$  이내에 자신보다 큰  $chance$  를 가지는 클러스터 헤드 후보가 없을 경우 자신이 클러스터 헤드로 선출되었다는 메시지를 broadcast 한다. 이렇게 함으로써 서로 인접한 클러스터 헤드가 선출되는 것을 막을 수 있다.

<표 1> If-then rule

|   | 에너지    | 밀집도    | chance  |
|---|--------|--------|---------|
| 1 | Low    | Low    | Level 1 |
| 2 | Low    | Medium | Level 2 |
| 3 | Low    | High   | Level 3 |
| 4 | Medium | Low    | Level 4 |
| 5 | Medium | Medium | Level 5 |
| 6 | Medium | High   | Level 6 |
| 7 | High   | Low    | Level 7 |
| 8 | High   | Medium | Level 8 |
| 9 | High   | High   | Level 9 |

4.3. 클러스터 형성

클러스터 헤드 선출 메시지를 수신한 센서 노드들은 신호의 세기를 통해 각 클러스터 헤드와의 거리를 계산하고 가장 가까운 클러스터 헤드와 클러스터를 형성하여 통신을 시작한다.

5. 성능 평가

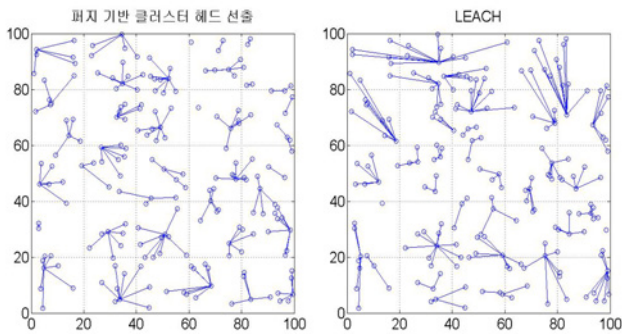
본 논문에서 제안하는 퍼지 논리 기반 클러스터 헤드 선출의 성능 평가를 위해 Matlab 을 이용하여 LEACH 와 비교 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션 환경은 100m×100m 지역에 200 개의 노드를 랜덤하게 분산 배치한 네트워크로 가정하였다. 또한 물리적 통신에 있어서 거리에 따른 에너지 소모에 정당성을 부여하기 위해 [4,5,6]에 소개된 Radio 모델을 적용하였다. 시뮬레이션 환경에서 최적의  $p$  값을 찾기 위해 [6]에 소개된 방법을 통해 다음과 같이 계산하였다.  $E_{fs}$  와  $E_{mp}$  는 위의 Radio 모델의 RF Amplifier 에서 거리에 따라서 소모되는 에너지 양을 의미한다.

$$p = \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{2 \times \pi}} \cdot \sqrt{\frac{E_{fs}}{E_{mp}}} \cdot \frac{\sqrt{area}}{(0.765 \times \sqrt{area} \times 0.5)^2} \cdot \frac{1}{n}$$

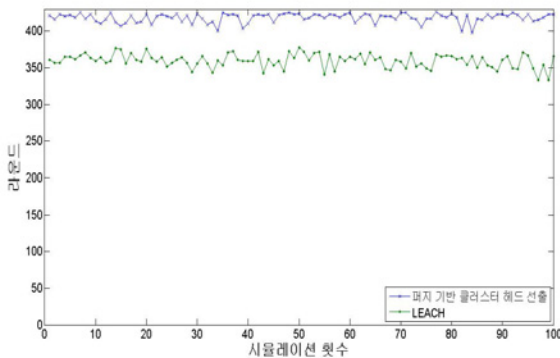
시뮬레이션 결과 퍼지 논리 기반 클러스터 헤드 선

출 알고리즘의  $P_{candidate}$  를 LEACH 의  $p$  의 2.2 배로 설정하였을 경우 평균적으로 비슷한 수의 클러스터 헤드가 선출되었다. 비슷한 환경을 조성하기 제공하기 위해  $P_{candidate}$  를  $p$  의 2.2 배로 설정하고 시뮬레이션을 수행했다.

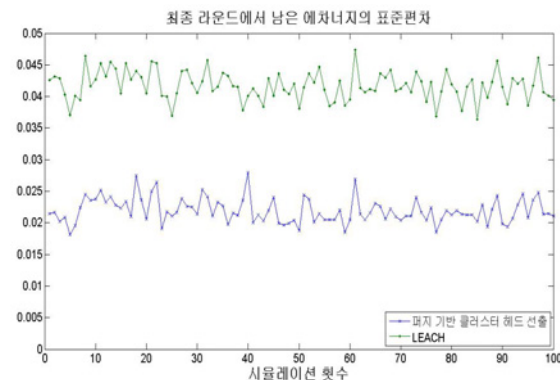
(그림 3)은 각각 퍼지 논리 기반 클러스터 헤드 선출 메커니즘과 LEACH 를 적용하여 클러스터를 형성한 모습이다. LEACH 의 경우 몇몇의 클러스터 헤드에 집중적으로 노드들이 클러스터를 형성하는 모습이다. 반면 퍼지 논리 기반 클러스터 헤드 선출 메커니즘은 클러스터 헤드가 균형 있게 선출되었음을 볼 수 있다. LEACH 의 경우 클러스터 헤드 선출이 확률 모델에만 의존하기 때문에 클러스터 헤드가 네트워크 전체에 고르게 분포하지 못했기 때문이다.



(그림 3) 클러스터 형성 모습



(그림 4) 네트워크의 수명



(그림 5) 최종 라운드에서의 에너지 표준편차

네트워크의 수명은 보통 최초로 에너지를 모두 소비하여 죽은 노드가 나타날 때까지로 정의된다. 따라서 네트워크의 수명은 에너지를 모두 소비한 최초의 노드가 나오는 라운드로 다시 정의할 수 있다. (그림 4)는 총 100 번의 시뮬레이션을 통해 얻은 최초로 에너지를 모두 소비한 노드가 발생하는 라운드를 표현한 것이며 평균적으로 약 16.3%로 네트워크의 수명이 LEACH 보다 연장되었다.

(그림 5)는 최종 라운드에서 각 센서 노드에 남아있는 에너지의 표준편차를 보여주고 있다. 퍼지 논리 기반의 클러스터 헤드 선출 메커니즘은 에너지와 밀집도를 고려했기 때문에 각 센서 노드의 에너지가 상대적으로 균등하게 소모되었음을 알 수 있다. 즉 센서 노드들의 에너지가 고르게 소모되었기 때문에 궁극적으로 16.3%의 네트워크 수명의 향상을 가져올 수 있었던 것이다.

## 6. 결론

센서 네트워크를 설계하는데 있어 가장 크게 고려해야 하는 요소는 에너지 효율이다. LEACH 와 같이 클러스터 형성을 통한 통신 방법은 효율적인 에너지 사용을 위한 노력 중의 하나이다. 하지만 LEACH 는 클러스터 헤드를 선출함에 있어 확률적인 방법에만 의존하여 네트워크의 수명에 한계점을 가지고 있다. 본 논문에서는 퍼지 if-then 규칙을 이용하여 각 센서 노드의 에너지 양과 밀집도를 통해 효율적으로 클러스터를 선출하는 메커니즘을 제안하였으며 Matlab 을 통해 그 효율성을 증명하였다.

앞으로 센서 네트워크의 에너지 효율을 높이기 위한 다양한 연구를 계속 진행할 것이며 특히 에너지와 밀집도 이외에 클러스터 헤드 선출에 영향을 미치는 요소를 찾아 그 상관관계에 대해 연구하고자 한다.

## 참고문헌

- [1] A. Cerpa, J. Elson, D. Estrin, L. Girod, M. Hamilton, and J. Zhao: 'Habitat Monitoring: Application Driver for Wireless Communications Technology,' In Proceedings of the ACM SIGCOMM Workshop on Data Communications in Latin America and the Caribbean, San Jose, Costa Rica, 2001.
- [2] Jalal A., Anand R., Roy C.I and M. Dennis Mikunas, "Cerberus: A Context-Aware Security Scheme for Smart Spaces", Pervasive Computing and Communications, 2003. (PerCom 2003). Proceedings of the First IEEE International Conference on 23-26 March 2003 Page(s):489 - 496.
- [3] W. R. Heinzelman, A. Chandarkasan, and Hari Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 2000.
- [4] Mhatre, V., Rosenberg, C., "Design Guidelines for Wireless Sensor Networks: Communication, Clustering and Aggregation", Ad Hoc. Networks, Page(s): 45-63, 2003.
- [5] W. R. Heinzelman, A. Chandarkasan, and Hari

Balakrishnan, “An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks”, IEEE Transactions on Wireless Communications, Page(s): 660-670, 2002.

- [6] Yong-Ju Han, Seon-Ho Park, Jung-Ho Eom, and Tai-Myoung Chung, “Energy-Efficient Distance Based Clustering Routing Scheme for Wireless Sensor Networks”, ICCSA2007, LNCS 4706, Part II, pp. 195–206, 2007.