논문 2014-09-44

무선 센서 네트워크의 수명 연장을 위한 에너지와 메모리의 균형 있는 소모 방법

(Balancing Energy and Memory Consumption for Lifetime Increase of Wireless Sensor Network)

김 태 림*
(Tae-Rim Kim)

Abstract : This paper introduces balancing energy and memory consumption for lifetime increase of wireless sensor network. In cluster-based wireless sensor network, sensor nodes adjacent of cluster heads have a tendency to deplete their own battery energy and cluster heads occupy memory space significantly. If the nodes close to region where events occur frequently consume their energy and memory fully, network might be destroyed even though most of nodes are still alive. Therefore, it needs to balance network energy and memory with consideration of event occurrence probability so that network lifetime is increased. We show a method of balancing wireless sensor network energy and memory to organize cluster groups and elect cluster heads in terms of event occurrence probability.

Keywords : Wireless sensor network, Resource optimization, Energy-constrained embedded system, System modeling, Network management

Ⅰ. 서 론

무선 센서 네트워크는 저비용, 저전력, 다기능의 성격을 가진 작은 센서들이 넓은 범위에 걸쳐 분포하여 각각의 센서들이 통신 범위 내의 주변 센서들과 무선으로 정보를 공유하는 소규모의 네트워크를 이루고 이러한 네트워크들이 모여 거대한 대규모의 네트워크를 이룬 하나의 그룹을 의미한다[1]. 무선 센서 네트워크는 주변 환경 모니터링, 안전 관리, 교통 정보 관리와 같은 실생활용이나 군사용으로도 널리 사용되고 있다[2]. 이러한 무선 센서 네트워크에서는 센서들이 주변의 환경으로부터 얻어진 정보를 최종적으로 취합하여 의미 있는 정보를 가공하는 최종 목적지의 센서까지 전송하게 되는데, 여기서 각 센서에서 소모되는 에너지가 라우팅 프로토콜을 설계할 때 중요한 고려사항 중에 하나가 된다. 이는 무선 센서 네트워크에서는 대부분의 센서들이 작고 가벼운 배터리에 의해 동작하며, 경우에 따라서는 배터리의 교환이 어렵거나 불가능한 경우도 있기 때문이다[3]. 즉 각각의 센서는 주변 환경에서 발생하는 정보를 획득하고 주변의 이웃한 센서들로 전송하는데 소모되는 에너지를 효율적으로 관리함으로써 무선 센서 네트워크의 수명을 가능한 길게 해주어야 한다[4].

무선 센서 네트워크에서 에너지 소모를 최소화하기 위한 여러 가지 기법이 소개되어왔다. 네트워크의 수명을 결정짓는 중요한 요소 중에 하나는 각 센서의 데이터를 최종적으로 취합하는 베이스 스테이션의 위치이다. 베이스 스테이션을 한 위치에 고정해두지 않고 위치를 변경해가며 주변 센서 노드들에서 소모되는 에너지를 효율적으로 관리해주는 모바일 베이스 스테이션이 특정 지역의 센서들만 배터리가 완전히 방전되어 동작을 멈추는 문제점을 해결해주는 하나의 대안으로 제안되었다[5]. 또한 하나의 네트워크에서 거리를 기준으로 하여 특정 범위 내에 있는 센서들을 하나의 클러스터로 그룹화하는 방법이 소개되었다[6]. 하지만 클러스터의 개수는 네트워크의 상황에 따라 유동적으로 변하지 않고 특정한 값으로 고정되어 있었다. 또한 주기적

*Corresponding Author(taerim.kim@lignex1.com)
Received: 11 Aug. 2014, Revised: 24 Sep. 2014, Accepted: 18 Oct. 2014.
T.R. Kim: LIG Nex1
ⓒ IEMEK J. Embed. Sys. Appl. 2014 Dec.: 9(6) 361-367
ISSN : 1975-5066
http://dx.doi.org/10.14372/IEMEK.2014.9.6.361

으로 데이터를 수집하고 하나의 홉으로만 구성된 네트워크에서의 클러스터링 기법도 제안되었다[7]. 통신에 소모되는 에너지를 고려한 각 노드의 잔여 에너지를 기준으로 클러스터 헤드를 선출함으로써 네트워크의 수명 연장을 도모하였다. 또한 데이터를 감지한 센서 노드에서 목적지 노드까지의 최적의 홉의 개수와 인접한 범위의 노드 수로 메모리를 최적으로 관리하는 방식도 소개되었다[8]. 무선 센서 네트워크의 수명을 연장시키기 위한 여러 가지 방법이 제안되었지만 대부분의 제안은 에너지 측면에서만 집중하였을 뿐 센서 노드의 메모리 영역을 동시에 고려하지 않았다. 네트워크 영역에서 발생하는 사건에 대한 정보가 실시간으로 처리될 필요가 있다면 그 데이터를 바로 베이스 스테이션으로 전송하기 때문에 메모리 관리가 중요하지 않을 수 있다. 하지만 장시간의 정보 지연이 허용되거나 각각의 노드에 저장된 데이터를 직접 수집하는 네트워크라면 메모리를 효율적으로 소모하는 것도 네트워크의 전체 수명을 연장시키는 하나의 방법이 된다. 노드의 수명은 배터리 에너지의 소모에 의해서만 결정되는 것이 아니라 계측된 정보를 저장하는 메모리 공간에도 영향을 받기 때문이다. 즉 메모리를 다 소모하게 된다면 배터리 에너지를 아직 많이 보유하고 있더라도 주변의 환경을 계측하는 노드로의 역할은 할 수 없게 된다. 따라서 전체 네트워크 측면에서 본다면 에너지와 메모리를 균형 있게 소모하는 것이 바람직하다.

본 논문은 2장에서 클러스터 기반의 무선 센서 네트워크에 어떠한 문제가 발생할 수 있는지 문제를 정의하여 보고 3장에서는 클러스터 개념의 소개와 함께 각 노드들의 에너지 및 메모리 모델, 네트워크 내에서 발생할 수 있는 사건의 발생 모델도 함께 보여준다. 4장에서는 이러한 모델들을 바탕으로 에너지와 메모리를 균형 있게 소모하는 방법을 제안하고 5장에서는 4장에서 제안한 방법을 바탕으로 시뮬레이션의 결과를 보여준다. 마지막으로 6장에서는 본 논문의 결론으로 끝을 맺는다.

Ⅱ. 문제 정의

본 논문에서 무선 센서 네트워크는 일부의 센서 노드들의 집합으로 이루어진 클러스터 기반의 네트워크이다. 이러한 클러스터 개념의 설계가 적용된 네트워크는 한정적인 에너지를 사용하는 센서 노드와 전체 네트워크의 수명을 연장하여 주고 제한된 리소

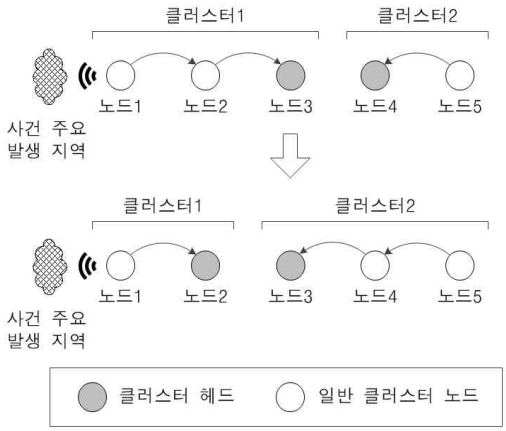

그림 1. 적응적 클러스터 구성 변경
Fig. 1 Adaptive change of cluster group

소스를 공유함으로써 센서 노드 간 상호 보완을 가능하게 해주는 것으로 알려져 있다. 클러스터 기반의 네트워크에서는 클러스터를 이루는 센서 노드들 사이에서 베이스 스테이션의 역할을 하는 하나의 클러스터 헤드를 선정한다. 클러스터 내에서 발생하는 데이터들을 최종적으로 취합하여 저장 후 특정 시기마다 베이스 스테이션으로 전송하게 된다. 이때 사건의 발생 빈도가 높은 지역에 있는 클러스터 헤드는 많은 메모리 공간을 소모하게 되며 주변의 센서 노드들은 중계에 따른 에너지 소모가 증가하게 된다. 따라서 클러스터 그룹 내의 노드 구성과 클러스터 헤드를 네트워크의 상황에 따라 적응적으로 변경시켜줌으로써 센서 노드의 잔여 에너지와 메모리를 균형 있게 소모시켜 줄 수 있다. 그림 1은 네트워크의 상황에 따른 클러스터의 변화를 보여주고 있다. 초기 클러스터 구성 시 노드1, 노드2, 노드3은 클러스터1을 구성하고 노드4, 노드5는 클러스터2를 구성하고 있다. 여기서 노드3과 노드4는 각 클러스터의 헤드이다. 이때 노드1 주변에서 사건이 자주 발생하여 계측된 데이터를 클러스터1의 헤드인 노드3으로 전송하게 되는데, 이때 중계역할을 하는 노드2에서는 전송에 따른 극심한 에너지가 소모되고 노드3에서는 메모리 소모량이 증가한다. 반면 클러스터2 주변에서는 사건이 드물게 발생하여 에너지와 메모리 소모가 적다. 즉 클러스터가 고정적으로 유지된다면 에너지와 메모리 측면에서 불균형이 발생하게 된다. 따라서 노드1, 노드2로 클러스터1을 구성하고 노드3, 노드4, 노드5로 클러스터2를 구성하도록 변경하여 준다. 그러면 노드2는 중계에 따른

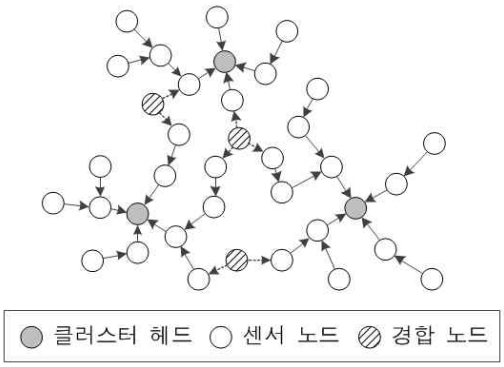

그림 2. 클러스터 기반 무선 센서 네트워크
Fig. 2 Cluster-based wireless sensor network

에너지 소모가 없어지고 노드3은 클러스터2의 헤드로 변경되면서 잔여 메모리에 대한 부담을 줄여줄 수 있다. 이렇게 무선 센서 네트워크에서 노드들의 에너지와 메모리의 상황에 따라 클러스터의 구성을 적응적으로 변경해줌으로써 네트워크의 균형 있는 소모를 도모할 수 있고 이에 따라 네트워크 수명의 연장을 기대해 볼 수 있다.

Ⅲ. 무선 센서 네트워크 모델

1. 클러스터 기반 무선 센서 네트워크

본 논문에서는 그림 2와 같이 센서 노드들이 계층적 구조를 가지는 클러스터 기반 무선 센서 네트워크를 다룬다. N개의 센서 노드가 M개의 클러스터와 클러스터 헤드를 구성하는 구조를 가진다. 여기서 네트워크의 클러스터 개수인 M은 고정적이지 않으며 네트워크의 시스템 상황에 따라서 유동적으로 변한다. 클러스터는 송수신이 가능한 범위 내에 있는 노드들로 구성되며 만일 하나의 노드를 가지고 주변의 다른 두 클러스터가 경합을 하게 된다면 각 클러스터의 사건 발생 빈도수, 잔여 에너지 및 메모리를 보고 어느 클러스터로 소속될 것인지를 결정한다. 클러스터 헤드도 사건 발생 빈도수가 높은 지역에 있는 노드를 가장 우선순위로 하고 예상되는 소모 에너지 및 메모리를 고려하여 하나의 노드로 결정된다. 즉 클러스터 헤드는 하나의 노드를 자신의 클러스터로 소속시키기 위하여 노드의 추가에 따른 클러스터 전체의 에너지 소모와 클러스터의 헤드의 메모리 공간뿐만 아니라 사건의 발생 확률도 함께 고려하여 네트워크의 수명에 미치는 지속적인 영향도 계산해준다.

2. 노드 에너지 및 메모리 모델

클러스터 기반의 무선 센서 네트워크에서 각각의 센서 노드는 자신 주변에서 발생하는 사건을 계측하여 생성한 데이터를 상위 노드로 전송할 뿐만 아니라 하위 노드들로부터 수신한 데이터도 함께 전송해준다. 이때 센서 노드에서 1비트를 송신 및 수신을 할 때 마다 소모되는 에너지 E_{tx}, E_{rx}는 다음과 같이 정의된다[9].

$$E_{tx} = E_{elec} + \epsilon_{amp} d^2 \quad (1)$$

$$E_{rx} = E_{elec} \quad (2)$$

E_{elec}(=50nJ)은 데이터를 송수신하기 위하여 회로에서 소모되는 에너지, ϵ_{amp}(=100pJ/m^2)는 만족할 수 있는 E_b/N_0를 달성하기 위한 송신기 파라미터, d는 통신을 하는 두 센서 노드 사이의 거리를 의미한다. $B_{tx}(k)$와 $B_{rx}(k)$는 노드 k에서 송신 및 수신을 한 데이터의 비트수로 다음과 같다.

$$B_{tx}(k) = B_{rx}(k) + B_s(k) \quad (3)$$

$$B_{rx}(k) = \sum B_{tx}(l), \ \ l \subset k \quad (4)$$

$B_s(k)$는 노드 k 주변의 사건을 감지하여 생성된 데이터의 비트수, 노드 l는 노드 k로 데이터를 전송하는 노드 k의 하부 노드이다. 그러면 노드 k에서 소모되는 에너지 $E(k)$는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} E(k) &= E_{tx} B_{tx}(k) + E_{rx} B_{rx}(k) \\ &= (E_{tx} + E_{rx}) B_{rx}(k) + E_{tx} B_s(k) \\ &= E_c(k) + E_s(k) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $E_c(k)$와 $E_s(k)$는 각각 노드 k의 하부 노드들과 노드 k에 의하여 생성된 데이터를 처리하기 위하여 소모되는 에너지를 의미한다. 그리고 클러스터 C_i의 클러스터 헤드 노드 h에서 소모되는 메모리 $M(h)$는 다음과 같다.

$$M(h) = \sum B_s(l), \ \ \forall l, h \in C_i \quad (6)$$

한 클러스터 내부에서 계측된 데이터는 모두 클러스터 헤드로 전송되므로 메모리 소모는 클러스터 헤드에서만 발생하며 다른 노드들은 에너지 소모만 일어나게 된다.

3. 사건 발생 모델

본 논문의 네트워크 내에서 발생하는 사건의 모델은 레비워크(Levy walk) 모델을 기반으로 한다[10]. 레비워크 모델은 사건이 한 지역에 오래 머물다가 다른 지역으로 이동 후 그 지역에 다시 머무는 패턴을 가진 모델로서 이동거리 r과 이동시간 t에 의한 $\Phi(r,t)$의 확률밀도함수로 정의된다.

$$\Phi(r,t) = \phi(t|r)\delta(r) \tag{7}$$

$\delta(r)$은 이동거리 r의 확률밀도함수이고 $\phi(t|r)$는 이동을 하게 되었을 때 이동시간 t 동안 이동하게 되는 조건부 확률밀도함수이다. 여기서 $\delta(r)$이 두꺼운 꼬리 분포(Heavy-tailed distribution)를 가질 때 $\Phi(r,t)$는 레비워크 모델을 따른다. 이렇게 하여 노드 k의 계측이 가능한 범위 내에서 사건이 발생할 확률을 $p(k)$로 나타낸다.

Ⅳ. 에너지/메모리 최적화 클러스터

클러스터 기반의 무선 센서 네트워크에서는 네트워크 내부 센서 노드들의 일부 집합이 하나의 클러스터 헤드를 가지는 한 클러스터를 이루고 다시 클러스터들이 하나의 네트워크를 이루는 구조를 가진다. 이 때 하나의 클러스터 헤드가 고정적으로 모든 데이터를 수집하게 된다면 메모리 관리에 큰 부담을 가지며 클러스터 헤드 주변의 센서 노드들도 중계에 의한 에너지 소모가 증가하여 아직 많은 노드들이 살아있음에도 불구하도 몇 개의 에너지가 방전된 노드들에 의하여 네트워크가 작동하지 않을 수 있다. 따라서 클러스터 헤드를 비롯한 클러스터 구성을 적응적으로 변경함으로써 각 노드들의 에너지와 메모리의 균형 있는 소모를 이루어 네트워크의 전체 수명을 연장할 필요가 있다.

클러스터의 센서 노드 구성은 기본적으로 통신이 가능한 거리 내에 있는 노드로 구성하지만 사건의 발생 빈도가 높은 지역의 클러스터는 에너지 소모를 최소화하기 위하여 홉의 수를 적게 하는 클러스터를 구성한다. 우선 클러스터 헤드는 사건이 자주 발생하는 지역을 계측 가능한 노드들 중에 기대 수명 결정 요소 $Q(h)$가 가장 큰 하나로 선정한다.

$$Q(h) = min(\frac{E_R(h)}{E(h)}, \frac{M_R(h)}{M(h)}) \tag{8}$$

$E_R(h)$, $M_R(h)$는 노드 h의 잔여 배터리 에너지와 메모리 용량을 의미한다. 클러스터 헤드의 수명은 배터리의 완전한 방전뿐만 아니라 메모리 저장 공간의 완전한 소모에도 영향을 받는다. 따라서 $Q(h)$는 에너지와 메모리의 잔여 비율 중에 낮은 것에 의하여 결정된다. 이렇게 무선 센서 네트워크에서 클러스터 헤드들이 결정되면 각 클러스터 헤드들은 통신 가능 범위 내에서 주변의 센서 노드들을 자신의 하위 노드로 포함하며 클러스터를 확장시킨다. 이때 두 개 이상의 클러스터가 하나의 노드 k를 가지고 경쟁을 하게 되면 클러스터 헤드 노드 h는 다음과 같은 $E_{cluster}$, $M_{cluster}$, $p_{cluster}$에 의하여 소유권을 결정한다.

$$E_{cluster} = E_s(k) + \sum \Delta E_c(c) \tag{9}$$

$$M_{cluster} = M_R(h) - B_s(k) \tag{10}$$

$$p_{cluster} = p(k \cup c) \tag{11}$$

여기서 c는 클러스터 헤드 노드 h부터 노드 k 사이에 홉으로 연결된 노드들을 의미한다. $\Delta E_c(c)$는 노드 k를 클러스터에 추가함으로써 데이터의 처리량이 증가하게 되고 이에 따라 노드 c에서 부가적으로 소모되는 에너지가 된다. 따라서 $E_{cluster}$는 노드 k의 추가에 따른 클러스터에서의 추가적인 에너지 소모량을 의미한다. $M_{cluster}$는 노드 k에서 계측된 데이터를 저장 후 남아있는 클러스터 헤드의 메모리를 의미한다. $p_{cluster}$는 클러스터 헤드에서부터 노드 k까지 사건이 발생할 수 있는 총 확률을 나타낸다. 이렇게 노드 k의 추가에 따른 각 클러스터의 $E_{cluster}$, $M_{cluster}$, $p_{cluster}$가 정해지면 경쟁 노드의 소유 결정 요소 Z의 값이 가장 작은 클러스터 헤드가 노드 k를 자신의 클러스터로 소속시킨다.

$$Z = \frac{E_{cluster}}{E_{sys}} \times (1 - \frac{M_{cluster}}{M_{sys}}) \times p_{cluster} \tag{12}$$

E_{sys}, M_{sys}는 무선 센서 네트워크의 남아있는 전체 시스템 에너지와 메모리의 용량을 의미하며 $E_{cluster}$, $M_{cluster}$를 정규화하기 위해 사용한다. 노드 k의 소유를 위해 경쟁하는 두 개 이상의 클러스터는 전체 시스템의 에너지 소모를 최소화하고 각 클러스터 헤드들의 잔여 메모리 용량이 많은 것을 고려하게 된다. 뿐만 아니라 사건의 발생 확률도 고려해줌으로써 네트워크의 수명을 연장할 수 있다.

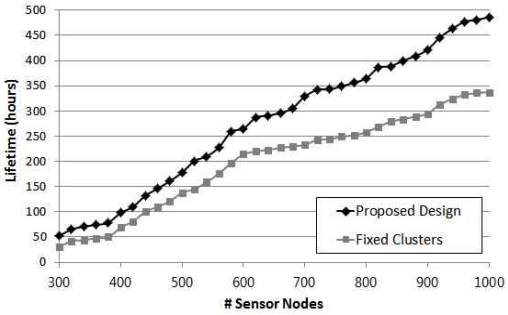

그림 3. 제안된 디자인과 고정된 클러스터의 센서 노드 수에 따른 네트워크 수명
Fig. 3 Relationship between the number of sensor nodes and network lifetime for proposed design and fixed clusters

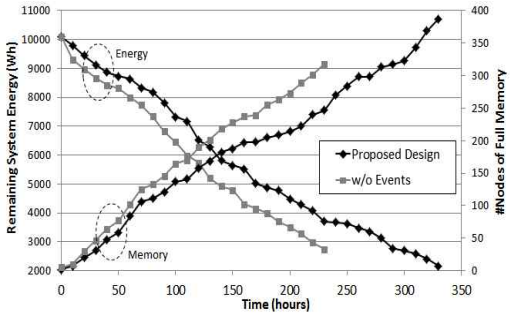

그림 4. 제안된 디자인과 사건 발생 확률을 고려하지 않은 클러스터의 시간에 따른 시스템의 남아있는 에너지와 메모리 공간이 없는 노드 수
Fig. 4 Remaining system energy and the number of nodes of full memory for proposed design and cluster without consideration of evert probability

V. 시뮬레이션 및 분석

1. 설정

센서 노드들은 700m×700m의 2차 공간에 무작위로 배치되었으며 각 센서 노드의 주변 노드들과 클러스터를 구성할 수 있는 전송 범위는 최대 60m로 제한한다. 또한 초기 배터리 용량은 상용으로 쓰이는 일반 AA 알카라인 배터리인 3600mWh이고 4개의 배터리를 사용하며 메모리 용량은 50MB이다. 2차 공간에 레비워크 모델을 따르는 5개에서 15개 사이의 사건들이 존재하며 시간에 따라 발생하거나 소멸한다. 또한 사건 발생 확률을 고려하지 않은 네트워크에서는 기존의 클러스터 헤드의 에너지나 메모리가 완전히 소모되고 나서야 라운드로빈 형식으로 새로운 클러스터 헤드를 선출한다. 그리고 각 센서 노드는 주변의 노드들의 에너지 및 메모리 정보를 알고 있으며 이때 소모되는 에너지는 데이터의 양이 매우 적기 때문에 고려하지 않는다.

2. 결과 및 고찰

그림 3은 2차 공간에 배치된 센서 노드 수에 따른 제안된 디자인, 즉 상황에 따라 클러스터의 개수가 유동적으로 변하는 네트워크와 고정적인 클러스터의 개수를 가지는 네트워크 사이의 수명을 보여주고 있다. 여기서 네트워크의 수명은 3개 이상의 사건을 저장할 수 없는 클러스터 구성이 될 때까지의 시간으로 정의한다. 두 경우 모두 노드 수의 증가에 따른 노드 간 거리 감소와 시스템 에너지 및 메모리 용량의 증가로 수명이 증가하는 것을 볼 수 있지만 노드 수의 증가에 따라 네트워크 수명의 차이는 증가하는 것을 알 수 있다. 노드의 개수가 300개일 때는 제안된 디자인의 수명은 53시간이고 고정된 클러스터 네트워크의 수명은 31시간으로 22시간의 차이를 보였다. 또한 1000개일 때는 각각 486시간과 337시간으로 149시간의 차이를 보였다. 이는 시간에 따라 클러스터 헤드를 비롯한 클러스터의 구성을 적응적으로 변경해줌으로써 가능하였다. 고정적인 클러스터를 구성하는 네트워크에서는 클러스터 주변에서 사건이 집중적으로 발생하게 된다면 에너지와 메모리 소모가 과도하게 집중되어 네트워크의 수명을 급속도로 감소시킨다. 하지만 본 논문에서 제안한 네트워크의 에너지와 메모리뿐만 아니라 사건의 발생 확률도 함께 고려한 디자인으로 클러스터 헤드를 포함한 클러스터를 유동적으로 변경해줌으로써 네트워크의 수명 증가를 확인할 수 있다.

그림 4는 700개의 센서 노드가 배치된 네트워크에서 제안된 디자인과 사건 발생 확률을 고려하지 않은 클러스터의 시간에 따른 시스템의 남아있는 에너지와 메모리 공간이 없는 노드 수를 보여주고 있다. 먼저 남아있는 에너지 측면에서 살펴보면 사건의 확률을 고려하지 않은 네트워크에서는 시간이 흐름에 따라 감소하다가 230시간에서 네트워크의 수명을 다한 반면에 제안된 디자인에서는 에너지를 덜 소모하면서 330시간에서 네트워크가 끝났다. 이는 클러스터 구성 시 사건이 자주 발생하는 지역에서는 에너지를 최소화하기 위하여 적은 수의 홉을 가지는 클러스터가 생성되었기 때문이다. 반면에 사

건의 발생 확률을 고려하지 않으면 많은 데이터가 발생하는 지역의 클러스터가 크게 형성되어 송수신 에너지가 많이 소모될 수 있다. 또한 사건이 드물게 발생하여 데이터가 적게 생성되는 지역의 클러스터가 작다면 에너지 소모가 적어 전체 시스템의 네트워크 측면에서 본다면 에너지 불균형 현상이 발생하게 된다. 다음 메모리 공간을 모두 소모한 노드의 수를 비교해보면 사건 발생 확률을 고려하지 않는 네트워크의 경우 제안된 디자인에 비하여 빠르게 그 개수가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 사건 발생 확률을 고려하지 않은 네트워크의 경우 클러스터 헤드의 메모리가 완전히 소모가 되어야 클러스터 헤드를 변경하므로 그 수가 빠르게 증가하는 것을 볼 수 있다. 하지만 제안된 디자인의 경우 남아있는 메모리 용량을 고려하여 적응적으로 클러스터 헤드를 변경해줌으로써 메모리를 균형 있게 소모하는 것을 볼 수 있다.

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 클러스터 기반의 무선 센서 네트워크에서 네트워크의 수명을 극대화하기 위한 방법이 제안되었다. 네트워크의 에너지 소모를 최적화하여 수명을 연장시키는 기존의 방법들과는 다르게 노드의 메모리와 사건의 발생 확률도 함께 고려하는 방법을 소개하였다. 이때 주기적으로 클러스터 헤드를 변경해줌으로써 클러스터 헤드 주변에서 발생할 수 있는 주변 노드의 극심한 에너지 고갈과 클러스터 헤드의 메모리 오버플로우와 같은 문제를 완화해주었다.

이번 논문에서 제안한 알고리즘은 디자인 타임에서 클러스터의 그룹을 적응적으로 변경해주는 기법으로 실제 시스템에서는 사건의 예측을 하여야 하므로 적용하기는 힘들다. 따라서 추후에는 런 타임에서 실시간 환경에 적용할 수 있는 사건 예측 모델에 기반을 둔 알고리즘 연구가 기대된다.

References

[1] M. Younis, M. Youssef, K. Arisha, “Energy-aware routing in cluster-based sensor networks,” Proceedings of the 10th IEEE/ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems, 2002.

[2] V.P. Mhatre, C. Rosenberg, D. Kofman, R. Mazumdar, N. Shroff, “A minimum cost heterogeneous sensor network with a lifetime constraint,” IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 4, No. 1, pp. 4-15, 2005.

[3] T. He, S. Krishnamurthy, L. Luo, T. Yan, L. Gu, R. Stoleru, G. Zhou, Q. Cao, P. Vicaire, J. A. Stankovic, T.F. Abdelzaher, J. Hui, B. Krogh, “Vigilnet: An integrated sensor network system for energy-efficient surveillance,” ACM Transactions on Sensor Networks, Vol. 2, No. 1, pp. 1-38, 2005.

[4] C. Alippi, C. Galperti, “An adaptive system for optimal solar energy harvesting in wireless sensor network nodes,” IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, Vol. 55, No. 6, pp. 1742-1750, 2008.

[5] S.R. Gandham, M. Dawande, R. Prakash, S. Venkatesan, “Energy efficient schemes for wireless sensor networks with multiple mobile base stations,” Proceedings of the IEEE Globecom, Vol. 1, pp. 377-381, 2003.

[6] W. Chen, J.C. Hou, L. Sha, “Dynamic clustering for acoustic target tracking in wireless sensor networks,” IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 3, No. 3, pp. 258-271, 2004.

[7] M. Ye, C.F. Li, G.H. Chen, J. Wu, “EECS: An energy efficient clustering scheme in wireless sensor networks,” Proceedings of IEEE International Performance, Computing and Communications Conference, pp. 535-540, 2005.

[8] M. Farach-Colton, A.F. Anta, M.A. Mosteiro, “Optimal memory-aware sensor network gossiping,” Theoretical Computer Science, Vol. 472, pp. 60-80, 2013.

[9] W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, “Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks,” Proceedings of IEEE Hawaii International Conference on System Sciences, 2000.

[10] I. Rhee, M. Shin, S. Hong, K. Lee, S. Kim, S. Chong, “On the levy-walk nature of human mobility,” IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 19, No. 3, pp.630-643, 2011.

저 자 소 개

김 태 림

2009년 서강대 전자공학과 학사.
2011년 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사.
현재, LIG Nex1 PGM 1 연구센터 선임연구원.
관심분야: 임베디드 시스템, 시스템 엔지니어링
Email: taerim.kim@lignex1.com