

환경정보 시스템에 적합한 클러스터 기반 에너지 효율적인 스케줄링 기법

안성현[†], 김승훈^{**}

요 약

센서 네트워크 관련 여러 연구 중 대표적인 것이 센서 노드로 클러스터를 구성하여 센서 노드의 에너지 효율을 높이는 것이다. 그러나 기존의 연구는 센서에서 취득한 환경정보에 의한 센서 노드의 동작을 고려하지 않았다. 따라서 센서 노드는 환경정보와 무관하게 TDMA 스케줄을 설정하고 에너지 비효율적으로 동작했다. 본 논문에서는 다양한 응용 환경에 유연하게 적용할 수 있는 클러스터 기반 에너지 효율적인 스케줄링 기법을 제안했다. 이 기법은 환경정보인 응용 계층에서 취득한 정보를 하위 MAC 계층에 반영하여 클러스터의 스케줄을 설정하게 된다. 응용 계층의 정보는 클러스터 헤드에서 감지한 데이터와 비교하여 유사성 정도에 따라 스케줄링을 계획한다. 유사성 결과에 따라서 데이터 전송을 결정하게 되므로 환경의 특징 반영이 가능하고 에너지 효율적인 동작이 가능하다. 제안된 기법이 클러스터를 이용한 대표적인 방법인 LEACH 및 LEACH-C 프로토콜과 비교하여 에너지 효율적인 측면에서 우수함을 시뮬레이션을 통하여 보였다.

An Energy Efficient Cluster-based Scheduling Scheme for Environment Information Systems

Sung-Hyun An[†], Seung-Hoon Kim^{**}

ABSTRACT

Sensor node clustering is one of the most popular research topics to reduce the energy of sensor nodes in wireless sensor networks. Previous researches, however, did not consider prediction effects of sensed environment information on TDMA scheduling of a cluster, resulting energy inefficiency. In this paper, we suggest an energy efficient cluster-based scheduling scheme that can be applied flexibly to many environment information systems. This scheme reflects the environment information obtained at the application layer to the MAC layer to set up the schedule of a cluster. The application layer information sets up the scheduling referring to the similarity of sensed data of cluster head. It determines the data transmission considering the result of similarity. We show that our scheme is more efficient than LEACH and LEACH-C in energy, which are popular clustering schemes, through simulation.

Key words: Scheduling(스케줄링), Cluster(클러스터), Environment Information Systems(환경정보시스템), Wireless Sensor Networks(무선센서네트워크)

※ 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: 2007년 12월 27일, 완료일: 2008년 4월 2일
[†] 단국대학교 정보컴퓨터학과

(E-mail: sung10092@naver.com)
^{**} 정회원, 단국대학교 컴퓨터학부 멀티미디어공학전공 부교수
※ 이 연구는 2006년도 단국대학교 대학연구비 지원으로 연구되었음

1. 서론

최근 무선통신 기술과 전자장비의 발달에 따라 환경, 의료, 군대, 홈 네트워크 등 다양한 응용 분야에서 무선 센서 네트워크가 광범위하게 사용되고 있다. 무선 센서 네트워크는 다수의 노드로 구성되며 ad-hoc 네트워크 구성 능력을 가지고 있다. 센서 노드는 제한된 배터리에 의한 동작으로 기존 ad-hoc 네트워크를 위해 개발된 프로토콜을 그대로 사용하기에는 문제점이 발생하기 때문에, 제한된 에너지를 효율적으로 이용하는 프로토콜에 대한 연구들이 수행되어 왔다[1,2,3].

과거의 연구는 무선 센서 네트워크에서 노드가 데이터를 송수신할 때 거리에 따라 소비되는 에너지를 고려하는 계층적 라우팅 프로토콜(hierarchical routing protocol) 기법과 노드의 활성/비활성 상태에 따라 소비하는 에너지를 고려하는 평면 라우팅 프로토콜(flat routing protocol) 기법으로 나누어진다. 계층적 라우팅 프로토콜 기법에서는, 전송 거리에 따라 소비 에너지가 크게 증가하므로 네트워크를 클러스터라 불리는 노드들의 집합으로 나누고, 대표 노드인 클러스터 헤드를 선출하여, 데이터를 수집하여 싱크 노드에게 보낸다. 대표적인 연구로 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[4], HEED(A Hybrid, Energy-Efficient, Distributed Clustering Approach for Ad hoc Sensor Networks)[5]가 있다. 평면 라우팅 프로토콜은 주기적으로 노드의 상태를 변화시켜 에너지 소모를 조절한다. 송수신할 정보가 존재하는 경우에는 무선 모듈의 활성화 상태를 유지하지만 그렇지 않은 경우에는 비활성화 상태로 에너지 소모를 방지한다. 대표적인 연구로 S-MAC(Sensor Medium Access Control)[6], STEM(Sparse Topology and Energy Management)[7]이 있다.

또한 네트워크 및 응용 프로그램의 제약 조건에 따라 계층 사이의 인터페이스 계층별로 독립적으로 설계되어 왔다. 하지만 이러한 접근 방법은 네트워크 설계를 단순화시키고 정보 전달의 계층 간 상호작용을 제한하여 계층 사이의 특성을 제대로 반영하지 못하기 때문에 유연하지 못하여 실제 주어진 성능을 충분히 나타내지 못한다. 따라서 상위 또는 하위 계층의 특성 및 상황에 맞도록 적응성을 지원하고 각 계층의 특성을 상호 고려한 Cross Layer 설계가 필

요하다[8].

본 논문은 클러스터 구성과 노드의 활성/비활성 개념으로 응용 계층 데이터를 이용하여 클러스터 기반의 에너지 효율적인 스케줄링을 제안한다. 네트워크를 구성하는 센서 노드는 데이터 전달에서 거리에 따른 에너지 절감을 위하여 클러스터 단위로 구성된다. 클러스터가 구성되면 각 클러스터 헤드 노드는 멤버 노드에서 수집된 응용 계층 정보를 바탕으로 각 영역에서 효율적인 노드 전송 스케줄을 작성하여 에너지 효율적인 동작으로 각 센서 노드는 에너지를 절감한다. 제안하는 방법은 시뮬레이션을 통하여 에너지 효율성 관점에서 성능을 분석하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 에너지 효율 향상을 위한 기존의 연구에 대해 기술하여 기존 클러스터 구성의 문제점을 설명한다. 3장에서는 제안하는 에너지 효율적인 클러스터 기반의 스케줄링을 기술한다. 4장에서는 성능평가를 통해서 5장에서 결론 및 향후 과제를 기술한다.

2. 관련연구

2.1 무선 센서 네트워크의 개념

센서 네트워크는 주어진 임무 수행을 위하여 구성된 센서의 협력으로 동작하는 네트워크이다. 센서 노드들은 그림 1과 같이 감지하고 수집한 데이터를 싱크 노드(sink node)로 전송한다. 사용자는 싱크 노드를 통하여 센서 네트워크에 접근할 수 있다[3].

센서 노드는 전원 공급이 제한되고 임의로 배치되므로 교체가 거의 불가능하다. 따라서, 무선 센서 네트워크를 위한 프로토콜은 에너지 효율적 동작으로 설계되어야 한다. 무선 센서 네트워크에서 센서 노드가 소모하는 에너지는 다음과 같다.

- 수신 전력 (receiving power) : 데이터를 수신하는데 소비되는 에너지

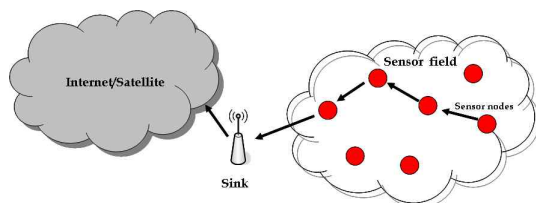


그림 1. 센서 필드와 센서 노드의 구성

- 송신 전력 (transmitting power) : 데이터를 송신 하는데 소비되는 에너지
- 감지 전력 (sensing power) : 데이터를 수집하는데 소비되는 에너지
- 유휴 전력 (idle power) : 센서 노드가 유휴상태에서 소비되는 에너지

에너지 효율성과 네트워크의 수명 연장을 위하여 데이터 축소, 라우팅, 활성(Active)/비활성(sleep)에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다.

2.2. 에너지 효율성을 고려한 라우팅 프로토콜

2.2.1. 평면 라우팅 프로토콜

평면 라우팅 프로토콜은 모든 통신 주체들이 하나의 주파수 채널을 공유하고 CSMA/CA와 같은 경쟁 기반 매체접근제어 방식을 통해서 노드의 송수신과 함께 상태를 변화시켜 에너지 소모를 줄이게 된다. 따라서 대규모 센서 네트워크를 구성하기 위해 네트워크 확장성이 요구될 경우에도 경로 설정이 이루어지기만 하면 네트워크의 규모와 상관없이 경쟁 방식에 의해 분산적으로 매체접근이 수행되는 장점을 갖는다. 평면 라우팅 프로토콜에서 무선 센서 네트워크를 고려한 대표적인 접근 방식으로 S-MAC[6]과 STEM[7]을 들 수 있다

2.2.2. 계층적 라우팅 프로토콜

계층적 라우팅 프로토콜에서는 하나의 클러스터를 관리하는 대표 노드인 클러스터 헤드(Cluster Head)가 선출되고, 이를 통해 TDMA 프레임에서의 동적인 자원 예약 및 할당 방식을 수행한다. 각 센서 노드가 특정 프레임에서 자신에게 할당된 TDMA 슬롯에서만 데이터를 송수신하여, 에너지 효율성을 극대화 하는 장점을 갖는다. 계층구조의 대표적인 프로토콜로서 LEACH[4]와 HEED[5]를 들 수 있다.

2.3 Cross-Layer Design

무선 센서 네트워크에서는 제한된 자원을 가지므로 응용 프로토콜은 최대의 효율성을 고려하여 설계되어야 한다. 기존의 유선망의 계층기반 설계(Layered Design)는 각 계층이 독립적으로 최적화될 수 있다는 개념으로 설계되었다. 이 방식은 각 계

층의 전달되는 정보가 최소한으로 선택되고, 한 계층의 변화가 다른 계층에 독립적인 특징을 가진다. 반면, 각 계층의 기능이 중복된 경우가 많아 효율성이 떨어지고 통신할 때는 반드시 하위계층을 거쳐야 하는 제약이 따른다는 단점이 있다. 이런 특징의 대안으로 나온 것이 Cross-layer Design이다. Cross Layer는 계층 기반 네트워크에서 계층 간 정보 교환이 가능한 별도의 에이전트(Agent)를 부여함으로써 각 계층 사이의 정보를 공유하는 것으로 통신 프로토콜 계층 간 정보사용이 가능하여 전체 네트워크 성능을 개선하는 것이다[9]. 이때 계층 간에 정보를 공유하기 위해서는 그림 2와 같이 스택 디자인을 바꿀 필요가 있다.

2.4 과거 연구 문제점 분석

일반적으로 센서 네트워크에서는 모든 데이터 전송이 브로드캐스트(broadcast)로 실행하는 특성으로 인하여 노드 사이가 가까이 있을수록 overhearing의 영향으로 에너지 소모가 발생한다[10]. 반면, 이 논문에서는 노드가 데이터 전송 주기를 TDMA를 사용하여 자신의 데이터 전송 주기가 아닐 경우 무선 송수신 모듈을 비활성 시켜 overhearing을 방지하였다. 그러나 클러스터 내에서 TDMA 스케줄에 의해서 동작하게 되면 정기적 에너지 소비가 발생한다.

본 절에서는 그림 3과 같이 동적인 TDMA 주기 설정으로 발생하는 에너지 소비를 줄이기 위하여 해결해야 할 두 가지 문제를 다음과 같이 정의한다.

[클러스터 내 멤버 노드 수] : 클러스터 구성 후 설정된 TDMA 주기로 멤버 노드는 데이터를 전송한다. 클러스터 내의 멤버 노드의 수가 많으면 자신의

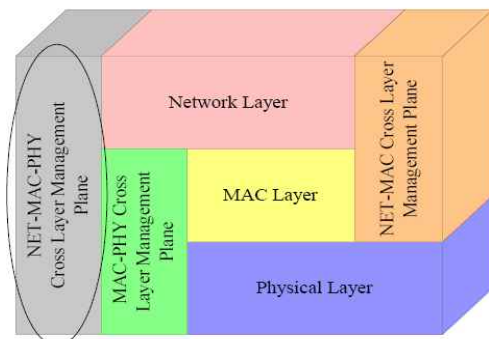


그림 2. Adaptive 프로토콜 설계

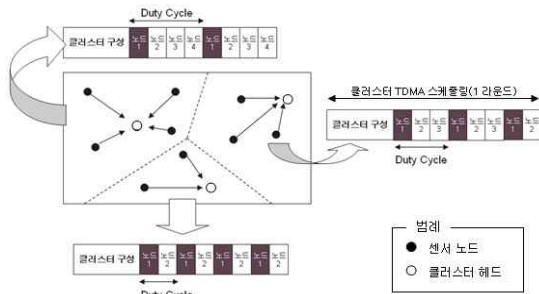


그림 3. 각 클러스터 타임 슬롯

Duty Cycle이 길어지기 때문에 그 시간 동안 노드의 무선 송수신 모듈을 비활성화 시켜 에너지 소비량을 절약할 수 있다. 하지만 클러스터의 멤버 노드의 수가 작을 경우 자신에게 돌아오는 주기가 빨라져 계속 클러스터 헤드에게 수집된 데이터를 전송해야 한다. 이 문제를 본 논문에서는 클러스터 내 멤버 노드 수 문제로 정의한다.

[클러스터 헤드의 에너지 소비량]: 클러스터 헤드는 멤버 노드의 정보를 수집, 전달하므로 멤버 노드에 비해 에너지 소비량이 많다. 이 문제를 해결하기 위해 기존 연구에서는 클러스터 헤드의 에너지 소비량을 분산시키기 위해 매 라운드마다 임의로 다시 선출한다. 하지만 여전히 클러스터 헤드 노드의 에너지 소모 문제가 존재한다. 이를 해결하기 위해 클러스터 헤드의 에너지 소비량 문제가 정의한다.

3. 클러스터-기반 에너지 효율적인 스케줄링 기법

3.1 클러스터 기반의 스케줄링 기법 개요

본 논문에서 제안하는 클러스터 기반의 에너지 효율적인 스케줄링(Energy Efficient Cluster-based Scheduling Scheme 이하 EECS)은 클러스터 멤버 노드의 Duty Cycle을 길게 하여 클러스터 헤드로 전송하는 횟수를 줄임으로써 노드와 헤드의 에너지를 절약한다. 이 기법은 클러스터와 노드의 활성화/비활성 개념을 사용함으로써 에너지 효율성을 높인다. 클러스터 내(Intra-Cluster) 데이터 전송 주기는 클러스터 헤드가 멤버 노드의 수에 의해 결정한다. 멤버 노드의 수로 데이터 전송 주기를 결정하므로 멤버 노드 수가 적을 경우 클러스터 헤드와 자주 통신하기

때문에 많은 에너지 소모가 발생한다. 제안하는 스케줄링 기법은 응용 계층에서 획득한 환경 감지 정보를 기반으로 멤버 노드의 전송 주기를 결정한다. 클러스터의 구성으로 헤드가 결정되고 멤버 노드로부터 받은 환경 감지 정보를 이용하여 멤버 노드의 전송 주기를 결정한다[11].

3.2 클러스터 구성

센서 노드는 필드에 임의적으로 분산 배치되어 환경 정보를 수집한다. 에너지 효율을 높이기 위하여 각 노드는 다음의 절차에 따라서 데이터를 전달하게 된다.

클러스터의 헤드 노드를 선출하기 위해서 각 노드는 일정시간의 클러스터 헤드 공고 패킷(cluster head announcement packet)을 환경정보필드에 플러딩(flooding)한다. 패킷전송시각이 클러스터 헤드 공고 패킷에 포함되어 클러스터 헤드 선출에 사용된다. 즉, 가장 먼저 패킷을 전송한 노드가 클러스터 헤드 노드의 역할을 한다. 클러스터 헤드가 결정된 후 그림 4와 같이 각 클러스터 헤드는 자신의 아이디와 헤드라는 작은 메시지를 주변 노드에게 브로드캐스트(broadcast) 한다. 필드의 노드는 각 클러스터 헤드로부터 받은 메시지의 신호를 바탕으로 거리가 가장 짧은 클러스터 헤드로 Join-REQ 메시지를 보내 해당 클러스터에 참여하게 된다. 이 메시지는 센

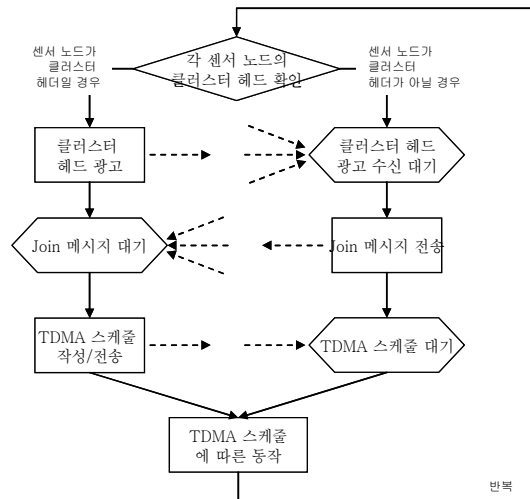


그림 4. 클러스터 구성 순서도

서 노드 ID, 클러스터 헤드 ID, 감지한 데이터로 구성 되어 있다. 이제, 클러스터 헤드는 Join-REQ 메시지를 받아 클러스터 멤버를 구성하고 각 멤버들이 헤더에 전송할 스케줄을 설정한다.

3.3 클러스터 기반의 에너지 효율적인 스케줄링 기법의 동작

본 절에서는 각 클러스터에서 에너지 효율적인 스케줄링을 위하여 환경정보를 이용한 스케줄링을 제안한다.

3.3.1 클러스터 멤버의 환경정보 전송

클러스터가 구성되고 TDMA 스케줄에 의해서 한 라운드에 각 클러스터 멤버노드가 클러스터 헤더에 전송하는 환경정보 전송회수 $F_{transmission}$ 은 각 멤버노드는 물론 클러스터 헤드 노드의 에너지 소모에 큰 영향을 준다. 임의 클러스터의 멤버노드수를 N , 클러스터 TDMA 스케줄링에서 1 라운드시간 중에서 클러스터 구성에 필요한 시간을 제외한 시간을 T_{round} 라 하면 T_{round} 는 각 클러스터의 Duty cycle의 길이에 따라서 정해지게 된다. 멤버노드가 클러스터 헤더로 환경정보를 전송하는 단위 시간인 슬롯 시간(time slot)을 T_{ts} 라 하면, $F_{transmission}$ 은 다음 식과 같이 계산된다.

$$F_{transmission} = \frac{T_{round}}{T_{ts} \times N} \quad \text{식 (1)}$$

3.3.2 환경정보 유사성에 근거한 클러스터 멤버의 환경정보 전송

본 논문에서는 클러스터 멤버노드가 감지한 환경정보와 클러스터 헤드노드가 감지한 환경정보간의 유사성을 이용하여 전절에서 계산한 환경정보 전송회수를 줄인다. 즉, 멤버 노드의 Duty Cycle 변화를 통해서 비활성 상태를 연장하여 에너지 소모를 줄이는 스케줄링 기법을 제안한다.

만일, 클러스터 헤드노드가 감지한 환경정보와 멤버노드가 감지한 환경정보가 완전히 동일하다면, 멤버노드는 동일한 정보를 보낼 필요가 전혀 없다. 두 노드 간에 환경정보가 완전히 동일하지 않더라도 상당히 유사하다면 전송회수를 줄임으로써 에너지 소모를 줄일 수 있다. 이와 같이 환경정보와 같은 응용

계층(application layer)의 정보를 하위계층 기능인 스케줄링에 활용하는 계층간 설계(cross-layer design) 개념은 센서노드에 적합한 것으로 알려져 있다.

센서노드들이 감지한 정보들이 어떤 범위일 경우 서로 유사한가는 고려중인 환경정보에 따라 다르며 산업표준자료를 참고하여 결정할 수 있다. 예를 들어, 일반 사무실의 조도 데이터 유사성 범위를 고려한다면, 조도 표준 KSA 3011에서 일반 사무실의 조도를 700~1500 Lux로 정의하고 있으므로 그 평균인 1100 Lux를 기준으로 상하 400 Lux 범위는 서로 유사한 범위라 할 수 있다.

이제 환경정보 유사성에 근거하여 감소되는, 각 클러스터 멤버의 환경정보 전송회수 $F_{similarity}$ 는 식 (2)와 같다. 여기서 환경정보유사정도 S 는 0과 1사이의 값을 가지며, 클러스터 헤더와 동일한 값을 가질수록 1에 근사한 값을 가진다.

$$F_{similarity} = F_{transmission} \times (1 - S) \quad \text{식 (2)}$$

3.3.3 환경정보 유사정도

본 절에서는 전절에서 언급한 환경정보유사정도의 계산방식을 구체적으로 정의한다. 먼저, 고려중인 환경정보에 따라 데이터 유사 범위 D_{range} 를 정의한다. 즉, 그림 5에서와 같이 클러스터 구성 단계에서 클러스터 헤더의 측정 데이터를 바탕으로 “데이터 유사 범위”가 정해지게 된다. 편의상 데이터 유사 범위는 헤더의 측정 데이터를 중심으로 상하 대칭이라고 가정한다.

데이터 유사 범위 D_{range} 는 고려중인 환경정보에 따라 변화하게 된다. 따라서 이를 정규화하기 위하여 “환경정보 유사정도”를 1부터 0까지의 값으로 정의한다. 클러스터 헤더와 동일한 값이면 1의 값을 가지며, 데이터 유사 범위 밖이면 0의 값을 가진다. 또한, 클러스터 헤더의 값과 근사한 값을 가질수록 1에 근

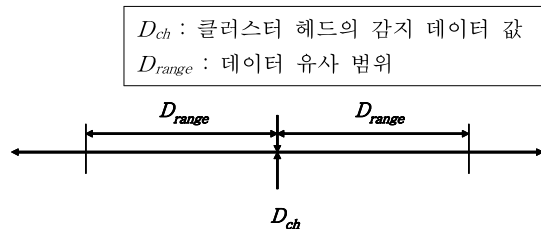


그림 5. 클러스터내 환경정보 데이터 유사 범위

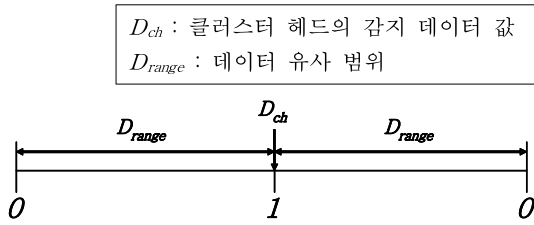


그림 6. 유사성 범위에 의한 환경정보 유사정도

사한 값을 가진다. 멤버 노드는 “환경정보 유사정도”에 의해서 Duty Cycle를 결정하게 된다.

그림 6과 같이 클러스터가 구성되는 시점에서 클러스터 헤더의 환경정보 감지 데이터 값 D_{ch} 가 전달 되면 클러스터 멤버 노드 i 는 자신의 환경정보 감지 데이터 D_i 와 비교하여 환경정보 유사정도 S_i 를 결정하게 된다. 환경정보 유사정도 S_i 는 식(3) 과 같이 정의한다.

$$S_i = \begin{cases} 1 & , \text{if } D_i = D_{ch} \\ 1 - \frac{|D_{ch} - D_i|}{D_{range}} & , \text{if } D_{ch} - D_{range} \leq D_i \leq D_{ch} + D_{range} \\ 0 & , \text{if } D_i < D_{ch} - D_{range} \text{ or } D_i > D_{ch} + D_{range} \end{cases} \quad \text{식 (3)}$$

- D_{ch} : 클러스터 헤드의 감지 데이터 값
- D_i : 클러스터 멤버 노드 i 의 감지 데이터 값
- D_{range} : 데이터 유사 범위
- S_i : 클러스터 멤버 노드 i 의 환경정보 유사정도

이제 식(2)는 식(4)와 같이 계산된다. 클러스터 멤버 노드는 식(4)에 의하여 클러스터 TDMA 스케줄링 1 라운드에 환경정보를 전송할 타임 슬롯을 스케줄링 한다.

$$F_{similarity} = F_{transmission} \times (1 - S_i) \quad \text{식 (4)}$$

4. 성능평가

본 논문에서 제안된 스케줄링의 성능평가는 NS-2(Network Simulator 2)를 이용하였다[12]. 대표적인 클러스터 방법인 LEACH 프로토콜, LEACH-C 프로토콜과 에너지 효율성을 비교하기 위하여 NS-2에 구현된 에너지 모델(energy model)을 사용하였다. 센서장비 개발사로 유명한 크로스보우사의 센서 노드 MICAz의 경우 1.5V AA배터리 두 개로 동작한다. 일반적인 AA배터리의 경우, 2.2~

2.5Ah의 전력을 가지므로 센서 노드는 6.6~7.5W(약 23760~27000J)의 에너지를 가진다[13,14]. 본 논문에서는 시뮬레이션의 간편을 위하여 센서 노드의 초기 에너지의 양을 2J로 설정하였다. 또한, MAC 계층으로 802.11을 사용하였다. 센서 필드의 크기는 100 m × 100 m 이며 센서 필드 안에 전개된 센서 노드의 개수는 100개이다. 센서 노드에서 측정하는 정보는 산업표준 KSI 3011에서 정하는 실내의 조도를 측정한다고 가정하여 모의실험 하였다. 제안된 스케줄링의 성능을 평가하기 위해서 3개의 측정 기준을 사용하였다. 첫 번째 측정기준은 클러스터의 멤버 노드들의 통신 활동(패킷의 전송과 수신)에 시간 당 평균 전송과 수신하는 패킷 수이다. 이는 멤버 노드들이 클러스터 헤드에게 전송한 패킷의 수에 멤버 노드 수로 나눈 값이다. 두 번째 측정 기준은 클러스터 필드의 센서 노드들의 생존 기간이다. 마지막으로 측정 기준은 클러스터 내 멤버 노드들의 평균적인 에너지 소비량이다. 이는 각 시간 당 클러스터 헤더를 제외하고 멤버 노드들의 소비한 에너지의 양에 멤버 노드를 나눈 값이다.

4.1 실험 결과 분석

그림 7을 보면 LEACH는 클러스터 내 멤버 노드 수가 적어지면 클러스터 헤드에게 보내는 횟수가 증가한다. 시작할 때 보낸 패킷 수는 평균적으로 12개 정도 이지만 멤버 노드가 적어지면 초당 20정도 클러스터 헤드에게 데이터를 송신한다. LEACH-C 프로토콜은 LEACH 프로토콜에 비해서 전송되는 패킷은 많지만 생존한 센서 노드 수가 변화하면서 클러스터 구성이 변화하여 전송 패킷의 수가 낮은 쪽으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 하지만 EECS 스케줄링은

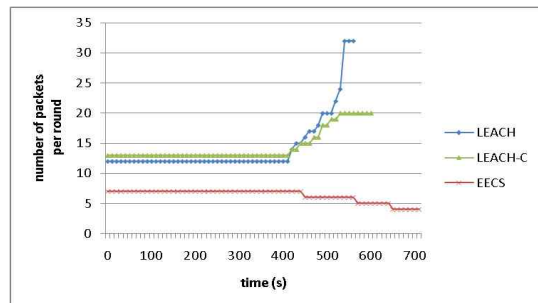


그림 7. 노드 당 평균 패킷 수

응용 계층 데이터 유사성으로 노드들이 비활성 되어 있어 클러스터 내 노드 수가 적어질수록 점점 패킷의 전송 횟수가 적어진다. 패킷 전송 수를 보면 EECS 스케줄링이 2배정도의 좋은 성능을 보여주고 있다.

본 실험에서는 클러스터 내 멤버 노드들의 수로 클러스터 생존 기간을 실험하였다.

그림 8과 같이 구성 초기에는 멤버 노드들이 주기적으로 수집한 데이터를 전송하기 때문에 멤버 노드의 에너지 부담을 클러스터 내 멤버 노드들과 나눌 수 있었지만, 시간이 지날수록 소모하는 에너지 부담을 나머지 멤버노드들이 하기 때문에 멤버 노드 수의 급속도로 감소하는 것을 볼 수 있다. 이 실험으로 그림 9와 같은 그래프를 얻을 수 있다.

그림 9는 클러스터 멤버 노드의 평균 에너지 잔량을 그래프로 나타냈다. 그림 9를 살펴보면 시작은 LEACH, LEACH-C 그리고 EECS 스케줄링의 에너지 소모가 실험초기에는 유사하게 발생한다. 그러나 클러스터 내 멤버 노드 수가 줄어들면 LEACH는 클러스터 헤드에게 전송하는 횟수가 증가하게 되어 멤버 노드의 에너지를 급속히 감소하게 된다. LEACH-C의 경우 클러스터의 숫자가 변화하게 되고 클러스

터 당 전송 패킷수가 감소하여 LEACH에 비해서 감소폭이 작아지는 것을 볼 수 있다. 하지만 제한하는 EECS 스케줄링은 클러스터 멤버 노드들이 주기적으로 비활성 되어 전송 패킷의 수를 급격하게 줄이므로 에너지 소비를 줄일 수 있게 된 것을 보여준다.

5. 결 론

본 논문에서는 응용 데이터를 활용한 활성/비활성 개념을 이용하여 센서 네트워크를 위한 에너지 효율적인 스케줄링 기법을 제안 하였다. 센서 네트워크는 다른 무선 네트워크들 보다 훨씬 에너지 제약을 받는다. 그렇기 때문에 센서 네트워크에서 에너지 문제는 제일 중요하게 다뤄왔다. 본 논문에서는 클러스터 내 멤버 노드들이 데이터 전송 횟수를 줄여 클러스터 헤드와 멤버 노드의 에너지 소비를 줄여 센서 네트워크의 수명을 연장시켰다

실험을 통해서 기존 방법인 LEACH, LEACH-C에 비해 그림 9의 실험결과와 같이 전체 에너지 소모량이 감소하여 센서 노드의 동작 시간이 15~20% 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 EECS 스케줄링은 클러스터 헤드의 전달되는 패킷 수 감소로 에너지 소모를 줄이는 것을 볼 수 있다. 하지만, 그림 7에서의 실험결과와 같이 전송횟수가 적어지면서 클러스터 내 멤버 노드의 비활성 기간이 길어질수록 데이터 정확도는 떨어질 수 있다. 이는 앞으로 개선해야 할 문제이다.

참 고 문 헌

[1] P. Wan, K.M. Alzoubi, and O. Frieder, "Distributed Construction of Connected Dominating Set in Wireless Ad Hoc Networks," *INFOCOM*, Vol.3, pp. 1597-1604, 2002.

[2] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion : A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," *MOBICOM*, 2002.

[3] L.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications*

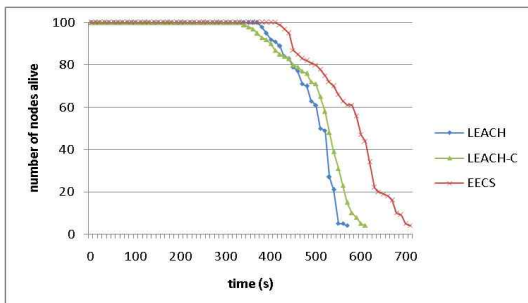


그림 8. 클러스터 네트워크 수명 측정

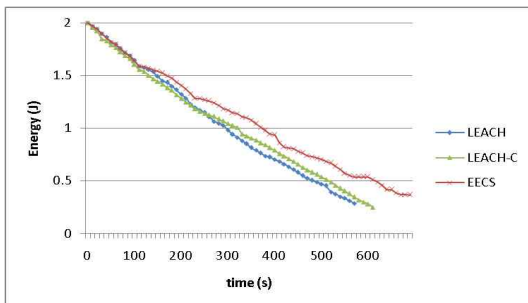


그림 9. 클러스터 멤버 노드의 평균 에너지 잔량

Magazine, Vol.40, No.8, pp. 102-114, 2002.

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

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

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

[7] C. Schurgers, V. Tsiatsis, and M.B. Srivastava, "STEM : Topology Management for Energy Efficient Sensor Networks," *IEEE Aerospace Conference Proceedings*, Vol.3, pp. 1099-1108, 2002.

[8] 황호영, 정윤원, 김민정, 정찬영, 권재균, 성단근, "무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율적인 MAC 프로토콜에 대한 동향 및 분석," *SK Telecommunication*, 제14권, 제6호, pp. 918-933, 2004.

[9] A. Safwaf, H. Hassanein, and H. Mouftah, "Optimal Cross-Layer Designs for Energy-Efficient Wireless Ad Hoc and Sensor Networks," *IEEE International*, pp. 123-128, 2004.

[10] T. Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC protocol for Wireless Sensor Networks," *ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp.

171-180, 2003.

[11] 안성현, 소수환, 김승목, 김승훈, "무선 센서 네트워크를 위한 응용 데이터를 이용한 에너지 효율적인 토폴로지 제어 기법," *한국문화콘텐츠 기술학회*, 제4권, pp. 85-89, 2006.

[12] <http://www.isi.edu/nanam/ns/>

[13] H. Karl and A. Willig, *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*, Wiley.com, USA, 2005.

[14] Q. Shi, "Power Management in Networked Sensor Radios - A Network Energy Model," *IEEE Sensors Applications Symposium*, pp. 1-5, 2007.



안 성 현

2004년 2월 단국대학교 전자계산학과 졸업(이학사)
 2007년 8월 단국대학교 정보컴퓨터학과 졸업(이학석사)
 관심분야 : ad-hoc 네트워크, 센서 네트워크



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, 환경정보시스템, 멀티미디어 및 모바일 통신, 멀티미디어응용