

## 무선 센서 네트워크를 위한 센싱 인지 클러스터 헤드 선택 알고리즘

정의현\*

### A Sensing-aware Cluster Head Selection Algorithm for Wireless Sensor Networks

Eui-Hyun Jung\*

#### 요약

무선 센서 네트워크는 센서 테크놀로지의 발전으로 인하여 급속히 개발되고 있으며, 여러 분야에서 다양하게 응용될 것으로 예측된다. 무선 센서 네트워크에서 가장 중요한 요소는 네트워크를 에너지 효율적으로 운영하는 것이다. 이러한 목적을 충족시키기 위해 여러 라우팅 프로토콜이 제시되었다. 그러나 기존의 연구들은 모든 센서 노드들이 센싱 데이터를 갖고 있다는 이상적인 상황을 가정하고 있다. 본 논문에서는 일부 센서 노드들만이 데이터를 갖고 있는 센서 네트워크 상에서 클러스터 헤드를 선정하는 센싱 인지 클러스터 선정 알고리즘을 LEACH-C 기반으로 설계 및 구현하였다. 또한 제안된 알고리즘을 여러 네트워크 상황에서 시뮬레이션하여 센싱 인지 기법이 가장 효율적인 네트워크 상황을 분석하였다. 시뮬레이션 결과에서 데이터를 센싱한 노드군(群)을 중심으로 클러스터 헤드를 선정하는 것이 가장 효율적임을 알 수 있었으며, 일부 센서들만이 데이터를 갖고 있는 경우에는 센싱 인지 개념을 클러스터 헤드 선정에 적용하는 것이 중요하다는 점을 보여주었다.

#### Abstract

Wireless Sensor Networks have been rapidly developed due to the advances of sensor technology and are expected to be applied to various applications in many fields. In Wireless Sensor Networks, schemes for managing the network energy-efficiently are most important. For this purpose, there have been a variety of researches to suggest routing protocols. However, existing researches have ideal assumption that all sensor nodes have sensing data to transmit. In this paper, we designed and implemented a sensing-aware cluster selection algorithm based on LEACH-C for the sensor network in which part of sensors have sensing data. We also simulated proposed algorithm on several network situation and analyzed which situation is suitable for the algorithm. By the simulation result, selecting cluster head among the sensing nodes is most energy-efficient and the result shows application of sensing-awareness in cluster head selection when not all sensors have sensing data.

▶ Keyword : 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks), 센싱 인지(Sensing-aware), 클러스터 기반 라우팅(Cluster-based Routing), LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

---

• 제1저자 : 정의현  
• 접수일 : 2005.09.28, 심사완료일 : 2005.11.09  
\* 안양대학교 디지털미디어공학과 교수

## I. 서론

최근의 센서 기술의 발전으로 인하여 저비용, 저전력, 소형화된 센서 노드들이 개발되고, 이러한 센서 노드들로 구성된 무선 센서 네트워크는 기존의 무선 네트워크로서는 불가능했던 적용 범위를 제공할 수 있게 되었다. 센서들은 화산 활동 지역이나 화학 공장과 같은 극도로 위험한 환경, 핵폭발이 발생한 재난 지역, 접근이 어려운 지역, 또는 구조 변경이나 위험을 감지하기 위해 우주비행선에 배치될 수 있다[1]. 또한 무선 센서 네트워크는 군사, 의료, 교육, 상업, 홈 네트워크 등 여러 분야에 응용될 수 있다. 예를 들어, 군사적인 측면에서는 군대의 명령, 제어, 통신, 감시, 정찰, 목표물 시스템 등에 응용될 수 있으며, 의료분야에서는 센서 노드는 환자의 상태를 관찰하거나 장애인을 보조하는데 배치될 수 있다. 그 밖의 상업적인 응용으로는 재고 관리, 우편물 추적, 품질 관리에 사용될 수 있다.

이렇듯 무선 센서 네트워크(이하 센서 네트워크)의 다양한 용도에도 불구하고 센서 네트워크는 한정된 자원의 센서 노드들로 구성되어 있어서 한 번 구성된 후에는 보수 및 유지가 어려운 한계점을 갖고 있다. 이러한 이유 때문에 센서 네트워크에서 가장 중요한 연구 과제는 에너지 소비를 최소화하고, 한정된 자원을 효율적으로 사용하여 네트워크 수명을 최대화하는 것이 중요한 문제이다. 현재 각 계층(layer) 별로 많은 연구가 진행되고 있으며, 네트워크 계층에 있어서는 자가 구성 (self-organizing) 능력, 제한된 전력, 데이터 중심적인 특성 등을 고려한 다양한 라우팅 프로토콜들이 제안되고 있다[1][2][3]. 이러한 라우팅 프로토콜 중에 LEACH-C (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy - Centralized)[4]는 클러스터 기반의 라우팅 분야에서 가장 선도적인 연구로 간주되고 있다[5]. 그러나 LEACH-C는 센서 네트워크의 모든 노드들이 센싱 태스크에 참여한다는 가정 하에 제안된 방식이라는 한계점이 있으며, 이것은 일부 센서 노드에만 센싱 데이터가 있는 실제적인 상황에는 정확한 결과를 제공하지 못한다는 단점을 내포하고 있다[4].

본 논문에서는 LEACH-C를 기반으로 일부 노드에만 센싱 데이터가 존재하는 현실적인 센싱 환경 하에서 네트워크 수명을 증가시키는 클러스터 헤드 선정 알고리즘을 제안한다.

기존 알고리즘과 달리 제안된 센싱 인지(sensing-aware) 클러스터 헤드 선정 알고리즘은 센싱된 데이터를 기준으로 센싱(sensing) 노드군(群), 논센싱(non-sensing) 노드군(群), 임의(random)의 노드군(群)에서 클러스터 헤드를 선택할 수 있는 기능을 제공한다. 가장 효율적인 클러스터 헤드 선정 방식을 찾기 위해서 LEACH-C 소스 코드를 센싱 인지가 고려되도록 재구성하였으며, NS-2[11] 시뮬레이터 상에서 센싱 노드의 비율을 변화시켜 실험을 하였다. 또한, 제안된 알고리즘을 분산 클러스터 기반 라우팅 프로토콜인 LEACH[4]에 적용하여 클러스터 헤드 선정 기법의 유효성을 검증하였다. 시뮬레이션 결과는 센싱 인지 요소가 클러스터 기반의 라우팅 알고리즘의 설계 요소에 중요한 요소가 될 수 있음을 증명하였으며, 센싱 노드의 비율이 적을 때는 센싱 노드군에서 클러스터 헤드를 선정하는 것이 가장 효율적임을 보여주었다.

본 논문은 서론에 이어 2장에서 지금까지 제안된 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜들을 소개하며, 특히 본 논문에서 제시하는 클러스터 헤드 선정 알고리즘의 근간이 되는 LEACH, LEACH-C 에 대해 설명한다. 3장에서는 본 논문에서 제시하는 클러스터 헤드 선정 알고리즘을 소개하고 4장에서는 제안한 알고리즘의 효율성을 입증할 수 있는 시뮬레이션 결과 및 성능평가를 기술하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

### 2.1 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜

라우팅 프로토콜의 목적은 네트워크상에서 데이터를 효율적으로 전달하는데 있으며, 현재 무선 센서 네트워크에서 제안된 라우팅 알고리즘은 크게 멀티홉(multi-hop) 방식과 클러스터 기반(cluster-based) 방식으로 나눌 수 있다[5]. 멀티홉 방식에서는 센서 노드들이 센싱된 데이터를 기지국(base station)에서 가까운 주변 노드로 릴레이(relay) 방식을 통해 전달하는 라우팅 방식이다. 일반적으로 센서 네트워크는 수백/수천개의 노드로 구성되기 때문에 이 라우팅 방식은 데이터를 기지국으로 전달하기까지 높은 데이터 수집 지연(latency)을 피할 수 없게 된다. 더욱이 기지국에

가까운 노드들은 다른 노드들의 데이터 릴레이 노드의 역할을 해야 하기 때문에 운용 시간이 지남에 따라 에너지 소비가 집중되고 결과적으로 기지국 주변의 노드들이 먼저 죽는 블랙홀(black hole) 현상이 일어나게 된다[5].

이에 비해 클러스터 기반 라우팅 프로토콜은 센서 노드들을 그룹 단위로 묶어서 클러스터(cluster)를 구축하고, 클러스터 단위에서 데이터를 결합하여(agggregation) 기지국(base station)으로 전달하는 구조를 갖고 있다. 각 클러스터에는 기지국과 통신하는 클러스터 헤드(head)가 존재하고, 클러스터 내의 일반 센서 노드들은 클러스터 헤드와만 통신함으로써 전송 에너지를 최소화할 수 있게 된다. 또한 클러스터 헤드가 일정 시간마다 교체됨으로써 에너지 소비를 다른 노드들로 분산시키는 결과를 얻게 된다. 따라서 클러스터 기반 라우팅 프로토콜은 에너지 소비와 데이터 수집 지연 문제에 대해서 효과적인 라우팅 프로토콜로 간주되고 있다[5].

대표적인 클러스터 기반 라우팅 프로토콜에는 LEACH (Low - Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[4], LEACH-C (Low - Energy Adaptive Clustering Hierarchy - Centralized)[4] 와 PEGASIS (Power-Efficient GATHERing in Sensor Information Systems)[6]가 있다. 그 밖의 TEEN[7]과 APTEEN[8]은 LEACH를 근간으로 하는 클러스터 기반의 계층적 라우팅 프로토콜이며, BCDCP(Base-Station Controlled Dynamic Clustering Protocol)[9]은 클러스터 헤드가 직접 기지국에게 데이터를 전송하는 대신에, 클러스터 헤드 간의 멀티홉 방식을 통해 기지국에게 데이터를 전송하는 라우팅 프로토콜이다.

## 2.2 LEACH와 LEACH-C

### 2.2.1 LEACH

LEACH는 클러스터 기반 라우팅 기법으로 클러스터 헤드가 클러스터에 포함된 센서 노드들로부터 데이터를 전송받아 데이터 결합(data aggregation)을 통해 데이터를 모아 기지국으로 전송한다. 이 방식의 특징은 네트워크를 구성하는 모든 센서 노드들에 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위해, 에너지 집약적인 기능을 하는 클러스터 헤드를 라운드(round)라는 일정시간마다 무작위로 선택하고 네트워크 전체적인 통신비용을 줄이기 위해 클러스터 헤드에서 클러스터의 데이터를 결합하여 기지국으로 보낸다. 각 라운드는 클러스터 헤드와 클러스터를 구성하는 단계인 셋업 단계(set-up phase)와 TDMA 스케줄에 따라 데이터의 전송이 이루어지는 단계인 안정 단계(steady-state phase)

로 구성된다. 셋업 단계에서는 클러스터 헤드가 무작위로 선택되고, 선택된 클러스터 헤드가 보낸 ADV(advertisement) 메시지의 신호 세기를 고려하여 다른 센서 노드들이 자동으로 클러스터를 구성한다. 안정 단계에서는 클러스터 헤드의 각 센서 노드들이 TDMA 슬롯을 할당받아 데이터를 클러스터 헤드로 전달하고, 클러스터 헤드는 전달받은 데이터를 결합하여 기지국으로 전달하게 된다.

### 2.2.2 LEACH-C

LEACH의 분산 클러스터 구성 알고리즘은 클러스터 헤드의 선정과 클러스터 헤드의 수를 보장하지 못하는 단점이 있다 [4]. 이에 대한 문제점 때문에 기지국이 통제하여 클러스터를 구성하는 LEACH-C (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy - Centralized)가 제안되었다. LEACH-C는 클러스터 구성에 있어서 기지국이 관여해야 한다는 단점이 있지만, 최적의 클러스터 헤드의 수와 위치를 선정함으로써, 효율적인 클러스터를 구성하는 장점을 갖고 있으며, 성능에 영향을 미치는 요소들을 파악하는데 매우 유용하게 사용할 수 있다. LEACH-C는 클러스터 구성을 위해 기지국이 큰 역할을 하는데, 기지국은 각 라운드의 시작 단계인 셋업 단계에서 각 센서 노드에 대한 위치 정보와 남아있는 에너지에 대한 정보를 전송받는다. 전송받은 정보를 이용하여 기지국은 네트워크 전체 노드들의 평균 에너지를 계산하고 평균 에너지보다 낮은 에너지를 가진 센서 노드는 클러스터 헤드 선정에서 제외된다. 그리고 평균 에너지보다 높은 에너지를 가진 센서 노드들 중에서 노드들 간의 최소 거리를 근사치로 구하는 simulated annealing algorithm[10]을 이용하여 최적의 클러스터 헤드를 선정한다. 기지국은 현재 라운드에서 최적의 클러스터 헤드에 대한 노드 ID를 포함한 메시지를 모든 센서 노드들에게 전송한다. 메시지를 받은 노드는 자신의 ID와 같으면 클러스터 헤드가 되고 다르다면 데이터 전송을 위해 TDMA 슬롯을 결정하게 된다[4].

## III. 제안된 알고리즘

### 3.1 개요

기존의 LEACH와 LEACH-C는 모든 센서 노드가 항상 센싱 데이터를 가지고 있다는 가정 위에 설계된 라우팅 프로토콜이다. 그러나 실제 환경에서 센서 네트워크를 구성하

는 데 있어서 모든 노드가 항상 센싱 데이터를 가질 수는 없다. 본 논문에서는 이 점에 착안하여 데이터를 센싱한 노드와 센싱하지 않은 노드로 센서 노드들을 구분하였으며, 이렇게 구분된 노드군(群) 중에서 클러스터 헤드를 선정할 수 있는 클러스터 헤드 선발알고리즘을 LEACH-C 기반위에서 설계 및 구현하였다.

LEACH-C에서 클러스터 헤드는 simulated annealing algorithm을 통해서 최종적으로 선택되지만, 이 알고리즘은 클러스터 헤드의 후보군으로 선택된 센서 노드들 간의 평균 최소 거리를 구하는 역할을 주로 담당하며, 이 알고리즘에 입력으로 들어가는 노드 후보군을 구하는 것은 평균 에너지보다 높은 에너지를 가진 센서 노드들을 선택해서 후보군으로 구성하는 알고리즘 모듈로 분리되어 있다. 후보군의 선택 조건이 단순히 센서 노드의 잔여 에너지만으로 구성된 것은 LEACH-C가 모든 센서 노드가 센싱 데이터를 갖고 있다는 가정 하에 설계되었기 때문에 노드들의 센싱 데이터 수집 여부는 고려되어 있지 않으며, 오직 노드들의 잔여 에너지에 대한 정보만이 고려 대상이기 때문이다. 따라서 노드들의 센싱 데이터가 클러스터 헤드 선택 알고리즘의 후보군에 포함되도록 하기 위해서는 노드들의 센싱 데이터 수집 여부에 대해 보고할 수 있도록 센서 노드가 설계되어야 하며, 후보군을 구성하는 알고리즘의 모듈 부분이 센서 노드의 센싱 여부에 따라서 후보 선택이 될 수 있도록 재설계되어야 한다. 본 논문에서는 평균 에너지 외에 해당 센서 노드가 센싱 데이터를 갖고 있는지의 여부를 근거로 하여 후보군에 넣을지를 결정하도록 후보 선택 모듈을 설계하여, 센싱 인지(sensing-awareness)를 클러스터 헤드 선택을 하는데 주요 요소가 되도록 구현하였다.

일반적으로 센싱 인지에 의해서 클러스터 헤드 선택을 하고자 하는 경우에 노드의 센싱 여부에 의해 클러스터 헤드를 선택하는 선정 기법(method)은 크게 다음과 같은 세 가지 경우이다. 본 논문에서는 다음과 같은 세 가지 기법 중 한 가지를 시뮬레이션의 시작 시 설정 가능하도록 알고리즘을 설계하여, 어떤 기법이 센싱 인지를 고려할 때 가장 우수한 기법인지를 확인하였다. 이러한 센싱 인지에 따라서 클러스터 헤드를 선정하는 것이 전체 에너지 효율에 영향을 미치게 되는 이유는 클러스터 헤드로 선정된 노드의 에너지 소모가 일반 센서 노드에 비해서 월등하기 때문이다. 따라서 센싱 인지를 클러스터 헤드 선정 시 고려함으로써 실제 상황에도 가장 에너지 소모가 적도록 클러스터 헤드를 선정할 수 있게 된다.

표 1. 구현된 선정 기법  
Table 1. Implemented Selection Methods

기법-1	데이터를 센싱한 노드 중에서 클러스터 헤드를 선정
기법-2	데이터를 센싱하지 않은 노드들에서 클러스터 헤드를 선정
기법-3	센싱 여부와 상관없이 임의로 클러스터 헤드를 선정

기법-1에서는 데이터를 센싱한 노드군에서 클러스터 헤드를 선정한다. 이 경우에 클러스터 헤드로 선정된 노드는 클러스터 헤드로서의 역할 외에 부가적으로 센싱 태스크와 관련된 에너지 소모를 감당해야 한다. 기법-2에서는 데이터를 센싱하지 않은 노드군에서 클러스터 헤드를 선정한다. 이 경우에는 센싱과 관련된 에너지 소모가 없는 노드군에서 클러스터 헤드의 에너지 소모를 담당하게 된다. 마지막으로 센싱 여부와 상관없이 클러스터 헤드를 선정하는 경우에는 일부 노드만 센싱하는 점을 제외하면 기존 LEACH-C와 동일한 경우가 된다.

### 3.2 에너지 요소 분석

각 기법에 대한 장단점을 파악하기 위해, 센서 네트워크, 특히 LEACH-C에서의 에너지 소모와 관련된 주요 요소들을 각 기법에서 어떻게 소모하는지 분석하는 것이 중요하다. 기본적으로 LEACH-C에서 소모하는 에너지 요소는 <표 2>와 같다.

표 2. 에너지 소모 요소  
Table 2. Type of Energy Dissipation

요소	설명
$E_{CH}$	데이터 결함과 가지극에 데이터를 전달하기 위한 클러스터 헤드의 에너지 소모량
$E_r$	일반 센서 노드에서 클러스터 헤드로 데이터를 전송하는데 필요한 에너지 소모량으로 $E_{ap}$ 와 $E_{dec}$ 의 합
$E_{sensing}$	센싱을 위해 필요한 에너지 소모량
$E_{ap}$	무선 전송을 위해 사용되는 신호 증폭(signal power amplification) 에너지 소모량
$E_{dec}$	무선 신호를 처리하기 위한 에너지 소모량

기법-1에서는 에너지 소모가 센싱 노드군에 집중되며, 논센싱 노드군에서는 아무런 에너지 소모가 일어나지 않는다. 센싱 노드군에서 클러스터 헤드로 선정된 노드들은 센싱 에너지  $E_{sensing}$ 과 클러스터 헤드 에너지  $E_{CH}$ 가 소모되

며, 그 외의 센싱 노드들은 센싱 에너지  $E_{sensing}$  과 전송 에너지  $E_t$ 이 소모되게 된다. 이에 비해 기법-2의 경우에는 센싱 노드들은  $E_{sensing}$  과  $E_t$ 만이 소모되며,  $E_{CH}$ 의 소모는 논센싱 노드군으로 분산되게 된다. 기법-3의 경우에는 LEACH-C와 마찬가지로의 에너지 소모가 일어나지만, 모든 노드들이 데이터를 갖고 있지는 않다는 특징을 갖게 되며,  $E_{CH}$ 의 소모는 확률적으로 센싱과 논센싱 노드군에 분산되게 된다.

센싱 인지를 클러스터 헤드 선정에 고려할 때 네트워크의 성능에 영향을 미치는 요소는 크게 2가지이다. 첫째는 에너지 소모의 적절한 분산이다. 에너지 소모가 일부 노드에만 집중되는 경우에는 해당 노드의 에너지가 모두 소진되어 센서 네트워크의 동작에 문제를 야기시키기 때문이다. 이 관점에서 판단하는 경우에는 기법-2의 방식이 가장 적합하다. 이는 가장 큰 에너지 소모 요소인  $E_{CH}$ 를 해당 라운드에서 에너지 소모가 일어나지 않은 논센싱 노드군에서 처리해주기 때문이다. 일반적으로 에너지 소모를 모든 노드에 공평히 분배를 하게 되는 경우에는 전체 센서 네트워크의 수명이 길어지는 경향을 보이게 되므로 기법-2의 방식이 유효할 수 있다.

그러나 클러스터 헤드와 클러스터에 속한 멤버들 간의 거리를 최소화하는 측면에서는 기법-1의 방식이 적합할 수 있다. 이것은 전송 에너지  $E_t$ 의 부분 요소인  $E_{app}$  (주파수 증폭에 사용되는 에너지)가 클러스터 헤드와 클러스터 멤버 사이의 거리의 제곱에 비례하기 때문이다[4]. 일반적으로 센싱 노드군에서 클러스터 헤드를 선정하게 되는 경우에는 클러스터 헤드가 다른 멤버와 근접한 영역에 있을 확률이 높다. 이에 비해 논센싱 노드 군에서는 클러스터 헤드가 센싱된 다른 멤버의 현재 위치로부터 먼 곳에 위치할 가능성이 매우 크다. 이러한 경우에는 클러스터 헤드와 클러스터 멤버 사이에 거리가 늘어나게 되므로  $E_{app}$ 의 값이 커지게 되며, 결과적으로 전체적인 에너지 소모가 많아지게 된다. 또한 센싱 노드군에서 클러스터 헤드가 선택되는 경우에 클러스터 헤드 자신은 소모할 필요가 없는  $E_t$ 을 논센싱 노드군에서 클러스터 헤드가 선택되는 경우에는 소모해야 하는 단점을 갖고 있다.

각 클러스터 헤드 선정 기법을 수학적으로 비교하면, 각 기법이 네트워크 전체의 수명 연장 측면에서 차이가 있음을 알 수 있다. <표 3>은 수식에 사용된 요소에 대한 설명을 나타내고 있다.

표 3. 수식에 사용된 요소  
Table 3. Factors used in Equation

요소	설명
$N_{CH}$	클러스터 헤드의 개수
$N_{sensing}$	정보를 센싱한 노드의 개수
$\alpha_{sensing}$	정보를 센싱한 노드들 중에서 클러스터 헤드가 된 노드의 개수
$\beta_{non-sensing}$	정보를 센싱하지 않은 노드들 중에서 클러스터 헤드가 된 노드의 개수
$E_{ch-i}$	i번째 노드의 클러스터 헤드 에너지 소모량
$E_{tr-i}$	i번째 노드의 전송 에너지 소모량

기법-1의 경우에 전체 네트워크에서 각 라운드마다 소비되는 에너지는 식 (3.1)과 같다. 여기서 소모되는 에너지는 모두 센싱 노드군에서 감당하게 된다.

$$E_{total} = \sum_{i=1}^{N_{ch}} E_{ch-i} + \sum_{i=1}^{N_{sensing}-N_{ch}} E_{tr-i} + N_{sensing} E_{sensing} \dots\dots\dots (3.1)$$

정보를 센싱하지 않은 노드들 중에서 클러스터 헤드를 선정하는 경우 각 라운드마다 소비되는 에너지는 식 (3.2)와 같다. 센싱 노드들은 센싱 에너지  $E_{sensing}$  과 전송 에너지  $E_t$ 이 소모되게 된다. 그리고  $E_{CH}$ 는 논센싱 노드군에서 감당하게 된다.

$$E_{total} = \sum_{i=1}^{N_{ch}} E_{ch-i} + \sum_{i=1}^{N_{sensing}} E_{tr-i} + N_{sensing} E_{sensing} \dots\dots\dots (3.2)$$

데이터의 센싱 여부의 구분을 하지 않고 센서 노드 중에서 임의로 클러스터 헤드를 선정하는 경우 각 라운드마다 소비되는 에너지는 식 (3.3)과 같다. 이때는 센싱 노드군에서 클러스터 헤드가 선정된 수 만큼의  $E_t$ 이 센싱 노드군에서 빠져게 된다. 반대로  $E_{CH}$ 는 센싱 노드군에서 클러스터 헤드가 선정된 수 만큼 센싱 노드군에서 처리하게 된다.

$$E_{total} = \sum_{i=1}^{N_{ch}} E_{ch-i} + \sum_{i=1}^{N_{sensing}-\alpha_{sensing}} E_{tr-i} + N_{sensing} E_{sensing} \dots\dots\dots (3.3)$$

(When,  $N_{ch} = \alpha_{sensing} + \beta_{non-sensing}$ )

단순한 수식만의 비교로는 식 (3.1)은 (3.2)에 비해 각 라운드마다  $N_{cl}E_r$ 만큼의 에너지 소모가 줄고, (3.3)에 비해  $\beta_{non-sensing}E_r$ 만큼의 에너지 소모가 줄어들음을 알 수 있다. 이는 클러스터 헤드가 센싱 노드군에서 선정하는 기법-1을 사용하는 경우에는 클러스터 헤드가 센싱한 데이터는 다른 클러스터 헤드로 전송할 필요가 없기 때문에 라운드에서 선정된 클러스터 헤드 수만큼의  $E_r$ 만큼 다른 기법들에 비해 이득을 얻게 된다. 물론  $E_r$ 은  $E_{cl}$ 에 비해 작은 값이지만 라운드마다 축적되는 에너지의 양은 전체 네트워크의 수명 연장을 위한 주목할 만한 요소가 된다. 그러나  $E_r$ 의 에너지 이득이 있다 하더라도, 여러 번의 라운드 시간을 가지며, 노드들마다 한계 에너지양이 정해져 있는 센서 네트워크의 특성상  $E_{cl}$ 와  $E_r$ 이 센싱 노드군에만 집중되면, 이는 노드의 에너지 소진으로 이어져, 전체 센서 네트워크의 동작에 악영향을 미치게 된다.

#### IV. 성능 분석

##### 4.1 시뮬레이션 환경

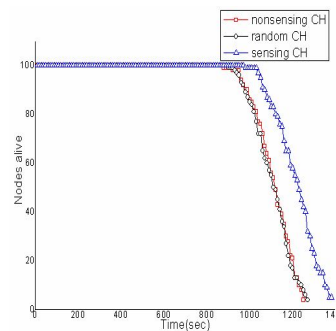
3절에서 제시한 센싱 인지가 고려된 알고리즘의 성능을 분석하기 위해서 NS-2 시뮬레이터[11]를 이용하였다. <표 4>는 시뮬레이션 환경을 나타내고 있다. 100m x 100m 의 네트워크 크기에 100개의 센서노드를 임의로 배치하였으며, 싱크노드의 가로 50m 세로 175m 지점에 위치한다. 그리고 각 센서 노드들은 초기에 2J의 에너지를 보유하고 있다. 클러스터 헤드의 수는 LEACH[4]에서 연구된 바와 같이 5%로 최적화 하였다. 그리고 네트워크 전체의 노드 중에서 정보를 센싱한 노드들의 비율을 30%, 50%, 70%로 나누어 실험을 하였다. 노드들의 센싱 여부는 임의로 선택되게 하였으나, 전체 네트워크의 센싱 비율을 유지하도록 구성하였다. 시뮬레이션은 생존한 노드의 수가 5개 미만인 경우에 종료되며, 각 라운드는 20초로 설정되어 있고 데이터는 매 10초마다 수집되도록 설정되었다. 기법별로 10회의 시뮬레이션을 하였으며, 평균값을 취하였다.

표 4. 시뮬레이션 환경  
Table 1. Simulation Environment

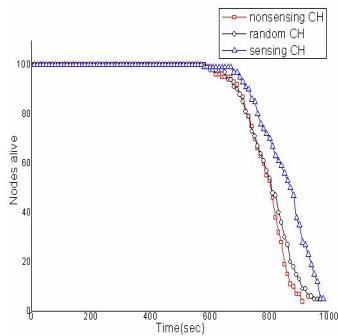
시뮬레이션 환경	
네트워크 크기	100m * 100m
노드 수	100 개
시뮬레이션 시간	3600sec
초기 노드의 에너지	2 J
클러스터 헤드 개수	5 개
기지국 노드위치	(50, 175)

##### 4.2 시뮬레이션 해석

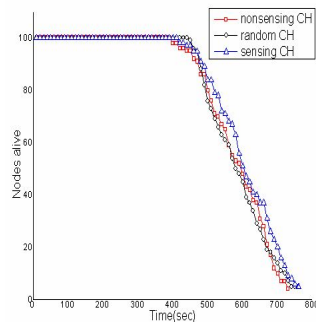
본 논문에서 제안하는 센싱 인지 클러스터 헤드 선정 알고리즘과 비교를 위해 센싱 여부에 관계없이 임의로 클러스터 헤드를 선정하는 알고리즘을 함께 실험 하였다. (그림 1)은 시간에 따른 생존노드의 수를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 센싱 노드군에서 클러스터 헤드를 선정하는 기법-1(sensing CH)을 사용하는 경우에 네트워크 수명이 향상되는 것을 알 수 있다. 각각의 클러스터 헤드 선정 기법에 따른 네트워크 생존 시간을 비교해 보면 센싱 노드가 30%인 경우에는 기법-1이 기법-2(nonsensing CH)에 비해서는 평균 13.6%, 기법-3(random CH)에 비해 8.5% 향상되었다. 또한 센싱하는 센서가 적을 경우에 기법간의 성능 차이가 크며, 센싱하는 센서가 많아지면 차이가 없어짐을 알 수 있다. 이것은 기법-2에서는 센싱 노드수가 적어지는 경우에는 클러스터 헤드와 클러스터 멤버들 간의 거리가 늘어나기 때문이다.



(a) 센싱 노드가 30%인 경우



(b) 센싱 노드가 50%인 경우



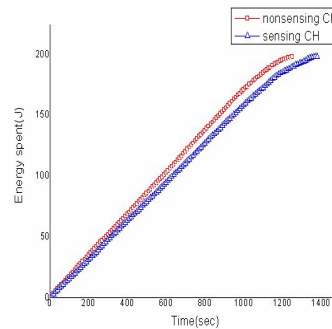
(c) 센싱 노드가 70%인 경우

그림 1. 시간당 노드 생존 개수  
Fig 1. Number of nodes alive over time

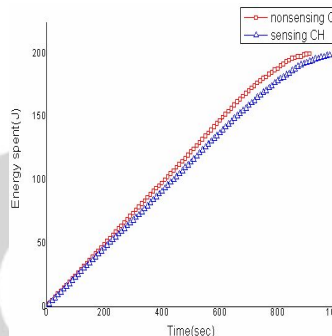
다음 (그림 2)는 각 기법별로 시간당 소모되는 에너지를 나타낸다. 시뮬레이션에서는 100개의 노드가 센서 네트워크 상에 존재하며, 각 노드는 초기 에너지로 2J의 에너지를 가지도록 설정하였다. 따라서 네트워크에서 소모할 수 있는 전체 에너지는 200J이 된다. 그래프를 보면, 에너지의 소모가 논센싱 노드군에서 클러스터 헤드를 뽑는 기법-2를 사용하는 경우에 에너지 소모의 기울기가 가파르게 됨을 알 수 있다. 또한 이 그래프도 센싱 노드의 비율이 높아짐에 따라 기법들의 에너지 소모가 비슷해짐을 알 수 있다.

(그림 2)의 그래프 결과를 보면 센싱 노드군의 전송 에너지  $E_p$ 의 소모가 줄어드는 것이 전체 네트워크에서 사용되는 에너지 소모를 줄이는 효과로 나타난 것을 알 수 있다. 또한 그것이 전체 네트워크의 수명에도 영향을 미치는 것을 보여준다. 이에 비해서  $E_{CH}$ 의 분배를 통한 성능 개선을 기대했던 기법-2는 그리 성능이 높지 않음을 알 수 있다. 이것은 센서 네트워크에서 각 라운드마다 센서들의 센싱 여부가 무작위적으로 선택되었기 때문에, 센싱 노드가 여러 라운드에 걸쳐서 센싱 노드로서의 역할을 하게 되는 경향이 적었

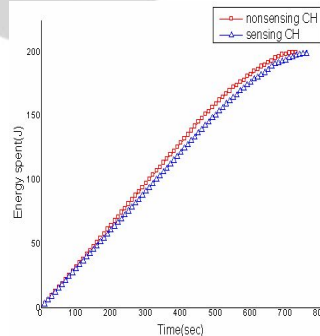
기 때문이다. 이러한 경우에는  $E_{CH}$ 의 분배가 일어난다 하더라도, 센싱 노드군에 속하는 노드가 매번 바뀌기 때문에 큰 효과를 거둘 수 없게 된다.



(a) 센싱 노드가 30%인 경우



(b) 센싱 노드가 50%인 경우



(c) 센싱 노드가 70%인 경우

그림 2. 시간별 에너지 소모량  
Fig 2. Total amount of energy dissipated over time

(그림 3)은 센싱 인지 클러스터 헤드 선택 알고리즘을 LEACH에 적용할 때 나타나는 경우이다. LEACH가 분산 알고리즘을 사용하기 때문에 클러스터 헤드의 수가 매번 노드

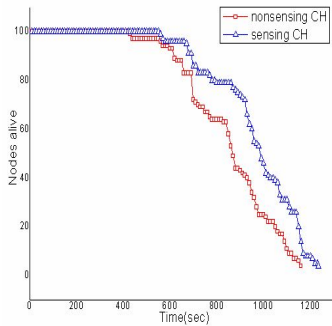
의 5% 수준으로 결정되지는 않지만, 대체적으로 LEACH-C와 비슷하게 에너지 소모의 향상이 일어나게 됨을 알 수 있다. 시뮬레이션에 의하면 LEACH에서도 기법-1이 센싱 노드가 적은 경우에는 다른 기법에 비해서 우수함을 알 수 있다.

### VI. 결론 및 향후 과제

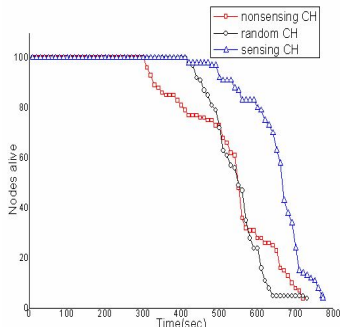
기존의 클러스터 기반 라우팅 알고리즘에서는 모든 센서 노드들이 센싱 데이터를 갖고 있다는 비현실적인 가정을 기반으로 클러스터 헤드를 선택하였다. 그러나 현실 상황에 센서 네트워크를 적용하는 경우에는 모든 센서 노드가 데이터를 갖고 있지 않은 것이 일반적이다. 이러한 경우에는 기존 클러스터 헤드 선택 알고리즘은 효율적인 클러스터 헤드를 제공할 수 없게 된다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 센서 노드의 센싱 여부에 따른 센싱 인지(sensing-awareness)를 클러스터 헤드 선택에 고려할 때의 알고리즘 구현과 성능 분석을 하였다.

센싱 인지를 고려하여 클러스터 헤드를 선정하는 경우에 센싱 노드군과 논센싱 노드군, 임의의 노드에서 클러스터 헤드를 선정하는 세 가지 경우의 알고리즘을 고려할 수 있다. 이러한 경우에 두 가지 요소의 영향이 전체 네트워크 성능에 영향을 미치게 된다. 첫째는 에너지 소모의 공평한 분배이다. 이것을 고려하게 되는 경우에는 센싱 에너지가 소모된 센싱 노드보다는 에너지 소모가 없는 논센싱 노드군에서 클러스터 헤드를 뽑는 것이 유리하다. 둘째는 클러스터 헤드와 클러스터 멤버들 사이의 평균 거리와 전송 에너지 절약이다. 평균 거리가 길어지면 클러스터 헤드로 데이터를 전달하는데 많은 에너지가 소모되는 경향을 갖고 있으며, 센싱하지 않은 노드에서 클러스터 헤드가 선정된 경우에는 부가적인 전송 에너지가 소모된다.

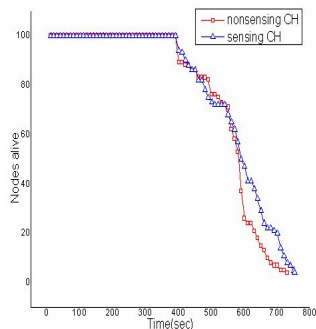
본 논문에서는 제안된 알고리즘 상에서 이 두 가지 요소의 영향을 평가할 수 있는 시뮬레이션을 구성하였으며, 결과를 얻었다. 결과적으로는 클러스터 헤드를 센싱 노드군에서 선택하는 것이 가장 효율적이었으며, 센싱 인지를 고려하는 것이 기존 LEACH 방식보다 효율이 좋음을 보여주었다. 그러나 센싱 노드가 여러 라운드에 걸쳐서 센싱을 할 확률이 높은 지역성(locality)이 생긴다면 시뮬레이션 결과의 변화가 있을 것으로 예측된다. 본 논문은 센싱 인지를 클러스터 헤드 선정 시에 고려함으로써 센싱 인지가 센서 네트워크의 전체 성능에 영향을 미칠 수 있음을 보여주었으며, 이는 실제 상황에 적합한 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜 설계 시에 센싱 인지가 중요한 고려 요소가 되어야 함을 증명하는 연구 결과라 할 수 있다.



(a) 센싱 노드가 30%인 경우



(b) 센싱 노드가 50%인 경우



(c) 센싱 노드가 70%인 경우

그림 3. LEACH에서의 시간당 노드 생존 개수  
Fig 3. Number of nodes alive over time in LEACH



향후에 센서 노드들의 지역성(locality)을 고려한 연구가 진행된다면, 보다 다양한 네트워크 상황을 고려한 연구 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다. 또한 노드들의 지역적 밀도(geographical density)와 클러스터 헤드 선정 알고리즘의 관련 정도에 대해서도 연구해야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Ian F. Akyldiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramanian, and Erdal Cayirci. "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, 2002.
- [2] 조익래, 이호선, 이균하, "EMRR 프로토콜을 이용한 무선 센서 네트워크 환경에서 노드의 에너지 소비 절감 방법," *컴퓨터정보학회 논문지* 제 10권 4호, 2005
- [3] 정윤수, 김동명, 이상호, "유비쿼터스 센서 네트워크에서의 저전력 상호인증 프로토콜," *컴퓨터정보학회 논문지* 제 10권 2호, 2005.
- [4] 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.
- [5] Jamil Ibric and Imad Mahgoub. "Cluster-based Routing in Wireless Sensor Networks: Issues and Challenges," *SPECTS '04*, pp. 759-766, 2004.
- [6] S. Lindsey and C. S. Raghavendra. "PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems," In *Proceedings of the IEEE Aerospace Conference*, volume 3, pp. 1125-1130, 2002.
- [7] Arati Manjeshwar and Dharma P. Agrawa, "TEEN: A Routing for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," *IEEE Proc. IPDPS'01*, pp. 2009-2015, 2001.
- [8] Arati Manjeshwar and Dharma P. Agrawal. "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks," *IEEE Proc. IPDPS'02*, pp. 195-202, 2002.
- [9] Siva D. Muruganathan, Daniel C. F. Ma, Rolly I. Bhasin, and Abraham O. Fapojuwo. "A Centralized Energy-Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," vol. 40, no. 8, pp. 8-13, *IEEE Communications Magazine*, 2005.
- [10] W. Heinzelman. *Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks*. Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- [11] K. Fall and K. Varadhan, "ns Notes and Documentation" The VINT Project, UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, available from "<http://www.isi.edu/nsnam/ns/>", Dec 2003.

## 저자 소개



### 정의현

1999년 2월 한양대학교 전자공학박사  
 현재 안양대학교 디지털미디어 공학과  
 전임강사  
 <관심분야> 시맨틱 웹, 디지털 컨버  
 전스