

# 센서 네트워크에서의 효율적 에너지 관리를 위한 클러스터링 알고리즘

정희원 서성윤\*, 정원수\*, 오영환\*

## Clustering Algorithm for Efficient Energy Management in Sensor Network

Sung-Yun Seo\*, Won-Soo Jung\*, Young-Hwan Oh\* *Regular Members*

### 요 약

센서 네트워크에서의 센서 노드는 특성상 제한된 에너지를 가지고 있어 다양한 네트워크 환경을 갖는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 그 활용 범위가 제한되는 문제를 가지고 있다. 본 논문에서는 센서 네트워크의 효율적 에너지 관리를 위한 클러스터링 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 기존의 LEACH-C 알고리즘이 고려하지 않은 또 다른 에너지 소비 요소인 센싱 파워를 제어함으로써 에너지 효율을 개선하며, 다양한 네트워크 환경에 적용 가능한 특징을 갖는다. 제안한 알고리즘은 IEEE 802.15.4 기반의 ZigBee 기술과 더불어 다양한 네트워크 환경을 갖는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에 적용하여 기존 알고리즘 보다 에너지 효율적 측면에서 우수한 성능을 보여주는데, 작게는 센서 노드의 생존 시간과 크게는 센서 네트워크의 생존 시간 향상을 가져오는 것을 알 수 있으며, 빠르게 변화하는 네트워크 환경에 센서 네트워크 기술의 활용 범위를 보다 확대 할 수 있을 것이다.

**Key Words** : WSN, LEACH, ZigBee, IEEE 802.15.4

### ABSTRACT

In this paper, we propose a clustering algorithm for efficient energy management of sensor network consisted of sensor nodes that have restricted energy to solve these problem. Proposed algorithm improves energy efficiency by controlling sensing power. And it has distinctive feature that is applied in various network environment. The performance evaluation result shows that the energy efficiency is improved by 5% in the case of all sensor node fixed and by 10~15% in the case of all sensor node moving. It is confirmed through experiment process that the proposed algorithm brings energy efficiency ratio improvement of 5~15% more than the existing algorithm. Proposed algorithm derived an upper bound on the energy efficiency for Ubiquitous Computing environment that have various network environment that is with ZigBee technology of IEEE 802.15.4 bases. Also, we can know bring elevation for lifetime of sensor network greatly for lifetime of sensor node as is small. And we think that may expand practical use extent of a sensor network technology more in fast changed network environment.

### I. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)는

최근 대두되고 있는 유비쿼터스 컴퓨팅의 연구에 힘입어 이에 대한 관심이 커지고 있으며 유·무선 네트워크 인프라에 상황인지를 위한 다양한 센서

\* 광운대학교 통신망연구실(zizi2u@hotmail.com)

논문번호 : KICS2008-03-125, 접수일자 : 2008년 3월 13일, 최종논문접수일자 : 2008년 9월 8일

노드와 결합하여 수집된 정보를 상위 노드 및 응용 시스템으로 전달하여 용도에 맞게 활용하는 기술로 재난방제, 환경감시, 물류관리, 보안, 의료 환경 등의 다양한 환경에 적용을 시도하고 있다<sup>1-2)</sup>.

센서 네트워크는 MANET(Mobile Ad-Hoc Network) 환경을 기본 모델로 하여 AP(Access Point)와 같은 고정된 기반이 없는 네트워크 환경에서 다수의 센서 노드가 일정 영역의 센서 필드(Sensor Field)에 임의 배치되고 센서 노드 간 자율적이고 독립적인 네트워크를 구성한다<sup>3-4)</sup>. 하지만 센서 네트워크 환경은 기존의 MANET 환경과 다른 다음과 같은 특징을 가지고 있다. 첫째, 센서 네트워크에서는 MANET 환경의 노드 개수와 비교해 많은 개수의 센서 노드를 가진다. 둘째, 센서 네트워크는 환경에 따라 다양한 토폴로지를 갖기 때문에 센서 노드의 밀도가 일정하지 않다. 셋째, 센서 노드는 이동성을 고려하여 시스템이 모듈화 및 소형화된 시스템을 필요로 하며, 배터리와 같은 제한적인 에너지를 갖는다. 이처럼 센서 네트워크의 특징을 만족하기 위한 가장 중요한 기술적 관심은 다양한 네트워크 환경에 빠르게 반응하여 효과적인 통신환경을 구축하고, 효율적 데이터 전송을 위한 에너지 기반의 라우팅 알고리즘에 대한 연구이다<sup>5)</sup>.

클러스터링 기반의 계층형 라우팅 알고리즘은 평면형 라우팅 알고리즘과 비교해 인접 노드 간의 유사 정보의 중복 전달로 인한 에너지 낭비 및 경로 설정 과정에서 발생하는 오버헤드를 줄이기 위해 데이터 전달 및 처리 과정을 계층적으로 분리하여 센서 노드의 효율 향상과 네트워크의 안정성을 확보할 수 있는 장점을 가진다. 대표적 계층적 라우팅 알고리즘으로 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)를 들 수 있으며 이를 보완한 LEACH-C(LEACH-Centralized)가 있다<sup>7-9)</sup>. 하지만 기존의 알고리즘은 센서 노드의 중복 데이터 방지 및 최적의 경로 설정 등을 통해 제한된 에너지의 효율 향상을 목적으로 하고 있어 데이터 수집을 위한 센싱(Sensing) 파워와 같은 센서 노드의 또 다른 에너지 소비 요소를 고려하지 않고 있다. 이는 다양한 네트워크 환경을 갖는 센서 네트워크에서 불필요한 에너지 소비를 가져와 센서 네트워크의 생존 시간을 단축시키는 원인을 제공한다<sup>6)</sup>.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 효율적 에너지 관리를 위한 클러스터링 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 기존 알고리즘에서 고려하지 않는 센서 노드의 센싱 파워를 제어함으

로써 보다 효율적인 에너지 관리가 가능하기 때문에 기존 알고리즘 보다 작게는 센서 노드의 생존 시간과 크게는 센서 네트워크의 생존 시간 향상을 가져온다. 또한, 구성된 클러스터의 토폴로지 변화 및 네트워크 토폴로지 변화에 자율적으로 반응하므로 다양한 네트워크 환경에 적용 가능한 특징을 갖는다.

본 논문은 다음과 같은 구성을 가진다. II장에서는 센서네트워크와 이와 관련한 클러스터링 기반의 계층적 알고리즘에 대해 알아본다. III장에서는 제안한 클러스터링 알고리즘에 대해 알아보고, IV장에서 본 논문이 제안하는 알고리즘에 대해 구현 및 성능 평가한 후, V장에서 결론을 맺기로 한다.

## II. 관련 연구

### 2.1 센서 네트워크

센서 네트워크란, 컴퓨팅 능력을 가진 매우 작은 크기의 독립된 무선 센서 노드들을 건물, 도로, 산악, 의료, 인체 등 물리적 공간인 센서 필드에 임의 배치하여 독립된 네트워크를 구성하고 주위의 온도, 빛, 진동, 생체신호 등의 정보 수집을 목적으로 하는 네트워크 기술을 의미한다.

센서 네트워크의 일반적인 구조는 그림 1과 같다.

센서 노드들은 센서 필드에 조밀하게 임의 배치되며 AP와 같은 고정된 기반 없이 센서 노드 간 자율적이고 독립적인 네트워크 토폴로지를 구성한다. 또한 센서 노드의 이동성을 고려하여 제한된 에너지를 갖기 때문에 센서 노드는 에너지 의존적인 다양한 기술들을 사용한다.

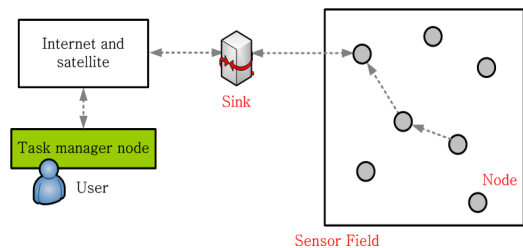


그림 1. 무선 센서 네트워크 구조

### 2.2 클러스터링 기반의 계층형 알고리즘

센서 네트워크의 구조는 모든 센서 노드에서 싱크 노드로 수집된 정보를 전송하는 다-대-일(Many-to-One) 통신이고, 지리적으로 가까운 센서 노드가 감지한 데이터는 상관관계가 높아 중복된

데이터를 전송할 수 있다. 센서 네트워크에서는 이러한 인접 노드 간의 유사한 정보의 중복 전달로 인한 에너지 낭비를 줄이기 위한 “데이터 모음(Data Aggregation)”이 필요하다는 특성을 고려할 때 클러스터링에 기반한 계층적 라우팅 알고리즘이 많은 장점을 가진다. 또한 클러스터 기반의 네트워크 구성 및 유지 방법은 이동이 많은 네트워크 환경에서 경로 설정 시 오버헤드를 줄이고 라우팅 테이블의 크기를 줄일 수 있고, 네트워크의 안정성을 확보할 수 있다. 즉, 센서 노드의 개수가 Ad-Hoc 네트워크에 비해 수백 배에서 수십만 배에 이르는 센서 네트워크 환경에서 클러스터링 알고리즘의 적용은 타당한 접근 방법이라 할 수 있다.

클러스터링 기반의 계층적 라우팅 기법에서는 크게 효율적 클러스터 헤더 선정을 위한 알고리즘과 클러스터의 유지 및 기타 에너지를 고려한 라우팅 알고리즘에 대한 연구가 필요하며, 다음과 같은 가정을 전제로 한다

- 지속적인 에너지가 공급되는 싱크 노드가 모든 센서 노드에 직접 데이터를 전달할 수 있고, 수집 데이터의 저장 및 데이터 가공 등의 에너지 집약적인 기능을 수행한다.
- 센서 필드내의 센서 노드들은 같은 특성을 가지며, 초기에 같은 에너지가 부여된다.

대표적 계층적 라우팅 알고리즘으로 LEACH 알고리즘을 들 수 있으며, 이를 보완한 LEACH-C 알고리즘이 있다.

### 2.2.1 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

LEACH 알고리즘은 클러스터 헤드가 클러스터의 멤버 노드들로부터 데이터를 수집하여 데이터 가공 과정을 통해 직접 싱크 노드로 전달하는 방식이다.

알고리즘의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들의 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위해 에너지 집약적인 기능을 하는 클러스터 헤더를 확률 기반으로 균등한 횟수로 선정하며, 클러스터내 모든 데이터 처리 및 비용을 줄이기 위해 클러스터 헤더에서 모두 모아 지역적으로 가공하는 것이다.

클러스터 헤더와 멤버 사이의 통신에서는 TDMA 스케줄을 사용하며 싱크 노드는 CDMA 코드에 의해서 각각의 클러스터를 구분하여 클러스터간의 주파수 간섭을 방지한다.

LEACH 알고리즘은 데이터 퓨전을 통해 모든

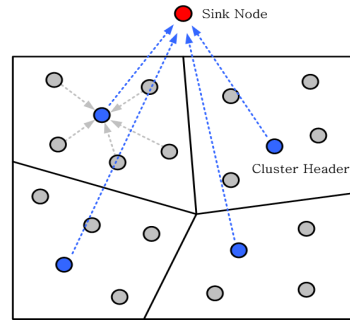


그림 2. LEACH 알고리즘의 데이터 전달 방법

센서 노드 간 에너지 소비를 공정하게 분산시켜 센서 네트워크의 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 대표적 클러스터링 알고리즘이다. 하지만 클러스터 헤더를 결정하는데 있어 확률을 기반으로 한 클러스터의 구성은 클러스터 헤더가 네트워크 전체에 잘 분산된다고 볼 수 없으며 클러스터 헤더의 수가 전체 노드 수의 5%일 때 가장 효율적이라고 해도 현실적인 센서 노드의 모델을 사용할 경우 네트워크의 규모에 상관없이 일괄적으로 5%의 클러스터 헤더를 유지해 효율성이 떨어진다. 또한 그림 2와 같이 클러스터 헤더가 된 모든 노드들은 싱크 노드까지 직접 통신에 의한 데이터 전달 방법을 사용한다는 점에서 실제 네트워크 환경에 적용되기 어렵다.

### 2.2.2 LEACH-C(LEACH-Centralized)

LEACH-C 알고리즘은 기존의 LEACH 알고리즘이 갖는 특징을 그대로 적용하되 클러스터 구성을 싱크 노드와 연결된 BS(Base Station) 시스템에서 중앙 집중 형으로 수행하도록 Centralized 방식을 추가하여 LEACH 알고리즘의 단점을 보완한 것이다. 이는 LEACH 알고리즘과 다르게 클러스터 헤더의 결정권을 BS로 넘김으로써 헤더 결정을 위한 처리 과정 중, 발생하는 에너지 소모 요소를 줄여 보다 높은 에너지 효율을 가져온다.

클러스터 헤더를 결정하기 위해 다음과 같은 가정을 전제한다.

- 센서 네트워크의 위치나 에너지 등의 토폴로지 변화를 제어할 수 있는 BS 시스템이 필요하다.
- 클러스터 헤더 결정을 위해서는 센서 노드의 위치 파악을 위한 GPS 또는 기타 다른 방식의 위치 정보 알고리즘이 필요하다.

클러스터를 기반으로 하는 기존의 클러스터링 알고리즘들은 클러스터의 개수, 최적의 경로 설정을 위

한 라우팅 방법 그리고 센서 노드에서 수집된 데이터 및 질의 메시지의 중복 방지를 통해 센서 네트워크의 에너지 효율 향상을 위한 연구들이며 대표적으로 LEACH와 LEACH-C 알고리즘을 들 수 있다. 하지만, 두 알고리즘 모두 센서 노드의 에너지 소비와 관련한 또 다른 에너지 소비 요소를 고려하지 않고 있어 다양한 토폴로지를 갖는 센서 네트워크 환경에 모두 적용하기 어렵다.

제안한 클러스터링 알고리즘은 이러한 문제점을 해결하기 위해 센서 네트워크의 다양한 토폴로지 변화에 반응하여 보다 효율적 에너지 관리가 가능하도록 클러스터 구성의 효율성과 다양한 에너지 소비 요소를 고려한 클러스터링 알고리즘을 제안하였다.

### III. 제안한 클러스터링 알고리즘

#### 3.1 제안한 클러스터링 알고리즘

제안한 클러스터링 알고리즘은 센서 네트워크의 다양한 토폴로지 변화에 효과적으로 반응할 수 있도록 기존 LEACH-C 알고리즘과 같이 BS 시스템이 존재한다. BS 시스템은 로컬(Local) 상태로 싱크 노드와 연결되어 있으며, 싱크 노드를 통해 센서 네트워크의 토폴로지 변화 및 각 센서 노드의 각종 정보를 파악하여 제어한다.

그림 3은 제안한 클러스터링 알고리즘의 동작 단계를 단계별로 나타낸 것으로 단계별 관리 주체를 확인 할 수 있다.

제안한 클러스터링 알고리즘은 BS 시스템을 중심으로 초기단계, 제어단계, 재구성 단계로 구성되어 동작한다.

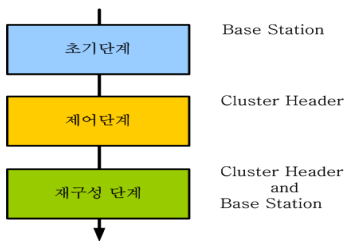


그림 3. 제안한 클러스터링 알고리즘의 동작 단계

#### 3.2 초기단계

초기단계는 BS 시스템을 중심으로 센서 네트워크의 각 센서 노드의 상태 정보를 업데이트(Update) 하는 Neighbor Discovery 과정을 통해 센서 노드의 위치 정보를 바탕으로 클러스터 ID를 발급하는 단계이다.

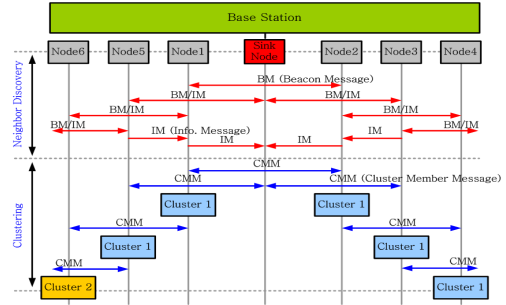


그림 4. 초기단계의 메시지 흐름도

그림 4는 센서 노드의 상태 정보를 바탕으로 클러스터 ID가 발급되는 초기단계를 메시지 흐름도로 나타낸 것이다.

이는 BS 시스템의 경우 센서 노드와 다르게 에너지로부터 자유롭고, 연산 처리를 위한 시스템 성능이 상대적으로 우수하기 때문에 네트워크 토폴로지의 변화에 보다 반응적으로 대처할 수 있는 장점을 가진다.

클러스터 ID를 발급하는 클러스터링 과정은 초기, 싱크 노드의 BM(Beacon Message) 메시지를 시작으로 진행된다. 먼저 싱크 노드는 센서 노드들이 임의로 위치한 센서 네트워크에 일정한 주기로 BM 메시지를 전송하며, BM 메시지를 받은 각 센서 노드들은 자신의 위치 및 에너지 정보가 포함된 IM (Information Message) 메시지와 BM 메시지를 인접 노드에 전달한다. 싱크 노드는 IM 메시지를 통해 수집된 정보를 자신과 로컬 상태로 연결된 BS 시스템에 전달하고, BS 시스템은 받은 정보를 바탕으로 클러스터 구성을 위한 클러스터 ID를 싱크 노드를 경유, CMM(Cluster Member Message) 메시지 이용하여 센서 네트워크의 각 센서 노드에 전달하며, 전달 받은 CMM 메시지 정보를 바탕으로 클러스터 헤더를 결정하고 헤더와 멤버간 Join 과정을 거쳐 클러스터를 구성한다.

그림 5는 클러스터링 알고리즘에 의해 구성된 클러스터 토폴로지를 보여주며, 그림 6은 36Bytes의 크기를 갖는 IEEE 802.15.4 기반의 ZigBee 메시지 구조를 바탕으로 IM 메시지와 CMM 메시지를 정의한 것이다.

IM 메시지에는 센서 노드의 위치 정보가 포함된 2Bytes 크기의 Location 필드(Field)와 1Bytes 크기의 Energy 필드, 수집된 데이터의 속성을 정의한 Data attribute 필드로 구성되어 있으며, CMM 메시지에는 클러스터를 구성하기 위한 Identification 필드와 제어 단계에서 사용할 TWP 필드가 정의 되어있음을 확인

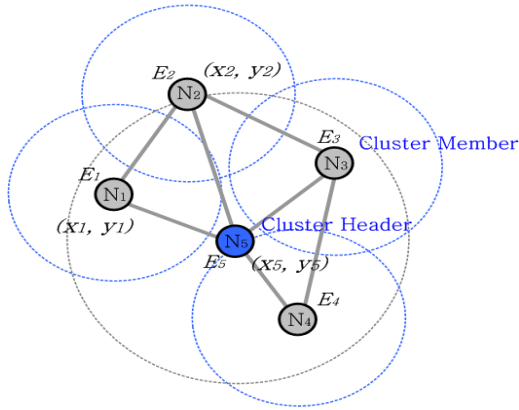


그림 5. 구성된 클러스터 토폴로지

IEEE 802.15.4 Tos msg on Based Cluster msg (36bytes)

Addr (2bytes)	Type (1bytes)	Group (1bytes)	Length (1bytes)	Data (29bytes)	CRC (2bytes)
---------------	---------------	----------------	-----------------	----------------	--------------

Define msg Type (29bytes)

IM (Info. Message)

Source addr (2bytes)	Origin addr (2bytes)	Sequence Num (1bytes)	Location (2bytes)	Energy (1bytes)	Data Attribute (1bytes)	Data (20bytes)
----------------------	----------------------	-----------------------	-------------------	-----------------	-------------------------	----------------

CMM (Cluster Member Message)

Source addr (2bytes)	Origin addr (2bytes)	Sequence Num (1bytes)	Identification (1bytes)	Code (1bytes)	TWP (2bytes)	Data (20bytes)
----------------------	----------------------	-----------------------	-------------------------	---------------	--------------	----------------

그림 6. 초기단계의 메시지 구조

할 수 있다.

TWP 필드의 TWP 값은 그림 7과 같이 클러스터 헤더를 중심으로 가상의 삼각형 모양의 센서 노드 집합을 구성하여 삼각형의 무게 중심점(Triangle-Weight Point)을 식 (2)을 이용하여 구한 값이다.

$$TWP = \left( \frac{x_1 + x_2 + x_5}{3}, \frac{y_1 + y_2 + y_5}{3} \right) \quad (2)$$

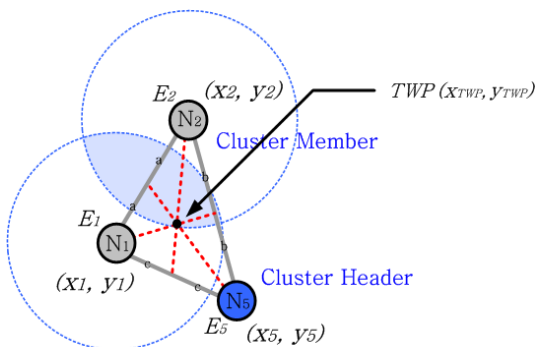


그림 7. TWP 개념

### 3.3 제어단계

제어단계는 제한된 에너지를 갖는 센서 노드의 효율적 에너지 관리를 위해 센싱 파워 제어 알고리즘을 이용하여 센서 노드의 센싱 파워를 제어하는 단계로 싱크 노드로부터 전달 받은 CMM 메시지를 바탕으로 인접 센서 노드 간 클러스터 구성이 완료되면 CMM 메시지에 포함된 TWP 필드 값을 이용하여 클러스터 헤더를 중심으로 CM(Control Message)를 통해 각 클러스터 멤버들의 센싱 파워를 탄력적으로 단계별로 제어한다.

그림 8은 센싱 파워 제어를 나타낸다.

센싱 파워 제어 알고리즘에 의해 센서 노드의 센싱 파워가 TWP 필드의 TWP 값을 기준으로 탄력적으로 제어되는 개념을 나타낸 것으로 멤버간의 센싱 중복 영역을 최소화함으로써 인접 멤버간 센싱 영역의 중복에 따른 중복 데이터의 발생 및 클러스터 헤더로 수집된 데이터 처리에 따른 불필요한 에너지 소모 요소를 줄인다.

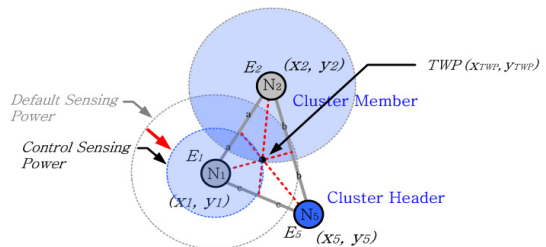


그림 8. 센싱 파워 제어 개념

### 3.4 재구성 단계

재구성 단계는 클러스터내 파라미터(Parameter) 및 센서 노드의 이동에 따른 네트워크 토폴로지 변화에 반응하여 클러스터 헤더 갱신 및 클러스터를 재구성하는 단계이다.

구성된 클러스터내의 클러스터 헤더는 헤더 자신의 에너지(EN) 파라미터와 신호 세기를 나타내는 최대 RF 파워(RP<sub>MAX</sub>) 파라미터 값을 식 (3)을 이용하여 구한 노드 파워 비(NPratio) 파라미터 값을 클러스터 멤버들의 NPratio 파라미터 값과 헤더 자신의 NPratio 파라미터 값을 비교하여 자신 보다 가장 큰 NPratio 파라미터 값을 갖는 멤버가 존재 시 클러스터 헤더를 갱신한 후, 이를 네트워크에 알려 클러스터내 모든 센서 노드의 에너지 균형을 유지한다.

$$NP_{ratio} = \frac{E_N}{RP_{MAX}} \quad (3)$$



다음으로 센서 노드의 이동에 의해 클러스터 헤더와 클러스터 멤버간의 R<sub>PMAX</sub> 범위를 벗어난 경우, 이는 네트워크 토폴로지의 변화를 의미하는 것으로 즉시, 클러스터 헤더는 이를 HM(Help Message) 메시지를 BS 시스템에 알리며 BS는 이동 정보를 바탕으로 클러스터 ID를 이동한 센서 노드에 전달하여 클러스터를 재구성 한다. 그림 9는 클러스터 헤더에 포함된 재구성 단계를 Pseudo Code로 나타낸 것이다.

```

:
IF, (In case of CM message arrives)
:
IF, (Member N's CM message does not arrive)
    HM message creation,
    To BS System, HM message transmission
ELSE IF, (Compare each Node's NPratio)
:
IF, (In case of Member N's NPratio is larger than Header's NPratio)
    CM message creation,
    Cluster Header renewal
ELSE, end
ELSE, end
ELSE, end
:
    
```

그림 9. 재구성 단계의 Pseudo Code

#### IV. 구현 및 성능평가

##### 4.1 구현 환경

본 논문에서는 제안한 알고리즘의 구현 및 성능 평가를 위해 Chipcon사의 CC2420을 적용한 한백전자의 ZigBee 모듈인 ZigbeX mote를 사용하였다.

ZigbeX mote는 ATmel사의 ATmega128L과 Chipcon사의 2.4G RF-IC CC2420을 적용한 센서 네트워크 모듈이다.

ZigbeX mote의 동작 상태는 기본적으로 mote의 LED를 통해 확인이 가능하지만, mote의 실제 동작을 정확히 확인하기 위해 모니터링 도구인 Tinyviz와 Moteview를 사용한다. Tinyviz와 Moteview는 센서 네

표 1. ZigbeX 플랫폼

MCU	Device	Type	Memory	SRAM
	ATmega 128L	7.3728 MHz	128 Kb	4 Kb
RF Transceiver	Device	Radio Frequency	Max. Data Rate	Antenna
	CC2420	2400 MHz	250 Kbps	PCB Ant.
Power	Type	Capacity (mA-hr)	3.3V step-up	External power
	AA×2	2300	Yes	Ext. Connector
Sensor	Temp.	SHT11		
	Light	CdS		
	PhotoDiode	BS-520		

트위크의 토폴로지 상태를 PC 또는 모니터링 시스템으로 확인 가능하며, 그 외 TinyOS의 응용 프로그램에서 센서를 통해 수집한 값을 직접 GUI 및 Text 환경으로 mote의 동작 및 센서 네트워크의 상태를 모니터링 할 수 있는 다양한 도구들이 있다.

표 1은 ZigbeX의 구성 및 특징을 나타낸다.

##### 4.2 구현 방법

제안한 알고리즘을 구현하기 위해서 NesC(Network embedded system C) 언어를 사용하며, ZigBee 메시지 구조를 갖는 ZigbeX mote의 기본 Tos\_Msg를 기반으로 구현되었다.

구현된 알고리즘 소스는 시뮬레이션 과정 후, 실측 과정을 진행 한다. 먼저 구현된 소스의 타당성 및 동작의 이상 유무를 쉽고, 빠르게 검증하기 위해 개발 환경이 구축된 호스트에서 컴파일(Compile) 과정 후, 시뮬레이션 도구인 Tinyviz를 이용하여 가상으로 동작 상태를 확인한다.

Tinyviz를 이용하여 동작상태가 확인된 알고리즘 소스는 실측 환경에 적용을 위해 mote용 컴파일러를 이용하여 Hex 파일을 생성한다. 생성된 Hex 파일은 ZigbeX mote에 다운로드함으로써 실측을 위한 준비 과정을 마친다.

그림 10은 ISP cable로 연결된 ZigbeX mote에 컴파일된 Hex 소스 파일을 다운로드하는 과정을 보여주고 있다.

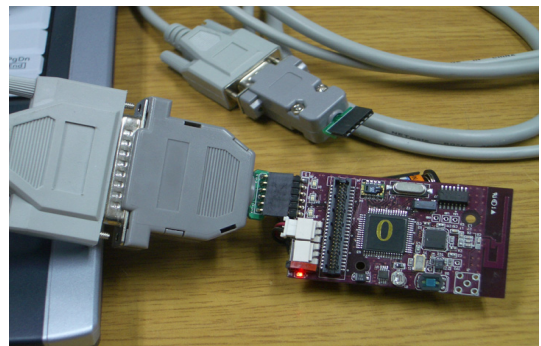


그림 10. ZigbeX mote 다운로드 과정

##### 4.3 구현 결과

제안한 알고리즘의 구현 결과를 확인하기 위해 PC 상에서 mote의 정보를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 Tinyviz와 Moteview를 사용하였다. ZigbeX mote 15개를 사용해 실험을 하고 있는 과정을 보여주는 것으로 BS 시스템과 연결된 1개의 싱크 노드와 14개의 센서 노드로 되어있다.

그림 11과 14는 LEACH-C 알고리즘과 제안한 클러스터링 알고리즘을 Tinyviz를 이용하여 시뮬레이션을 수행한 결과로 클러스터 구성 및 연결 상태를 보여준다.

다음 그림들은 구현된 알고리즘을 Moteview를 이용하여 실행한 결과이다. 그림 13은 BS 시스템의 TinyDB로 시간 순으로 수집·저장된 센서 노드의 파라미터 관련 정보들을 보여주는 것이다.

그림 14는 앞의 그림 13에서 보여준 TinyDB에 수집·저장된 센서 노드의 파라미터 정보를 바탕으로 GUI 환경으로 구성된 센서 네트워크의 토폴로지를 보여주고 있다. 그림에서 GW(Gateway)는 싱크 노드를 의미하며, 각 센서 노드는 클러스터 단위로 연결되는 것을 확인 할 수 있다.

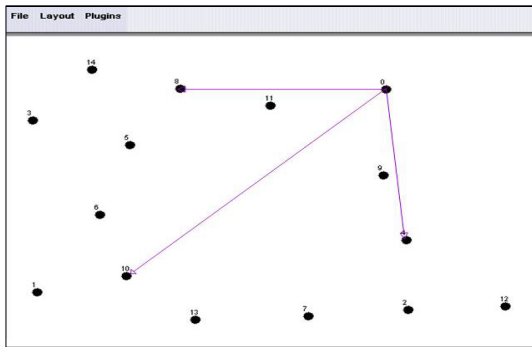


그림 11. LEACH-C 알고리즘

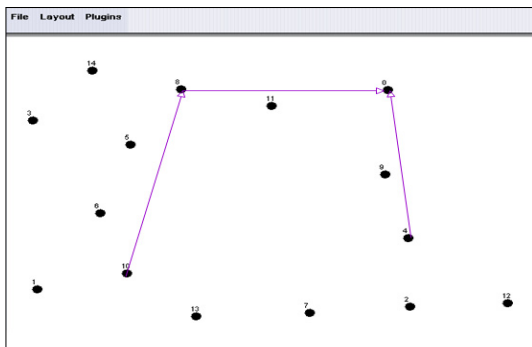


그림 12. 제안한 클러스터링 알고리즘

```

C:\opt\MoteWorks\hanback_zigbox\zigbox\adhoc\KA
COPY sample_nes310 (Result_time, clust_id, node_id, parent, energy, sensing_po,
temp) FROM stdin;
2006-11-17 12:12:25 0 0 126 3 0 0
2006-11-17 12:14:02 1 2 4 2.87 5 16
2006-11-17 12:16:46 1 3 4 2.91 2 19.5
2006-11-17 12:19:19 1 4 0 2.2 0 0
2006-11-17 12:20:33 1 6 4 2.89 3 17
2006-11-17 12:22:20 2 7 8 2.9 5 23.2
2006-11-17 12:24:14 2 8 0 2.93 0 0
2006-11-17 12:26:17 1 9 4 2.96 4 21.3
2006-11-17 12:28:43 2 13 8 2.86 5 16.8
2006-11-17 12:30:12 3 23 21 2.93 2 18.3
2006-11-17 12:32:08 3 22 21 2.86 3 18
2006-11-17 12:34:55 3 24 0 2.98 0 0
2006-11-17 12:36:24 3 24 21 2.84 5 21.9
2006-11-17 12:38:10 2 25 8 2.92 2 19.3
2006-11-17 12:40:38 2 26 8 2.81 3 17.3
    
```

그림 13. TinyDB 정보

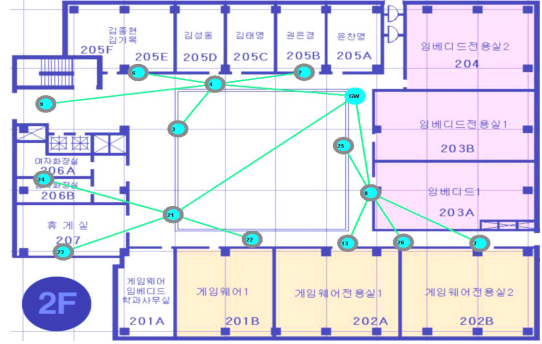


그림 14. 센서 네트워크의 토폴로지 구성 상태

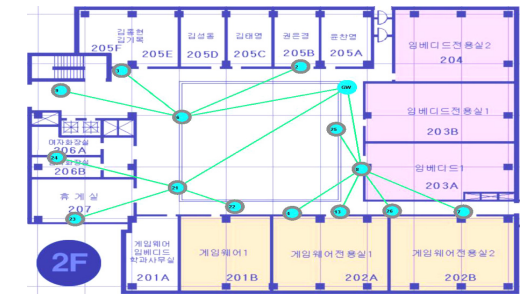


그림 15. 변화된 센서 네트워크의 토폴로지

```

2006-11-17 12:52:11 0 0 126 3 0 0
2006-11-17 12:54:21 1 2 6 2.85 5 17.1
2006-11-17 12:56:40 1 3 6 2.83 2 19.3
2006-11-17 12:58:23 1 4 8 2.8 3 17
2006-11-17 13:00:02 1 6 0 2.87 0 0
2006-11-17 13:02:46 2 7 8 2.81 5 23.2
2006-11-17 13:04:54 2 8 0 2.86 0 0
2006-11-17 13:06:13 1 9 6 2.96 4 21.2
2006-11-17 13:08:26 2 13 8 2.86 5 16.6
2006-11-17 13:10:25 3 23 21 2.8 2 18.3
2006-11-17 13:12:01 3 22 21 2.79 3 18
    
```

그림 16. 변화된 TinyDB 정보

그림 15는 센서 노드의 이동에 의해 변화된 센서 네트워크의 토폴로지상태를 보여주는 것으로 그림 13과 비교하여 변화된 TinyDB 정보를 그림 16에서 확인 할 수 있다. 또한, 그림 15는 그림 16의 TinyDB 정보를 바탕으로 센서 네트워크의 토폴로지 상태를 그림으로 보여주는 것으로 그림 14와 비교하여 센서 네트워크의 토폴로지 변화를 확인 할 수 있다.

#### 4.4 성능 평가

제안한 알고리즘의 성능 평가를 하기 위해서 기존의 대표적 알고리즘인 LEACH-C와 제안한 클러스터링 알고리즘을 센서 네트워크 환경에 각각 적용하여 네트워크의 에너지 효율을 비교 측정하였다.

제안한 알고리즘의 성능 평가를 하기위한 환경은 다음과 같다.

- 성능평가 장소 : 42m×36m 실내 공간
- 디바이스 수 : 싱크 노드 1개, 센서 노드 14개
- Tos Message Size : 36Bytes
- 동작전원 : 배터리 전원 AA×2(3V)
- 성능평가 항목 : 각 센서 노드의 센싱 파워 변화, 평균 에너지 소비율, 살아있는 센서 노드의 개수

제안한 알고리즘의 성능평가 방법은 다음과 같다. 센서 네트워크를 구성하는 각 센서 노드가 이동하는 환경에서 기존의 대표적 알고리즘인 LEACH-C와 제안한 클러스터링 알고리즘의 성능을 비교·분석한다. 각 센서 노드에는 센싱 정보 발생을 위해 온도 측정을 위한 알고리즘을 포함한다.

다음 그림 17과 그림 18은 센서 노드가 이동하는 센서 네트워크 환경에서 LEACH-C와 제안한 클러스터링 알고리즘의 성능을 비교한 것이다.

먼저 그림 17은 제안한 알고리즘에서 고려한 센싱 파워가 알고리즘에 의해 변화되는 임의의 센서 노드의 것을 보여준다.

LEACH-C 알고리즘은 센싱 파워가 일정한 반면, 제안한 알고리즘은 지속적으로 변화하는 것을 확인할 수 있다. 여기서 센싱 파워는 센싱에 필요한 최소 센싱 파워인 1mW를 기점으로 1mW 단위로 최대 5mW까지 5단계로 구분 하였으며, 각 단계는 센

싱 할 수 있는 영역을 의미한다. 또한, 그림에서 센싱 파워가 '0'으로 떨어지는 시점은 해당 센서 노드가 클러스터 헤더의 역할 수행하는 시점으로, 이는 센싱 과정이 생략되는 것을 의미한다. 클러스터 헤더의 역할을 수행 할 때, 클러스터 멤버일 때 보다 에너지 소비량이 보다 많은 것을 확인할 수 있다. 그림에서 에너지량의 최소 단위가 2.7V인 것은 센서 노드가 동작 할 수 있는 에너지량이 3V~2.7V이기 때문이며, 2.7V 이하에서는 센서 노드의 시스템이 정지된다.

그림 18은 센싱 파워의 변화에 의해 해당 센서 노드가 갖는 에너지량과의 상관관계를 보여주기 위해 에너지량이 동시에 변화되는 것을 보여주는 것이다.

다음 그림 19는 알고리즘에 의해 소비되는 센서 노드의 평균 에너지 소비량을 보여주는 것으로 제안한 알고리즘이 LEACH-C 알고리즘과 비교하여 소비되는 에너지량이 일정함을 알 수 있으며, 동시에 제안한 알고리즘이 기존 알고리즘 보다 에너지 지속 시간이 길어 센서 노드의 노드 수명이 긴 것을 확인할 수 있다.

다음은 센서 네트워크의 생존 시간에 대한 성능을 보여주는 것으로, 그림 20은 살아있는 센서 노드가 '0'이 되는 시점까지의 변화를 보여주는 것이다.

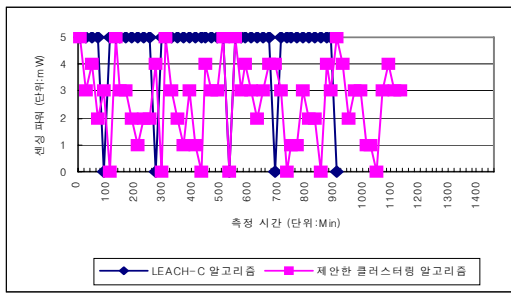


그림 17. 센서 노드의 센싱 파워 변화

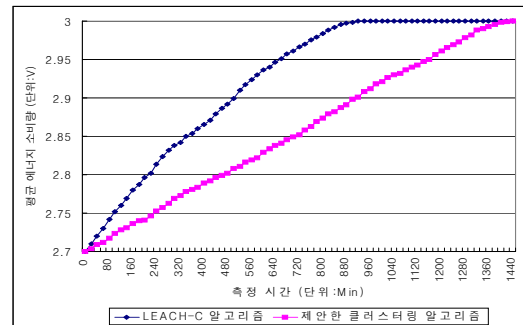


그림 19. 센서 노드의 평균 에너지 소비율

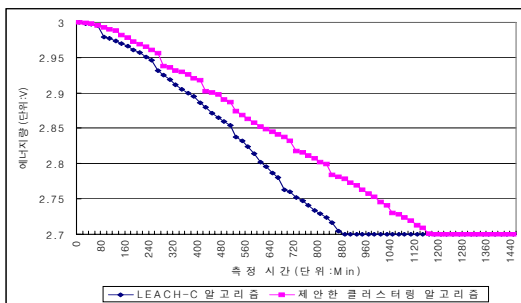


그림 18. 센서 노드의 에너지량 변화

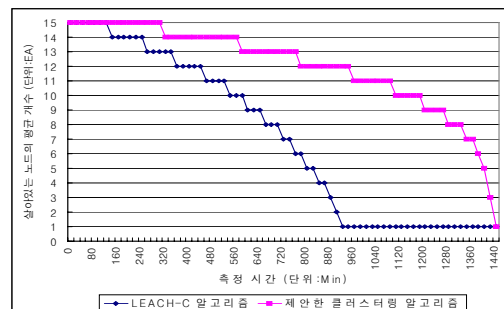


그림 20. 살아있는 센서 노드의 평균 개수



시간을 기준으로 살아있는 센서 노드의 개수가 많다는 것은 센서 네트워크의 생존 시간이 길다는 것을 의미하는 것이며, 그림 20은 제안한 알고리즘이 LEACH-C 알고리즘 보다 우수함을 보여주는 것이다. 하지만, 제안한 알고리즘의 경우 시간이 지남에 따라 센서 노드의 개수가 LEACH-C 알고리즘에 비해 급격히 줄어드는 이유는 줄어든 센서 노드의 개수로 인해 센싱 파워가 상대적으로 커지기 때문에 에너지 소모가 급격히 증가했기 때문이다. 여기서, 살아있는 센서 노드가 ‘0’이 아닌 ‘1’이 되는 것은 싱크 노드가 포함되기 때문이다.

## V. 결 론

본 논문에서는 제한된 에너지를 갖는 센서 노드들로 구성된 센서 네트워크의 효율적 에너지 관리를 위한 클러스터링 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 기존의 LEACH-C 알고리즘에서 고려하지 않은 센싱 파워를 제어함으로써 센서 노드의 에너지 효율을 개선하고, 구성된 클러스터의 토폴로지 변화 및 네트워크 토폴로지 변화에 자율적으로 반응하므로 다양한 네트워크 환경에 적용 가능한 특징을 갖는다. 이러한 특징을 갖는 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 IEEE 802.15.4를 지원하는 Chipcon사의 CC2420을 적용한 한백전자의 ZigBee 모듈인 ZigbeX mote를 사용하여 기존의 알고리즘과 제안한 알고리즘을 비교하였다.

성능 평가 결과 모든 센서 노드가 고정된 상황에서는 5% 정도의 에너지 효율을 개선하는 결과를 가져 왔고, 모든 센서가 이동하는 상황에서는 10%~15%의 에너지 효율을 개선하는 결과를 가져 왔다. 이는 제안한 알고리즘이 기존 알고리즘 보다 5~15%의 에너지 소비 효율 개선을 가져오는 것을 실험 과정을 통해 확인 할 수 있었다. 성능 평가를 위해 제안한 알고리즘과 간단한 온도 측정 알고리즘을 적용하였으며 센서 노드의 에너지 소비 관계를 명확히 확인하기 위해 온도 측정의 주기를 연속적으로 설정한 환경으로 실험하였다.

제안한 알고리즘은 IEEE 802.15.4 기반의 ZigBee 기술과 더불어 다양한 네트워크 환경을 갖는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에 적용하여 기존 알고리즘 보다 에너지 효율적 측면에서 우수한 성능을 보여주는데, 작게는 센서 노드의 생존 시간과 크게는 센서 네트워크의 생존 시간 향상을 가져오는 것을 알 수 있으며, 빠르게 변화하는 네트워크 환경에

센서 네트워크 기술의 활용 범위를 보다 확대 할 수 있을 것이라 생각한다.

향후 연구 과제로 기존 알고리즘에 비해 제안한 알고리즘은 클러스터 헤더의 역할이 커짐으로 인하여 클러스터 헤더의 에너지 소비 요소가 많아짐을 알 수 있었다. 이는, 향후 연구 과정을 통해 개선해야 할 문제로 지적된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김기형, 정원도, 박준성, 서현곤, 박승민, 김홍남, “IEEE 802.15.4기반의 유비쿼터스 센서네트워크 기술”, *전자공학회지*, 제 31권, 제 12호, pp. 74-84, 2004년 12월.
- [2] 정성훈, 전호인, “IEEE 802.15.4 and ZigBee Protocol : 유비쿼터스 센서 네트워킹을 위한 Active RFID 기술”, *한국통신학회지(정보통신)*, 21권, 6호, pp.693-714, 2003년 6월.
- [3] Anna Hac, “Wireless Sensor Network Designs,” *John Wiley & Sons, Ltd.*
- [4] Paolo Santi, “Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks,” *WILEY*.
- [5] 배정숙, 김성희, “무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜”, *ITFIND 주간기술동향*, 2004년 4월 7일.
- [6] M. Jiang, J. Li and Y. C. Tay, “Cluster based routing protocol(CBRP),” *IETF MANET Working Group, Internet-Draft, July, 1999*
- [7] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan. “Energy-Efficient Communication Protocols for Wireless Microsensor Networks (LEACH)”. *Proc. of the 33rd Hawaii International Conference on Systems Science-Volume 8*, pp. 3005-3014, January 04-07, 2000
- [8] S. D. Muruganathan, D. C. F. Ma, R. I. Bhasin, and A. O. Fapojuwo “A Centralized Energy-Efficient Routing Protocol for. Wireless Sensor Networks (LEACH-C)” *IEEE Communication Magazine*,. Vol.43, Issue 3, Mar. 2005, pp. S8-13.
- [9] 조용현, 이향택, 노병희, 유승화, “무선 센서망에서 에너지 효율적인 클러스터 재구성을 위한 동적 헤드 선출 방법,” *한국통신학회논문*, 05-30-11A-11.

서 성 윤 (Sung-Yun Seo)

정회원



2003년 2월 대전대학교 통신학과  
졸업

2007년 2월 광운대학교 전자통신  
공학과 석사

<관심분야> 센서네트워크, 임베  
디드 시스템, USN

정 원 수 (Won-Soo Jung)

정회원

한국통신학회논문지 제32권 제12호 참조

오 영 환 (Young-Hwan Oh)

정회원

한국통신학회논문지 제32권 제12호 참조