

논문 2007-44TC-4-5

# 센서 네트워크에서의 효율적 에너지 관리를 위한 지능형 클러스터링 기법

( Intelligent Clustering Mechanism for Efficient Energy Management in  
Sensor Network )

서 성 운\*, 정 원 수\*, 오 영 환\*\*

( Sung-Yun Seo, Won-Soo Jung, and Young-Hwan Oh )

## 요 약

MANET(Mobile Ad-Hoc Network) 환경의 센서 네트워크는 고정된 기반 없이 센서 노드간의 자율적이고 독립적인 네트워크를 구성한다. 또한, 네트워크를 구성하는 센서 노드의 이동으로 인한 토폴로지의 변화로 인해 데이터 처리, 제어 등을 효율적으로 관리하는데 많은 어려움이 있다. 특히, 각 센서 노드는 반드시 이동성을 고려해야 하기 때문에 에너지 사용에 대한 문제점이 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 클러스터 헤더와 멤버간 계층적 구조의 클러스터를 구성하는 기법들이 제안되었다. 하지만, 센서 노드의 센싱 파워 레벨이 일정하여 비효율적인 에너지 소비를 수반해 센서 네트워크의 에너지 불균형 및 생존 시간의 단축을 가져온다. 본 논문에서는 기존의 클러스터링 기법이 갖는 이러한 문제를 해결하기 위해 효율적 에너지 관리를 위한 지능형 클러스터링 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 센서 노드의 이동에 따른 네트워크 토폴로지 변화에 빠르게 대응하고, 연속된 센싱을 요구하는 상황에서 기존의 기법에 비교하여 센서 노드의 생존 시간 향상을 가져온다.

## Abstract

MANET constructs a network that is free and independent between sensor nodes without infrastructure. Also, there are a lot of difficulties to manage data process, control etc.. back efficiently from change of topology by transfer of sensor node that compose network. Especially, because each sensor node must consider mobility certainly, problem about energy use happens. To solve these problem, mechanisms that compose cluster of cluster header and hierarchic structure between member were suggested. However, accompanies inefficient energy consumption because sensing power level of sensor node is fixed and brings energy imbalance of sensor network and shortening of survival time.

In this paper, I suggested intelligent clustering mechanism for efficient energy management to solve these problem of existent Clustering mechanism. Proposed mechanism corresponds fast in network topology change by transfer of sensor node, and compares in existent mechanism in circumstance that require serial sensing and brings elevation survival time of sensor node. Please put the abstract of paper here.

**Keywords :** MANET, Ad-Hoc, Sensor Network, Clustering

## I. 서 론

센서 네트워크는 고정된 기반 없이 센서 노드간의 자율적이고 독립적인 네트워크를 구성하므로 센서 네트워크의 기본 모델로 MANET(Mobile Ad-Hoc Network)

환경을 사용한다. 따라서 센서 네트워크는 다음과 같은 몇 가지 특성을 가지고 있다. 첫째, 센서 노드가 이동하는 경우, 네트워크 토폴로지의 변화를 가져온다. 이는 경로 정보 갱신을 야기 시켜 경로 관리를 복잡하게 하며, 경로 관리를 위한 경로 설정 제어 메시지는 네트워크의 오버헤드를 발생시킨다. 둘째, 이동 센서 노드들은 기본적으로 무선 인터페이스를 사용하여 통신을 하기 때문에 전송 대역폭 및 거리상의 제약이 있다. 셋째, 각 센서 노드는 반드시 이동성을 고려해야 하므로 에너지

\* 정회원, \*\* 중신회원, 광운대학교 전자통신공학과  
(Dept. of Electronics and Communications  
Engineering Kwangwoon Univ.)

접수일자: 2006년9월13일, 수정완료일: 2007년4월16일

사용에 대한 문제점이 발생한다<sup>[1][2][3]</sup>.

이러한 문제점을 해결하기 위한 다양한 라우팅 프로토콜 및 클러스터링 기법들이 연구되고 있으며, 특히 센서 네트워크의 에너지 효율 향상을 위한 클러스터링 기법들이 대두되고 있다<sup>[4][5][6][7][8]</sup>. 대표적인 클러스터링 기법으로 LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy), TEEN(Threshold-sensitive Energy Efficient sensor Network protocol) 등이 있다<sup>[9][10][11]</sup>. 이러한 기법들은 센서 네트워크의 에너지 효율 향상을 위해 클러스터 헤더와 멤버간 계층적 구조의 클러스터를 구성하는 기법으로 제안한 기법과 유사하지만, 센서 노드의 에너지 소비를 수반하는 또 다른 요소인 센싱 파워 레벨을 고려하고 있지 않다<sup>[12][13]</sup>. 이는 지속적인 센싱이 요구되는 반응적 상황이나 환경에 적용하여 사용하기 어렵다. 이는 다른 환경의 센서 네트워크와 비교해 상대적으로 많은 에너지를 소비하기 때문에 센서 네트워크의 생존 시간이 짧아지는 문제를 가진다.

본 논문에서는 기존의 클러스터링 기법이 갖는 문제를 해결하기 위해 효율적 에너지 관리를 위한 지능형 클러스터링 기법을 제안한다. 제안한 기법은 센싱 파워 레벨의 제어를 통해 보다 효율적인 에너지 관리가 가능하다. 이는 결과적으로 센서 노드의 에너지 소비를 일정하게 하여 센서 노드의 생존 시간 향상 및 전체 센서 네트워크의 에너지 불균형을 해결한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안된 클러스터링 기반의 계층적 라우팅 프로토콜의 특징 및 장·단점을 알아본다. III장에서는 제안하는 지능형 클러스터링 기법을 소개하고, IV장에서는 시뮬레이션을 이용하여 성능을 검증한다. 마지막 V장에서 논문의 결론을 내린다.

## II. 센서 네트워크를 위한 클러스터링 기반 계층적 라우팅 프로토콜

경로 설정을 위한 라우팅 프로토콜의 주목적은 네트워크내 전송 노드에서 목적 노드로 데이터를 전송하는데 있어 정확하고 최적화된 경로를 찾는 것이다.<sup>[13]</sup> 특히, MANET 환경의 경우, 제한된 공유 자원을 가지고 네트워크내의 오버헤드 및 노드와 노드간의 전송 대역폭의 소모를 최소화해야 한다. 이를 위해 센서 네트워크에서는 인접 센서 노드간 클러스터화 함으로써 데이터 중복을 방지하고, 경로 설정의 단순화하며 에너지 소비를 효율적으로 관리하기 위한 계층적 라우팅 기법

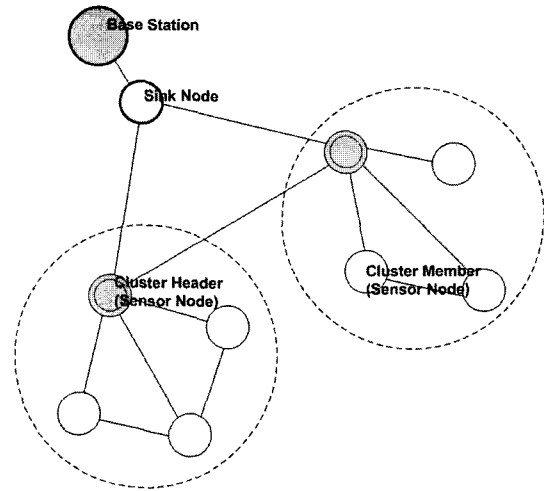


그림 1. 계층적 클러스터링 기반의 센서 네트워크  
Fig. 1. Sensor network of hierarchic Clustering base.

들이 연구되어졌다.

클러스터링 기법은 라우팅 프로토콜에 비교하여 많은 장점을 가지고 있다. 클러스터링 기법은 로컬 클러스터를 형성함으로써 인접한 지역에서 발생한 유사 데이터 정보를 클러스터 헤드로 전송하고, 클러스터 헤드가 이를 모아 처리, 수행하는 방식으로써 기존 라우팅 프로토콜보다 에너지 효율적인 라우팅을 가능하게 한다. 또한, 요청된 질의등을 클러스터 헤드에 의해 이루어져 비효율적인 질의의 Flooding을 막을 수 있다.

클러스터링 기반의 센서 네트워크는 그림 1과 같은 유형으로 구성된다. 다음으로 센서 네트워크를 위해 제안된 대표적 클러스터링 기반의 계층적 라우팅 기법들을 살펴본다.

### 1. LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

LEACH는, 클러스터 헤드가 클러스터의 멤버 노드들로부터 데이터를 수집하여 데이터 가공 과정을 통해 직접 싱크 노드로 전달하는 기법이다. 이 기법의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들의 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위해, 에너지 집약적인 기능을 하는 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고, 클러스터내 모든 데이터 처리 및 비용을 줄이기 위해 클러스터 헤더에서 모두 모아 지역적으로 가공하는 것이다.

LEACH의 동작 과정을 살펴보면 다음 그림 2와 같이 라운드라는 시간 단위로 이루어진다.

LEACH의 성능은 매 라운드마다 일정한 수의 클러스터를 구성하고, 클러스터 헤드가 고르게 배치되는데 있으나, 자기 스스로 선출하는 방식으로는 이를 보장할

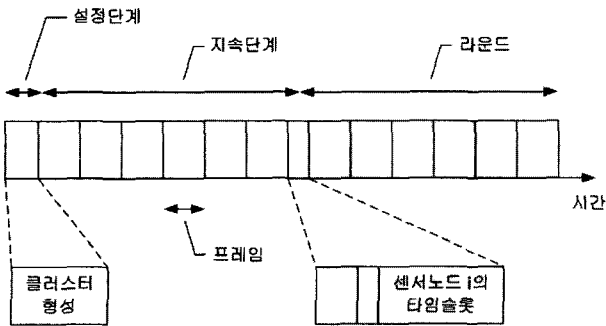


그림 2. LEACH의 타임라인  
Fig. 2. Timeline of LEACH algorithm.

수 없는 단점을 가진다. 부가적으로 이를 개선하여 싱크에서 센서 노드의 위치 정보와 잔존 에너지 자원을 고려하여 클러스터 헤드와 클러스터 멤버를 결정하는 LEACH-C 기법도 제안되었다.

2. TEEN(Threshold-sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)

TEEN은 센서 노드들이 주기적으로 전송할 데이터를 가지지 않는다는 점을 제외하고, LEACH와 유사하게 동작하는 기법이다. LEACH는 사전적(Proactive) 센서 네트워크에 적합한 특성을 가지지만, TEEN의 경우는 시간 임계적인 데이터를 처리한다는 점에서 반응적(Reactive) 센서 네트워크에 적합하다.

TEEN은 LEACH의 클러스터 형성 기법을 사용하지만, 데이터 전송 단계에서 그림 3과 같은 다른 방법을 사용한다.

살펴보면, TEEN은 시간 임계적인 데이터가 실시간적으로 전달되고, 임계값이 클러스터 형성 결정 시간에 방송되므로 응용에 따라 사용자가 에너지 소비와 센서 네트워크 상태 판단의 정확성을 조절할 수 있다는 특징을 가진다. 반면, 감지된 데이터의 값이 임계치에 도달하지 않는 경우 네트워크로부터 데이터를 얻어낼 수가 없기 때문에 모든 노드가 수명을 다한 경우에도 네트워크의 상태를 판단할 수 없고, 클러스터내 모든 노드들

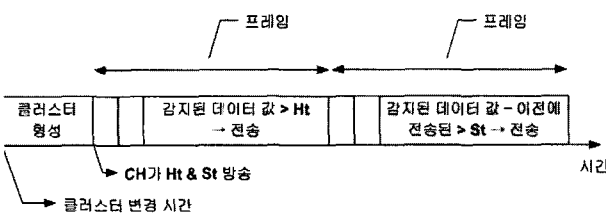


그림 3. TEEN의 동작  
Fig. 3. TEEN's action.

이 해당 슬롯에 전송할 데이터를 가지는 것이 아니므로 자원이 낭비될 수 있다.

III. 효율적 에너지 관리를 위한 지능형 클러스터링 기법

MANET 환경에서 센서 노드는 이동성을 고려하여 한정된 에너지를 사용하며, 센서 노드가 이동한 위치에 따라 에너지 소비량도 다르다. 즉, 센서 노드는 데이터 수집을 위한 고정된 센싱 파워 레벨을 가지고 있어, 데이터량에 상관없이 항상 일정한 에너지를 소비한다. 이는 불필요한 에너지 소비를 가져오며, 지속적인 센싱이 요구되는 반응적 상황이나 환경에 위치한 센서 노드의 경우, 다른 환경의 센서 노드들과 비교해 상대적으로 많은 에너지를 소비하여 에너지 불균형을 초래하고, 센서 네트워크의 생존 시간 감소로 이어진다. 따라서 본 논문에서는 이러한 환경의 센서 네트워크에서 효율적 에너지 관리를 위한 지능형 클러스터링 기법을 제안한다.

1. 제안한 지능형 클러스터링 기법

기존의 대표적 클러스터링 기법인 LEACH, TEEN은 최적 경로 설정을 위한 라우팅 프로토콜을 클러스터 개념을 이용하여, 보다 효율적인 경로 설정을 통해 에너지 소비를 고르게 하기 위한 기법들이다. 하지만 두 기법들은 센서 노드의 에너지 소비와 연관된 또 다른 요소인 센싱 파워 레벨은 직접적으로 고려하지 않고 있어 지속적인 센싱이 요구되는 반응적 상황이나 환경에 적용하여 사용하기 어렵다. 이는 다른 환경의 센서 네트워크와 비교해 상대적으로 많은 에너지를 소비하기 때문에 센서 네트워크의 생존 시간이 짧아지는 문제를 가진다. 반면, 제안한 기법은 이러한 요소를 해결하기 위해 센싱 파워 레벨을 고려하기 때문에 보다 효율적인 에너지 관리가 가능하다. 이는 결과적으로 센서 노드의 에너지 소비를 일정하게 하여 센서 노드의 생존 시간 향상 및 전체 센서 네트워크의 에너지 불균형을 해결한다.

이를 위해 그림 4와 같은 삼각형 형태의 클러스터를 구성하고, 센싱 파워 레벨의 제어를 위해 삼각형의 무게 중심점을 목적식 (1)을 이용하여 구한다. 목적식을 이용하여 구한 삼각형의 무게 중심점, TWP(Triangle-Weight Point)를 중심으로 센서 노드의 센싱 파워 레벨

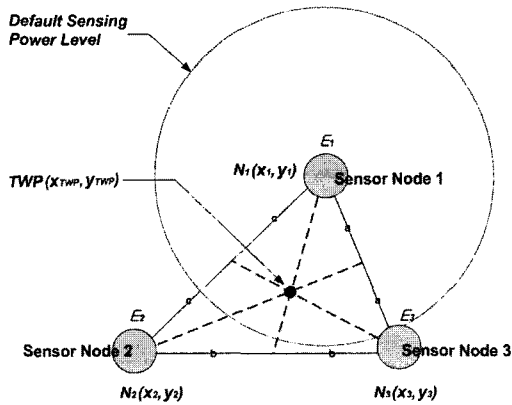


그림 4. 제안한 기법의 클러스터 구성 개념도  
Fig. 4. Cluster construct of proposing mechanism.

을 탄력적으로 제어하여 에너지 소비의 효율성 극대화 및 클러스터 내 이동 센서 노드에 대한 빠른 대응 등의 향상을 가져온다.

$$TWP = \left( \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3}, \frac{y_1 + y_2 + y_3}{3} \right) \quad (1)$$

제안한 지능형 클러스터링 기법은 초기단계, 제어단계, 재구성 단계로 이루어져 있으며, 다음과 같은 가정을 전제 한다.

- 싱크 노드는 모든 센서 노드와 데이터를 직접 주고 받으며, BS(Base Station)은 싱크 노드와 연결되어 전달받은 정보를 기반으로 네트워크 전체를 관리한다.
- 센서 네트워크의 센서 노드들은 인접 노드의 위치 정보를 (x,y)축의 형태로 관리하며, 동일한 특성 및 초기 에너지가 부여된다.

## 2. 제안한 지능형 클러스터링 기법의 동작과정

### 가. 초기단계

초기단계는 각 센서 노드의 위치 정보를 바탕으로 클러스터를 구성하는 단계로 삼각형 모양의 클러스터를 구성한다. 그림 5는 센서 노드의 정보를 바탕으로 클러스터가 구성되기까지의 메시지 흐름도를 나타낸 것이다.

클러스터링 과정은 초기, 싱크 노드의 BM(Beacon Message) 메시지를 시작으로 진행된다. 먼저 싱크 노드는 센서 노드들이 임의로 위치한 센서 네트워크에 일정

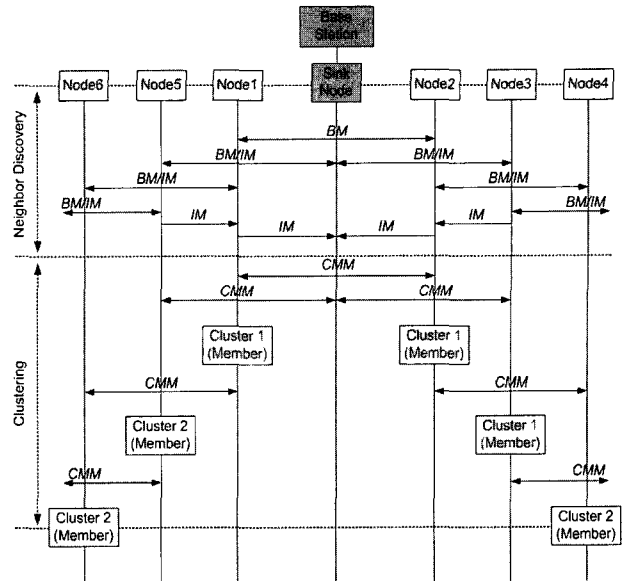


그림 5. 클러스터 구성을 위한 메시지 흐름도  
Fig. 5. Message flowchart for cluster composition.

한 주기로 BM 메시지 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 얻은 정보를 BS에 전달하고, BS는 받은 정보를 바탕으로 센서 노드를 선택, 클러스터 멤버를 결정하여 센서 네트워크에 CMM(Cluster Member Message) 메시지 이용, 이를 알려 클러스터를 구성한다. 전달된 CMM 메시지는 해당 센서 노드가 포함된 클러스터 ID와 TWP의 좌표 정보가 포함되며, 네트워크의 전반적 상황을 BS에서 관리하는 것은 센서 노드와 비교하여 에너지로부터 자유롭고, 연산 처리를 위한 시스템 성능이 우수하기 때문이다.

### 나. 제어단계

제어단계는 CMM 메시지에 포함된 TWP의 좌표 정보를 이용하여 센싱 파워 레벨 제어 및 클러스터내 역할을 구분하는 단계이다. 싱크 노드에서 전송된 CMM 메시지를 받아 클러스터 구성이 완료된 각 센서 노드는 CMM 메시지에 포함된 TWP 좌표 정보를 중심으로 자신의 센싱 파워 레벨을 조절하고, 동시에 에너지( $E_N$ )와 최대 센싱 파워 레벨( $SPL_{MAX}$ )값을 목적식 (2)를 이용하여 얻어진 노드 파워 비( $NP_{ratio}$ )를 비교하여 클러스터 헤더와 멤버를 구분한다. 이때 이와 관련된 정보는 CM(Control Message) 메시지를 이용하여 클러스터 멤버에게 전달한다.

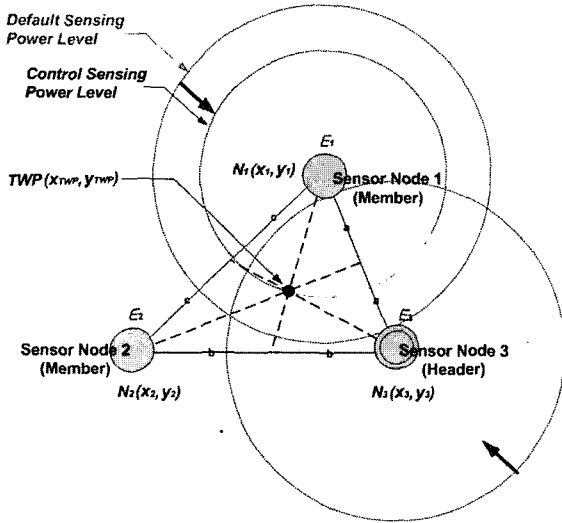


그림 6. 클러스터의 센싱 파워 레벨 제어 개념도  
Fig. 6. Sensing power level control key map of cluster.

$$NP_{ratio} = \frac{E_N}{SPL_{MAX}} \quad (2)$$

그림 6은 제어단계에서 TWP 정보를 중심으로 각 센서 노드의 센싱 파워 레벨을 제어하는 개념을 표현한 것이다.

#### 다. 재구성 단계

재구성 단계에서는 네트워크 및 클러스터 토폴로지 변화에 반응, 네트워크 및 클러스터 토폴로지를 변화에 맞게 재구성하는 단계이다. 먼저, 구성된 클러스터내 각 센서 노드의  $NP_{ratio}$ 의 변화가 있을 경우,  $NP_{ratio}$  정보가 포함된 HM(Help Message) 메시지를 발생시켜 클러스터 헤더에 전달한다. HM 메시지를 받은 클러스터 헤더는 CM 메시지를 이용, 클러스터 멤버에 알린다. CM 메시지를 받은 클러스터 멤버는 필요한 경우, 각 센서 노드의  $NP_{ratio}$ 를 바탕으로 클러스터 헤더와 멤버를 재구분하여 센서 노드의 에너지 균형을 유지한다. 또한, 클러스터내 센서 노드의 이동에 의해 센서 노드가 센싱할 수 있는  $SPL_{MAX}$ 이 TWP를 벗어날 경우, 해당 센서 노드는 자신의 이동 정보가 포함된 HM 메시지를 클러스터 헤더에 알린다. 클러스터 헤더는 RCMM(Re-configuration Cluster Member Message) 메시지를 네트워크에 알리며, RCMM 메시지를 받은 모든 클러스터 헤더는 이를 클러스터 멤버에 전달하고, 클러스터 멤버들은 IM 메시지를 인접 센서 노드에 알린다. 동시에 RCMM 메시지를 받은 싱크 노드는 이를 BS 전달하고, BS는 IM 메시지에 포함된 정보를 바탕

표 1. 재구성 단계의 Pseudo Code

Table 1. Pseudo Code of reconfiguration step.

// Cluster Header :

```

:
IF, (In case of HM message arrives)
  IF, ( $NP_{ratio}$  information included)
    CM message creation
    To Cluster Member, CM message transmission
  ELSE, (Own(Sensor Node) move information included)
    RCMM message creation
    To All Node, RCMM message transmission
  ELSE IF, (In case of RCMM message arrives)
    To Cluster Member, RCMM message transmission
  ELSE, end

```

// Cluster Member :

```

:
IF, (In case of CM message arrives)
  IF, (Compare each Node's  $NP_{ratio}$ )
    Cluster configuration
  ELSE, end
ELSE IF, (In case of RCMM message arrives)
  IM message creation, Sensor Node's energy and Own position information included
  To All Node, IM message transmission
ELSE IF, (In case of Cluster Member's  $NP_{ratio}$  changes or  $SPL_{MAX}$  escapes TWP)
  IF, (Cluster Member's  $NP_{ratio}$  changes)
    HM message creation, Cluster Member's  $NP_{ratio}$  changes information included
    To Cluster Header, HM message transmission
  ELSE, ( $SPL_{MAX}$  escapes TWP)
    HM message creation, Own move information included
    To Cluster Header, HM message transmission
  ELSE, end

```

으로 다시 센서 노드를 선택, 클러스터 멤버를 결정하여 CMM(Cluster Member Message) 메시지 이용, 클러스터를 재구성한다. 표 1은 재구성 단계에서 해당 센서 노드의 동작을 Pseudo Code로 나타낸 것이다.

#### IV. 성능 분석

본 논문에서 제안한 지능형 클러스터링 기법의 성능

을 기존의 클러스터링 기법인 LEACH, TEEN 등과 비교 분석을 위해 버클리(Berkeley) 대학의 Network Simulator인 NS-2.26을 사용하였다. 시뮬레이션을 통해 클러스터링에 의한 센서 노드의 센싱 파워 레벨 변화, 평균 에너지 소비율 그리고 살아있는 센서 노드의 개수 등을 통해 기존 클러스터링 기법과 성능을 비교, 분석하였다.

1. 시뮬레이션 환경 및 파라미터

시뮬레이션에서 구축한 네트워크 모델은 무선 센서 네트워크를 기본으로 하였고, 최대 2m/s의 속도의 이동성을 가지는 45개의 센서 노드들이 100m x 100m의 지역 내에 배치되어 이동하게 된다. 이 때, 센서 노드의 초기 위치는 단일 분포로부터 임의 추출되고 좌표값이 할당된다. 위치한 45개의 센서 노드는 이동성을 가지며, 센서 노드 및 클러스터 헤더와 직접적으로 연결 가능한 싱크 노드는 BS와 연결되어 독립적으로 존재한다고 가정한다. 각 센서 노드는 512KByte의 패킷을 초당 4개씩 전송하며, 시뮬레이션에 사용된 MAC Layer는 NS-2.26에 포함되어 있는 IEEE 802.11을 사용하였다.

시뮬레이션은 위의 표 2와 같은 파라미터 값을 바탕으로 진행 하였다. 또한, 시뮬레이션 모델의 Link Layer의 복잡성을 줄이기 위해 비트 오류율, 전파 지연, 안테나 이득, 채널 상관 관계 등의 부가 설정들은 생략하였으며, 비교 분석을 위해 필요한 기본 파라미터값 이외의 값은 기본설정 값을 사용하였다.

여기서, 센싱 파워 레벨은 센서 노드가 센싱할 수 있는 센싱 범위를 의미하며, 센서 노드가 센싱한 데이터 및 관련 정보를 전송할 수 있는 전송 거리와 다른 의미이다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터  
Table 2. Simulation parameter.

| 항 목         | 값                 |
|-------------|-------------------|
| 네트워크 크기     | 100 [m] x 100 [m] |
| 시뮬레이션 시간    | 2500 [sec]        |
| 센서 노드의 개수   | 45 [EA]           |
| 센싱 파워 레벨    | 1~5 [m/W]         |
| 센서 노드의 에너지량 | 2 [J]             |
| 이동 속도       | 2 [m/s]           |
| 데이터 패킷 크기   | 512 [KByte]       |

2. 시뮬레이션 결과

제안한 지능형 클러스터링 기법의 성능 분석을 위해 시간에 따른 센서 노드의 파라미터 변화를 그래프로 나타내었다. 아래 그림 7은 네트워크 토폴로지 변화에 반응, 센서 노드1의 센싱 파워 레벨 변화를 5sec 단위로 센서 노드의 수명이 끝나는 시점까지 그래프로 나타낸 것이다.

초기 5m/W에서 시작한 센싱 파워 레벨은 알고리즘에 의해 유동적으로 변화되는 것을 볼 수 있으며, 그래프를 보면 센싱 파워 레벨이 최고치까지 올라간 영역이 3회 있는 것을 확인 할 수 있는데 이것은 네트워크 토폴로지의 변화에 의해 클러스터가 총 3회 재구성된 것을 의미한다. 여기서 알고리즘의 네트워크 토폴로지의 변화 인지 시점은 각 센서 노드의 센싱 파워 레벨

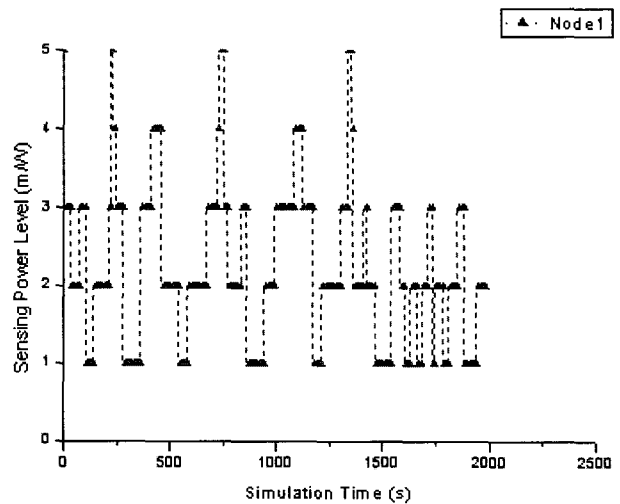


그림 7. 센서 노드의 센싱 파워 레벨 변화  
Fig. 7. Sensing Power Level change of sensor node.

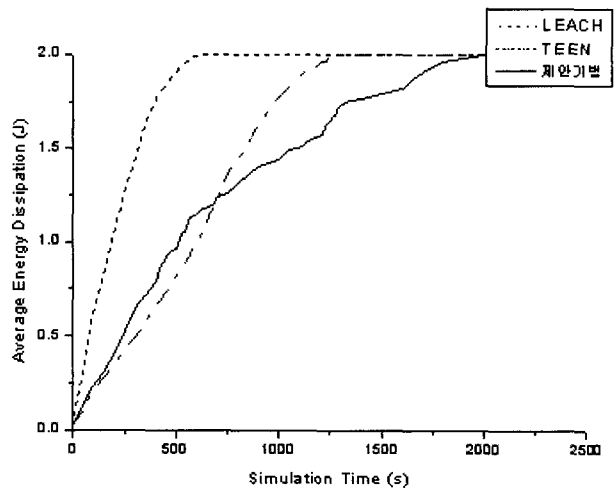


그림 8. 센서 노드의 평균 에너지 소비율  
Fig. 8. Average energy specific consumption of sensor node.

4m/W를 기준으로 하고 있고, 최소치는 1m/W로 제한하고 있다.

그림 8의 결과는 기존의 대표적 클러스터링 기법인 LEACH, TEEN과 비교하여 클러스터링에 의한 센서 노드의 평균 에너지 소비율을 그래프로 나타낸 것이다. 살펴보면, 제안한 지능형 클러스터링 기법이 LEACH, TEEN에 비해 에너지 소비율이 완만한 결과를 보여주는 것을 알 수 있다. 다만 제안한 클러스터링 기법이 TEEN에 비해 650sec 이전에서 에너지 소비율이 상대적으로 높은 것을 볼 수 있는데, 이는 제안한 기법의 클러스터링 방식이 기존 기법들과 다르게 구성 가능한 클러스터 멤버가 3개로 고정되어 있어 구성되는 클러스터의 개수가 상대적으로 많기 때문이다. 하지만, 이후의 에너지 소모율이 완만함을 볼 수 있고, 결과적으로 에너지 효율이 기존 기법들에 비해 좋음을 알 수 있다.

그림 9는 센서 네트워크를 구성하는 각 센서 노드의 생존 시간을 비교하기 위해 시간을 기준으로 살아있는 센서 노드의 개수를 그래프로 나타낸 것이다. 기존 기법들의 경우는 시간이 지남에 따라 살아있는 센서 노드의 개수가 빠르게 감소하는 반면, 제안한 기법은 그 곡선이 보다 완만한 것을 볼 수 있다. 이유는 앞서 본, 센서 노드의 평균 에너지 소모율이 상대적으로 완만하기 때문에 살아있는 센서 노드의 개수가 기존 기법과 비교하여 좀더 긴 것을 보여준다.

정리하면, MANET 환경의 센서 네트워크의 효율 향상을 위한 클러스터링 기법인 LEACH, TEEN 모두 효율적인 데이터 처리 및 경로 설정을 위해 계층화된 클러스터링 기법을 사용하여 네트워크의 에너지 효율을 향상시키는 장점을 갖는다. 하지만, 연속된 센싱을 요구

하는 반응적 상황에서는 상대적으로 센서 노드 Active 상태가 길어야 하기 때문에 에너지 소모가 큰 환경에 기존 기법을 적용하기 어렵다. 또한, 센서 노드가 이동할 경우, 센싱 영역을 초과하여 센싱 데이터를 놓치거나 반대로 클러스터내 클러스터 멤버간 센싱 영역의 중첩이 발생하여 불필요한 에너지를 소비하는 결과를 가져올 수 있다. 결과적으로 이런 모든 경우에 센서 노드의 에너지 불균형을 가져오고 센서 네트워크의 생존 시간에 큰 영향을 미친다. 이에 반해 제안한 지능형 클러스터링 기법은 이러한 문제점을 보완하여 센서 네트워크의 생존 시간을 향상을 가져오는 것을 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있었다.

### V. 결 론

일반적으로 MANET 환경에서 센서 네트워크를 구성하는 센서 노드들은 라우팅 및 센싱 역할을 모두 수행해야 하기 때문에 각 센서 노드들은 항상 에너지 부담을 가지고 있다. 이런 센서 노드의 에너지 부담을 줄이고 효율적인 에너지 관리를 위해 본 논문에서는 센서 네트워크 환경에서 기존의 클러스터링 기법과 다른 유형의 클러스터를 구성하여 센서 노드의 이동에 따른 네트워크 토폴로지 변화에 빠르게 대응하고, 연속된 센싱을 요구하는 반응적 상황에서 기존의 기법에 비교하여 센서 노드의 생존 시간 향상을 가져오는 기법을 제안하였다.

제안한 지능형 클러스터링 기법은 기존의 클러스터링 기법인 LEACH, TEEN에 비해 센서 노드의 이동에 따른 토폴로지 변화에 빠른 대응 능력을 보이고, 클러스터내 멤버간 센싱 영역의 중첩을 최소화함으로써 불필요한 에너지 소비를 줄여 센서 노드의 에너지 균형을 가져와 에너지 효율적인 면에서 우수함을 시뮬레이션을 통해 보여주었다. 즉, 제안한 기법은 데이터 발생이 연속적이고, 센서 네트워크의 토폴로지에 변화가 많은 환경에 적합할 것이다. 또한, 기존 클러스터링 기법에 비해 구성되는 클러스터의 개수 많기 때문에 센서 노드의 개수가 한정적인 중·소형 센서 네트워크에서 보다 좋은 성능을 얻을 수 있다.

본 논문에서 제안한 지능형 클러스터링 기법은 반응적 네트워크 상황하에 적합하도록 설계되어있어 네트워크 토폴로지 속성이 다른, 사전적 네트워크 상황에서는 에너지 효율성이 기존 기법과 비교하여 떨어지는 단점을 가지고 있다. 향후 연구과제로 이러한 단점을 개선

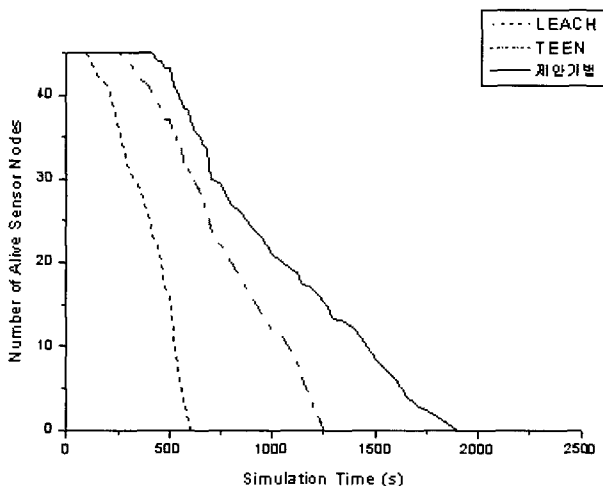


그림 9. 살아있는 센서 노드의 개수  
Fig. 9. Number of alive sensor node.

하기 위해 네트워크의 토폴로지 속성에 따라 반응하는 연구가 추가되어야 할 것이다.

[13] Paolo Santi, "Topology Control in Wireless Ad Hoc and Sensor Networks," WILEY

### 참 고 문 헌

- [1] George Aggelou, "Mobile Ad Hoc Networks," McGrawHill, pp. 67-94
- [2] Anna Hac, "Wireless Sensor Network Designs," John Wiley & Sons, Ltd
- [3] <http://www.crhc.uiuc.edu/~nhv/seminars/adhoc-net-work-tutorial.ppt>
- [4] Chai-Keong Toh, Georgia Elizabeth M. Royer, "A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks," April 1999.
- [5] 배정숙, 김성희, "무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜", ITFIND 주간기술동향, 2004년 4월 7일
- [6] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector(DSDV) for Mobile Computers," Proc. of the SIGCOMM 1994 Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications, Aug 1994, pp 234-244
- [7] C. E. Perkins, E. M. Royer, and S. Das, "Ad hoc on-demand distance vector(AODV) Routing," RFC 3561, July 2003, Category: Experimental, work in progress.  
<http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>
- [8] D. B. Johnson, D. A. Maltz and Y.-C. Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks(DSR)," IETF Draft, July 2004, work in progress.  
<http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-manet-dsr-10.txt>
- [9] M. Jiang, J. Li and Y. C. Tay, "Cluster based routing protocol(CBRP)," IETF MANET Working Group, Internet-Draft, July 1999.
- [10] 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.
- [11] A. Manjeshwar and D. Agrawal, "TEEN: a Routing Protocol for Enhanced Efficient in Wireless Sensor Networks," Proc. of the 15th International Parallel and Distributed Processing Symposium, pp. 2009~2015, 2001.
- [12] 조용현, 이향택, 노병희, 유승화, "무선 센서망에서 에너지 효율적인 클러스터 재구성을 위한 동적 헤드 선출 방법," 한국통신학회논문, 05-30-11A-11



저 자 소 개



서 성 운(정회원)  
 2003년 대진대학교 통신공학과  
 공학과  
 2007년 광운대학교 전자통신  
 공학과 공학석사  
 <주관심분야 : 센서네트워크, 임  
 베디드, 유비쿼터스, 통신망>



정 원 수(정회원)  
 2003년 대진대학교 통신공학과  
 학사  
 2005년 광운대학교 전자통신  
 공학과 석사  
 2005년 광운대학교 전자통신  
 공학과 박사(과정)  
 <주관심분야 : 통신망, 유비쿼터스, 임베디드>



오 영 환(중신회원)  
 2006년 대한전자공학회 논문지  
 제45권 TC편 제4호 참조