

무선 센서망에서 에너지 효율적인 클러스터 재구성을 위한 동적 헤드 선출 방법

준회원 조 용 현*, 이 향 택**, 종신회원 노 병 희**, 정회원 유 승 화**

Dynamic Head Election Method For Energy-Efficient Cluster Reconfiguration In Wireless Sensor Networks

Yong-hyun Jo*, Hyang-tack Lee**, Byeong-hee Roh**, S.W. Yoo** *Regular Members*

요 약

센서망의 효율적인 운영을 위하여, 센서들이 에너지를 효율적으로 사용하도록 설계하는 것이 매우 중요하다. LEACH와 같은 클러스터 기반의 라우팅 방법들은 클러스터 헤드들과 센서 노드들 간의 데이터 전달을 통하여 에너지의 효율성을 얻는다. 이러한 클러스터 기반의 방식들에서, 클러스터 재구성 알고리즘은 센서망의 오랜 생존 시간을 이루기 위한 가장 중요한 문제 중의 하나이다. 본 논문에서는, 새로운 에너지 효율적인 클러스터 재구성 방법을 제안한다. 제안 방법은 센서노드들의 위치나 에너지에 대한 정보를 요구하지 않고, 센서망 내의 모든 노드들이 에너지를 균등하게 사용할 수 있도록 클러스터를 재구성하여 준다. 제안방법의 성능을 LEACH와 LEACH-C등과 비교하였다.

Key Words : 센서 네트워크, 클러스터 재구성, LEACH, LEACH-C, 애드 혹 네트워크

ABSTRACT

For the efficient operation of sensor networks, it is very important to design sensor networks for sensors to utilize their energies in very effective ways. Cluster-based routing schemes such as LEACH can achieve their energy efficiencies by delivering data between cluster heads and sensor nodes. In those cluster-based schemes, cluster reconfiguration algorithm is one of the most critical issues to achieve longer operation lifetime of sensor networks. In this paper, we propose a new energy efficient cluster reconfiguration algorithm. Proposed method does not require any location or energy information of sensors, and can configure clusters with fair cluster regions such that all the sensors in a sensor network can utilize their energies equally. The performances of the proposed scheme have been compared with LEACH and LEACH-C.

I. 서론

무선 센서망을 설계하는데 있어서 고려하여야 할 주요 사항들 중의 하나는 센서들이 에너지를 효율적으로 사용하여 에너지 소비를 최소화함으로써 센

서망의 수명을 최대화 하는 것이다.

센서망의 에너지 효율을 높이기 위한 매우 다양한 방법들이 제안되었다¹⁻⁹. 이들 중에서 LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)¹¹는 센서망의 에너지 효율성에 중점을 두고 고안된 프

* 한국전산원 IT인프라구축단 BcN기획팀 (jyh@nca.or.kr) ** 아주대학교 정보통신전문대학원 ({hlee, bhroh, swyoo}@ajou.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-04-150, 접수일자 : 2005년 4월 12일

※본 연구는 21세기프론티어연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 정보통신부의 유비쿼터스컴퓨팅및네트워크원천기술개발사업의 지원(No. 05A3-I3-10)에 의한것임

로토콜이다. LEACH에서는 확률적인 방법으로 클러스터 헤드를 선출하므로, 센서망의 모든 센서 노드들이 항상 에너지를 효율적으로 사용하도록 클러스터 형태가 만들어진다는 보장을 하지 못한다. 이를 해결하기 위하여 LEACH-C(LEACH-Centralized)^{[2][3]}가 제안되었다. LEACH-C에서 기지국은 각 센서들로부터 이들의 위치와 남아있는 에너지 정보를 받아서, 이 정보를 바탕으로 가장 적합한 형태의 클러스터를 형성하고, 이 정보를 모든 노드에게 알려주므로 LEACH보다 효율적인 형태로 클러스터를 구성할 수 있게 한다. 그러나 이 방법은 매번 각 노드들이 기지국과 통신을 해야 하기 때문에 굉장히 많은 양의 에너지 소비가 필요하게 된다. 또한 추가적인 통신 기술을 통해서 자신의 위치 정보에 대한 처리를 해야 하는 부가적인 오버헤드가 생긴다. 또한, Zhao Cheng은 각 센서들이 특정한 변화가 생긴 데이터를 감지한 경우에 그 정보를 보낼 것인지 안 보낼 것인지에 대해서 결정한 다음 자신에게 할당된 TDMA 슬롯(slot) 동안 그 정보를 보내는 LEACH-EM[4]을 제안하였다. LEACH-EM 프로토콜은 클러스터 헤드에게 정보를 보낼 것인지 말 것인지에 대해서 노드 간에 이미 정해져 있는 순서를 사용하여 에너지를 절약하게 된다. 그러나 LEACH-EM의 경우에는 소수의 센서들만이 연결되어 있는 경우에 대역폭의 재 할당이 이루어지지 않는 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 LEACH 기반의 센서망에서 기존의 LEACH 기반의 방법들에 비하여 개선된 에너지 이용 효율을 가능하도록 하는 클러스터 재구성을 위한 효율적인 방법을 제안한다. 제안 방법은 LEACH에서와 같이 분산형의 확률적 클러스터 헤드 선출에 의한 클러스터 구성 방법을 사용하나, LEACH와 달리 에너지 비효율적인 클러스터를 구성할 수 있는 가능성을 배제시킴으로써, 에너지의 효율성을 개선 시킨다. 제안 방법을 통하여 구성되는 클러스터의 형태는 LEACH-C에서 제공하는 최적의 경우를 제공하나, 이를 위하여 센서 노드들의 위치나 에너지에 대한 정보를 필요로 하지 않는다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 LEACH에서의 클러스터 헤드 선출 방법의 개략적인 설명과 이의 문제점에 대하여 기술한다. 제3장에서는 이러한 문제점을 극복하기 위한 제안하는 방법을 설명하고, 제4장에서는 이에 대한 실험 결과를 보인다. 끝으로, 제5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. LEACH 개요 및 문제점

LEACH는 마이크로 센서망에서 센서들 사이에 에너지 부하를 균등하게 분배하기 위하여 제안된 자동 재구성 클러스터 기반의 프로토콜이다^[1].

LEACH에서의 클러스터 구성과 클러스터 헤드 선출 방법은 다음과 같다. LEACH에서는 클러스터가 재구성되고, 이를 기반으로 한 통신이 이루어지는 시간 구간을 라운드로 정의한다. 한 라운드에서의 동작 과정을 그림 1에 나타내었다. 각 라운드는 클러스터를 구성하는 Set-up Phase와 실제 통신이 이루어지는 Steady-state Phase로 구분된다. Set-up Phase는 클러스터 헤드가 선출되는 Advertisement Phase, 이 헤드를 기반으로 클러스터가 구성되는 Cluster Set-up Phase, 그리고 클러스터 헤드가 전송할 노드들의 순서를 결정하는 Schedule Creation Phase로 구성된다.

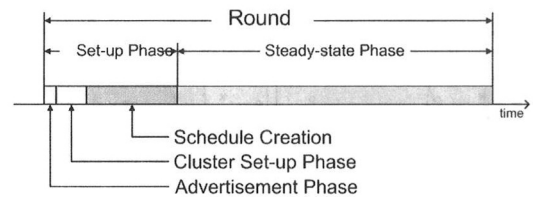


그림 1. LEACH의 한 라운드에서의 동작 과정

클러스터 헤드의 선정은 각 라운드의 초기 시점에서 이루어지는데, 이때 각 센서 노드들은 0~1 사이에서 임의의 한 수를 선택한다. n -번째 센서 노드가 임의로 선택한 수가 임계값 $T(n)$ 보다 작다면 그 노드는 해당 라운드에서 클러스터 헤드로 선출된다. 적절한 클러스터 헤드의 수를 선출하기 위한 임계값은 다음과 같이 결정한다.

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

여기에서 P 는 전체 노드들 중에서 선출되는 클러스터 헤드의 비율(예를 들어, $P=0.05$), r 은 현재 라운드, 그리고 G 는 이전 $1/P$ 번의 라운드 동안 클러스터 헤드로 선출되지 않는 노드들의 집합을 의미한다. 식(1)에 의하면 LEACH는 $1/P$ 라운드 동안에 모든 노드들이 정확히 한번 클러스터 헤드가 되는 것을 보증한다.

식 (1)에서와 같이, LEACH는 클러스터의 구성

형태는 고려하지 않고, 확률적인 방법에 의하여 모든 센서 노드들이 공평하게 클러스터 헤드로 선출되도록 하고 있다. 이와 같은 방법은 그림 2 (a)에서와 같이, 클러스터 헤드가 균등하게 분포된 구조로 구성될 경우와, 그림 2 (b)에서와 같이 인접한 노드들로 클러스터 헤드가 선출되는 모든 가능성이 존재한다. 그림 2 (b)의 경우에, 클러스터 헤드와 먼 거리에 있는 노드들은 데이터 전송을 위하여 더 많은 에너지를 소모하게 되어, 에너지 효율이 떨어지게 될 뿐만 아니라, 센서망 내의 센서 노드들간의 통신 시 충돌 발생 확률이 높아지게 된다.

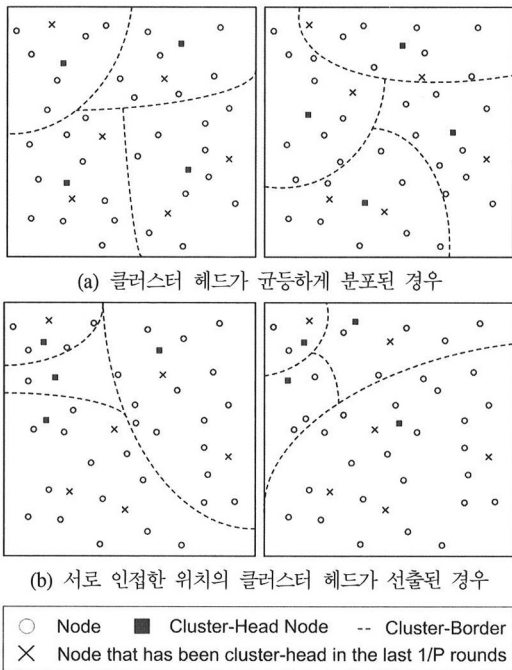


그림 2. LEACH에 의한 클러스터 구성 시나리오

이러한 LEACH에서의 비효율적인 클러스터 구성의 문제를 해결하기 위하여 LEACH-C^{[2][3]}가 제안되었다. LEACH-C에서는 클러스터를 기지국의 주도로 구성하게 된다. 즉, 각 노드들은 자신들의 위치 정보와 잔여 에너지 정보를 기지국에 알리고, 기지국은 이 정보를 다른 모든 노드들에게 알려줌으로써, 최적의 클러스터를 구성 가능하도록 하여 그림 2 (b)에서와 같은 경우가 발생하는 것을 방지한다. 그러나 이 방법은 매번 각 노드들이 기지국과 통신을 하기 위하여 요구되는 많은 양의 에너지 소비와 자신의 위치 정보에 대한 처리를 해야 하는 부가적인 오버헤드가 생긴다.

III. 에너지 효율적인 클러스터 재구성 알고리즘

여기에서는 앞장에서의 LEACH의 비효율적인 클러스터 구성의 문제를 극복함으로써 에너지 이용효율을 최대화할 수 있는 본 논문에서 제안하는 클러스터 재구성 방법을 설명한다.

3.1 제안 방법의 동작 과정

그림 3은 본 논문에서 제안하는 방식의 동작 과정을 보여준다.

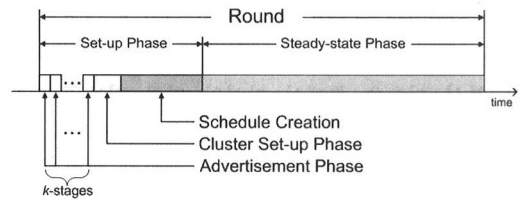


그림 3. 제안 방식의 한 라운드에서의 동작 과정

그림 3에서 보듯이 제안 방식의 동작은 LEACH와 같이 라운드 단위로 클러스터가 재구성된다. LEACH와 달리, 제안 방식에서 Advertisement Phase는 k 개의 스테이지들로 구분된다. LEACH의 경우에는 1개의 스테이지로 Advertisement Phase가 구성됨에 주의한다. 여기에서 k 는 센서망에서 구성할 클러스터의 개수이다. 이것은 라운드의 시작점에서 클러스터 재구성을 위한 Advertisement Phase의 시작시, LEACH에서는 각 노드들은 클러스터 헤드가 될 수 있는 기회를 한번 갖는데 반하여, 제안 방식에서는 각 노드는 클러스터 헤드가 될 수 있는 기회를 최대 k 번까지 가질 수 있음을 의미한다. 여기에서, LEACH의 경우와 제안방법의 경우에서 Advertisement Phase의 길이의 차이는 없도록 하였다. 즉, LEACH의 경우, k 개의 클러스터 헤드를 선출하기 위해 Advertisement Phase로 시간 t 만큼을 할당한다고 할 때, 제안방법은 각 스테이지에 t/k 만큼의 시간을 할당하므로, 전체적인 Advertisement Phase의 길이는 차이가 없게 된다.

n -번째 노드가 Advertisement Phase의 s -번째 스테이지에서 클러스터 헤드로 선출될 수 있는 임계값은 다음과 같다. 이때, $s=0,1,\dots, k-1$ 의 값을 갖는다.

$$T(n,s) = \begin{cases} \frac{1}{\{N - k * (r \bmod \frac{N}{k})\} * (1 - \frac{s}{k})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기에서, N 은 센서망내의 전체 센서 노드의 개수 이고 r 은 현재 라운드를 의미한다. 식 (2)의 도출 과정은 부록에 나타내었다.

제안 방식에서의 클러스터 헤드 선출 과정을 그림 4에 순서도로 나타내었다. 각 클러스터 헤드 선출 과정에 참여하는 노드들은 0과 1사이에서 임의의 랜덤값 v 를 생성한 후, 이 값을 식(2)의 임계값과 비교를 한다. 랜덤값 v 가 임계값보다 적은 경우, 이 노드는 클러스터 헤드로 선출되며, 이와 같이 선출된 클러스터 헤드는 자신이 클러스터 헤드로 선출되었음을 이웃 노드들에게 알린다. 각 노드는 클러스터 헤드로부터 알림(advertisement) 메시지의 신호세기로부터, 클러스터 헤드와 자신과의 거리 d 를 유추할 수 있다^[1]. 이때, d 값이 클러스터 헤드와 이상적인 거리 R (거리 R 에 대해서는 3.2절에서 설명하기로 한다)보다 작은 경우에는 현재 라운드의 추후 스테이지에서는 클러스터 헤드 선출 과정에 참여하지 않는다.

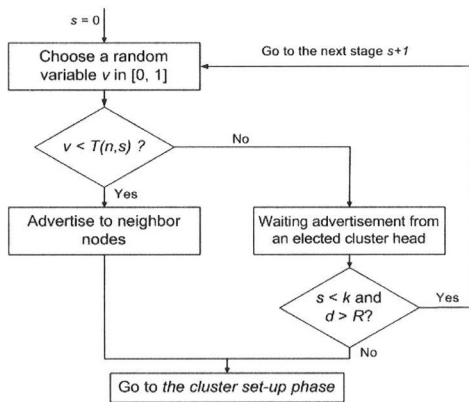


그림 4. 제안 방식의 클러스터 헤드 선출 과정

식 (2)는 확률적으로 한 스테이지에서는 하나의 클러스터 헤드가 선출될 수 있도록 한다. 그러나, 이것은 확률적인 개념으로서 실제적으로는 한 스테이지에서 한 개의 클러스터 헤더도 선출되지 못하거나, 한 개 이상의 클러스터 헤더가 선출되는 경우도 발생할 수 있다. 이것은 LEACH에서도 나타나는 현상으로서, LEACH에서는 한 라운드에서 클러스터 헤드가 하나도 선출되지 않은 경우에, 각 노드는 BS와 직접 통신을 하도록 함으로써 노드들의 통신 문제를 해결하고 있으며^[1], 제안 방법도 LEACH에서와 같은 방법을 적용한다. 또한, k 보다 적은 수의 클러스터 헤드가 선출된 경우에도, 각 클러스터 헤드는 자신의 선출 정보를 네트워크 전역에 브

로드캐스트하기 때문에 클러스터 헤드가 아닌 일반 노드들은 그 중 가장 가까운 노드와 클러스터를 형성하게 되므로, 클러스터 헤드의 개수가 적더라도 네트워크 운영에는 문제가 발생하지 않게 된다.

3.2 클러스터 반경 R의 계산

제안 방식에서는 Advertisement Phase의 각 스테이지에서 선출된 클러스터 헤드는 자신이 클러스터 헤더로 선출되었음을 반경 R 내의 이웃 노드들에게 브로드캐스트 하고, 이 반경 내에 있는 노드들은 다음 스테이지에서 클러스터 헤드 선출 과정에 참여하지 않는다. 이때, 클러스터의 효율적인 재구성을 위하여 적절한 반경 R 을 구해내는 것이 매우 중요하다. 본 논문에서는 센서망 영역의 넓이를 고려하여 R 값을 산출하도록 한다.

$M \times M$ 크기의 영역을 갖는 센서망을 고려하기로 한다. 이 영역 내에 센서 노드들이 균등하게 분포되어 있다고 가정하면, 센서망의 영역 넓이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M^2 = k \cdot \pi R^2 \quad (3)$$

여기에서 k 는 구성할 클러스터의 개수이다. 이로부터, R 은 다음과 같이 구해진다.

$$R = \frac{M}{\sqrt{\pi k}} \quad (4)$$

식 (4)에 의하여 구해진 R 값은 그림 5 (a)와 같이 모든 클러스터 헤드가 반경 R 로 커버하는 모든 영역들의 합이 전체 센서망의 영역과 동일한 경우에는 매우 타당하다. 그러나 그림 5 (b)에서와 같이, 클러스터 헤드가 센서망 영역의 가장자리 부근에 위치하는 경우가 발생하여, 클러스터 헤드들이 커버하는 영역이 전체 센서망 영역보다 작게 되는 경우에는 부적절하다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, R 값을 매우 크게 하면, 직관적으로 다음 스테이지에서 선정되는 클러스터 헤드의 위치가 센서망 영역의 가장자리에 위치할 가능성이 더 높아지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 직관적인 방법으로 다음과 같은 방법을 취한다. 즉, 그림 5 (b)에서와 같이, 모든 클러스터 헤드가 가장자리 영역에 위치하는 경우에 R 은 최대 $2R$ 이 되면 센서망의 전 영역을 커버할 수 있다. 그러나 센서망 내에 클러스터 헤드의 개수가 무한히 많아지게 되면, 각 클러스터

헤드가 커버하는 영역은 매우 작아도 충분하게 되어 클러스터 헤드가 가장자리 영역에 있는 경우의 문제가 소멸된다. 즉, R 값의 보정은 센서망의 넓이와 클러스터 헤드의 수와 연관되어질 수 있다.

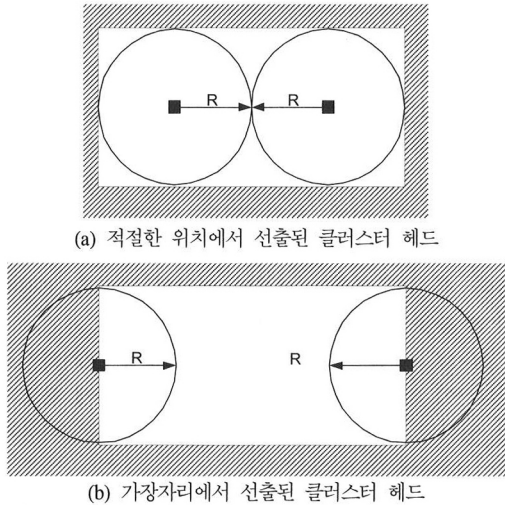


그림 5. 반경 R 과 클러스터 헤드의 브로드캐스트 범위 ($k=2$ 인 경우)

R_a 를 센서망 반경의 평균값이라고 정의하기로 한다. 즉, $M \times M$ 크기의 센서망의 경우, $M^2 = \pi \cdot R_a^2$ 로 근사화 된다. 앞에서의 직관적인 상황을 근거로 보정된 R 값을 다음과 같이 정의하기로 한다.

$$R' = \left(1 + \frac{R}{R_a}\right) \cdot R \tag{5}$$

이를 정리하면, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R' = \left(1 + \frac{1}{\sqrt{k}}\right) \cdot R \tag{6}$$

이때, 앞의 보정값의 범위는 $1 \leq (1 + 1/\sqrt{k}) \leq 2$ 가 되어, 식 (5)를 도입하기 위한 직관적인 사실들과 일치한다. 즉, $k=1$ 인 경우에 $R'=2R$ 이 되고, $k \rightarrow \infty$ 에 따라, $R' \rightarrow R$ 이 된다.

IV. 실험 결과

실험을 위하여 ns-2 시뮬레이터^[10]를 사용하였다. 100개의 센서 노드가 100m×100m 크기의 사각 영역 내의 임의의 위치에 놓이는 환경을 대상으로 하

였다. 영역내의 좌표는 (0,0)에서(99,99)까지가 되며, 베이스 스테이션(BS)은 (50,75)에 위치하도록 하였다. 환경 변수들은 LEACH와 LEACH-C 에서 제시하고 있는 시뮬레이션 환경과 무선 에너지 모델을 동일하게 적용하였다^{[2][3][4][11]}. 표 1에는 본 논문에서 적용한 실험 환경을 나타내었다.

표 1. 실험에 사용한 환경 변수들

환경 변수	값
센서망의 크기 (M×M)	100 × 100
BS의 위치	(50,75)
센서 노드의 수 (N)	100
각 노드의 초기 에너지	2J
노드의 데이터 송수신 소모 에너지량	50 nJ/bit
송신 노드의 증폭 에너지량	10 pJ/bit/m ²
구성할 클러스터의 수 (k)	5
스프레딩 팩터 (Spreading factor)	8
클러스터 재구성 시간 간격	매 20 초

제안 방법(PROPOSED)의 성능을 표 1의 동일한 조건하에서 LEACH, LEACH-C와 비교하였다. 실험은 총 10회 수행하여, 평균 성능을 비교하였다.

그림 6은 시스템의 생존시간에 대한 성능으로서 시간에 따른 살아 있는 노드의 개수를 보여준다. 모든 생존 노드의 수가 0에 도달한 시간을 생존시간으로 정의할 때, LEACH-C의 생존시간이 가장 짧음을 볼 수 있다. 이것은 LEACH-C는 클러스터를 최적화하기 위하여 부가적인 정보의 교환에 따른 데이터 전송량이 많으므로, 에너지가 더 많이 소모되기 때문이다. 생존 시간은 제안 방법이 가장 좋은 성능을 보여줄을 알 수 있다. 제안 방법이 LEACH 보다 더 나은 성능을 보이는 이유는 앞에서도 설명한 바와 같이, LEACH에서 나타날 수 있는 비효율적인 클러스터의 가능성을 제안 방법이 많이 줄였기 때문이다.

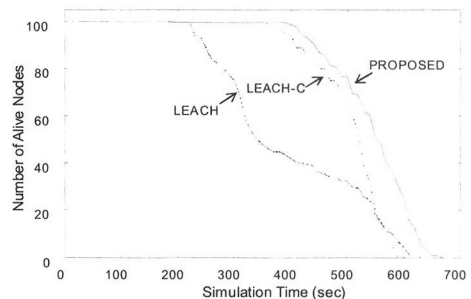


그림 6. 센서망 생존시간 성능

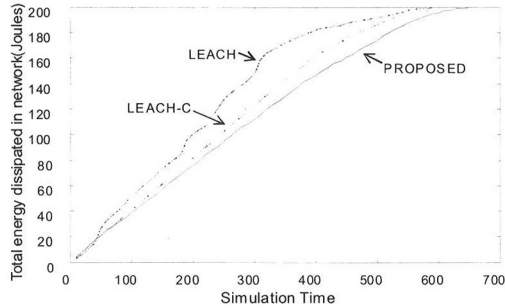


그림 7. 시간에 따른 총 에너지 소비량

그림 7은 제안방식, LEACH, LEACH-C의 시간 별 네트워크에서 사용한 총 에너지 량을 보여준다. 이것은 그림 6의 생존 시간 성능에 대한 부가적인 설명이 될 수 있다. 즉, 제안방식과 LEACH-C의 경우는 비효율적인 클러스터 가능성을 배제시키므로, 에너지 사용이 일관성 있게 증가하는 형태를 보여준다. 이때, LEACH-C는 최적의 클러스터 구성을 위한 부가적인 정보 교환이 요구되므로, 제안 방법에 비하여 소모하는 에너지가 많음을 볼 수 있다. 반면에, LEACH의 경우는 bad-case 시나리오에 해당하는 클러스터 구성이 이루어진 경우에 에너지 소비가 급격하게 증가하는 양상을 보여준다. 이러한 형태는 그림 6에서의 시간에 따른 생존해 있는 노드의 수가 400초가 되기 이전에 LEACH의 경우는 급격하게 줄어드는데, LEACH-C와 제안 방식의 경우는 거의 변함이 없는 형태로 나타난다.

그림 8은 각 방식들이 시간에 따른 기지국에 전송한 총 데이터량을 보여준다. LEACH-C의 경우는 위치 정보를 이용하여 최적의 클러스터를 구성하여 데이터 전송을 수행하므로 가장 많은 데이터 전송이 가능함으로 보여준다. 반면에, 제안 방법과 LEACH의 경우는 이에 비하여 매우 적은 데이터량의 전송이 이루어짐을 보여준다. 그러나, 제안 방법은 LEACH에 비하여 비효율적인 클러스터 구성의 가능성을 줄이므로, 더 많은 데이터 전송이 이루어지고 있음을 확인할 수 있다.

앞서의 성능 파라미터들은 시뮬레이션 시간에 따른 변화량에 대하여 나타내어졌다. 각 방식들에 대한 보다 객관적인 성능 비교를 위하여 에너지, 데이터 전송량, 그리고 생존노드수간의 상관관계를 그림 9와 그림 10에 나타내어 비교하였다.

그림 9에는 각 방식들에서 소요되는 에너지량에 따라서 얼마나 많은 데이터 전송이 가능한지를 보였다. 동일한 에너지 사용에서 더 많은 데이터 전송

이 이루어질 때, 센서망이 더 효율적으로 운용될 수 있음을 보여준다. 최적의 클러스터를 구성하는 LEACH-C가 동일한 에너지량에 대하여 가장 많은 데이터 전송이 가능함을 볼 수 있다. 그리고 제안방식이 LEACH-C 보다는 못하지만 LEACH와 비교하여서는 월등한 성능을 나타냄을 볼 수 있다.

그림 10에는 생존노드수와 데이터 전송량간의 상관관계에 대한 성능을 보여준다. 즉, 해당하는 데이터 전송이 얼마나 많은 노드들로부터 이루어졌는가를 나타내는 것으로서, 가능한 많은 노드로부터 더

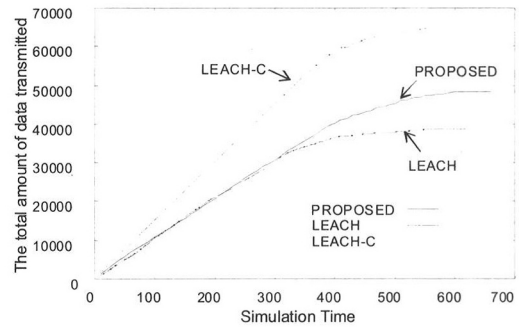


그림 8. 데이터 전송량

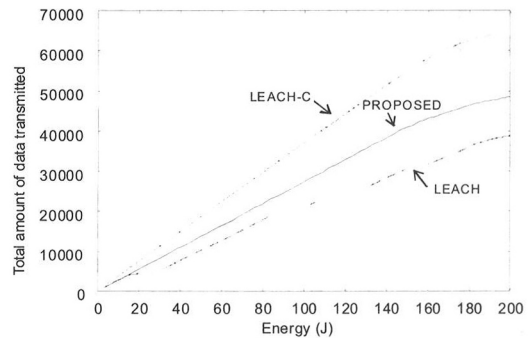


그림 9. 소요 에너지에 따른 데이터 전송량

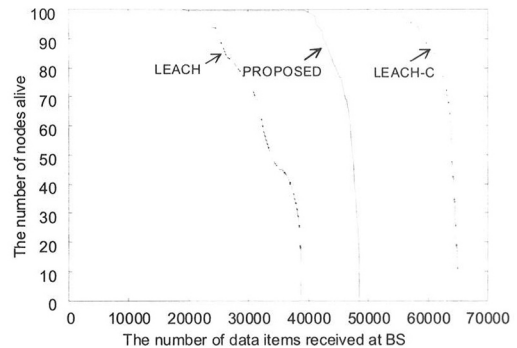


그림 10. 생존노드수와 전송 데이터량간의 관계

많은 데이터 전송이 이루어질수록 센서망이 더 효율적으로 운용되고 있음을 알아낼 수 있다. 마찬가지로, LEACH-C가 최적의 클러스터 구성에 의하여 가장 좋은 성능을 보여주고, 제안 방법은 LEACH-C 보다는 못하나 LEACH에 비하여는 월등히 나은 성능을 보여줄 수 있다.

이와 같이, LEACH-C의 경우는 노드의 에너지, 그리고 위치 정보를 사용하여 최적의 클러스터를 구성하므로 가장 좋은 센서망 운용 효율을 보여준다. 그러나 LEACH-C의 경우에는 최적의 클러스터 구성을 위한 부가적인 정보 교환을 필요로 하며, 이로 인하여 센서망의 생존시간 측면에서는 가장 좋지 않은 성능을 보여준다. 반면에, 제안 방법은 LEACH-C에서와 같은 부가정보의 요구 없이 LEACH에서 나타날 수 있는 비효율적인 클러스터의 구성을 배제함으로써, LEACH에 비하여 더 나은 성능을 보여주고, 생존시간 성능에서는 LEACH-C보다 더 나은 성능을 보여준다. 더욱이, 제안 방법은 LEACH-C에서의 노드들이 최적 클러스터 구성을 위하여 필요한 위치 정보를 유지하기 위하여 GPS등과의 추가 통신이 요구되고, 에너지 레벨의 지속적인 감지와 같은 복잡성의 요소를 요구하나, 제안 방법은 기존의 이러한 복잡성의 요소가 필요 없다. 따라서 지속적으로 크지 않은 데이터를 오랜 기간 전달하고자 하는 저비용의 효율적인 센서망의 응용을 위해서는 제안방법이 LEACH-C에 비하여 더 나은 성능을 얻을 수 있다.

V. 결론

LEACH와 같이 클러스터를 기반으로 하는 통신 방식에서 클러스터를 효율적으로 재구성하는 것은 센서망의 운용 성능에 영향을 줄 수 있는 매우 중요한 요소이다. 본 논문에서는 마이크로 센서망에서 위치 정보 시스템을 사용하지 않고 bad-case scenario와 같은 비효율적인 클러스터 형성의 가능성을 줄임으로써 에너지의 효율적인 사용이 가능하도록 하는 새로운 클러스터 재구성 방식을 제안하였다. 제안방법은 모든 성능측면에서 기존의 LEACH 방식보다 우수함을 보였다. 제안방법은 최적의 클러스터를 구성 가능한 LEACH-C와 비교할 때, 생존시간 측면에서는 우수하나, 데이터 전송량 측면에서는 다소 떨어짐을 보여주었다. 그러나 제안방법은 LEACH-C와 같이 노드들이 위치와 에너지에 대한 정보를 수집하고 이를 BS와 교환하는 복잡성이 요구되지 않

으므로, 노드의 최소한의 복잡성을 필요로 하는 마이크로 센서망에서 더 효율적으로 사용되어질 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 제안 방법은 중간 정도의 양을 갖는 센싱 데이터가 지속적으로 교환되고 오랜 생존시간이 요구되는 환경에 잘 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

VI. 부록: 제안 방식에서의 임계값 식(2)의 산출

식(2)의 산출 과정을 보이기 위하여 라운드 r , 스테이지 s 의 시점을 (r,s) 로 나타내기로 하고, 이로부터 다음과 같은 용어들을 정의하기로 한다.

- $P_n(r,s)$ 노드 n 이 클러스터 헤드로 선출될 수 있는 확률 ($n=1, \dots, N$)
- $C(r,s)$ 클러스터 헤드의 선출에 참여할 수 있는 노드의 개수
- $E_{CH}(r,s)$ 클러스터 헤드로 선출될 수 있는 노드의 기대 개수

$C(r,s)$ 의 정의로부터, $C(r,0)$ 는 현재 라운드의 초기에 클러스터 헤드 선출에 참여할 수 있는 노드의 개수가 되며, 이것은 전체 노드 수에서 이전의 N/k 라운드 동안 클러스터 헤드로 선출되었던 노드들의 개수를 뺀 것이 되며, 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C(r,0) = N - k \times \left(r \bmod \frac{N}{k} \right) \tag{A1}$$

제안 방식에서는 매 스테이지마다 선출되는 클러스터 헤드의 알림 반경 R 내에 들어가는 노드들은 다음 스테이지들에서 클러스터 헤드 선출과정에 참여하지 못한다. 각 클러스터 헤드의 알림 반경 R 내에 속하게 되는 노드들의 평균 개수는 $C(r,0)/k$ 가 되므로, $C(r,s)$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$C(r,s) = C(r,0) \cdot \left(1 - \frac{s}{k} \right) \tag{A2}$$

제안 방법은 이상적인 상황에서는 각 스테이지에서 한 개의 클러스터 헤드가 선출된다. 이러한 이상적인 상황이 만들어지도록 하기 위하여, $P_n(r,s)$ 와 $E_{CH}(r,s)$ 가 다음 식을 만족해야 한다.

$$E_{CH}(r,s) = \sum_{n=1}^N P_n(r,s) = 1 \quad (A3)$$

이전의 N/k 라운드 동안 클러스터 헤드로 선출된 적이없는 노드들의 집합을 G 라 하고, $P_{n \in G}(r,s)$ 를 집합 G 에 속한 임의의 n -번째 노드가 클러스터 헤드로 선출될 확률이라 하기로 한다. 집합 G 에 속하는 클러스터 헤드가 되지 않았던 노드들은 해당 라운드의 모든 스테이지에서 동일한 확률값인 $P_n(\cdot)$ 을 갖게 되므로, 식 (A3)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{CH}(r,s) = C(r,s) \times P_{n \in G}(r,s) = 1 \quad (A4)$$

식 (A4)로부터 $P_{n \in G}(r,s)$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$P_{n \in G}(r,s) = \frac{1}{C(r,s)} \quad (A5)$$

식 (A5)는 집합 G 에 속한 n -번째 노드가 클러스터 헤드로 선출될 확률을 나타내며, 동시에 식 (A4)로부터 이 노드는 해당 스테이지에서 선출되는 오직 한 개의 클러스터 헤드임을 나타내준다. 식 (A1)을 식 (A5)에 대입하면, 식 (2)와 동일한 결과를 얻을 수 있다.

참 고 문 헌

[1] D.W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan. "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," In Proceedings of the Hawaii Conference on System Sciences, Jan. 2000.

[2] "Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks," PhD thesis, June 2000, MIT.

[3] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan. "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," In To appear: IEEE Transactions on Wireless Communication, 2002.

[4] Z. Cheng, M. Perillo, B. Tavli, W. Heinzelman, S. Tilak, and N. Abu-Ghazaleh, "Protocols for Local data Delivery in Wireless Microsensor Networks," 45th IEEE Midwest Symp. on Circuits and Systems

(MWSCAS '02), Tulsa, OK, Aug. 2002.

[5] S. Lindsey, C. Raghavendra, "PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information system," in IEEE Aerospace Conference, March 2002.

[6] S. Lindsey, C. Raghavendra, K. Sivalingam, "Data gathering in sensor networks using the energy*delay metric," Proc. of the IPDPS Workshop on Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, April 2001.

[7] D. Tian, N. D. Georganas, "A Coverage-Preserving Node Scheduling Scheme for Large Wireless Sensor Networks," WSNA, 2002.

[8] A. Boukerche, X. Cheng, J. Linus "Energy-Aware Data-Centric Routing in Microsensor Networks," ACM MsWiM'03, San Diego, California, September. 2003

[9] J. Lu, T. Suda, "Coverage-Aware Self-Scheduling In Sensor Networks," IEEE Computer Communications Workshop (CCW 2003), Dana Point, California

[10] UCB/LBNL/VINT. "Network Simulator-ns". <http://wwwmash.cs.berkeley.edu/ns>.

[11] D. W.Heinzelman, A.Chandrakasan, and H.Balakrishnan, "uAMPS ns Code Extensions," <http://wwwmtl.mit.edu/research/icsystems/uamps/leach>.

[12] F.Bai, N.Sadagopan, A.Helmy, "THE IMPORTANT Framework for Analyzing the impact of Mobility on Performance of Routing for Ad Hoc Networks," AdHoc Networks. Vol. 1, No. 5, pp. 383-404, November 2003

조 용 현 (Yong-hyun Jo)

준회원



2003년 2월 아주대학교 정보및 컴퓨터공학부 졸업
 2005년 2월 아주대학교 정보통신전문대학원 석사
 현재 한국전산원 IT인프라구축단 BcN기획팀, 주임연구원
 <관심분야> BcN QoS, Wireless Sensor Networks, 유비쿼터스 네트워킹

이 항 택 (Hyang-tack Lee)

준회원



2004년 2월 아주대학교 정보및
컴퓨터공학부 졸업
현재 아주대학교 정보통신전문대
학원 석사과정
<관심분야> RFID/USN, 유비쿼
터스 네트워킹, 트래픽 제어

유 승 화 (Seung Wha Yoo)

정회원



1972년 2월 서울대학교 응용수
학과 졸업
1980년 5월 University of Kansas
Computer Science 석사
1983년 5월 University of Kansas
Computer Science 박사
1974년 7월~1976년 9월 한국

과학 기술 연구소

1976년 10월~1978년 9월 금성 통신
1983년 6월~1988년 8월 AT Bell 연구소
1988년 9월~1989년 8월 Amdahl Corporation
1989년 8월~1999년 2월 삼성 전자
현재 아주대학교 정보통신전문대학원 교수
<관심분야> 유/무선 인터넷, 멀티미디어 통신 및 응
용, 트래픽 제어, 유비쿼터스 네트워킹, RFID

노 병 희 (Byeong-hee Roh)

종신회원



1987년 2월 한양대학교 전자공
학과 졸업
1989년 2월 한국과학기술원 전
기및전자공학과 석사
1998년 2월 한국과학기술원 전
기및전자공학과 박사
1989년 3월~1994년 3월 한국통

신 통신망연구소

1998년 2월~2000년 3월 삼성전자
현재 아주대학교 정보통신전문대학원 부교수
<관심분야> 유/무선 인터넷, 멀티미디어 통신 및 응
용, 트래픽 제어, 유비쿼터스 네트워킹, RFID 네트
워킹