

무선 센서네트워크에서의 효과적인 에너지 활용 시뮬레이션*

백승범**, 조대호**

Simulation for the Efficient Utilization of Energy in Wireless Sensor Network

SeungBeom Baeg, TaeHo Cho

Abstract

One of the imminent problems to be solved within wireless sensor network is to balance out energy dissipation among deployed sensor nodes. In this paper, we present a transmission relay method of communications between BS (Base Station) and CHs (Cluster Heads) for balancing the energy consumption and extending the average lifetime of sensor nodes by the fuzzy logic application. The proposed method is designed based on LEACH protocol. The area deployed by sensor nodes is divided into two groups based on distance from BS to the nodes. RCH (Relay Cluster Head) relays transmissions from CH to BS if the CH is in the area far away from BS in order to reduce the energy consumption. RCH decides whether to relay the transmissions based on the threshold distance value that is obtained as a output of fuzzy logic system. Our simulation result shows that the application of fuzzy logic provides the better balancing of energy depletion and prolonged lifetime of the nodes.

Key Words: Wireless Sensor Network, LEACH, Fuzzy, 센서 네트워크

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

** 성균관대학교 정보통신공학부

1. 서론

최근 마이크로 전자 기기 시스템, 저 전력 그리고 높은 직접도의 디지털 기기의 발전은 마이크로 센서의 개발로 이어졌다[1]. 센서는 배포된 환경에서 주위 상황을 측정하고 측정된 현상에서 나타난 특징을 처리한 후 신호 형태로 전송한다. 많은 수의 센서가 사용자의 조작을 필요로 하지 않는 응용과 네트워크 형태를 이루는 것이 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)이다 [2]. 센서네트워크는 가정 보안, 기계 고장 진단, 화학/생물학적 발견, 의료 모니터링, 서식지, 기후 모니터링과 군사적 응용을 포함한 다양한 응용환경의 신뢰할 수 있는 모니터링이 가능하다 [3-5].

센서의 작은 크기와 낮은 가격을 유지하기 위해서, 최대 1 Joule정도의 작은 에너지를 장착하고 있다 [6]. 이러한 점은 통신에 사용되는 에너지를 제한함으로써 전송범위와 데이터 전송률에 제한이 있다. 한 비트(bit)를 전송하기 위한 에너지는 연산에 소모되는 에너지양보다 많이 소모되므로[7] 센서 네트워크를 클러스터 형태로 조직하는 것이 효율적이다. 센서 네트워크가 클러스터로 형성된 환경에서는 센서가 더 짧은 거리로 데이터 통신을 하기 때문에 모든 노드가 중앙 정보처리 센터 혹은 베이스 스테이션으로 직접 데이터를 전송할 때 보다 네트워크에서 소모되는 에너지는 더 적을 것이다.

센서 네트워크는 넓은 지역에 많은 수의 센서를 분포함으로써 센서가 배치된 위치는 베이스 스테이션으로 부터 다르게 나타난다. 이러한 거리 차이로 인해 BS로부터 멀리 떨어진 노드가 먼저 죽게 되고 그로인해 네트워크의 가용성이 감소하게 된다. 본 논문에서는 퍼지를 사용하여 클러스터링 방식의 LEACH 프로토콜에 균일한 에너지 소비를 위한 새로운 메서드를 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2절은 LEACH의 간략한 소개와 논문의 동기를 설명한다. 3절은 퍼지 로직을 사용한 전송중계를

설명한다. 4절은 시뮬레이션결과를 검토하고 비교한다. 결론은 5절에 나타난다.

2. 배경 이론 및 관련 문제

일반적으로 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜은 3가지로 분류될 수 있다. Flat-based 라우팅, Clustering-based 라우팅 그리고 Direct communication-based 라우팅이다. Flat-based 라우팅에서는 모든 노드의 역할이 동일하다. 반면에 Clustering-based 라우팅은 노드의 역할이 다르다. Direct communication-based 프로토콜은 모든 노드가 베이스 스테이션으로 직접 데이터를 전송한다[8]. 자세한 라우팅 프로토콜에 대한 설명은 [9 - 14]에서 나타난다.

클러스터링 라우팅 프로토콜은 BS로 데이터 전송 횟수 감소를 위해 데이터 aggregation과 혼합(fusion)을 수행하고, 클러스터 내에 에너지 소모를 줄이는 효과적인 방법이다 [2].

2.1 LEACH

LEACH는 네트워크에 있는 노드에게 에너지 소비를 분배하기 위해 클러스터 헤드(CH)의 임의 교대(random rotation)방식을 이용하는 클러스터 기반의 프로토콜이다. LEACH는 라운드(round)로 구성되며 각 라운드는 set-up 단계로 시작되고 steady-state단계로 넘어간다. set-up단계에서 클러스터를 구성하고 CH가 선택된다. steady-state단계에서는 BS(Base Station)가 위치한 곳으로 실제 데이터를 전송한다. steady-state단계의 기간은 오버헤드를 최소화 하기 위해 set-up단계보다 더 길게 한다. set-up단계 동안에 미리 결정된 노드의 개수, p ,는 CH로 선출된다. 센서 노드는 임의의 숫자 (random number), r ,을 0과 1사이에서 선택한다. 만약 랜덤 넘버가 threshold 값, $T(n)$, 보다 작은 경우 노드는 현재 라운드에서 CH 역할을 수행한다. threshold 값은 현재 라운드에서 CH가 되기 위해 알맞은 퍼센티지를 가

용한 식에 기반을 두어 계산되어 지고 CH로 선택되지 않은 노드의 집합을 G로 표기하였다. 식(1)은 아래와 같다.

$$T(n) = \frac{p}{1 - p(r \bmod (1/p))} \text{ if } n \in G. \quad (1)$$

G는 CH선출에 포함되는 노드의 집합이다. 선택된 모든 CH는 네트워크에 있는 모든 노드에게 ADV 메시지를 브로드캐스팅 한다. 네트워크에 존재하는 모든 일반 노드는 ADV 메시지를 수신한 후 노드가 속하기 원하는 클러스터를 결정한다. 이러한 결정은 ADV 메시지의 신호강도에 기반을 두어 결정한다. 일반 노드는 자신이 클러스터의 멤버가 되기를 원하는 CH에게 메시지를 전송한다. 클러스터에 포함되기를 원하는 모든 노드로부터 메시지를 수신한 CH는 TDMA 스케줄을 생성하고 노드가 전송할 수 있는 time slot을 각각의 노드에게 할당하고 이 스케줄을 클러스터 내에 있는 모든 노드에게 브로드캐스팅한다 [2].

steady-state단계에서 센서 노드는 센싱하고 센싱으로 얻어진 데이터를 CH에게 전송한다. CH노드는 모든 노드로부터 데이터를 수신하고 data aggregation 수행 후 BS로 전송한다. 정해진 시간이 지난 후 네트워크는 다시 set-up 단계로 돌아가고 새로 선택된 CH로 다음 라운드를 시작한다. 각 클러스터는 다른 클러스터에 속한 노드로부터 방해를 감소하기 위해 다른 CDMA 코드를 사용하여 통신한다 [9].

2.2 관련 문제

LEACH에서 사용하는 라디오 모델은 다음과 같다 [9]:

전송 모델

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx-elec}(k) + E_{Tx-amp}(k, d)$$

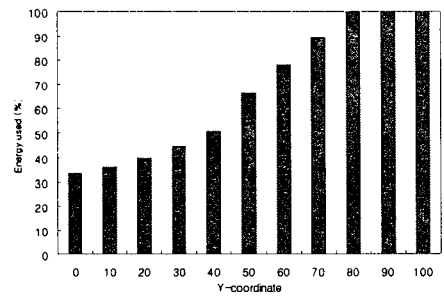
$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d^2 \quad (2)$$

수신 모델

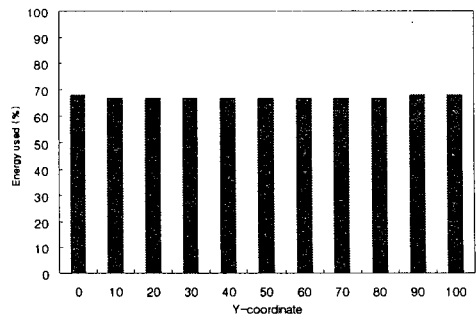
$$E_{Rx}(k) = E_{Rx-elec}(k)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} * k \quad (3)$$

<그림 1>은 BS가 (50, -100)에 위치하고 있을 때 어떤 시점에서 LEACH의 에너지 소비상태를 그래프로 나타낸 것이다. BS에서 가까이 위치한 노드는 에너지 소비가 적은 반면에 BS로부터 멀리 떨어져 있는 노드는 대부분의 에너지를 소모했다. 이러한 에너지 소비의 불균형은 BS로부터 다른 거리에 위치해 있기 때문이다 [10]. 모든 노드가 똑같이 중요하다고 가정한다면 다른 노드에 비해 더 많은 에너지를 소비하는 노드는 없어야 한다. 그러므로 매 순간마다 모든 노드는 최소화된 에너지의 같은 양을 소비해야한다 [11]. 본 논문은 <그림 2>와 같이 LEACH에서의 에너지 소비를 균형적으로 향상시킬 것이다.



<그림 1> LEACH의 에너지 소모량 막대그래프



<그림 2> 이상적인 에너지 소비 그래프

3. 퍼지 로직을 이용한 전송 중계

전송 릴레이는 Relay Cluster Head(RCH)의 남은 에너지, CHs의 BS로부터의 평균거리 그리고 살아있는 노드의 개수를 입력으로 하는 퍼지 로직을 사용하여 LEACH 프로토콜을 향상시킨다. 퍼지 로직 시스템의 출력은 전송 릴레이 여부를 결정하기 위해 사용되는 거리 경계 값이다.

다음 세부 절에서는 전송 릴레이의 작동 방식과 거리 경계 값을 계산하는 방법에 대해 설명한다.

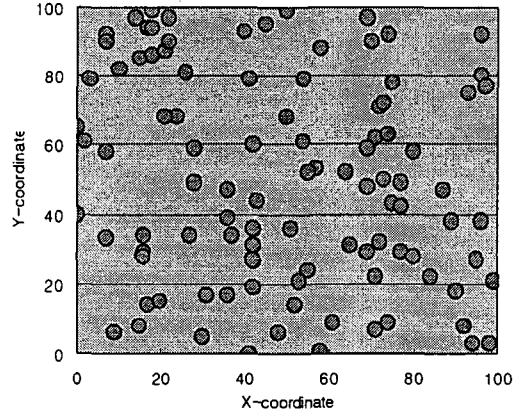
3.1 전송 중계

본 논문에서 센서 네트워크는 다음과 같은 고려사항을 갖는다.

- BS는 센서로부터 멀리 떨어진 곳에 위치한다.
- 네트워크에 있는 모든 노드는 같은 종류이고 에너지가 제한되어 진다.
- 대칭 전송 채널을 사용한다.
- CH는 데이터를 압축한다.
- 모든 노드는 자신의 위치정보를 가지고 있다.

<그림 3>은 100 x 100m의 영역에 위치한 100개의 센서 노드를 나타낸다. 센서 네트워크에서 일반적인 응용은 멀리 떨어진 BS로 센싱된 데이터를 전송한다. 본 논문에서는 모든 노드가 자신의 위치정보를 알고 있다고 가정한다. 노드의 위치 정보는 매우 적은 에너지를 소비하는 GPS 수신기를 장착한 노드가 GPS를 사용하여 위성과 통신에 의해 자신의 위치 정보를 알 수 있다 [12].

식 (2)와 (3)을 사용해서 (40, 0)에 위치한 CH가 데이터를 (50, 200)에 위치한 BS로 전송하는데 8.1 mJ을 사용한 반면 (40, 100)에 위치한 CH는 데이터 전송을 위해 2.1 mJ을

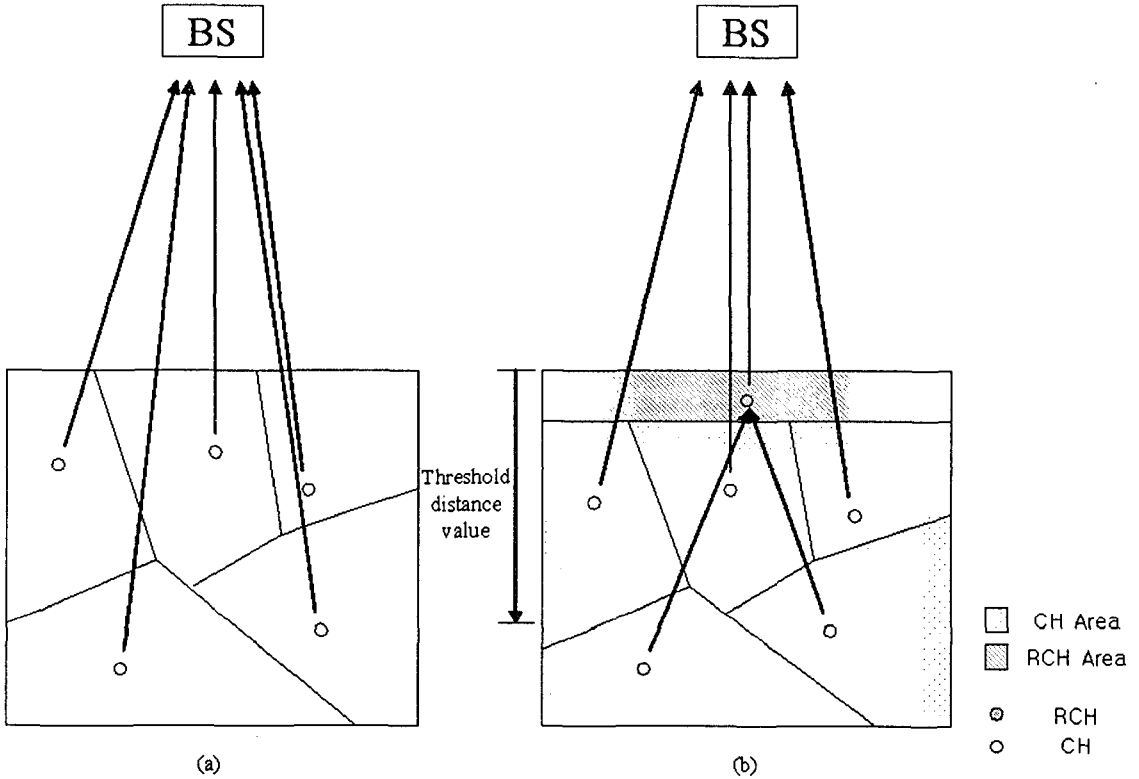


<그림 3> 100m x 100m 네트워크에 배치된 100개의 센서 노드. BS는 (50, 200)에 위치하고 있고 제일 가까운 노드로부터 최소 100m 떨어져 있다.

사용하였다. 데이터를 전송하기 위해 (40, 0)에 위치한 CH는 BS에서 가까이 위치한 CH보다 데이터 전송을 위해 약 4배의 에너지를 더 소모하였다. 그러나 (40, 100)에 위치한 노드가 (40, 0)에 위치한 CH의 전송을 릴레이 한다면 (40, 0)에 위치한 CH의 전송에너지 소모는 2.1 mJ 이고 (40, 100)에 위치한 노드의 에너지 소비는 송수신을 합쳐 3.25 mJ이 된다. 결과적으로 균형적으로 에너지를 소비할 수 있고 전체 에너지 소모량이 릴레이 하는 경우가 약 절반정도의 에너지 소비를 줄일 수 있는 것으로 나타난다.

<그림 4>는 LEACH와 전송 릴레이 메서드(method)간에 CH로부터 BS로 데이터를 어떤 방식으로 전송하는지를 보여준다. <그림 4> (a)에 나타난 것과 같이 LEACH는 거리 임계 값 보다 BS에서 멀리 떨어져있는 CH가 데이터를 BS로 직접 전송한다. <그림 4> (b)에 나타난 전송 릴레이의 경우에는 거리 임계 값 보다 BS에서 멀리 떨어져있는 두 CH가 RCH로 수집한 데이터를 전송하고 RCH는 BS로 데이터를 릴레이 한다.

우리는 BS로부터의 거리에 기반을 두어서 RCH영역과 CH영역 두 그룹으로 네트워크를 나누었다. RCH영역은 BS에서 가장 가까운



<그림 4> (a)는 LEACH의 전송 방식을 표현하고 (b)는 전송 중계 방식을 표현한다. RCH는 거리 경계 값보다 멀리 떨어져 있는 CH의 전송을 중계한다.

곳에서부터 네트워크 운영자에 의해 지정된 위치까지의 영역이다. 만약 RCH영역이 좁은 경우 RCH영역 내에 적은 수의 노드가 CH의 전송 릴레이 하기 때문에 에너지를 빨리 소비할 것이고 반대로 RCH영역이 넓을 경우 RCH영역에는 많은 수의 노드가 CH의 전송을 릴레이 하므로 RCH영역 내에 있는 노드의 에너지 소비는 천천히 이루어지지만 CH영역에는 적은 수의 노드가 CH역할을 수행하기 위해 에너지 소모가 빠를 것이다. RCH영역의 결정은 분포영역의 Y-coordinate, 센싱 영역 그리고 노드의 개수에 따라 결정되어 진다.

RCH와 CH의 선정은 식 (1)에 나타나 있는 LEACH의 랜덤 로테이션(random rotation)방식을 사용해서 선정된다. RCH와 CH의 선출은 RCH영역과 CH영역 각각에서 이루어진다.

CH의 작동방식은 기존 LEACH에서와 같은 방식으로 작동한다. RCH는 CH로부터 BS로 전송을 릴레이해서 BS로부터 멀리 떨어진 CH의 에너지 소비를 감소시킬 수 있다. 그러나 RCH가 모든 CH의 전송을 릴레이 한다면 RCH 노드는 많은 송수신으로 인해 에너지 소비가 빨라져서 RCH영역에 있는 모든 노드가 빨리 죽게 된다. 그러므로, 이러한 방법으로는 에너지의 균일한 소비를 기대할 수 없다.

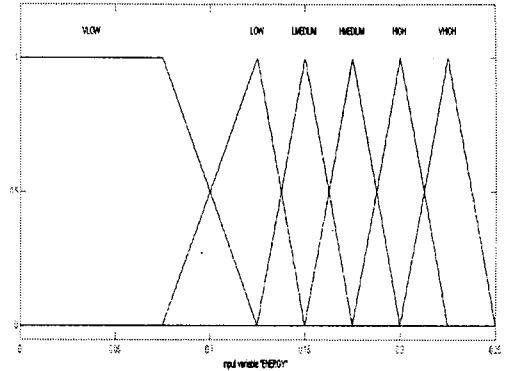
3.2 거리 경계 값

RCH는 거리 경계 값에 기반을 두어서 전송의 릴레이 여부를 판별한다. RCH는 거리 경계 값 보다 멀리 떨어져 있는 CH의 전송만 릴레이 한다. 이러한 거리 경계 값은 퍼지 용

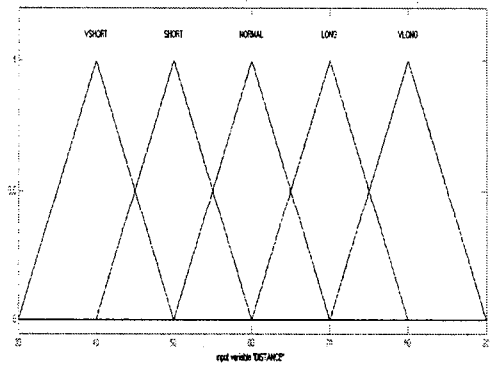
용에 의해 계산되어 지는 값으로 BS에서 가장 가까운 센서 분포 지역으로부터 특정 지점까지의 거리이다. 선출된 모든 CH가 ADV 메시지를 네트워크에 있는 모든 노드에게 브로드캐스팅할 때 CH의 위치정보를 ADV 메시지에 포함시킨다. RCH는 거리 경계 값과 CH의 위치정보를 비교해서 릴레이를 수행할 필요가 있는지를 결정한다. BS로부터 거리 경계 값보다 멀리 떨어져 있는 CH가 있다면 RCH는 CH에게 자신의 위치정보를 알려준다. RCH의 위치정보를 수신한 CH는 BS대신 RCH로 클러스터 내에서 모아진 데이터를 aggregation을 수행 한 후 전송한다.

CH는 CH영역 내에서 다양한 위치로부터 선출되어지므로 고정된 거리 경계 값을 사용한 릴레이는 적합하지 못하다. 그러므로 센서 노드의 life-time의 증가와 에너지의 균일한 소비를 위해서 동적으로 거리 경계 값이 결정 되어져야한다. 우리의 메서드에서 RCH는 RCH의 남은 에너지양, CH의 평균거리, RCH 영역 내에 살아있는 노드의 개수를 기반으로 거리 경계 값을 동적으로 계산한다.

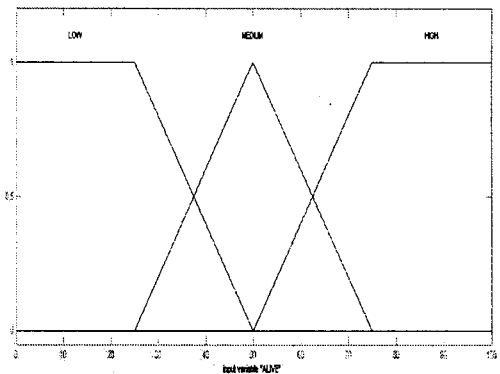
퍼지의 입력은 RCH의 에너지(ENERGY로 표기), CH의 평균거리(DISTANCE로 표기) 그리고 RCH영역 내에 살아있는 노드의 개수(ALIVE로 표기)이다. <그림 5-7>은 각각 퍼지의 입력 ENERGY, DISTANCE와 ALIVE의 멤버십 함수에 대응된다. 각각의 퍼지 언어 변수(linguistic variable)는 다음과 같다. ENERGY = {VLOW, LOW, LMEDIUM, HMEDIUM, HIGH, VHIGH}, DISTANCE = {VSHORT, SHORT, NORMAL, LONG, VLONG}, ALIVE = {LOW, MEDIUM, HIGH}. 퍼지 로직의 출력 파라미터 THRESHOLD는 메서드의 동적인 거리 경계 값으로 정의되어 진다. 출력을 위한 퍼지 언어변수는 <그림 8>에서 보이는 것과 같이 'VSHORT', 'SHORT', 'SNORMAL', 'LNORMAL', 'LONG', 'VLONG'이다.



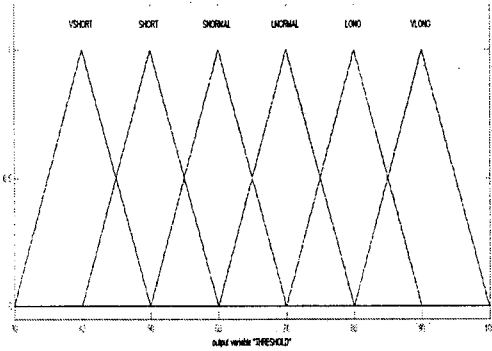
<그림 5> RCH의 남은 에너지양에 대한 멤버십함수 (ENERGY)



<그림 6> CHs의 평균거리에 대한 멤버십함수 (DISTANCE)



<그림 7> 살아있는 노드의 개수에 대한 멤버십함수 (ALIVE)



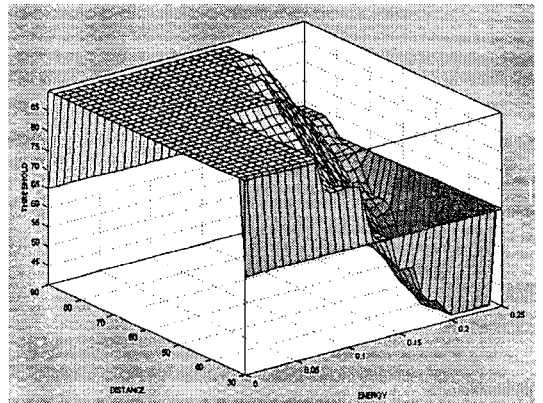
<그림 8> 출력 멤버십함수

동적인 거리 경계 값을 결정하기 위해 ED와 EDA 두가지 다른 퍼지 로직 응용이 있다. ED는 ENERGY와 DISTANCE를 고려하였다. 만약 ENERGY가 HIGH이고 DISTANCE가 NORMAL일 경우 거리 경계 값은 DISTANCE의 NORMAL값보다 작은 값이 설정된다. 예를 들어 VSHORT, SHORT, SNORMAL 값이 있다. 반대로 ENERGY가 LOW이고 DISTANCE가 NORMAL일 경우 거리 경계 값은 DISTANCE의 NORMAL값보다 높은 값으로 설정된다. 예를 들어 LNORMAL, LONG, VLONG 값이 있다. <그림 9>는 퍼지 if-then 룰을 기반으로 컨트롤 서페이스(control surface)를 표현한 것이다. RCH의 남은 에너지양이 적으면(0.1 J 이하) 거리 경계 값은 최대값으로 설정된다.

EDA는 ED보다 ALIVE 변수 한 가지를 더 고려한다. 만약 ENERGY가 LOW이고 DISTANCE가 NORMAL 일 경우라도 거리 경계 값은 ALIVE의 값에 따라 DISTANCE의 NORMAL보다 높을 수도 낮을 수도 있다. 룰의 일부는 다음과 같다.

- R22: IF ENERGY is LOW AND DISTANCE is NORMAL AND ALIVE is LOW THEN THRESHOLD is VLONG
- R24: IF ENERGY is LOW AND DISTANCE is NORMAL AND

- ALIVE is HIGHTHEN THRESHOLD is LNORMAL
- R67: IF ENERGY is HIGH AND DISTANCE is NORMAL AND ALIVE is LOW THEN THRESHOLD is SNORMAL
- R69: IF ENERGY is HIGH AND DISTANCE is NORMAL AND ALIVE is HIGHTHEN THRESHOLD is SHORT
- ...



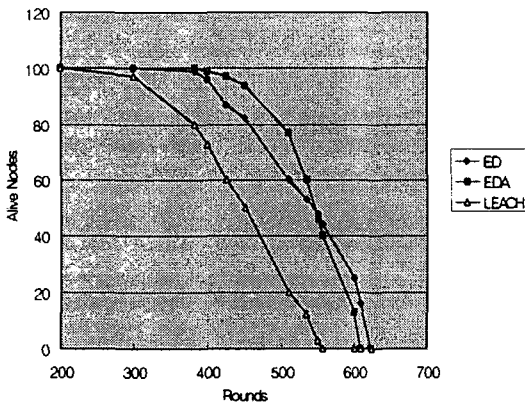
<그림 9> ED (Energy, Distance)의 control surface

4. 시뮬레이션 결과

이 시뮬레이션에서 RCH영역은 센서분포영역의 시작에서부터 15m까지로 설정하였고 전체 분포영역에 100개의 센서가 분포되어 있고 영역의 전체 넓이는 100 x 100m 이다. 각 노드는 시뮬레이션 초기에 0.25 J로 에너지가 초기화 되었다. 센서의 에너지 소모량을 분석하기 위한 시뮬레이션으로 센서 노드의 데이터 전송 에러율을 고려하지 않았다.

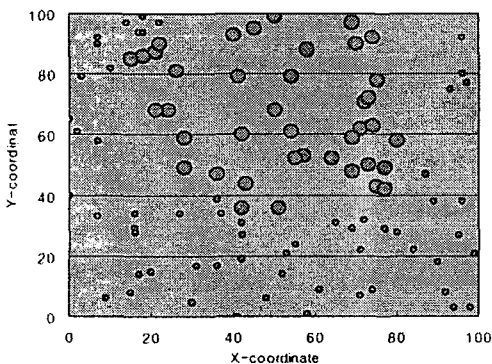
본 논문에서는 LEACH, ED와 EDA를 시뮬레이션 하였다. <그림 10>은 3가지 프로토콜에서 살아있는 노드의 개수에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. LEACH와 2가지 퍼지 프

로토콜을 비교하였다. EDA는 450 라운드(round)에서 LEACH에 비해 살아 있는 노드의 개수가 약 2배 많고 네트워크의 life-time은 약 10%증가 하였다. ED는 450 라운드에서 살아있는 노드의 개수가 60%증가 하였고 네트워크의 life-time은 15%증가 하였다.

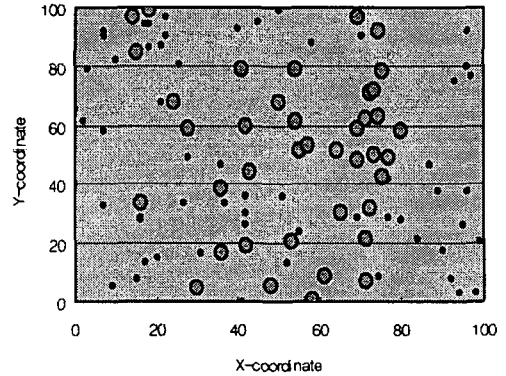


<그림 10> 살아 있는 노드개수/라운드

<그림 3>은 초기에 센서분포를 나타내고 <그림 11-13>은 에너지를 전부 소진한 노드의 개수가 60개일 때를 각각 표현한 것이다. LEACH의 경우 BS에서 약 170m 이상 떨어진 곳에 위치한 노드는 에너지를 전부 소모한 반면에 ED와 EDA는 LEACH에 비해 BS로부터 떨어진 거리에 관계없이 에너지 소모가 균일하게 나타나고 있다.



<그림 11> LEACH에서 살아남은 노드의 분포



<그림 12> EDA에서 살아남은 노드의 분포

EDA는 ED와 에너지 소모가 비슷해 보이지만 EDA는 RCH영역 내에 살아있는 노드의 개수를 파악하기 위해서 메시지를 브로드캐스팅하기 때문에 에너지 소모량은 ED에 비해서 더 많다.

5. 결론 및 향후 과제

BS로부터 센서 노드까지의 다른 거리가 노드간 에너지 소모 불균형의 원인이 된다. 이러한 점은 센서 네트워크의 가용성을 감소시킨다. 본 논문에서는 퍼지 로직 응용을 가지고 센서 노드에서 에너지의 균일한 소비를 위해 BS와 CH사이의 전송을 릴레이 하는 방법을 제안하였다. 퍼지 로직은 RCH영역 내에 살아있는 노드의 개수, BS로부터 CH의 평균거리와 RCH노드의 남아있는 에너지양에 기반을 두어 동적인 거리 경계 값을 결정한다. RCH는 CH의 위치정보와 거리 경계 값에 따라 특정 전송의 릴레이 여부를 결정한다. 시뮬레이션 결과 제안된 메시드가 배치된 노드의 평균 life-time을 늘리고 에너지의 균형적 소비를 보여준다.

향후 과제로는 노드의 에너지 효율적인 사용을 위해 노드의 밀도를 고려해서 클러스터를 구성하는 방법이 필요하다.

참고문헌

- [1] K. Akkaya and M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," *Ad hoc networks*, vol. 3, no. 3, pp. 325-349, 2004.
- [2] J.N. Al-Karaki and A.E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey," *Wireless Communications*, vol. 11, issue 6, Dec. 2004.
- [3] A. Mainwaring, J. Polastre, R. Szewczyk, D. Culler, and J. Anderson, "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring," *Wireless sensor networks & applications*, pp. 88-97, 2002.
- [4] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, and S. Kumar, "Scalable Coordination in Sensor Networks," *Proc. Mobicom*, pp. 263 -270, Aug. 1999.
- [5] J. Kahn, R. Katz, and K. Pister, "Mobile Networking for Smart Dust," *Proc. Mobicom*, pp. 271-278, Aug. 1999.
- [6] J.M. Kahn, R.H. Katz, and K.S.J. Pister, "Next Century Challenges: Mobile Networking for Smart Dust," *Proc. MobiCom*, pp. 271-278, Aug. 1999.
- [7] G.J. Pottie and W.J. Kaiser, "Wireless Integrated Network Sensors," *Communications of the ACM*, vol. 43, no. 5, pp 51-58, May 2000.
- [8] Q. Jiang and D. Manivannan, "Routing protocols for sensor networks," *Proc. CCNC*, pp. 93 - 98, Jan. 2004.
- [9] D. Braginsky and D. Estrin, "Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks," *Proc. 1st Wksp. Sensor Networks and Apps.*, pp. 22 - 31, Oct. 2002
- [10] R. C. Shah and J. Rabaey, "Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks," *IEEE WCNC*, vol. 1, pp. 350 - 355, Mar. 2002.
- [11] W. Heinzeleman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," *Proc. Hawaii Conf. on Sys. Sci.*, pp. 3005 - 3014, Jan. 2000
- [12] S. Lindsey and C. Raghavendra, "PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems," *IEEE Aerospace Conf. Proc.*, vol. 3, pp. 1125 - 1130, 2002.
- [13] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin, "Geography-informed Energy Conservation for Ad-hoc Routing," *Proc. 7th Annual ACM/IEEE Int'l. Conf. Mobile Comp. and Net.*, pp. 70 - 84, 2001
- [14] I. Stojmenovic and X. Lin, "GEDIR: Loop-Free Location Based Routing in Wireless Networks," *Int'l. Conf. Parallel and Distrib. Comp. and Sys.*, pp. 1025 - 1028 Nov. 1999.
- [15] W. Heinzeleman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," *Proc. Hawaii Conf. on Sys. Sci.*, pp. 3005 - 3014, Jan. 2000.
- [16] S. Lee, J. Yoo, and T. Chung, "Distance-based Energy Efficient Clustering from Wireless Sensor Networks," *Proc. IEEE Int'l Conf. on Local Comp. Net.*, pp. 567 - 568, Nov. 2004.
- [17] C. Schurgers and M.B. Srivastava, "Energy efficient routing in wireless sensor networks," *Proc. MILCOM*, vol. 1, pp. 357 - 361, Oct. 2001.
- [18] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin, "Geography-informed Energy Conservation for Ad-hoc Routing," *Proc. ACM/IEEE int'l. Conf. on Mobile Comp. and Net.*, pp. 70-84, Jul. 2001.

주 작 성 자 : 백 승 범
 논문 투 고 일 : 2005. 07. 12
 논문 심사 일 : 2005. 08. 02(1차), 2005. 08. 08(2차),
 2005. 09. 02(3차)
 심사 판 정 일 : 2005. 09. 02

● 저자소개 ●



백승범
 2003 성공회대학교 컴퓨터정보공학과 학사
 2004 ~ 현재 성균관대학교 정보통신공학부 석사과정
 관심분야: USN, 모델링 및 시뮬레이션, 네트워크 보안



조대호
 1983 성균관대학교 전자공학과 학사
 1988 University of Alabama 전자공학과 석사
 1993 University of Arizona 전자 및 컴퓨터공학 박사
 1993 ~ 1995 경남대학교 전자계산학과 전임강사
 1995 ~ 1999 성균관대학교 전기 전자 및 컴퓨터공학부 조교수
 1999 ~ 2002 성균관대학교 전기 전자 및 컴퓨터공학부 부교수
 2002 ~ 2004 성균관대학교 정보통신공학부 부교수
 2004 ~ 현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수
 관심분야: USN, 모델링 및 시뮬레이션, 지능 시스템, 네트워크 보안