

에너지 효율적 무선 센서 네트워크를 위한 트리 기반 클러스터링 프로토콜

김 경 태[†] · 윤 희 용^{**}

요 약

다수의 센서로 구성된 무선 센서 네트워크는 다양한 환경에서의 정보 수집을 목적으로 하며 현재 다양한 분야에 응용 및 활용이 되고 있다. 센서 네트워크를 구성하는 각 센서 노드들은 한정된 전력의 배터리로 동작하므로 에너지 효율성 및 장시간의 네트워크 수명을 제공하는 것이 센서 네트워크의 중요한 연구 목표 중 하나이다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 에너지 효율성을 향상 시키기 위한 새로운 트리 기반의 클러스터링 프로토콜(tree based clustering protocol)을 제안한다. 제안된 기법은 클러스터를 형성하고 클러스터에서의 노드들은 클러스터 헤드를 루트로 하는 트리를 구성한다. 트리의 높이는 멤버 노드들과 클러스터 헤드의 거리를 기반으로 결정된다. 시뮬레이션을 통해 기존에 제안되었던 LEACH, PEGASIS와 TREEPSI와 비교해 제안된 기법이 노드들 사이에서의 에너지 소비를 균등하게 하여 에너지 효율성을 향상시키고 네트워크 수명을 연장하였음을 확인하였다.

키워드 : 클러스터-헤드, 트리, 데이터 병합, 체인, 에너지 효율성, 네트워크 수명, 클러스터링, 무선 센서 네트워크

Tree-Based Clustering Protocol for Energy Efficient Wireless Sensor Networks

Kim Kyung Tae[†] · Youn Hee Yong^{**}

ABSTRACT

Wireless sensor networks (WSN) consisting of a large number of sensors aim to gather data in a variety of environments and are being used and applied to many different fields. The sensor nodes composing a sensor network operate on battery of limited power and as a result, high energy efficiency and long network lifetime are major goals of research in the WSN. In this paper we propose a novel tree-based clustering approach for energy efficient wireless sensor networks. The proposed scheme forms the cluster and the nodes in a cluster construct a tree with the root of the cluster-head. The height of the tree is the distance of the member nodes to the cluster-head. Computer simulation shows that the proposed scheme enhances energy efficiency and balances the energy consumption among the nodes, and thus significantly extends the network lifetime compared to the existing schemes such as LEACH, PEGASIS, and TREEPSI.

Keywords : Cluster-Head, Tree, Data Aggregation, Chain, Energy-Efficiency, Network Lifetime, Clustering, Wireless Sensor Networks

1. 서 론

최근 무선 통신기술과 칩 설계 기술, IT 기술의 급속한 발전은 사물의 지능화와 네트워크화를 골격으로 하는 유비쿼터스(Ubiquitous) 환경을 실현 가능하게 하고 있다. 특히,

유비쿼터스 환경을 실현하는 대표적인 기술로써 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)가 대두 되고 있다.

무선 센서 네트워크는 주변의 물리적 현상을 감지 할 수 있는 센서 디바이스(device)에 기존의 네트워크 개념을 통합하여 사물의 존재 여부, 변화, 위치 및 환경 정보 등 센싱(sensing)한 정보를 기존의 네트워크와 연동하여 실시간으로 모니터링하고 제어할 수 있으며 센서 모듈과 네트워크 모듈을 갖는 다수의 센서 노드들로 구성된다. 센서 네트워크는 많은 수의 센서 노드들이 목표 지역에 배치되어 유기적으로 동작하는 하나의 네트워크를 형성한다. 즉, 우리 생활 공간의 필요로 하는 모든 사물에 센서 디바이스를 부착하고 이

* 본 논문은 교육과학기술부·지식경제부의 출연금으로 수행한 산학협력중심 대학육성사업의 연구결과입니다.

† 준 회 원 : 성균관대학교 정보통신공학부 컴퓨터공학과 박사과정

** 종 신 회 원 : 성균관대학교 정보통신공학부 교수 및 유비쿼터스 컴퓨팅기술 연구소 소장

논문접수: 2009년 6월 9일

수정일: 1차 2009년 9월 7일, 2차 2009년 9월 28일

심사완료: 2009년 9월 30일

를 통해 기본적인 사물의 인식 정보는 물론, 주변의 환경 정보(온도, 습도, 오염 정보, 균열정보 등)까지 탐지하여 이를 실시간으로 네트워크에 연결하고 관리함으로써 미래의 유비쿼터스 환경을 구축하게 하는 핵심 기술이라 할 수 있다[1-2]. 이러한 무선 센서 네트워크는 반도체 기술, MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), 나노 기술, 무선 통신 기술 및 검출 기능, 프로세싱 기능, 무선 통신 기능, 배터리 등을 탑재한 초소형 마이크로 센서 하드웨어 기술의 지속적인 발전에 힘입어 다양한 기능을 가진 센서를 통해 각 분야에 맞는 네트워크의 구축이 가능하게 되었으며, 원격 정보 수집을 기본으로 환경 감시나 목표물 추적, 교통 정보 관리, 건물 관리, 군사용, 의료 분야, 홈 네트워크 등 다양한 분야에 걸쳐 응용 및 활용이 가능하다[3-5].

센서 네트워크는 다수의 센서 노드(sensor node)들이 주어진 임무를 수행하기 위해 임의의 지역에 사용자(user)와 독립적으로 배치되며 무선 환경에서 작동하고 서로 협력을 통해 목표 지역에 대한 정보를 수집한다[6-7]. 그러나 센서 노드들은 사용자와는 독립적으로 배치되고 센서 노드들의 수가 수백에서 수 만개에 달해 이를 유지 및 보수하기 어려운 문제점을 가지고 있다. 특히, 센서 노드들은 초소형으로써 배터리 기반의 제한된 에너지로 동작하며 일반적으로 사람이 접근할 수 없는 지역이나 위험한 환경에 배치되기 때문에 배터리가 모두 소모된 노드의 재충전 및 교체가 불가능하다. 따라서, 센서 노드의 수명은 배터리 수명과 같고 전체 네트워크 수명(network lifetime)에 영향을 준다. 또한, 수명이 다한 노드로 인해 데이터 전송의 신뢰성을 보장받지 못한다. 그러므로 센서 네트워크에서 센서 노드의 에너지 소비를 최소화하고 제한된 에너지를 효율적으로 사용하여 네트워크 수명을 최대화하는 것이 센서 네트워크의 중요한 연구 목표 중 하나이다.

이와 같이 무선 센서 네트워크의 특성상 에너지는 네트워크 수명 및 데이터 신뢰성을 결정짓는 중요한 요소이다. 따라서, 센서 네트워크는 제한된 에너지를 효율적으로 사용하여야 하며, 관련 통신 프로토콜도 저전력 소모를 달성할 수 있도록 설계되어야 한다. 이를 위해 센서 네트워크의 에너지 효율성과 신뢰성을 향상 시키기는 다양한 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜에 대한 다양한 연구 중에서 클러스터, 체인 및 트리 기반의 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다[8-13].

클러스터 기반 라우팅 프로토콜(cluster based routing protocol)은 센서 네트워크의 에너지 효율성(energy efficiency)을 향상시키고 네트워크 수명을 연장하는 대표적인 방법이라 할 수 있다. 이 기법은 네트워크를 클러스터(cluster)라는 영역들로 분할하며 각 클러스터에는 클러스터 헤드(cluster-head)가 존재한다. 네트워크에 존재하는 모든 센서 노드들은 각 클러스터에 속하게 되며 클러스터에 포함되는 센서 노드들을 멤버 노드(member node)라 한다. 클러스터 내의 멤버 노드들은 데이터를 수집하고 수집된 데이터를 클러스터 헤

드에 전송한다. 멤버 노드들은 BS(base station or sink)와 직접 통신하지 않고 클러스터 헤드와 통신함으로써 전송 에너지를 최소화 할 수 있다. 클러스터 헤드는 멤버 노드들로부터 수집된 데이터를 병합하여 최종 목적지인 BS로 전송한다. 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜은 많은 수의 노드가 배치되는 센서 네트워크에서 클러스터 헤드의 데이터 병합(data aggregation)으로 중복되는 데이터의 전송을 방지하며 BS까지의 데이터 전송 에너지 소모를 최소화하여 네트워크수명을 연장시키고 네트워크의 확장성(scalability)을 용이하게 한다.

체인 기반 라우팅 프로토콜(chain based routing protocol)은 클러스터 기반 라우팅 프로토콜에서의 클러스터 구성과 데이터의 전송 방법을 개선하여 에너지 효율성을 향상시킨 프로토콜이다. 이 기법은 네트워크 내의 모든 노드를 한 개의 체인으로 연결한다. 여기서, 체인이란 양끝 노드를 제외한 모든 중간 노드에서 인접 노드 수 혹은 연결차수(node degree)가 2인 특수한 트리이다. 네트워크에서 모든 노드들은 하나의 체인으로 연결되며 각 노드는 자신의 데이터를 체인으로 연결된 인접 노드에게 전송한다. 전송된 데이터를 수신한 노드는 자신의 데이터와 수신한 데이터를 병합하여 다시 인접 노드에게 전송하는 과정을 반복한다. 이 과정을 반복하여 최종 전달 노드에게 데이터를 전송하면 최종 전달 노드는 이를 BS에 전송한다. 즉, 각 노드는 가장 근접한 노드로 데이터를 전송하고 이들 중 하나의 노드가 BS로 데이터를 전송하는 역할을 돌아가면서 수행하게 된다. 체인 기반 라우팅 프로토콜은 인접 노드에게 데이터를 전송하고 BS로 데이터를 전달하는 노드를 하나로 축소하여 불필요한 에너지를 줄여 네트워크 수명을 증가시킨다.

트리 기반 라우팅 프로토콜(tree based routing protocol)은 네트워크의 모든 노드들이 트리를 구성한 후 각 노드는 데이터를 수집하여 트리로 연결된 부모 노드(parent node)에게 데이터를 전달한다. 부모 노드는 자식 노드(children node)들에게서 수신된 데이터를 자신의 데이터와 병합하여 상위 부모 노드에게 전송한다. 최종적으로 루트 노드(root node)는 수신된 데이터를 BS에 전송한다. 이 기법은 트리 구성을 통해 최적의 전송 경로를 확보하고 데이터 병합을 수행하여 에너지 소모를 줄여 네트워크 수명을 향상 시킨다. 트리 기반 프로토콜의 대표적 기법으로 TREEPSI (Tree-based Efficient Protocol for Sensor Information)가 있다[17].

본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 에너지 효율성을 향상 시키고 데이터 신뢰성을 보장하기 위한 새로운 트리 기반의 클러스터링 프로토콜(tree based clustering protocol)을 제안한다. 제안된 기법에서 클러스터들은 확률적으로 선택된 클러스터 헤드를 가지며, 형성된 클러스터 내에서의 노드들은 클러스터 헤드를 루트로 하는 트리를 구성한다. 트리 구성을 위해, 클러스터 헤드는 자신과 클러스터의 멤버 노드들 사이의 거리 정보(distance information)를 이용하여 클러스터에 레벨(level)을 설정하고 설정된 레벨을 기반으로 트리를 구성한다. 각 클러스터에서 트리가 구성된 후에, 클

러스터에서의 모든 노드들은 그들의 부모 노드들에게 센싱(sensing)된 데이터를 전송한다. 부모 노드들은 수신된 데이터와 자신의 데이터를 병합하여 상위의 부모 노드에게 데이터를 전송한다. 이 과정을 반복하여, 최종적으로 루트가 되는 클러스터 헤드에 데이터가 수집되며 클러스터 헤드는 수신된 데이터를 병합하여 BS에 전송한다. 클러스터 헤드 선택과 트리 구성 동작은 각 라운드에서 발생한다. 제안된 기법은 전체 노드의 에너지 소모를 균등하게 하고 멤버 노드들의 에너지 부하(energy load)를 분산하여 에너지 효율성을 향상시키고 네트워크 수명을 연장한다. 또한, 네트워크 확장성을 용이하게 한다. 실험 결과를 통해, 제안된 기법이 클러스터 기반의 대표적 프로토콜인 LEACH, 체인 기반의 PEGASIS와 트리 기반의 TREEPSI 기법과 비교하여 에너지 효율이 향상되어 네트워크 수명을 연장하였고 시간 경과에 따른 생존 노드 수가 증가하였음을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존에 제안된 클러스터, 체인 및 트리 기반 라우팅 프로토콜의 대표적 기법들에 대한 설명과 문제점을 분석하고, 3장에서는 제안된 기법을 위한 시스템 및 에너지 소비 모델을 기술한다. 4장에서는 본 논문에서 제안하는 트리 기반의 클러스터링 기법에 대해 상세히 기술하고, 5장에서는 성능 평가 및 분석을 통해 제안된 프로토콜의 성능을 확인한다. 마지막으로 6장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구 방향을 기술한다.

2. 관련 연구

현재까지 무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜에 대한 많은 연구가 이루어져왔다. 본 장에서는 기존에 연구된 클러스터, 체인, 트리 기반의 라우팅 프로토콜의 대표적인 기법에 대해 간략히 살펴보고 문제점들을 분석한다.

2.1 LEACH and PEACH

LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[14, 18]는 대표적인 클러스터 기반 라우팅 프로토콜로서, 노드간의 에너지 소모를 균등하게 하기 위해서 확률(probability) 기반으로 균등한 횟수로 클러스터 헤드를 선정한다. 클러스터 헤드는 멤버 노드들에게 TDMA 스케줄(schedule)을 작성하여 알려주고, 멤버 노드의 데이터를 수신 받아 BS에 전송한다. 멤버 노드들은 클러스터 형성 후 자신의 타임 슬롯(time slot) 동안 감지된 데이터를 클러스터 헤드에게 전송한다. LEACH에서의 데이터 송수신은 CDMA 방식으로 중간 노드 중계 없이 직접적으로 이루어진다. 또한, 인접한 센서 노드들의 데이터 유사성 특징으로 인한 정보의 중복 전달로 낭비되는 에너지를 줄이기 위하여 클러스터 헤드는 데이터 병합을 수행한다. LEACH는 BS에 데이터를 직접 전송하여 에너지 소비가 큰 클러스터 헤드를 라운드(round)라는 시간 단위 마다 균등하게 교체하여 모든 노드의 에너지가 균등하게 소모되도록 하며 데이터 병합을 통해 전송 에너지를 감

소시켜 네트워크 수명을 연장한다. 그러나, LEACH에서 클러스터 헤드는 확률적으로 선택되므로 불균형적인 클러스터를 구성할 수 있어 모든 센서 노드가 에너지를 균형적으로 소모하는 것을 보장하지 못하고 네트워크 확장 시 노드간의 전송 거리에 따른 제약으로 인해 클러스터 헤드의 에너지 소모가 더욱 커지며 클러스터 내의 멤버 노드들의 에너지 소모도 크게 증가한다. PEACH(Proxy-Enable Adaptive Clustering Hierarchy for wireless sensor network)[15]에서는 LEACH에서 발생하는 에너지에 의한 결함을 해결하기 위해 프록시 노드(proxy node)를 이용한 클러스터 기반의 프로토콜을 제안하였다. PEACH는 각 라운드에서 클러스터 헤드와 프록시 노드를 선출한다. 라운드가 지속되는 동안 노드들의 에너지는 계속 소모되게 된다. 따라서, LEACH에서는 에너지에 대한 고려가 없어 잔여 에너지가 적은 노드가 클러스터 헤드로 선출 될 수 있다. 이러한 클러스터 헤드는 에너지 부족으로 원격의 BS에 데이터 전송을 못하여 데이터 신뢰성을 떨어뜨리고 클러스터 헤드의 역할상 에너지 소모가 많아 빠르게 노드의 기능을 상실하게 된다. 이를 위해, PEACH에서는 임계값(threshold value)을 설정하여 클러스터 헤드가 임계값 이하일 때 클러스터 헤드의 기능을 프록시 노드로 위임하여 프록시 노드가 해당 라운드에서 클러스터 헤드의 역할을 담당하게 한다. 따라서, PEACH는 클러스터 헤드의 에너지 결함으로 인한 문제점을 해결하여 네트워크 수명을 연장하고 신뢰성을 향상 시킨다. 하지만, PEACH의 클러스터 헤드의 선출 방법은 LEACH와 동일하여 불균형적인 클러스터를 구성할 수 있으며, 프록시 노드 선택 시 클러스터 헤드와 거리가 먼 노드가 선택되어 데이터 전송을 위한 추가적인 에너지 소비가 발생한다.

2.2 PEGASIS

PEGASIS(Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems)[16]는 체인 기반 라우팅 프로토콜의 대표적 기법으로써, LEACH의 클러스터 구성과 데이터 전송 방법을 개선하여 인접 노드와 하나의 연쇄를 구성하면서 에너지 소모를 줄일 수 있도록 제안하였다. PEGASIS 알고리즘의 노드는 임의의 노드에서 시작하여 그리드(greedy) 알고리즘을 이용하여 인접 노드와 하나의 체인을 구성한 후 자신의 데이터를 인접 노드에게 전송한다. 전송된 데이터를 수신한 노드는 자신의 데이터와 수신한 데이터를 병합하여 다시 인접 노드에게 전송하는 과정을 반복한다. 이 과정을 반복하여 최종 전달 노드에게 데이터를 전송하면 최종 전달 노드는 이를 BS에 전송한다. 최종 전달 노드는 클러스터 기반 라우팅 프로토콜의 클러스터 헤드와 유사한 역할을 하며 체인으로 연결된 노드들 중 하나가 이 역할을 수행한다. 그러나 PEGASIS는 네트워크가 확장됐을 때 단일 체인으로 데이터를 전달하기에는 상당한 전송 지연이 발생되고 체인 중간에 노드가 오류를 발생할 경우 대처하기 어렵다는 단점이 있다. 또한, PEGASIS 라우팅 기법은 헤드 노드의 선택 과정에 있어서 BS의 위치를 고려하지 않고 체인으로 연결된

노드들 중에 하나가 최종 전달 노드로 선택됨으로써 불필요한 데이터의 이동이 발생하게 된다.

2.3 TREEPSI

TREEPSI(Tree-based Efficient Protocol for Sensor Information)[17]는 네트워크의 모든 노드들 중 하나를 루트 노드를 선택하여 루트 노드를 최종 목적지로 하는 트리(tree)를 형성한다. 각 노드들은 센싱한 데이터를 트리로 연결된 상위의 부모 노드에게 전달하고 루트 노드는 수신된 데이터를 BS으로 전달한다. TREEPSI에서, 루트 노드는 노드들의 데이터 전송 전에 미리 선택되며 트리 경로를 구축하기 위해 두 가지 방법을 제안한다. 첫 번째는 BS에서 경로를 계산하여 네트워크에 경로 정보를 브로드캐스팅(broadcasting)한다. 다른 방법은 각 노드에서 공통의 알고리즘을 사용하여 지역적으로 트리를 구축한다. 트리 구성 후에, 루트 노드는 표준 트리 순회 알고리즘(standard tree traversal algorithm)을 사용하여 자식 노드들을 위한 데이터 수집 절차를 생성하고 데이터 전송 단계가 수행된다. 데이터 전송 단계에서, 모든 리프 노드(leaf node)들은 그들의 부모 노드(parent node)를 향하여 수집된 데이터 전송을 시작한다. 부모 노드들은 자신의 데이터와 자식 노드들에게서 수신된 데이터를 병합하고 그들의 부모 노드에게 전송한다. 이 절차는 루트 노드에 모든 데이터가 수신될 때까지 반복된다. 루트 노드는 데이터를 병합한 후에 BS에 전송한다. 이 절차는 선택된 루트 노드가 죽을 때까지 계속되며 새로운 루트 노드는 재 선택된다. 또한, 트리 구성 역시 새로운 루트 노드가 선택될 때까지 변경되지 않는다. TREEPSI는 각 노드를 트리로 연결하여 각 노드가 PEGASIS보다 짧은 경로를 가져 데이터 전송 시 에너지 소모를 네트워크 수명을 증가시킨다. 실험 결과로써, TREEPSI의 노드 사이 통신거리는 PEGASIS보다 짧고 PEGASIS에 비해 약 30% 전력 소비를 줄일 수 있다. 그러나, 하나의 루트 노드로 데이터를 전달하기 위해 상당한 데이터 전송 지연이 발생되고 루트 노드의 결함 시 네트워크의 모든 노드들의 데이터가 BS로 전송되지 않은 단점을 가진다. 또한, 선택된 루트 노드가 죽을 때까지 트리 경로가 변경되지 않은 것은 노드들 사이에서의 에너지 소모의 불균형을 일으킬 수 있는 문제점을 가진다.

3. 시스템 및 에너지 소비 모델

본 장에서는 제안된 기법에서 사용된 센서 네트워크를 위한 시스템 모델과 에너지 소비 모델에 대해 설명한다.

3.1 시스템 모델

제안된 기법은 하나의 BS와 N 개의 고정된 센서 노드로 구성된 센서 네트워크를 모델로 한다. 각 센서 노드는 주어진 영역에 랜덤하게 분포하고 배치된 노드들은 주기적으로 클러스터를 형성한다. 클러스터의 멤버 노드들은 주변 환경을 모니터링하고 센싱한 데이터를 구성된 트리를 통해 클러

스터 헤드에 전송하고 클러스터 헤드는 멤버 노드들로부터 수신된 데이터를 병합하여 BS에 전송한다. 제안된 기법에 대한 가정은 다음과 같다.

- 1) 모든 센서 노드들은 밀도 λ 의 포와송 프로세스(Poisson process of density λ)에 따라 2차원 평면에 랜덤하게 분포 되어 있다.
- 2) 모든 센서 노드들은 동일한 성질을 가지며 같은 능력을 가진다.
- 3) 모든 센서 노드들은 같은 초기화 에너지를 가지고 시작하며 유일한 식별자(unique identifier)를 가지고 있다.
- 4) 두 개의 센서 노드들이 송수신하는 데이터는 통신 범위 내에 있는 또 다른 센서 노드들을 통해 전달(forward)된다.
- 5) BS는 센서 노드들로부터 멀리 떨어져 있고 고정되어 있으며 에너지 제한이 없다.
- 6) 통신 환경은 경쟁(contention)에 기반하며, 데이터 전송 시 에러는 없다(error-free).
- 7) 데이터 병합은 네트워크에서 데이터의 크기를 줄이기 위하여 사용된다.
- 8) 센서 노드는 수신된 위치 정보를 기반으로 노드간의 거리를 계산할 수 있다.
- 9) 모든 센서 노드는 자신의 위치를 알고 있다[19].

3.2 에너지 소비 모델

본 논문에서는 제안된 기법의 성능을 평가하기 위하여 [14-17, 18]에서 기술된 에너지 소비 모델을 사용한다. 제안된 기법에서 각 노드들은 센싱된 데이터를 일정한 주기나 요청에 의해 형성된 트리를 통해 클러스터 헤드로 전송하고 클러스터 헤드는 수신된 데이터를 BS로 전송한다. 제한된 자원을 가진 센서 노드들이 l 비트 메시지를 거리 d 까지 송신하기 위해 소비 되는 에너지 소비량(E_{Tx})과 l 비트 메시지를 수신하기 위해 소비되는 에너지 소비량 (E_{Rx})은 다음과 같다.

$$E_{Tx}(l, d) = E_{Tx-elec}(l) + E_{Tx-amp}(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + l\epsilon_{fs}d^2, & \text{if } d < d_o \\ lE_{elec} + l\epsilon_{mp}d^4, & \text{if } d \geq d_o \end{cases} \quad (1)$$

$$E_{Rx}(l, d) = E_{Rx-elec}(l) \\ E_{Rx}(l) = lE_{elec} \quad (2)$$

여기서 l 는 전송 데이터의 비트 수, d 는 송수신 노드의 거리, E_{elec} 는 비트당 회로의 에너지 소비량을 나타내고, $\epsilon_{fs}(pJ/bit/m^2)$ 와 $\epsilon_{mp}(pJ/bit/m^4)$ 는 무선 송신을 위해 사용되는 신호 증폭(signal power amplification) 에너지 소모를 나타낸다. 식 (1)에서 송신 에너지 소모는 전송 거리에 따라 자유 공간(free space)모델과 다중 경로 페이딩(multipath

fading) 모델로 구분된다. 자유 공간 모델에서는 전송거리(d)의 제곱에 비례하여 전력이 소모되고, 다중 경로 모델에서는 전송거리(d)의 네 제곱에 비례하여 전력이 소모된다. 자유공간 모델과 다중경로 페이딩 모델의 구분은 $d_{crossover}$ 값(d_0)을 사용하며 거리가 d_0 보다 작으면 자유 공간 모델, 크다면 다중 경로 모델로 간주한다 $d_0=87m$. 제안된 프로토콜에서 클러스터의 각 노드는 트리 형성을 통해 연결되어 있기 때문에 멤버 노드간의 전송 거리가 짧다. 따라서, 클러스터 내에서는 자유 공간 모델, 클러스터 헤드와 BS간에는 다중 경로 모델로 간주한다.

4. 제안하는 라우팅 프로토콜

본 장에서는 논문에서 제안하는 에너지 효율적 무선 센서 네트워크를 위한 새로운 트리 기반의 클러스터링 프로토콜에 대해 상세히 기술한다. 제안된 기법은 클러스터를 형성하고, 형성된 각 클러스터에서 트리 구성을 통해 노드들의 에너지 소모를 최소화하여 네트워크의 에너지 효율성을 향상시키고 노드들 사이의 에너지 부하를 고르게 분산한다. 제안된 기법의 동작은 확률적 클러스터 헤드 선택 및 클러스터 형성 단계, 각 클러스터에서의 레벨 결정 및 트리 구성 단계와 구성된 트리를 통한 데이터 전달 단계로 이루어진다.

4.1 클러스터 형성

제안된 기법은 LEACH와 동일하게 라운드(round)로 동작하며 클러스터 헤드는 LEACH와 같은 방법에 의해 확률적으로 선택된다. 즉, 일정한 지역에 센서 노드들을 분포 시킨 후 일정 비율 p 만큼 클러스터 헤드를 선출하도록 한다.

클러스터 헤드의 선정은 매 라운드마다 이루어지며 클러스터 헤드 선정을 위해 각 센서 노드들은 0과 1사이에서 임의의 수를 생성한다. n 번째 센서 노드가 생성한 수가 임계값 $T(n)$ 보다 작다면 그 노드는 해당 라운드의 클러스터 헤드로 선출된다. 클러스터 헤드 선출을 위한 임계값 $T(n)$ 은 다음과 같다.

$$T(n) = \frac{P}{1 - P \times (r \bmod \frac{1}{P})}, \quad \forall n \in G \quad (3)$$

$$T(n) = 0, \quad \forall n \notin G \quad (4)$$

여기서 r 은 현재 라운드, G 는 이전 $1/P$ 라운드 동안 클러스터 헤드로 선출 되지 않은 노드들의 집합을 의미하고 P 는 제안된 기법에서 사용된 클러스터 헤드 비율이다. 클러스터 헤드 선출 후, 각 클러스터 헤드는 CSMA MAC 프로토콜을 사용하여 통지 메시지(advertisement message)를 통해 자신이 클러스터 헤드로 선출되었음을 이웃 노드들에게 알린다. 이때 모든 클러스터 헤드들은 같은 전송 에너지를 사용한다. 또한 다른 클러스터와 간섭을 피하기 위해 각 클러스터

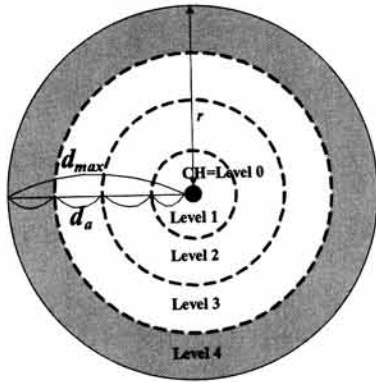
헤드는 다른 CDMA 코드를 선택하고 이 CDMA 코드를 클러스터내의 센서 노드에 알린다. 통지 메시지를 수신한 각 노드들은 신호 세기를 비교하여 가장 강도가 높은 신호를 전송하는 클러스터 헤드를 자신이 속할 클러스터 헤드로 선택한다. 이후 각 노드는 Join-request(Join-REQ) 메시지를 선택한 클러스터 헤드에게 전송한다. 클러스터 헤드는 Join-REQ 메시지를 노드들로부터 수신하여 이 노드가 자신의 클러스터에 속하는 노드임을 알게 되며 클러스터가 형성된다. 제안된 기법은 클러스터 내에서 레벨을 결정하고 트리를 구성하기 위하여 LEACH와 다르게 각 노드는 클러스터 헤드에 전송하는 Join-REQ 메시지에 자신의 ID와 위치 정보(location information)을 포함한다. 클러스터 헤드는 Join-REQ 메시지에 포함된 멤버 노드의 위치 정보를 기반으로 자신과 멤버 노드의 사이의 거리 알 수 있다. 모든 멤버 노드들의 트리 구성을 위한 레벨은 이를 기반으로 결정된다. 이 절차가 완료되면 클러스터 형성이 완료되고 클러스터 내의 트리 구성을 시작한다.

4.2 거리 기반 레벨 결정

클러스터 형성 후에, 각 클러스터에서는 멤버 노드들의 연결을 통해 클러스터 헤드가 루트가 되는 트리를 구성한다. 제안된 기법에서의 트리 구성은 2단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 클러스터에서 각 멤버 노드들이 속할 레벨을 결정하고 두 번째 단계에서는 결정된 레벨을 기반으로 클러스터 헤드까지 트리를 형성한다. 제안된 기법의 레벨 설정은 섹션 4.1의 클러스터 형성 단계에서 클러스터 헤드에 전송된 각 멤버 노드들의 위치 정보를 기반으로 한다. 클러스터 헤드는 클러스터 형성 과정에서 자신에게 속할 노드들의 Join-REQ 메시지를 수신하며 Join-REQ 메시지에 포함 된 멤버 노드들의 위치 정보를 기반으로 클러스터 헤드와 멤버 노드들간의 거리를 계산하여 클러스터 헤드로부터 가장 먼 위치를 가진 노드를 선택한다. 클러스터 헤드와 선택된 노드와의 거리를 d_{max} 로 표기한다. 즉, d_{max} 는 클러스터 헤드와 멤버 노드들 중 가장 먼 노드의 거리이다. d_{max} 는 α 에 의해 분할 된다. 여기서, α 는 네트워크의 사이즈에 따라 결정된 레벨들의 수(number of levels)이며 α 는 네트워크 사이즈에 따라 동적으로 변동된다. 따라서, 클러스터에서의 트리를 구성하기 위한 레벨들의 평균 데이터 전송 거리 d_a 는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$d_a = \frac{d_{max}}{\alpha} \quad (5)$$

(그림 1)은 제안된 프로토콜에서 $\alpha=4$ 로 형성된 레벨의 구성을 보여준다. 클러스터에서 클러스터 헤드는 레벨 0(root)에 위치하여 최상위 레벨이 되며 클러스터의 각 멤버 노드들은 자신의 거리 값에 따라 특정 레벨에 속하게 된다. 레벨이 클러스터 헤드를 중심으로 동심원으로 형성되고 레벨이 설정된 후 멤버 노드들의 레벨이 정해진다.



(그림 1) 클러스터에서의 레벨 설정

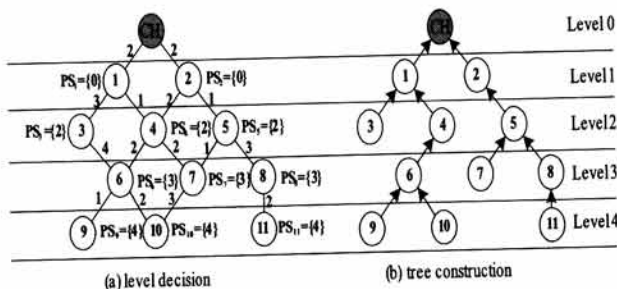
4.3 트리 구성

클러스터에서의 레벨이 설정되고 각 멤버 노드들의 레벨이 정해진 후, 클러스터에서 트리 구성이 시작된다. 클러스터에서 트리 구성을 위해, 클러스터 헤드는 각 멤버 노드가 데이터를 전송하기 위한 부모 노드들 결정한다. 이를 위해, 노드 i 를 N_i , 노드 i 의 레벨을 $L(i)$ 로 표기하고 N_i 의 부모 노드들의 후보 집합을 PS_i 라 하면 N_i 의 부모 노드의 후보 집합 PS_i 는 다음과 같이 정의 된다.

$$PS_i = \{j | \text{sensor node-} j \ \forall \ L(j) = L(i) - 1\}$$

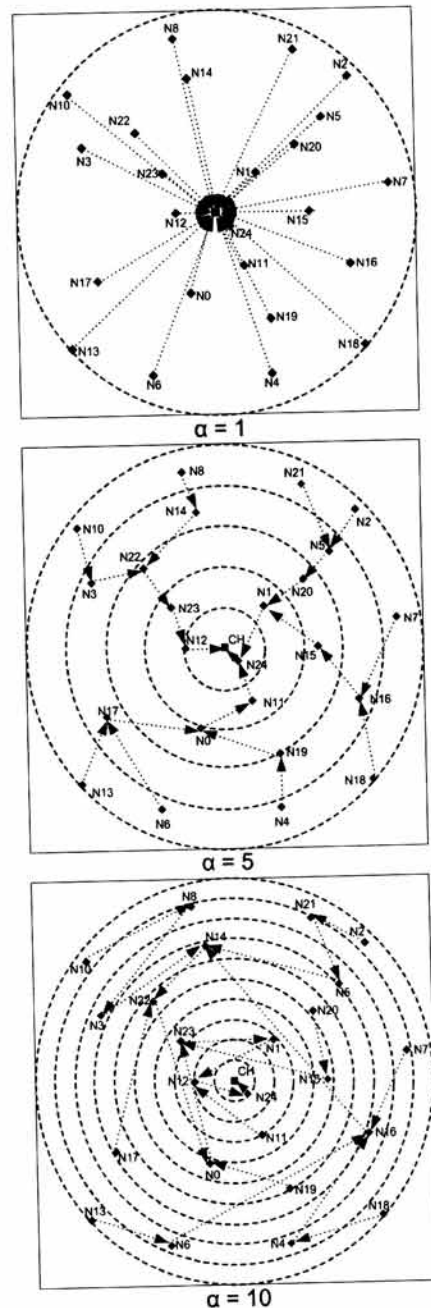
즉, N_i 의 부모 노드 후보 집합 PS_i 는 N_i 의 레벨 보다 하나 작은 레벨에 속하는 노드들로 구성된다. (그림 2)의 (a)는 이 단계의 예를 보여준다. N_i 의 최단 거리 데이터 전송을 위해, PS_i 에 속하는 노드들 중 하나는 N_i 와 가장 짧은 거리를 가지는 노드가 해당 라운드에서 N_i 에 대한 부모 노드로서 선택되며 PS_i 에 N_i 에 대한 가장 짧은 거리를 가지는 노드가 2개 이상일 경우 랜덤으로 그 중 하나를 선택한다. (그림 2)의 (b)는 제안된 기법에 의해 최종적으로 구성된 트리를 보여준다. 제안된 기법의 각 클러스터 내에서의 트리 구성은 노드들의 부하를 분산시키고 에너지 소비를 최소화 한다.

클러스터에서의 트리 구성 후에, 클러스터 헤드는 클러스터의 멤버 노드들의 데이터 전송을 위한 TDMA 스케줄을 생성하고 생성된 스케줄을 클러스터의 멤버 노드들에게 브로드캐스트 한다. 여기서, 제안된 기법에서의 TDMA 스케

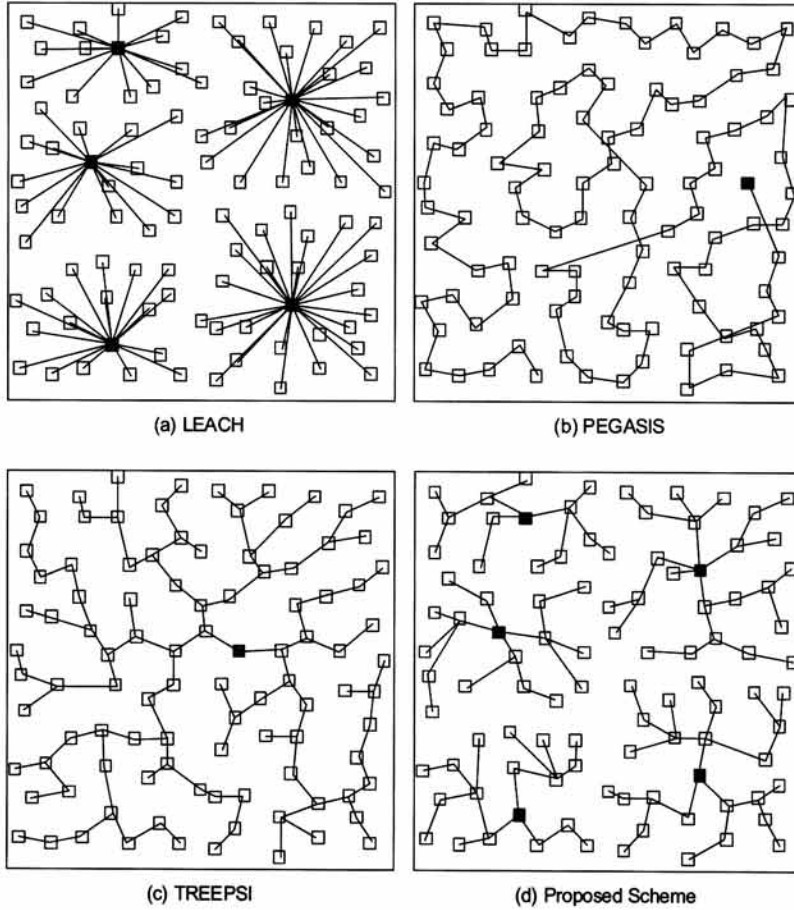


(그림 2) 제안된 기법의 트리 구성

줄링 기법은 트리 기반의 클러스터링 기법에 맞게 새롭게 정의된다(4.4 참조). 스케줄 메시지를 수신한 멤버 노드들은 데이터 전송 단계 동안 할당된 전송 시간에 부모 노드들에게 데이터를 전송한다. 제안된 프로토콜을 위해, 우리는 스케줄에 (dest_id) 필드를 추가한다. 이 필드는 데이터 전송을 할 노드의 ID를 가지며 해당 노드의 부모 노드이다. 각 노드들은 이 필드를 참조하여 할당된 시간에 자신의 부모 노드에게 데이터를 전송한다. (그림 3)은 다양한 α 값 중에서 $\alpha=1$, $\alpha=5$, $\alpha=10$ 에 의한 제안된 기법의 레벨 설정에 따른 트리 구성을 보여준다. (그림 3)에서 $\alpha=1$ 은 LEACH와 같은 클러스터 헤드까지의 싱글홉(single-hop)으로 구성된



(그림 3) 제안된 기법에서 다른 α 값에 따른 트리 구성



(그림 4) 기존 기법들과 제안된 기법의 네트워크 토폴로지

다. (그림 3)의 트리 구성에서 기존의 트리 기반 기법인 TREEPSI와 비교했을 때 제안하는 제안된 기법의 특징은 하나가 아닌 다수의 트리가 구성된다는 것이다. TREEPSI는 네트워크에 하나의 루트 노드만을 사용하여 데이터 전송 지연 등이 발생하지만 제안된 기법은 노드들간의 더욱 분산된 작업을 가능하게 한다는 점에 주목 할 필요가 있다. 레벨 기반의 트리 구성은 이와 같은 효과를 강화하며 노드들간의 더욱 균등한 에너지 소모 및 장기적으로 더 네트워크 수명을 연장한다. (그림 4)는 100개의 센서로 구성된 네트워크에서 다른 기법을 적용한 결과로써의 네트워크 토폴로지(topology)를 보여준다. 제안하는 기법이 기존의 기법들과 비교하여 더욱 균형 있고 분산된 패턴을 보임을 알 수 있다.

4.4 데이터 수집 및 전송 단계

트리 구성이 완료된 후, 데이터 수집 및 전송 단계를 시작한다. 이 단계에서 각 노드는 데이터를 수집하고 클러스터 헤드에 의해 미리 할당된 타임 슬롯(time slot)동안 부모 노드에게 수집된 데이터를 전송하게 된다. 기존의 클러스터링 기법은 클러스터 내부의 센서 노드간의 필요 없는 데이터 수신 및 충돌을 방지하기 위해 TDMA 스케줄에 따라 데이터를 수집한다. 제안된 기법에서도 데이터 수집을 위해 Time Division Multiple Access(TDMA) 기반 MAC 레이어

(layer)를 사용한다. TDMA MAC 레이어[20]는 제안된 프로토콜에서 두 가지의 장점을 제공한다. 첫 번째로, 시간 동기화(clock synchronization)는 TDMA 프로토콜에서 제공되며 두 번째로 할당된 비 중복(non-overlapping) 타임 슬롯들에 의해 노드들 사이의 충돌을 피할 수 있다. 그러나, 제안된 기법은 트리 기반 클러스터링 기법으로 자식 노드로부터 부모 노드로 데이터를 순차적으로 전송한다. 따라서, 제안된 기법에 의해 형성된 트리 기반 클러스터의 독립적인 통신을 보장하고, 통신의 효율성을 높이기 위해 TDMA 스케줄을 수정하였다. 제안된 기법에서는 2단계의 스케줄 구조를 사용한다. 첫 번째로, 데이터 수집 시간을 레벨 단위로 나누어 같은 레벨을 가진 노드들로 구성한다. 두 번째로, 각 레벨 단위로 구성된 노드들의 슬롯을 할당한다. 모든 노드들은 자신이 포함된 레벨 단위의 전송 기간 동안 상태를 활성화(active)시키고 데이터 송/수신을 수행함으로써 데이터 범위에 따른 독립적인 통신을 보장한다. TDMA 스케줄이 정해지면 노드들은 데이터 전송을 시작한다. 각 노드들은 자신이 할당 받은 시간에 클러스터 헤드로부터 받은 CDMA 코드를 사용하여 데이터를 전송하고 자신이 할당 받은 시간이 아니면 라디오(radio)를 오프(off) 시킨다. 이를 기반으로, 데이터 전송 단계에서 먼저 가장 하위 레벨에 속하는 노드들은 상위 레벨의 부모 노드에게 데이터를 전송한다. 상위 레

벨의 부모 노드들은 자식 노드들로부터 데이터를 수신하고 자신의 데이터와 수신된 데이터를 병합하여 연결된 부모 노드에게 병합된 데이터를 전송한다. 이 과정을 반복하여, 최종적으로 클러스터 헤드는 클러스터의 멤버 노드들로부터 수신된 데이터를 통합하여 정해진 CDMA 코드와 CSMA 프로토콜을 사용하여 BS에 전송한다.

(그림 5)는 제안된 기법에 의해 수행되는 데이터 전송 스케줄의 예를 보여준다. (그림 5)의 (a)는 클러스터에서 형성된 레벨 기반의 트리 구성을 보여준다. 제안된 기법의 데이터 전송단계에서는 효율적인 데이터 전송을 위해 하위 레벨에 속하는 노드들로부터 순차적으로 상위 레벨의 노드들에게 데이터를 전송한다. (그림 5)의 (b)는 (그림 5)의 (a)에 대한 레벨 단위의 전송 스케줄을 보여준다. 각 레벨에 속하는 노드들은 레벨 단위로 나누어진다. 예를 들어, (그림 5)에서 레벨(level) 4에 속하는 노드 9, 10, 11은 같은 단위로 묶여지며 할당된 타임 슬롯 동안만 데이터를 전송한다. (그림 5)의 (c)는 각 노드에 대한 데이터 전송 스케줄을 보여준다. (그림 5)의 (c)에서 'T'와 'R'은 전송과 수신을 의미하며 각 노드는 자식 노드 또는 부모 노드에 따라 T와 R을 수행한다.

제안된 기법에서 노드가 데이터를 전송하는 각 슬롯의 존속시간은 일정하며 두 개의 이웃 레벨에 있는 노드들간의 데이터 전달은 동시에 발생한다. 그러므로 클러스터에서 데이터 프레임 전송하는데 걸리는 시간은 트리의 레벨에 의해 결정된다. 데이터 전송 단계에서 에너지의 소모를 줄이기 위해, 각 노드의 라디오는 할당된 전송 시간이 될 때까지 전원이 꺼진 상태로 있다. 제안하는 클러스터내의 트리 구성을 사용하는 이러한 데이터 전송 작업은 공평한 에너지 소모의 분배 및 단거리 전송 범위를 가능하게 하며 이로 인해 기존 기법과 비교했을 때 센서 네트워크의 수명을 연장할 수 있다. 또한 노드들의 동시적 작업을 가능하게 함으로써 작업 시간을 상당히 감소 시킨다.

5. 실험 및 성능 평가

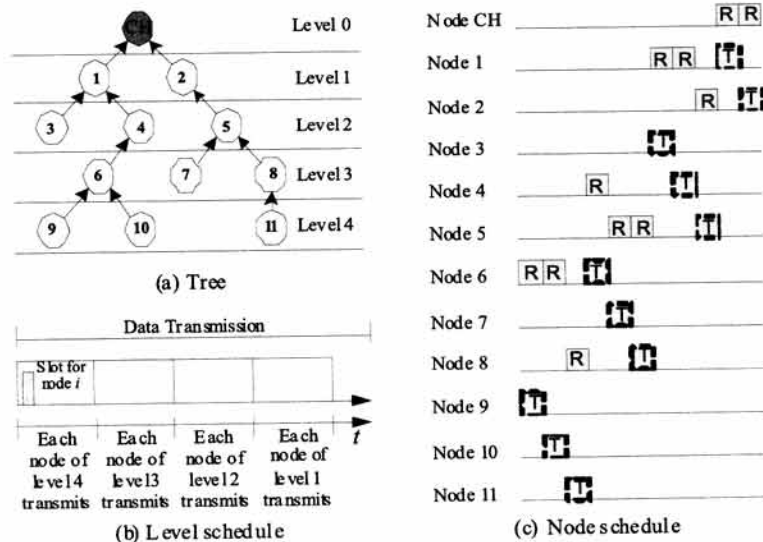
본 장에서는 성능 평가를 통해 제안된 기법의 에너지 효율성을 평가한다. 이를 위해 대표적인 클러스터 기법인 LEACH, 체인 기반의 PEGASIS 및 트리 기반의 TREEPSI 프로토콜과 성능 비교 및 분석을 수행하였으며, 실험 결과를 통해 제안된 기법의 우수성을 확인하였다.

5.1 실험 환경

본 실험에서는 제안된 프로토콜의 성능을 평가를 위해 기존에 제안된 기법들과 더불어 C++ 프로그래밍을 이용한 모의 실험을 수행하였다. 센서 노드의 배치는 100m x 100m 크기의 영역 내에 100개의 노드를 랜덤하게 분포시켰으며, BS는 (50,120)에 위치한다고 가정하였다. 센서 노드의 초기 에너지는 각각 0.25J과 0.5J로 설정하여 실험하였다. 본 실험에서 송수신 회로에서 소모되는 에너지 소비량은 LEACH, PEGASIS와 TREEPSI에서 제시된 값과 동일하게 사용하였고, 각 센서 노드들이 데이터 병합을 위해 소비하는 에너지는 $5 nJ/bit/signal$ 이다. 실험을 위해, LEACH와 제안된 기법의 클러스터 헤더 확률 P 는 0.05로 설정하였다. 또한, 모든 데이터 패킷들은 같은 사이즈라 가정하며 데이터 전송 시 에러는 고려하지 않았다. 실험을 위해 사용된 파라미터는 <표 1>과 같다.

5.2 성능 평가

제안된 기법에서 레벨 기반의 트리 구성을 위해, 클러스터 헤드는 레벨들의 수를 결정하는 것이 필요하다. 이 결정은 멤버 노드들과 토폴로지로부터 수신된 정보 등 몇 가지 파라미터들에 의존한다. 클러스터에서 최적의 레벨 수를 찾기 위하여, 우리는 <표 1>에서 보여주는 파라미터를 사용하여 100개의 센서 노드를 가지는 네트워크에 대한 실험하였다.



(그림 5) 제안된 기법의 데이터 전송

<표 1> 실험에 사용된 파라미터

parameter	Value
Size of target area	100 × 100
Location of BS	(50, 120)
Number of nodes	100
Initial energy	0.25 J / 0.5 J
E_{elec}	50 nJ/bit
ϵ_{fs}	10 pJ/bit/m ²
ϵ_{mp}	0.00013 pJ/bit/m ⁴
E_{DA}	5 nJ/bit/signal
Data packet size	500 byte

<표 2> 다른 초기화 에너지에 따른 노드의 수명

Energy (J/node)	Protocol	The round a node begins to die	The round all the nodes die
0.25	LEACH	118	243
	PEGASIS	246	568
	TREEPSI	267	611
	Proposed	328	629
0.5	LEACH	209	435
	PEGASIS	485	1067
	TREEPSI	532	1123
	Proposed	589	1165

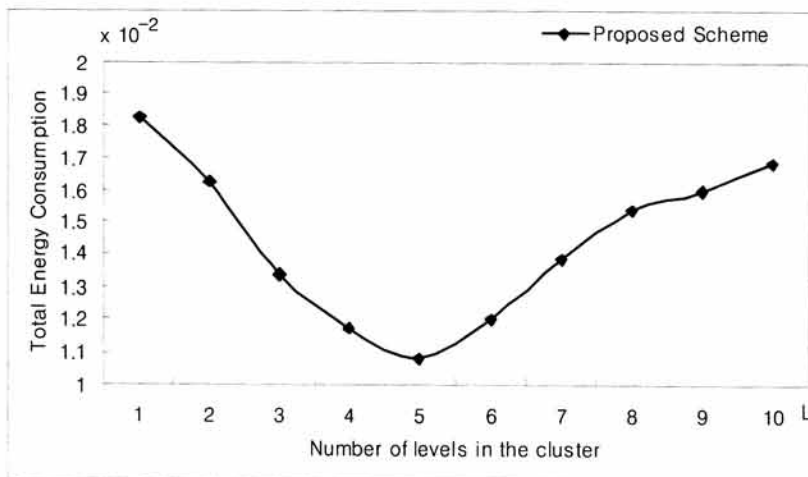
(그림 6)은 클러스터에서 각 레벨의 수에 따른 라운드당 전체 에너지 소모를 다양하게 보여준다. (그림 6)에서 가장 최소의 에너지 소모를 가지는 레벨의 수는 5 ($\alpha=5$)이다. 만일 α 가 5이하이면 노드의 평균 전송 거리가 길어져 높은 에너지 소비의 원인이 되고 α 가 5 이상이면 노드는 과도의 중계 노드들을 필요로 하게 되어 클러스터에서의 큰 에너지 소비의 원인이 된다. 제안된 기법에서 장거리 전송 및 과도한 데이터 전달간의 트레이드오프(trade off)를 맞추기 위한 최적의 레벨 수가 있을 것이며, (그림 6)에서 보여주듯이 네트워크에서의 에너지 소모는 5 레벨을 가질 때 최소화 된다. 그러므로 본 실험을 위해, 우리는 레벨을 5로 설정한다.

(그림 7)은 클러스터에서 각기 다른 레벨 수를 주었을 때 라운드가 경과함에 따라 살아 있는 노드 수를 보여준다. 이 결과는 식 (5)와 (그림 6)의 시뮬레이션 결과를 사용하여 획득된 α 값에 일치하며, 제안된 프로토콜에서 최대의 네트워크 수명을 보증하는 레벨의 수는 5($\alpha=5$)임을 확인할 수 있다.

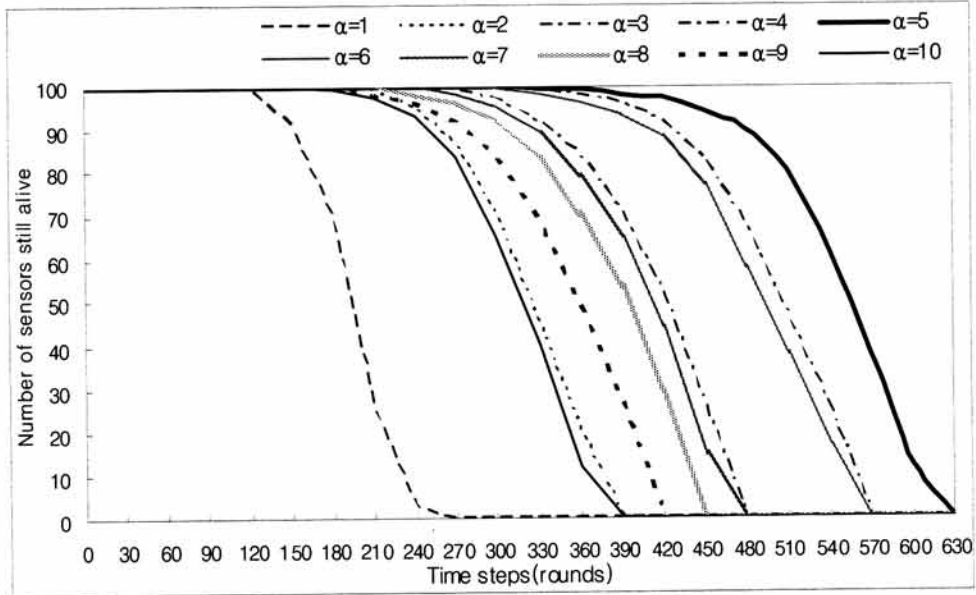
<표 2>는 네트워크에서 센서 노드가 처음 죽기 시작하는 라운드와 마지막 노드가 죽는 라운드를 보여준다. 제안된 기법의 성능 평가를 위해 0.25J과 0.5J의 서로 다른 센서 노드 초기화 에너지 값을 할당하여 실험 하였고 제안된 기법이 LEACH, PEGASIS 와 TREEPSI보다 일관되게 에너지

효율성이 향상 되었음을 확인하였다. 센서 네트워크에서 가장 신뢰성 있고 정확한 정보를 수집할 수 있을 때는 모든 센서 노드가 정상적으로 작동 할 때이다. 즉, 네트워크에서 에너지 소모로 재 기능을 못하는 센서 노드가 발생한다면 수집된 데이터의 신뢰성에 영향을 끼치게 되므로 네트워크에서 첫 번째로 죽은 노드가 발생하는 시점은 중요하다. 본 논문에서는 첫 번째로 에너지 소모로 죽은 노드를 FND (First Node Dies)라 하고 가장 마지막에 죽은 노드를 LND (Last Node Dies)라 한다. <표 2>에서 각 센서 노드의 에너지를 0.5J로 초기화 에너지 값을 할당하였을 때 제안된 프로토콜의 FND가 발생하는 라운드는 LEACH, PEGASIS 와 TREEPSI보다 대략 80%, 21%와 11% 향상 되었음을 알 수 있다. 이것은 제안된 기법이 네트워크가 가장 안정적인 상태인 모든 노드가 살아 있는 기간이 기존의 기법들보다 늘어났음을 보여준다. 또한, 마지막 죽은 노드가 발생한 라운드 수는 제안된 기법이 LEACH, PEGASIS 와 TREEPSI 보다 각 70%, 9%, 4%가 향상되었음을 알 수 있다. <표 2>의 결과는 제안된 프로토콜이 LEACH, PEGASIS 와 TREEPSI 보다 전체 네트워크 수명을 연장하고 네트워크 안정성을 향상시켰음을 보여준다.

LEACH에서, 클러스터 헤드와 멤버 노드들 사이에서의 데이터는 직접 전송되기 때문에 많은 긴 거리 전송이 빈번



(그림 6) 클러스터에서 레벨의 수에 따른 에너지 소비

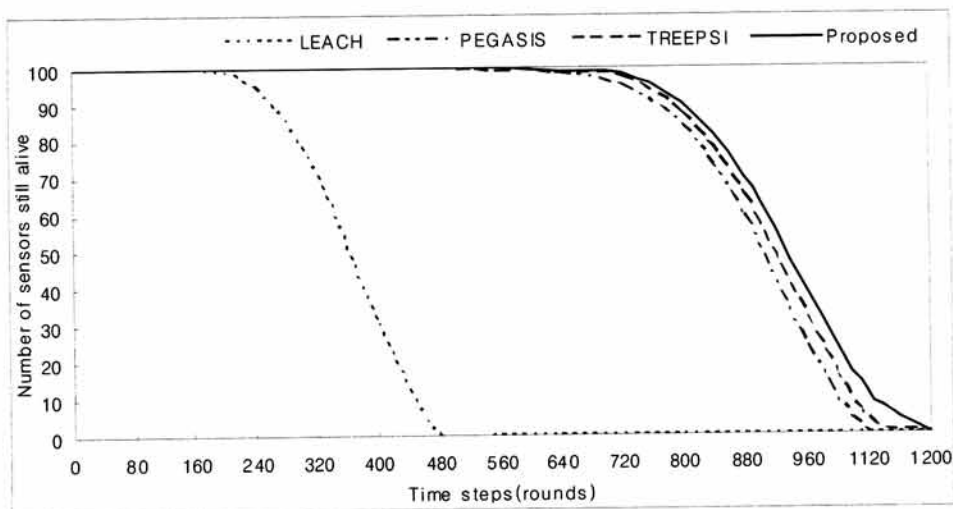


(그림 7) 다양한 α 값에 의한 네트워크 수명

하게 발생한다. 에너지 소모는 거리에 비례하기 때문에 긴 거리 전송은 상당한 에너지 소모를 야기 시킨다. 또한, 네트워크 사이즈가 커질수록 다수의 긴 거리 전송은 네트워크에서의 전체 에너지 소모를 증가 시킨다. PEGASIS에서는 네트워크의 모든 노드들이 체인으로 연결되어 데이터를 전송하고 하나의 최종 전달 노드는 데이터를 병합하여 BS에 데이터를 전달하여 에너지 소모를 줄인다. 그러나 PEGASIS에서 형성된 체인은 노드간의 긴 거리가 발생할 수 있으며, 특히 BS로의 데이터 전달을 담당하는 최종 전달 노드가 BS와 긴 간선을 가지고 있을 수 있다. 그 결과 이처럼 긴 링크에 연결된 노드들이 빠르게 에너지를 소모하며 이로 인해 전체 네트워크의 수명을 한정시킨다. TREEPSI가 이러한 문제점을 보완하여 제안되었지만 토폴로지상에서의 경로가 우회 루트를 포함 할 수도 있다. 또한 루트 노드가 소멸될 때

까지 경로는 바뀌지 않으며 이로 인해 노드들간의 에너지 소모 불균형을 초래한다. (그림 8)은 기존 기법들과 비교하여 제안된 트리 기반 클러스터링 기법의 효율성을 보여준다.

(그림 8)은 각 센서 노드에 0.5J의 초기 에너지를 주었을 때 라운드가 경과함에 따라 살아 있는 노드 수의 변화를 보여준다. 센서 네트워크에서 생존 노드 수는 정확한 데이터 전달을 위하여 센서 네트워크의 중요한 요소로 전체 네트워크 수명과 직접적으로 연관된다. 즉, 라운드 경과 시 생존 노드 수가 많다는 것은 보다 정확한 데이터를 사용자에게 전달 할 수 있고 네트워크 수명이 연장된다는 것을 의미한다. 제안된 프로토콜은 각 클러스터를 레벨로 분할하여 클러스터 헤드를 루트로 하는 트리를 구성하여 멤버 노드들간의 데이터 전송 시 에너지 소모를 줄여 네트워크 수명을 연장하였다. 따라서, 그림에서 나타나듯이 제안된 트리 기반의



(그림 8) 네트워크 수명 비교

클러스터링 기법이 LEACH, PEGASIS와 TREEPSI에 비해 에너지 효율성이 향상되고 네트워크 수명이 연장 되었음을 알 수 있다.

6. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적 데이터 전송을 위한 새로운 트리 기반의 클러스터링 프로토콜을 제안하였다. 제안된 기법은 클러스터 헤드를 확률적으로 선택하여 클러스터를 형성한다. 클러스터 형성 후, 클러스터 내에서의 멤버 노드들은 클러스터 헤드를 루트로 하는 트리를 구성한다. 각 클러스터에서 트리 구성을 위해, 멤버 노드들의 거리 정보에 따라 레벨의 수가 결정된다. 우리는 시뮬레이션을 통해 제안된 기법에서 클러스터를 위한 최적의 레벨 수를 발견하였다. 각 클러스터에서 설정된 레벨을 기반으로 노드간의 트리는 구성된다. 그 결과, 노드들 사이의 통신을 위해 필요로 하는 에너지 소모를 최소화 할 수 있었고 노드들간의 에너지 부하를 균등하게 분산하였다. 실험 결과를 통해 제안된 기법이 노드들 사이에서의 에너지 소비를 균등하게 하고 기존의 기법들인 LEACH, PEGASIS와 TREEPSI와 비교하여 효율적으로 데이터를 전송하여 네트워크 수명이 연장되었음을 확인하였다.

향후 제안된 기법을 이동 센서 네트워크에 적용하여 이동 센서 네트워크를 위한 트리 기반 클러스터링 프로토콜에 대한 연구를 진행할 예정이며 네트워크의 수명과 에너지 효율성을 보다 증가시키기 위해 새로운 레벨 수 최적화 모델링 기법 및 트리 구성 알고리즘에 대한 연구가 필요하다. 특히, 제안된 기법에서는 클러스터 헤드에서 멤버 노드들의 위치 정보를 수신하여 각 거리에 따른 레벨 설정 및 부모 노드에 대한 계산을 수행하기 때문에 클러스터 헤드의 계산도가 기존 기법인 LEACH, PEGASIS보다 증가하게 되며, 각 레벨 설정에 따른 트리 구조상 패킷 부하량이 높아져 최하위 노드의 데이터가 클러스터 헤드에 도착하기까지 time delay가 발생할 수 있다. 따라서, 계산 복잡도 감소 및 패킷 평균 부하량 분산을 위한 연구가 이루어져야 한다. 또한, 제안된 기법의 향상을 위한 보다 효율적인 데이터 수집과 전송 시간을 최소화하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz et al., "Wireless sensor networks: a survey", *Computer Networks*, Vol.38, No.4, March, 2002, pp.393-422.
- [2] David Culler, Deborah Estrin, and Mani Srivastava, "Overview of Sensor Network," *IEEE Computer Society*, August, 2004.
- [3] D. Li, K. D. Wong, H. Y. Hu, A. M. Sayeed, "Detection, Classification and Tracking of Targets", *IEEE Signal Processing Magazine* 2002, Vol.19, 2002, pp.17-29
- [4] Samuel Madden, Michael J. Franklin, Joseph M. Hellerstein, and Wei Hong, "TAG: a Tiny Aggregation Service for Ad-Hoc Sensor Networks", *ACM SIGOPSI*, Vol.36, 2002, pp.131-146.
- [5] A. Mainwaring, J. Polastre, R. Szewczyk, D. Culler, and J. Anderson, "Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring," in *Proc. ACM. International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA 2002)*, Atlanta USA, Sep., 2002, pp.88-97.
- [6] D. Estrin, R. Govindan, J. Heidemann, and S.Kumar, "Scalable Coordination in Sensor Networks," *Proc. Mobicom*, pp.263-270.
- [7] Q. Jiang and D. Manivannan, "Routing Protocols for Sensor Networks," *IEEE Consumer Communications and Networking Conference*, Sep., 2004, pp.93-98.
- [8] J. N. Al-Karaki, and A. E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey," *IEEE Commun. Mag.*, Vol.11, No.6, pp.6-28, Dec., 2004.
- [9] E. Hansen, M. Nolin, M. Bjorkman, "A Study of Maximum Lifetime Routing in Sparse Sensor Networks", in *Proceedings of International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems (CISIC)*, Spain, Mar, 2008, pp.449-454.
- [10] S. M. Guru, M. Steinbrecher, S. Halgamuge, and R. Kruse, "Multiple Cluster Merging and Multihop Transmission", *LNCS 4459: Advances in Grid and Pervasive Computing*, Springer, 2007, pp.89-99.
- [11] H. Yang, F. Ye, and B. Sikdar, "A Dynamic Query-tree energy Balancing Protocol for Sensor Networks," *Proceedings of IEEE Conference on Wireless Communications and Networking (WCNC'04)*, Vol.3, March, 2004, pp.21-25.
- [12] M. Kochhal, L. Schwiebert, and S. Gupta, "Self-organizing of wireless sensor networks," in *Handbook on Theoretical and Algorithmic Aspects of Sensor, Ad Hoc Wireless, and Peer-to- Peer Networks*, J. Wu, Ed. Auerbach Publications, 2006, pp.369-392.
- [13] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach," *Proceedings of the Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, Hong Kong, China, March, 2004.
- [14] W.R.Heinzelman, A.Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Micro-sensor Networks," In *Proceedings of the Hawaii International Conference on System Science*, Maui, Hawaii, 2000.
- [15] K. T. Kim and H. Y. Youn, "PEACH: Proxy-Enable Adaptive Clustering Hierarchy for Wireless Sensor network," *Proceeding of the 2005 International Conference On Wireless Network*, June, 2005, pp.52-57.
- [16] S. Lindsey, C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power-Efficient gathering in sensor information systems," in *Proc. of the*

IEEE Aerospace Conf., Canada, March, 2002. pp.1-6.

[17] S. S. Satapathy and N. Sarma, "TREEPSI: tree based energy efficient protocol for sensor information," Wireless and Optical Communications Networks 2006 IFIP International Conference, April, 2006.

[18] W. B. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishanan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," IEEE Trans. Wireless Commun., Vol.1, No.4, Oct., 2002, pp.660-670.

[19] "US Naval Observatory (USNO) GPS Operations," <http://tycho.usno.navy.mil/gps.html>, April, 2001.

[20] K. Arisha, M. Youssef and M. Younis, "Energy-aware TDMA-based MAC for Sensor Networks", In Proc. of IEEE IMPACCT, 2002.



김 경 태

e-mail : ktkim@ece.skku.ac.kr
 2003년 수원대학교 컴퓨터과학과(학사)
 2005년 성균관대학교 정보통신공학부 컴퓨터공학과(공학석사)
 2005년~현 재 성균관대학교 정보통신공학부 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야: USN, IPTV, 이동 통신 시스템, 유비쿼터스 컴퓨팅



윤 희 용

e-mail : youn@ece.skku.ac.kr
 1977년 서울대학교 전기공학과(학사)
 1979년 서울대학교 전기공학과(석사)
 1988년 Univ. of Massachusetts at Amherst 컴퓨터공학과(박사)
 1988년~1991년 Univ. of North Texas 조교수

1991년~1999년 Univ. of Texas at Arlington 부교수
 1999년~2000년 ICU 교수
 2000년~현 재 성균관대학교 정보통신공학부 교수 및 유비쿼터스 컴퓨팅기술연구소 소장
 관심분야: 모바일 컴퓨팅, 분산처리, 유비쿼터스 컴퓨팅