논문 2012-49CI-1-6

무선 센서 네트워크의 성능 향상을 위한 새로운 라우팅 알고리즘

(A New Routing Algorithm for Performance improvement of Wireless Sensor Networks)

양 현 석*, 김 도 형*, 박 준 열*, 이 태 봉**

(Hyunsuk Yang, Dohyung Kim, Joonyeol Park, and Taebong Lee)

요 약

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)는 사람이 직접 접근하기 불가능한 군사지역이나 자연 환경의 감시, 혹은 안전감시를 위한 목적으로 각 상황의 특성에 맞는 다양한 정보를 수집하는데 많이 이용되고 있다.[1] 지금까지 제시된 프로토콜 중 LEACH 프로토콜은 에너지의 균등한 소모를 특징으로 많이 쓰이고 있다.[4] 하지만 거리에 따른 에너지 소모의 증가로 원거리 노드의 에너지 소모 문제가 대두되었는데, 지금까지 여러 가지 해결방안들이 제시되었는데[5~8] 대부분 중앙 시스템 방식이다. 본 논문에서는 LEACH 프로토콜을 사용한 무선 센서 네트워크를 모델로 하여, 네트워크 규모가 커질수록 1-hop 전송 방식에서 발생할 수 있는 원거리 센서 노드의 에너지 불균형 문제를 해결하였다. 또한, 중앙 시스템 방식이 아닌 센서 노드 자체에서 클러스터링 문제를 해결할 수 있는 분산 시스템 방식의 라이프타임 향상 알고리즘을 제안하였다.

Abstract

In this paper, a distributed 2-hop routing algorithm is proposed. The main purpose of the proposed algorithm is to reduce the overall power consumption of each sensor node so that the lifetime of WSN(wireless sensor network) is prolonged. At the beginning of each round, the base station transmits a synchronization signal that contains information on the priority table that is used to decide whether each sensor node is elected as a cluster head or not. The priority table is constructed so that sensor nodes closer to half energy distance from the base station get the higher priority. 2-hop routing is done as follows. Cluster heads inside half energy distance from the base station communicate with the base station directly. Those outside half energy distance have to decide whether they choose 2-hop routing or 1-hop routing. To do this, each cluster head outside half energy distance calculates the energy consumption needed to communicate with the base station via 1-level cluster head or directly. If less energy is needed when passing through the 1-level cluster head, 2-hop routing is chosen and if not, 1-hop routing is chosen. After routing is done each sensor nodes start sensing data.

Keywords : Wireless Sensor Network, Routing algorithm, LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy),

Ⅰ. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network , WSN)는 저전력・저가격의 무선통신 기술, 초소형 마이크로프로세서 기술, 자동 구성이 가능한 Ad-hoc 네트워크 기술, MEMS 기술, 다양한 종류의 스마트 센서 기술, 그리고 임베디드 시스템 기술 등의 발전으로 다양한 IT 기술에 사용되고 있다. 수많은 센서 노드들로 구성된 무선 센서 네트워크는 데이터 수집이나 특정 목적으로 정보를 수집하는 환경 감시, 의료 시스템, 군사 부문 등 다양한 분야에 적용 가능하여, 무선 센서 네트

* 정회원, 홍익대학교 전자전기공학부
(Department of Electronic and Electrical Engineering, HongIk University)
** 정회원, 가천대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering, Gachon University)
※ 2011년 홍익대학교 교내연구비 지원에 의한 결과임
접수일자: 2011년10월4일, 수정완료일: 2012년1월3일

워크 관련 기술들은 매우 유용한 기술로 발전하고 있다[1, 6].

무선 센서 네트워크는 현재 사용 중인 유선 네트워크와는 다른 조건들을 요구한다. 무선 센서 노드들은 임의로 배치되어 네트워크의 멤버로서 등록하여 자가 네트워크를 구성해야 한다. 주변 데이터 측정은 각 센서 노드 자체적으로 할 수 있으나, 센싱한 데이터를 베이스 스테이션에 효율적으로 전송하기 위해서는 라우팅 프로토콜이 필요하다[2].

대표적으로 많이 쓰이는 LEACH 프로토콜은 1-hop 전송 방식으로 베이스 스테이션에 데이터를 전송한다. 그러나 센서 필드의 규모가 커짐으로써, 베이스 스테이션에서 멀리 있는 센서 노드는 다른 노드에 비하여 에너지 소모가 증가하여 동작시간이 짧아지게 된다. 게다가 원거리 센서 노드가 동작을 멈춤으로써 센싱 구역의 불균형이 생기고, 센서 노드의 추가 배치가 요구된다.[2]

이러한 문제를 2-hop 전송 방식을 통해 해결하기 위해 1레벨 클러스터를 선택하는 기법을 제시하고, 가중치를 부여한 클러스터 헤드 선정 기법을 통해 라이프타임을 증가시킬 수 있는 알고리즘을 제시하였다.

Ⅱ. 본 론

무선 센서 네트워크는 한정된 자원을 사용한 노드들로 구성되어 있어서 전력 효율성을 중시한다. 현재 라우팅 프로토콜이나 하드웨어 개발을 통한 전력 절감 및 네트워크의 라이프타임을 향상시키는 방법들이 제시되고 있다[3~8].

특정 센서 노드에서 측정한 값을 네트워크를 통하여 베이스 스테이션으로 전송하는데 있어서 노드들 혹은, 노드들과 베이스 스테이션 간의 거리는 전력 면에서 많은 문제가 된다. 전송 거리가 클수록 에너지 소모가 크기 때문에, 에너지 측면에서 네트워크 구조가 지속되기 힘들다.

1. LEACH 프로토콜[4]

LEACH 프로토콜은 센서 네트워크의 전체 에너지 효율을 높이고자 개발된 프로토콜이다. 데이터가 집중되어 에너지 소모가 큰 클러스터 헤더의 역할을 각 노드가 번갈아가며 맡아 에너지 소모를 균등하게 분산하여, 네트워크의 라이프타임을 개선한 알고리즘이다.

LEACH 는 다음과 같은 가정 하에 개발되었다.

- 베이스 스테이션은 노드들로부터 멀리 떨어져있으며 고정되어있다.
- 네트워크 내의 모든 노드들은 homogeneous 하고 에너지에 종속된다.
- 모든 노드는 베이스 스테이션과 통신이 가능하다.
- 노드들은 위치 정보를 갖고 있지 않다.
- 균형 잡힌 전파 채널을 갖는다.
- 노드들은 항상 전송할 데이터를 가지고 있다.
- 노드들은 밀집되어 있어서 인접 노드들의 데이터는 서로 연관되어 있다.
- 클러스터 헤드는 전송받은 데이터를 집약하여 전송한다.

LEACH 프로토콜을 사용하면 전체 센서 노드 중 p 비율(일반적으로 5%)로 클러스터 헤드를 선정되게 하는데, 센서 노드 내부에서 계산하고 자체적으로 클러스터 헤드로 결정되기 때문에, 중앙 관리 방식이 아닌 분산 관리 시스템이다.

setup 단계에서 전체 센서 노드 중 n 번 센서 노드는 0과 1 사이의 숫자를 임의로 선택하고 만약 식 (1)의 $T(n)$보다 작다면 n 번 센서 노드는 $r+1$ 번째 라운드의 클러스터 헤드로 동작한다[4].

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

여기서 $T(n)$은 threshold 값이고, G는 $1/p$ 라운드 중 현재 라운드 r 까지 클러스터 노드가 되지 못한 노드들의 집합이다.

LEACH 프로토콜에서 클러스터 헤드는 센서 노드 내부에서 결정되기 때문에 클러스터 헤드들의 위치가 센서 필드의 한군데로 몰려서 클러스터 크기의 불균형 및 에너지의 과도한 소모 등의 문제를 야기한다.

이러한 문제를 해결하기 위해 multi-hop 전송[8]이 제시되고 있는데 원거리 전송에 있어서 1-hop 전송보다 multi-hop 전송이 균형적인 에너지 소모로 네트워크 라이프타임의 향상을 가져왔지만, 많은 데이터를 베이스 스테이션에 전달하다 보면 베이스 스테이션 근처의 센서 노드 에너지가 먼저 고갈되어 동작을 멈추게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 베이스 스테이션 근처에 센서 노드를 추가로 배치하거나, 에너지 용량이 큰 super 노드를 배치하거나, 베이스 스테이션 근처의 클

러스터의 크기를 줄여서 클러스터 내부의 전송데이터에 대한 부담을 줄이는 등 여러 가지 방법들이 제시 되었다. 하지만, 센서 노드의 추가 배치 방식이나 에너지 용량이 큰 super 노드 배치 방식은 추가적인 비용이 발생한다.

2. 제안 알고리즘

가. 구역 분할에 의한 2-hop 전송 알고리즘

그림 1과 같이 베이스 스테이션에서 센서 필드의 크기를 알고 있다고 가정하고, 베이스 스테이션에서 가장 먼 거리를 $d_{\max}$, 가장 가까운 거리를 $d_{\min}$이라 할 때, 중간 지점 d_{mid}는 식(2)와 같다.

$$d_{mid} = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2} \tag{2}$$

그림 1에서 d_{mid}을 기준으로 센서 필드를 나누었을 때, 베이스 스테이션과 거리가 가까운 구역을 Near region, 거리가 먼 구역을 Far region으로 정하였다. 베이스 스테이션에서는 무선 센서 네트워크 구동시 synchronization 신호를 전송할 때 이렇게 계산된 d_{mid}를 전송할 수 있는 에너지양 E_{mid}를 포함하여 전송하게 한다. 각 센서 노드에서는 자신이 수신한 베이스 스테이션 신호의 세기로 베이스 스테이션에 대한 전송 에너지를 계산하고, 수신된 E_{mid}와 비교하여 자신이 Near region와 Far region 중에 어디에 속하는지 알 수 있다.

클러스터 헤드 선정 시, 클러스터 헤드의 위치에 따라 3가지 경우로 나눌 수 있다.

첫째, 하나의 구역에 모든 클러스터 헤드가 모여 있는 경우(Near or Far), 각 클러스터 헤드는 경유하는 1레벨 클러스터 헤드 없이 베이스 스테이션에 직접 전송한다.

둘째, 두 구역에 클러스터 헤드가 나뉘어 있는 경우, Near region에 존재하는 클러스터 헤드 중에 기준이었던 d_{mid}와 가장 가까이 존재하는 클러스터 헤드를 1레벨 클러스터 헤드(CH_{mid})로써 사용한다. Far region에 존재하는 클러스터 헤드(들)은 CH_{mid}과의 에너지 거리를 측정하고, 1-hop 전송 방식보다 에너지 소모가 적을 경우, CH_{mid}을 경유하여 전송한다. CH_{mid}는 Far region에 존재하는 클러스터 헤드(들)의 전송 에너지를 계산하고, 2-hop 전송이 유리한 경우의 클러스터 헤드들의 데이터를 위한 TDMA 시간 slot을 할당한다.

셋째, CH_{mid} 선정 시 d_{mid}와 거리가 가까운 클러스터 헤드가 2개 이상 존재할 수도 있다. 이 경우 분산 시스템으로 동작하도록 설정하기 위하여, 복잡한 계산에 의한 부담이 없도록 Far region의 클러스터 헤드에서 베이스 스테이션으로 직접 전송하도록 하고 있다.

나. 구역 분할과 가중치를 적용한 라우팅 알고리즘

LEACH 프로토콜을 사용하여 네트워크를 구동시키면, 클러스터 헤드의 위치가 확률적으로 결정되므로, 항상 같은 크기의 클러스터 구성이 불가능하다. hybrid 2-hop 전송 방식에서 클러스터 헤드들과 베이스 스테이션의 거리가 그림 2-(a)와 같이 ideal 한 경우도 발생하지만, 그림 2-(b)와 같이 최악의 경우 센서필드의 양 끝단에 위치하여 2레벨 클러스터 헤드들은 2-hop 전송을 하면서도 베이스 스테이션에 전송할 때의 에너지와 비슷한 에너지를 소모할 수도 있다.

이러한 상황을 방지하고자 LEACH 프로토콜에서 제

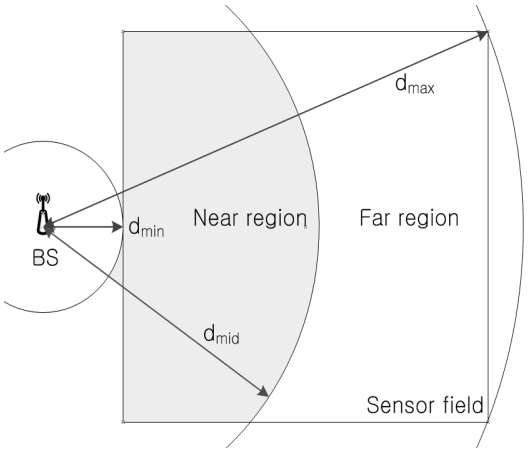


그림 1. d_{mid} 기준 분할 센서 필드
Fig. 1. Sensor field separated by d_{mid}.

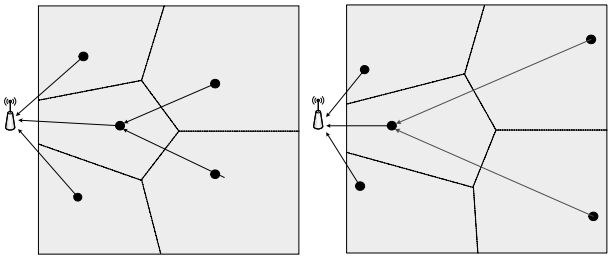


그림 2. hybrid 2-hop 라우팅 예
Fig. 2. cases of hybrid 2-hop routing.

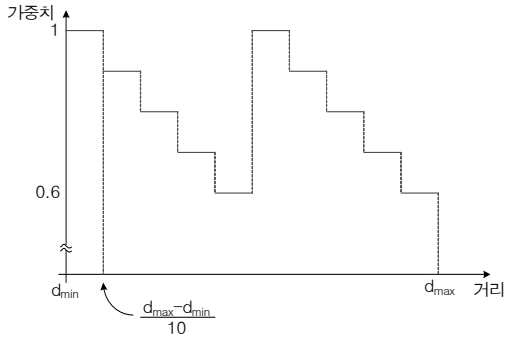


그림 3. 클러스터 헤드간의 거리 가중치 함수
Fig. 3. Priority function by distance between cluster heads.

시한 threshold 계산식에 가중치를 부여하는 방법을 제시한다.[9]

앞에서 제시한 구역 분할에 의한 2-hop 전송 방식은 클러스터 헤드 중 1 레벨 클러스터 헤드를 선정하는 알고리즘이다. 클러스터 헤드 선정 방식은 LEACH 프로토콜을 그대로 사용하였으므로 클러스터 헤드 위치는 확률적으로 변한다. LEACH 프로토콜이 제시된 이후 많은 논문에서 확률적으로 분포하는 클러스터 헤드의 위치를 보상하기 위해 많은 연구를 하였다.[7]

구역 분할 방식에서 전체 구역을 2개로 구분하였으며, 2개로 구분된 구역에서 클러스터 헤드의 위치를 확률적으로 정하였다. 2개의 구역으로 나뉜 상태에서 클러스터 헤드들의 위치가 양단으로 나뉘는 경우를 방지하고자, 서로 비슷한 거리를 유지할 수 있도록 클러스터 헤드들을 형성하도록 가중치를 부여하고자 한다. 베이스 스테이션에서의 거리에 따라 그림 3과 같이 가중치를 부여하였다.

베이스 스테이션에서는 각 구간 별로 네트워크 구동 시 전송하는 synchronization 신호에 E_{mid}와 가중치 값 fn_{pr}을 포함하여 전파한다. 베이스 스테이션에서 전송된 신호를 수신한 센서 노드에서는 베이스 스테이션에서 전파된 신호의 에너지를 측정하여 가중치를 결정한다. 각 센서 노드에서는 가중치를 LEACH 프로토콜에서 제시한 threshold 함수에 곱하여 새로운 $T(n)'$을 정의한다.

$$T(n)' = T(n) \times fn_{pr} \tag{3}$$

식 (3)의 $T(n)'$는 클러스터 헤드 선정시 1레벨 클러스터 헤드와 1레벨 클러스터 헤드를 통해 전송하는 2레벨 클러스터 헤드 사이의 거리를 일정하게 유지하여 2-hop 전송시 발생하는 그림 2-(b)와 같은 문제를 해결한다.

Ⅲ. 시뮬레이션 및 결과

LEACH와 제안 알고리즘의 성능을 표 1의 변수를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 표 1의 변수를 제외한 나머지 센서 필드의 크기, 베이스 스테이션의 위치, 각 센서 노드의 초기 에너지 등은 각 실험 별로 변경하여 시뮬레이션 하였다.

표 1. 시뮬레이션 변수 설정
Table 1. variables used in simulation.

변수	설정
센싱 에너지	1 nJ
전송 에너지	50 nJ/bit
증폭 에너지	10 pJ/bit/m^2
전송 데이터 량	2000 bits
ADV/JOIN 메시지 량	64 bits
데이터 집약 비율	70 %
path loss exponent	2

1. 100×100 센서필드(100개의 센서 노드, 베이스 스테이션 : (50,150), 1J의 초기에너지)

그림 5와 그림 6을 보면 제안 알고리즘의 50% 라이프타임이 더 길고, LEACH의 경우 원거리 노드의 동작이 멈추었음을 알 수 있다. 그림 6의 제안 알고리즘의 경우 1레벨 클러스터로 동작하는 센서 노드가 밀집한 곳에서 노드들의 동작이 멈추었음을 볼 수 있다. 50% 이상의 노드가 동작을 멈춘 경우 집약 데이터의 수가 줄어서 노드에서 소모되는 전송에너지가 줄어서 몇몇 노드만이 남아서 데이터를 전송하므로 최종 동작을 멈추는 라운드수는 중요성이 떨어진다.

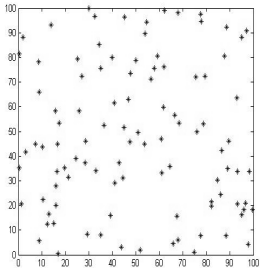
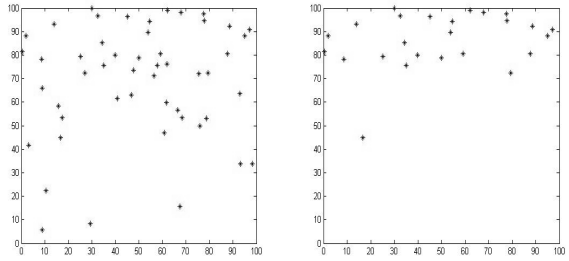
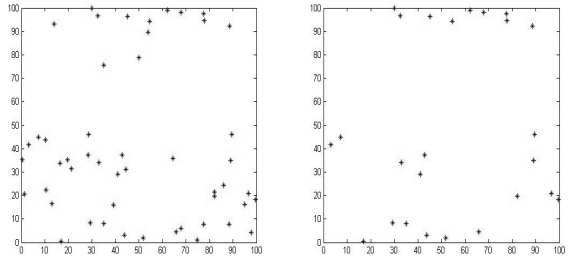


그림 4. 100×100 센서 필드에서 노드분포(100개의 노드)
Fig. 4. Node distribution in 100×100 sensor field. (100 nodes)



(a) 50% 생존(513 라운드) (b) 25% 생존(798 라운드)

그림 5. LEACH 프로토콜의 생존 노드 분포(100×100)
Fig. 5. Active sensor node distribution of LEACH. (100×100)



(a) 50% 생존(784 라운드) (b) 25% 생존(984 라운드)

그림 6. 제안 알고리즘의 생존 노드 분포(100×100)
Fig. 6. Active sensor node distribution of proposed algorithm(100×100).

2. 1000×1000 센서필드(100개의 센서 노드, 베이스 스테이션 : (500,1050), 5J의 초기에너지)

그림 8과 그림 9를 보면 LEACH의 경우보다 제안 알고리즘의 경우 생존 노드가 고른 분포를 보인다. 센서 필드 규모가 증가함에 따라 제안 알고리즘은 성능 향상을 보인다.

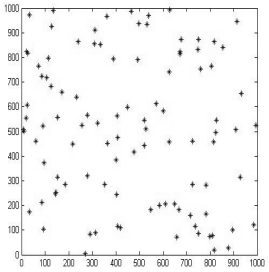
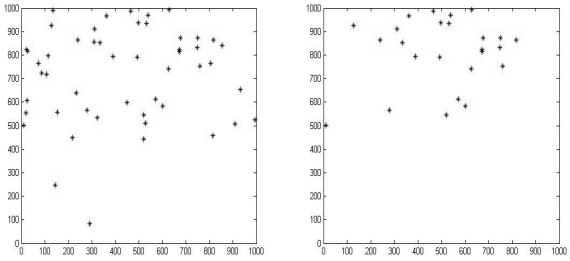
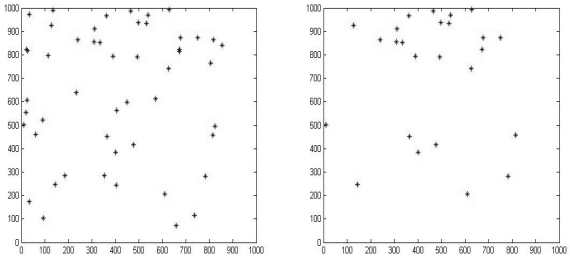


그림 7. 1000×1000 센서 필드에서 노드분포 (100개의 노드)
Fig. 7. Node distribution in 1000×1000 sensor field. (100 nodes)



(a) 50% 생존(86 라운드) (b) 25% 생존(126 라운드)

그림 8. LEACH 프로토콜의 생존 노드 분포(1000×1000)
Fig. 8. Active sensor node distribution of LEACH. (1000×1000)



(a) 50% 생존(93 라운드) (b) 25% 생존(137 라운드)

그림 9. 제안 알고리즘의 생존 노드 분포(1000×1000)
Fig. 9. Active sensor node distribution of proposed algorithm(1000×1000).

3. 1000×1000 센서필드(1000개의 센서 노드, 베이스 스테이션 : (500,1050), 10J의 초기에너지)

그림 11과 그림 12를 보면 III-2의 결과와 비교하여 제안 알고리즘의 경우 더 나은 분포를 보인다. 센서 필드 규모의 증가와 센싱 데이터의 증가는 제안 알고리즘의 경우 더 나은 성능 향상을 보인다.

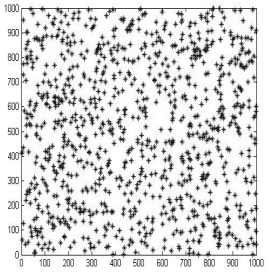
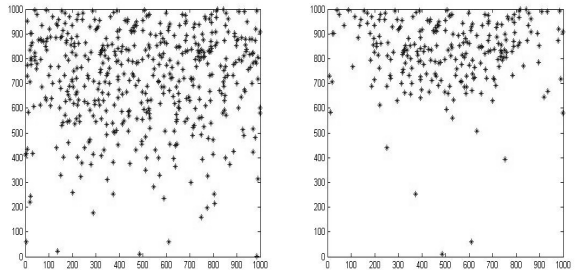
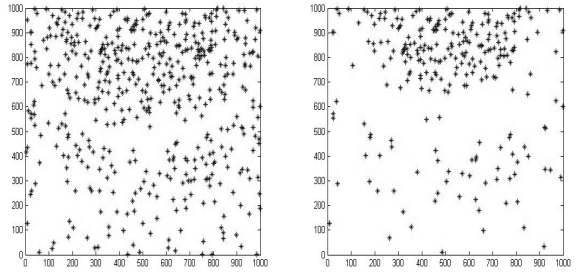


그림 10. 1000×1000 센서필드에서 노드 분포 (1000개의 노드)
Fig. 10. Node distribution in 1000×1000 sensor field. (1000 nodes).



(a) 50% 생존(227 라운드) (a) 25% 생존(443 라운드)

그림 11. LEACH 프로토콜의 생존 노드 분포(1000×1000)
Fig. 11. Active sensor node distribution of LEACH. (1000×1000)



(a) 50% 생존(340 라운드) (b) 25% 생존(537 라운드)

그림 12. 제안 알고리즘의 생존 노드 분포(1000×1000)
Fig. 12. Active sensor node distribution of proposed algorithm(1000×1000).

Ⅳ. 결 론

제안하는 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통하여 확인해 볼 수 있었다. 센서 노드의 분포를 통해 제안 알고리즘은 host에게 센서 노드 배치 간격을 증가시켜 무선 센서 네트워크 구성비용을 줄일 수 있다.

무선 센서 네트워크의 규모 증가는 LEACH 프로토콜을 사용했을 때, 원거리 센서 노드의 짧은 수명은 센서 필드에서 생존 노드의 편중 현상을 야기하고, host로 하여금 센서 노드의 추가 배치를 필요로 하게 한다. 시뮬레이션 결과에서 센서 노드가 50% 생존 시, LEACH 프로토콜을 사용한 무선 센서 네트워크에서는 생존 센서 노드가 베이스 스테이션 근처에 편중되어 센서 노드의 추가 배치를 필요로 하지만, 2-hop 라우팅과 제안 알고리즘을 사용한 무선 센서 네트워크에서는 편중 현상 없이 고른 분포를 보이며, 센서 노드의 추가 배치 시간 간격을 늘려서 비용을 절감할 수 있음을 알 수 있다.

또한, 제안 알고리즘은 센서 네트워크의 규모 증가로 인한 라이프타임 감소를 효율적인 2-hop 전송 방식을 적용하여 해결하고, 데이터 트래픽 증가에 따른 에너지 소모 문제에 대해 향상된 라이프타임을 보였으며, 현재 제시되고 있는 중앙 시스템 방식의 multi-hop 방식이 아닌 LEACH 프로토콜의 특성인 분산 시스템 방식을 유지하며 센서 네트워크의 라이프타임의 증가를 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E.Cayirci , “Wireless sensor networks: a survey”, *IEEE Trans. Computernetworks*, Vol38, pp.393-422, March2002.

[2] Edgar H. Callaway, Jr., “*Wireless sensor networks, archtectures and protocol*”, Auerbach Publications.

[3] Al-Karaki, J.N, Kamal, A.E. “Routing techniques in wireless sensor networks: a survey”, *IEEE Wireless Communications*, Vol.11 pp.6-28, Dec 2004.

[4] W .Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, “Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks”, Proc. 33rd *Hawaii Int'l.Conf.Sys. Sci.*, Jan. 2000.

[5] R. C. Shah and J.Rabaey, “Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Networks”, *IEEE WCN*C, Mar. 2002.

[6] S.Lindsey and C. Raghavendra, “PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems”, *IEEE Aerospace Conf.Proc.*, 2002.

[7] Chaurasiya, V.K, Kumar, S.R, Verma, S, Nandi, G.C, “Traffic based clustering in wireless sensor network”, *Wireless Communication and Sensor Networks*, Fourth International Conference on, pp.83-88, 2008.

[8] Farooq, M.O, Dogar, A.B, Shah, G.A. “MR-LEACH: Multi-hop Routing with Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy”, *Sensor Technologies and Applications* (SENSORCOMM), 2010 Fourth International Conference on, pp.262-268, Aug 2010.

[9] 오세준, 허선, 이건우, “무선 센서 네트워크에서 에너지의 효율적 사용방법”, *IE Interfaces,* vol.23.

저 자 소 개

양 현 석(정회원)
1984년 Purdue University 전자공학과 학사 졸업.
1991년 University of California Berkeley 전자공학 박사
1992년~현재 홍익대학교 전자전기공학부 교수
<주관심분야 : 최적제어, 통신시스템, 제어이론>

김 도 형(정회원)-교신저자
1997년 홍익대학교 전자전기제어공학부 학사 졸업.
1999년 동 대학원 전자공학과 석사 졸업.
2011년 동 대학원 전자정보통신공학과 박사 졸업.
<주관심분야 : 분산시스템, 무선센서네트워크, 분산 파일 저장 시스템>

박 준 열(정회원)
1974년 서울대학교 응용수학과 졸업.
1977년 동 대학원 전자공학과 석사 졸업.
1986년 동 대학원 전자공학과 박사 졸업.
1980년~현재 홍익대학교 전자전기공학부 교수
<주관심분야 : 퍼지시스템, 슬라이딩 모드 시스템, 비선형 제어>

이 태 봉(정회원)
1986년 2월 홍익대학교 전자공학과 졸업.
1989년 2월 동 대학원 석사.
1994년 2월 동 대학원 박사.
1995년 3월~현재 경원대학교 전자공학과 교수.
<주관심분야 : 강인제어, GMDH>