

# 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 가변 영역 라우팅 프로토콜

최동민<sup>†</sup>, 모상만<sup>\*\*</sup>, 정일용<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

무선 센서 네트워크에서 LEACH와 같은 클러스터링 프로토콜은 전체 네트워크의 수명을 연장시키는 효율적인 방법이지만 클러스터 헤드 노드에 높은 부하를 주게 되어 급격한 에너지 소모를 유발하는 문제가 있다. 따라서 클러스터의 구성과 클러스터 헤드 노드의 역할을 주기적으로 교체하여 네트워크의 수명을 연장시켰다. 그러나 이 방법은 클러스터를 구성하는 과정에서 상당한 량의 에너지 소모를 보인다. 따라서 본 논문은 소모되는 에너지의 효율성 증대를 위해 클러스터링 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘에서 서로 인접한 노드들은 intra cluster를 이루며 이 클러스터를 구성하는 노드들은 라운드 로빈 형태로 데이터를 수집하고 전송한다. 전체 네트워크의 관점에서 볼 때 이 intra cluster는 한개의 노드로 취급된다. 한 라운드의 setup단계에서 intra cluster들은 클러스터 헤드(intra cluster)에 의해 다시 클러스터를 형성(network cluster)하게 된다. 클러스터 헤드가 된 intra cluster의 모든 멤버노드는 라운드 로빈 방식으로 클러스터 헤드 역할을 수행한다. 따라서 intra cluster의 크기에 의해 라운드의 주기를 연장할 수 있다. 또한 steady-state에서 각 intra cluster의 노드는 라운드 로빈 방식으로 데이터를 수집하며 network cluster의 클러스터 헤드에 전송한다. 성능분석 결과 제안하는 방법은 제안된 클러스터링 방법에 비해 노드들의 에너지 소모가 줄어들었으며 전송 효율이 증가하였다.

## An Energy Efficient Variable Area Routing protocol in Wireless Sensor networks

Dong-Min Choi<sup>†</sup>, Sang-Man Moh<sup>\*\*</sup>, Il-Yong Chung<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

In wireless sensor networks, clustering protocol such as LEACH is an efficient method to increase whole networks lifetime. However, this protocol result in high energy consumption at the cluster head node. Hence, this protocol must changes the cluster formation and cluster head node in each round to prolong the network lifetime. But this method also causes a high amount of energy consumption during the set-up process of cluster formation. In order to improve energy efficiency, in this paper, we propose a new cluster formation algorithm. In this algorithm, we define a intra cluster as the sensor nodes within close proximity of each other. In a intra cluster, a node senses and transmits data at a time on the round-robin basis. In a view of whole network, intra cluster is treated as one node. During the setup phase of a round, intra clusters are formed first and then they are re-clustered(network cluster) by choosing cluster-heads(intra clusters). In the intra cluster with a cluster-head, every member node plays the role of cluster-head on the round-robin basis. Hence, we can lengthen periodic round by a factor of intra cluster size. Also, in the steady-state phase, a node in each intra cluster senses and transmits data to its cluster-head of network cluster on the round-robin basis. As a result of analysis and comparison, our scheme reduces energy consumption of nodes, and improve the efficiency of communications in sensor networks compared with current clustering methods.

**Key words:** Sensor Network(센서 네트워크), Dynamic Clustering(동적 클러스터링), Reactive Network(반응적 네트워크)

※ 교신저자(Corresponding Author) : 정일용, 주소 : 광주 동구 서석동(501-759), 전화 : 062)230-7754, FAX : 062) 230-7381, E-mail : iyc@chosun.ac.kr

접수일 : 2007년 11월 20일, 완료일 : 2008년 6월 17일  
<sup>†</sup> 준회원, 조선대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 박사과정

(E-mail : cdm1225@hanafos.com)

<sup>\*\*</sup> 정회원, 조선대학교 컴퓨터공학부 교수

(E-mail : smmoh@chosun.ac.kr)

<sup>\*\*\*</sup> 중신회원, 조선대학교 컴퓨터공학부 교수

## 1. 서 론

센서 네트워크는 센싱, 데이터 처리, 통신 모듈로 구성되어 있는 센서 노드들의 집합으로 구성된다. 또한 센서 노드들은 센서 노드가 갖는 특성이 낮은 가격과 작은 크기를 만족하기 위해 제한된 에너지를 갖는 배터리를 사용하며 배터리가 갖는 약 1J의 에너지와 일회성[1]으로 에너지에 대한 제약이 크다. 이 센서 노드들로 구성된 센서 네트워크는 응용 목적에 따라서 요구사항이 다양해지며 다양한 응용들 중에서 수집된 데이터의 오차가 크지 않은 응용에 해당하는 대기오염 측정시스템이나 국지적인 온도의 변화를 측정하는 온도측정 시스템 등은 데이터의 중복이 쉬운 환경이므로 낭비되는 에너지가 많다. 에너지의 낭비 이외에 모든 노드들이 동작하는 네트워크 환경에서 발생할 수 있는 문제들[2,3]을 고려하면 필요한 노드만 동작하고 다른 노드는 동작하지 않는 데이터 전송 방법이 데이터 수집에 더 안정적이다. 이런 방법은 평면 라우팅[4-6]보다 클러스터링[7-10]에 적합하다. 또한 노드의 데이터 전송에 소모되는 에너지[11]와 하드웨어에서 소모되는 에너지[12,13]를 고려하면 데이터 취합을 하는 클러스터링 방식이 적합하다. 그러나 클러스터링 방식은 클러스터 내에서 데이터 취합 및 전송을 담당하는 클러스터 헤드 노드에 부하가 집중되어 에너지의 급격한 소모가 발생하므로 전체 네트워크 잔여 에너지의 불균형이 크다. 따라서 이러한 에너지의 불균형을 해소하기 위해 클러스터 헤드 노드의 역할을 주기적으로 바꾸는 방법들[14,15]이 제안되었다. 이러한 방법들 중 LEACH[7]는 주기적인 setup을 통해 클러스터 헤드 노드를 재선출하여 클러스터를 재구성하였다. TEEN[16]은 수집하는 데이터에 임계값을 두어 노드의 소모 에너지를 줄이고 클러스터 헤드 노드의 부하를 줄였다. APTEEN[17]은 수집하는 데이터의 정확도를 위해 주기적으로 데이터를 전송하는 시간을 정하여 TEEN의 단점을 보완하였다. 그러나 위의 방법 모두 주기적인 setup을 기초로 하고 있어 클러스터 멤버 노드들의 지속적인 불필요한 에너지 소모를 발생시킨다. 이러한 문제는 setup에 소모되는 전체 에너지를 줄이거나 setup의 주기를 연장하면 해결이 가능한 문제이다. 본 연구는 수집 데이터의 중복이 많은 환경에서 setup에 소모되는 에너지를 줄이고 setup

주기를 연장한 방식을 제안한다. 제안하는 방법은 2단계의 클러스터 형성을 통해 데이터 수집 영역을 제한하였다. 2단계 클러스터 중 하위의 클러스터는 상위 클러스터에서 한 개의 노드로 인식하게 하고 상위클러스터의 멤버노드로 참여하도록 하여 중복되는 데이터를 최소로 줄였다. 이 하위 클러스터를 구성하는 멤버 노드는 하위 클러스터의 재구성 없이 라운드 로빈 방식으로 언제나 한 개의 노드만 할당된 시간에 동작한다. 이런 방법은 하위 클러스터가 위치한 지역에서 수집되는 데이터를 한 개로 제한하여 해당 지역의 수집 데이터의 정확성은 낮아지나 에너지의 소모는 감소하는 효과가 있다. 이 방법을 적용하면 전체 네트워크에서 하위 클러스터는 한 개의 노드처럼 동작하므로 하위 클러스터가 차지하는 공간에 반비례하게 상위 클러스터의 재구성에 소모되는 에너지 소모가 낮아지며 그 주기도 연장된다. 이 하위 클러스터가 차지하는 물리적인 영역이 가변 영역이며 모든 노드가 전체 네트워크의 물리적인 공간에 고르게 분포한다고 가정할 때 하위클러스터 참여 노드수의 증감은 곧 하위 클러스터의 공간적인 크기의 변화와 관련이 있다. 이 영역을 확대 또는 축소하여 수집되는 데이터의 중복을 최소화하는 것이 본 연구의 목적이다. 시뮬레이션 결과에 의하면 제안하는 방법은 proactive network이나, 10%노드의 에너지 전송을 감안한 reactive network보다 더 낮은 에너지 소모 결과를 보인다. 이후 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 관련 연구로서 LEACH, TEEN, APTEEN과 같은 몇몇 프로토콜들을 소개하고, 3절에서는 제안하는 방법을 노드들의 하위 및 상위 클러스터 구성, setup과 지속 상태로 나누어 에너지 소모와 관련하여 기술하였으며, 4절에서는 제안하는 방법을 에너지 소모와 관련하여 비교 분석 하였으며, 5절에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

클러스터 기반의 계층적 라우팅 프로토콜인 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)는 센서 네트워크의 대표적인 클러스터링 방법으로 클러스터 헤드가 클러스터 내 멤버노드로부터 데이터를 수집하여 통합한 후 싱크 또는 베이스 스테이션에 전송을 한다. 이 방법은 전체 네트워크에



그림 1. LEACH의 타임라인

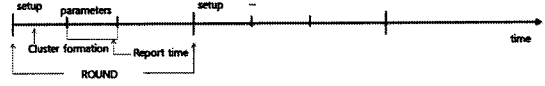


그림 3. TEEN의 타임라인

에너지 소모를 분산시키기 위해 에너지 소모가 큰 클러스터 헤드 노드의 역할을 주기적으로 교체한다. 그림 1은 일정한 간격을 갖는 라운드로 구성된 LEACH의 동작을 나타낸다. 한 라운드는 setup과 steady로 나누어지며 이 과정은 매 라운드마다 고정적으로 반복된다. 매 라운드의 주기적인 setup의 반복은 클러스터 멤버 노드의 가용 에너지 여부에 관계 없이 일어나며, steady에서 고정된 slot 할당은 이전 slot과 동일한 정보를 가지고 있는 멤버 노드들의 불필요한 에너지 소모를 야기한다.

아래의 그림 2는 클러스터 헤드와 멤버 노드에서 소모하는 에너지의 종류를 보이고 있다. LEACH와 같은 proactive network는 주기적인 데이터 측정이 가능한 반면, 노드의 잔여 에너지가 충분함에도 주기적으로 발생하는 클러스터 재구성에 소모되는 에너지가 많아 네트워크의 오랜 생존을 기대하기 어렵다.

TEEN(Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)은 센서 노드들이 주기적으로 전송할 데이터를 갖지는 않으며 시간 임계적인 데이터를 처리하는 reactive network이다. 그러나 임계값을 이용한 데이터 전송을 제외한 부분은 LEACH와 유사하다. 아래의 그림 3은 TEEN의 동작을 나타낸다.

이 방법은 클러스터 형성에 LEACH와 동일한 방법을 사용하며 클러스터 형성 이후 클러스터 헤드 노드가 측정하는 데이터의 Parameter들, 즉 Hard

Threshold값인  $H_T$ 와 Soft Threshold값인  $S_T$ 를 멤버 노드에 전송하여 멤버 노드들은 이 값에 기반하여 report time내 할당된 시간에 데이터 전송을 한다. 이는 노드들이 측정된 값이  $H_T$  값을 초과할 때 데이터가 수집되며 전송이 이루어지며, 이후 측정하는 데이터가  $S_T$ 를 초과할 때에만 데이터를 수집·전송하게 되어 steady 상태에서 낭비되는 에너지가 줄어들었다. 이 방법은 클러스터 재구성시 사용자가 임의로 임계값을 재설정 할 수 있으며 이 값을 변경함에 따라 수집되는 데이터의 빈도와 노드의 수명을 조절 가능한 장점이 있다. 그러나 만일 수집되는 데이터가  $H_T$ 를 초과하지 않는다면 노드가 데이터를 전송하지 않으므로 데이터의 수집이 이루어질 수 없고  $S_T$ 를 초과하지 않는다면 초기값 이후 변동에 대해 임계값 이하 데이터 변동에 대해서는 알 수 없으며 또한 전체 네트워크를 구성하는 노드의 생존 여부도 판단하기 어려운 문제가 있으며 수집되는 데이터가 모든 임계값을 초과한다고 하더라도 인접한 노드들에서 수집된 데이터는 클러스터 헤드에 의해 통합되는 과정을 거치므로 수집되는 데이터의 중복 처리에 소모되는 에너지를 고려해야 하며 LEACH protocol의 주기적인 setup과정을 따라 클러스터를 재구성하므로 불필요한 setup으로 인한 에너지 낭비가 존재한다.

LEACH의 proactive network의 장점과 TEEN의 reactive network의 장점을 결합한 형태의 APTEEN (A Hybrid Protocol for Efficient Routing and

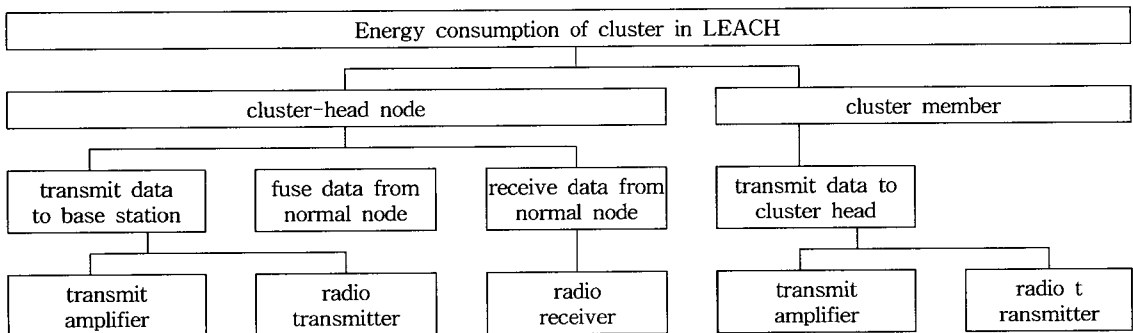


그림 2. LEACH 에너지 소모 형태

Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks)은 TEEN의 센싱 임계값에 의한 데이터 전송과 LEACH의 데이터 전송 주기를 융합한 형태의 하이브리드 프로토콜로서 임계값 전송이 갖는 데이터 수집과 네트워크 구성 노드의 상태 인식의 어려움을 극복하였다. APTEEN은 클러스터 형성 후 클러스터 헤드가 임계값, TDMA 스케줄과 카운트 시간 등을 포함하는 parameter들을 멤버 노드에 전송한다. 이 parameter들에 의해 노드들은 주기적으로 정해진 시간에 수집된 데이터를 클러스터 헤드에 전송하며 특정 데이터 값의 변화가 임계값을 넘었을 경우에도 데이터를 수집하여 전송한다. 특히 카운트 시간은 한 노드가 데이터를 성공적으로 전송했을 때의 최대 시간 간격으로 이 시간에 의해 고정적인 노드의 데이터 수집과 전송이 가능해진다. 따라서 이 방법은 TEEN의 임계값이하 데이터 변동에 대한 데이터 수집 문제와 노드의 생존 여부 판단의 문제를 해결하였다고 볼 수 있다. 그러나 비록 카운트 시간이 TDMA 스케줄의 몇 배로 조정이 가능하다고는 하나 이 시간에는 전체 네트워크의 모든 노드가 고정적으로 데이터를 전송해야 하므로 개선점이 필요하다. 또한 LEACH의 방법을 적용하였으므로 setup 과정에서 불필요하게 소모되는 에너지는 여전히 존재한다.

### 3. 제안하는 방법

기존의 클러스터링 기반 라우팅 알고리즘은 클러스터 헤드 노드의 급격한 에너지 소모가 문제점으로 지적되고 있다. 이 문제는 클러스터 헤드 노드를 주기적으로 교체하거나 데이터 발생 빈도를 낮추어 클러스터 헤드 노드의 부하를 줄이고 네트워크 클러스터 구성을 주기적으로 바꾸면 해결이 가능하다. 그러나 노드 잔여 에너지가 충분함에도 발생하는 주기적인 setup은 제한된 에너지를 갖는 센서 노드에 불필요한 에너지 소모를 발생시킨다.

제안하는 방법은 다음과 같다. 노드들이 데이터를 수집하는 전체 네트워크의 실제 공간에 수집된 데이터의 오차를 수용하는 범위를 정하여 이 범위에 속하는 모든 노드는 단일 그룹(intra cluster)을 구성하게 하였다. 이 그룹에 속한 노드들은 타임 슬롯을 분배하여 시간에 따라 오직 하나의 노드만 동작하며 자신

에게 분배된 시간이 아닐 경우 sleep하는 방법을 사용한다. 최초 타임 슬롯을 할당받은 노드는 이 그룹을 대표하는 하나의 노드로 상위 클러스터를 형성할 때 멤버 노드로 참여하여 상위 클러스터를 구성한다. 이후 이 정보를 자신이 속한 그룹의 노드들에게 전송하여 한 그룹의 모든 멤버노드는 동일한 클러스터 정보를 공유하며 그룹 내의 타임슬롯이 할당된 순서에 따라 이 그룹을 대표하는 하나의 노드로서 상위 클러스터의 헤더 노드의 요청에 응하는 형태를 갖는다. 이 방법은 실제 네트워크 필드에서 데이터를 전송받는 수가 그룹 노드의 참여노드 수의 비만큼 줄어드는 효과가 있어 데이터의 수집 및 전송에너지 소모를 줄일 수 있으며, LEACH에서 주기적으로 발생하는 setup도 하나의 그룹에 참여하는 노드 수의 곱의 비만큼 연장시킬 수 있어 setup 주기를 연장시키는 효과가 있으며, steady-state의 길이도 동일한 비로 늘어나는 효과가 있다.

#### 3.1 제안하는 방법의 동작 과정

기존의 방법들은 초기 클러스터 setup이 단 한번 발생하는 것에 비해 제안하는 방법은 그림 4에서 보이는 것처럼 초기 setup이 두 번에 걸쳐 일어난다. 초기 클러스터 setup 중 첫 번째 setup은 노드들을 그룹으로 묶어 상위 클러스터에 한 개의 노드처럼 동작하는 intra cluster를 setup하는 과정이며 초기 setup시 단 한번만 일어난다. 두 번째 네트워크 setup은 intra cluster로 그룹을 만든 노드들이 참여하는 network cluster setup으로 주기적으로 발생하는 LEACH의 setup과 같다. 그러나 그 주기는 intra cluster를 구성하는 노드의 수에 비례하여 연장되며, steady-state 또한 intra cluster의 멤버노드의 수에 비례하여 늘어난다.

intra cluster head node의 선출 과정은 LEACH와 같다. 최소 전송 거리에 있는 노드들과의 통신으로 intra cluster head node를 선출하고, 이러한 과정을 통해 생성된 intra cluster에 참여하는 노드들은 센서 네트워크의 생존시간 동안 동일한 intra cluster의 맴



그림 4. 제안하는 방법의 라운드 진행

버 노드로 참여하며 변경되지 않는다.

### 3.1.1 Intra Cluster Head 선정

2단계 클러스터 형성 기법 중 intra cluster를 형성하기 위해서 초기 셋업에 이 그룹을 대표하게 되는 intra cluster head를 선정한다. intra cluster head 선정 절차는 LEACH와 동일하다. 이 방법의 헤드 선정을 위한 확률 함수는 식 (1)과 같다.

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{k}{N - k \cdot (r \bmod \frac{N}{k})} : C_i(t) = 1 \\ 0 : C_i(t) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

N은 네트워크의 총 노드의 개수이며 r은 현재 라운드를 나타내며, t는 현재 시간, k는 전체 노드들 중 클러스터 헤드로 선정되는 노드의 비율을 나타낸다.  $P_i(t)$ 는 클러스터 헤드가 되기 위한 threshold값이 되며 이 값을 기준으로 하여 노드는 자신이 클러스터 헤드가 될지 여부를 결정한다. 이 방법은 최근에 클러스터 헤드가 되었던 노드는  $P_i(t)$ 값이 0이 되어 클러스터 내의 모든 노드가 클러스터 헤드가 될 수 있다. intra cluster head로 선정된 노드는 자기와 클러스터 내 멤버 노드에게 타임 슬롯을 할당하고, 상위 네트워크 클러스터의 멤버 노드로 참여한다. intra cluster의 멤버 노드는 타임 슬롯 정보와 상위 클러스터의 정보를 intra cluster head로부터 전송받아 저장하고 노드에 할당된 타임 슬롯에 그 노드는 동작하여 intra cluster head로서 상위 클러스터에 참여하며 이외에는 sleep 하여 에너지를 보존한다.

### 3.1.2 Network Cluster Head 선정

intra cluster의 head노드가 network cluster의 멤버 노드로 참여하며 이들 중에서 클러스터 헤드 노드를 선정한다. 헤드 선정을 위한 확률함수는 식(1)과 같다. network cluster head 노드는 클러스터 내 멤버 노드에게 타임 슬롯을 할당하며 주기적인 setup을 통해 클러스터를 재구성한다. 그림 5는 intra cluster head와 network cluster head 선정 과정을 나타내며 그림 6은 제안하는 방법이 소모하는 에너지의 형태를 나타낸다.

### 3.2 제안하는 방법의 소모 에너지

제안하는 방법은 초기 setup이 두 번 일어나며 이

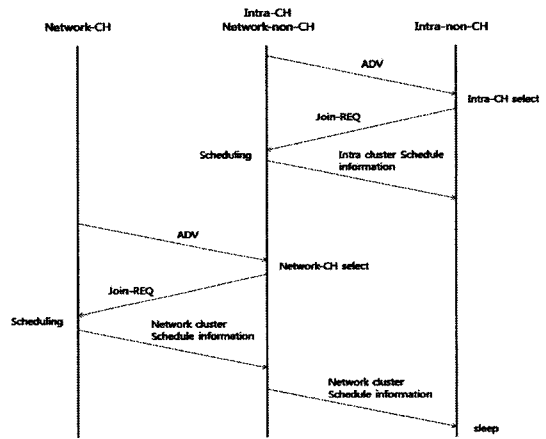


그림 5. 제안하는 방법의 클러스터 헤드 선정

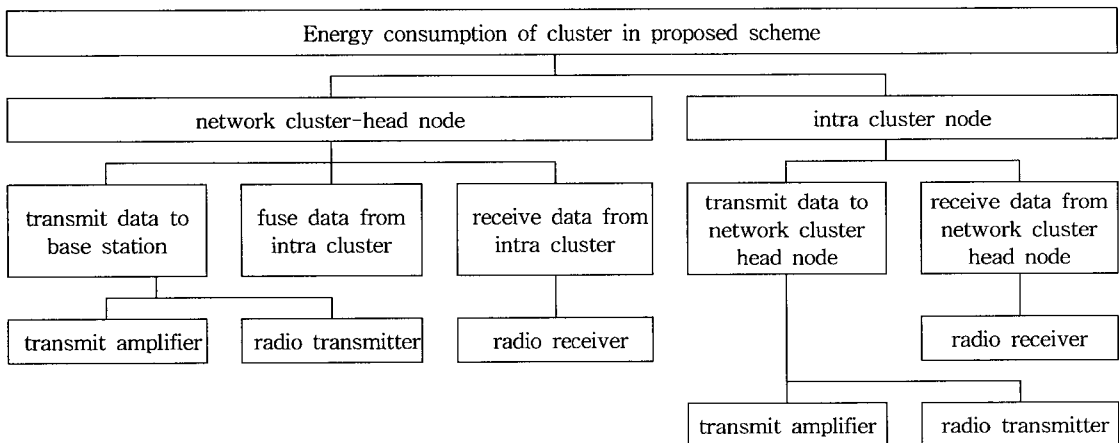


그림 6. 제안하는 방법의 에너지 소모 형태

후 매 라운드 당 한번의 setup과 한번의 steady 상태가 반복된다. 초기 두 번의 setup은 그림 5와 같은 송수신 과정과 스케줄 연산을 포함한다. 제안하는 방법의 에너지 소모량을 식으로 표현하기 위해 LEACH에서 사용한 송수신 에너지 소모량인 식 (2)와 (3)을 이용하였다. 이후 식에 사용되는 변수는 표 1과 같다.

$$E_{tx}(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + lE_{mp}d^l & : \text{to sink} \\ lE_{elec} + \frac{lE_{fs}M^2}{2\pi k} & : \text{in cluster} \end{cases} \quad (2)$$

$$E_{rx}(l) = lE_{elec} \quad (3)$$

제안하는 방법은 intra cluster의 개수인 p값에 의해 네트워크의 수명이 결정된다. p가 네트워크 클러스터의 참여 노드의 수와 동일하면 LEACH와 비슷한 에너지 소모를 보이며, 1이면 intra cluster head는 곧 network cluster head이므로 최대의 네트워크 수명을 갖는다. 필드에 노드들이 일정한 간격으로 배치되어있다고 가정한다. p는 다음과 같은 방법으로 구

표 1. 표기법

$E_{elec}$	전자 에너지
$E_{fs}$	free space model 의 증폭에너지
$E_{mp}$	multipath model 의 증폭 에너지
$E_{schedule}$	노드의 scheduling 소모 에너지
$E_{da}$	데이터 병합시 소모 에너지
$l$	데이터의 크기
$N$	네트워크 전체 노드의 수
$d$	sink까지 거리
$M$	네트워크 면적의 한 변의 길이
$k$	네트워크 클러스터의 수
$p$	네트워크 클러스터 내 intra cluster 수
$E_{th}$	TEEN 전송 확률값
$T_c$	APTEEN의 고정된 노드의 라운드별 전송 횟수
$N_u$	단위면적( $1m \times 1m$ ) 당 위치하게 될 노드의 수
$N_k$	한개의 네트워크 클러스터에 포함되는 노드의 수
$N_p$	한 개의 intra cluster에 포함되는 노드의 수
$U_{TH}$	사용자가 지정한 데이터 수집 단위면적의 배수값
$S_i$	$N_k$ 개의 노드가 위치하는 면적

한다. 우선, 노드가 배치될 장소의 전체 면적에서 단위면적을 정한다. 단위면적이  $1m \times 1m$ 라고 할 때, 단위면적에 위치하게 될 노드의 수  $N_u$ 와 LEACH에서 언급한 가장 효율적인 클러스터 헤드 노드의 비인 5%에 해당하는 노드 수 k를 구하여 한개 클러스터에 포함되는 노드의 수  $N_k$ 를 구한다. 사용자가 지정한 데이터 수집의 기본면적이 단위면적의 몇 배수인지  $U_{TH}$ 를 구하고 이를 클러스터 내 노드수로 나눔으로써 intra cluster 개수인 p를 구할 수 있다.

$$S_i = \frac{N_k}{N_u} \quad (4)$$

$$p = \frac{S_i}{U_{TH}}, 1 \leq p \leq N_k \quad (5)$$

### 3.2.1 Setup 단계에서 소모 에너지

#### 3.2.1.1 Intra Cluster Setup

제안하는 방법의 intra cluster setup 과정은 intra cluster head node의 송신 3회, 수신 1회 스케줄링 연산 2회로 이루어진다. 송신은 초기 패킷 광고와 2회의 스케줄 정보를 전송하는 것이고, 수신은 참여희망 노드의 메시지를 수신하는 것이다. 식(6)과 (7)은 식 (2)와 (3)을 이용하여 나타내었다.

$$E_{ic-setup-ch} = E_{rx}(l) \times \left(\frac{N}{kp} - 1\right) + E_{schedule}(l) \times 2 + \frac{N}{kp} \times E_{tx}(l, d) \times 3 \quad (6)$$

$$E_{ic-setup-non-ch} = E_{tx}(l, d) + E_{rx}(l) \times 3 \quad (7)$$

intra cluster head node의 에너지 소모량  $E_{ic-setup-ch}$ 은 식 (6)으로 유도되며, intra cluster source node의 에너지 소모량  $E_{ic-setup-non-ch}$ 은 식 (7)로 유도된다. 식 (6)과 (7)을 이용하여 하나의 클러스터 헤드와 참여노드의 소모 에너지를 합산하면 하나의 intra cluster setup에 소모되는 에너지  $E_{ic-setup-cluster}$ 인 식 (8)로 나타낼 수 있으며, 전체 네트워크에 생성된 intra cluster의 수인 kp를 곱하면 전체 네트워크의 intra cluster setup에 소모되는 에너지  $E_{ic-setup-tot}$ 은 식 (9)로 나타낼 수 있다.

$$E_{ic-setup-cluster} = (E_{ic-setup-ch}) + (E_{ic-setup-non-ch}) \times \left(\frac{N}{kp} - 1\right) \quad (8)$$

$$E_{ic-setup-tot} = kp(E_{ic-setup-cluster}) \quad (9)$$

### 3.2.1.2 Network Cluster Setup

제안하는 방법의 network cluster setup 과정은 network cluster head node의 송신 2회, 수신 1회 스케줄링 연산으로 이루어진다. 송신은 초기 패킷 광고와 스케줄 정보를 전송하는 것이고, 수신은 참여희망 노드의 메시지를 수신하는 것이다. 식(10)과 (11)은 식 (2)와 (3)을 이용하여 나타내었다.

$$E_{nc-setup-ch} = lE_{elec}(p-1) + lE_{schedule}p + lE_{elec} + lE_{mp}d^4 + lE_{elec} + lE_{fs} \frac{M^2}{2\pi k} \quad (10)$$

$$E_{nc-setup-non-ch} = lE_{elec} + lE_{fs} \frac{M^2}{2\pi k} + 2lE_{elec} \quad (11)$$

network cluster head node의 에너지 소모량  $E_{nc-setup-ch}$ 은 식 (10)으로 유도되며, network cluster source node의 에너지 소모량  $E_{nc-setup-non-ch}$ 은 식 (11)로 유도된다. 식 (10)과 (11)을 이용하여 하나의 클러스터 헤드와 참여노드의 소모 에너지를 합산하면 하나의 network cluster setup에 소모되는 에너지  $E_{nc-setup-cluster}$ 인 식 (12)으로 나타낼 수 있으며, 전체 네트워크에 생성된 network cluster의 수인  $k$ 를 곱하면 전체 네트워크의 network cluster setup에 소모되는 에너지  $E_{nc-setup-tot}$ 은 식 (13)로 나타낼 수 있다.

$$E_{nc-setup-cluster} = ((E_{nc-setup-ch}) + (E_{nc-setup-non-ch}) \times (p-1)) \quad (12)$$

$$E_{nc-setup-tot} = k(E_{nc-setup-cluster}) \quad (13)$$

## 3.2.2 Steady 단계에서 소모 에너지

### 3.2.2.1 Intra Cluster Frame

제안하는 방법은 intra cluster 참여 노드들의 슬롯 할당으로 인해 steady 상태에서 동작하는 노드가 오직 하나이다. 따라서 에너지 소비는 언제나 하나의 노드로부터 발생한다. 또한 데이터의 수집이 필요가 없으므로 내부 연산에 의한 에너지 소비가 없다. 따라서 오직 데이터의 송신만 포함된다. 이를 식으로 나타내면 steady 상태에서의 intra cluster head node의 에너지 소모량  $E_{ic-steady-ch}$ 는 식 (14)로 유도되며, intra cluster source node의 에너지 소모량  $E_{ic-steady-non-ch}$ 는 sleep 상태이므로 에너지 소모가

없다.

$$E_{ic-steady-ch} = lE_{elec} + lE_{fs} \frac{M^2}{2\pi k} \quad (14)$$

### 3.2.2.2 Network Cluster Frame

network cluster에서 에너지 소비는 LEACH와 동일하므로 그대로 적용할 수 있다. 단, network source node로 참여하는 intra cluster head node의 에너지 소비의 중복을 피한다. network cluster head node는 상위의 sink로 전송하는 송신1회와 클러스터 내 멤버 노드로부터 수신하는 수신1회, 그리고 수신한 데이터를 처리하는 data aggregation 1회로 구성되며 이는 식(15)로 유도된다.

$$E_{nc-steady-ch} = E_{tx}(l, d) + E_{rx}(l) \times (p-1) + E_{da}(l) \times (p-1) = lE_{elec} + lE_{mp}d^4 + lE_{elec}(p-1) + lE_{da}(p-1) \quad (15)$$

식 (14)와 (15)를 이용하면 steady 상태 한 프레임에서 한 개의 network cluster가 소모하는 에너지  $E_{nc-steady-cluster}$ 는 식 (16)으로 나타낼 수 있다.

$$E_{nc-steady-cluster} = (E_{nc-steady-ch} + E_{nc-steady-non-ch} \times (p-1)) \quad (16)$$

그러므로 network cluster 하나의 프레임에서 전체 에너지 소모량  $E_{nc-steady-tot}$ 은 network cluster 개수인  $k$ 를 곱하면 식 (17)로 나타낼 수 있다.

$$E_{nc-steady-tot} = k(E_{nc-steady-cluster}) \quad (17)$$

## 3.2.3 제안하는 방법의 전체 소모에너지

setup시 전체 소모에너지와 steady 상태에서 전체 소모에너지를 합산한 값이 제안하는 방법의 전체 네트워크 소모에너지가 되며 이는 앞의 식 (9), (13), (17)을 이용하여 아래의 식(18)로 나타낼 수 있다.

$$E_{proposed} = E_{ic-setup-tot} + E_{nc-setup-tot} \frac{kpR}{N} + (E_{nc-steady-tot})f \quad (18)$$

## 4. 성능 평가

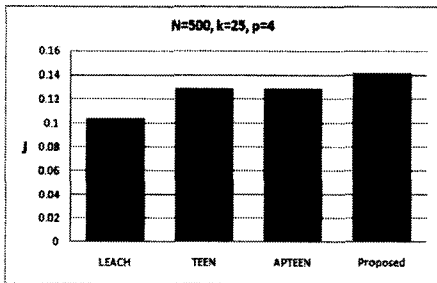
제안한 방법의 우수성을 검증하기 위해 MATLAB을 사용하여 proactive network인 LEACH와 reactive network인 TEEN, APTEEN과

비교하여 에너지 소모량을 측정하였다. 이때의 실험 환경은 다음과 같다. 라운드는 10프레임으로 구성되고 사용자 지정값인  $U_{TH} = 10 \times 10$ 로 정하고,  $E_{elec} = 50nJ/bit$ ,  $E_{fs} = 10pJ/bit/m^2$ ,  $E_{mp} = 0.0013pJ/bit/m^4$ ,  $E_{schedule} = 5nJ/bit/signal$ ,  $E_{da} = 5nJ/bit/signal$ ,  $l = 1000bit$ ,  $k = 25$ ,  $N = 500$ ,  $d = 100m$ ,  $M = 100m$ ,  $p = 4$ 이며, TEEN과 APTEEN에서 사용되는 임계값 전송 확률  $E_{TH} = 0.1$ 로 정하고, APTEEN의 고정 전송 횟수  $T_c$ 는 라운드마다 1회의 전송을 적용하였으며 클러스터의 수는 LEACH의 최적 성능을 보이는 5%를 적용하였다.

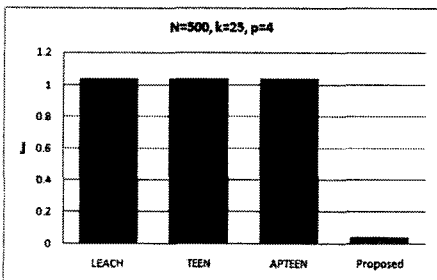
4.1 Setup 단계에서 에너지 소모량 비교

아래의 그림 7은 초기 setup과 10라운드 진행 후 각 프로토콜별로 소모되는 에너지(Joule)를 나타낸다.

표 2에서와 같이 제안하는 방법은 처음 2번의 setup에서 기존의 방법에 비해 에너지가 초과 소비되었으나 이후 10라운드를 진행하면서 다른 방법들에 비해 약 25배의 소비 에너지 절감효과를 보인다. 이런 비약적인 에너지 절감이 가능한 이유는 상위 네트워크 클러스터만 setup에 참여하며 setup의 반복주기가 늘어나고 steady-state가 연장되었기 때문이다.



(a) 최초 setup시 소모되는 setup 에너지



(b) 매 10라운드 진행시 소모되는 setup 에너지

그림 7. setup에 소모되는 에너지 비교

표 2. 셋업에 소모되는 에너지 비교

라운드 진행	LEACH	TEEN	APTEEN	Proposed
1	0.103568	0.103568	0.103568	0.120111
	0	0.0250159	0.0250159	0.021314
10	1.03568	1.03568	1.03568	0.042627

4.2 Steady 단계에서 에너지 소모량 비교

아래의 그림 8은 steady 상태에서 각 프로토콜별로 소모되는 에너지를 나타낸다.

표 3에서와 같이 제안하는 방법은 steady 상태 진행에서 LEACH에 비해 약 5배의 소비 에너지 절감률을 보인다. TEEN이나 APTEEN에 비하면 에너지 소모량이 약 2배정도 늘어났으나 이는 TEEN과 APTEEN의 노드 동작률을 10%로 가정한 것이므로 유동적이라고 할 수 있으며 제안하는 방법 역시 p값의 변화에 의해 에너지 소모가 유동적으로 나타난다. 제안하는 방법이 이런 에너지 절감이 가능한 이유는 상위 네트워크 클러스터만 data aggregation을 수행하고 하위 intra cluster를 구성하는 노드들은 data aggregation을 수행하지 않으며 할당된 슬롯에만 깨어 동작하기 때문이다. 또한 앞의 setup 단계 에너지 소모와 비교해 볼 때 steady에 비해 2배 이상의 에너지 소모를 갖는 setup이 자주 발생하면 낭비되는 에너지가 너무 많아지는 것을 알 수 있다.

표 3. steady 상태에서 소모되는 에너지

LEACH	TEEN	APTEEN	Proposed
0.0548021	0.00548021	0.00548021	0.0124227

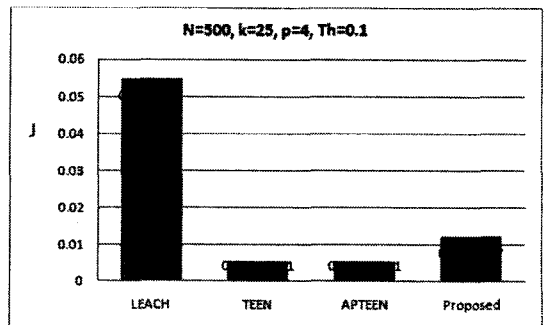


그림 8. steady 상태에서 소모되는 에너지



4.3 Steady 단계에서 에너지 소모량 비교

제안하는 방법의 에너지 소모량은 LEACH 방법이 1라운드당 10개의 프레임의 프레임을 가지고 있을 때 아래의 그림 9와 같이 나타난다. TEEN에 비해 APTEEN은 고정된 전송 소모에너지가 있으므로 에너지 소모가 더 많아진다. 제안하는 방법은 proactive network의 성격을 띄고 있으면서 노드가 위치한 영역의 데이터 감지 밀도를 변화시켜 에너지 소모량을 낮추고 잦은 setup 주기를 완화시켜 불필요한 에너지 소모를 줄였다.

그림 9에서 보이는 바와 같이 제안하는 방법은 기존의 LEACH나 전송확률값을 10%대로 낮춘 TEEN, APTEEN에 비해서 전체적으로 나은 성능을 보인다. 이러한 이유는 앞에 언급한 바와 같이 setup과 steady 참여 노드 수 감소와 주기의 증가가 큰 요인이 되며  $p$ 에 의해서 영향을 받는다. 이  $p$ 값은  $N_k$ 에 가까울수록 LEACH와 유사한 성능을 보이며 1에 가까울수록 최소의 에너지 소비율을 갖는다.

4.4  $p$ 값의 변화에 따른 네트워크 에너지 소모

그림 10에 의하면 제안하는 방법은  $p$ 값의 증감 여

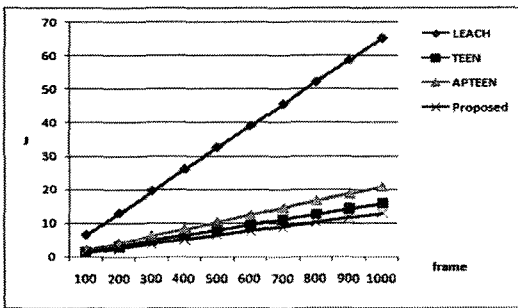


그림 9. 기존방법과 제안방법의 에너지소모 비교

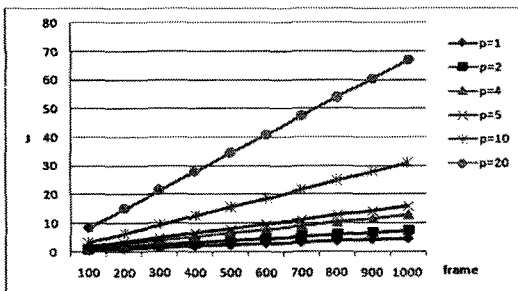


그림 10.  $p$ 값의 변화에 따른 에너지 소모 변화

부에 따라 에너지 소모의 차가 크게 나타난다.  $p$ 값이 최대일 때 intra cluster크기는 network cluster의 멤버수와 동일하게 되어 LEACH와 유사한 에너지 소모를 보인다. 또한  $p$ 가 5이하에서 제안하는 방법은 TEEN과 APTEEN에 비해 더 나은 에너지 소모를 보인다.

5. 결론 및 향후 연구

센서 네트워크의 클러스터링 기법은 전체 네트워크의 부하를 줄여 주며 에너지 소비를 효율적으로 한다는 점에서 장점을 가지고 있다. 그러나 일부 노드의 과도한 에너지 소모의 문제를 해결하는 것이 과제로 남아있으며 이러한 부문에 대한 연구들도 많이 진행되고 있다. 본 연구는 이러한 연구들 중에서 클러스터링 기법의 기본이 되는 LEACH방식과 여기에 임계값 기반의 데이터 처리를 포함한TEEN, 그리고 양쪽의 장점을 접목시킨 APTEEN의 reactive network와 다르게 proactive network이지만 데이터 수집의 공간 밀도에 따른 데이터 처리를 허용함으로써 또 다른 에너지의 효율적인 소비의 연구방향을 제시하고자 하였다. 이전의 방법에서 사용되는 주기적인 setup에 소모되는 에너지는 배터리로 동작하는 센서 노드에게 치명적인 에너지 손실이 된다. 따라서 제안하는 방법은 setup의 주기가 늦어지게 하고 setup에 참여하는 노드의 수를 최소로 줄여 소모되는 에너지를 최소화 하였다. 연구 결과에서 보여주듯이 이러한 방법은 불필요한 에너지의 낭비가 줄어들므로 결과적으로 노드가 데이터 전송에 사용할 가용 에너지가 더 많아지게 된다. 이러한 점이 이 연구가 강조하고자 하는 것이다. 본문에서는 언급하지 않았으나, 노드의 가용자원을 활용하는 연구들에 제안하는 방법을 접목시켜도 충분한 성과를 보여주리라 기대한다. 또한 센서 노드의 주파수 특성상 단거리에 위치한 노드들의 휴간 전송을 이용하는 프로토콜과도 연계하면 더 좋은 소비 효율을 갖는 결과가 나타나리라 본다.

참고 문헌

[ 1 ] Joseph M. Kahn, Randy H. Katz, and Kristofer S. J. Pister, "Next Century Challenges: Mobile

- Networking for Smart Dust," *IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 271-278, 1999.
- [2] Yu-chee Tseng, Sze-Yao Ni, Yuh-Shyan Chen, and Jang-Ping Sgeu, "The Broadcast Strom Problem in a Mobile Ad Hoc Network," *The Journal of Mobile Communication Computation and Information*, pp. 153-167, 2002.
- [3] Jian Li and Mohapatra, P. "An analytical model for the energy hole problem in many-to-one sensor networks," *Vehicular Technology Conference 2005 IEEE 62nd*, Vol.4, pp. 2721-2725, 2005.
- [4] Chalermek Intanagonwiwat, Ramesh Govindan, and Deborah Estin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Network," *MOBICOM 2000 Boston MA USA*, pp. 56-67, 2000.
- [5] Adrian Perrig, Robert Szewczyk, J.D. Tygar, Victor Wen, and David E. Culler, "SPINS: security protocols for sensor networks," *Proceedings of Seventh Annual International Conference on Mobile Computing and Networks MOBICOM*, 2001.
- [6] Adrian Perrig, Robert Szewczyk, J.D. Tygar, Victor Wen, and David E. Culler (2002): "SPINS: Security Protocols for Sensor Networks," *Wireless Networks*, Vol.8, No.5, pp. 521-534, 2002.
- [7] Wendi B. Heinzelman, Anantha P.Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.1, No.4, pp. 660-670, 2002.
- [8] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach," *Proceedings of IEEE INFOCOM*, 2004.
- [9] Muruganathan, S.D., et al., "A centralized energy-efficient routing protocol for wireless sensor networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol.43, pp. s8-s13, 2005.
- [10] Rajiullah, M. and Shimamoto, S. "An Energy-Aware Periodical Data Gathering Protocol Using Deterministic Clustering in Wireless Sensor Networks (WSN)," *Wireless Communications and Networking Conference*, pp. 3014-3018, 2007.
- [11] G.J. Pottie and W.J. Kaiser, "Wireless Integrated Network Sensors," *Communications of ACM*, Vol.43, No.5, pp. 51-58, 2000.
- [12] J. Hill and D. Culler, "A wireless-embedded Architecture for System Level Optimization," *UC Berkeley Technical Report*, 2002.
- [13] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *INFOCOM 2002*, Vol.3, pp. 1567-1576, 2002.
- [14] Nam Do-hyun and Min Hong-ki, "An Energy-Efficient Clustering Using a Round-Robin Method in a Wireless Sensor Network," *Software Engineering Research, Management & Applications 2007*, pp. 54-60, 2007.
- [15] M. Rajiv and M. Chittaranjan, "ClusterHead Rotation via Domatic Partition in Self-Organizing Sensor Networks," *COMSWARE 2007*, pp. 1-7, 2007.
- [16] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal. "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," *In 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing*, 2001.
- [17] A. Manjeshwar and D. P. Agarwal, "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks," *Parallel and Distributed Processing Symposium, Proceedings International, IPDPS*, pp. 195-202, 2002.



**최 동 민**

2003년 경희대학교 공과대학 졸업(공학사)  
2007년 조선대학교 교육대학원 졸업(교육학석사)  
2007년~현재 조선대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야 : 정보 보안, 센서 네트워크, 모바일 애드혹 네트워크



**모 상 만**

2002년 한국정보통신대학교(ICU) 공학부 박사 졸업  
1991년~2002년 한국전자통신연구원(ETRI) 컴퓨터소프트웨어연구소 팀장  
2002년~현재 조선대학교 컴퓨터공학부 교수

관심분야 : 모바일컴퓨팅, 애드혹네트워크, 센서네트워크, 병렬분산컴퓨팅, 컴퓨터구조



**정 일 용**

1983년 한양대학교 공과대학 졸업(공학사)  
1987년 City University of New York 전산학과(전산학석사)  
1991년 City University of New York 전산학과(전산학박사)

1991년~1994년 한국전자통신연구소 선임연구원  
1994년~현재 조선대학교 컴퓨터공학부 교수  
관심분야 : 네트워크 보안, 전자상거래, 분산시스템 관리, 코딩이론, 병렬 알고리즘, 모바일 애드혹 네트워크