

트리기반 색인구조의 분할 방법을 이용한 센서네트워크의 에너지 효율적인 클러스터 생성 방법

김현덕[†], 유보선^{**}, 최원익^{***}

요 약

센서 네트워크에서는 에너지 소비를 줄이기 위해 다양한 계층적 클러스터링 방법이 제안되었다. 그러나 대부분의 연구에서 나타나는 문제점은 노드의 실제 배치를 생각하지 않고 일방적인 그리드 형태의 구조 또는 무작위 적인 클러스터 구조를 구성하는 것이다. 이렇게 구성된 클러스터는 클러스터의 크기와 포함된 노드의 수가 불균형하기 때문에 큰 에너지 효율을 보이기 힘들다. 그래서 본 논문에서는 실제 노드들이 배치가 된 후 R-Tree의 노드 분할 및 병합 알고리즘에 착안하여 보다 더 효율적인 클러스터를 구성할 수 있는 방법인 CSM(Clustering using Split & Merge algorithm)을 제안한다. 다양한 실험결과 CSM은 기존 방법보다 에너지 효율적인 클러스터링을 생성함으로써 최대 1.6배의 에너지 효율을 보였다.

Energy Efficient Clustering Scheme in Sensor Networks using Splitting Algorithm of Tree-based Indexing Structures

Hyunduk Kim[†], Boseon Yu^{**}, Wonik Choi^{***}

ABSTRACT

In sensor network systems, various hierarchical clustering schemes have been proposed in order to efficiently maintain the energy consumption of sensor nodes. Most of these schemes, however, are hardly applicable in practice since these schemes might produce unbalanced clusters or randomly distributed clusters without taking into account of the distribution of sensor nodes. To overcome the limitations of such hierarchical clustering schemes, we propose a novel scheme called CSM(Clustering using Split & Merge algorithm), which exploits node split and merge algorithm of tree-based indexing structures to efficiently construct clusters. Our extensive performance studies show that the CSM constructs highly balanced clustering in a energy efficient way and achieves higher performance up to 1.6 times than the previous clustering schemes, under various operational conditions.

Key words: Split-Algorithm(분할알고리즘), WSN(센서네트워크), clustering(클러스터)

1. 서 론

최근 유비쿼터스 환경이라는 새로운 환경을 맞이

함에 따라 이를 실현하기 위한 많은 연구 및 실험이 이루어지고 있다. 이러한 핵심 기술 중에 하나인 WSN(Wireless Sensor Network)분야 역시 새로운

※ 교신저자(Corresponding Author): 최원익, 주소: 인천광역시 남구 용현 4동 인하대학교 하이테크 511호(402-751), 전화: 032-860-8375, FAX: 032-873-8970, E-mail: wichoi@inha.ac.kr

접수일: 2010년 7월 15일, 수정일: 2010년 10월 1일

완료일: 2010년 10월 18일

[†] 준회원, 인하대학교 일반대학원 정보공학과 박사재학

(E-mail: force80@naver.com)

^{**} 준회원, 인하대학교 일반대학원 정보공학과 박사재학 (E-mail: man82bs@nate.com)

^{***} 정회원, 인하대학교 정보통신공학부 조교수

※ 이 논문은 2007년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-521-D00398)

센서 소재의 개발과 MEMS기술, 저 전력 설계 기술 등의 하드웨어와 이를 응용한 어플리케이션 등의 발전을 통해 다양한 시도를 하고 있다. 기본적으로 WSN은 사람이 접근하지 못하거나 주기적으로 주변 환경이나 사물에 대한 모니터링이 필요한 분야에서 사용되고 있으며 대부분의 센서 네트워크는 기지국 역할을 수행하는 sink노드와 데이터를 수집하게 되는 일반 센서 노드로 구성된다. 센서 네트워크는 대부분 대규모의 센서들로 구성되어 지고 직접 설치가 되는 분야보단 일반적으로 비행기나 헬기 등에서 살포되어 자가 구성을 해야 하는 경우가 많다. 또한 센서들은 사용되어지는 상황의 특성에 따라 재충전이 불가능 한 경우가 대부분이다. 이러한 경우에 따라 센서 네트워크는 몇 가지의 특성을 가지게 된다. 첫째, 센서 네트워크는 한정된 자원을 가지고 있기 때문에 저 전력 통신이 가능해야 한다. 둘째, 센서 네트워크의 센서들은 자가 구성이 가능해야 하며, 셋째, 위급 상황 시 정확한 데이터의 전달을 위해 신뢰성이 높아야 한다. 그리고 마지막으로 대규모로 사용되어 지고 회수가 거의 불가능하다는 점에서 각각의 센서들의 단가 비용은 매우 낮아야 한다[1-3].

위와 같은 제약사항을 해결하기 위해 많은 분야에서 연구가 진행되고 있으며 그 중에서 네트워크 계층(network layer)분야에서는 네트워크의 토폴로지 구성과 이를 이용한 라우팅 프로토콜의 연구가 활발히 진행되어 지고 있으며, 라우팅 프로토콜에서 가장 대표적인 라우팅 프로토콜들은 평면적 구성의 Directed Diffusion[4]과 SPIN[5]등이 있으며, 계층적 구성의 LEACH[6], LEACH-C[7], PEGASIS[8], TE-EN[9]등이 제안되었으며 GPS정보를 이용하여 토폴로지를 구성하는 GAF[10], GEAR[11]등과 QoS(Quality of Service)를 중점으로 한 SAR[12], SPED[13]등이 제안되었다.

평면적 구성의 라우팅 프로토콜은 센서 필드가 확장됨에 따라 늘어나는 데이터 전송량으로 인하여 에너지 효율적인 통신이 힘들다는 단점이 있다. 이러한 평면적 구성의 단점을 해결하기 위하여 제안된 계층적 구성은 각각의 노드 중에 상위 노드를 선출하여 이를 head노드로 선택하고 이러한 head노드가 데이터를 수집하여 sink노드로 전달하는 역할을 하게 된다. 이러한 계층적 통신을 하기 위하여 각각의 노드들은 클러스터를 구성하게 되고 클러스터 안에서 서

로 통신을 하게 된다. 그러나 이러한 클러스터 구성 방법에 있어서 노드들의 위치 및 거리등은 고려하지 않고 일방적인 크기의 클러스터가 구성되고, 많은 수의 노드들이 몰려 있는 곳에서도 하나의 클러스터가 구성되어 그 클러스터 내의 head노드의 심각한 에너지 손실을 가져 올 수 있게 되므로 네트워크의 단절이나 sensing hole등의 문제가 나타날 수 있다[14].

이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 B⁺-tree[15], R-Tree[16]등과 같은 트리기반 색인구조에서 트리의 균형을 맞추기 위해 사용되고 있는 그림 1과 같은 MBR(Minimum Bounding Rectangle)안에서 노드의 분할(split) 및 병합(merge) 기법에 착안한 클러스터 생성방법으로 CSM(Clustering using Split & Merge algorithm)을 제안하고 있다. CSM은 클러스터의 노드수와 노드간의 거리를 고려하여 색인구조의 노드 분할(split) 알고리즘을 기반으로 각 클러스터들의 노드수의 균형을 맞추어 클러스터를 구성한다. 이렇게 구성된 클러스터 내에서는 B⁺-tree [15]등에서 사용된 단말(leaf) 노드들의 linked-list 방법과 유사한 PEGASIS의 체이기법을 응용하여 각 노드들을 체인으로 연결하여 통신이 이루어진다.

CSM은 클러스터를 구성할 때 기존의 클러스터 구성 방법과는 달리 노드들 사이의 거리 및 노드의 수를 파악하여 클러스터를 구성하게 되므로, 기존 방법들에 비해 에너지 소모가 적다. 이와 더불어, 노드의 추가 및 에너지가 소모된 노드들의 삭제 및 재구성을 적은 에너지 소모로 할 수 있으므로 전체 노드들의 수명을 늘릴 수 있는 장점이 있다. 또한, 긴급한 데이터 전송을 필요로 하는 환경에서 체인방식은 큰 전송 지연으로 인해 데이터가 유효한 시간까지 데이터를 전송해야하는 QoS(Quality of Service)를 만족

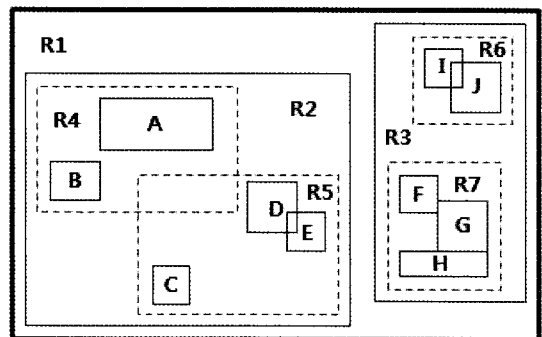


그림 1. R-Tree의 MBR구성

하지 못하는 경우가 대부분이다. 이러한 QoS를 만족하기 위해서 본 논문에서는 EHD(Emergency Head) 노드를 선정하여 신속한 데이터 전송을 할 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 2장에서는 센서네트워크의 라우팅 프로토콜과 이와 관련된 관련연구에 대해서 소개하고 3장에서는 제안방법인 CSM에 대한 동작 알고리즘을 phase별로 나누어 소개하고 4장에서는 제안방법과 기존의 방법들의 에너지 효율성에 대해 시뮬레이션 및 비교 분석을 하게 되고 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

2.1 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

LEACH는 에너지 효율적인 통신을 하기 위해 가장 처음으로 센서 네트워크의 클러스터 구조를 제안한 라우팅 프로토콜 방법이다. LEACH는 각각의 노드가 정해진 수식 1의 공식에 따라 무작위로 클러스터 head노드를 선택하게 되며, 이러한 클러스터 head노드를 중심으로 클러스터군을 형성하게 된다.

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{k}{N - k * (r \bmod \frac{N}{k})}, & \alpha(t) = 1 \\ 0, & \alpha(t) = 0 \end{cases}$$

수식 1. LEACH의 클러스터 HEAD 선택 공식

이렇게 형성된 클러스터 구조 안에서의 클러스터 멤버와 클러스터 head노드는 TDMA(Time Division Multiple Access)를 사용하여 통신을 하고 클러스터 head노드들과 sink노드는 CDMA(Code Division Multiple Access)를 사용하여 통신을 하게 되어 데이터의 충돌로 인한 재전송 에너지 소모를 줄이게 된다. LEACH는 각각의 round마다 클러스터 구조를 새로 생성하게 되며 이러한 round는 두개의 phase로 구성되어 진다. 첫 번째 set-up phase에서는 각각의 클러스터 구조를 생성하게 되고 head노드들은 멤버 노드들에게 TDMA스케줄을 알려주게 된다. 그 후 steady-phase에서는 정해진 TDMA스케줄에 따라 정해진 멤버 노드들은 head노드와 통신을 하게 된다. 그러나 무작위(random)적인 클러스터 head노드의 선택은 불균형한 클러스터 구조를 생성하게 되고 이로 인한 에너

지 소모량은 늘어남과 동시에 클러스터군 안에 속하지 못한 잉여 노드들의 발생이 나타날 수 있다.

2.2 LEACH-C (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy Centralized)

LEACH의 단점을 보완하기 위해 센서들의 위치와 에너지 보유량을 sink노드가 알고 있다는 가정하에 가장 효율적인 클러스터 구조를 생성하게 되는 LEACH-C가 제안되었다. 그러나, LEACH-C는 노드들의 위치를 알기 위해 GPS라는 추가적인 비용과 이를 활용하기 위한 추가적인 에너지 소모가 발생하게 되며 노드들의 에너지 보유량과 위치를 전달 받을 시에 추가적인 over-head가 발생하게 되므로 실제 필드에 뿌려지는 노드들의 목표인 저비용, 저 전력 상황에 적용하기는 힘든 라우팅 프로토콜이다.

2.2 PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems)

PEGASIS는 LEACH와 같은 계층형 라우팅 프로토콜로서, 각각의 노드들이 체인으로 연결되어져 있는 체인기반 프로토콜이다. sink노드에서 가장 멀리 떨어져 있는 노드가 우선 선택이 되고 선택된 노드부터 greedy방식으로 가장 가까운 노드를 자신의 다음 노드로 선택을 하게 된다.

위 과정을 반복하여 마지막 노드까지 그림 2와 같은 체인이 형성되게 되면 가장 멀리 떨어져 있는 노드부터 round별로 head노드로 선출이 되고 이 head노드만 sink노드와 직접 통신을 하게 된다. 따라서 이벤트 발생 시 이를 감지한 노드가 자신의 체인을 따라 head노드까지 데이터를 전달하게 되고 이를 수신한 head노드는 이 데이터를 sink노드에게 직접 전달하게 된다. 이 PEGASIS의 체인방식은 자신과 가

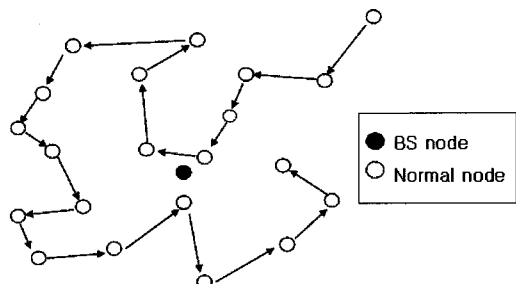


그림 2. PEGASIS의 체인형성

장 가까운 노드들이 이웃 노드로 선출 될 확률이 크므로 그로인해 데이터 송, 수신에 대한 에너지 소모가 적다는 장점이 있다. 그러나 선출된 head노드가 이벤트 감지 영역과 반대편의 위치에 있고 또한 sink 노드와의 거리 또한 멀어지게 되면 데이터를 전달하는데 심각한 에너지 소모가 나타날 수 있으며, 체인을 따라 데이터를 전송함에 따라 데이터 전송 지연이 발생하며, 체인형성 후 노드중 하나가 손상이나 손실이 되게 되며 체인의 끊김 현상으로 인하여 데이터를 더 이상 전달 할 수 없다는 단점이 있다.

2.3 GAF(Geographical adaptive fidelity)

GAF는 GPS정보나 다른 location information을 가지고 가상의 그리드를 생성 하게 된다. 그리드의 크기는 각각의 그리드 안의 모든 노드들이 이웃의 그리드 안의 모든 노드들과 통신이 가능한 범위에서 결정되며 이렇게 결정된 그리드 안에서의 노드들은 정해진 순서에 따라 sleep 모드와 active모드로 바뀌어가며 동작을 하게 된다. GAF방식은 같은 전송 범위 내의 노드들이 동시에 동작하지 않고 정해진 시간에만 동작을 하면서 에너지 효율적인 통신을 한다. 그러나 GPS나 다른 위치 정보를 응용하기 위해 추가적인 비용이나 에너지 소모가 이루어지게 되며 또한 한 그리드 안에서의 노드가 급격한 에너지 방전으로 인하여 동작을 할 수 없을 시에 다음 그리드로 데이터를 전달 할 수 있는 방법이 사라지게 되므로 무효그리드(void grid)가 발생하는 문제점이 발생 할 수 있다.

2.4 Radio Model

WSN에서는 데이터를 송수신 하는 것에 대부분의 에너지가 소모되기 때문에 Radio Model이 매우 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 본 논문에서는 WSN의 가장 대표적인 라우팅 프로토콜인 LEACH 및 LEACH-C에서 사용되어진 그림 3과 같은 first order radio model을 사용하여 실험을 진행하였다.

$$E_{TX}(k,d) = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d^n$$

$$E_{RX}(k) = E_{elec} * k$$

수식 2. 데이터 송, 수신시 사용 에너지

위에 정의되어있는 수식 2에서 E_{TX} 는 데이터 전송 시 소모되는 에너지의 총량을 뜻하며 E_{elec} 는 무선 신호를 처리하기 위한 에너지 소모량이고 k는 데이터의 크기인 bit를 나타내며 ϵ_{amp} 는 무선 전송을 위해 사용된 신호 증폭을 위한 에너지 소모량이며 d는 각 노드사이의 거리를 뜻하며, 마지막으로 E_{RX} 는 데이터를 수신시 사용된 에너지의 총 소모량을 뜻한다.

2.5 R-Tree

R-Tree는 데이터베이스의 다차원 공간데이터의 효율적인 색인을 위하여 제안되었다. 기존의 트리들과는 달리 다차원 공간 객체들에 대한 효율적인 공간 검색을 지원하며, 그림 4, 그림 5와 같이 MBR (Minimum bounding rectangle)이라고 불리는 노드의 분할 및 병합(split&merge)기법을 이용하여 효율적인 공간 색인을 가능하게 하였다.

객체 C, D, E를 포함하고 있는 MBR R5에 객체 K가 새로 삽입되면 하나의 MBR에 포함될 수 있는 최대 객체수인 M(=3)보다 크게 되므로 R5는 분할되어 R5, R8로 나뉘게 된다. 또한, 그림 5와 같이 객체 C가 삭제되면 R8은 최소객체수 m(=1)이 되므로 다른 MBR과 합병이 이루어져야 한다. 따라서, R5와 R8이 합병되어 R5가 된 것을 그림 5에서 알 수 있다. 본 논문에서는 이렇게 공간 색인에서의 삽입/삭제시 노드의 균형을 유지하기 위해 이용되는 분할 및 병합기법을 센서 네트워크의 클러스터 생성에 응용하였다.

3. 제안방법

본 논문에서 제안한 CSM은 크게 세 가지 phase로 나누어지게 된다. 우선 MBR기반 클러스터 구조를

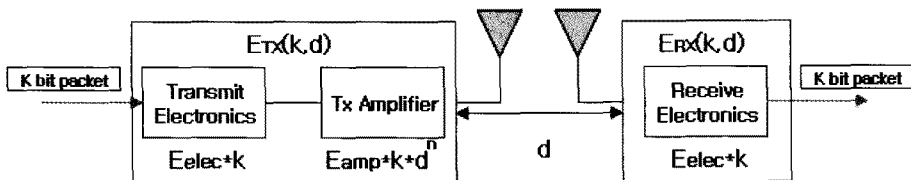


그림 3. First Order Radio Model

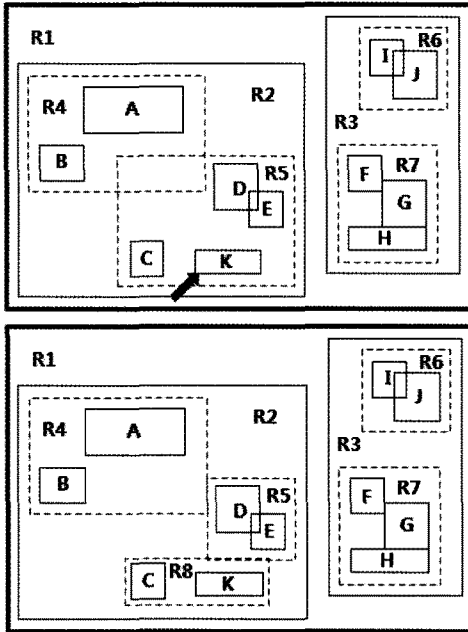


그림 4. Node K 삽입시 R-tree가 split되는 모습(M=3, m=1)

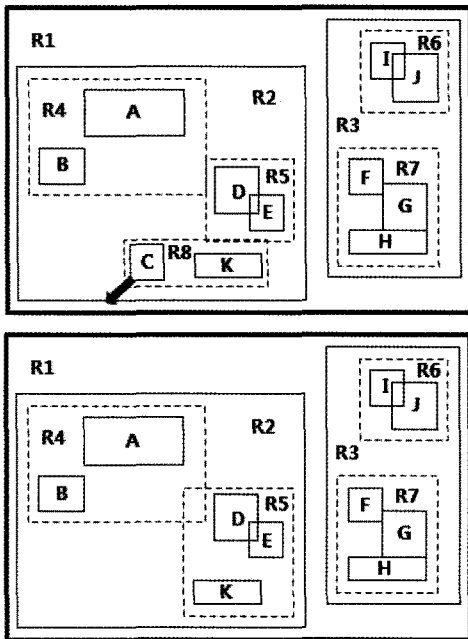


그림 5. Node C 삭제시 R-Tree가 merge되는 모습(M=3, m=1)

생성하게 되는 set-up phase와 이를 이용하여 에너지 효율적인 통신을 하게 되는 communication phase, 마지막으로 위급 상황에 따른 데이터 전송

QoS를 보장하기 위한 emergency phase로 구성되어 있다. 또한 본 논문에서는 안정적인 실험을 위해 LEACH와 PEGASIS에서 사용되어진 몇 가지 가정을 설정한다[17].

1. 노드들의 추가 및 회수가 빈번히 일어나며 노드들은 고정되어 있는 응용 상황을 가정한다.
2. 모든 노드들은 sink노드와 직접 통신이 가능하며 전송에 필요한 거리에 비례하여 소모되는 에너지 소모량은 모두 동일하다.
3. sink노드의 에너지는 무한으로 가정하고, 위치는 고정되어 있다.
4. 센서 노드는 파워의 세기에 따라 대략적인 거리를 측정 할 수 있다.

3.1 CSM set-up phase

CSM에서는 센서 노드들을 R-Tree의 하나의 자식 노드로 간주한다. sink노드는 트리의 최상위 노드인 root노드가 된다. sink노드로부터 가장 가까운 노드부터 차례대로 트리에 삽입을 하고 정해진 거리에 따라 클러스터를 분할하게 된다. 이때 나타나는 문제점으로 한쪽 방향에 따른 일방적인 클러스터 생성시 노드의 분포에 따라 노드의 수 및 클러스터의 크기가 불균형한 클러스터 구조가 생성 될 수 있다. 이로 인해 생성된 클러스터 안에서의 head노드 및 일반노드들은 불필요한 에너지 소모를 할 수 있다. 따라서 이 문제에 대한 해결책으로 그림 6과 같은 set-up message를 통하여 sink노드로부터 가장 멀리 떨어진 노드를 선택 후 sink노드에서와 동시에 양방향으로 정해진 수의 노드가 속하여진 클러스터를 생성한다. 이후 두 개의 클러스터에 속하지 않은 나머지 노드들은 LEACH와 같은 head노드 선출 공식에 따라 head노드를 선출한 후 head노드를 중심으로 클러스터 구조를 설정하게 된다.

그러나 이렇게 설정된 클러스터 구조 역시 LEACH와 같은 문제가 발생 할 수 있다. LEACH의 일방적인 공식에 따른 클러스터 구성은 그림 7과 같이 노드들의 개수와 클러스터 크기를 고려하지 않고 구성된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 R-Tree의 분할알고리즘 중 Quadratic split알고리즘 방법에 착안하여 head노드에 속하여진 노드의 개수(N)가 일정 개수 이상일 경우 클러스터 분할방법을 사용하였다. 이러한 방법은 한 클러스터에 속하여진 노드의

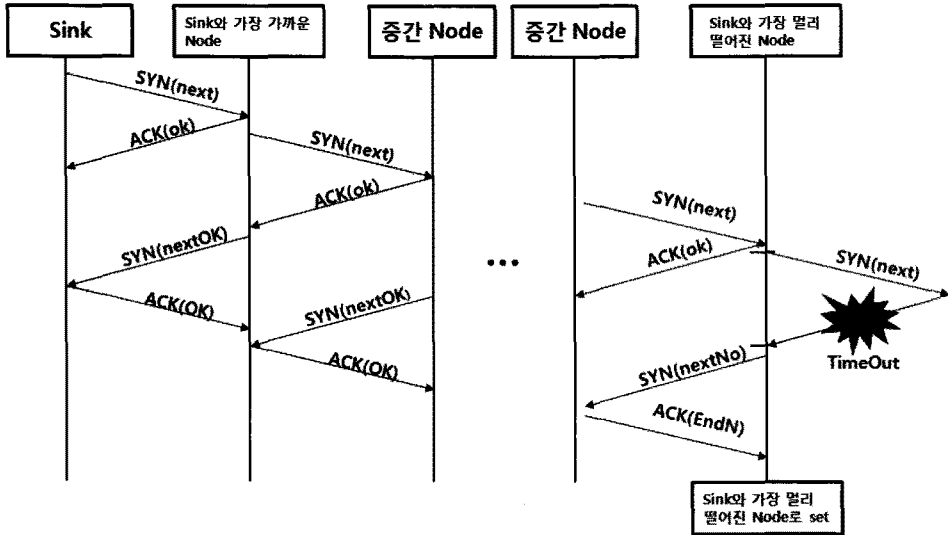


그림 6. 마지막 노드를 찾는 set-up message

개수를 나눔과 동시에 클러스터의 크기도 조절하는 역할을 하게 된다. 또한, 노드의 추가나 삭제 등에 대해 유연한 대처를 할 수 있도록 도와준다. 현재 본 논문에서는 이러한 클러스터 분할을 위한 기준 값인 M값을 20으로 정하였다. 따라서 M+1개의 노드들이 head노드에 속한 클러스터군이 발생하게 되면 그 클러스터군 안에서의 가장 거리가 먼 노드 두 쌍을 정하게 된다. 그리고 정해진 두 쌍을 각각의 클러스터 head노드로 선정하여 새로운 두개의 클러스터 군을 형성할 수 있도록 하였다. 간단히 단계별로 나누게 되면 다음과 같다.

- step 1. sink노드로부터 가장 가까운 노드와 가장 멀리 떨어져 있는 노드를 선택
- step 2. 선택되어진 두 노드로부터 가장 가까운 노드

- 를 정해진 수만큼 선택 클러스터군 으로 설정
- step 3. 클러스터에 속하지 못한 노드들은 LEACH의 클러스터 head노드 선택 공식에 따라 클러스터 head노드를 선택하고 클러스터 구성
- step 4. 클러스터 구성 시 클러스터 군 내의 노드의 수(N)가 그림 7과 같이 M+1이상이면 클러스터 분할
- step 5. 클러스터 분할 시 클러스터 내에서 가장 멀리 떨어진 두 노드를 새로운 클러스터 head노드로 선출 후 클러스터 구성
- step 6. 새로운 노드삽입 시 삽입된 클러스터 내에서의 노드 수 비교 후 M값에 따른 분할여부를 결정

위와 같은 단계를 거치게 되면 그림 8과 같은 MBR클러스터 구조가 생성된다. 이렇게 생성된 클러

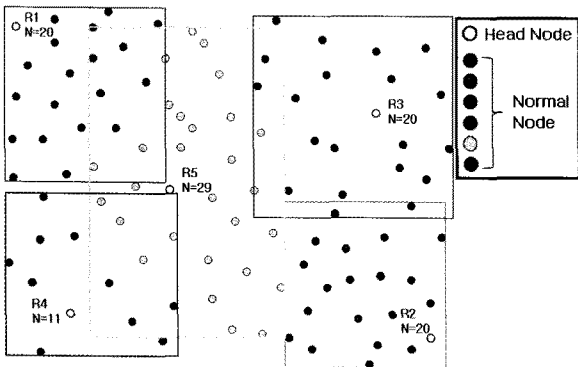


그림 7. 최초 설정된 MBR클러스터

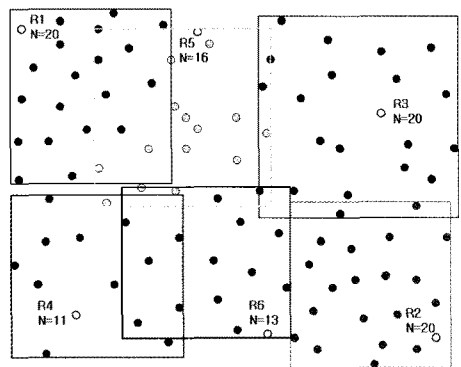


그림 8. M값을 기준으로 분할된 클러스터

스터는 우선적으로 거리에 따라 일정한 클러스터 구조가 생성된 후 노드들의 수(N)에 따라 클러스터를 형성하기 때문에 센서필드 내에서 균형 잡힌 클러스터를 구성 할 수 있다.

3.2 CSM communication phase

CSM에서 MBR클러스터 구조를 생성 후에 동일 MBR안에서의 노드끼리는 그림 9와 같이 PEGASIS의 greedy방법을 이용하여 체인을 형성하게 된다. 이 노드들은 트리 노드의 최하위 노드가 되며 각각의 인접한 클러스터에서의 최하위 노드 중 가장 가까운 노드는 각각 그림 10과 같이 체인으로 연결되어진다. 결국엔 모든 노드끼리 연결이 되며, 센서의 값을 요

청하게 되는 범위 질의 시에 필요한 데이터 값을 일반노드끼리의 연결된 체인을 통하여 데이터를 수집하고 최종 적인 값을 가지고 있는 일반노드에서는 자신의 head노드에게 데이터를 전송하게 된다. 또한, head노드가 고정되어 있을 경우 head노드의 극심한 에너지 소비가 발생하게 된다. 이러한 문제를 방지하기 위해 PEGASIS와 같이 각 round별로 클러스터안의 노드들이 정해진 순서대로 head노드 역할을 수행하게 된다. 이로 인해 클러스터 head노드의 극심한 에너지 소모를 줄일 수 있고, 전체적인 센서 필드의 균형적인 에너지 소모를 유도할 수 있으며 이로 인하여 센서 필드의 수명을 늘릴 수 있다.

PEGASIS와 본 논문에서 적용된 greedy방식을

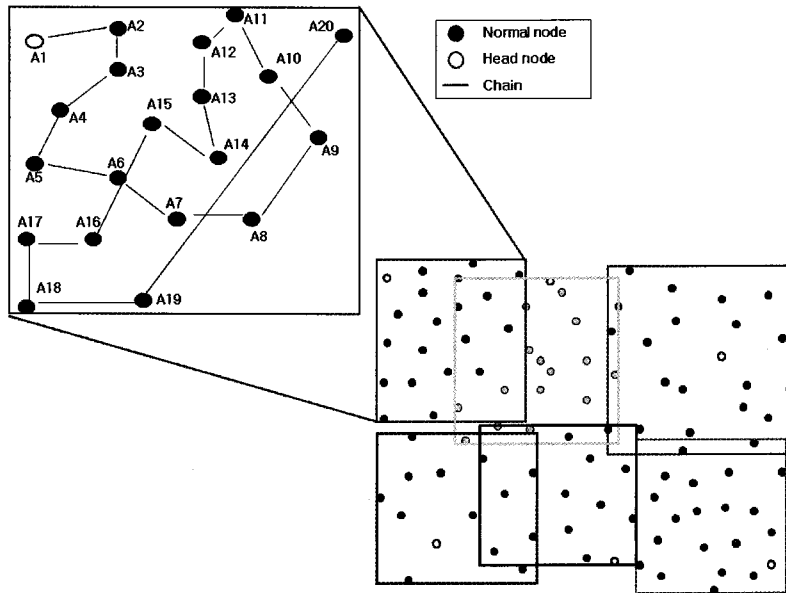


그림 9. MBR안에서의 체인연결

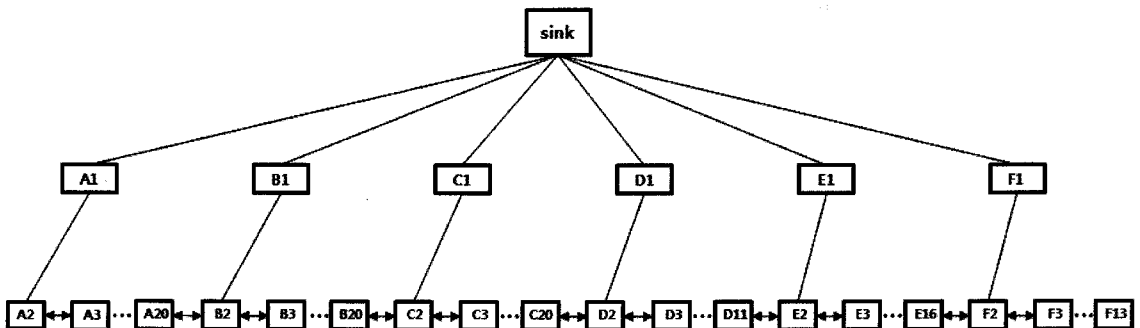


그림 10. 생성된 CSM데이터전송 트리구조

이용한 체인형성에서의 문제점 중 하나는 뒷부분에 형성되는 체인의 길이가 앞부분에 형성된 체인보다 길이가 길어진다는 것이다. 체인의 길이가 길어짐에 따라 전송거리에 따른 불필요한 에너지 소모가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해 여러 방법들이 제안되었다[18,19]. 그러나 이러한 문제점은 PEGASIS의 경우 센서필드안의 모든 노드들이 단 하나의 체인을 형성하고 데이터를 전송하기 때문에 체인의 길이가 심각하게 길어질 수 있다. 그러나 본 논문에서는 정해진 클러스터 안에서의 노드들만 체인으로 묶인 후에 옆의 클러스터와 연결되기 때문에 전송 거리가 크게 길어지지 않는다. 이러한 이유로 전송거리에 따른 에너지 소모가 multi-hop이나 개선된 방안을 적용하였을 경우보다 비슷하거나 적기 때문에 개선된 방법이 아닌 기존의 PEGASIS 체인형성 방법을 유지하였다. CSM communication phase을 간단히 단 계별로 나누게 되면 다음과 같다.

- step 1. 클러스터내의 head노드로부터 PEGASIS의 greedy방식을 응용하여 체인형성
- step 2. 클러스터 안에서의 노드 중 옆의 클러스터 군과 가장 근접한 노드 선출
- step 3. 가장 근접한 노드끼리 체인으로 연결
- step 4. 이벤트 발생시 자신에게 연결된 체인을 따라 데이터 송, 수신
- step 5. HD노드가 데이터 수신시 sink노드에게 데이터 전송
- step 6. 새로운 노드의 삽입 시 새로운 노드가 삽입된 클러스터 안에서만 체인 재구성

3.3 CSM Emergency phase

CSM에서는 정해진 임계값(T)을 이용하여 임계값 이상의 긴급 데이터 패킷의 경우 연결된 체인을 통하여 다음 노드에게 보내는 방법이 아닌 직접 정해진 EHD에게 데이터를 바로 보냄으로 전송지연을 최소화 할 수 있다. 이러한 T값은 사용자가 센서를 활용하는 상황에 따라 정의를 할 수 있도록 한다. 예를 들어 화재감지 시스템에서는 이러한 T값을 60도 이상의 온도로 정하고 모니터링시 온도가 60도 이상일 경우 EHD에게 데이터를 전송하는 방식이다. 이러한 긴급 데이터 전송을 하기 위해서 처음 체인형성 후 자신의 주소 필드 안에 자신과 체인으로 연결된 노드와 정해진 EHD노드의 주소를 기억 하도록 하며 이

러한 EHD노드는 각각의 상황에 따라 정할 수 있다. 예를 들어 기존의 노드들 보다 에너지 보유량이 뛰어난 몇 개의 노드를 중간에 삽입하여 EHD노드로 지정할 수 있으며 이러한 경우가 아닌 경우에는 대부분 클러스터군 안에서 sink노드에서 가장 가까운 노드를 EHD노드로 정한다. 이러한 긴급데이터 전송은 산불이나 지진 등에 대한 급박한 상황에서도 빠른 데이터 전송을 통해 더 큰 피해를 막을 수 있도록 도와준다.

- step 1. 사용자 정의에 따른 EHD노드 선출 후 센서 노드들에게 전파
- step 2. 이벤트 발생시 T이상의 값을 가진 데이터 센싱시 EHD노드에게 데이터 전송, T이하의 값 센싱시 자신에게 연결된 체인을 따라 데이터 전송
- step 3. EHD노드나 HD노드가 데이터 수신시 sink노드에게 데이터 전송
- step 4. 새로운 노드 삽입 시 가장 가까운 거리에 있는 EHD노드에 대한 set-up message확인 후 등록

그림 11은 이벤트로 발생한 데이터 값이 정해진 T이상의 값을 가질 경우 데이터 전송을 나타내는 그림이다. 이벤트 발생시 데이터가 정해진 QoS에 따라 일정시간 안에 도착하지 않는 경우 유용하지 않은 데이터로 판단된다. 이럴 경우 유용하지 않은 데이터 전송에 따른 불필요한 에너지 소모가 이루어질 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 정해진 T값을 넘어서는 이벤트를 감지시 체인을 따라 자신의 옆 노드에게 데이터를 전송하는 것이 아니라 정해져 있는 EHD노드에게 데이터를 직접 전송한다. 데이터를 전송 받은 EHD노드는 직접 sink노드에게 데이터를 전달하는 방법으로 체인전송 방법에서 문제가 되었던 data의 전송지연 문제를 해결 할 수 있다.

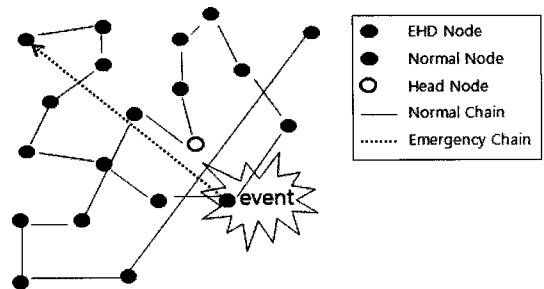


그림 11. T이상의 값을 가진 data발생시 데이터 전송

그림 12는 제안된 방법에 대한 전체적인 동작 순서도를 나타낸 것이다. 순서도 상의 번호 1,3번은 클러스터 head노드가 정해진 후 멤버 노드들을 정하기 위하여 광고를 한 후 이를 수신 한 일반 노드들은 자신이 가장 빨리 수신한 head노드의 광고에 대해 2,4번으로 조인 메시지를 전송하여 클러스터를 구성하게 된다. 또한, 사용자가 정의한 내용에 따라 정해

진 EHD노드는 자신이 EHD노드로 선출되었다는 광고(5번)를 하게 되고 일반노드는 이러한 광고 중 자신에게 가장 빨리 도착한 EHD노드를 자신의 EHD노드로 정하고 테이블에 저장하게 되며 자신이 감지한 이벤트의 데이터 값이 정해진 T값 이상의 값을 가질 경우 테이블에 저장되어 있는 EHD노드로 전송을 하게 된다.

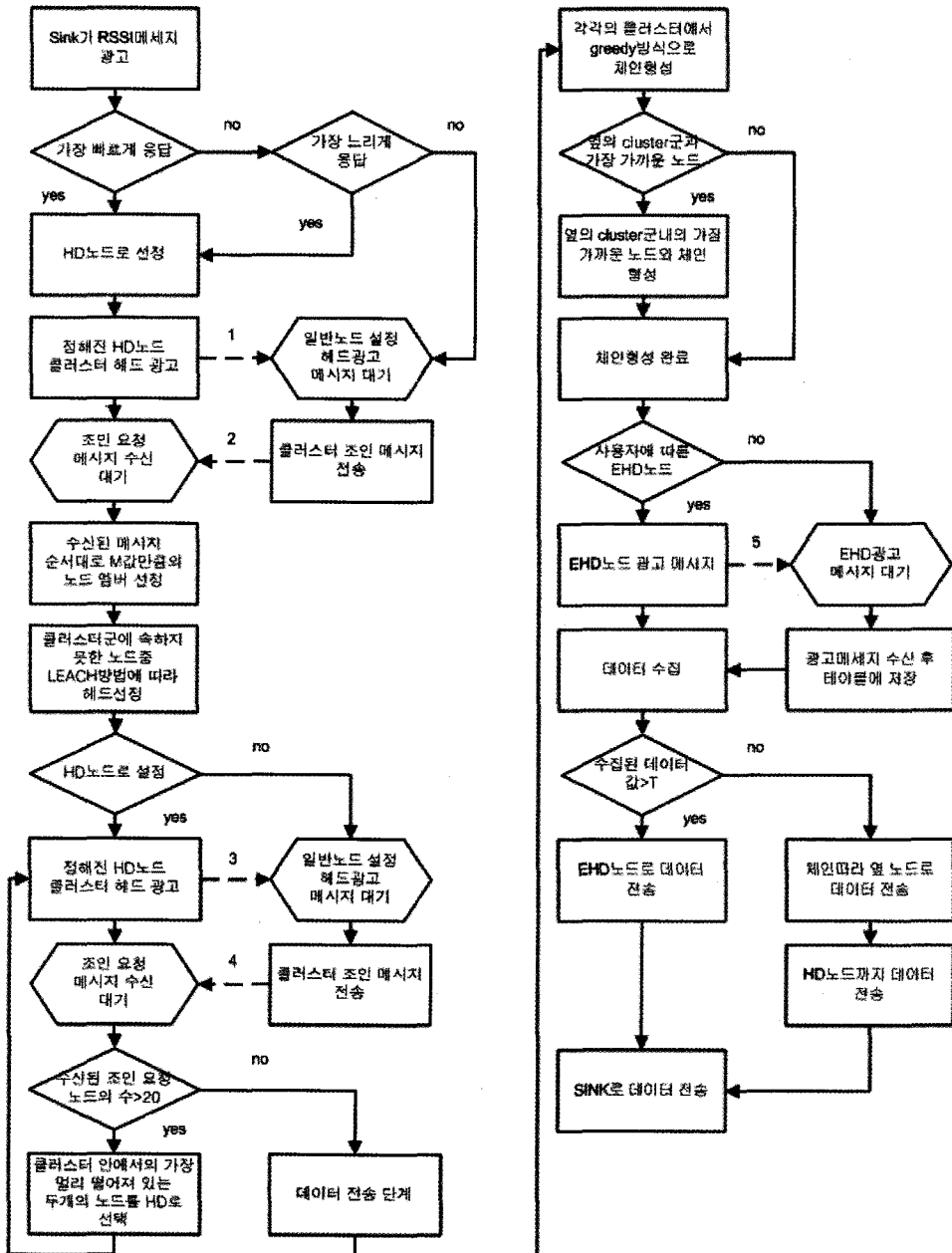


그림 12. 제안방법의 전체적인 동작 순서도

표 1. 실험에 사용된 환경변수

환경변수	값
센서망의 크기 (M*M)	100*100
노드의 수 : N	100
각 노드의 초기에너지	2J
클러스터 Head노드의 수	LEACH : 5 PEGASIS : 1 CSM : 5~10
노드의 데이터 송수신시 소모 에너지량(Eele)	50nJ/bit
무선 증폭 에너지 (Eamp)	100pJ/bit/m ²
데이터의 크기	500byte
M(Node Split)	20

4. 실험결과

실험은 NS2(Network Simulator 2)[20]를 이용하여 다음 표 1과 같은 환경 변수를 적용하여 실험을 진행 하였다.

센서 네트워크의 토폴로지는 NS2의 시나리오 생성기를 이용하여 100*100의 센서 필드 안에서 총 100개의 노드들을 무작위적인 배치와 균일한 배치로 나누어 실험을 진행 하였으며, 기본적인 이벤트 발생은 NS2의 시나리오에 따라 무작위적인 지역에서 매 라운드마다 위치 및 크기가 다른 이벤트가 발생하고, head노드 선택은 LEACH에서 정해진 공식에 따라 매번 바뀐다는 가정을 하고 실험을 진행 하였으며,

뒤에 나오는 그래프들은 실험의 정확성을 높이기 위해 새로운 시나리오를 적용하여 약 50번의 실험을 진행 한 후 평균적으로 작성된 그래프이다. 기본적인 클러스터 head노드의 수는 LEACH에서는 최적의 클러스터 head노드수로 알려져 있는 5개, PEGASIS에서는 기존의 논문에서 사용했던 방법대로 1개, 제안된 CSM방법에서는 클러스터 분할을 위하여 기존 LEACH에서 사용되어진 5개의 head노드수를 기준으로 5개가 모두 분할 할 경우를 대비해 최대 10개까지의 head노드수를 설정한 후 실험을 하였다. 또한 기본적인 에너지 소모량에 필요한 라디오 모델은 앞에서 설명한 first order radio model을 사용하였다.

그림 13은 round별로 노드가 살아있는 수를 나타낸 그래프이다. 노드의 구조에 따른 여러 실험 결과의 값을 평균으로 나타낸 그래프로, 그래프에서 알 수 있듯이 LEACH의 경우 약 330round, PEGASIS의 경우 약 450round, CSM의 경우 약 550round까지 노드들이 생존하는 것을 볼 수 있다. 이 그래프로 인하여 기존의 제안 방법인 CSM이 LEACH나 PEGASIS에 비해 생존율이 높고 첫 노드가 죽는 시점도 느리다는 것을 알 수 있다. 그 결과 CSM이 기존의 방법들보다 좀 더 오랫동안 안정적인 통신을 할 수 있다는 것을 알 수 있다.

그림 14에서 나온 그래프는 세 개의 비교 프로토콜 중 에너지 소모가 가장 심한 LEACH의 모든 에너지가 소모되어 더 이상 동작을 할 수 없다고 판단되

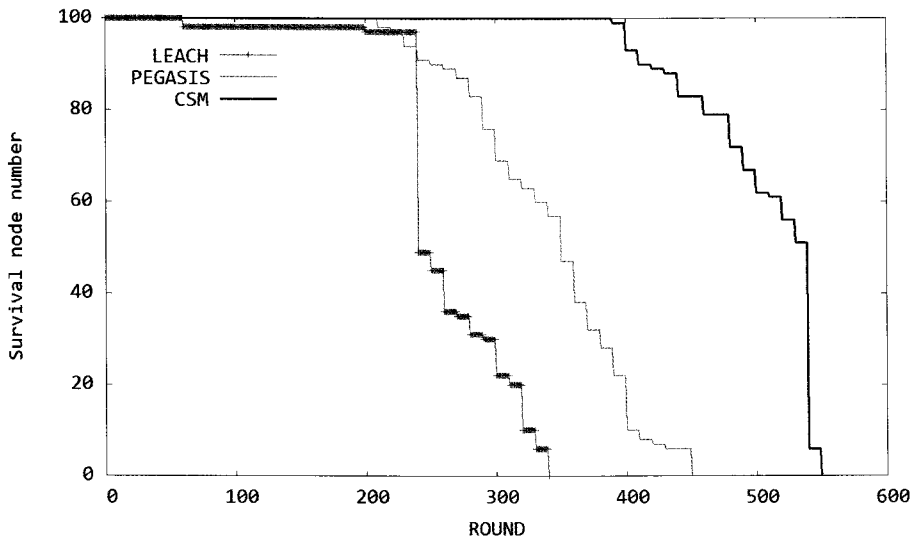


그림 13. round별 생존 노드의 수

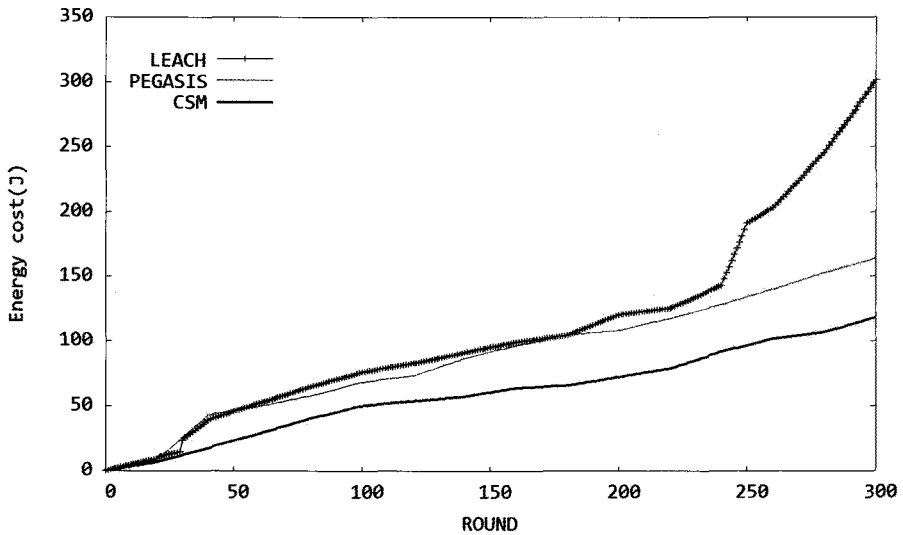


그림 14. 300round 동안의 총 에너지 소모량

는 시점인 300round까지의 에너지 소모량을 나타낸 그래프이다. LEACH의 경우 200round 이상부터 에너지 소모량이 급격히 증가하게 되는데 이러한 이유는 head노드의 에너지 소모량이 다른 노드들에 비해 커지면서 모든 에너지를 소모하게 되는 노드들의 수가 증가함에 따라 데이터 전송에 대한 거리가 길어지기 때문에 전송에 대한 에너지 소모가 급격히 증가하게 된다. 각각의 round별 에너지 소모량에서 보여 지듯이 기존의 방법들이 CSM 방법보다 LEACH의 경우 에너지 소모가 최대 2배 이상, PEGASIS의 경우 약 1.5배의 에너지 소모가 있다는 것을 알 수 있다.

표 2는 각각의 프로토콜들의 평균 데이터 전송 딜레이를 나타내고 있다. 본 논문에서는 데이터의 전송은 무조건 성공한다는 가정을 하였기 때문에, 실제 필드에 적용되는 센서들에 대해서는 이보다 더 큰 딜레이가 발생 할 것으로 보인다. 우선 PEGASIS의 경우 에너지 효율은 기존의 LEACH보다 높지만 체인으로 연결되어 있어 데이터를 전송할 때 체인으로 연결된 모든 노드들을 거쳐 가야 하기 때문에 전송이

지연됨에 따라 긴급 데이터 전송 등에 취약한 문제점이 발생한다. 그러나 제안된 CSM은 클러스터 안에서만 체인을 형성하기 때문에 전체 필드의 체인을 형성하는 PEGASIS에 비해 전송 지연이 감소함과 동시에 에너지 효율을 보일 수 있는 것으로 나타났다. 또한 긴급한 데이터 전송을 필요로 하는 경우 직접 정해진 EHD노드에게 데이터를 전송하여 delay를 최소화 할 수 있도록 하여 사용자가 요구하는 QoS를 만족할 수 있도록 하였다.

그림 15는 새로운 노드가 센서 필드에 삽입 되었을 경우에 이를 적용하기 위한 초기 set-up에 필요한 에너지이다. 기존 방법들의 경우 센서의 삽입에 대한 재구성 방법이 없기 때문에 LEACH에서는 한 round가 지난 후에 다시 클러스터를 형성하는 과정

표 2. 프로토콜별 평균 데이터 전송 시간

	평균 전송 시간	긴급데이터 전송시간
LEACH	0.97s	0.97s
PEGASIS	12s	12s
CSM	4s	0.97s

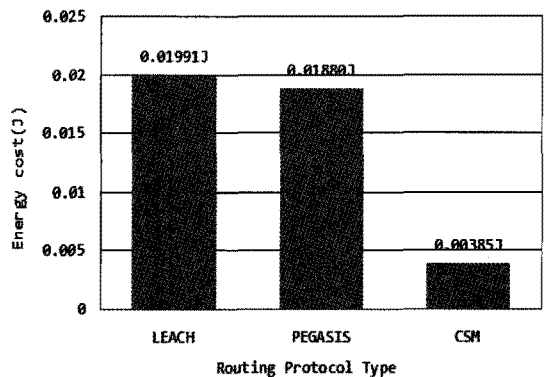


그림 15. 초기 set-up시에 소모되는 에너지량

에서 모든 노드들을 인식하고 새로운 클러스터군을 형성하게 되며, PEGASIS의 경우에는 기존의 체인들을 모두 삭제하고 다시 처음부터 체인을 형성하게 되므로 모두 에너지 소모가 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 CSM은 클러스터군이 정해져 있는 상태에서 센서노드가추가된 클러스터군에서의 체인만 삭제하고 다시 설정하게 되므로 에너지 소모가 기존의 방법들에 비해서 적다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문은 WSN에서 에너지 효율적 통신을 위해 제안되었던 LEACH나 PEGASIS등의 프로토콜에서 나타나는 문제점을 보완함으로써 더욱 효율적인 통신을 할 수 있는 방법인 CSM을 제안하였다. 기존의 LEACH에서 나타나는 일반적인 공식에 의한 클러스터 구조를 거리와 노드의 수에 따라 더욱 효율적으로 구성 할 수 있도록 하였으며 기존의 PEGASIS에서 나타났었던 데이터의 전송 딜레이와 체인의 거리가 늘어나는 문제점을 클러스터를 분할하고 그 안에서만 체인을 형성하는 방법과 동시에 EHD를 설정하여 해결함으로써 보다 빠르고 에너지 효율적인 통신을 하도록 하였다. 또한 잦은 노드들의 에너지 소모와 센서 필드의 확장에 따른 문제에서 기존의 방법들은 정해진 노드들의 수에서만 동작 할 수 있게 설계되었지만 제안된 CSM에서는 기존의 방법들과는 다르게 노드의 추가 및 삭제가 용이하며 이로 인해 발생하는 추가적인 에너지 소모도 적은 것으로 나타났다. 그러나 많은 수의 노드가 동시에 여러 클러스터에 삽입될 경우에는 다른 방법들과 비슷한 에너지 소모가 나타나게 된다. 그러나 이러한 클러스터 재구성에 필요한 에너지 소모는 최악의 경우에도 다른 방법들과 최악의 경우 비슷하거나 평균적으로는 적은 에너지 소모를 필요로 하는 것으로 나타났다. 결과적으로 CSM은 LEACH비해 약 1.6배 그리고 PEGASIS에 비해 약 1.3배의 센서 필드 수명을 연장 하였으며, 데이터 전송에 따른 전송 지연을 줄임으로서 좀 더 신속하게 센싱된 데이터를 전송 할 수 있는 장점이 있다. 또한 최근 MEMS의 발달로 인하여 노드들의 위치정보를 쉽게 알 수 있고, 노드들의 이동이 가능해졌다. 이에 따라 위치 정보와 이동성을 고려하여 R-tree계열의 다양한 분할알고리즘을 적용 하고, 동

시에 TinyDB[21,22]와 결합하여 더욱 효율적인 query처리 및 multi-query처리를 할 수 있도록 연구할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] Ian F.Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankar-asubramaniam, and Erdal Cayirci "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, August 2002.
- [2] Kemal Akkaya and Mohamed Younis "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," *Ad-Hoc Networks* 3, p.325-327, 2005.
- [3] Jamil Ibriq and Imad Mahgoub "Cluster-Based Routing in wireless Sensor Networks : Issue and Challenges," *SPECTS '04*, 2004.
- [4] C. Intangonwivat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," *IEEE/ACM Transaction on Networking*, Vol. 11, No. 1, pp.2-16, Feb 2003.
- [5] J. Kilik, W. Rabiner, and H. Balakrishnan "Adaptive Protocols for Information Dissemination in Wireless Sensor Networks," *Proc. ACM Mobicom'99*, pp.174-185, 1999.
- [6] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Network," *IEEE HICSS*, Jan. 2000.
- [7] W. Heinzelman, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE ToWC*, Vol. 1, No. 4, 2002.
- [8] S. Lindsey and C. Raghavendra, "PEGASIS : Power-Efficient Gathering in Sensor Information System," *IEEE Aerospace Conf. Proc*, Vol. 3, pp.1125-1130, 2002.
- [9] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," *1st Interna-*

tional Workshop on Parallel and Distributed Computing Issue in Wireless Networks and Mobile Computing, April 2001.

[10] Y. Xu, J. Heidemann, and M. Shi "Geography informed energy conservation for adhoc routing," *MobiCom'01*, 2001

[11] Y. Yu, R. Govindan, and D. Estrin, "Geographical and Energy Aware Routing: a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks," *UCLA Computer Science Department Technical Report UCLA/CSD-TR-01-0023*, 2001.

[12] K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi, and G.J. Pottie "Protocoals for self organization of a wireless sensor network," *IEEE Personal Communication*, Vol. 7, No. 5, pp. 16-27, 2000.

[13] T. He, J.A. Stankovic, C. Lu, and T. Abdelzaher "SPEED: A stateless protocol for real-time communication in sensor networks," *International Conference on Distributed Computing Systems*, 2003.

[14] 최해원, 김상진, 류명춘 "계층형 무선센서네트워크에서 노드 연결성을 이용한 라우팅 프로토콜" *한국통신학회논문지*, 제 35권, 제3호, 2010.

[15] Douglas Comer. "The Ubiquitous B-Tree," *ACM Computing Surveys*, 11(2), 1979.

[16] Antonin Guttman "R-Tree: A Dynamic Index Structure for Spatial Searching," *Prco. of SIGMOD*, 1984.

[17] Yong-hu Han, Seon-Ho Park, Jung-HO Eom, and Tai-Myoung Chung, "Energy- Efficient Distance Based Clustering Routing scheme for Wireless Sensor Networks," *ICCSA2007, LNCS 4706 Part II*, pp. 196-206, 2007.

[18] 서창진, 양진웅 "개선된 센서 라우팅 방식 : A-PEGASIS," *정보과학회논문지*, 정보통신 제 34권, 제6호, 2007.

[19] 김현덕, 최원익 "체인기반 프로토콜에서 노드의 거리에 따른 예비 헤드노드 선출 방법," *멀티미디어학회 논문지*, 제 12권, 제9호, 2009.

[20] <http://www.isi.edu/nsnam/ns>

[21] S. Madden, M. Franklin, J. Hellerstein, and W. Hong, "The design of an acquisitional query processor for sensor networks," *SIGMOID*, 2003.

[22] S. Madden, M. Franklin, J. Hellerstein, and W. Hong, "TAG: A Tiny Aggregation Service for Ad-Hoc Sensor networks," *OSDI 2002*.



김 현 덕

2009년 인하대학교 일반대학원 정보공학과 졸업(공학석사)
 2009년~현재 인하대학교 일반대학원 정보공학과 박사재학
 관심분야: 센서 네트워크, 애드 혹 네트워크, 데이터 베이스



유 보 선

2008년 인하대학교 정보공학과 졸업(공학사)
 2010년 인하대학교 일반대학원 정보공학과 졸업(공학석사)
 2010년~현재 인하대학교 일반대학원 정보공학과 박사재학

관심분야: 데이터 베이스, GPU, 센서네트워크



최 원 익

1996년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사)
 1998년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
 2004년 서울대학교 대학원 전기 컴퓨터공학부 졸업(공학박사)

2006년~현재 인하대학교 정보통신공학부 조교수
 관심분야: 모바일/유비쿼터스 컴퓨팅, GIS/LBS, 텔레매틱스