

응용 계층 정보 기반의 에너지 효율적인 센서 네트워크 클러스터링 기법

김승목[†], 임종현^{**}, 김승훈^{***}

요 약

본 논문에서는 계층간 설계 방식에 근거하여 에너지 효율적인 센서 네트워크 클러스터링 기법을 제안한다. 제안된 기법은 무선 센서 네트워크의 응용 환경 특성에 적합하도록 동작한다. 본 논문에서는 응용계층 정보를 이용하여 이벤트가 발생할 경우 이벤트가 발생한 지역의 센서 노드들로 구성된 클러스터와 그 이외 지역의 클러스터들로 구성하는 클러스터링 기법을 제안하였다. 제안된 클러스터링 기법에서는 여러 클러스터를 경유하여 다중 경로로 이벤트를 전달하는데 따른 에너지 소모를 절감할 수 있다. 또한 이벤트와 무관한 클러스터에서 에너지를 절약하기 위하여 각 노드 당 한 개의 슬롯만을 할당하는 TDMA 스케줄링 기법을 제안하였다. 제안하는 클러스터링 기법은 전체 네트워크의 수명을 증가시킬 수 있으며 이벤트의 발생 주기, 지속 시간, 범위에 따른 시뮬레이션을 통하여 에너지 효율성 관점에서 우수함을 입증하였다.

An Energy-Efficient Clustering Scheme based on Application Layer Data in Wireless Sensor Networks

Seungmok Kim[†], Jonghyun Lim^{**}, Seung-Hoon Kim^{***}

ABSTRACT

In this paper, we suggest an energy-efficient clustering scheme based on cross-layer design in wireless sensor networks. The proposed scheme works adequately for the characteristic environment of the networks. In the proposed clustering scheme, we separate clusters composed of sensor nodes in the event area from clusters of the other area when an event occurs by using an application layer information. We can save energy from multiple paths through multiple clusters to deliver the same event. We also suggest TDMA scheduling for non-evented clusters. In the scheduling, we allocate one time slot for each node to save energy. The suggested clustering scheme can increase the lifetime of the entire network. We show that our scheme is energy efficient through simulation in terms of the frequency of event occurrences, the event continual time and the scope.

Key words: Wireless Sensor Network(무선 센서 네트워크), Clustering(클러스터링), Cross Layer Design (계층간 설계)

※ 교신저자(Corresponding Author): 김승훈, 주소: 충청남도 천안시 안서동 산29번지(330-714), 전화: 041)550-3481, FAX: 041)550-3490, E-mail: edina@dankook.ac.kr
접수일: 2008년 12월 11일, 완료일: 2009년 5월 4일

[†] 단국대학교 컴퓨터과학전공
(E-mail: pekim@nate.com)

^{**} 정회원, 단국대학교 컴퓨터과학전공
(E-mail: januario7@naver.com)

^{***} 정회원, 단국대학교 컴퓨터학부 멀티미디어공학전공 부교수

※ 이 연구는 2008학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음

1. 서 론

최근 무선 통신 기술과 전자 장비 기술의 발달로 소형의 저렴한 센서 모듈 개발이 가능하게 되었다 [1]. 센서 노드는 감지, 프로세싱, 데이터저장, 커뮤니케이션 등의 다양한 기능을 가지고 있다. 이러한 센서 노드를 통해서 구성되는 센서 네트워크는 다양한 어플리케이션의 개발에 활용 가능하다. 무선 센서 네트워크는 다수의 센서 노드로 구성되는 네트워크이다. 센서 노드는 정보 수집을 위한 영역에 임의로 배치되어 주변 환경 정보를 측정, 수집하며, 수집된 정보는 사용자 또는 컴퓨터 디바이스를 통해서 사용된다. 임의 배치, 소형 디바이스의 특징으로 배터리 재충전 및 교체의 어려움이 있으므로 무선 센서 네트워크는 에너지 효율적으로 구성되고 동작해야 한다.

무선 센서 네트워크는 노드의 에너지 효율적인 동작을 위하여 센서 노드의 통신 범위를 제한하여 에너지 소모를 줄이는 계층적 라우팅 프로토콜과 에너지 효율적인 MAC 프로토콜을 전형적으로 사용한다. 센서 노드가 통신하는 범위가 넓을 경우 센서 노드가 소모하는 에너지의 양이 급격하게 늘어나고 다수 노드가 제한된 무선 자원을 사용하게 되므로 자원 활용적인 측면에서 비효율적인 동작을 하게 된다. 위와 같은 단점을 보완하기 위한 계층적 라우팅 프로토콜에서 센서 노드는 통신 범위를 줄이기 위하여 계층적으로 구분되고 각 계층에서 데이터 수집을 함으로써 에너지 및 통신 자원의 효율성을 도모할 수 있다. 대표적인 기법으로 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[2], HEED(A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad hoc Sensor Networks)[3] 등이 있다. 에너지 효율적 MAC 프로토콜은 센서 노드 동작의 효율성을 위하여 통신 채널의 사용 시간 이외에는 동작을 멈춤으로써 에너지 소모를 줄이는 방법이다. 노드의 상태를 동작 상황에 적합하도록 활성화하게 되고 비활성화 상태에서는 에너지 소모를 줄이는 것이다. 대표적인 기법으로 S-MAC (Sensor Medium Access Control)[4], T-MAC (Timeout Medium Access Control)[5], STEM(Sparse Topology and Energy Management)[6] 등이 여기에 속한다.

네트워크 프로토콜의 설계는 전통적으로 계층적 프로토콜 구조를 따른다. 각 프로토콜 계층이 하위

프로토콜에서 제공하는 서비스를 이용하여, 미리 잘 정의되어 있는 기능을 수행하고, 상위 프로토콜에 특정 서비스를 제공하는 구조이다. 이 설계는 프로토콜 각 계층 자체로는 매우 높은 성능을 보일 수 있으나, 센서 네트워크에서 에너지 사용을 줄이면서 전체 프로토콜 스택을 합한 성능을 최대화 하는데 어려움이 있다. 센서 네트워크의 부족한 에너지 자원과 처리 능력을 고려하여, 프로토콜 계층 간에 서로 정보를 공유하는 설계 기법인 계층간 설계가 최근에 연구되었다[7-9].

본 논문에서는 계층간 설계 방식으로서, 응용계층 정보를 기반으로 하는 에너지 효율적인 클러스터링 기법을 제안한다. 환경에 배치된 센서 노드들의 응용계층 정보에 근거하여 환경 정보의 변경이 발생하는 이벤트 발생 유무에 따라서 클러스터의 구성 방법을 변경함으로써 환경 정보의 특성에 적합한 클러스터 구성이 되도록 한다. 기존의 기법들에서는 동일한 이벤트 발생에 대한 동일한 정보를 다수의 클러스터가 관련된 다중 경로로 전달됨에 따른 에너지 비효율이 있었다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 계층간 설계 방식을 이용하여 개선한다.

클러스터의 구성은 이벤트 비감지 경우와 이벤트 감지 경우를 구분하도록 하며, 이벤트가 발생할 경우, 이벤트 감지 지역의 노드들로 구성된 클러스터와 이외 지역의 노드들로 구성된 클러스터를 구분하는 클러스터링 기법을 제안하였다. 또한, 각 센서 노드가 응용계층의 정보변화에 따라서 데이터를 전송하는 에너지 효율적인 TDMA 스케줄링을 제안한다. 제안하는 기법은 응용계층 정보의 발생에 따라서 에너지 효율적인 관점에서 성능을 분석한다. 분석결과 제안된 기법이 기존의 방식에 비하여 무선 센서 네트워크의 특징을 유용하게 검출하고 에너지 효율적으로 동작하여 전체 네트워크의 수명을 연장할 수 있음을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 기존의 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율 향상을 위한 연구와 계층간 설계에 대해 기술하고, 3절에서는 기존 연구의 문제점을 분석한다. 4절에서는 응용계층 정보 기반의 클러스터링 기법을 제안한다. 5절에서는 제안한 기법이 다른 클러스터링 기법들과 비교하여 더 우수함을 시뮬레이션을 통해 보이고, 6절에서 결론 및 향후 연구를 기술한다.

2. 관련연구

본 절에서는 응용계층 정보 기반의 에너지 효율적인 클러스터링 기법을 제안하기 위한 관련 연구에 대하여 소개한다. 또한 전통적인 네트워크 설계와는 달리 계층간에 영향을 주는 설계 기법에 대하여 살펴본다.

2.1 에너지 효율적인 라우팅

센서 노드는 측정을 위한 영역에 일반적으로 임의로 배치되며 배터리로 동작되므로 에너지 효율적으로 동작해야 한다. 센서 노드가 동작하기 위하여 소모하는 에너지는 수신전력, 송신전력, 감지전력, 프로세싱전력 및 유희전력 등이 있다. 이 중에서 송수신 전력의 경우 에너지 소모량이 크고 거리에 비례하여 급격하게 증가하므로 송수신 횟수를 줄여서 에너지 소모를 줄이는 연구가 많이 진행되었다.

2.1.1 에너지 효율적인 MAC 프로토콜

무선 센서 네트워크 환경에서 센서 노드의 에너지 소모를 줄이기 위한 다양한 MAC 프로토콜이 제안되었다. 에너지 효율적 MAC 프로토콜은 물리 계층 채널의 사용에 경쟁 또는 비경쟁 기반으로 노드의 동작을 제어해서 채널의 사용이 없는 경우에 노드를 유희상태로 동작하게 하므로 에너지 소모를 줄일 수 있다. 대표적인 기법으로 S-MAC[4], T-MAC[5], 및 STEM[6]이 있다.

S-MAC (Sensor Medium Access Control)은 무선 채널의 사용에 슬롯 개념을 사용하는 프로토콜이다. 단일 채널의 무선 자원을 센서 노드가 사용하는 프레임 단위로 나누고 이 프레임을 활성화와 비활성으로 구분하여 활성 구간에 해당하는 센서 노드는 무선 채널을 활용하여 데이터를 전달하게 된다. 비활성 구간에서 센서 노드는 유희상태로 에너지의 소모를 줄이게 된다. 무선 채널의 프레임을 활성화, 비활성으로 구분하는 비율에 따라서 에너지의 소모와 환경 데이터 수집 주기가 서로 반비례 관계를 가지게 된다.

T-MAC (Timeout Medium Access Control)은 가변적인 슬롯 개념을 사용한 프로토콜이다. S-MAC에서와 같이 무선 채널의 공유를 위하여 슬롯 개념을 사용하지만 채널의 활성/비활성 구간의 설정이 초기에 결정되는 것이 아니라 가변적으로 변

동되는 방식이다. 네트워크 트래픽의 변동에 유연하게 적용 가능할 수 있는 프로토콜이다. 발생 트래픽을 한꺼번에 모아서 활성 구간에 전송하고 비활성 구간이 되기 전에 정해진 타임아웃 시간 동안 센서 노드에게 송수신되는 데이터가 없는 경우에 수면 상태가 되는 방식이다.

2.1.2 계층적 라우팅 프로토콜

계층적 라우팅 프로토콜은 무선 센서 네트워크에서 센서 노드가 데이터를 전달하는 거리를 단축시켜서 에너지 효율적인 동작을 한다. 센서 노드는 클러스터로 구분하고 각 클러스터를 대표하는 클러스터 헤드로 데이터를 전달하는, 클러스터 기반 계층적인 구조를 가지게 된다. 멤버 노드는 클러스터로 구분되는 영역에서 데이터 송수신을 하므로 에너지 효율성이 증가하게 된다. 대표적 계층적 라우팅 프로토콜은 LEACH[2]와 GAF[10]를 들 수 있다.

LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 프로토콜은 무선 센서 네트워크에서 센서 노드를 지역적인 클러스터로 구분하여 클러스터 기반으로 데이터를 수집하게 된다. 전체 네트워크에서 동일한 선정 확률을 기반으로 클러스터 헤드가 선정되고 클러스터 헤드가 결정되면 자신을 광고하게 된다. 광고 메시지를 수신한 노드는 자신에게 적합한 헤드 노드를 선정하여 참여 메시지를 보냄으로써 클러스터를 구성한다. 클러스터 헤드 노드는 수신된 참여 메시지를 바탕으로 클러스터 구성 멤버의 스케줄을 결정해서 멤버 노드에게 전송하게 된다. 따라서 멤버 노드는 클러스터 헤드 노드의 스케줄을 바탕으로 데이터를 송수신하게 되므로 에너지 효율적인 동작을 하게 된다. 반면에 클러스터 헤드를 담당하는 노드로 에너지 소모가 집중적으로 발생하게 되므로 클러스터 헤드는 주기를 기반으로 재선정하게 된다.

2.2 계층간(Cross-Layer) 설계

기존 네트워크에서 사용해 오던 계층기반의 설계(Layered Design)는 프로토콜의 각 계층 간 연관성을 줄이기 위해서 독립적으로 동작하도록 설계되었다. 각 계층이 잘 정의되어 있는 기능을 수행하고, 계층의 경계가 인터페이스를 통해 전달되는 정보가 최소한으로 선택되고, 하나의 계층이 변하더라도 다른 계층은 변할 필요 없이 각각 독립적이라는 특징이

있다

이 설계는 단순하고, 확장성이 있고, 표준화하기 쉽고, 새로운 프로토콜의 업그레이드도 쉽다는 장점이 있는 반면, 각 계층의 기능이 중복된 경우가 많아 효율성이 떨어진다는 단점이 있다. 무선 센서 네트워크에서는 기존의 계층기반의 설계와 다른 무선 네트워크에 적합한 설계를 필요로 한다. 계층 간의 경계가 모호하여 물리계층과 다른 모든 계층이 연관되어 계층 간에 상호작용을 한다. 이런 특징의 설계가 계층간 설계(Cross-layer Design)이다. 계층간 설계의 목표는 하나의 계층내의 정보를 다른 계층에서 사용 가능 하도록 하여 전체 네트워크 성능을 개선하는 것이다.

계층간 설계에 대한 연구로써, Safwati는 라우팅과 MAC, 그리고 링크 계층을 고려하여 에너지 소모를 줄이는 결합적 설계를 컨벡스 최적화 기법을 사용한 기법, MAC 계층과 네트워크 계층의 계층간 설계에서 에너지 소모를 줄이기 위해 ECPS (Energy-Constrained Path Selection) 방식[9]과 E2LA (Energy-Efficient Load Assignment) 방식[10]을 복합적으로 사용한 기법 그리고 물리계층, MAC 계층, 그리고 다른 모든 상위 계층들이 결합적으로 설계함을 보인 연구 등이 연구되어져 왔다. 또한, 응용계층에서 취득한 정보와 클러스터 헤드에서 감지한 데이터와 비교하여 그 유사성 정도에 따른 스케줄링 방식도 제안되었다[8].

3. 기존 연구의 문제점 분석

본 절에서는 제안하는 클러스터링 기법에서 가정하는 기본적인 네트워크 구성 모델을 설명하고, 기존 클러스터 기반 라우팅 방법의 문제점을 분석한다.

3.1 기본적인 네트워크 모델

본 논문에서 제안하는 클러스터 기법을 제안하기 위하여 다음과 같은 네트워크 구성 모델을 가정한다. 환경 정보 수집을 위한 일정 영역에 센서 노드들이 임의로 분산 배치되어 있고, 각 노드는 배치된 위치에 위치가 변동되지 않는다. 센서 노드는 자신의 에너지 잔량을 확인 가능하며, 에너지 잔량을 기준으로 헤드를 선출하고 클러스터를 구성한다. 클러스터가 구성되면 클러스터 헤드 노드는 클러스터 영역의 노

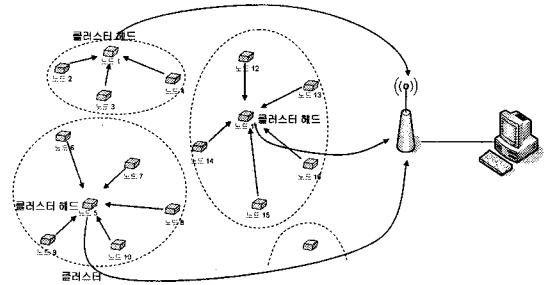


그림 1. 센서 네트워크 클러스터의 일반적인 구성

드를 대상으로 TDMA 스케줄을 전달한다. 주어진 TDMA 스케줄에 의해서 클러스터 멤버 노드들은 주변의 환경에 대하여 감지하고, TDMA 해당 타임 슬롯에 클러스터 헤드 노드로 데이터를 전달한다. 클러스터 헤드 노드는 멤버 노드로부터 데이터를 수집하여 기지국으로 전달하게 된다. 스케줄링에 의한 동작이 완료하면 한 주기가 종료되고 클러스터를 재구성한다. 클러스터는 서로 상이한 수의 센서 노드로 구성되기 때문에 전체 네트워크 영역의 동기화를 위하여 한 주기의 시간은 센서 네트워크의 구성 초기에 설정된다. 그림 1은 기본적인 네트워크 모델의 일반적인 구성을 표현한다. 실제 각 클러스터는 계층적 구조로 구성된다.

3.2 문제점 분석

변화되는 환경 정보를 신뢰성 있도록 검출하고 전체 센서 네트워크의 지속성을 위하여 에너지 효율적으로 설계되어야 한다. 기존의 연구들은 에너지 효율적인 설계를 주로 다루었지만 무선 센서 네트워크에서 측정되는 정보를 활용하는 연구는 미흡했다. 본 절에서는 응용계층의 정보가 고려되지 않은 기존의 클러스터의 구성으로 발생하는 두 가지 문제를 다음과 같이 정의한다.

[경로비용문제] 센서 노드가 배치된 영역에서 감지한 데이터의 변화가 발생하였을 경우 여러 노드가 동일한 변화 감지를 측정하고 소속 클러스터를 통해서 데이터를 전달하게 된다. 따라서 다수의 클러스터와 클러스터 멤버 노드들이 동일한 데이터 전달에 참여하게 되어 중복된 에너지 손실이 발생하게 된다. 또한 측정 데이터의 변화를 다수의 클러스터를 경유하여 전달되게 되는 비효율적 동작이 발생하게 된다. 이를 “경로비용문제”라 정의한다.

[에너지비용문제] 기존 클러스터링 방법의 경우 측정 영역의 데이터가 변경되는 것과 무관하게 클러스터가 구성되고 정보를 취득, 수집함에 따라 불필요한 에너지의 소모를 발생시킨다. 또한 경로 비용 문제에서 언급하였듯이 감지 정보의 변화를 싱크 노드로 전달하기 위하여 다수의 클러스터가 참여하게 되고 관여되는 센서 노드의 증가로 인한 에너지 소모가 발생하게 된다. 이를 “에너지비용문제”라 정의한다.

그림 2에서는 이벤트가 발생한 경우에 여러 클러스터에서 이를 동시에 감지하여 동일한 정보를 다중 경로를 통하여 전달하게 되는 경로비용문제의 예를 보여준다. 그림 3에서는 이에 따른 각 클러스터 내에서의 TDMA 스케줄링 상황을 보여준다. 이벤트를 감지한 노드4, 노드7, 노드8 및 노드 14는 자신에게 할당된 슬롯에서 감지된 데이터를 전달하며, 그 밖의 노드들은 이벤트와 무관한 데이터를 전달한다. 이와 같이 응용계층에서의 이벤트 감지여부는 클러스터링 및 TDMA 스케줄링에 영향을 미치지 못하게 된다.

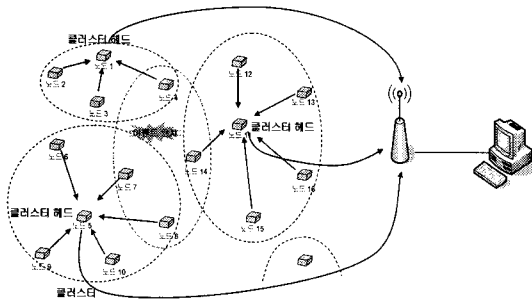


그림 2. 이벤트가 발생한 경우에 클러스터의 데이터 전달

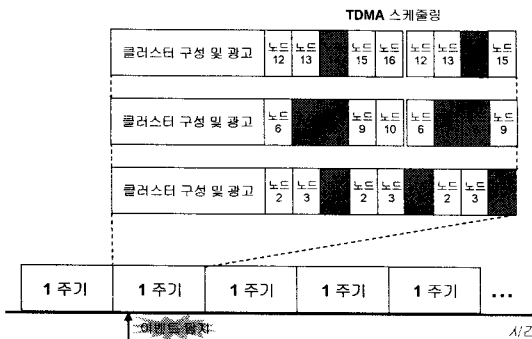


그림 3. 이벤트 정보의 데이터 흐름

4. 응용계층 정보 기반 클러스터링

본 절에서는 응용계층 정보 기반의 에너지 효율적인 클러스터링 기법을 제안하며 그 개요와 세부 동작에 대해서 설명한다.

4.1 응용계층 정보 기반 클러스터링 개요

본 논문에서 제안하는 클러스터링 기법은 응용계층의 정보를 이용하여 클러스터를 구성하여 무선 센서 네트워크의 특징을 유용하게 검출하고 에너지 효율적으로 동작하여 네트워크의 수명을 연장한다.

클러스터의 구성은 이벤트 비감지 경우와 이벤트 감지 경우에 따른 두 가지의 경우를 구분하도록 한다. 이벤트란 환경 정보의 변경이 발생하는 경우를 의미하고 이벤트의 존재 유무에 따라서 클러스터의 구성 방법을 변경함으로써 클러스터의 구성을 환경 정보의 특징에 적합하도록 하였다.

제안된 클러스터링 기법은 두 개의 절차를 가진다. 무선 센서 네트워크에서 환경 정보를 취득하고, 취득된 정보를 기반으로 위에서 언급한 두 가지 종류의 클러스터 구성을 한다.

4.2 응용계층 정보 기반 클러스터링 세부 동작

제안하는 클러스터링 기법에서 최초에는 과거 연구에서와 같이 임의 클러스터 헤드 선출방법에 의해서 클러스터가 구성된다. 무선 센서 네트워크의 영역에 센서 노드들이 배치되면 각 센서 노드는 환경 정보를 수집한다. 최초 센서가 취득한 정보는 캐쉬에 저장되고 노드 중 일부가 클러스터 헤드로 임의로 결정되게 된다. 클러스터 헤드는 주변의 센서 노드들에게 자신을 광고하게 되고 주변의 센서 노드는 인접한 클러스터 헤드에 가입메시지를 통하여 멤버 노드로 편입된다. 클러스터 헤드 노드는 멤버 노드의 가입메시지를 바탕으로 한 주기에 해당하는 TDMA 스케줄링을 통하여 타임 슬롯을 할당하게 되고 할당이 완료되면 클러스터의 구성은 완료된다. 각 멤버 노드는 감지된 정보를 자신의 타임 슬롯에 최초 1회만 전송함으로써 나머지 타임 슬롯에 해당하는 에너지 소모를 줄인다. 그림 4에 응용계층 정보기반의 클러스터링 구성 절차가 정리되어 있다.

기존의 방식으로 클러스터가 임의로 구성되어 데

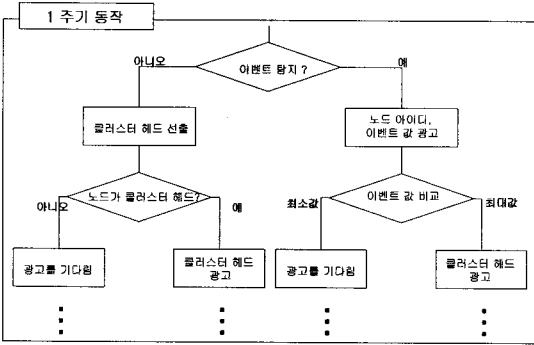


그림 4. 응용계층 정보 기반의 클러스터링 구성 절차

이터 수집 과정이 진행되는 과정에서 환경 정보의 변경(이벤트)을 감지하게 되면 해당 센서 노드는 다음 주기에 제안하는 클러스터링 과정으로 진행되게 된다. 즉, 이벤트 감지 노드는 클러스터 구성과정에서 자신을 광고하게 되고 해당 이벤트를 감지한 노드들로 별도의 클러스터를 구성한다. 또한 이벤트를 감지하지 못한 노드들도 별도로 클러스터를 구성한다.

센서 노드가 배치된 영역에 응용계층의 정보가 변화되는 이벤트가 발생하게 되면 현재 구성된 주기가 종료되고 다음 클러스터를 구성하는 시점에서 그림 5에서와 같이 응용계층 정보를 기반으로 클러스터가 재구성된다.

센서 노드가 배치된 환경은 이벤트를 감지한 클러스터와 그렇지 않은 클러스터로 구성되어 진다. 구성된 클러스터는 이벤트 감지의 유/무에 따라서 그림 6과 같이 클러스터 TDMA 스케줄을 설정하게 된다. 이벤트 감지 클러스터의 경우 데이터의 정확도를 위하여 주어진 스케줄 슬롯을 모두 사용해서 데이터를 전달하게 되지만, 이벤트 비감지 클러스터의 경우에는 최초 각 노드 당 한 슬롯만을 부여하여 주기적인 데이터만을 수집하게 된다.

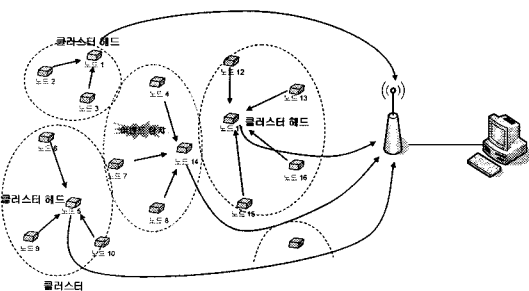


그림 5. 응용계층 정보를 기반으로 한 클러스터 재구성

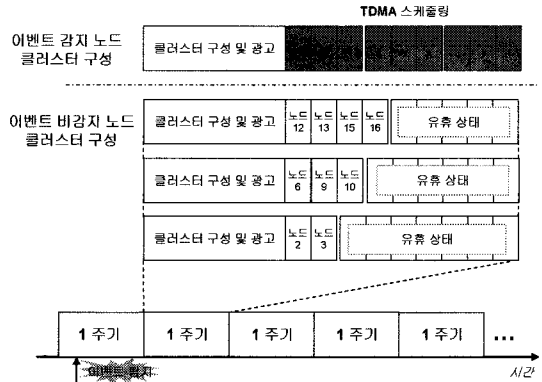


그림 6. 제안된 기법에서 이벤트 데이터의 흐름

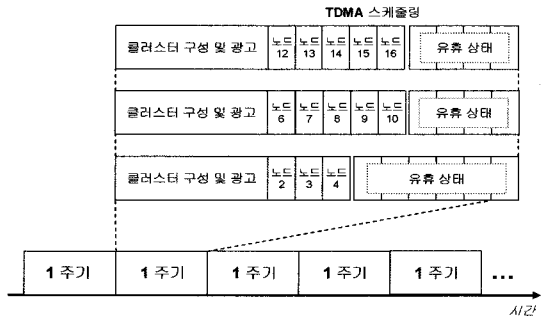


그림 7. 제안된 기법에서 이벤트가 없을 경우 데이터 흐름

이제, 응용계층 데이터의 변화가 없을 경우 그림 7에서와 같이 TDMA 스케줄에서는 각 노드의 데이터 전달을 위한 한 슬롯을 할당하게 된다. 동기화를 위하여 존재하는 나머지 슬롯에는 데이터 전달을 하지 않으므로 각 센서 노드는 소모 에너지를 절약할 수 있다.

5. 성능분석

본 절에서 응용계층 정보 기반의 에너지 효율적 클러스터링 기법의 성능 평가를 위한 모의실험을 수행한다. 모의실험 환경을 설명하고, 성능 비교를 위하여 클러스터 기법의 대표적인 방법인 LEACH 및 LEACH-C 프로토콜과 비교를 통한 실험 결과를 제시하고 분석한다.

5.1 실험 환경

본 논문에서 제안된 클러스터링 기법은 NS-2 (Network Simulator version 2)를 이용하여 모의실

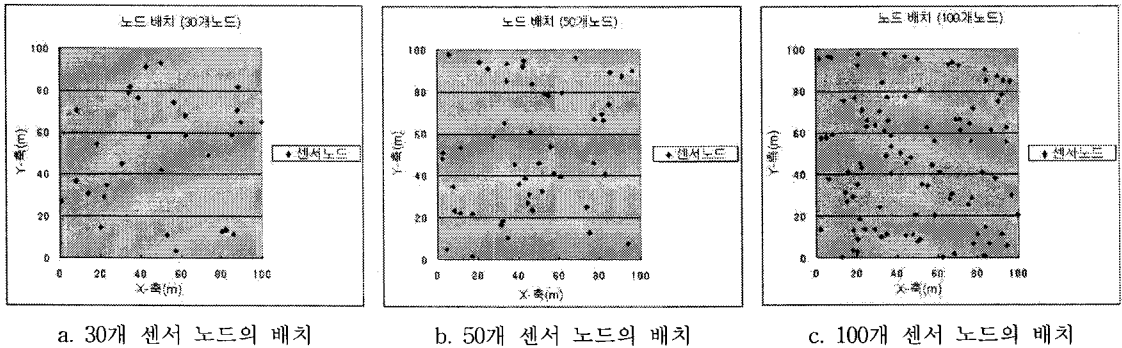


그림 8. 센서 네트워크에서 노드 개수에 따른 분포

험을 수행하였다. LEACH 프로토콜과 에너지 효율성을 비교하기 위해서 NS-2에 구현된 에너지 모델을 사용하였다. 에너지 모델에서 센서 노드가 패킷을 전송 할 때 사용되는 에너지와 패킷을 수신 할 때 사용되는 에너지는 각각 0.30W, 0.05W의 에너지가 소모 되며, 센서 노드의 초기 에너지의 양은 2J로 설정하였다. 본 실험에서는 MAC 계층으로 802.11 프로토콜을 사용하였다.

본 실험에서 설정된 센서 필드의 크기는 100m x 100m 이며 센서 네트워크의 영역에 전개된 30개, 50개 및 100개 센서 노드가 랜덤하게 배치되었다. 그림 8은 센서 네트워크 영역에서 노드의 개수에 따른 분포를 나타낸다. 또한 수집된 정보를 전달 받는 싱크 노드의 위치는 센서 필드의 외부인 X 150m, Y 50m의 위치에 배치하였다. 실험은 각 10회 실시 하였으며, 실험 시간은 1000초 동안 수행 되었다. 본 실험에서 사용된 컨트롤 패킷과 데이터 패킷의 크기는 각각 25 바이트와 125 바이트이다.

제안된 기법의 성능을 평가하기 위해서 세 개의 측정 기준을 사용하였다. 첫 번째 측정기준은 환경 정보 변화의 빈도에 따른 센서 노드의 에너지 잔존량이다. 이는 정보 변화의 발생 빈도에 따른 모든 센서 노드의 에너지 잔존량의 평균이다. 두 번째 측정 기준은 환경 정보 변화의 지속 시간에 따른 센서 노드의 에너지 잔존량이다. 세 번째 측정 기준은 센서 노드에 수에 따른 노드 생존율이다. 마지막으로 환경 정보를 검출하는 한계치와 환경 정보 범위에 따른 각 노드의 에너지 잔존량을 측정하였다.

5.2 실험 결과

본 절에서는 제안된 응용계층 정보 기반의 클러스

터링 기법의 성능 평가를 위하여 수행된 모의실험의 결과를 제시하고 분석하였다.

본 실험에서는 초기 일정한 에너지 2J를 모든 노드에게 제공하고 환경 정보의 변경(이벤트)의 발생 주기에 따른 노드의 에너지 잔량을 비교하였다. 이벤트의 발생의 빈도를 10%씩 증가시키며 시간에 따른 노드의 에너지 잔량을 나타내는 그래프이다.

그림 9의 그래프를 살펴보면 이벤트의 발생 주기가 길어질수록, 즉, 이벤트가 덜 빈번하게 발생할수록 센서 노드의 에너지 잔존량이 늘어나는 결과를 볼 수 있다. 이는 이벤트의 주기가 짧아지면 이에 해당하는 별도의 클러스터의 구성이 늘어나게 되므로 발생하는 결과이다. 따라서 이벤트가 아주 없을 경우에는 최대 2배까지의 성능 향상이 이루어지는 것을 볼 수 있다.

그림 10은 이벤트의 발생 후 이벤트의 지속 시간 1초, 5초, 10초, 및 20초에 따른 각 노드의 에너지 잔존량을 나타내는 그래프이다. 이벤트의 지속 시간은

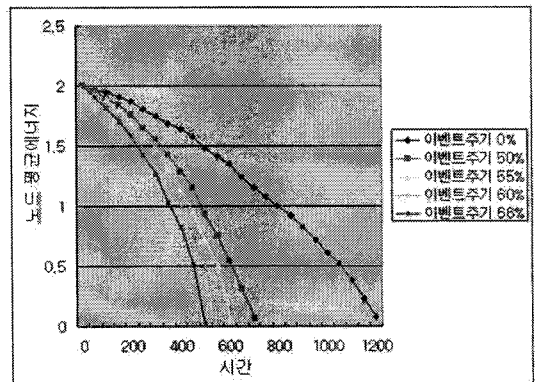


그림 9. 이벤트 발생 주기에 따른 노드의 에너지 잔존량

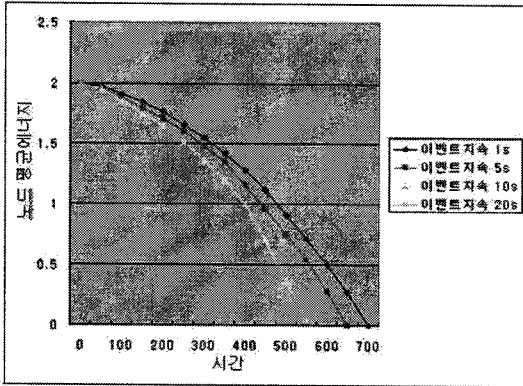


그림 10. 클러스터 네트워크 수명 측정

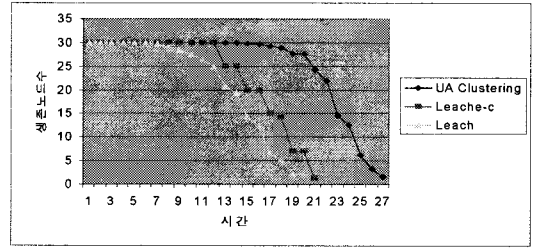
이벤트의 발생 주기보다 에너지 잔존량에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다. 이벤트의 발생 시간이 길어지면 제안된 클러스터링을 통한 클러스터의 구성이 오래 지속되어야 하기 때문에 각 노드의 에너지는 더욱 빨리 소모되고 전체 네트워크의 수명은 짧아진다.

이벤트의 특성에 따른 무선 센서 네트워크의 영향을 살펴본 결과 이벤트의 발생 주기와 지속 시간에 따라서 에너지 소모량이 변화하는 것을 볼 수 있다. 따라서 클러스터 구성 방법의 비교를 위하여 다음부터 제시되는 모의실험에서는 이벤트의 발생 주기와 지속 시간을 고정하고 기존 클러스터링 방법과 비교하도록 한다. 센서 네트워크에서 노드의 개수에 따라서 전체 네트워크의 수명을 비교한 결과를 그림 11에 보이고 있다.

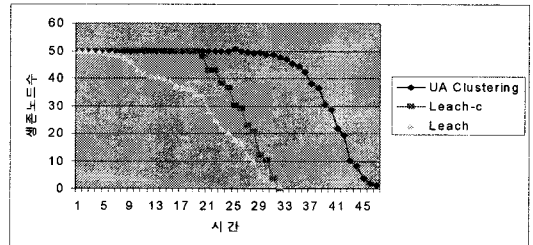
그림 11에서와 같이 노드의 개수가 증가하면 센서 네트워크에서 노드 간 밀집도가 상승하므로 거리는 감소하게 된다. 30개의 노드가 배치된 상황보다 100개의 노드가 배치되었을 경우 약 4배에 가까운 성능 향상이 관측되었다. 클러스터링 기법으로 널리 사용하는 LEACH 및 LEACH-C와의 비교를 살펴보면 최초 에너지 고갈 노드가 제안된 클러스터링의 경우 먼저 발생하지만 최후에는 약 10~15% 정도의 성능 향상을 살펴볼 수 있다.

6. 결론 및 향후 과제

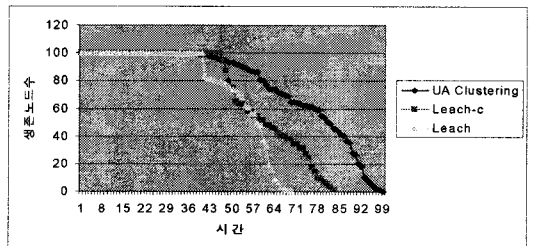
본 논문에서는 계층간 설계 방식으로서, 응용계층 정보 기반의 에너지 효율적 클러스터링 기법을 제안하였다. 환경에 배치된 센서 노드들의 응용계층 정보



a. 30개 센서 노드의 시간에 따른 생존률



b. 50개 센서 노드의 시간에 따른 생존률



c. 100개 센서 노드의 시간에 따른 생존률

그림 11. 노드 개수에 따른 네트워크 유지 시간

에 근거하여, 이벤트 감지 지역의 노드들로 구성된 클러스터와 이외 지역의 노드들로 구성된 클러스터를 구분하는 클러스터링을 제안하였다. 또한, 에너지 효율적인 동작을 위한 TDMA 스케줄링을 제안하여 전체 센서 네트워크의 수명을 연장시켰다. 모의실험을 통한 LEACH 및 LEACH-C와 비교하여 에너지 소모가 10~15% 감소하는 것으로 분석되었다. 환경에서 측정되는 정보 빈도 및 지속 시간에 따라서 전체 무선 센서 네트워크의 에너지 소모량이 변화하는 것으로 분석되었다. 따라서 제안하는 기법은 환경 정보의 변화폭이 적고 이벤트의 발생 지속 시간이 짧을 경우에 최적의 성능을 나타낼 수 있다. 반면에 이벤트의 변화의 빈도가 잦고 변화 지속 시간이 길게 유지되는 응용에는 적합하지 않다. 이러한 문제는 응용계층의 정보를 기반으로 클러스터를 구성함으로써 발생하는 것으로 앞으로 계속 연구하여야 할 문제이다.

참 고 문 헌

[1] L.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol.40, No.8, pp. 102-114, 2002.

[2] W.B. Heinzelmann, A.P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, Vol.1, No.4, pp. 660-670, 2002.

[3] O. Younis and S. Fahmy, "HEED : A Hybrid, Energy-efficient, Distributed Clustering Approach for Ad Hoc Sensor Networks," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, Vol.3, No.4, pp. 366-379, 2004.

[4] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium Access Control with Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, Vol.12, No.3, pp. 493-506, 2004.

[5] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy-efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *IEEE Proc. INFOCOM*, pp. 1567-1576, 2002.

[6] C. Schurgers, V. Tsiatsis, and M.B. Srivastava, "STEM : Topology Management for Energy Efficient Sensor Networks," *IEEE in Proc. AERO 2002*, Vol.3, pp. 1099-1108, 2002.

[7] A. Safwati, H. Hassanein, and H. Mouftah., "Optimal Cross-layer Designs for Energy-efficient Wireless Ad Hoc and Sensor Networks," *IEEE in Proc. GLOBECOM 2004*, Vol.4, pp. 2805-2811, 2004.

[8] 안성현, 김승훈, "환경정보 시스템에 적합한 클러스터 기반 에너지 효율적인 스케줄링 기법," *한국멀티미디어학회논문지*, 제11권, 제5호, pp. 101-108, 2008.

[9] 황호영, 정윤원, 김민정, 정찬영, 권재균, 성단근, "무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율적인 MAC 프로토콜에 대한 동향 및 분석," *SK*

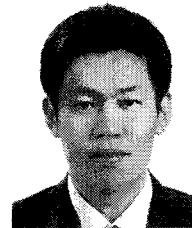
Telecommunication Reiview, 제14권, 제6호, pp. 918-933, 2004.

[10] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin, "Geography-informed Energy Conservation for Ad Hoc Routing," *ACM in Proc. MOBICOM*, pp. 70-84, 2001.



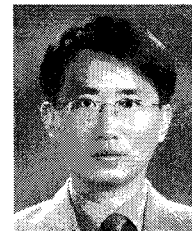
김 승 목

1988년 2월 한양대학교 전자공학과 (학사)
 1998년 2월 포항공과대학교 정보통신학과 (석사)
 2005년 3월~현재 단국대학교 컴퓨터과학과 박사 과정
 1991년~1997년 포스데이타 대리
 1997년~1999년 9월 엔트라이스 차장
 1999년~2001년 5월 3Com 부장
 2001년 6월~2003년 Avaya Korea Co., 부장
 2004년~현재 Alcatel-Lucent Korea
 관심분야 : 센서네트워크, 멀티미디어 통신, QoS, 라우팅



임 중 현

2006년 2월 단국대학교 멀티미디어공학과 졸업(공학사)
 2008년 2월 단국대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터과학전공(이학석사)
 2008년 10월~현재 메리츠화재 메리츠금융정보서비스 재직
 관심분야 : 센서네트워크, 멀티미디어 및 모바일 통신, 라우팅



김 승 훈

1985년 2월 인하대학교 전자계산학과 졸업(이학사)
 1989년 8월 인하대학교 전자계산학과 졸업(이학석사)
 1998년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)
 1998년 3월~2001년 8월 상지대학교 컴퓨터정보공학부 조교수
 2001년 9월~현재 단국대학교 컴퓨터학부 멀티미디어공학전공 부교수
 관심분야 : 센서네트워크, 멀티미디어 및 모바일 통신, 멀티미디어응용