

## 무선 센서 네트워크를 위한 에너지 효율적인 계층적 클러스터링 알고리즘

차 시 호\* · 이 중 언\*\* · 최 석 만\*\*\*

### *An Energy Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks*

Cha, Si-Ho · Lee, Jong-Eon · Choi, Seok-Man

#### 〈Abstract〉

Clustering allows hierarchical structures to be built on the nodes and enables more efficient use of scarce resources, such as frequency spectrum, bandwidth, and energy in wireless sensor networks (WSNs). This paper proposes a hierarchical clustering algorithm called EEHC which is more energy efficient than existing algorithms for WSNs. It introduces region node selection as well as cluster head election based on the residual battery capacity of nodes to reduce the costs of managing sensor nodes and of the communication among them. The role of cluster heads or region nodes is rotated among nodes to achieve load balancing and extend the lifetime of every individual sensor node. To do this, EEHC clusters periodically to select cluster heads that are richer in residual energy level, compared to the other nodes, according to clustering policies from administrators. To prove the performance improvement of EEHC, the ns-2 simulator was used. The results show that it can reduce the energy and bandwidth consumption for organizing and managing WSNs comparing it with existing algorithms.

Key Words: Wireless sensor network, WSN, Clustering, Energy efficient, Self-organizing, Self-managing

## I. 서론

무선 센서 네트워크(WSN)는 다양한 환경 데이터를 수집하여 이 정보를 싱크 노드나 기지국으로 전달하는

다양한 센서 노드들로 구성된다. 이러한 센서 노드들은 배터리로 동작하기 때문에 컴퓨팅 파워뿐만 아니라 전송 파워 및 대역폭의 한계를 가지고 있다. 센서 노드의 수집 정보는 인프라가 없는 멀티 홉 구조를 통해 기지국으로 라우팅되고, 기지국은 인터넷이나 위성을 통해 작업 관리자와 통신한다. 이러한 WSN의 설계는 장애 허용, 확장성, 하드웨어 제약, 빈번한 토폴로지 변화, 전력 소모

\* 세종대학교 정보통신공학과 연구교수

\*\* 삼성팔레스기술연구소 책임연구원

\*\*\* 서울디지털대학교 교수

등의 요소에 영향을 받게된다[1,2]. 따라서 WSN에서 인접한 노드간의 유사한 정보의 중복 전달로 인한 대역폭 및 에너지의 낭비를 줄이기 위하여 데이터 융합 및 결합이 필요하다. 이러한 이유로 클러스터링 기반 계층적 라우팅 기법은 많은 장점을 갖는다. 즉, 지역적인 클러스터를 형성함으로써 인접한 지역에서 발생한 사건에 대한 유사한 정보를 클러스터 헤드로 전송하고, 클러스터 헤드는 해당 데이터들을 융합하여 보다 에너지 효율적으로 라우팅을 수행하게 함으로써 비효율적인 데이터 플러딩으로 인한 에너지와 대역폭 등의 자원 낭비를 줄일 수 있다[3,4].

본 논문에서는 이러한 WSN의 부족한 에너지, 컴퓨팅 파워 및 대역폭과 같은 자원들의 소비를 효율적으로 줄이기 위한 계층적 클러스터링(EEHC: Energy Efficient Hierarchical Clustering) 알고리즘을 제안한다. EEHC는 센서 노드들간의 통신비용과 센서 노드들과 기지국간의 통신비용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 WSN에 대한 자율적 구성과 센서 노드들에 대한 관리비용을 줄일 수 있다. 따라서 EEHC에 따라 구성된 WSN은 에너지 효율적인 방법으로 네트워크의 자율적 구성뿐만 아니라 자치적인 관리를 수행할 수 있다. EEHC 알고리즘은 센서 노드들의 관리비용과 노드들 간의 통신비용을 줄이기 위해 노드들의 잔존 배터리량에 기반하여 클러스터 헤드를 선출하고 리전 노드를 선택한다. 클러스터 헤드와 리전 노드들의 역할은 모든 개개의 센서 노드 수명을 늘리고 부하를 균등하게 하기 위하여 노드들간에 순환하게 된다. 이를 위해 EEHC는 관리자로부터의 클러스터링 정책에 따라 잔존 에너지 레벨이 높은 노드들을 클러스터 헤드로 선택하기 위해 주기적인 클러스터링을 수행한다. 본 논문에서는 EEHC의 우수성을 평가하기 위하여 ns-2 시뮬레이터[5]를 사용하였으며, 시뮬레이션 결과 대표적인 클러스터링 알고리즘인 LEACH[6]와 LEACH-C[7]에 비해 EEHC가 WSN의 클러스터링과 관리에 있어서 보다 적은 에너지와 대역폭을 사용함을 보였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문과

관련된 관련 연구를 기술하고, 3장에서 EEHC 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 EEHC에 대한 시뮬레이션 결과를 설명하고, 5장에서 결론을 기술한다.

## II. 관련연구

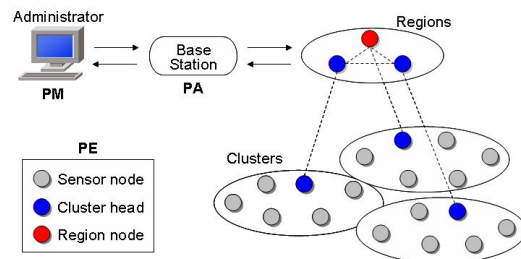
센서 네트워크를 위해 제안된 대표적인 클러스터링 기법으로는 LEACH, TEEN[8], LEACH-C, APTEEN[9] 등이 있다.

LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[6]는 클러스터링 기반 라우팅 기법으로 클러스터 헤드가 클러스터의 멤버 노드들로부터 데이터를 수집하여 데이터 융합을 통해 데이터를 모아서 직접 싱크 노드로 전달한다. 이 기법의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들에 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위해 에너지 집약적인 기능을 하는 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고, 전체적인 통신 비용을 줄이기 위해 클러스터 헤드에서 클러스터 내의 데이터를 모아 지역적으로 융합하는 것이다. 현재 라운드 동안 클러스터 헤드가 되기로 결정된 센서 노드는 이를 이웃 노드들에게 알리고, 이를 수신한 비 클러스터 헤드 노드들은 수신 강도 등의 파라미터를 기반으로 클러스터 헤드를 선택하게 된다. 클러스터가 형성되면 클러스터 헤드는 자신의 멤버 노드들의 데이터 전송 TDMA 스케줄을 브로드캐스트하고 지속상태 단계로 들어간다. 지속상태 단계에서 각 클러스터 멤버 노드들은 자신의 전송 슬롯 동안에만 데이터를 전송하고 나머지 슬롯 동안에는 수면(sleep) 모드로 동작하여 에너지 소모를 줄이게 된다. 이러한 LEACH 기법에서는 클러스터 내부에서는 TDMA를 사용하여 노드간 간섭을 피하고 클러스터간 간섭을 피하기 위하여 각 클러스터들이 서로 다른 확산 코드를 사용하는 CDMA 방식을 사용한다. LEACH는 매 라운드마다 일정한 수의 클러스터를 구성하고 클러스터 헤드가 고르게 배치되는데 그 목적이 있으나, 이렇게 노드 스스로 클러스터 헤드를 선출하는

방법으로는 이를 보장할 수 없으므로 싱크 노드나 기지국에서 센서 노드들의 위치 정보와 에너지 보유량을 고려하여 클러스터와 클러스터 헤드를 결정하는 LEACH-C 기법이 제안되었다.

LEACH-C(LEACH Centralized)[7]는 LEACH의 개선된 기법으로 기지국과 센서 노드들 간의 데이터 전달 과정은 동일하지만, LEACH와 달리 클러스터 헤드를 선출함에 있어서 기지국이 센서 노드들의 위치 정보와 에너지 보유량에 따라 클러스터 헤드를 선출하는 방식을 사용한다. LEACH-C에서는 우선 각 노드들이 자신의 위치 정보와 에너지 수준을 포함하는 메시지를 기지국으로 전송한다. 이 때, 메시지를 받은 기지국에서 모든 노드들에 대한 평균 에너지 수준을 계산한 뒤, 위치 정보를 고려하여 클러스터 헤드를 결정하고 클러스터 헤드 ID를 포함하는 메시지를 브로드캐스트하게 된다. 이 메시지를 받은 센서 노드들은 자신의 ID와 메시지에 포함된 클러스터 헤드 ID를 비교하여 같을 경우 자신의 ID를 클러스터 헤드 ID로 결정한다. 그 후, 나머지 센서 노드들은 클러스터 헤드들의 전파 강도에 따라 자신이 속할 클러스터 헤드를 결정하고, 각 클러스터 헤드는 자신의 클러스터 멤버 노드들에게 TDMA 스케줄을 전송함으로써 클러스터가 구성된다. 이와 같은 클러스터링 방식은 사전에 노드들의 위치 정보를 알고 있기 때문에 클러스터 헤드를 적절히 분산시킬 수 있어서 보다 견고한 네트워크 구성이 가능하지만, 각 센서 노드들이 기지국과 빈번한 통신을 수행하게 되므로 통신비용이 증가하게 된다.

<그림 1>과 같이 정책 관리자(PM), 하나 이상의 정책 에이전트(PA), 많은 수의 정책 실행자(PE)들로 구성된다. PM은 다양한 정책들을 생성하고 관리하기 위해 WSN 관리자에 의해 사용된다. 여기에서 정책이란 WSN의 구성 및 재구성 또는 특정 행위의 실행 등을 위해 센서 노드의 상태와 행위를 제어하기 위한 규칙들의 집합을 의미한다. PA는 PM으로부터 전달된 정책을 해석하고 그 정책을 실행할 PE들을 선별하여 해당 PE들로 정책을 전달하는 역할을 수행한다. 센서 노드들 상에서 수행되는 정책의 실행은 PE에 의해 제어된다. 즉, 리전 노드뿐만 아니라 클러스터 헤드를 포함한 모든 센서 노드들에서는 PE가 자신에게 부여된 정책에 따라 특정 행위를 수행하게 된다. PE는 노드의 상태가 변경되었거나 현재 발생된 이벤트가 자신에게 할당된 정책과 일치하는 경우에 특정 이벤트에 대한 정보를 계속적으로 기지국으로 전달하는 대신에 자신이 가진 정책 규칙에 따른 행위만을 수행함으로써 자동적인 상태변화에 적응하며, 기지국으로의 전송을 수행하지 않음으로써 에너지를 효율적으로 줄일 수 있다.



<그림 1> 정책 기반 자율적 관리 프레임워크 구조

### III. EEHC 알고리즘 설계

#### 3.1 자율적 관리 프레임워크 구조

본 논문에서 설계된 EEHC 알고리즘은 [3]과 [10]에서 보인 WSN을 위한 자율적 관리 프레임워크의 하부구조 네트워크를 구성하기 위해 사용된다. 이 프레임워크는

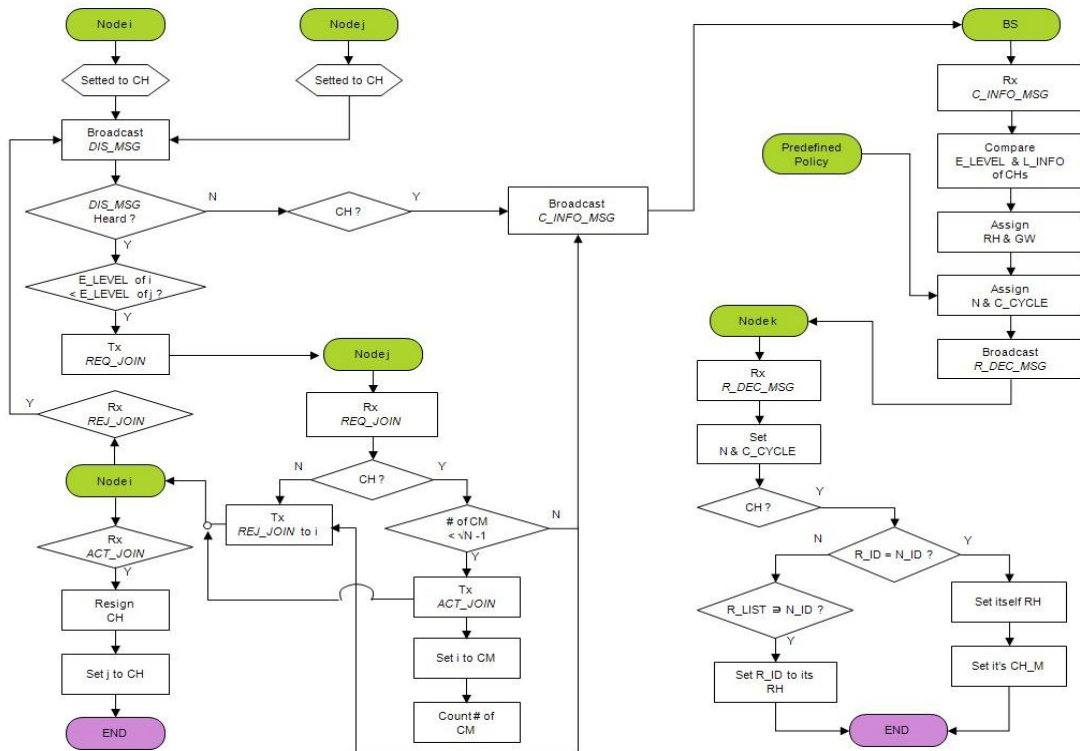
#### 3.2 EEHC 알고리즘 개요

EEHC 알고리즘은 <그림 2>에서와 같이 크게 2 단계 과정으로 구성된다. 1 단계에서는 에너지 보유량의 수준을 고려하여 센서 노드가 스스로 클러스터 헤드(CH)를 선출하는 방식을 취한다. 2 단계에서는 PA가 1 단계에서 선출된 CH의 위치와 에너지 수준을 고려하여 중앙 집중

적인 방식으로 리전 노드(RN)를 선택한다. 이렇게 EEHC 알고리즘에 의해 구성된 WSN은 지역적 단위로 선택적인 관리가 가능한 구조를 가지게 된다. 클러스터링 절차는 모든 센서 노드의 위치가 고정되어 있고, 자신의 위치를 알고 있으며, 서로 다른 에너지 수준을 가지고 있다고 가정하고, 최소의 모든 센서 노드의 수(N)를 알고 있다고 가정한다.

EEHC에서 클러스터는 서로 2 홉 내에 도달할 수 있는 노드들의 집합이다. 따라서 각 클러스터의 모든 노드들은 CH로부터 1 홉 거리 내에 위치한다. 각각의 노드들은 자신의 노드 ID(N\_ID)와 CH ID(C\_ID) 그리고 잔여 에너지량의 정보를 담고 있는 디스커버리 메시지(DIS\_MSG)를 주기적으로 브로드캐스트한다. 각각의 모든 노드들은 C\_ID를 N\_ID로 설정하여 초기 클러스터링 수행시 모든 센서 노드들은 모두 CH인 상태에서 클러스

터링이 수행된다. 어떤 임의의 노드 i와 j가 있다고 할 때, 노드 i의 잔여 에너지 수준(E\_LEVEL)이 노드 j의 E\_LEVEL보다 작으면 노드 i는 노드 j의 멤버 노드가 되기 위해서 클러스터 조인 요청 메시지(REQ\_JOIN)를 전송한다. 만약 노드 j가 이미 CH가 아닌 경우에는 노드 j는 노드 i에게 클러스터 조인 거절 메시지(REJ\_JOIN)로 응답한다. 노드 j가 현재 아직 CH인 경우에, 노드 j는 자신의 클러스터 멤버의 수가  $\sqrt{N}-1$  보다 적은 경우에는 노드 j는 노드 i로 클러스터 조인 수락 메시지(ACT\_JOIN)를 전송하고, 그렇지 않은 경우(클러스터 멤버의 수가  $\sqrt{N}-1$ 보다 큰 경우)에는 노드 j의 클러스터링을 종료하고 노드 i로는 REJ\_JOIN 메시지를 전송하고 기지국(BS)으로 클러스터 정보 메시지(C\_INFO\_MSG)를 전송한다. 노드 i가 ACT\_JOIN 메시지를 수신한 경우에는 노드 i는 자신의 C\_ID를 노드 j의 N\_ID로 설정한다.

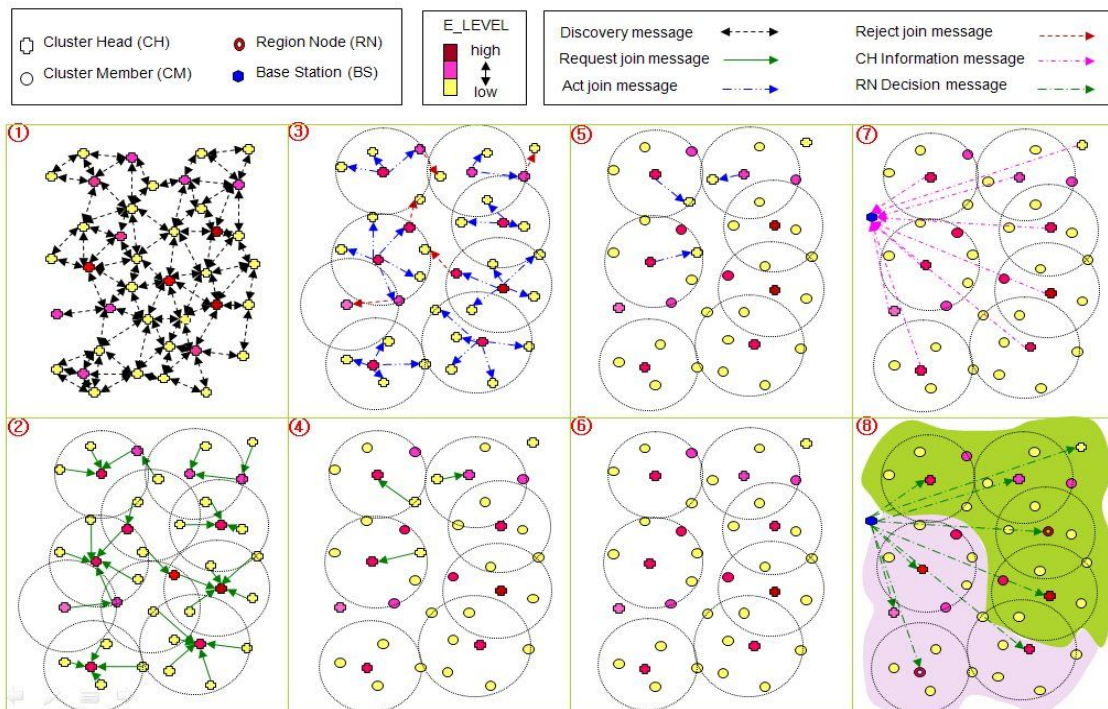


<그림 2> EEHC 알고리즘 순차도

이와 반대로 노드  $i$ 가 *REJOIN* 메시지를 받은 경우에는 초기 상태로 돌아가 *DIS\_MSG* 브로드캐스팅부터 해당 절차를 반복하게 된다. 이러한 과정은 병렬적으로 모든 센서 노드들에서 동시에 이루어지게 된다. 클러스터링 과정이 완료되면 WSN은 여러 개의 클러스터로 구성된다.

클러스터링 과정이 종료되면 기지국에 있는 PA는 모든 CH로부터 *C\_ID*, 클러스터 내의 모든 노드 목록, 잔여 에너지 수준, 그리고 자신의 위치 정보를 포함하는 클러스터 정보 메시지인 *C\_INFO\_MSG*를 수신하게 된다. 이 메시지를 받은 PA는 CH들의 잔여 에너지 수준과 위치 정보를 고려하여 RN과 게이트웨이 노드(GW)을 선택하고, 센서 노드들의 수( $N$ )와 클러스터링 사이클(*C\_CYCLE*)을 RN 결정 메시지(*R\_DEC\_MSG*)에 기록하고 이 메시지를 CH들로 전송한다. *R\_DEC\_MSG*를 수신한 모든 센서 노드들은  $N$  값과 *C\_CYCLE* 값을 설정하

고, CH들은 이 메시지에 포함된 *R\_ID*와 자신의 *N\_ID*를 비교하여 같을 경우에 자신의 *N\_ID*를 *R\_ID*와 자 자신을 RN으로 설정한다. 반대로 자신의 *N\_ID*와 메시지의 *R\_ID*가 다를 경우, *R\_DEC\_MSG*로부터 받은 다른 리전 노드 리스트(*R\_LIST*)에 자신의 *N\_ID*가 포함되어 있으면 자신의 *R\_ID* 값을 *R\_LIST* 내의 *R\_ID* 값으로 설정한다. CH와 RN의 역할은 로드 밸런싱과 모든 노드의 생존시간의 증대를 위해 WSN의 구성 노드 중 순환적으로 선출되어 교체된다. 이를 위해 EEHC 알고리즘은 관리자에 의해 생성된 클러스터링 정책에 따라 주기적으로 전체 클러스터링 과정이 반복된다. <그림 3>은 EEHC 알고리즘의 전체적인 클러스터링 과정을 개념적으로 보여주고 있다. 과정 1에서 과정 6까지는 클러스터링 과정을 과정 7에서 과정 8까지는 RN의 선출 과정을 도시하고 있다.



<그림 3> EEHC 알고리즘의 개념적 절차

## IV. 성능 평가

### 4.1 시뮬레이션 환경

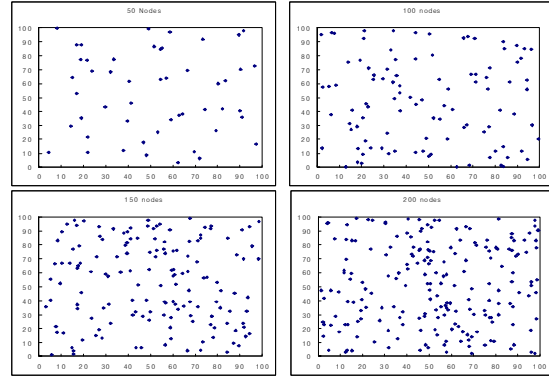
EEHC 알고리즘의 실험은 아래와 같은 실험환경에서 레드햇 리눅스 9.0 상에서 ns-2 시뮬레이터를 사용하였다.

- 50, 100, 150, 200개의 노드들로 이루어진 각각의 센서 네트워크 토폴로지
- 1000m x 1000m 면적의 센서 필드
- 1Mbps의 전송 속도
- 1ps의 무선 전송 지연
- 3 x 108m/s 전파 속도
- 전방향성 안테나
- 914Mhz의 Lucent WareLAN DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) 무선 네트워크 인터페이스
- DSDV(Destination Sequenced Distance Vector) 라우팅 프로토콜

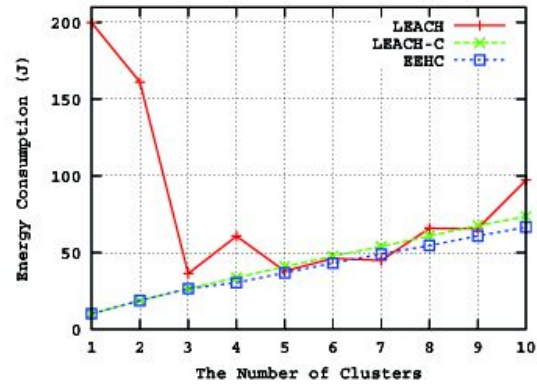
실험은 LEACH, LEACH-C, EEHC 기법에 대하여 각각 수행하였다. 또한 모든 경우에 대해 관리 메시지를 적용하였고, 실제 센서 네트워크상에 존재하는 센서 노드들의 프로세싱 파워는 무선 통신에서 사용되는 에너지에 비해 매우 미미하므로 배제하였다. 실험에 사용할 네트워크 토폴로지는 <그림 4>와 같이 동일한 면적에 각각 50, 100, 150, 200개의 센서 노드가 분포되어 구성된 상태에서 수행하였다.

### 4.2 결과 및 분석

<그림 5>는 각각의 클러스터링 알고리즘에 대해 센서 노드 100개로 구성된 네트워크 토폴로지에서의 클러스터 개수를 1개에서 10개까지 생성하고 각 클러스터 생성 수에 따른 10 라운드 동안의 에너지 소비량을 측정한 결과를 보여주는 그래프이다. 이 그래프에서 EEHC는 LEACH-C와 비슷하게 차츰 에너지 소비가 증가하는 결



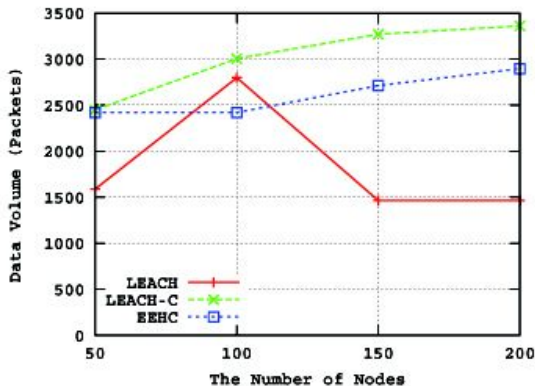
<그림 4> 네트워크 토폴로지(50, 100, 150, 200개 노드)



<그림 5> 클러스터 생성 개수에 따른 에너지 소비량

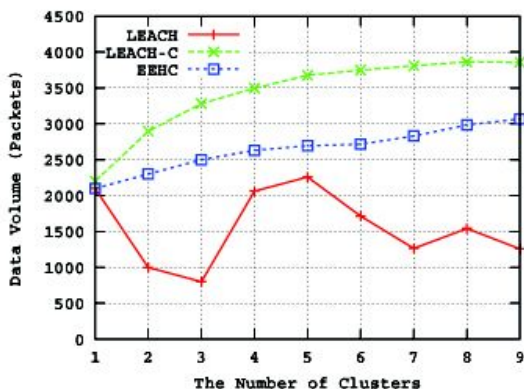
과를 보여주었으나, 그 소비량은 LEACH-C 보다 다소 적음을 알 수 있다.

<그림 6>은 노드의 수가 다른 각각의 네트워크 토폴로지 상에서 1라운드 당 기지국까지 도달하는 센싱 데이터의 양을 나타내고 있다. LEACH의 경우 센싱 데이터의 양이 비정상적으로 적은 결과를 보였다. 이것은 전송 과정에서 노드 간에 충돌이 불규칙한 패턴으로 자주 발생하여 전송되지 못한 데이터가 다수 존재함에 따른 결과이다. EEHC는 LEACH-C와 비교하여 적은 양의 센싱 데이터가 기지국으로 도달하였음을 확인할 수 있는데 이는 센싱 데이터가 RN에서 지역적으로 데이터 융합이 한번 더 일어난 후 기지국으로 전송되기 때문에 그 만큼 기지국에 도달하는 데이터의 양이 줄어들기 때문이다.



<그림 6> 클러스터 구성 후 기지국에 도달한 데이터의 양

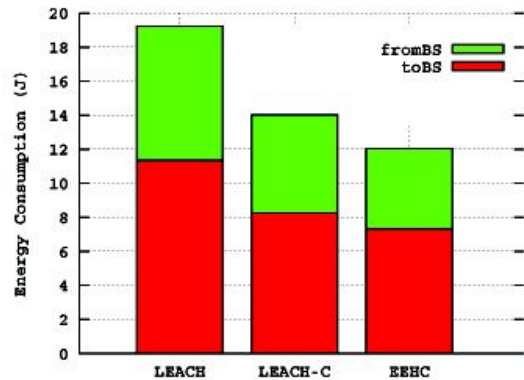
<그림 7>은 노드 200개의 네트워크 토폴로지에서 클러스터 생성 수의 변화에 따른 기지국에 도달한 센싱 데이터의 양을 나타낸 것이다. 센싱 데이터의 통신량이 줄어든다는 것은 곧 통신에 소비되는 에너지 또한 감소된다는 것을 의미한다. LEACH는 데이터의 수신 양이 매우 불규칙한데 이는 클러스터를 구성할 때마다 출돌 횟수가 불규칙적으로 변화했기 때문이다. LEACH-C와 EEHC의 경우는 두 가지 모두 클러스터 생성 수가 늘어남에 따라 데이터의 양 또한 증가하는 모습을 보였다.



<그림 7> 클러스터 생성 개수에 따라 기지국에 도달한 센싱 데이터의 양

<그림 8>은 200개의 센서 노드로 이루어진 토폴로지에서 발생된 전체 센싱 데이터가 기지국까지 도달하는데

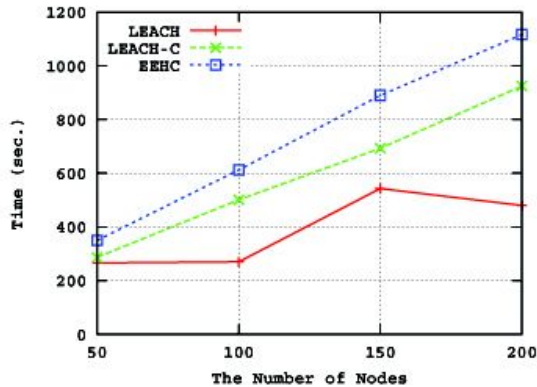
소비되는 에너지의 양과 반대로 기지국에서 센서 노드들의 관리 메시지를 전송할 때 소비되는 에너지의 양을 측정하는 결과이다. LEACH의 경우 센서 노드들의 위치 정보를 가지고 있지 않기 때문에 비효율적인 라우팅이 이루어지고, 관리 메시지를 전송하는데 보다 많은 에너지가 소비된다. EEHC는 LEACH-C에 비해 소비되는 에너지의 양이 다소 감소하는 결과를 보였는데 이는 RN의 선출 과정이 추가됨으로써 CH로 또는 CH에서 RN으로 메시지를 전달하는 형태이므로 전체 통신 횟수가 줄어들게 됨으로써 통신비용이 감소하였기 때문이다.



<그림 8> 센서 노드와 기지국간에 데이터 전송에 의한 에너지 소비량

<그림 9>는 각각 50, 100, 150, 200개의 서로 다른 센서 노드 수를 갖는 네트워크 토폴로지 상에서 6개의 클러스터를 구성했을 때의 네트워크 생존 시간의 변화량을 측정하는 결과이다. LEACH의 경우 50개와 100개의 센서 노드들로 구성된 토폴로지 상에서는 거의 같은 수명을 보였고, 150개에서 가장 긴 네트워크 생존 시간을 보였지만, 200개에서의 전체 네트워크 생존 시간은 오히려 150개 일 때보다 감소하였다. 이러한 결과는 LEACH의 CH 선출 방법에 있어서 노드들의 위치와 배터리 용량을 고려하지 않기 때문에 라우팅 경로의 구성과 클러스터의 구성에 있어서 에너지 소모가 크고 유동적이라는 사실을 보여준다. EEHC는 RN의 선출 과정에 따른 추가적인 에

너지 절감 효과로 인해 LEACH-C 보다 18~20%의 네트워크 생존 시간이 늘어났음을 볼 수 있다. 따라서 WSN에 EEHC를 적용함으로써 네트워크의 전체 수명을 연장할 수 있음을 알 수 있다.



<그림 9> 네트워크 생존 시간

## V. 결론

본 논문에서는 WSN을 위한 자율적 구성 및 관리 구조에 적합하고 기지국과 센서 노드들간의 통신비용을 최소화하는 새로운 계층적 클러스터링(EEHC) 알고리즘을 설계하였다. EEHC 알고리즘은 기존의 클러스터링 알고리즘과 달리 리전 노드의 개념을 추가하여 전체 센서 네트워크를 계층적으로 분리함으로써 WSN이 지역적 운영과 관리가 가능하도록 설계하였다. 이러한 EEHC 알고리즘의 효율성을 입증하기 위하여 ns-2 시뮬레이터를 사용하여 실험을 수행하였다. 실험 결과 관리자가 기지국을 통해 중단 센서 노드들에게 관리 데이터를 지역적으로 전송할 수 있다는 것과, 이러한 계층적인 구조로 인해 에너지의 소비가 감소하고 그에 따라 전체적인 WSN의 수명이 증가하였음을 입증하였다. 따라서 논문에서 제안된 EEHC 알고리즘은 네트워크 관리 부하와 에너지 소비에 민감한 다양한 WSN 응용에서 효과적으로 사용될 수 있다.

## 참고문헌

- [1] Feng Zhao, Leonidas Guibas, "Wireless Sensor Networks: An Information Processing Approach", Morgan Kaufman Publishers, Elsevier, 2004.
- [2] Holger Karl, Andreas Willing, "Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks", John Wiley & Sons, 2005.
- [3] Si-Ho Cha, Jongoh Choi, JooSeok Choi, "A Self-Management Framework for Wireless Sensor Networks", Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science (LNCS) Vol. 3842, January 2006, pp. 206-213.
- [4] Linnyer B. Ruiz, Jos'e M. Nogueira, Antonio A. F. Loureiro, "MANNA: A Management Architecture for Wireless Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, Volume 41, Issue 2, February 2003, pp. 116-125.
- [5] The VINT Project, The network simulator - ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [6] W. Heinzelman, et al., "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", Proc. IEEE Int. Conf. System Sciences, vol. 8, January 2000, pp. 3005-3014.
- [7] W. Heinzelman, "Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks", PhD thesis, Massachusetts Inst. of Technology, June 2000.
- [8] A. Manjeshwar, D. P. Agrawal, "TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks", Proc. Int. Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS) 2001, April 2001, pp. 2009-2015.
- [9] A. Manjeshwar, D. P. Agrawal, "APTEEN: a hybrid protocol for efficient routing and comprehensive information retrieval in wireless



sensor networks", Proc. Int. Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS) 2002, August 2002, pp. 195~202.

- [10] Si-Ho Cha, Jong-Eon Lee, Minho Jo, Seokjoong Kang, Kuk-Hyun Cho, "Policy-Based Management for Self-Managing Wireless Sensor Networks", IEICE Transactions on Communications, Vol. E90-3, No. 11, November 2007, pp. 3024~3033.



최석만  
Choi, Seok-Man

2006년 ~ 현재  
서울디지털대학교  
디지털콘텐츠학부 교수  
2005년 ~ 2006년  
서울디지털대학교 멀티미디어학부  
교수  
2001년 ~ 2005년  
세종대 멀티미디어학과 교수  
2000년  
성균관대학교 대학원 전산통계전공  
박사수료  
관심분야 : 데이터마이닝(알고리즘분야),  
게임알고리즘, 유비쿼터스 게임  
알고리즘  
E-mail : choism@sdu.ac.kr

■ 저자소개 ■



차시호  
Cha, Si-Ho

2007년 ~ 현재  
세종대학교 정보통신공학과  
연구교수  
2005년 ~ 2006년  
세종대학교 컴퓨터공학과 초빙교수  
2004년 ~ 2005년  
WarePlus Inc. NI사업본부  
기술개발팀장  
1997년 ~ 2000년  
대우통신 종합연구소 선임연구원  
2004년  
광운대학교 대학원 컴퓨터과학과  
졸업(공학박사)  
관심분야 : 네트워크 관리, 무선 센서  
네트워크, 무선 메시 네트워크,  
유비쿼터스 컴퓨팅  
E-mail : sihoc@sejong.ac.kr

논문접수일 : 2008년 5월 16일, 수 정 일 : 2008년 5월 25일(1차)  
게재확정일 : 2008년 5월 31일



이종언  
Lee, Jong-Eon

2008년 ~ 현재  
삼성탈레스 기술연구소 책임연구원  
2007년  
광운대학교 대학원 컴퓨터과학과  
졸업(공학박사)  
관심분야 : 네트워크 관리, 무선 센서  
네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅  
E-mail : jeongeonlee@samsung.com