

센서 네트워크 환경의 임계값 기반 클러스터 헤드 지연 교체 전략[☆]

The Threshold Based Cluster Head Replacement Strategy in Sensor Network Environment

국 중 진*
Joongjin Kook

안 재 훈**
Jaehoon Ahn

홍 지 만***
Jiman Hong

요 약

무선 센서 네트워크에서 클러스터 기반의 계층적 라우팅 프로토콜들은 모든 노드들의 수명을 균등하게 유지하여, 센서 네트워크의 수명을 최대로 연장하는 것을 목표로 하고 있다. 본 논문에서는 임계값 기반의 클러스터 헤드 교체 전략을 보인다. 이 라우팅 프로토콜은 센서 노드가 클러스터 헤드의 역할을 수행하지 않으면서 최대한 오랜 시간 동안 네트워크에 참여하기 위해 필요한 에너지의 양을 임계값으로 정의하고, 한 번 클러스터 헤드로 선출된 노드는 이 값에 도달할 때 까지 클러스터 헤드의 역할을 유지하여 빈번한 헤드 교체를 방지하도록 함으로써 전체 네트워크의 에너지 효율은 물론 네트워크의 균형이 최대한 유지되도록 한다. 또한 시뮬레이션을 통해 대표적 계층적 라우팅 프로토콜인 LEACH와 네트워크의 균형 및 에너지 소모 정도를 비교하여 본 논문이 제시하는 알고리즘의 효용성을 입증한다.

Abstract

Most existing clustering protocols have been aimed to provide balancing the residual energy of each node and maximizing life-time of wireless sensor networks. In this paper, we present the threshold based cluster head replacement strategy for clustering protocols in wireless sensor networks. This protocol minimizes the number of cluster head selection by preventing the cluster head replacement up to the threshold of residual energy. Reducing the amount of head selection and replacement cost, the life-time of the entire networks can be extended compared with the existing clustering protocols. Our simulation results show that our protocol outperformed than LEACH in terms of balancing energy consumption and network life-time.

☞ keyword : 센서네트워크(sensor network), 계층적 라우팅(hierarchical routing), 저전력 라우팅(low power routing)

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 일반적으로 광범위하게 설치되어 있는 유무선 네트워크 인프라에 상황인지를 위한 다양한 센서 디바이스를 결합하여 감

지된 데이터를 응용서비스 서버와 연동하는 것을 말한다. 온도센서와 같은 표준 센서와 무선 센서 네트워크가 다른 점은 센서 모듈간의 상호 통신을 바탕으로 집단적으로 데이터를 수집, 처리하는 능력이 있다는 것이다.

센서 네트워크의 구성은 크게 센서 노드, 싱크 노드, 그리고 인터넷과 같은 공중망으로 구분해 볼 수 있다. 센서 노드는 어떤 현상을 감지하기 위해서 관찰 지역 내에 뿌려진 센서 모듈 자체를 말하며, 싱크 노드는 필드에서 센서 노드들로부터 감지된 정보를 취합하여 인공위성 또는 백본망을 통하여 사용자에게 전송하는 역할을 한다. 이를 위해서 무선 송수신 장치를 이용하는데, 무선 송

* 정 회 원 : 숭실대학교 컴퓨터학과 박사수료
tipsiness@gmail.com

** 정 회 원 : 숭실대학교 컴퓨터학과 박사과정
ajhmir@gmail.com

*** 중신회원 : 숭실대학교 컴퓨터학과 조교수 (교신저자)
jiman@ssu.ac.kr

[2008/09/02 투고 - 2009/09/05 심사 - 2008/12/22 심사완료]

☆ 이 논문은 2008년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2008-000-12157-0)

수신 장치의 송신 거리가 짧기 때문에 센서 노드에서 멀리 떨어져 있는 사용자까지 데이터를 직접 전송하는 것은 불가능하다. 따라서 센서 노드들은 자체의 송신 거리보다 더 멀리 떨어져 있는 사용자에게 데이터를 전송하기 위해서 주변 상황을 감지하는 작업 뿐 아니라, 센서 노드 자체에서 라우팅 기능도 함께 수행해야 한다. 센서 네트워크에서는 센서 노드들이 협력해서 데이터를 싱크 노드까지 전송해야 하기 때문에, 각 센서 노드의 수명이 전체 네트워크의 수명을 결정짓는 중요한 요소가 된다. 많은 수의 센서 노드들이 사용자가 접근하지 못하는 곳에 불규칙적으로 뿌려지기 때문에, 한 번 배터리가 방전된 센서 노드를 재충전하거나 교체하는 것은 불가능하다. 이처럼 센서 노드의 수명은 각 센서 노드가 가지고 있는 배터리에 의존하므로 가능한 소모하는 에너지양을 줄여 모든 센서 노드가 골고루 오래 살 수 있도록 함으로써, 전체 통신망의 수명을 늘릴 수 있는 방안 마련이 요구된다.

본 논문에서는 클러스터 기반의 네트워크에서 네트워크 수명을 극대화시킬 수 있는 방안에 대한 연구 결과를 제시한다. 이를 위해 네트워크의 형성과 라우팅 과정을 철저한 분석하여 새로운 알고리즘을 제시하고, 현재까지 제안된 다른 클러스터 트리 기반의 라우팅 알고리즘과 비교해본다.

2. 관련연구

클러스터 트리 구조의 센서 네트워크의 전체적인 동작은 클러스터를 구축하는 초기화 단계와 수집된 데이터를 전송하는 운영단계로 구분할 수 있고, 이러한 두 단계가 반복적으로 동작된다.

초기화 단계는 전체 센서 필드를 클러스터 단위로 구성하기 위한 단계이다. 몇 개의 클러스터로 분할할 것인지, 각 클러스터 내에서 누가 클러스터 헤드가 될 것인지를 잘 결정해야 에너지 효율적인 네트워크를 구성할 수 있게 된다.

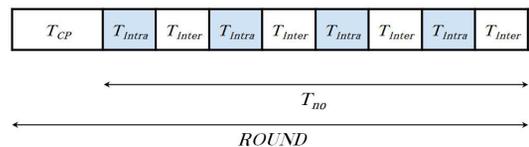
클러스터링 알고리즘의 기본적 요구 사항은 클

러스터링 초기화 과정 후에 모든 노드는 단 하나의 클러스터에 속해야 한다는 것이다. 이를 위해 필요로 하는 메시지와 시간의 오버헤드는 최소화되어야 하며 클러스터링의 목표인 안정적 망의 형태 유지, 라우팅, 네트워크 효율성, 에너지 소비의 최소화 등을 만족해야 한다.

무선 센서 네트워크에서 인접한 노드간의 유사한 정보의 중복 전달로 인한 에너지 낭비를 줄이기 위한 ‘데이터 모음 (data aggregation)’이 필요하다는 특성을 고려할 때 클러스터 트리 기반의 라우팅 기법이 많은 장점을 가진다. 즉, 각 센서 노드들은 로컬 클러스터 헤드로 데이터를 전송하고 클러스터 헤드가 데이터 모음을 수행하여 보다 에너지 효율적인 라우팅을 가능하게 하며, 요청된 질의에 대한 클러스터 헤드에 의한 전달로 비효율적인 질의의 플러딩(flooding)을 막을 수 있다.

2.1 클러스터 트리 네트워크의 동작

클러스터 트리 네트워크의 동작(Top)은 클러스터링을 위한 클러스터 동작 단계(Tcp)와 데이터 통신을 위한 네트워크 동작 단계(Tno)로 이루어져 있다. 일반적으로 클러스터 구성을 위한 네트워크의 오버헤드를 줄이기 위해서 네트워크 동작 단계가 클러스터 동작 단계 보다 더 큰 주기를 가지고 있다[1]. 네트워크 동작 단계는 클러스터 내부의 통신(Tintra)과 클러스터 헤드의 통신(Tinter) 과정으로 구성되어 있으며 이 단계에서 데이터 전송이 이루어진다. 센서 네트워크의 동작(Top)은 라운드로 표현할 수 있고, 한 라운드에서 클러스터의 구성과 데이터의 수집 및 전송이 이루어진다.



(그림 1) 클러스터 트리 네트워크의 동작

2.2 클러스터 트리 네트워크의 라우팅 알고리즘

무선 센서 네트워크를 위한 많은 라우팅 알고리즘들이 제안되었다. LEACH[2]는 가장 기본적인 클러스터 트리 네트워크의 라우팅 알고리즘으로써 분산된 클러스터 형성, 글로벌 커뮤니케이션을 줄이는 로컬 프로세싱, 클러스터 헤드 선출의 랜덤 순환을 특징으로 한다. 모든 노드는 적어도 한 번씩 클러스터 헤드가 되게 되며 클러스터 헤드로 선정된 노드는 싱크로 직접 데이터를 전송하게 되는데 이때에 클러스터 헤드를 선정하는 절차가 로컬 확률을 가진 랜덤한 클러스터 형성 방법을 기반으로 하기 때문에, 클러스터 헤드로 선출된 노드가 네트워크에 균일하게 분포한다는 것을 보장할 수 없다. 이 문제점을 보완하고자 중앙 집중형 관리 기법을 이용하여 클러스터를 형성하는 방법인 LEACH-C[3]가 제안되었다. EEUC[4]는 에너지 효율적인 불균등한 클러스터링 프로토콜이다. 노드를 동일하지 않은 크기의 클러스터에 넣고, 싱크와 가까운 클러스터는 싱크에서 멀리 떨어진 클러스터 보다 작은 클러스터 크기를 갖는다. 또한 싱크로부터 임계값 이하의 거리에 있는 센서 노드는 직접 싱크 노드로 데이터를 전달한다. 그러므로 클러스터 헤드가 싱크 노드와 가까워질수록 인터 클러스터 데이터 전송에 있어서 에너지를 보존할 수 있기 때문에 기존의 싱크에 가까운 클러스터 헤드일수록 에너지의 고갈이 빨라지는 문제를 보완하였고, 선출된 클러스터 헤드간의 데이터는 다중 홉(multi-hop)으로 전송된다.

또한, 계층적인 센서 네트워크의 프로토콜로써 다음에 소개하는 연구들에 의해 체인의 형성을 통한 데이터 전달, 에너지 잔량에 기반한 클러스터 헤드 선출, TDMA를 사용한 클러스터 내부 동작 등 여러 가지 효율적인 클러스터 구성 방법과 통신 방법이 제안되었다.

Gerla는 최상위 연결도를 가진 노드를 중심으로 클러스터링을 하는 알고리즘[5]을 제안하였는데, 연결도가 높은 노드가 클러스터 헤드가 되며

동일한 연결도를 가진 노드 중에서는 낮은 식별자를 가진 노드가 클러스터 헤드로 선정된다. 노드의 연결도를 기반으로 한 클러스터의 구성은 모든 노드가 서로의 연결도에 대한 값을 유지해야 한다는 점에서 수많은 노드로 구성된 무선 센서 네트워크에 적합한 방법이라고 할 수 없다. 또한 노드가 이동하지 않는 경우처럼 노드의 연결도가 변하지 않으면 클러스터 헤드가 된 노드는 계속 클러스터 헤드로 선택되는 단점이 있다. 그러나 비교적 연결도가 높은 노드가 클러스터 헤드가 되기 때문에 Intra/Inter 클러스터 통신에서 노드의 전송 횟수를 줄일 수 있게 된다.

Lindsey에 의해 제안된 PEGASIS[6]는 TSP(Traveling Sales Person)를 이용하여 통신 체인을 만든다. 각각의 노드는 오직 통신 체인상에 가장 가까이 이웃한 두 노드와만 통신한다. 체인으로 연결된 노드들 중에서, 오직 하나의 지명된 노드만이 데이터를 수집하기 위하여 다른 노드로부터 데이터를 모은다.

Tan과 Korpeoglu는 PEDAP[7]에서 무선 라우팅 기법에 기반한 최적에 가까운 미니멈 스페닝 트리를 제안하였다. PEDAP은 LEACH와 PEGASIS의 성능을 비교하였고, PEGASIS에 비하여 네트워크 수명이 약간 좋아짐을 보였다.

Yang은 PEGASIS와 PEDAP-PA 보다 높은 에너지 효율성, 네트워크 수명, 그리고 높은 처리량을 위하여 SHORT[8]를 제안하였다. 이 기법은 중앙 집중 관리 방법을 사용하며 파워풀한 베이스 스테이션이 필요하다. 성능 측정 결과 SHORT가 “Energy X Delay” 성능 측면에서 기존의 체인 기반의 데이터 수집 프로토콜보다 더 좋은 성능을 나타냈다.

HEED[9]는 무선 네트워크의 통신 거리 한계와 인트라 클러스터 통신 값을 고려하여 LEACH를 확장하였다. 각각의 노드에서 임시적인 클러스터 헤드가 되기 위한 확률값은 각각의 노드가 가진 에너지 잔량에 기반하고, 모든 임시적인 클러스터 헤드는 최종의 클러스터 헤드가 되기 위하여 경

쟁한다. 최종의 클러스터 헤드는 인트라 클러스터 헤드 통신 값에 따라 결정된다.

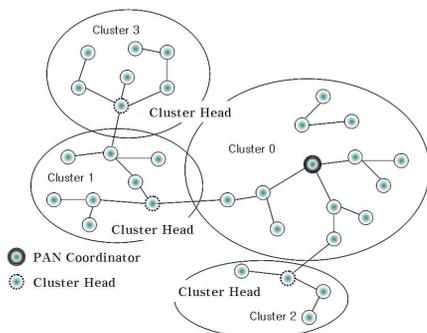
TEEN[10]은 센서 노드들이 주기적으로 전송할 데이터를 가지지 않는다는 점을 제외하고, LEACH와 유사하게 동작한다. TEEN에서 센서 노드들은 클러스터 결정 시간에 클러스터 헤드가 방송한 임계값인 H_t 와 S_t 에 기반을 두고 현재 감지된 데이터를 전송할지의 여부를 결정하고 후에 감지된 값이 저장된 값보다 S_t 이상 큰 경우에 전송한다. LEACH가 사전적인 센서 네트워크에 적합한 특성을 가지지만, TEEN은 시간 임계적인 데이터를 처리한다는 점에서 반응적 센서 네트워크에 적합하다.

APTEEN[11]은 사전적 센서 네트워크와 반응적 센서 네트워크의 한계점을 최소화하면서 둘의 장점을 통합하는 하이브리드 네트워크를 제공한다. APTEEN을 채택한 하이브리드 네트워크에서 센서들은 데이터를 주기적으로 전송할 뿐만 아니라, 측정된 데이터의 속성 값의 갑작스런 변화에도 잘 반응한다.

3. 임계값 기반의 헤드 교체 전략

3.1 클러스터 트리의 에너지 소비 모델

클러스터 트리 네트워크는 그림 1과 같은 형태로 구성되며, 클러스터의 형성을 위한 과정과 형성된 네트워크가 운용되는 과정으로 구분할 수 있다.



(그림 2) 클러스터 기반 계층적 네트워크 토폴로지

이 때, 에너지가 소비되는 부분 역시 클러스터의 형성 단계인 초기화 과정에서 발생하는 에너지 소모와 네트워크의 운용 단계인 운용 과정에서 소모되는 에너지로 양분할 수 있게 된다. 따라서 클러스터링 과정에서 에너지 소비가 일어나는 부분에 대한 분류를 수행하고, 각 부분에서 에너지 소비를 줄이기 위해 수행되었던 연구 내용들을 정리하면 표 1과 같다.

클러스터의 구성과 관련된 부분에서는 주로 클러스터의 크기, 클러스터의 개수, 클러스터 헤드의 위치, 싱크의 위치에 따른 클러스터 형성에 관한 연구가 전체 네트워크의 에너지 소모를 줄이기 위해 연구가 수행되었다. 네트워크의 운영과 관련된 부분에서는 형성된 단위 클러스터에서 데이터 모음과 전송을 담당하는 클러스터 헤드의 역할을 분산시킴으로써 네트워크의 수명을 연장하기 위한 방법이 연구되었다.

(표 1) 클러스터링 단계와 관련 연구

단계	세부 동작	관련 연구
초기화	• 클러스터 형성	<ul style="list-style-type: none"> • 클러스터 크기 최적화 • 클러스터 수의 최적화 • 클러스터 헤드의 위치 선정
운용	<ul style="list-style-type: none"> • 클러스터 헤드 선정 • 데이터 모음 • 데이터 전송 • 자가치유 	<ul style="list-style-type: none"> • 확률 기반(LEACH) • 연결도 기반(ACE) • 잔여에너지 기반(HEED)

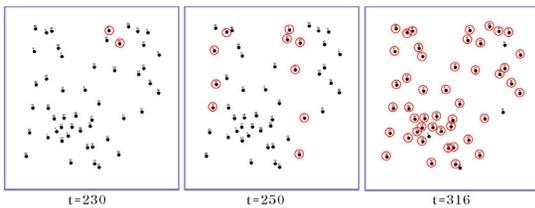
3.2 임계값 기반 클러스터 헤드 교체 알고리즘

클러스터가 구성되고 동작하는 과정에서 앞서의 그림 2와 같이 멤버 노드의 데이터 송수신 거리 범위와 클러스터 헤드의 송수신 거리 범위는 큰 차이를 갖는다. 게다가 멤버 노드는 주어진 타임 슬롯 동안 데이터를 보내고 나머지 시간은 대기(sleep) 상태를 유지함으로써 에너지 소모를 줄일 수 있지만, 클러스터 헤드는 모든 멤버 노드로부터 데이터 모음을 수행하고, 모인 데이터를 싱크까지 전송해야할 의무를 갖는다. 따라서 클러스터 헤드의 역할에 소모되는 에너지 소모는 멤버

노드에 비해 매우 크다.

앞선 연구에서는 클러스터 헤드와 멤버 노드간의 에너지 소모 차이를 줄이기 위해 클러스터 헤드의 역할을 주기적으로 모든 멤버 노드에게 분산시키는 방법에 관한 연구가 이루어졌다. LEACH에서는 확률에 근거해 이전에 클러스터 헤드의 역할을 수행하지 않았던 노드가 다음 턴에 클러스터 헤드의 역할을 수행하도록 하는 확률 함수를 제안하였고, ACE에서는 주변 노드와의 연결도가 높은 노드가 클러스터 헤드의 역할을 수행하도록 하는 방법을 제안하였다. 또한 HEED에서는 각 노드의 잔여 에너지를 비교하여 잔여 에너지 비율이 높은 노드가 클러스터 헤드의 역할을 수행하는 방법을 제안하였다.

이러한 클러스터 헤드 교체 방법들의 공통적인 목표는 전체 네트워크의 균형 있는 에너지 소모이다.



(그림 3) LEACH의 네트워크 수명

그림 3은 LEACH 알고리즘이 적용된 네트워크의 수명을 FND(First Node Die)와 LND>Last Node Die) 시간을 통해 보여준다. 네트워크를 구성하는 임의의 멤버 노드의 수명이 끝났다는 것은 특정 지역에 대한 관찰이 더 이상 불가능하다는 것을 의미하며, 센서 네트워크의 특성상 광범위한 지역 또는 사람이 수작업으로 배터리를 교체하기 어려운 지역에 네트워크가 구성되어 있을 때 전체 네트워크가 올바르게 운용되기 어렵다고 볼 수 있다.

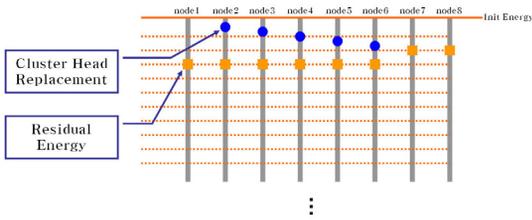
따라서 같은 조건이라면 동등한 초기 에너지를 가지고 낙오되는 노드가 없이 최대의 네트워크 수명을 이끌어 내는 것이 효율적인 네트워크를 구성하는 방법이라고 볼 수 있을 것이다.

기존의 연구에서 클러스터 트리 네트워크의 동작은 데이터 모음과 데이터 전송 두 가지 단계로만 구분하여 에너지 소비 모델을 제시하였다. 그러나 이 모델에는 클러스터 헤드를 교체하는 과정에서 소비하는 에너지는 고려하지 않았다. 클러스터 헤드가 교체되는 과정에서는 클러스터 헤드를 선택하기 위한 연산 과정과 클러스터 헤드로 선출되었을 때 해당 클러스터에 클러스터 헤드라는 사실을 알리기 위한 데이터 전송 과정이 필요하다.

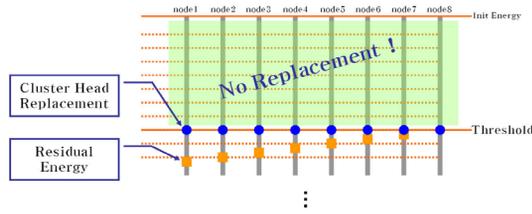
클러스터 헤드를 선정하기 위한 프로세스는 확률 기반의 LEACH 알고리즘을 제외하고는 주변 노드가 가진 잔여에너지 또는 연결도 값을 비교하는 등의 추가적인 작업이 필요하며, 헤드 선정이 되고 나서 클러스터 내의 모든 멤버 노드와 인접한 클러스터 헤드에게 이 사실을 통보하기 위한 브로드캐스트(broadcast) 메시지의 전송이 필요하다. 클러스터 헤드 교체와 관련된 에너지 소모는 클러스터 헤드 교체의 빈도에 따라 달라지며, 교체 횟수가 많을수록 교체 알림 메시지의 전송으로 인한 에너지 소모가 커지게 되고, 교체 횟수가 너무 적으면 전체 네트워크에서 고르게 분산된 에너지 소비를 실현할 수 없게 된다. 이러한 이유 때문에 클러스터 헤드가 언제 교체될 것이며, 그리고 얼마나 자주 클러스터 헤드 교체가 수행되어야 할지에 대해 고려할 필요가 있다.

클러스터 헤드는 멤버 노드의 데이터를 모두 수집한 후, 모인 데이터를 싱크 노드까지 송신하며, 멤버 노드인 경우 주기적으로 센싱 정보를 클러스터 헤드에게 송신한다.

이전까지의 에너지 효율적인 계층적 센서 네트워크에 관한 연구에서 클러스터 헤드가 교체되는 과정은 그림 4와 같으며, 일정한 라운드(Round) 주기에 따라 지속적으로 헤드 교체를 수행한다. 반면, 그림 5는 잔여 에너지의 양이 임계값(Threshold)에 도달할 때 까지는 클러스터 헤드를 교체하는 방법을 보여주고 있다. 그림 4, 5에서 x축은 클러스터의 멤버 노드를 뜻하며, y축은 헤드의 교체가 발생하는 시점을 의미한다.



(그림 4) 전형적인 클러스터 헤드의 교체 과정



(그림 5) 임계값 기반의 클러스터 헤드 교체 과정

그림 5와 같이 본 논문을 통해 제안하는 임계값 기반의 헤드 지연 교체 방법을 적용할 경우 임계값에 이르기 전까지는 헤드 교체 과정이 발생하지 않는다.

제안하는 방법에서 임계값은 클러스터 내에서 개별적인 노드 각각이 에너지가 모두 소멸되는 시점까지 얼마만큼의 헤드 역할을 수행하는지와 연관되고, 헤드의 역할을 마치고 난 이후 남아있는 에너지를 가지고 네트워크의 생존 시간 동안 멤버 노드의 역할을 수행할 수 있어야 한다. 또한 클러스터 단위에서 클러스터 헤드와 멤버의 에너지 소비 비율을 계산해보아야 한다.

이러한 부분들을 고려하여 임계값을 계산하기 위한 과정은 다음과 같다. 1byte 데이터를 송신하는데 소모하는 에너지를 P_{tx} , 1byte 데이터 수신에 소비되는 에너지를 P_{rx} 라 하고, 한 클러스터가 N 개의 노드로 구성되어 있고, 이 때, 클러스터 헤드를 CH, 멤버 노드를 CM 이라 했을 때, 클러스터의 멤버 노드들은 $P_{tx} \times n(\text{byte})$ 만큼의 에너지 소모를 하면서 데이터를 클러스터 헤드로 전송하고 나머지 시간은 수면 상태가 된다. 이 때, 클러스터 헤드는 멤버 노드로부터 데이터를 수신하기 위한 $P_{rx} \times n(\text{byte}) \times (N-1)$ 만큼의 에너지 소모와 모인

데이터를 싱크 노드에 송신하기 위한 $P_{tx} \times n(\text{byte}) \times (N-1)$ 만큼의 에너지 소비가 일어난다. 물론 송신 과정에서는 싱크 노드와의 거리에 따라 소비 에너지가 더 커질 수 있다.

한 클러스터에서 몇 회의 라운드만큼 멤버 노드들의 활동이 가능한지에 대한 계산이 필요하며, 임계값은 멤버로써의 역할을 수행하기 위하여 $COUNT_{RND} \times P_{tx} \times n(\text{byte})$ 로 설정이 되어야만 모든 센서 노드의 수명이 균등하게 보장될 수 있다. 한 클러스터 내에서의 라운드 횟수를 나타내는 $COUNT_{RND}$ 는 식 1에 의해 계산될 수 있다.

$$Count_{RND} = \frac{P_{HeadReplacement}}{P_{WholeEnergyOfCluster}} \cdot 100 \quad (1)$$

$$P_{WEC} = Num\ of\ Nodes\ Per\ Cluster \cdot Init\ Power\ of\ Each\ Node \quad (2)$$

이 때, 한 클러스터가 가진 에너지를 나타내는 PWEC 는 각각의 노드가 가진 초기 에너지와 클러스터에 포함된 노드의 개수의 곱으로 계산되어진다.

또한, 라운드 당 에너지 소비량(PRND)은 다음과 같은 식에 의해 계산될 수 있다.

$$P_{RND} = \{ (N-1) \cdot P_{tx} \cdot n(\text{byte}) + P_{rx} \cdot n(\text{byte}) \} + \{ (N-1) \cdot P_{rx} \cdot n(\text{byte}) + P_{tx} \cdot (N-1) \cdot n(\text{byte}) \} \quad (3)$$

따라서 헤드 교체가 되기 위한 임계값은 식 4와 같다.

$$P_{Threshold} = Count_{RND} \cdot P_{tx} \cdot n(\text{byte}) \quad (4)$$

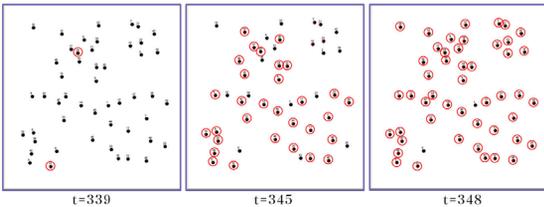
4. 실험

본 절에서는 동일한 조건하에서 기존에 제안된 LEACH 알고리즘의 네트워크 수명과 본 논문에서 제안한 임계값에 의거한 클러스터 헤드 교체 알고리즘의 네트워크 수명을 비교하기 위한 실험과 그에 대한 결과를 나타낸다. 실험을 위한 환경은 다음과 같다.

(표 2) 실험 환경

Items	Value
Size of Network	100m×100m
Number of Nodes of Field	100, 300, 500
Transmission Power	20 nJ/bit + 1 pJ bit ⁻¹ m ⁻³
Reception Power	60 nJ/bit
Initial Power	5 J
Packet length	32 bytes

또한, 시뮬레이션을 수행하기 위해 TinyOS에서 제공되는 TOSSIM을 사용하여 네트워크에서 첫 번째 노드가 죽는 시간(FND)과 가장 마지막 노드가 죽는 시간(LND)을 측정하여 전체 네트워크의 수명을 비교하였다.



(그림 6) 임계값 기반 클러스터 네트워크 수명

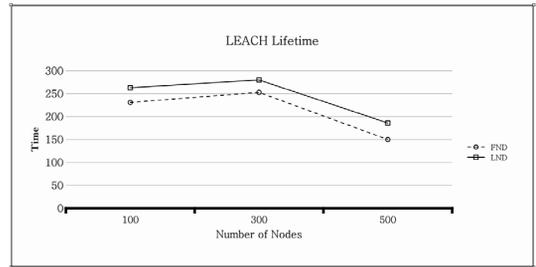
그림 6은 앞선 그림 3과 함께 LEACH로 대표되는 일반적인 클러스터 네트워크의 수명과 임계값 기반의 네트워크 수명을 비교한 그림이다. LEACH의 FND와 LND 사이에 약 100 정도의 차이가 발생하는데 비해, 임계값 기반의 네트워크는 약 9 정도의 차이만을 가지고 있다. 이는 네트워크의 모든 노드들이 거의 동시에 수명이 다하는 것으로 볼 수 있으며, 전체 네트워크가 유지되는 시간도 약 30 정도 늘어난 것을 볼 수 있다.

네트워크 필드의 크기는 100m²으로 동일하게 설정하였으며, 노드의 개수는 100, 300, 500개로 설정하였다. 송신 전력과 수신 전력은 Chipcon사의 CC2420 RF 모듈을 사용했을 때의 19.7mA, 17.4mA 를 적용하였으며, 초기에너지는 각각의 노드에 대해 AA 배터리 2개를 이용한다는 가정 하에 5600mA로 설정하였다.

각각의 실험에서 센서 노드는 동일한 센서 필

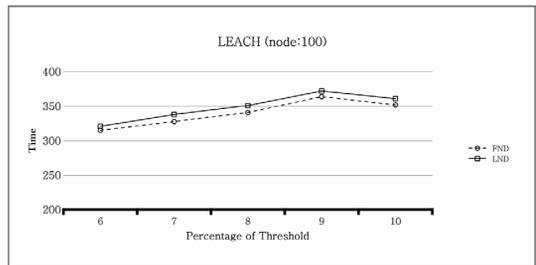
드상의 임의의 위치에 뿌려지는 것으로 설정하였으며, 각 요소의 변화에 따른 실험 데이터는 100회의 실험을 반복했을 때의 평균값을 결과값으로 산출하였다.

그림 7은 노드의 개수가 각각 100, 300, 500인 네트워크에서 LEACH 알고리즘을 적용했을 때의 FND와 LND 시간을 측정된 결과이다.



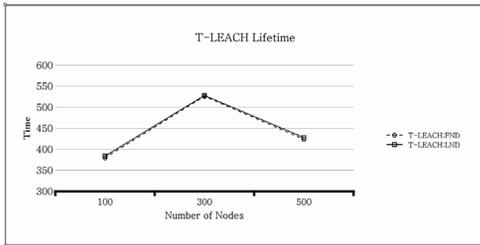
(그림 7) LEACH 기반 네트워크 수명

그림 8은 LEACH 알고리즘을 변형하여 클러스터 헤드의 잔여 에너지 비율이 초기 에너지 값의 6~10%범위에서 헤드 교체를 지연시켰을 때의 실험 결과이다. 본 실험은 잔여 에너지 비율을 임의의 값으로 변화시켜가며 실험적인 임계값을 추출해보기 위한 절차이다.



(그림 8) 임계값 변화에 따른 네트워크 수명

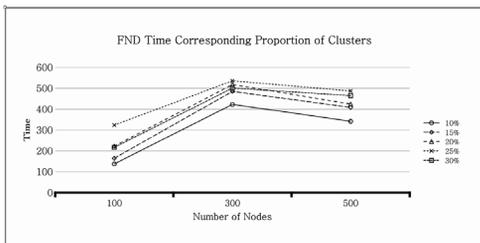
그림 8에서 잔여 에너지 비율이 약 9% 정도일 때 가장 좋은 네트워크 수명을 보였다. 그림 9는 이러한 비율을 얻기 위해 3장에서 보인 임계값 계산(4)을 LEACH 알고리즘에 적용시켰을 때의 실험 결과이다.



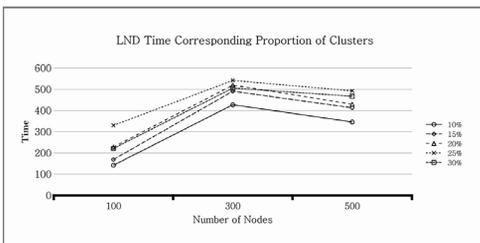
(그림 9) 임계값 계산 알고리즘을 적용한 LEACH 네트워크의 수명

LEACH 알고리즘의 경우, 클러스터 헤드의 비율이 25%일 때, 가장 좋은 네트워크 효율을 보이는 것으로 나타난다. 본 실험에서는 클러스터 헤드의 비율 변화에 따른 네트워크 수명이 제안하는 알고리즘에서도 동일하게 나타나는지를 알아보기 위해 클러스터 헤드의 비율을 10%, 20%, 30% 일 때 각각의 네트워크 수명(FND, LND)을 측정해 보았다.

그림 10, 11은 이에 대한 실험 결과이며, 본래의 LEACH 에서와 마찬가지로 약 25% 정도의 비율로 클러스터를 구성하였을 때 최적의 네트워크 수명이 유지됨을 보여준다.



(그림 10) 클러스터 비율 변화에 따른 네트워크 수명 (FND)



(그림 11) 클러스터 비율 변화에 따른 네트워크 수명 (LND)

4. 결론

본 논문에서는 센서네트워크 환경을 위해 가장 많은 연구가 이루어지고 있는 클러스터 기반의 계층적 라우팅에 방법에 대해 네트워크의 수명을 균등하게 유지함과 동시에 수명을 연장하기 위한 방법으로 임계값 기반의 클러스터 헤드 교체 알고리즘을 연구하였다. 이를 위해 임계값을 산출하는 방법을 제시하였고, 제안된 알고리즘이 적용된 네트워크와 기존의 네트워크의 수명을 비교함으로써, 본 논문에서 제시한 알고리즘의 효율성을 입증하였다.

참고 문헌

- [1] Ossama Younis and Sonia Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach," in Proceedings of IEEE INFOCOM, 2004.
- [2] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," Hawaii International Conference on System Science (HICSS), 2000.
- [3] W. B. Heinzelman, "An Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks," Ph.D. dissertation, Mass. Inst. Tech., Cambridge, 2000.
- [4] C. Li, M. Ye, G. Chen, J. Wu, "An Energy-Efficient Unequal Clustering Mechanism for Wireless Sensor Networks", Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS 2005), 2005.
- [5] H. Chan, A. Perrig, "ACE: An Emergent Algorithm for Highly Uniform Cluster Formation," In 2004 European Workshop on Sensor Networks. pp. 154-171, 2004.
- [6] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, "PEGASIS:

- Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems," Proc. of IEEE Aerospace Conference, pp.1125-1130, 2002.
- [7] Hüseyin Özgür Tan and Ibrahim Körpeoglu, "Power Efficient Data Gathering and Aggregation in Wireless Sensor Networks," Proc. ACM Conf. on SIGMOD, San Diego, CA, Vol. 32, pp. 6671, 2003.
- [8] Chao Gui, Prasant Mohapatra, "SHORT: self-healing and optimizing routing techniques for mobile ad hoc networks," International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing, pp. 279-290, 2003.
- [9] Ossama Younis and Sonia Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach," in Proceedings of IEEE INFOCOM, pp. 366-379, 2004.
- [10] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks," Proc. of 15th International Conference on Parallel and Distributed Processing Symposium, pp. 2009-2015, 2001.
- [11] A. Manjeshwar and D. Agrawal, "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive information Retrieval in Wireless Sensor Networks," International Parallel and Distributed Processing Symposium: IPDPS 2002 Workshops, pp. 195-202, 2002.

◎ 저 자 소 개 ◎



국 중 진

2005년 광운대학교 컴퓨터공학과(학사)
 2007년 광운대학교 대학원 컴퓨터공학과(석사)
 2009년 숭실대학교 컴퓨터학과 박사수료
 2005~현재 전자부품연구원(KETI) 위촉연구원
 관심분야 : 운영체제, 임베디드시스템, 센서네트워크, 지능형로봇, etc.
 E-mail : tipsiness@gmail.com



안 재 훈

2007년 광운대학교 컴퓨터공학과(학사)
 2009년 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과(석사)
 2009~현재 숭실대학교 컴퓨터학과 박사과정
 2005~현재 전자부품연구원(KETI) 위촉연구원
 관심분야 : 운영체제, 임베디드시스템, 센서네트워크, etc.
 E-mail : corehun@gmail.com



홍 지 만

1994년 고려대학교 컴퓨터공학과(학사)
 1997년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과(석사)
 2003년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과(박사)
 2006~현재 숭실대학교 컴퓨터학과 조교수
 관심분야 : 운영체제, 결합허용컴퓨팅, 분산시스템, 임베디드시스템, 센서네트워크, etc.
 E-mail : jimman@ssu.ac.kr