

## 무선 센서 네트워크를 위한 계층형 클러스터링의 역할 기반 자가 구성 프로토콜

고 성 현\*, 김 형 진\*\*

### Role-based Self-Organization Protocol of Clustering Hierarchy for Wireless Sensor Networks

Sung-hyun Go \*, Hyoung-jin Kim \*\*

#### 요 약

대형 무선 센서 네트워크(WSNs)는 일반적으로 수백에서 수천 개의 센서 노드들로 구성되어 있다. 이러한 대형 WSNs는 비용 및 에너지를 고려한 에너지 효율성뿐만 아니라 네트워크의 유지 및 관리가 요구된다. 사용자는 효율적인 시스템을 통해서 사용자 수준의 센싱 서비스 품질을 제공받을 수 있어야 한다. 이 네트워크에서 사용자에게 제공되는 결과 데이터의 품질은 이벤트 검출에 관련된 센서들의 개수가 결정적인 역할을 한다. 그러므로 사용자 요구 품질에 적합한 QoS를 제공할 수 있는 네트워크 프로토콜은 일부 센서 노드들에서 에러가 발생하더라도 전체 시스템 성능에 영향을 주지 않으면서, 동시에 에너지 소비가 최소화되도록 설계되어야 한다. 본 논문에서 제안된 프로토콜은 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 프로토콜을 기반으로 하며, 지속적인 감시가 요구되는 대형 네트워크에 적합한 역할 기반의 자가 구성 프로토콜을 제안하였다.

#### Abstract

In general, a large-scale wireless sensor network(WSNs) is composed of hundreds of or thousands of sensor nodes. In this large-scale wireless sensor networks, it is required to maintain and manage the networks to lower management cost and obtain high energy efficiency. Users should be provided with sensing service at the level of quality for users through an efficient system. In evaluating the result data quality provided from this network to users, the number of sensors related to event detection has an important role. Accordingly, the network protocol which can provide proper QoS at the level of users demanding quality should be designed in a way such that the overall system function has not to be influenced even if some sensor nodes are in error. The energy consumption is minimized at the same time. The protocol suggested in this article is based on the LEACH protocol and is a role-based self-Organization one that is appropriate for large-scale networks which need constant monitoring.

▶ Keyword : 클러스터링(Clustering), 자가 구성(Self-Organization), 무선 센서 네트워크 (Wireless Sensor Networks)

---

• 제1저자 : 고성현    교신저자 : 김형진  
• 접수일 : 2008. 8. 29, 심사일 : 2008. 9. 24, 심사완료일 : 2008. 11. 26.  
\* 도건테크 대표이사    \*\* 전북대학교 응용시스템공학부

## I. 서론

최근 들어 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 기반의 센서 기술, 저전력 아날로그 및 디지털 전자 기술, 저전력 RF 설계 기술 등이 급속하게 발전하고 있기 때문에 비교적 저비용의 저전력형 무선 센서들을 이용한 네트워크 응용에 관한 연구 및 기술 개발이 활발히 진행되고 있다[1].

무선 센서 네트워크에 관한 대부분의 기존 연구는 모든 노드들이 동일한 기능을 가진다고 가정하였다. 그러나 실제로 많은 응용에서 센서 노드들은 서로 다른 작업(task)을 수행한다. 어떤 특정 센서 노드가 클러스터 헤드의 역할을 하는 반면에 그 헤드의 이웃 노드들이 다른 클러스터의 게이트웨이 역할도 한다. 따라서 각 센서 노드들은 네트워크에서 서로 다른 작업을 수행할 수 있다. 게이트웨이, 데이터소스, 싱크와 같은 작업을 처리하는 역할 할당은 WSNs의 시스템의 효율적 운영 차원에서 고려될 필요가 있다.

최근 이러한 센서 노드들 간의 작업 할당에 관한 연구가 무선 센서 네트워크의 자가 구성(self-organization)을 위하여 다양한 알고리즘이 제시되고 있다[3][4].

예를 들어 TinyOS[5]에서 여러 노드들 중에 한 노드에 TOSBase라는 특정 프로그램의 적재로 특정 어플리케이션을 설치할 수 있는 기능을 제공하고 있다[6]. 이 프로그램은 무선방송(radio broadcast)을 통하여 수신된 모든 메시지를 시리얼 케이블을 통하여 PC에게 중계(forward)할 수 있다. 실제 응용에서 센서 데이터를 획득하는 노드와 무선방송으로 데이터를 베이스 스테이션으로 전달하는 작업 처리를 전달하는 노드를 구분하는 것이다. 이러한 기법들은 노드들이 그들 간의 작업들을 스스로 할당할 수 있도록 연구되고 있다[7].

또 다른 사례를 들자면, 병합 연산이 노드들 간의 자율적인 분산 배치를 시도한 연구가 있다[8]. 이 기법은 네트워크 트래픽이 최소화되도록 점진적으로 병합 연산의 배치를 조정한다. 또한 Kochhal 등의 연구원들은 특정 노드에 작업의 기술로 역할을 이용하는 자가 구성 프로토콜을 제안한 바 있다. 그러나 그 기법은 각 센서들의 역할이 정적이기 때문에 일반화된 해결 방법으로 사용할 수 없고 특정 상황에 적합하도록 자가 구성의 일부 구성을 해결하도록 설계되었기 때문에 일반화된 해결 방법이 필요하다. 일반화를 위한 해결 방법은 센서 노드, 이웃 노드, 네트워크 토폴로지의 능력을 기반으로 하여 작업을 의미하는 역할을 할당하는 것이다. 그러므로 역할 기반 계층형 클러스터링 자가 구성 프로토콜에서는 이러한 특성

을 기초로 하여 어떤 역할을 특정 노드에 할당하기 위해 분산적인 역할 할당 알고리즘을 설계하여야 한다. 또한 네트워크 특성이 변경되었을 때 새로운 상황을 적용할 수 있는 동적 역할 할당이 가능하도록 설계 하여야 한다.

따라서 본 논문은 WSNs의 다중 네트워크에 관한 논문으로서 스스로 망을 구축할 수 있으며 네트워크의 센서들에게 에너지 분담을 골고루 분배하기 위해 무작위성을 사용하는 탄력적인 계층적 라우팅 프로토콜인 LEACH 프로토콜[2]을 기초로 센서 노드가 무선 환경에 전개되어 최종 베이스 스테이션이 센싱 데이터를 제공받기 위하여 센서의 능력에 따라 작업을 할당하는 역할 기반의 계층형 클러스터링에 대해 제안한다.

제안된 프로토콜은 클러스터 초기 구성, 관리 및 유지, 재구성을 에너지 효율성을 고려한 역할 할당, 계층 구성, 클러스터 병합(merging) 및 분할 등을 적응적으로 수행할 수 있도록 설계하였다. 따라서 에너지 효율성, 고장 허용성, sQoS(sensing Quality of Service) 보장, 적응성들을 제공하는 역할 기반 자가 구성 프로토콜(RSOP:Role-based Self-Organization Protocol)을 설계하였다[15].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 LEACH 프로토콜에 대해 설명하고 3장에서는 클러스터 기반 네트워크 모델에 대해 설명한다. 그리고 4장에서는 자가 구성 구조에 대해 제시하고 하고 5장에서 클러스터 계층의 역할 기반 자가 구성에 대해 제안한다. 6장에서는 시뮬레이션을 통해 본 논문에서 제안한 기법이 우수함을 보이고 마지막으로 7장에서 결론을 맺는다.

## II. LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 프로토콜

계층적인 라우팅 알고리즘을 대표하는 프로토콜로써 스스로 망을 구축할 수 있으며 네트워크의 센서들에게 에너지 분담을 골고루 분배하기 위해 무작위성을 사용하는 탄력적인 계층적 라우팅 프로토콜이다[13][14]. 일반적인 클러스터링 알고리즘에서는 어떤 노드가 클러스터 헤더로 선출된다면 클러스터 안의 모든 노드에게서 데이터를 수신하게 되므로 에너지 소비량이 많아진다. 때문에 클러스터 헤더 노드의 기능은 빠른 시간 내에 장애가 발생하게 되며 이 클러스터에 속한 모든 노드의 유효 수명도 끝나게 된다. LEACH는 에너지를 많이 보유한 센서들 중에서 임의 순환을 통해 클러스터 헤더를 선택하여 에너지 소비가 한 노드로 집중되는 것을 방지한다.

또한 클러스터 헤더는 각 지역의 센서 노드에게서 수신된 모든 정보를 가공하여 병합을 하고 이를 다시 베이스 스테이션으로 전송함으로써 에너지 소비를 줄이고 시스템 수명을 연장시킬 수 있다. 이 프로토콜은 장점은 클러스터 내부의 통신으로 메시지의 불필요한 송수신이 감소하고 단일 홉 통신으로 이루어진다는 점이다. 그러나 헤더의 선출과 클러스터 구성을 위한 연산이 복잡하고 클러스터 내부의 통신이 단일 홉이기 때문에 노드는 모두 큰 통신 거리를 가지고 있어야 한다.

### III. 클러스터 기반 네트워크 모델

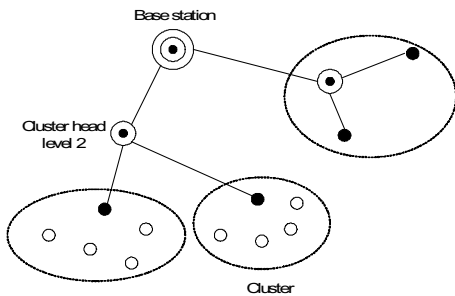


그림 1. 클러스터 기반 네트워크 모델  
Fig 1. Cluster-based Network Model

그림 1은 WSNs에서 클러스터 기반의 자가 구성은 전체 네트워크를 클러스터 단위로 분할하여 제어가 용이하도록 네트워크 기반 구조를 제시한 것이다[10]. 따라서 전체 무선 센서 네트워크를 클러스터 계층으로 구분하는 계층적 접근 방법을 나타내고 있다. 각 센서 노드는 하나의 클러스터 헤더를 중심으로 하나의 클러스터를 형성하고 전체 네트워크를 클러스터 단위로 분할한다. 각 클러스터의 클러스터 헤더는 다른 클러스터의 클러스터 헤더 또는 베이스 스테이션으로 각 클러스터 내부에서 획득, 수집, 병합된 데이터를 라우팅하는 역할을 한다.

이처럼 클러스터 멤버와 헤더의 선택으로 단일 클러스터가 형성되고 클러스터 헤더들은 베이스 스테이션으로 센싱 데이터를 효율적으로 전달하기 위한 라우팅을 구성해야 한다. 이를 위하여 클러스터 헤더들 간의 연결로 구성된 가상 백본을 구성하며, 이것을 연결 지배 노드들 집합(CDS)이라고 한다.

CDS를 기반으로 클러스터 구성은 구성에서 CDS 원소 수를 최소화하는 문제는 에너지 효율성과 직접 관련되어 있기 때문에 중요하다. 이러한 문제를 MCDS(Minimum Connected Dominating Set) 문제라 한다. MCDS는 두

가지 조건을 가정한다.

- 1) 각 노드가 백본 노드이거나 백본 노드와 1 홉 간격의 노드이다.
- 2) 백본 노드들은 연결된 가상 네트워크를 구성한다.

본 논문에서는 제안 하고자하는 프로토콜의 자가 구성을 위하여 적합한 분산 지역화 알고리즘을 설계하였다. 이 알고리즘은 분산 및 지역화 기법을 통한 계층적인 CDS를 생성하도록 하였다. 이론적으로 각 센서 노드가 지역 정보(local information)를 제공하면 이웃한 노드들과 한정된 라운드로 메시지 교환을 수행한다.

CDS 형성 알고리즘은 마킹 과정(marking process)과 DSR(dominating set reduction) 과정으로 구성된다.

우선 계층형 CDS 형성 알고리즘의 설계를 위한 네트워크 모델을 가정한다. 또한 각 센서 노드는 ID와 위치 정보를 제공하며 이웃 발견(neighbor discovery) 단계에서 상호간의 노드 정보를 수집한다. 무선 센서 네트워크를 위한 수학적 모델은 식 (3.1)과 같다. 또한 각 노드에 관한 거리 정보, 센싱 능력, 노드 ID가 자가 구성을 위한 입력 파라미터로 알고리즘에 제공된다.

$$\text{Graph: } G = (V, E) \dots\dots\dots (3.1)$$

(단,  $V =$  a set of wireless nodes,  $E =$  a set of edges)

```

1: begin
2: Step 1 : Marking Process
3:   1 Initially, assign marker F to each  $v$  in  $V$ 
4:   2 Each  $v$  exchanges its open neighbor set  $N(v)$ 
5:     with all its neighbors
6:   3 Each  $v$  assign its marker  $m(v)$  to  $T$ 
7:     if there exist two unconnected neighbors
8: return CDS
9: end
    
```

그림 2. 계층형 CDS 형성 알고리즘  
Fig 2. Hierarchical CDS Organization Algorithm

### IV. 자가 구성 구조

본 논문에서 제안한 기법은 Katz[11]에서 제안된 자가 구성 시스템(Self-configurable System)을 기반으로 확장하였다. 따라서 자가 구성 구조는 센서 노드들이 네트워크를 자율적으로 조직화를 위하여 각 노드는 유일한 주소를 할당하고 두 노드 쌍(pair) 단위로 패킷을 전달하며, 네트워크 지향적이고 브로드캐스트 기반 구조를 추출할 수 있도록 설계하였

다. 또한 노드 고장이나 링크의 고장을 위한 네트워크 재구성도 고려하였다.

네트워크의 자가 구성을 위한 처리 과정은 4 단계로 구분한다.

1) 발견 단계(Discovery Phase)

각 센서 노드는 자신의 이웃 노드들에 관한 정보를 수집하고 자신의 전송 반지름을 설정한다.

2) 구성 단계(organization phase)

각 센서 노드는 서로 협력하여 클러스터들을 생성한다. 일차적으로 네트워크에서 클러스터가 생성되고 균등한 크기의 클러스터를 위한 머징 과정(merging process)을 통하여 네트워크를 자체적으로 그룹화 한다. 그룹으로의 확장은 클러스터나 그룹의 크기가 비슷하면 통합할 수 있도록 설계하였다.

3) 관리 및 유지 단계(Maintenance phase)

모든 센서 노드들이 자가 구성이 이루어지면 네트워크 관리를 위하여 주기적으로 제어 메시지, 즉 노드의 생존 유무를 의미하는 메시지를 방출하고, 이웃 노드들에게 라우팅 테이블, 자신의 이웃 노드, 잔류 에너지 수준 등과 같은 정보를 전달한다.

4) 자가 재구성 단계(self-reorganization phase)

노드는 이웃 노드의 고장이나 그룹 분할을 검출하여 노드의 라우팅 테이블을 갱신한다. 만약 그룹 분할이 발생하면 그 그룹은 현재 존재하는 다른 그룹에 통합되기 위해서 머징을 수행한다. 머징은 그룹들 간의 균등한 계층 높이(hierarchy height)가 되도록 수행한다.

4.1 발전 단계 및 구성 단계

자가 구성 프로토콜은 설계 단순화와 교환 메시지의 수를 최소화하기 위하여 클러스터 멤버와 클러스터 헤드 간의 거리는 1 홉으로 제한한다. 그림 3은 어떤 클러스터에 가입(join)하려는 센서 노드와 클러스터 헤드(CH) 사이에 발생하는 메시지 처리 과정이다[12].

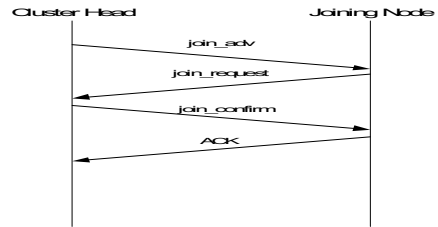


그림 3. 클러스터 가입을 위한 메시지 시퀀스  
Fig 3. Message Sequences for Cluster Join

1) 클러스터 광고

무선 센서 네트워크의 자가 구성은 CH에서 방송되는 메시지를 받기 위하여 일정한 시간 동안 가입을 원하는 노드가 대기(listen) 상태로 시작한다. 만약 노드에서 메시지를 듣기 위한 대기 타이머가 만료되면 그 노드는 자신이 클러스터를 생성하고 스스로 클러스터 헤드가 된다. 이렇게 생성된 클러스터 헤드는 지역 주소가 '000'이 된다. 클러스터 헤드의 유지 기간은 그 노드의 잔여 에너지 수준과 처리 능력에 의해 결정된다.

그러므로 보유 에너지가 높은 노드일수록 CH가 될 가능성이 높다. CH는 클러스터 멤버를 구성하기 위해 지역적인 가입(invitation) 메시지를 방송한다. 이때 방송하는 메시지가 join\_adv 메시지이다. 따라서 CH의 전송반지름( $r$ ) 범위에 포함된 모든 노드들이 join\_adv 메시지를 받게 된다. 초기에의 전송반지름은  $r = r_0$ 로 설정한다. join\_adv 메시지는 RETRI로 생성된 클러스터 ID와 플래그가 포함되어 있다. 플래그에는 메시지를 전송하기 위한 전력 클래스(power class)정보를 포함한다. 이 플래그는 어떤 클러스터에 노드가 가입(join)할 때 적용된다. 가입을 원하는 노드들은 특정 CH의 송신 전력에 관한 정보를 플래그를 통하여 알게 된다. 전력 클래스(power class)의 개념은 각 전력 클래스에 대한 적합한 전송 반지름과 매핑 된다.

2) 노드 응답

클러스터 헤드가 광고 메시지를 전달하는 대기 시간(listening time) 동안에 노드들은 각 CH에게 join\_request 메시지로 가입을 요청한다. 가입을 요청하는 노드는 특정 클러스터의 클러스터 ID를 설정하고 자신의 RETRI 기반의 순간 노드 식별자를 설정한다. 만약 전체 노드들이 CH로부터 메시지 받고 다시 CH에 가입을 위한 join\_request 메시지를 일시에 응답한다면 CH 주변에서 충돌 발생 가능성이 매우 높다. 이러한 현상을 응답 폭풍(reply storm)이라고 한다. 이러한 응답 폭풍의 발생을 억제하기 위

하여 각 노드는 응답하기 전에 임의 지연시간을 대기한 후에 전달한다. 또한 만약 여러 CH로부터 광고 메시지를 한 노드가 받았다면 그 노드는 에너지 절약을 위하여 가장 가까운 클러스터에 가입할 필요가 있다. 즉 가장 낮은 전력 클래스를 가진 join 메시지의 클러스터를 선택한다.

### 3) 클러스터 크기의 머징

클러스터 머징은 단일 클러스터 내에서 충돌의 발생 가능성을 줄이고 적합한 접속성과 중복성을 제공할 수 있도록 멤버 노드의 개수가 너무 많지도 적지도 않도록 하는 것이 목적이다.

보통 CH의 주변은 몇 개의 노드들이 임의 배치된 영역이다. CH의 최대 전력 반지름이  $R_{max}$  일 때  $r > R_{max}$  이면 CH는 클러스터 형성 알고리즘을 종료한다. CH에 가입을 시도한 노드는 다른 클러스터에 가입해야 한다. 이처럼 가입하지 못한 노드들을 위하여 CH들은 자신들의 클러스터가 형성되어도 계속해서 광고 메시지를 방송한다.

가입을 원하는 어떤 노드가 join\_request 메시지를 CH에 전달하였다면 CH는 멤버로서 승인 여부를 결정한다. CH는 가장 먼저 자신의 주소 공간에 여분 공간이 있는지를 검사하여 새로운 노드의 승인 여부를 결정한다. 만약 그 검사가 'yes'이면 CH는 join\_confirm 메시지로 응답한다. 그 메시지는 목적지의 순간 주소를 이용하여 전달한다. 또한 CH는 새로운 클러스터 멤버를 위한 지역 주소를 할당한다. 그 노드는 join\_confirm 메시지를 받으면 ACK 메시지를 다시 전송한다. 이와 반대로 CH가 join\_request는 받았지만 클러스터가 FULL 상태이면 이 메시지를 무시한다. 가입을 원하는 노드가 CH로부터 거절당했다면 일정한 시간 이후에 RESET하고 다시 CH로부터 광고 메시지가 전달될 때까지 대기 상태로 전환한다.

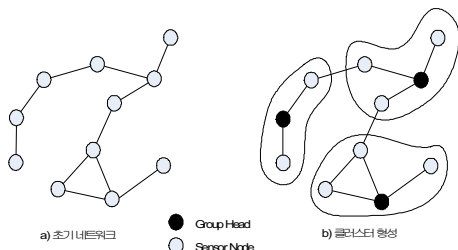


그림 4. 클러스터 형성 과정  
Fig 4. The Process of Cluster Formation

그림 4는 11 개의 노드로 구성된 무선 센서 네트워크에서 클러스터 형성 프로시저 과정을 설명하고 있다. 센서들 간의 실선은 노드의 라디오 링크들이고 곡선은 단일 클러스터를 의

미한다. 세 개의 검정색 노드는 CH이고 흰색 노드는 각 클러스터에 가입한 멤버 노드들이다. 또한 각 클러스터는 지역 방송 트리(local broadcast tree)를 구축하며 곡선 모양으로 멤버 노드들의 그룹을 표현했다.

### 4.2 관리 및 유지 단계와 자가 재구성 단계

```

begin
Step 1 :  $m = n$ 
1: IF  $m = n$  THEN
2: // the two groups have the same address size.
3:  $G_{new} \leftarrow \text{merge}(G_1, G_2)$ 
4:  $Addr_{new} \leftarrow \text{concatenate}(Addr(G_1, 0), Addr(G_2, 1))$ 
5:
6:
7: Step 2 :  $m > n$ 
8: IF  $m > n$  THEN
9: Check  $\Delta$ 
10: unbalanced fusion.
11:
12: Step 1 : Small  $\Delta$  : unbalanced fusion
13: IF  $\Delta < 3$  THEN
14:  $G_{new} \leftarrow \text{merge}(G_1, G_2)$ 
15:  $G_{small} \leftarrow \text{compare}(G_1, G_2)$ 
16:
17: IF  $\Delta = 1$  THEN
18:  $Addr_{small} = Addr(G_{small}, 00)$  // 00~11
19: ELSE //  $\Delta = 2$  THEN
20:  $Addr_{small} = Addr(G_{small}, 000)$  // 000~111
21:
22:
23:  $Addr_{new} \leftarrow \text{concatenate}(Addr(G_1), Addr(G_2))$ 
Step 2 : Large  $\Delta$ 
end
    
```

그림 5. 그룹 머징 알고리즘  
Fig 5. Group Merging Algorithm

네트워크의 자가 구성에서 클러스터 머징(cluster merging)은 각 그룹들을 하나로 통합한 단일 네트워크가 되도록 클러스터를 그룹으로 확장하는 통합하는 과정이다.

클러스터 머징은 클러스터나 그룹의 규모(size)가 일정하지 않기 때문에 전체 네트워크의 에너지 소비가 한쪽에 집중화로 네트워크의 전체 수명 시간을 단축킬 수 있다. 전체 네트워크가 균등한 크기의 그룹 규모로 운영된다면 에너지 소비의 균등 분배가 효과적으로 이루어지며 관리에 필요한 오버헤드를 줄일 수 있다. 클러스터 머징과정에서 그룹은 단일 클러스터나 두 개 이상의 클러스터를 통합한 어떤 노드들의 집단을 의미한다.

## V. RSO 프로토콜

RSO 프로토콜의 주요 목적은 임의로 전개된 센서 노드들에 대하여 에너지 효율적인 클러스터들을 생성하는 것이다. 각 클러스터는 헤드 집합이라는 부 클러스터 헤드 집합에 의해서 관리된다. 라운드 로빈 기법에 따라 각 부 클러스터 헤

드 집합은 해당 클러스터에서 클러스터 헤드 역할을 한다. CH는 클러스터 멤버로부터 메시지를 받고, 병합한 메시지를 원격의 BS에게 전달한다. 모든 전송은 single-hop이기 때문에 클러스터 멤버들은 단거리 방송 메시지를 전송하고 CHs는 원거리 방송 메시지를 전송한다. 헤드 집합을 이용한 방법은 CH가 한 라운드에서 죽은 클러스터들에 대하여 좋은 해결책이 될 것이다.

CH의 임무는 에너지를 소비하는 것이기 때문에 지정된 전송 횟수를 최소화할 수 있는 새로운 클러스터 집합이 되어야 한다. 다시 말해서, 클러스터들은 라운드는 단기간 동안에만 유지된다. 라운드는 선출단계와 데이터 전송 단계로 구성된다. 선출 단계는 센서 노드들이 새로운 클러스터 집합을 자가 구성하는 것이며 이때 각 클러스터는 헤드 집합을 가지게 된다. 데이터 전송 단계는 헤드 집합 멤버들이 베이스 스테이션에게 지정된 횟수만큼 장거리 전송으로 전달한다.

1) 선출 단계

선출 단계에서 클러스터들은 임계 함수를 이용하여 생성된다.

$$T(n) = \frac{p}{1 - p \left( r \bmod \frac{1}{p} \right)} \dots\dots\dots (5.1)$$

$p$ 는 CHs의 희망 비율과 현재 보유중인 클러스터의 비율과의 차이이다.  $r$ 은 현재 라운드이고  $1/p$ 는 라운드 동안에 아직 헤드 집합 멤버가 된 적이 없는 노드들의 집합이다.

첫째, 각 노드는 random 수를 생성한다. 그 수는 0부터 1 사이의 수이다. random 수가  $T(n)$ 보다 작으면 그 노드는 헤드 집합 멤버가 되고 이 선출 단계 동안에 CH 역할을 한다.

둘째, 각각 선출된 CH는 단거리 광고메시지를 방송한다. 센서 노드들은 광고 메시지를 하나 이상의 CHs로부터 받을 수 있다.

셋째, 각 센서 노드는 수신된 광고 메시지의 신호 강도를 근거로 자신의 CH를 선택한다.

넷째, 센서 노드들은 자신들이 결정에 관하여 자신들의 CHs를 알리기 위해 단거리 ACK를 전송한다. 이 단계에서 현 라운드에서 클러스터들이 결정되고 각 헤드 집합은 하나의 후보 헤드 멤버를 가진다.

다섯째, 비교적 큰 클러스터 크기를 가진 CHs은 자신의 클러스터를 위해 부가된 헤드 집합 멤버들의 미리 정의된 수를 선택한다. 추가된 헤드 집합 멤버는 ACK 메시지의 신호 강도를 바탕으로 결정된다. 결정된 헤드 집합 멤버들은 모든

잔류 노드들이 CHs 가될 때 까지 헤드 집합 멤버가 될 수 없다. 어떤 반복과정은 모든 노드들이 CHs 가 되는 기간으로 정의된다.

여섯째, 각 CH는 헤드 집합들에 대한 TDMA 스케줄을 생성한다. 뿐만 아니라 나머지 클러스터 멤버들에게도 동일한 작업을 한다.

일곱째, CHs은 TDMA 스케줄을 자신들의 멤버들에게 방송한다.

선출 단계를 마치면, 각 헤드 집합의 멤버들은 다음 라운드를 위해 충분한 에너지가 있는지 없는지를 검사한다. 만약 어떤 헤드 집합의 멤버의 에너지가 특정 임계 값 보다 낮아지면, 헤드 집합에서 제거된다. 남아 있는 헤드 집합 멤버들은 그에 따라 자신들의 스케줄을 업데이트 한다.

2) 데이터 전송 단계

데이터 전송 단계는 멤버 노드들이 자신들의 CHs에게 데이터를 전달하고 CHs는 병합 데이터를 BS에게 전달한다.

- Step 1: 멤버 노드들은 자신들의 TDMA 스케줄에 따라 데이터를 전달한다.
- Step 2: CH는 멤버 노드들로부터 메시지를 받는다. 헤드 집합의 멤버들이 라운드 로빈을 기반으로 CH가 되기 때문에 CH만이 메시지를 받고 나머지 헤드 집합 멤버들은 자신들의 radio를 turn-off 한다.
- Step 3: CH는 병합 데이터를 베이스 스테이션에게 보낸다.
- Step 4: CH는 잔여 에너지를 검사한다. 에너지 수준이 특정 임계값보다 낮다면 CH는 헤드 집합으로부터 스스로 제거된다.
- Step 5: outgoing CH는 incoming CH에게 헤드 집합 멤버로 남을지 아니면 클러스터 멤버로 남을지 결정할 사항에 대하여 알린다. 만약 outgoing CH가 헤드 집합으로부터 제거 된다면 나머지 헤드 집합 멤버들은 자신들의 스케줄을 그에 따라서 업데이트 한다.

라운드가 끝날 때, 모든 클러스터들이 파괴되는 것은 아니다. 그러나 각 클러스터는 헤드 집합 크기와 같은 라운드의 수를 가지고 있다. 다시 말해서, 헤드 집합의 크기가 '1'일 때 클러스터들의 노드들은 다음 라운드의 후보들이 된다. 그러나 헤드 집합의 크기가 1 보다 클 때 클러스터들의 노드들은 다음 선출에 참여하지 않는다. 이 방법은 선출 횟수를 줄이고 장거리 전송에 대한 부담이 노드들 간의 더욱 효율적으로 분

산되게 한다. 더욱이 다음 선출 동안에 헤더들의 수가 클러스터들의 수에 따라 줄어든다.

## VI. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 사용자에게 데이터를 전송하는 과정에서 발생하는 송수신 메시지와 센서 노드의 에너지 소비에 초점을 맞추어 제안된 프로토콜의 성능을 분석하였다. 이를 위해, 이벤트 발생 주변에 이웃한 센서 노드 수의 증가에 따른 에너지 소비율, 네트워크에 유포되는 메시지 비율, 네트워크 내 센서 노드 수의 증가에 따른 전체 네트워크 에너지 소비율을 비교 분석하는 시뮬레이션을 수행하였다.

이를 위해 TOSSIM(9)을 사용하여 성능 평가를 하였다. 시뮬레이션을 위한 네트워크 배치를 위해  $N \times N$  크기의 그리드(grid) 토폴로지를 구성하고, 센싱 지역의 크기는  $1,000 \text{ m}^2$ 로 설정하였다. 또한, 최대 400개의 센서 노드를 시뮬레이션을 위해 사용하였으며, 센서 노드의 에너지 소비량을 측정하기 위해 전송 전력 :  $33\text{mW}$ , 수신 전력 :  $30\text{mW}$ , 대역폭 :  $70000\text{bps}$ , 통신반경 :  $100\text{m}$ 을 사용하고, Mica2 센서 노드에서 사용되는 전력 소비 값을 기준으로 설정하였다.

제안기법과 기존기법(LEACH)을 각각 센서 노드의 수를 증가 시키면서 네트워크 전체에 소비되는 에너지를 측정한 결과 그림 6과 같은 결과를 도출하였다.

기존기법(LEACH)은 이웃한 모든 노드들과 협상을 수행한 후 데이터를 싱크 노드에게 전달한다. 따라서 모든 이웃 노드들과 협상하기 위해 주고받는 메시지의 양이 센서 노드의 수가 증가할수록 기하급수적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 에너지 소비량도 더욱 커지는 것을 알 수 있다.

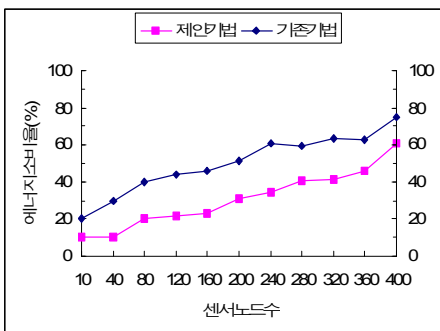


그림 6. 전체 네트워크의 에너지 소비율  
Fig 6. The Energy Consumption Rate of The Whole Network

그러나 제안기법은 그림 6과 같이 이벤트 발생 주변 노드들 간의 협상과 최소 홉 전송 노드를 선정하는 방법을 통해 전체 네트워크의 에너지 소비량을 줄이고 단일 전송 경로를 통해 중복 전송 문제를 해결함으로써 기존기법(LEACH)보다 약 20% 이상 전체 에너지 소비량을 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

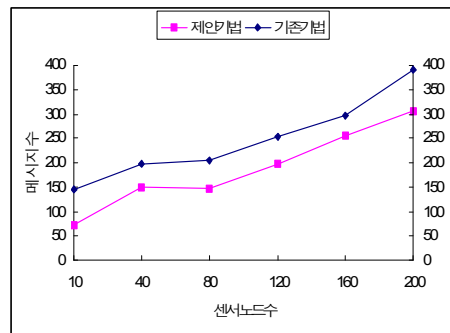


그림 7. 발생된 전체 메시지  
Fig 7. Total Message Generated

두 번째 실험에서는 네트워크 전체에 유포되는 메시지의 비율을 비교 분석하였다. 전체 네트워크에 유포되는 메시지는 네트워크의 수명에 큰 영향을 주며, 많은 양의 메시지는 네트워크의 고장 및 혼잡 또는 노드의 고장에 결정적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 네트워크에 유포되는 메시지의 양을 최대한 줄이면서 사용자에게 데이터를 전달할 수 있도록 해야 한다. 그림 7은 노드 수에 따른 메시지 비율을 측정한 결과이다. 실험 결과, 제안기법이 기존기법(LEACH)보다 20% 이상 메시지 발생량이 감소되는 것을 알 수 있다.

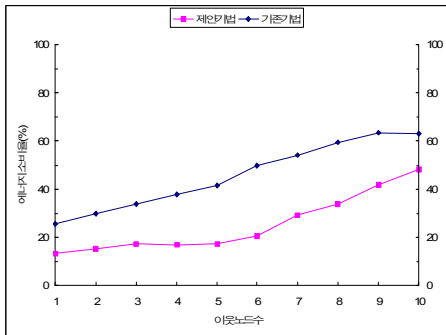


그림 8. 이웃 노드 수에 따른 에너지 소비율  
Fig 8. Energy Consumption Rate Corresponding to the Number of Neighboring Nodes

마지막으로 센서 노드에 이웃한 노드의 수를 증가시키면서 기존기법(LEACH)과 제안기법의 에너지 소비율을 측정할 것이다. 이러한 실험에서는 센서 노드가 데이터를 획득한 후 사용자에게 데이터를 전달하기 위해 이웃 노드들과 협상하는 과정에서 협상 메시지의 송수신 횟수를 최소화함으로써 에너지 소비가 절감되는 지를 측정하는 것이 중요하다. 그림 8은 이웃 노드 수의 증가에 따른 에너지 소비율을 측정할 결과로 제안기법을 사용하면 에너지 소비량이 약 20% 이상 감소되는 것을 보여준다.

### VII. 결론

본 논문은 무선 센서 네트워크의 전체적인 에너지 소비를 균등 분배할 수 있는 통신 프로토콜 설계에 관한 논문으로서 역할 기반의 자가 구성 프로토콜을 제안하였으며, 에너지 소비를 최소화하기 위하여 최적의 네트워크 토폴로지를 구축하기 위한 자가 구성 알고리즘과 센서 노드의 접속성 및 센싱 특성을 기반으로 클러스터 내 또는 클러스터 사이에서 센서 노드가 수행해야 할 역할을 할당하는 알고리즘으로 구성되어 있다.

또한, 계층화된 클러스터링 구조를 통해 센서 노드의 결합 발생 시 네트워크 토폴로지를 동적으로 재구성하는 방식으로 결합 발생에 따른 네트워크 문제점을 효율적으로 해결할 수 있도록 설계하였다.

이를 위해 무선 센서 네트워크의 센싱 영역을 클러스터 단위로 형성하고 클러스터 간의 계층적 구조를 정의할 수 있도록 각 센서의 센싱 특성과 접속성에 따라 센서들을 백본 노드, 클러스터 헤드, 클러스터 헤드 멤버 등으로 분류하는 기법을

제안하였다. 마지막으로 성능 평가를 통하여 제안된 프로토콜의 우수함을 증명하였다.

### 참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey", Computer Networks(Elsevier), Mar. 2002.
- [2] W. B. Heinzelman, A. L. Murphy, H. S. Carvalho, M. A. Perillo, "Middleware to Support Sensor Network Applications", IEEE Network, Vol. 18, No. 1, pp. 6-14, Jan.-Feb. 2004.
- [3] T. V. Dam, K. Langendoen, "An Adaptive Energy-efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", In Sensys'03, pp. 171-180, Los Angeles, USA, Nov. 2003.
- [4] K. Akkaya, M. Younis, "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks". in the Elsevier Ad Hoc Network Journal, Vol. 3/3 pp. 325-349, 2005.
- [5] J. Hill, R. Szewczyk, A. Woo, S. Hollar, D. Culler, K. Pister, "System Architecture Directions for Networked Sensors", In Proceedings of the 9th Int'l Conference of Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems, pp. 93-104, Nov. 2000.
- [6] P. J. Marron, A. Lachenmann, D. Minder, J. Hahner, K. Rothermel, C. Becker, "Adaptation and Cross-layer Issues in Sensor Networks", In Proceedings of the Int'l Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks & Information Processing, pp. 623-628, Dec. 2004.
- [7] P. J. Marron, A. Lachenmann, D. Minder, J. Hahner, R. Sauter, K. Rothermel, "TinyCubus: A Flexible and Adaptive Framework for Sensor Networks", In Proceedings of the 2nd European Workshop on Wireless Sensor Networks, pp. 278-289, Jan. 2005
- [8] B. J. Bonfils, P. Bonnet, "Adaptive and Decentralized

- Operator Placement for In-network Query Processing", In F. Zhao and L. J. Guibas, Editors, Proceedings of the 2nd Int'l Workshop on Information Processing in Sensor Networks, pp. 47-62, Apr. 2003.
- [9] P. Levis, N. Lee, M. Welsh, D. Culler, "TOSSIM: Accurate and Scalable Simulation of Entire TinyOS Applications", In Proceedings of the First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pp. 126-137, Nov. 2003.
- [10] M. Kochhal, L. Schwiebert, and S. Gupta, "Role-based Hierarchical Self Organization for Wireless Ad hoc Sensor Networks", In WSNA, SanDiego, USA, 2003.
- [11] L. Subramanian, R. H. Katz, "An Architecture for Building Self-Configurable Systems", In IEEE/ACM Workshop on Mobile Ad hoc Networking and Computing(MobiHoc 2000), Boston, Aug. 2000.
- [12] C. Chevally, R. E. Van Dyck, and T. A. Hall, "Self-organization protocols for wireless sensor networks," Proc. Conference on Information Sciences and Systems (CISS) , Princeton, NJ, March 2002.
- [13] W. Heinzelmann, A. P. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "An Application Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks", IEEE Transaction Wireless Communications, Vol.1, October 2002.
- [14] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC protocol for Wireless Sensor Networks", in Proc. of INFOCOM'2002, pp. 1567-1576, NY, June 2002.
- [15] 고성현 "무선 센서 네트워크에서 클러스터 계층을 이용한 역할 기반의 자가 구성 프로토콜", 군산대, 박사학위 논문, 2007.

## 저 자 소 개



**고성현**

1998년 군산대학교 전파공학과 졸업  
2000년 군산대학교 전파공학과 공학 석사  
2007년 군산대학교 전자정보공학부 공학박사  
2005년 3월 ~ 현재 군산대학교 전자정보공학부 겸임교수  
1997년 3월 ~ 2002년 5월 이지시스템(주) 대표이사  
2002년 5월 ~ 현재 도건테크 대표이사

관심분야 : 멀티미디어 시스템, 전파통신, 초고속통신망, 유비쿼터스, 임베디드 시스템, 무선 센서 네트워크



**김형진**

1997년 호원대학교 전자계산학과 이학사  
1999년 군산대학교 정보통신공학과 공학석사  
2004년 군산대학교 정보통신공학과 공학박사  
2004년 9월 ~ 2005년 3월 군산대학교 전자정보공학부 계약교수  
2005년 4월 ~ 2008년 2월 익산대학 정보통신과 조교수  
2008년 3월 ~ 현재 전북대학교 응용시스템공학부 조교수

관심분야 : 멀티미디어 DBMS, 멀티미디어 통신 시스템, 무선 센서 네트워크, 북한통신