

# 무선 센서 네트워크 환경의 Threshold-sensitive 가변 영역 클러스터링 프로토콜에 관한 분석

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

## 요 약

무선 센서 네트워크에서 클러스터링 프로토콜은 전체 네트워크의 수명을 연장시키는 효율적인 방법이다. 그러나 클러스터 헤드 노드에 높은 부하를 주게 되어 헤드 노드의 급격한 에너지 소모를 유발하는 문제가 있다. 이에 LEACH와 같은 알고리즘은 클러스터의 구성과 클러스터 헤드 노드의 역할을 주기적으로 교체하여 네트워크의 수명을 연장시켰다. 그러나 이 방법은 클러스터를 구성하는 과정에서 상당한 양의 에너지를 소모한다. 이에 본 논문은 불필요한 에너지 소모를 줄이기 위해 새로운 클러스터 형성 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 인접노드에서 수집되는 중복 데이터를 배제하고 임계값을 전송한다. 서로 인접한 노드들은 그룹을 이루며 이 클러스터를 구성하는 노드들은 라운드 로빈 형태로 데이터를 수집하고 전송한다. 전체 네트워크의 관점에서 볼 때 이 그룹은 하나의 노드로 취급된다. 한 라운드의 셋업 단계에서 그룹들은 클러스터 헤드(그룹)에 의해 다시 클러스터를 형성(network cluster)하게 된다. 클러스터 헤드가 된 그룹의 모든 멤버노드는 라운드 로빈 방식으로 클러스터 헤드 역할을 수행한다. 따라서 그룹의 크기에 의해 라운드의 주기를 연장할 수 있다. 성능분석 결과 제안하는 방법은 제안된 클러스터링 방법에 비해 노드들의 에너지 소모가 줄어들었으며 전송 효율이 증가하였다.

## An Analysis of Threshold-sensitive Variable Area Clustering 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, a clustering protocol is an efficient method to prolong network lifetime. In general, it results in more energy consumption at the cluster-head node. Hence, such a protocol must change the cluster formation and cluster-head node in each round to prolong the network lifetime. But, this method also causes large 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 clustering algorithm. In this algorithm, we exclude duplicated data of adjacent nodes and transmits the threshold value. We define a group as the sensor nodes within close proximity of each other. In a group, a node senses and transmits data at a time on the round-robin basis. In a view of whole network, group 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(group). In the group 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 group size. 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), Clustering(클러스터링), Reactive Network(반응적 네트워크), Threshold value(문턱값)

※ 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 : 2009년 4월 10일, 수정일 : 2009년 6월 29일

완료일 : 2009년 7월 1일

<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> 종신회원, 조선대학교 컴퓨터공학부 교수

※ 본 연구는 교육과학기술부 BK21사업과 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

## 1. 서 론

센서 네트워크는 센싱, 데이터 처리, 통신 모듈로 구성되어 있는 센서 노드들의 집합으로 구성된다. 또한 센서 노드들은 제한된 에너지를 갖는 배터리를 사용하며 일회성[1]을 띄고 있어 에너지에 대한 제약이 크다. 일반적으로 센서 노드는 밀집 분포되어 데이터의 중복이 쉬운 환경이므로 낭비되는 에너지가 많다. 또한 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. 따라서 평면 라우팅[4-6]보다 클러스터링[7-10]이 더 적합하다. 또한 노드의 데이터 전송에 소모되는 에너지와 하드웨어에서 소모되는 에너지[11-15]를 고려하면 데이터 취합을 하는 클러스터링 방식이 적합하다.

클러스터링 방식은 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[16,17]이 제안되었다. 이들 중 LEACH[7]는 주기적인 setup을 통해 클러스터 헤드 노드를 재선출하여 클러스터를 재구성하였다. TEEN[18]은 수집하는 데이터에 임계값을 두어 노드의 소모 에너지를 줄이고 클러스터 헤드 노드의 부하를 줄였다. APTEEN[19]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 계속적인 불필요한 에너지 소모를 발생시킨다. 이에 제안된 VAR[20]은 주기적인 셋업 주기를 연장하여 불필요하게 소모되는 에너지를 줄였다. 그러나 이 방법도 수집 데이터의 변동이 없어도 계속 동작을 하게 되므로 불필요한 에너지의 소모는 있다.

본 연구는 수집 데이터의 중복이 많은 환경에서 setup에 소모되는 불필요한 에너지를 줄이기 위해 setup주기를 연장하였으며, 센서노드들의 감지범위[21]가 중복됨을 고려하여 클러스터의 에너지 소비의 효율성 증대를 위해[22] 데이터 수집이 중복되는 구간을 배제한 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 2단계의 클러스터 형성을 통해 데이터 수집 영역을

제한하였다. 2단계 클러스터 중 하위 단계의 클러스터(그룹)는 상위 클러스터에서 한 개의 노드로 인식하게 하고 상위클러스터의 멤버노드로 참여하도록 하여 데이터 전송 횟수를 줄였다. 이 하위 단계의 그룹을 구성하는 멤버 노드는 그룹의 재구성이 없이 고정된 그룹으로 동작하며 라운드 로빈 방식으로 할당된 시간에 한 개의 노드만 동작하며 이외의 노드는 sleep한다. 이런 방법은 하위 그룹이 위치한 지역에서 수집되는 데이터를 한 개로 제한하여 해당 지역의 수집 데이터의 정확성은 낮아지나 에너지의 소모는 감소하는 효과가 있다. 이 방법을 적용하면 전체 네트워크에서 그룹은 상위 단계의 클러스터에서 한 개의 멤버 노드처럼 동작하므로 그룹이 차지하는 공간에 반비례하여 상위 클러스터의 재구성에 소모되는 에너지 소모가 줄어들며 그 주기도 연장된다. 이 그룹이 차지하는 물리적인 영역이 가변 영역이며 모든 노드가 전체 네트워크의 물리적인 공간에 고르게 분포한다고 가정할 때 그룹에 참여하는 노드수의 증감은 곧 그룹의 공간적인 크기의 변화와 관련이 있다. 이 영역을 확대 또는 축소하여 수집되는 데이터의 중복을 최소화하며 수집 데이터에 임계값을 두어 노드의 활동을 줄이는 것이 본 연구의 목적이다. 시뮬레이션 결과에 의하면 제안하는 방법은 기존의 방법들에 비해 낮은 에너지 소모와 높은 데이터 수집률을 보이며 그 수명도 연장됨을 알 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 관련 연구로서 LEACH, TEEN, APTEEN, VAR과 같은 몇몇 프로토콜들을 소개하고, 3절에서는 제안하는 방법을 노드들의 하위 그룹 및 상위 클러스터 구성, setup과 지속 상태로 나누어 에너지 소모와 관련하여 기술하고, 4절에서는 제안하는 방법을 에너지 소모 및 네트워크 수명, 수집된 데이터의 정확도와 관련하여 비교 분석하며, 5절에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 LEACH

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 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.

LEACH와 같은 proactive network는 주기적인 데이터 측정이 가능한 반면, 클러스터 재구성이 자주 일어나므로 소모되는 에너지가 많아 네트워크의 오랜 생존을 기대하기 어렵다.

### 2.2 TEEN

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 2는 TEEN의 동작을 나타낸다.

이 방법은 클러스터 형성에 LEACH와 동일한 방법을 사용한다. 클러스터 구성 후 클러스터 헤드 노드는 데이터를 측정하는데 필요한 Parameter들, 즉 Hard Threshold값인  $H_T$ 와 Soft Threshold값인  $S_T$ 를 멤버 노드에 전송하며 멤버 노드들은 이 값에 기초하여 report time내 할당된 시간에 데이터 전송을 한다. 이 방법은 노드들이 측정한 값이 최초  $H_T$ 를 초과하면 데이터가 수집되어 전송이 이루어지며, 이후에 측정되는 데이터가  $S_T$ 를 초과할 때에만 데이터

를 수집·전송하게 되어 steady 상태에서 낭비되는 에너지가 줄어든다. 또한 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 않으면 노드가 데이터를 전송하지 않으므로 데이터의 수집이 이루어질 수 없다. 또 만약 수집되는 데이터가  $S_T$ 를 초과하지 않는다면 임계값 이하 데이터 변동에 대해서는 알 수 없다. 또한 데이터 전송이 이루어지지 않는 문제는 전체 네트워크를 구성하는 노드의 생존 여부도 판단하기 어렵게 한다. 만약 수집되는 데이터가 모두 임계값을 초과한다고 할 때, 인접한 노드들에서 수집된 데이터는 클러스터 헤드에 의해 재처리 되는 과정을 거치므로 수집되는 데이터의 중복 처리에 소모되는 에너지를 고려해야 한다. 무엇보다 이 방법의 가장 큰 문제는 LEACH protocol의 setup과정과 동일한 주기로 클러스터를 재구성하는 것이며 이 방법으로 인해 불필요한 setup이 발생하여 에너지 낭비가 발생하게 된다.

### 2.3 APTEEN

LEACH의 proactive network의 장점과 TEEN의 reactive network의 장점을 결합한 형태의 APTEEN (A Hybrid Protocol for Efficient Routing and 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. 카운트 시간은 한 노드가 데이터를 성공적으로 전송했을 때의 최대 시간 간격이며, 이 시간에 의해 고정적인 노드의 데이터 수집과 전송이 가능해진다. 따라서 이 방법은 TEEN의 임계값 이하의 데이터 변동에 대한 데이터 수집 문제와 노드의 생존 여부 판단의 문제를



그림 1. LEACH의 타임라인

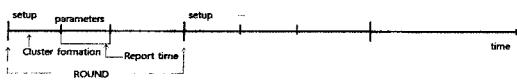


그림 2. TEEN의 타임라인

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.

### 2.4 VAR

VAR(Variable Area Routing Protocol in Wireless Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach)은 proactive network의 구조를 갖고 있으며 이웃하는 센서 노드의 중복되는 데이터 수집을 배제하여 최소한의 에너지 소비를 갖는 프로토콜이다. 이 프로토콜은 초기 이웃노드 선정에서 인접노드의 그룹을 형성하여 그룹 내 오직 한 개의 노드만 동작하는 구조를 갖는다. 이 방법으로 불필요하게 자주 발생하는 셋업과 중복된 데이터의 전송을 최소화하였으며 에너지 소비율은 TEEN과 APTEEN에 근접하는 결과를 갖는다. 그러나 proactive network의 특성상 고정적인 전송으로 소비되는 에너지가 있어 개선이 필요하다.

### 3. TVAR(Threshold-sensitive Variable Area Clustering Protocol)

제안하는 프로토콜은 VAR의 동작과 네트워크 구성에 있어 동일한 구조를 갖는다. 노드는 필드에 배치되기 전 임계값과 카운트 값을 입력받는다. 노드가 필드에 배치된 후, 모든 노드는 센서모듈의 감지거리 내에 위치한 인접 노드들과 그룹을 형성한다. 이후 각각의 그룹에 속한 노드들은 타임 슬롯을 분배하여 할당된 시간에 따라 동작하며, 자신에게 분배된 타임 슬롯 이외의 시간은 sleep하여 에너지를 보존한다. 또한 할당된 타임 슬롯에 동작하는 노드는 센서모듈만 동작하여 데이터를 수집하며, 수집된 데이터가 설정된 임계값을 초과하거나 기율기 값을 초과할 때 상위노드로 전송하는 구조를 갖는다.

최초의 타임 슬롯을 할당받은 노드는 이 그룹을 대표하는 노드로서 동작한다. 이 노드는 상위 레벨의 클러스터를 형성할 때 상위 클러스터의 멤버 노드로 참여하여 상위 클러스터를 구성한다. 이후 이 클러스

터 정보를 자신이 속한 그룹의 멤버 노드들에게 전송한다. 결국 한 그룹을 구성하는 모든 멤버노드는 동일한 상위 클러스터 정보를 공유하게 되며 그룹 내의 모든 노드는 타임 슬롯이 할당된 순서에 따라 이 그룹을 대표하는 노드로서 동작하며 상위 레벨 클러스터의 멤버노드로서 상위 클러스터 헤드 노드의 요청에 응하는 형태를 갖는다.

이 방법은 네트워크의 데이터 전송 횟수가 그룹에 참여하는 노드 수의 비율만큼 줄어드는 효과가 있어 데이터의 수집 및 전송에 소모되는 에너지를 줄일 수 있으며, LEACH에서 주기적으로 발생하는 setup의 횟수도 그룹에 참여하는 노드 수의 비율만큼 줄어들어 setup 주기를 연장시키는 효과가 있고, steady-state의 길이도 동일한 비율로 늘어나는 효과가 있다. 여기에 임계값 전송과 수집 데이터 사이의 기율기 비교를 이용해 추가적인 전송 에너지 절감 효과를 기대할 수 있어 최대의 노드 생존시간을 기대할 수 있다.

### 3.1 TVAR의 동작 과정

제안하는 방법은 그림 3과 같이 초기 setup이 두 번에 걸쳐 일어난다. 초기 setup 중 첫 번째 setup은 노드들을 그룹으로 묶어 한 개의 노드처럼 동작하는 그룹 노드를 setup하는 과정이며 초기 setup 시 한번 정해진 그룹노드는 바뀌지 않는다. 두 번째 setup은 그룹을 이룬 노드들이 참여하는 cluster setup이며, 주기적으로 발생하는 LEACH의 setup과 같은 형태이다. 그러나 그 주기는 그룹을 구성하는 노드의 수에 비례하여 연장되며, steady-state 또한 intra cluster의 멤버노드의 수에 비례하여 늘어나고, 임계값 전송으로 인해 추가적인 에너지 절감 효과를 갖는다.

#### 3.1.1 그룹 노드 결정

그림 4의 (a)는 초기 셋업과정에서 노드들이 그룹을 구성하는 절차이며 (b)는 그룹 구성 후 상위 클러스터 구성 절차이다. 초기 셋업에서 그룹 노드를 구

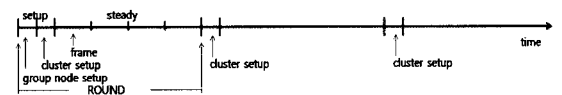
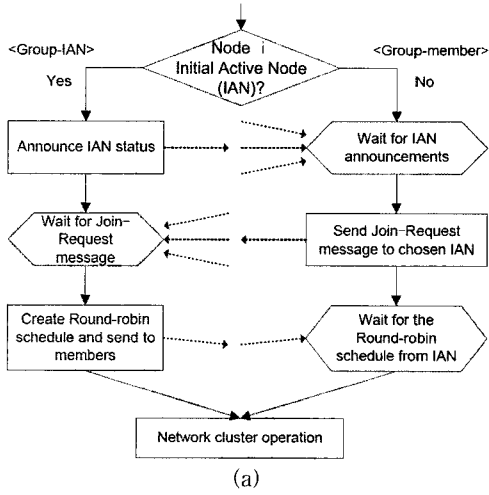
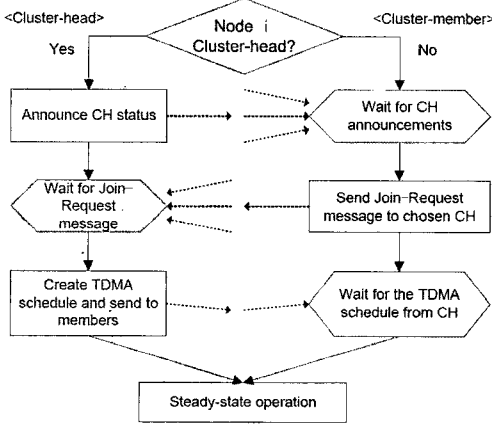


그림 3. 제안하는 방법의 타임라인



(a)



(b)

그림 4. 제안하는 방법의 그룹 및 클러스터 선정 과정

성하기 위해 모든 노드는 랜덤한 시간인  $R(t)$  값을 갖는다. 필드에 노드가 배치된 후,  $R(t)$ 가 작은 노드는 먼저 동작하여 인접한 노드들에게 브로드캐스팅을 통한 그룹을 형성한다. 이 노드는 초기 동작 노드 (IAN)로 불린다. 그룹을 구성한 초기 동작 노드는 자기와 그룹 내 멤버 노드에게 타임 슬롯을 할당하고, 상위 클러스터의 멤버 노드로 참여한다. 그룹을 구성하는 멤버 노드는 타임 슬롯 정보와 상위 클러스터의 정보를 초기 동작 노드로부터 전송받아 저장한다. IAN(Initial Active Node)으로부터 정해진 타임 슬롯을 할당받은 그룹 내 멤버 노드와 IAN은 할당된 슬롯에 AN(Active Node)으로 동작하며 이때 그룹을 대표하는 노드로 상위 클러스터의 멤버로 참여한다. 이외의 구간은 sleep하여 에너지를 보존한다.

### 3.1.2 클러스터 헤드 노드 선정

그룹의 AN는 클러스터의 멤버 노드로 참여하며 이들 중에서 클러스터 헤드 노드를 선정한다. 헤드 노드 선정을 위한 확률함수[7]는 식(1)과 같다.

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

$G$ 은 네트워크의 그룹 노드의 개수,  $r$ 은 현재 라운드,  $t$ 는 현재 시간,  $k$ 는 그룹 노드들 중 클러스터 헤드 노드로 선정되는 노드의 비율을 나타낸다.  $P_i(t)$ 는 클러스터 헤드 노드가 되기 위한 threshold 값이 되며 이 값을 기준으로 하여 노드는 자신이 클러스터 헤드 노드가 될지 여부를 결정한다. 이 방법은 최근에 클러스터 헤드 노드였던 노드는  $P_i(t)$  값이 0이 되어 클러스터 내의 모든 노드가 클러스터 헤드 노드가 될 수 있다.

클러스터 헤드 노드는 클러스터 내 멤버 노드에게 타임 슬롯을 할당하며 주기적인 셋업을 통해 클러스터를 재구성한다. 그림 5는 AN과 클러스터 헤드 노드의 선정 과정을 나타낸다.

### 3.2 에너지 소모량 분석

제안하는 방법은 초기 setup이 두 번 일어나며 이후 매 라운드 당 한번의 setup과 한번의 steady 상태가 반복된다. 초기 두 번의 setup은 송수신 과정과 스케줄 연산을 포함한다.

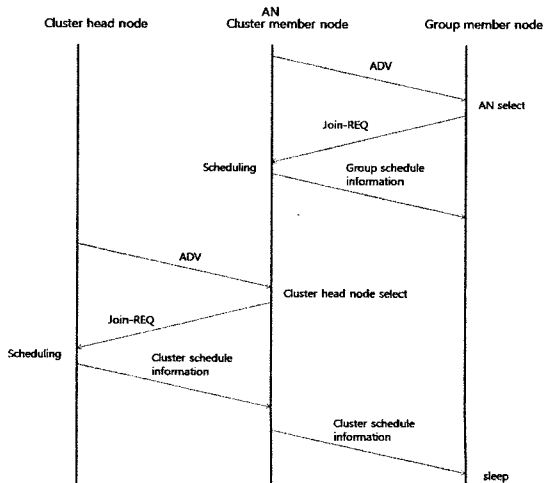


그림 5. TVAR- 클러스터 헤드 선정

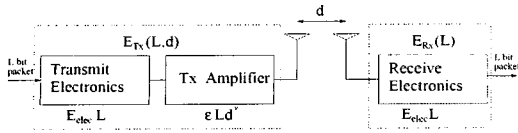


그림 6. 무선 통신 에너지 소비 모델

그림 6의 에너지 소비 모델을 참고하여 제안하는 방법의 에너지 소모량을 아래의 식(2), (3)으로 표기하였다. 이후 식에 사용되는 변수는 표 1과 같다.

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

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

제안하는 방법은 클러스터 내 그룹의 개수인  $G_c$  값과 관심영역(Region of Interest)으로 설정된 threshold 및 slope 값에 의해 네트워크의 수명이 결정된다.

### 3.2.1. $G_c$ 값 설정

$G_c$ 는 다음과 같은 방법으로 구한다. 우선, 필드에

표 1. 기호 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
$N$	전체 노드의 수
$G$	전체 네트워크 그룹 노드 수
$d$	sink까지 거리
$M$	네트워크 면적의 한 변의 길이
$c$	클러스터의 수
$G_c$	클러스터 내 그룹 수
$E_{th}$	TEEN의 전송 확률값
$T_c$	APTEEN의 고정된 노드의 라운드별 전송 횟수
$N_u$	단위면적( $1m \times 1m$ ) 당 위치하게 될 노드의 수
$N_c$	한 개의 클러스터에 포함되는 노드의 수
$N_g$	한 개의 그룹에 포함되는 노드의 수
$U_{th}$	사용자가 지정한 데이터 수집 단위면적의 배수값
$A_c$	$N_c$ 개의 노드가 위치하는 면적

노드들이 일정한 간격으로 배치되어있다고 가정하고 노드가 배치될 장소의 전체 면적에서 단위면적을 정한다. 단위면적이  $1m \times 1m$ 라고 할 때, 단위면적에 위치하게 될 노드의 수  $N_u$ 와 LEACH에서 언급한 효율적인 클러스터 헤드 노드의 비인 5%에 해당하는 노드 수  $c$ 를 구하여 한개 클러스터에 포함되는 노드의 수  $N_c$ 를 구한다. 사용자가 지정한 데이터 수집의 기본면적이 단위면적의 몇 배수인지  $U_{th}$ 를 구하고 이를 클러스터 내 노드수로 나눔으로서 그룹의 수인  $G_c$ 를 구할 수 있다.

$$A_c = \frac{N_c}{N_u} \quad (4)$$

$$G_c = \frac{A_c}{U_{th}}, 1 \leq G_c \leq N_c \quad (5)$$

### 3.2.2 threshold와 slope 설정

데이터 수집에 대한 slope 설정은 아래 그림 7과 같다.

• 수집된 데이터가 임계값보다 낮은 경우 - 임계값과 수집된 데이터의 slope 측정을 통해 전송 여부를 결정한다. slope 측정을 위한 식은 다음과 같다.

$$S = \frac{B_y - A_y}{B_x - A_x}$$

$A_y$ 는 초기 임계값 및 에 수집된 데이터를 나타내며,  $B_y$ 는 이후에 수집된 데이터를 나타낸다.  $A_x$ 는 노드에 할당된 타임슬롯 카운트를 나타내며  $B_x$ 는 이후 수집된 데이터인  $B_y$ 의 타임슬롯 카운트를 나타낸다. 그러나 실제 수집되는 데이터의 타임슬롯은 언제나

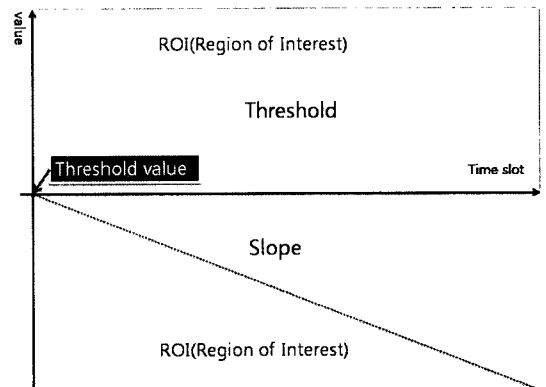


그림 7. 임계값 구간과 기울기 구간

나 이전 수집값보다 1이 크다. 따라서 생략이 가능하므로  $S$ 는,  $S = B_y - A_y$  과 같이 쓸 수 있다.

본 논문에서는 수집된 데이터가  $0 < |S| \leq 0.3$ 이면 노드는 데이터를 전송하지 않으며,  $|S| > 0.3$ 일 경우 데이터를 전송하도록 설정하였다. 그림 8에 따르면 노드는 처음 데이터를 수집할 때  $0 < |S| \leq 0.3$ 이면 데이터를 전송하지 않고 폐기하며 슬롯카운트는 증가시킨다. 이후 수집된 값의 계산으로  $|S| > 0.3$ 이면 수집된 값을 전송하고 저장하며 슬롯 카운트를 증가시킨다.

• 수집된 데이터가 임계값보다 큰 경우 - 노드에 할당된 타임 슬롯에 수집된 데이터를 전송한다.

### 3.2.3. 셋업 단계의 소모 에너지

#### 3.2.3.1 그룹 노드 셋업

그룹 노드 셋업 과정은 IAN의 송신 3회, 수신 1회 스케줄 연산 2회로 이루어진다. 송신은 초기 패킷 광고와 2회의 스케줄 정보의 전송이며, 수신은 참여희망 노드의 메시지 수신이다. 참고문헌 [14]에 의하면 에너지 소모량은 아래와 같이 나타낼 수 있으며, 이 식은 (2)와 (3)을 이용하여 나타내었다.

$$E_{gs-ian} = E_{rx} (l) \times \left( \frac{N}{cG_c} - 1 \right) + E_{schedule} (l) \quad (6)$$

$$\times 2 + \frac{N}{cG_c} \times E_{tx} (l, d) \times 3$$

$$E_{gs-mn} = E_{tx} (l, d) + E_{rx} (l) \times 3 \quad (7)$$

그룹에서 IAN의 에너지 소모량  $E_{gs-ian}$ 은 식 (6)으로 유도되며, 멤버 노드의 에너지 소모량  $E_{gs-mn}$ 은 식

(7)로 유도된다. 식 (6)과 (7)을 이용하여 IAN과 멤버 노드의 소모 에너지를 합산하면 한 개 그룹에서 set-up시 소모되는 에너지  $E_{gs}$ 인 식 (8)로 나타낼 수 있으며, 전체 네트워크에 생성된 그룹의 수인  $cG_c$ 를 곱하면 전체 네트워크의 그룹 셋업에 소모되는 에너지  $E_{gst}$ 는 식 (9)로 나타낼 수 있다.

$$E_{gs} = ((E_{gs-ian}) + (E_{gs-mn})) \times \left( \frac{N}{kG_c} - 1 \right) \quad (8)$$

$$E_{gst} = kG_c (E_{gs}) \quad (9)$$

#### 3.2.3.2 클러스터 셋업

클러스터 셋업 과정은 클러스터 헤드 노드의 송신 2회, 수신 1회 스케줄 연산으로 이루어진다. 송신은 초기 패킷 광고와 스케줄 정보를 전송하는 것이고, 수신은 참여희망 노드의 메시지를 수신하는 것이다. 아래에 식 (2)와 (3)을 이용하여 식으로 나타내었다.

$$E_{cs-ch} = lE_{elec} (G_c - 1) + lE_{schedule} G_c + lE_{elec} + lE_{mp} d^4 + lE_{elec} + lE_{fs} \frac{M^2}{2\pi c} \quad (10)$$

$$E_{cs-mn} = lE_{elec} + lE_{fs} \frac{M^2}{2\pi c} + 2lE_{elec} \quad (11)$$

클러스터 헤드 노드의 에너지 소모량  $E_{cs-ch}$ 은 식 (10)으로 유도되며, 클러스터 멤버 노드의 에너지 소모량  $E_{cs-mn}$ 은 식 (11)로 유도된다. 식 (10)과 (11)을 이용하여 하나의 클러스터 헤드와 멤버 노드의 소모 에너지를 합산하면 한 개의 클러스터 셋업에 소모되는 에너지  $E_{cs}$ 인 식 (12)으로 나타낼 수 있으며, 네트워크에 생성된 클러스터의 수인  $c$ 를 곱하면 전체 네트워크의 클러스터 셋업에 소모되는 에너지  $E_{cst}$ 은 식 (13)로 나타낼 수 있다.

$$E_{cs} = ((E_{cs-ch}) + (E_{cs-mn})) \times (G_c - 1) \quad (12)$$

$$E_{cst} = c(E_{cs}) \quad (13)$$

#### 3.2.3.3 Threshold 및 slope값 전송

threshold 및 slope 값 전송은 네트워크의 클러스터 구성 후 1회 전송한다. 그러므로 (13)의 식에 네트워크 노드의 수신에너지  $lE_{elec} N$ 을 더하면  $E_{cst}$ 를 구할 수 있다.

```

begin
  Initialize(Th, R, D, Tmp, S);
  for i=0 to R
    while i=0
      if (Tmp-Th)>0.3 then D=Tmp;
      else D=Th;
      i++;
    end;
    while i≠0
      if (Tmp-D)>0.3 then D=Tmp;
      else drop Tmp;
      i++;
    end;
  end
end
    
```

그림 8. TVAR의 임계값 및 기울기 결정

3.2.4. steady 단계의 소모 에너지

3.2.4.1 그룹 노드

제안하는 방법은 그룹 멤버 노드들이 할당받은 슬롯에 동작하므로 steady 단계에서 오직 한 개의 노드만 동작한다. 수집된 데이터가 ROI에 포함된다는 가정 하에 에너지 소비는 언제나 하나의 노드로부터 발생한다. 또한 데이터 집성이 없어 내부 연산에 의한 에너지 소비가 없다. 따라서 오직 데이터의 송신만 포함된다. 이를 식으로 나타내면 steady 단계에서 그룹의 AN의 에너지 소모량  $E_{g-std-an}$ 는 식 (14)로 유도되며, 그룹의 멤버 노드는 sleep 상태이므로 에너지 소모가 없어  $E_{g-std-mn}$ 는 0 이다.

$$E_{g-std-an} = lE_{elec} + lE_{fs} \frac{M^2}{2\pi c} \quad (14)$$

3.2.4.2 클러스터 노드

클러스터에서 에너지 소비는 LEACH의 에너지 소비 모델이 적용된다. 그러나 클러스터의 멤버 노드로 참여하는 그룹의 AN의 중복된 에너지 소비는 제외한다. 클러스터의 헤드 노드는 상위의 sink로 전송하는 송신1회와 클러스터 내 멤버 노드로부터 수신하는 수신1회, 그리고 수신한 데이터를 처리하는 data aggregation 1회로 구성되며 이는 식(15)로 유도된다.

$$E_{c-std-h} = E_{rx}(l, d) + E_{rx}(l) \times (G_c - 1) + E_{da}(l) \times (G_c - 1) \\ = lE_{elec} + lE_{mp}d^4 + lE_{elec}(G_c - 1) + lE_{da}(G_c - 1) \quad (15)$$

식 (14)와 (15)를 이용하면 steady 단계의 한 프레임에서 한 개의 클러스터가 소모하는 에너지  $E_{c-std}$ 는 식 (16)으로 나타낼 수 있다.

$$E_{c-std} = (E_{c-std-h} + E_{g-std-an} \times (G_c - 1)) \quad (16)$$

그러므로 클러스터 하나의 프레임에서 전체 에너지 소모량  $E_{c-std-t}$ 은 클러스터 개수인 c를 곱하면 식 (17)로 나타낼 수 있다.

$$E_{c-std-t} = c(E_{c-std}) \quad (17)$$

3.2.5. 전체 소모 에너지

setup 전체 소모에너지와 steady 전체 소모에너지의 합은 전체 네트워크의 소모에너지이며 이는 앞의 식 (9), (13), (17)을 이용하여 아래의 식(18)로 나타낼

수 있다.

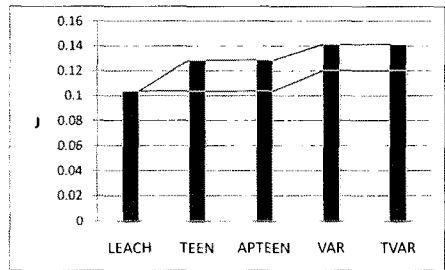
$$E_{tvar} = E_{gst} + E_{cst} \frac{cG_c R}{N} + lE_{elec}N + (E_{c-std-t})f \quad (18)$$

4. 성능 평가

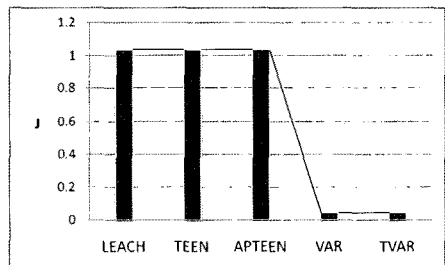
TVAR의 성능 평가를 위해 Matlab을 이용하여 LEACH, TEEN, APTEEN 및 VAR과 비교하여 측정하였다. 실험환경은 다음과 같으며 노드의 수를 제외한 나머지 조건은 [7]과 같은 조건으로 진행하였다. 라운드는 10프레임으로 구성되며 사용자 지정값인  $U_{th}$ 는  $U_{th} = 10 \times 10$ ,  $E_{elec} = 50nJ/bit$ ,  $E_{fs} = 10pJ/bit/m^2$ ,  $E_{mp} = 0.0013pJ/bit/m^4$ ,  $E_{schedule} = 5nJ/bit/signal$ ,  $E_{da} = 5nJ/bit/signal$ ,  $l = 1000bit$ ,  $c = 25$ ,  $N = 500$ ,  $d = 100m$ ,  $M = 100m$ ,  $G_c = 4$ 이며, TEEN과 APTEEN에서 사용되는 임계값 전송 확률  $E_{th}$ 는  $E_{th} = 0.1$ , APTEEN의 고정 전송 횟수  $T_c$ 는 라운드마다 1회의 전송을 적용하였으며 클러스터의 수는 5%를 적용하였다.

4.1 setup 단계에서 에너지 소모량 비교

아래의 그림 9는 초기 setup과 10라운드 진행 후 각 프로토콜별로 소모되는 에너지(Joule)를 나



(a) 최초 setup시 소모되는 에너지



(b) 이후 setup시 소모되는 에너지 (매 10라운드)

그림 9. setup에 소모되는 에너지



타낸다.

제안하는 방법은 처음 2번의 setup에서 기존의 방법에 비해 에너지가 초과 소비되었으나 이후 10라운드를 진행하면서 기존 기법에 비해 약 25배 줄어든 에너지 소비를 보인다. 이런 에너지 절감이 가능한 이유는 상위 클러스터의 멤버 노드인 그룹의 대표 노드만 setup에 참여하여 셋업 주기가 늘어나고 steady-state가 연장되었기 때문이다.

#### 4.2 steady 단계에서 에너지 소모량 비교

아래의 그림 10은 steady 상태에서 각 프로토콜별로 소모되는 에너지를 나타낸다.

#### 4.3 전체 에너지 소모량 비교

제안하는 방법의 에너지 소모량은 LEACH 방법이 1라운드당 10개의 프레임을 가지고 있을 때 아래의 그림 11의 (a) (b)와 같이 나타낸다.

그림 11과 12에서 보이는 바와 같이 제안하는 방법은 기존의 LEACH나 전송 확률값을 10%대로 낮춘 TEEN, APTEEN, 그리고 VAR에 비해 전체적으로 나은 성능을 보인다. 이러한 이유는 앞에 언급한 바와 같이 setup과 steady 참여 노드 수 감소와 주기의 증가가 큰 요인이 되며  $G_c$ 에 의해 영향을 받는다. 이  $G_c$ 값은 1에 가까울수록 최소의 에너지 소비율을 갖는다.

그림 13은 프로토콜별 네트워크 노드의 수명을 측정된 결과 그래프이다. 총 500개의 노드 중 80%의 노드의 생존시간을 유효한 네트워크의 수명으로 보았을 때, TVAR은 VAR대비 2배에 가까운 수명을 갖는 것을 알 수 있으며 1000라운드 이후로도 노드의 반수 이상이 생존하는 것을 알 수 있다.

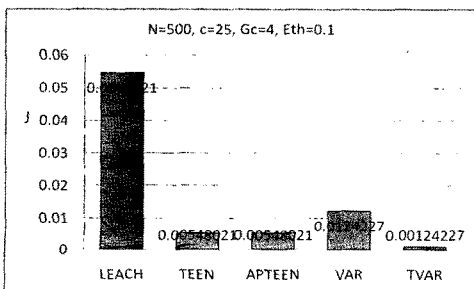
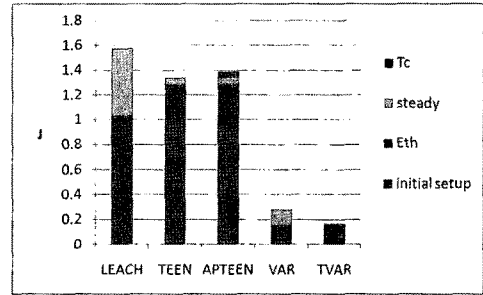
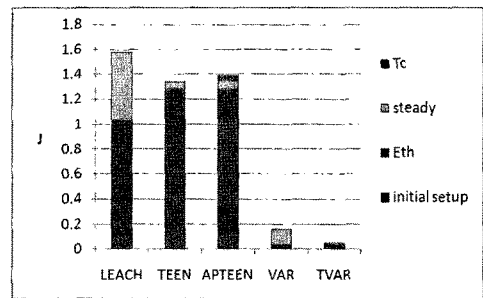


그림 10. steady 상태에서 소모되는 에너지



(a) 첫 10 라운드에서 소비되는 에너지



(b) 이후 10라운드마다 소비되는 에너지

그림 11. 에너지 소모량 비교

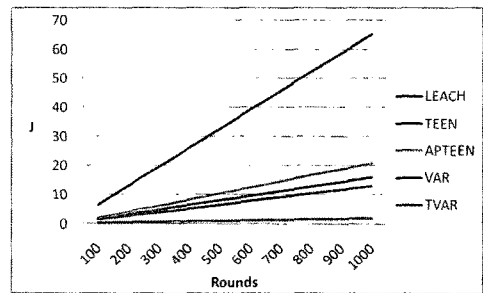


그림 12. 기존 방법과 제안하는 방법의 에너지 소모 비교

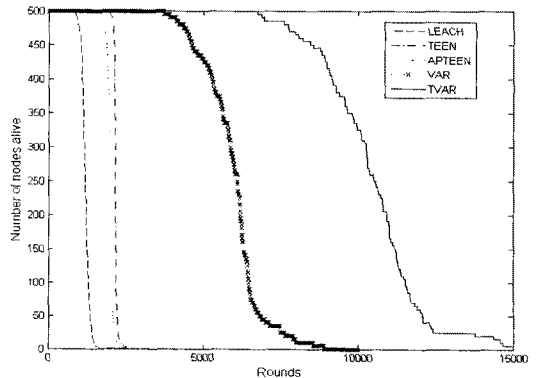


그림 13. 네트워크 수명 비교

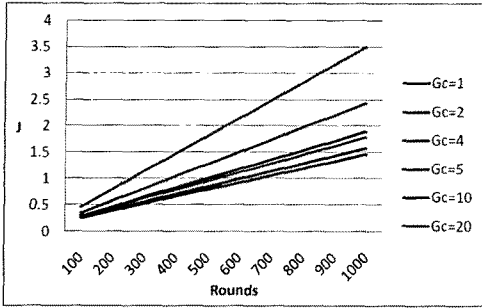


그림 14.  $G_c$ 값의 변화에 따른 소모 에너지

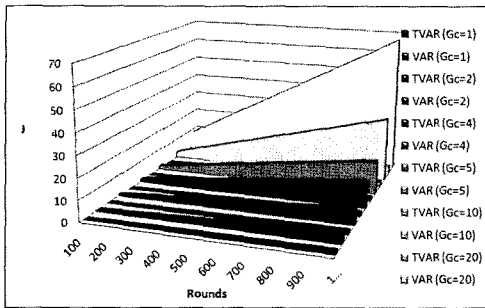


그림 15. VAR과 TVAR의 소모 에너지 비교

4.4.  $G_c$ 값의 변화에 의한 네트워크 소모 에너지

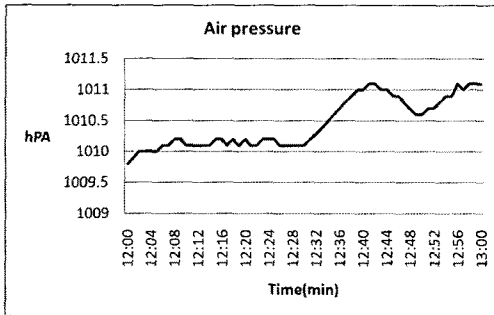
그림 14에 의하면 제안하는 방법은  $G_c$ 값의 증감 여부에 따라 에너지 소모의 차가 크게 나타난다.  $G_c$  값이 최대일 때 Group은 클러스터 멤버 노드의 수와 동일하게 되어 최대의 에너지 소모를 보인다. 그러나 그림 15에 의하면  $G_c$ 가 최대일 때의 에너지 소비는 VAR의 최소 에너지 소비 그래프보다 더 적은 에너지를 소비하는 것을 알 수 있다.

4.5. 수집된 데이터 정확도 비교

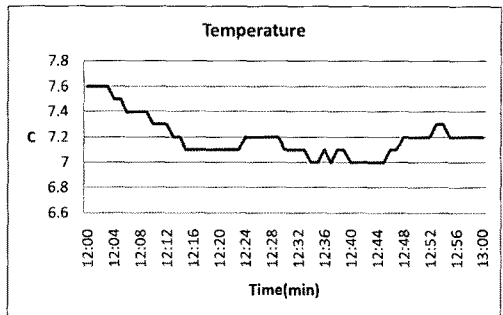
제안하는 방법의 수집데이터 정확도 측정을 위해 아래의 4가지 실험 데이터를 이용하여 실험을 진행하였다. 아래 그림 16의 데이터는 기상청에서 수집되는 데이터[23]이며 동일 지역에서 1분마다 수집되는 일정 시간의 기압, 기온, 풍속, 습도를 나타낸 것이다.

실제로 데이터를 프로토콜별로 수집했을 때 아래의 그림 17과 같은 결과를 얻을 수 있다.

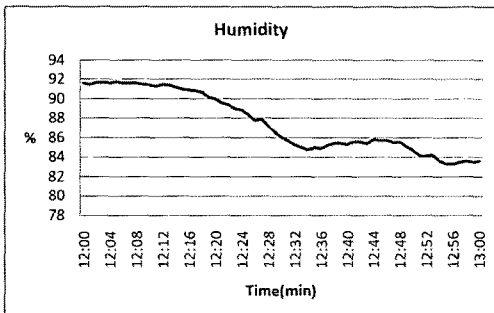
그림 17의 (a)에서는 TEEN과 APTEEN이 측정 데이터가 threshold를 초과하지 못해 일정 시간 데



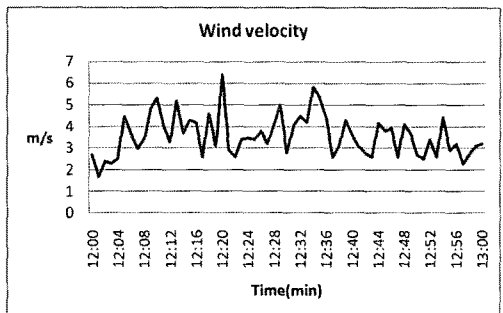
(a) 기압변화



(b) 기온변화

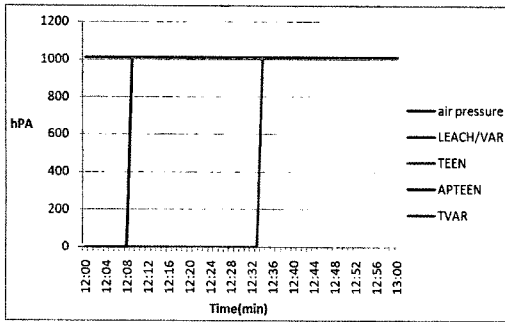


(c) 습도변화

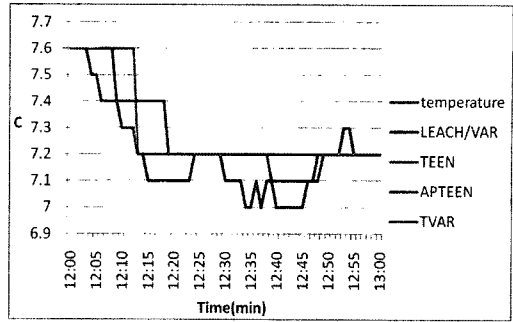


(d) 풍속변화

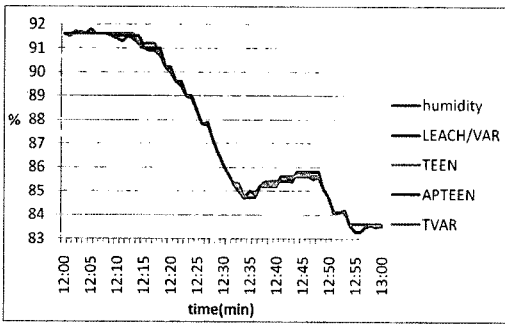
그림 16. 수집된 데이터 그래프



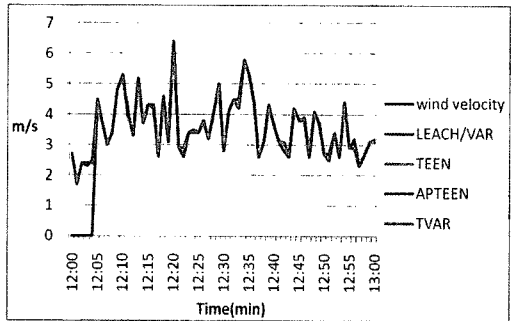
(a) 측정기압



(b) 측정기온



(c) 측정습도



(d) 측정풍속

그림 17. 프로토콜별로 수집된 데이터 오차비교 그래프

이터 수집이 지연된 것을 알 수 있으며 이외의 프로토콜은 큰 오차 없이 수집한 것을 알 수 있다. (b)에서는 proactive 방식인 LEACH와 VAR을 제외한 나머지 프로토콜의 오차를 볼 수 있으며 TVAR은 reactive임에도 TEEN과 APTEEN에 비해 오차가 적은 데이터 수집률을 보인다. (c)는 데이터의 변화 폭이 커서 대부분의 프로토콜이 큰 오차 없이 데이터를 수집하였으며, (d)에서는 TEEN과 APTEEN의 초기 오차를 제외하고 큰 오차 없이 데이터를 수집하였다.

표 2의 결과는 실 데이터 기준 프로토콜별 데이터 수집률을 나타낸다. 표에 의하면 LEACH와 VAR는 모든 데이터를 수집하였음을 알 수 있으며 이는 두

방법이 사전적 네트워크로서 동작하기 때문이다. 따라서 데이터 수집률은 높으나 수명이 급감하게 되는 문제가 있다. 데이터 수집률이 낮게 나타나는 TEEN과 APTEEN은 반응적 네트워크로 동작하므로 임계값 설정에 의해 데이터 수집률이 영향을 받는다. 또한 표의 결과에 의하면 수집하는 데이터의 특성에 따라 수집률이 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

제안하는 방법은 반응적 네트워크의 특성을 갖고 있어 네트워크 생존시간이 연장되었으면서도 데이터 수집률은 높아진 것을 알 수 있다. 이러한 결과가 나타나는 이유는 다음과 같다. 제안하는 방법은 네트워크 수명 증대를 위해 반응적 네트워크의 특성을 도입하고 여기에 인접노드의 그룹화를 통해 노드 가용 에너지를 증가시켰다. 또한 데이터 수집률의 향상을 위해 수집된 값들 사이에 기울기를 설정하여 임계값 초과 전송과 기울기 초과 전송을 사용하였다. 위의 두 가지 방법으로 데이터 수집률을 향상시키면서도 에너지 소모를 낮추었다. 아래의 그림 18은 데이터 수집에 따른 프로토콜별 에너지 소모량(Joule)을 나타낸다.

표 2. 데이터 수집률 비교

	LEACH	TEEN	APTEEN	VAR	TVAR
기압	100%	3%	13%	100%	9%
기온	100%	3%	11%	100%	54%
습도	100%	36%	39%	100%	65%
풍속	100%	75%	75%	100%	87%

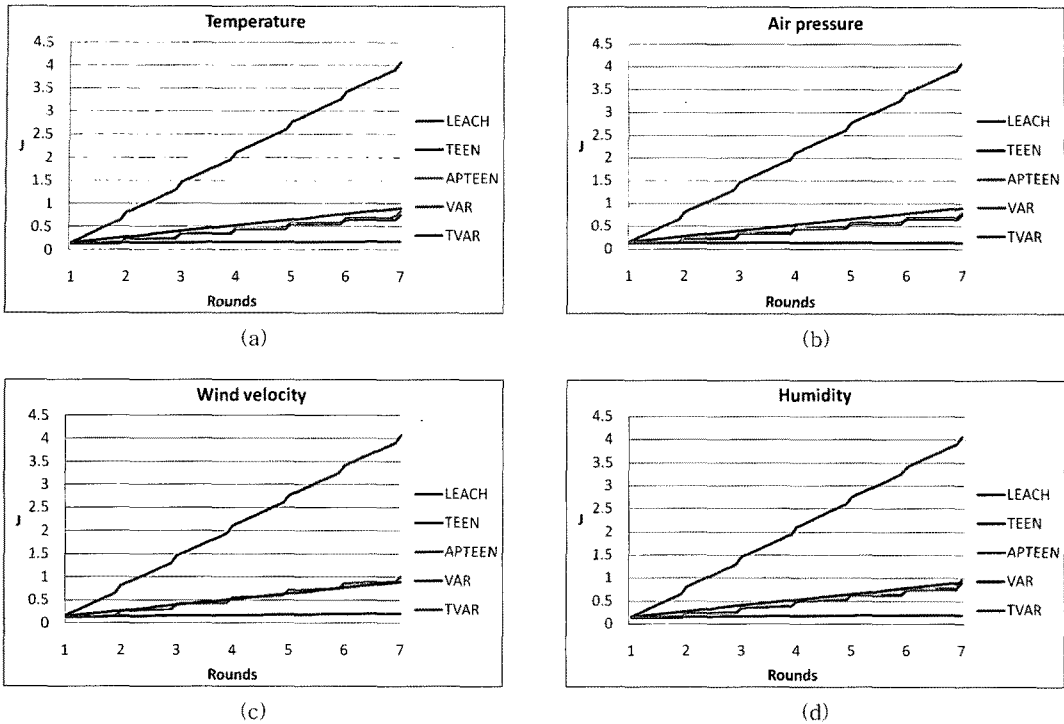


그림 18. 수집 데이터별 소모에너지 비교

그림 18에 의하면 수집된 데이터의 종류와 관계없이 LEACH와 VAR은 고정적으로 에너지 소모가 일어나므로 동일한 에너지 소모를 보인다. 이와 달리 TEEN과 APTEEN 그리고 TVAR은 수집되는 데이터에 따라 에너지 소모 그래프가 변함을 알 수 있다. 또한 에너지 소모 그래프에서 알 수 있듯 TVAR은 적은 량의 에너지 소모를 보이므로 이 프로토콜을 대규모의 센서 네트워크에 적용하였을 경우 상당한 시간의 네트워크 수명 증대를 기대할 수 있다.

## 5. 결론

본 연구는 VAR에 임계값 데이터 전송과 임계 데이터 처리를 추가하여 데이터 수집의 공간 밀도에 따른 처리를 허용함으로써 또 다른 에너지의 효율적인 소비의 연구방향을 제시하고자 하였다. Proactive 네트워크에서 볼 수 있는 주기적인 setup에 소모되는 에너지는 배터리로 동작하는 센서 노드에게 상당한 에너지 손실을 야기한다. 따라서 제안하는 방법은 setup의 주기가 늦어지게 하고 setup에 참여하는 노

드의 수를 최소로 줄여 소모되는 에너지를 최소화 하였다. 또한 중복되는 데이터 전송의 억제를 위해 임계값 기반 처리를 도입하여 최소의 에너지 소비를 갖도록 디자인하였다. 연구 결과에서 보여주듯이 이러한 방법은 불필요한 에너지의 낭비가 줄어들므로 결과적으로 노드가 데이터 전송에 사용할 가용 에너지가 더 많아지게 된다. 또한 수집 데이터의 정확도 또한 이전의 방법에 비해 나쁘지 않은 결과를 보여준다. 이러한 점이 이 연구가 강조하고자 하는 것이다. 또한 4장의 수집 데이터 정확도 분석의 결과 그래프에서 보이는 바와 같이 실제 센서 노드를 이용해서 데이터 수집할 경우, 노드가 수집하는 데이터가 단일 데이터가 아닌 여러 가지 종류의 데이터를 수집한다면 네트워크 최적의 에너지 효율을 기대하기 위해 각 데이터 별로 최적의 임계값을 사전에 분석하여 반영해야 한다는 것을 알 수 있다. 현재 개발되는 하드웨어도 다양한 감지 모듈을 지원하며 최근의 연구들도 단일 데이터가 아닌 여러 가지 형태의 데이터 처리를 감안하여 연구되고 있다. 이후 연구에서는 수집 데이터에 전처리로 수집되는 데이터 특성을 반영

하고 수집된 이후 최적의 후처리를 통해 최소의 전송 빈도와 최적의 데이터 정확도를 갖는 에너지 효율적인 프로토콜을 제시하고자 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] Joseph M. Kahn, Randy H. Katz, and Kristofer S. J. Pister, "Next Century Challenges: Mobile Networking for Smart Dust," *Proceedings of 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," *Proceedings of 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," *Proceedings of 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)," *Proceedings of 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," *Proceedings of INFOCOM 2002*, Vol.3, pp. 1567-1576, 2002.
- [14] [http://www.xbow.com/Support/Support\\_pdf\\_files/MPR-MIB\\_Series\\_Users\\_Manual.pdf](http://www.xbow.com/Support/Support_pdf_files/MPR-MIB_Series_Users_Manual.pdf), Mar. 2009.
- [15] [http://www.maxfor.co.kr/sub5\\_1\\_1.html](http://www.maxfor.co.kr/sub5_1_1.html), Mar. 2009.
- [16] 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.
- [17] M. Rajiv and M. Chittaranjan, "ClusterHead Rotation via Domatic Partition in Self-Organizing Sensor Networks," *COMSWARE 2007*, pp. 1-7, 2007.

[18] 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.

[19] A. Manjeshwar and D. P. Agarwal, "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks," *Proceedings of Parallel and Distributed Processing Symposium, Proceedings International, IPDPS*, pp. 195-202, 2002.

[20] Dongmin Choi, Sangman Moh and Ilyong Chung, "Variable Area Routing Protocol in WSNs: A Hybrid, Energy-Efficient Approach," *Proceedings of High Performance Computing and Communications 10th IEEE International Conference*, pp. 397-403, Sep. 2008.

[21] [http://www.l-3com.com/cs-east/tacsys/ie\\_tacsys\\_datasheet.shtml](http://www.l-3com.com/cs-east/tacsys/ie_tacsys_datasheet.shtml), Mar. 2009.

[22] F. Bouhaf, M. Merrabti and H. Mokhtar, "A Semantic Clustering Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," *Proceedings of CCNC*, Vol. 1, pp. 351-355, Jan. 2006.

[23] [http://www.kma.go.kr/sfc/sfc\\_05\\_03.jsp](http://www.kma.go.kr/sfc/sfc_05_03.jsp), March 2009.



**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(전산학 석사)  
 1991년 City University of New York 전산학과(전산학 박사)

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



**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