

무선 센서 네트워크에서 SVM 알고리즘을 이용한 클러스터 헤드 결정기법

이인철, 장형준, 심일주, 장경배, 박귀태
고려대학교 전자전기공학과

Cluster-Head Election using SVM Algorithm in Wireless Sensor Networks

In-Chul Lee, Hyeong-Jun Chang, Il-Joo Shim, Kyung-Bae Chang, Gwi-Tae Park
Dept. of Electronics and Electrical Engineering, Korea University

Abstract - 제한된 전력의 노드들로 구성된 무선 센서 네트워크에서 효율적인 정보 수집이 이루어지기 위해서는 전체 네트워크의 Life Time을 늘리는 게 중요하다. 각각의 센서 노드들이 멀리 떨어져 있는 BS(Base Station)으로 직접 데이터를 전송하면 전력소비가 매우 크고 비효율적이다. 그리하여 네트워크의 life time을 늘리기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 그중에 클러스터링 기법은 가장 널리 연구되는 기법 중에 하나이다.

대표적인 클러스터링 기법 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[1]는 전체 노드 수의 5%를 클러스터 헤드로 결정하여 나머지 노드들로부터 데이터를 수집하여 BS로 전송함으로써 에너지를 효율적으로 사용하는 알고리즘이다. 그러나 클러스터 헤드를 결정하는데 있어서 잔여 에너지를 고려하지 않고 순환적으로 결정하는 문제점을 가지고 있다. 그래서 본 논문에서는 SVM(Support Vector Machine)을 이용하여 FND(First Node Die)가 발생했을 때 각 노드들의 에너지 잔량 정도를 따져서 영역을 나누고, 에너지가 더 많은 영역에서 클러스터 헤드를 선정하는 방법을 제안한다. 잔량 에너지가 많은 노드를 클러스터 헤드로 결정함으로써 전체 네트워크의 life time을 늘릴 수 있다.

1. 서 론

최근 반도체 기술과 무선 통신 기술 그리고 센서 기술의 발전으로 초소형 저가의 센서 노드를 양산하는 것이 가능해졌다. 따라서 수천에서 백만 개 이상의 노드를 넓은 지역에 펼쳐서 정보를 수집할 수 있는 대규모 무선 센서 네트워크가 가능하게 되었다. 무선 센서 네트워크는 넓은 지역의 환경 감시, 재난지역의 파악 등이 가능하며, 최근 들어서 유비쿼터스 홈 네트워크 시장에서도 많은 연구가 활발하게 진행되고 있다 [2][6].

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)는 환경 데이터를 수집하는 수많은 센서 노드와 센싱된 데이터를 수집하는 BS(Base Station)으로 구성된다. 각 노드들은 온도, 습도, 조도, 소리, 진동, 압력 등을 센싱하는 센서부, 센싱된 정보를 가공할 수 있는 마이크로 컨트롤러, 데이터를 전송할 수 있는 무선 송수신부 그리고 작은 배터리로 구성되어 있다. 이러한 수많은 노드들로 구성된 무선 센서 네트워크는 일반적인 전자기기들과는 달리 노드의 배터리 교환이나 재충전이 어렵다. 따라서 센서 노드의 에너지 소모를 적게 하는 알고리즘 적용이 중요하다. 그래서 수많은 노드들이 각각의 데이터를 직접 BS로 전송하지 않고 몇 개의 노드들이 주위의 노드들의 데이터를 병합하여 대표로 BS로 전송하는 클러스터링 기법이 활발하게 연구되고 있다. 일반적인 클러스터링 기법은 각 클러스터 헤드에 의하여 로컬 클러스터가 형성되고 클러스터 멤버 노드들은 클러스터 헤드로 센싱된 데이터를 전송한다. 클러스터 헤드는 취합된 데이터를 BS로 전송함으로써 각각의 노드들이 모두 BS로 데이터를 전송하는 것보다 비교하여 많은 에너지 효율을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 기존의 대표적인 클러스터링 알고리즘을 소개하고, 문제점을 지적한다. 그리고 언급된 알고리즘의 문제점을 보완하기 위하여 SVM(Support Vector Machine)기법을 적용시켜 좀 더 향상된 클러스터링 기법을 제안한다.

2. 센서 네트워크 클러스터링 기법

2.1 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

LEACH는 대표적인 클러스터링 기반 라우팅 기법으로, 클러스터 헤드가 클러스터 멤버 노드들로부터 데이터를 수집하여 데이터 푸젠을 통해 데이터를 직접 BS로 전달한다. 이 알고리즘의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들에 에너지 소비를 분산시키기 위해, 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고 전체적인 통신 비용을 줄이기 위해 클러스터 내의 노드들로부터 데이터를 푸젠한다.

처음 클러스터가 생성되면, 각각의 노드는 현재 라운드에서 자신이 클러스터 헤드가 될 수 있는지 아닌지를 결정한다. 이러한 결정은 노드가 0에서 1사이의 랜덤한 수 n을 선택하여 결정하게 된다. 만약 그 수가 임계값 T(n)보다 작을 경우, 그 노드는 현재 라운드에서 클러스터 헤드가 된다.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P^{(r \bmod \frac{1}{P})}} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots \dots \dots (1)$$

식(1)에서 P는 전체 노드중에서 클러스터 헤드의 비율(e.g. P=0.05)이고, r은 현재 라운드, G는 지난 1/P 라운드 내에 클러스터 헤드가 된 적이 없는 노드의 집합이다. 이 임계값을 이용하여 각각의 노드는 1/P 라운드 내에 어느 한 시점에서 클러스터 헤드가 된다. 0 라운드일 경우, 각각의 노드가 클러스터 헤드가 될 확률은 P이다. 라운드 0에서 클러스터 헤드가 된 노드는 다음 1/P 라운드 동안에는 클러스터 헤드가 될 수 없다. 1/P - 1 라운드 후에 클러스터 헤드가 된 적이 없는 노드에 대해서 T는 1로 설정이 되고, 1/P 라운드 후에는 모든 노드들이 다시 클러스터 헤드가 될 수 있는 자격을 갖게 된다. LEACH는 에너지 소비가 큰 클러스터 헤드 역할을 균등하게 순환시킴으로써 네트워크 내 센서 노드들의 에너지 소비를 공평하게 분산시킨다. 그러므로, LEACH는 고정 클러스터링 기법이나 다른 기존의 방법들보다 많은 에너지 절약을 이루며, 그에 따라 네트워크의 수명을 연장시킨다.

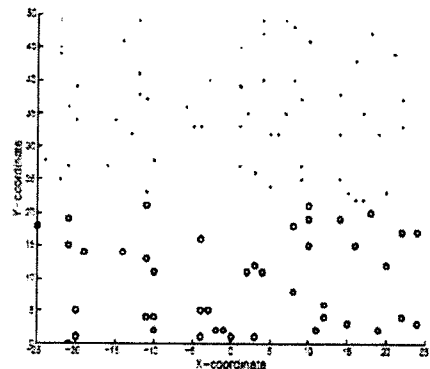
LEACH는 식(2)와 같이 송수신 거리에 따라 각 센서 노드의 전송 에너지 소비량(E_{T_x}), 수신 에너지 소비량(E_{R_x})을 다음과 같이 정의한다.

$$E_{T_x}(k, d) = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d^2 \dots \dots \dots (2)$$

$$E_{R_x}(k) = E_{elec} * k$$

여기서 k는 전송 데이터의 비트수, d는 송수신 노드간의 거리, E_{elec}는 비트 당 회로의 에너지 소비량, ε_{amp}는 비트 당 송신 앰프의 에너지 소비량을 뜻하며, 각 라운드 마다 모든 센서 노드의 송수신 에너지 소비량을 모델링하여 네트워크의 최대 라운드 수를 결정한다.

하지만 이 알고리즘의 가장 큰 문제점은 잔여 에너지량을 고려하지 않고 클러스터 헤드를 랜덤하게 선정한다는 것이다. 그림 1과 같이 50m X 50m의 필드에 센서 노드들이 위치해 있고 BS(0, 150m)가 이 필드로부터 멀리 떨어져 있다면 에너지 소비량은 전송거리의 제곱에 비례하기 때문에 클러스터링 기법을 사용한다고 해도 각 클러스터 헤드가 사용하는 에너지 소비량은 차이가 있다. 그래서 BS와 멀리 떨어진 클러스터 헤드는 먼저 에너지가 고갈된다.



<그림 1> 임정 라운드 후의 살아있는 노드(점)과 죽어있는 노드(원)

이러한 문제점 때문에 2.2에서는 임의의 노드가 죽었을 때, SVM(Support Vector Machine)을 사용하여 에너지 잔량정도를 따져서 두 영역으로 나누어서 에너지량이 많은 쪽에 클러스터 헤드를 선정함으로써 네트워크 life time을 늘리는 기법을 소개한다.

2.2 Cluster-head election using SVM

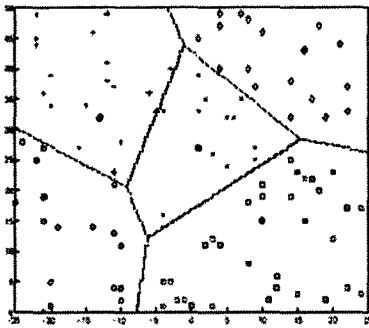
최근 Vapnik와 Schölkopf 에 의해 제안된 SVM(Support Vector Machine) 을 이용한 분류(classification) 방법은 통계학을 포함한 많은 분야에 관심받고 있는 학습 이론중 하나이다 [3][4].

Simple SVM은 입력 공간(input space)에 있는 분류 데이터를 마진(margin)값을 최대로 하는 초평면(hyperplane)을 찾아내어 이진 분류를 수행하게 된다. 본 논문에서는 이러한 SVM의 특성을 이용하여 네트워크 필드내 노드들의 에너지 잔량을 고려하여 네트워크 필드를 두 영역으로 나누어 에너지 잔량이 많은 영역에서 클러스터 헤드를 선정하는 기법을 제안한다.

SVM classification이 이루어지기 위해서는 에너지 잔량의 차이가 있어야 하므로 임의의 노드가 처음으로 에너지가 고갈되었을 때를 기점으로 하여 SVM 기법을 적용하였다. 시뮬레이션을 하기 위하여 다음과 같은 특성을 가진 센서 네트워크 모델을 정의한다.

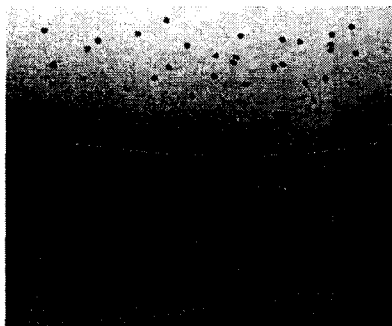
- 100개의 센서 노드가 50m X 50m 필드에 랜덤으로 위치되어 있다.
- Base Station은 (25m, 150m)에 위치한다.
- 센서 노드는 설치 후 고정된다.
- 클러스터 헤드는 자신의 클러스터에 속한 센서 노드들의 ID와 위치를 알고 있다.
- 클러스터 헤드는 클러스터 멤버들의 데이터(센싱값, 잔여에너지 등등)을 BS로 매 라운드마다 전송한다.
- 모든 센서 노드들은 동일한(homogeneous) 특성을 가지며 에너지가 제한되어 있다.
- BS는 센서 노드들보다 하드웨어 적인 제약이 적다. 즉, 센서 노드들보다 계산능력, 저장 공간, 에너지가 월등하다.

위와 같은 모델을 정의한 후 그림 2 LEACH의 클러스터 구조를 MatLab 을 이용하여 구현한 모델이다 [1].



〈그림 2〉 LEACH의 클러스터 구조

p 가 0.05이기 때문에 전체 노드의 5%가 클러스터 헤드로 결정되고 20라운드가 지날 때까지는 다시 클러스터헤드로 결정되지 않는다. 하지만 잔여 에너지를 고려하지 않고 순환적으로 클러스터 헤드를 선정하기 때문에 그림 3 과 같은 SVM 기법을 이용하여 잔여 에너지량의 정도를 따져서 영역을 나눈 후 에너지 잔량이 많은 영역에서 클러스터 헤드를 선정하였다.



〈그림 3〉 classification using SVM

그림 3 는 BS로부터 거리가 가까워서 데이터 전송 시 에너지 소비량이 적었던 위쪽 영역과 BS로부터 거리가 멀어 에너지 소비량이 많은 아래쪽 영역으로 SVM classification을 이용하여 2진 분류한 그림이다. 에너지 잔량이 많은 영역에서 클러스터 헤드를 결정하여 네트워크 수명을 좀 더 늘릴 수 있었다.

표 1 은 각기 다른 프로토콜에서의 네트워크 수명을 비교한 표이다. 각각의 노드들이 직접 BS로 데이터를 전송하는 Direct에 비하여 LEACH가 6~8배 나은 에너지 효율을 보이는 것을 알 수 있다. SVM Classification 은 임의의 노드가 처음 죽었을 때부터 사용하였기 때문에 LEACH와 first node

die 라운드는 똑같다. 그러나 임의의 노드가 처음 죽은 이후로 에너지 잔량을 고려하여 영역을 나눈 후, 클러스터 헤드를 선정하였기 때문에 마지막 노드가 죽을 때의 라운드 수는 높다.

〈표 1〉 네트워크 수명비교

Energy (J/Node)	Protocol	Round first node dies	Round last node dies
0.25	Direct	55	117
	LEACH	394	665
	Using SVM	394	723
0.5	Direct	109	234
	LEACH	932	1312
	Using SVM	932	1438
1	Direct	217	468
	LEACH	1848	2608
	Using SVM	1848	2894

3. 결 론

제한된 에너지의 센서 노드들로 구성되는 센서 네트워크에서는 에너지를 효율적으로 사용하여 네트워크 수명을 늘리는 연구가 반드시 필요하다. 이를 위하여 많은 분야에서 연구가 되고 있고 그 중에 하나가 클러스터링 기법이다. 클러스터를 구성하여 클러스터 멤버들의 정보를 클러스터 헤드가 병합하여 BS로 데이터를 전송하는 것이다. 본 논문에서는 대표적인 클러스터링 알고리즘인 LEACH에서 first node die가 발생한 경우 잔여 에너지를 고려하여 SVM classification으로 두 영역으로 나누어서 클러스터 헤드를 결정하는 기법을 제안했다. 시뮬레이션 결과 잔여 에너지가 많은 영역에서 클러스터 헤드를 결정했기 때문에 마지막 노드가 죽을 때까지의 라운드 수가 증가하는 것을 확인하였다.

본 연구는 앞으로 더 나은 효율을 얻기 위하여 많은 SVM classification 기법을 적용해보고 나아가 많은 노드들로 직접 네트워크를 구성하여 능동적으로 실제 적용 가능한지를 검증하고자 한다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks". In Proc. Of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences(HICSS), Maui, HI, Jan. 2000.
- [2] Jamal N. Al-karaki, Ahmed E. Kamal. "Routing Techniques In Wireless Sensor Networks : A Survey," In Proc. IEEE Wireless Communications, December 2004.
- [3] Schölkopf, B., Burges, C.J.C., & Smola, A.J. "Advances in kernel methods-Support vector learning" Cambridge, MA : MIT Press 1999.
- [4] Vapnik, V. "The nature of statistical learning theory" Springer-Verlag 1995
- [5] SVM, <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>
- [6] I .F. Akyildiz et al., "A Survey on Sensor Networks," IEEE Comm., vol. 40, no. 8, 2002, pp. 102-114.