

논문 2008-45TC-9-1

센서 네트워크에서 클러스터 기반 에너지 효율성을 고려한 개선된 라우팅 프로토콜

(Energy Efficient Improved Routing Protocol based on Cluster for Wireless Sensor Networks)

박 용 민*, 김 경 목**, 오 영 환***

(Yong-Min Park, Kyoung-Mok Kim, and Young-Hwan Oh)

요 약

무선 센서 네트워크의 각 센서 노드는 배터리 기반의 제한된 에너지로 동작하기 때문에 무선 센서 네트워크에서의 효율적인 에너지 사용에 많은 연구가 이루어지고 있다. 무선 센서 네트워크와 같이 많은 수의 센서 노드가 조밀하게 분포되어 긴밀한 협업을 통해 정보를 모으고 전달하는 유기적인 시스템에서는 가능한 많은 노드들이 생존하는 것이 망의 수명에 더욱 중요한 요인이 된다. 본 논문에서는 에너지 효율이 중요한 요소 가운데 하나인 센서 네트워크에서 효율적인 라우팅을 위한 기존의 연구들을 고찰하고, 개선된 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 클러스터 구성을 위해 싱크에서 노드의 홉 수에 따라 플러딩을 통해 각 노드에게 클러스터 ID를 부여하며, 부여된 클러스터 ID를 기반으로 계층적 데이터를 전송하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘에 대해서는 NS-2 시뮬레이션을 기반으로 노드의 수명과 데이터 량, 오버헤드에 대한 성능 분석을 수행하였다.

Abstract

The efficient node energy utilization in wireless sensor networks has been studied because sensor nodes operate with limited power based on battery. Since a large number of sensor nodes are densely deployed and collect data by cooperation in wireless sensor network, keeping more sensor nodes alive as possible is important to extend the lifetime of the sensor network. Energy efficiency is an important factor of researches that efficient routing algorithm is needed in wireless sensor network. In this research, I consider some methods to utilize more efficiently the limited power resource of wireless sensor networks. The proposed algorithm is the sink first divides the network into several areas with hop counts and data transmission based on cluster ID. The performance of the proposed algorithm has been examined and evaluated with NS-2 simulator in terms of lifetime, amount of data and overhead

Keywords : Energy aware routing, Wireless sensor network, LEACH

I. 서 론

무선 센서네트워크는 최근 대두되고 있는 유비쿼터스 컴퓨팅의 연구에 힘입어, 광범위하게 설치되어 있는 유무선 네트워크 인프라에 상황인지를 위한 다양한 센서 데이터를 결합하여 감지된 환경데이터를 응용서비스 서

버와 연동하는 기술이다^[1].

무선 센서 네트워크의 특징은 첫째, 무선 센서 네트워크의 노드는 배터리로 동작하는 저전력, 저가의 시스템이다. 그러나 현재의 배터리 기술의 한계로 인해 노드들은 에너지 사용에 많은 제약을 받고 배터리가 소모되어 노드의 동작이 멈추면 이는 다시 재충전하거나 교체되지 않는다는 것이다^[2]. 둘째, 무선 센서네트워크는 대규모 숫자의 통신 노드로 구성된다. 감시라는 업무 자체의 특성상 보다 많은 관찰점에서 다각도의 감시 정보를 수집한다면 보다 많은 상황정보를 파악할 수 있기 때문이다.

* 학생회원, *** 평생회원, 광운대학교 전자통신공학과 (Kwangwoon University)

** 정회원, 삼육보건대학 의료정보시스템과 (Sahmyook health college)

접수일자: 2008년4월8일, 수정완료일: 2008년9월17일

이는 기존의 단일 센서에서 수행하던 임무를 보다 많은 노드에서 분배해서 수행함으로써 정보의 정확도를 높인다^[3]. 셋째, 무선 센서 네트워크의 노드들은 사람에 의해 배포되기 보다는 비행기 혹은 다른 운반수단을 통해 무작위로 배치된다. 이러한 특성은 노드가 사람의 관리나 간섭 없이 네트워크를 자기 구성(self-configurable) 할 수 있어야 한다는 기술적 요구사항을 지닌다^[4~5]. 넷째, 무선 센서네트워크가 배치되는 지역은 물리적 환경이 대단히 열악하고 가변적이다. 이는 노드의 고장, 파괴, 오동작 등이 빈번하게 일어날 수 있는 장애 허용성(fault tolerance)이 갖춰져야 한다.

본 논문에서는 무선 센서네트워크의 특징 중 에너지 문제를 개선하기 위해 클러스터 기반 라우팅 프로토콜의 문제점을 보완하여 센서 노드들의 에너지 분산과 에너지 소비를 줄일 수 있는 라우팅 알고리즘을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 관련연구로 무선 센서네트워크의 개요 및 클러스터링 기반 라우팅 프로토콜의 문제점에 대해 설명한다. III장에서는 효율적 에너지 관리를 위해 제안한 라우팅 알고리즘에 대해 설명하며, IV장에서는 제안한 라우팅 알고리즘의 성능 평가에 대해 설명한다. 마지막 V장에서는 결론 및 고찰에 관해 설명한다.

II. 관련연구

1. 센서 네트워크 라우팅 프로토콜 개요

무선 센서네트워크의 망의 형태와 라우팅에 대한 연구를 분류해 보면, 클러스터 기반(cluster-based)의 라우팅, 단층 기반(flat) 라우팅, 위치기반(geographic) 라우팅으로 나눌 수 있다. 클러스터 기반의 라우팅은 네트워크를 일정 규모의 지리적인 집합으로 나누어 그룹을 형성한 후 이 그룹 내에서 감지한 데이터를 수집한 후 데이터 병합(data aggregation)을 수행하여 전송량을 줄인 후 싱크(sink) 노드로 최종 전송하는 방식이다. 이는 무선 센서네트워크의 배치 및 동작의 특성상 밀접한 노드들은 상관관계가 높은 데이터를 감지할 수 있기 때문에, 국부지역(local area)에서 이를 병합하여 줄임으로써 전체 네트워크의 전송량을 줄일 수 있는 에너지 효율적인 방법이다. 이와 관련된 연구는 LEACH, PEGASIS, TEEN 등이 있다.

단층 기반 라우팅 프로토콜은 대부분 플러딩(flooding)에 기반을 둔 라우팅 기법을 대한 연구를 수행해 왔다. 무선 센서네트워크의 노드는 전역 식별자

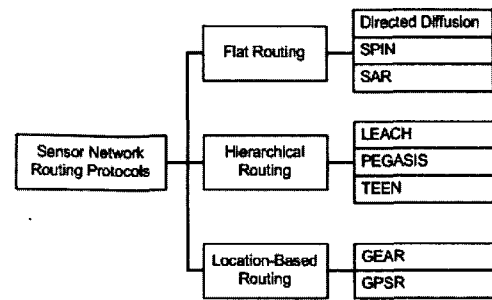


그림 1. 센서네트워크 라우팅 프로토콜 분류

Fig. 1. A class of sensor network routing protocols.

(ID)를 가지기 어렵기 때문에, 네트워크 주소에 기반을 둔 라우팅을 수행하기 보다는 전송되는 데이터에 기반을 두어 라우팅을 하려는 시도를 해왔다. 하나의 노드가 알 수 있는 라우팅 정보는 단지 자신의 이웃한 노드에 대한 것으로 네트워크에서 메타 데이터를 활용하거나 전송 방향을 강화해서 다음 전달해야 할 노드를 결정한다. 이와 관련해서는 SAR, SPIN, Directed Diffusion 등이 연구되었다.

노드의 위치 정보에 기반을 둔 위치기반 라우팅 프로토콜은 무선 센서네트워크의 노드들이 자신의 위치를 알고 있다는 가정 하에서 시작한다. 노드들이 자신의 절대위치 혹은 상대위치에 대한 정보를 확보하는 것은 또 다른 연구 주제로서 많은 연구가 이루어지고 있고 해결되어야 할 기술이다. 이 범주에 속하는 연구는 GEAR, GPSR 등이 있다^[6~8].

2. 클러스터 라우팅 프로토콜

클러스터 기반의 라우팅 프로토콜은 센서 노드들을 그룹화하여 센싱한 데이터를 효과적으로 싱크 노드로 전송한다. 각각의 센서 그룹인 클러스터는 클러스터 헤드를 가지고 있으며 클러스터 헤드는 자신의 클러스터 내의 노드들로부터 데이터를 전송받는다. 전송받은 데이터를 싱크 노드에게 보내기 전에 클러스터 헤드는 데이터 병합을 통해 에너지 소비를 줄일 수 있고 멀티 홉 라우팅 프로토콜에 비해 지연을 줄일 수 있다. 또한, 클러스터 구조는 노드 증가에 따른 네트워크 확장성(scalability)을 용이하게 한다.

클러스터 구성 알고리즘의 기본적 요구사항은 클러스터 구성 후 모든 노드는 클러스터 헤드이거나 단 하나의 클러스터에 속해야 한다는 것이다. 이를 위해 필요로 하는 메시지와 오버헤드는 최소화되어야 하며 클러스터 구성의 목표를 만족해야 한다. 클러스터 구성의 목표는 안정적 망 형태의 유지, 라우팅, 네트워크 효율

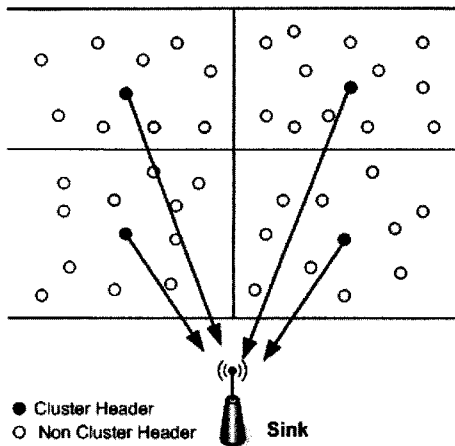


그림 2. 클러스터 라우팅 프로토콜 기본 구조
 Fig. 2. A base structure of cluster routing protocols.

성, 에너지 소비의 최소화 등이다^[9].

클러스터 헤드 선정 문제는 NP-hard의 복잡도를 지니기 때문에 전역 최적 값을 구하기 매우 어렵다. 따라서 결정적(deterministic) 알고리즘은 존재하지 않고 지금까지 제안된 알고리즘은 대부분 휴리스틱을 기반으로 하고 있다. 이를 위해 중앙의 단일 제어 노드에서 네트워크의 토폴로지 노드의 에너지와 위치 등을 수집하여 휴리스틱 알고리즘을 적용하는 중앙 집중형 방식을 이용하거나 각 노드에서 분산 처리를 통해 클러스터를 구성할 수 있다.

중앙 집중형 방식은 클러스터 구성을 위해 전송해야 하는 데이터양이 네트워크 노드 수가 증가함에 따라 급격히 증가될 수 있기 때문에 무선 센서 네트워크에는 적합하지 않다. 따라서 각 노드의 지역 정보만을 이용해 개별 노드에서 분산처리를 수행하는 클러스터 구성 알고리즘이 적절하다. 그림 2는 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜의 기본적인 구조를 나타낸다.

하지만 클러스터 구조는 에너지 효율적인 망 관리가 가능하지만, 클러스터 멤버에 비해 클러스터 헤드에 에너지 소모가 과도하게 집중되는 에너지 소모의 불균형, 클러스터 헤드를 확률적으로 선정하므로 특정 지역에 클러스터 헤드가 편중될 가능성, 싱크와 클러스터 헤드 간 계층적인 통신을 하지 못하는 문제점이 있다^[11~12].

클러스터 기반의 대표적인 LEACH 알고리즘은 클러스터 헤드를 선출하는데 있어서 다른 노드와 협상을 하지 않고 임의적으로 결정된다. 이 때 전체 네트워크가 몇 개의 클러스터로 구성될 것인가는 미리 정해야 한다. 전체 노드 중 클러스터 헤드의 비율에 따른 에너지 소모량을 시뮬레이션 한 결과 클러스터 헤드의 비율이 약 5%일 때 에너지 소모가 가장 적음을 알 수 있다^[10].

각 라운드의 클러스터 헤드가 결정되면 클러스터 헤드들은 CSMA MAC 프로토콜을 사용하여 advertisement message를 브로드캐스트 한다. 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. 각 센서 노드들은 클러스터 헤드의 브로드캐스트 메시지를 받아 가장 신호가 센 클러스터 헤드를 자신의 클러스터 헤드로 결정한다. 그 후 센서 노드는 클러스터 헤드에게 자신의 클러스터의 멤버가 될 것이라는 정보를 CSMA MAC 프로토콜을 사용하여 다시 전송한다. 클러스터 헤드는 클러스터가 구성된 후 클러스터의 멤버 수에 따라 TDMA 스케줄링을 하고 이 스케줄을 자신의 클러스터 내의 센서 노드에게 브로드캐스트 한다. 클러스터가 구성되고 TDMA 스케줄이 정해지면 데이터 전송이 시작된다. 각 센서 노드들은 자신이 할당 받은 시간에 클러스터 헤드로부터 받은 CDMA 코드를 사용하여 데이터를 전송하고 자신이 할당 받은 시간이 아니면 라디오를 오프 시킨다. 이렇게 함으로써 에너지 소비를 줄일 수 있다. 클러스터 헤드는 클러스터내의 모든 센서로부터 데이터를 받은 후 데이터 병합을 하여 정해진 CDMA 코드와 CSMA 프로토콜을 사용하여 싱크로 전송한다.

III. 효율적 에너지 관리를 위한 라우팅 알고리즘

본 장에서는 클러스터 라우팅 프로토콜의 문제점 개선을 통해 센서 네트워크의 생존 시간과 에너지 효율성을 향상시킨 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 클러스터 구성을 위해 싱크에서 노드의 홉 수에 따라 각 노드에게 플러딩 방식을 통해 클러스터 ID를 부여한다. 같은 클러스터 ID를 가진 각 노드는 클러스터를 구성하며, 구성된 클러스터를 기반으로 각 클러스터 헤드 간에 계층적 데이터를 전송함으로써 에너지 효율성 및 네트워크의 생존 시간을 향상시켰다.

1. 기본 개념

제안하는 라우팅 프로토콜은 그림 3과 같이 클러스터들에 기반한 계층적 구조를 바탕으로 라우팅을 수행한다. 각 센서 노드들에게는 싱크에 의해 클러스터 ID가 부여되며, 노드들의 클러스터 ID에 의하여 클러스터 그룹이 형성된다. 동일한 클러스터 그룹에 포함된 노드들이 클러스터를 형성하게 되며, 클러스터 형성 뒤 클

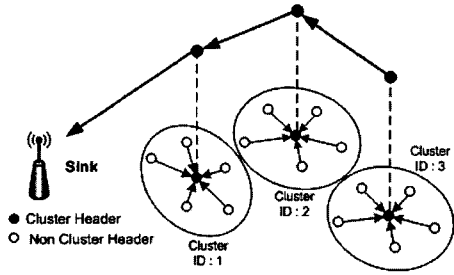


그림 3. 제안하는 알고리즘의 기본 개념
Fig. 3. A base scheme of proposed algorithm.

러스터 멤버들의 정보를 클러스터 헤드에서 수집하여 하나의 데이터로 병합한다. 각 클러스터의 병합된 정보를 싱크 노드까지 전송하는 데, 클러스터 헤드 간에 클러스터 ID가 가장 작은 순서로 데이터가 전송된다.

2. 기본 동작

제안하는 라우팅 알고리즘은 크게 데이터 전송 준비 과정인 clustering phase와 데이터 전송 과정인 routing phase로 구분된다. clustering phase는 라우팅이 용이하게 될 수 있도록 하는데 필요한 정보를 구성하는 과정이며, routing phase에서는 clustering phase에서 설정된 경로를 통해 데이터를 전송하는 과정이다.

가. clustering phase

clustering phase 단계는 플러딩을 통한 네트워크 토폴로지 파악단계, 클러스터 헤드 선출단계로 구성된다. 플러딩을 통한 네트워크 토폴로지 파악단계에서는 그림 4와 같이 싱크로부터 노드의 홉 수에 따라 노드들에게 클러스터 ID를 부여한다. 플러딩 과정에서 각 노드는 여러 클러스터 ID를 수신 할 수 있는데, 이럴 경우 클러스터 ID가 가장 작은 클러스터 ID를 선택한다. 플러딩을 통하여 각 노드는 자신의 클러스터 ID 및 자신의 상위 노드를 파악할 수 있다.

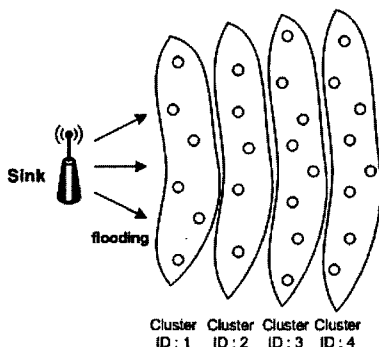


그림 4. 클러스터 ID 전파
Fig. 4. Flooding of cluster ID.

각 노드는 클러스터 ID를 인식한 후, 클러스터 헤드를 선출한다. 클러스터 헤드는 이웃 클러스터 헤드를 통해 싱크 노드까지 데이터를 전송하기 때문에 다른 노드에 비해 에너지 소모가 많다. 기존의 LEACH 알고리즘은 단지 확률에만 의존하여 클러스터 헤드를 선출하며, 그로 인해 각 노드들의 에너지 소모를 균형적으로 유지 할 수 없다. 따라서 노드 간 에너지 균형을 위해 노드의 잔여 에너지를 고려하여 LEACH 알고리즘을 개선한 방식을 사용하였다.

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{k}{N - k \times \left(r \bmod \frac{N}{k} \right)} \times E_{node} : C_i(t) = 1 \\ 0 : C_i(t) = 0 \end{cases}$$

i는 노드의 식별자, t는 시각, N은 전체 노드의 수, k는 클러스터의 수, r은 라운드, E_{node}는 노드의 현재 잔여 에너지의 값을 나타낸다. 새로운 라운드가 시작하면 0과 1사이의 난수를 선택한 후 임계값 (P_i(t))을 계산한다. 선택한 난수가 임계값 보다 작으면 클러스터 헤드로 선출된다. 선출된 클러스터 헤드는 자신의 클러스터 ID 내의 주변 노드에게 'ADV_CH' 메시지를 브로드캐스트한다. 이를 수신한 각 노드들은 클러스터 헤드에 'JOIN_REQ' 메시지를 보낸다. 이러한 과정을 통해 클러스터 헤드와 클러스터 멤버가 결정된다. 이러한 과정이 각 클러스터 ID별로 동시에 수행되며 네트워크 전체에 대한 클러스터링이 완료된다.

나. Routing phase

이 단계에서는 클러스터 헤드를 구성 후에 클러스터 멤버 노드들이 클러스터 헤드에게 발생한 이벤트 데이터를 전송하면, 클러스터 헤드는 클러스터 ID를 기반으로 클러스터 ID가 작은 순서로 자신의 상위 클러스터 헤드에게 데이터를 전송한다. 데이터를 수신한 클러스터 헤드는 수신된 데이터를 역시 자신의 상위 클러스터 헤드에게 데이터를 전송한다. 이러한 방식으로 클러스터 헤드 간 데이터 전송을 통해 싱크 노드에게 데이터가 전달된다.

IV. 성능분석

이번 장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 클러스터링 알고리즘의 성능을 분석한다. 센서 네트워크는 랜덤하게 분포된 수 많은 노드들로 구성되며 노드들 간의

거리나 분포 상태에 따라 성능이 달라질 수 있기 때문에 하나의 모델링을 통한 해석적인 분석은 사실상 불가능하다. 따라서 시뮬레이션을 통해 기존 방안과의 성능 비교를 한다. 본 장에서는 대표적인 클러스터링 알고리즘인 LEACH와 성능을 비교 및 분석하기 위해 NS-2를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 통해 네트워크 생존 시간, 소비한 에너지 대비 수신한 데이터 량, 클러스터 구성의 오버헤드를 비교 분석하여 제안한 알고리즘의 우수성을 확인하였다.

1. 시뮬레이션 환경

기본적인 시뮬레이션 환경변수는 표 1과 같이 LEACH 알고리즘과 제안한 알고리즘은 동일한 조건하에 수행하였으며, 네트워크의 크기는 (100, 100)의 정방형으로 하고 싱크는 네트워크 외부에 위치한다. 노드의 수는 100개부터 600개 까지 증가시켜 네트워크의 밀집도를 높였을 때의 알고리즘의 성능 변화를 관찰하였다. 네트워크의 노드는 주기적으로 클러스터를 재구성하며, 클러스터 헤드는 클러스터의 멤버 노드에게 동일한 시간을 할당해 데이터를 수집한다.

표 1. 시뮬레이션 환경
Table 1. Simulation environment.

변수	값
네트워크 크기	100m × 100m
시뮬레이션 시간	900 sec
패킷 크기	50 byte
이벤트 발생률	0.5 events/sec
무선 전송 범위	15 m
노드의 초기 에너지	2 J
데이터 병합 에너지	5 nJ
전송 에너지 소모	600 mW
수신 에너지 소모	300 mW
대기 에너지 소모	120 mW

2. 시뮬레이션 결과 및 분석

본 실험을 통해 확인하려는 알고리즘의 성능은 모든 노드가 가능한 생존해야만 하므로 네트워크 생존시간과, 소비한 에너지 대비 수집한 데이터의 량, 네트워크의 동작 시간 동안 클러스터 구성에 필요한 오버헤드를 기존 알고리즘과 비교 분석한다.

가. 노드의 생존 시간

노드의 수를 100개부터 시작하여 200, 300, 400, 500,

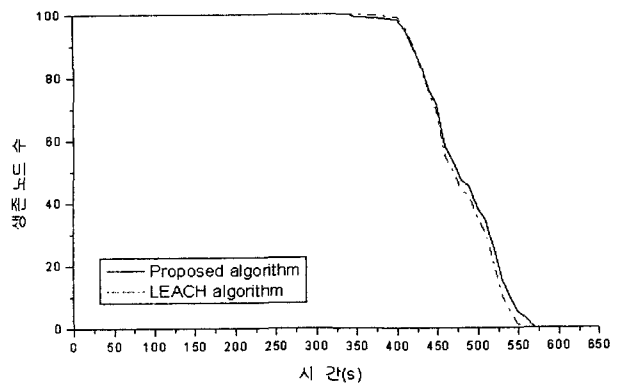


그림 5. 시간에 따른 생존 노드 수
Fig. 5. The number of alive nodes with time.

600개 까지 점진적으로 밀집도를 높여 네트워크의 생존 시간을 측정 하였다.

그림 5는 시간 대비 생존 노드의 수를 나타내며, 제안한 알고리즘이 LEACH 알고리즘 보다 시간 대비 생존 노드 수가 많다. 이러한 이유는 LEACH의 경우 모든 클러스터 헤드가 싱크 노드와의 장거리 통신으로 인해 많은 에너지를 소비하는 반면 제안하는 알고리즘은 클러스터 헤드 간에 경로가 이미 정의 되어 있기 때문에 에너지 손실을 줄일 수 있었다.

나. 소비한 에너지 대비 수신한 데이터 량

센서 필드의 정보 수집을 주 임무로 하는 센서네트워크에서 효율성이라는 것은 소비한 에너지 대비 수집한 데이터의 양이라고 할 수 있다. 단순히 에너지 소비만을 적게 한다고 에너지 효율성을 높이는 것이 아니라 같은 에너지를 소비했을 때 얼마나 더 많은 데이터를 수집했느냐 하는 것이 중요하다. 네트워크의 생존시간과 마찬가지로 소비한 에너지 양 대비 데이터 수집량으로 나누어서 측정을 하였다.

그림 6은 소비한 에너지 대비 싱크에서 수신한 데이터

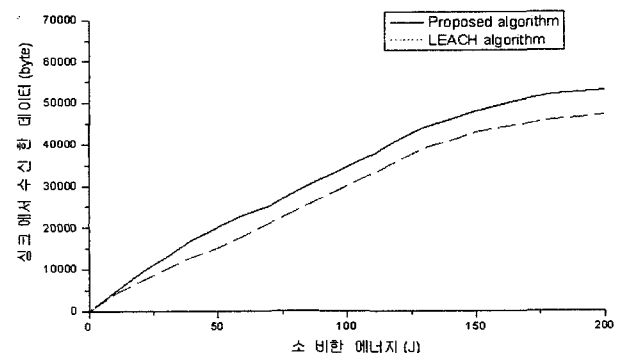


그림 6. 소비한 에너지 대비 수신한 데이터 량
Fig. 6. The amount of data with energy consumption.

량을 나타낸다. 제안한 알고리즘이 LEACH 알고리즘보다 높은 효율성을 나타내었으며, 이는 보다 최적에 가까운 클러스터의 구성을 이룰 수 있음을 증명하였다.

다. 클러스터 구성의 오버헤드

그림 7은 클러스터 구성에 따른 오버헤드를 알아보기 위해 소비한 전체 에너지 대비 클러스터 구성에 소비한 에너지의 비율을 보인 그림이다. 노드 수가 100개 일 경우 클러스터링에 소비한 에너지의 비율은 비슷하다. 그러나 네트워크의 밀집도가 높아질수록 소비한 에너지가 LEACH 알고리즘에 비해 적음을 나타내었다.

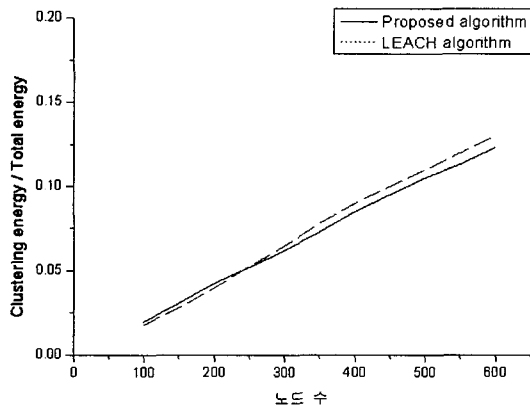


그림 7. 클러스터 구성에 따른 오버헤드
Fig. 7. The overhead with cluster configuration.

V. 결론 및 고찰

본 논문에서는 노드 간의 균등한 에너지 소모를 통해 네트워크의 생존 시간을 증가시키는 대표적인 계층적 라우팅 방안인 LEACH 알고리즘의 데이터 전송 과정에서의 문제점을 분석하고, 이를 보완하기 위한 새로운 알고리즘을 제안하였다.

실험을 통해 기존의 LEACH 알고리즘보다 동일한 에너지로 더 많은 패킷을 전송하여 효율성이 향상되었으며, 클러스터 헤드와 싱크 노드간의 데이터 전송 시 미리 정해진 경로를 통해 데이터를 전송하므로 기존 알고리즘에 비해 에너지 소모가 적어 많은 성능 향상이 이루어졌다. 이를 통해 제안하는 알고리즘이 LEACH 알고리즘에서 나타나는 에너지 비효율적 소모를 개선하여 효율적으로 데이터를 전송하고 네트워크의 생존 시간을 증가시킬 수 있음을 알 수 있었다.

센서네트워크는 응용에 의존적인 특성을 가지므로, 범용 최적화된 라우팅 알고리즘의 구현보다는 적용 환경별 고유 특성에 적합한 형태의 다양한 라우팅 알고리

즘이 요구되어질 것으로 예상된다. 따라서 다양한 형태로 구현되는 라우팅 알고리즘들에 대한 특성 분석이 면밀히 이루어져야 하며, 목적별로 적합한 알고리즘의 선택이 유연하게 이루어질 수 있도록 하는 지속적인 노력이 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] M.Weier, "Some computer Science Issues in in Ubiquitous Computing," *Comm. ACM*, Vol. 36, No. 7, pp.75-84, 1993.
- [2] *Wireless Sensors and Integrated Wireless Sensor Networks (Technical Insights)*, Frost & Sullivan, 2002.
- [3] C. Chi and M Hatler, *Wireless Sensor Networks : Mass Market Opportunities*, ON World, 2004.
- [4] D. Estrin, D. Culler, K. Pister, and G Sukhatme, *Connecting the Physical World with Pervasive Networks*, *Pervasive Computing IEEE*, Vol. 1, No. 1, pp.59-69, 2002.
- [5] National Research Council, *Embedded, Everywhere, A Research Agenda for Networked Systems of Embedded Computers*, National Academy Press, 2001.
- [6] 김성희, 무선센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜, *주간기술동향*, v.140, p.1-13, 2004.
- [7] 한옥표, 정영준, 무선 센서 네트워크를 위한 효율적인 에너지 인식 라우팅 프로토콜, *정보통신 논문지*, Vol.10, pp.40-45, 2006.
- [8] 이상학, 무선센서네트워크 기술, *경희대학교 출판부*, pp.11-14. 2005.
- [9] V. Mhatre, et. al, *Design guidelines for wireless sensor networks: communication, clustering and aggregation*, *Ad-hoc networks Journal*, Elsevier Science, pp.45-63, 2004.
- [10] Ahmed A. Ahmed, Hongchi Shi, and Yi Shang, *A Survery on Network Protocols for Wireless Sensor Networks*, *Proceedings. ITRE2003, ITRE2003, International Conference, IEEE*, 2003.
- [11] D. Ganesan, A. Cerpa, W. Ye, Y. Yu, J. Zhao, and D. Estrin, *Networking Issues in Wireless Sensor Networks*, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, Special issue on *Frontier in Distributed Sensor Networks*, 2003.
- [12] V. Raghunathan, C. Schurgers, S. Park, and M. B. Srivastava, *Energy-Aware Wireless Microsensor Networks*, *Signal Processing Magazine IEEE*, pp.40-50, 2002.

저 자 소 개

박 용 민(학생회원)
대한전자공학회 논문지
제42권 TC편 제10호 참조

김 경 목(정회원)
대한전자공학회 논문지
제42권 TC편 제5호 참조

오 영 환(중신회원)
대한전자공학회 논문지
제37권 TC편 제2호 참조