
센서 네트워크 환경에서 ANTCLUST 기반의 에너지 효율적인 클러스터링 기법

신봉희[†], 전해경^{††}, 정경용^{†††}

An Energy Efficient Clustering Method Based on ANTCLUST in Sensor Network

Bong-Hi Shin[†], Hye-Kyoung Jeon^{††}, Kyung-Yong Chung^{†††}

요약 센서 네트워크에서는 센서 노드를 통해 개체에 대한 행위, 조건, 위치에 관한 정보를 원격으로 얻을 수가 있다. 일반적으로 센서 노드는 배터리를 이용한 전원 공급이 이루어지므로 매우 제한적이다. 따라서 센서 데이터를 수집하기 위한 효율적인 에너지 관리는 전체 네트워크의 생존기간을 연장하기 위해 필요하다. 본 논문에서는 분산된 센서 노드를 클러스터단위로 자가구성하여 에너지 효율성을 높이는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 ANTCLUST를 기반으로 두 개체간의 유사도를 측정 후 해당 클러스터를 알아내어 자신의 클러스터를 결정하는 방법이다. 제안된 방법은 개미의 colonial closure 모델을 적용한다. 실험결과 기존의 클러스터링 방법보다 27%의 생존 노드 수의 증가를 보였다.

주제어 : 센서네트워크, 클러스터링, 클러스터 헤드, 센서노드, 잔여에너지

Abstract Through sensor nodes it can obtain behavior, condition, location of objects. Generally speaking, sensor nodes are very limited because they have a battery power supply. Therefore, for collecting sensor data, efficient energy management is necessary in order to prolong the entire network survival. In this paper, we propose a method that increases energy efficiency to be self-configuring by distributed sensor nodes per cluster. The proposed method is based on the ANTCLUST. After measuring the similarity between two objects it is method that determine own cluster. It applies a colonial closure model of ant. The result of an experiment, it showed that the number of alive nodes increased 27% than existing clustering methods .

Key Words : sensor network, clustering, cluster head, residual energy

1. 서론

최근 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술의 발전을 통해, 저비용, 저전력 소비등이 센서 노드에서도 가능하게 되었다. 배터리로 동작 하는 센서 노드는 여러 개의 센서, 제한적인 연산능력과 메모리를 갖고 있는 범용 프로세서, 라디오 리시버등을 가지고 있다. 이를 바탕으로 구축되는 센서 네트워크는 센서 노드들을 배치하

고, 베이스 스테이션이라고 부르는 sink 노드를 통해 대상 지역에서 개체의 위치, 조건, 행위 등에 대한 정보를 원격으로 얻을 수 있다[1].

센서 노드는 배터리로부터 전원을 얻기 때문에, 에너지 효율적인 데이터 수집 방법은 가능한 한 오랜 동안 대상 지역에서 정보를 얻을 수 있도록 설계되어야 한다. 센서 노드는 주변 환경을 모니터링하고 라디오 신호를 송수신하는데 자신의 에너지를 소비한다. 라디오 전송을

[†] 인천대학교 컴퓨터공학부 교수

^{††} 인하대학교 컴퓨터정보학과 박사과정 (교신저자)

^{†††} 상지대학교 컴퓨터정보공학부 교수

논문접수 : 2012년 2월 6일, 1차 수정을 거쳐, 심사완료 : 2012년 2월 17일

이 논문은 인천대학교 2011년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음.

위해서 소비되는 많은 양의 에너지는 라디오 신호 전파 범위의 k 승에 비례한다[5][6]. 센서 노드에서 다른 센서 노드까지의 거리는 센서 노드에서 베이스 스테이션까지 보다는 더 짧기 때문에, 멀리 떨어져 있는 베이스 스테이션에 직접적으로 센서의 데이터를 직접 전송하는 것은 에너지 면에서 보면 상당히 비효율적이다. 하지만, 클러스터 기반의 데이터 수집 방법은 에너지를 효율적으로 절약할 수 있다[3][5][6][9][12]. 클러스터 기반의 방법에서는, 센서 노드들 간에 이웃 관계를 이용해서 그룹화한 후 클러스터를 형성한다. 클러스터 헤드라고 불리는 대표 노드는 자신의 멤버들로부터 센서 데이터를 수집하고 수집된 데이터를 베이스 스테이션으로 전송한다. 클러스터 헤드는 멤버들로부터 센서 데이터를 수신하는데 멤버들보다 에너지 소비를 더 많이 하게 된다. 이에 못지않게 수신된 데이터를 처리하거나 베이스 스테이션에 자신에게 수신된 여러 정보들을 직접적으로 전송하는데 에너지를 많이 소비하게 된다. 클러스터 헤드의 역할은 센서 노드 사이에서 교대로 수행되어야 한다.

클러스터링을 설계하기 위해서는 몇 가지 필요사항이 요구된다. 첫째, 클러스터링은 수백, 수천 개의 센서 노드의 중앙 제어가 어렵기 때문에 완벽하게 분산되어 있어야 한다. 둘째, 클러스터 노드들은 센서 노드 사이에서 균형 잡힌 에너지 소비를 위해서 지리적으로 분산이 잘 되어 있어야만 한다. 셋째로, 센서 노드들은 동적으로, 배치, 이동, 중단되기 때문에, 클러스터링은 반드시 센서 네트워크의 변화에 적응할 수 있어야 한다. 마지막으로 본 논문의 목적과 같이, 클러스터를 이용한 방법은 효율적으로 에너지를 사용할 수 있어야 한다.

본 논문의 목적은 위에서 언급된 필요사항을 만족하기 위해 새로운 클러스터링 방법을 제안하는 것이다. 새로운 클러스터링 방법이란 이웃하고 있는 센서 노드들 사이에서 지역적인 통신을 통해 적절한 클러스터들을 자체적으로 형성하는 것이다.

클러스터를 형성하는 방법은 개미처럼 사회적 군집 관계를 생활을 영위하는 곤충을 통해서 아이디어를 얻었다. 개미집단은 군집, 서열, 공생, 분업 등의 특징을 가지고 있다[2]. 이러한 특징은 일반적으로 자가구성을 통해 만들어지게 되는데, 클러스터 또한 이러한 특징을 적용시킬 수 있다. 이러한 생물학적 시스템을 적용하기 위해서 기존의 제안된 알고리즘인 ANTCLUST[8]를 클러스터링 방법 설계에 이용하였다. 개미는 화학적인 물질들

교환함으로써 같은 군집의 개미인지를 알아낸다. ANTCLUST에서는 무작위로 선택된 두 개의 개체가 만난다. 두 개체의 유사도를 기반으로 해서, 클러스터를 생성하고 병합하고 삭제한다. 클러스터의 집합은 유사한 객체들을 같은 클러스터 내에 수용되게 하기 위해서, 객체들의 만남(통신)을 반복함으로써 만들어지게 된다.

본 논문에서는, ANTCLUST을 기반으로 센서 노드들 사이에서 지역적인 상호작용을 통해 효율적인 에너지 클러스터를 구성하기 위한 새로운 클러스터링 방법을 제안한다. 제안된 방법에서는 잔여 에너지를 가지고 있는 센서 노드들은 독립적으로 클러스터 헤드들이 된다.

센서 노드들은 지역적인 라디오 통신을 통해 만나고 자신이 속할 클러스터를 찾는다. 잔여 에너지가 적은 각 센서 노드는 클러스터 헤드의 잔여 에너지, 클러스터 헤드까지의 거리, 클러스터 크기의 평가를 기반으로 해서 클러스터를 선택한다. 이러한 작업은 센서 네트워크의 생존기간을 확장함으로써 에너지 효율적인 클러스터들을 형성하게 된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 본 논문에서 고려된 센서 네트워크에 대해 간단히 설명한다. 3장은 제안된 방법의 기반이 되는 클러스터링 알고리즘인 ANTCLUST를 소개한다. 4장에서는 센서 네트워크에서 효율적인 에너지 수집을 위한 새로운 클러스터링 방법을 제안한다. 실험결과는 5장에서 설명하고 마지막으로 6장에서는 본 논문을 결론짓고 향후 과제에 대해서 기술해 본다.

2. 센서네트워크

센서 네트워크에서 각 노드는 적은 비용과 작은 크기로 제작되기 때문에 저용량 배터리, 초소형 메모리, 저속 CPU, 짧은 전송거리, 높은 링크 손실률을 가지며, 폭우, 강풍, 화재 등의 외부 환경변화와 배터리 방전 또는 노드 고장으로 인해 노드의 에러 발생 확률이 높고, 토폴로지 변화가 빈번하게 발생하는 특징이 있다. 본 논문에서는 일정한 주기 또는 요구가 있을 시 모든 센서 노드로부터 베이스 스테이션까지 센서 데이터를 수집하는 어플리케이션을 고려한다. 설치비용을 줄이기 위해 센서 노드들을 비제어적이고 비구성적인 방법으로 모니터링하기 위해 지역적으로 분산 배치한다. 센서 노드들은 제한된 에

너지 상에서 운영된다. 배터리량은 센서 노드마다 다르다. 센서 노드들은 배터리량의 부족으로 인해 운영이 중단되고, 다른 장소로 이동될 수도 있고 네트워크 구축 초기 배치되지 못한 노드는 나중에 배치되기도 한다. 센서 노드들은 무선 송수신기를 갖는다. 라디오 신호의 범위는 조정될 수 있다. 센서 노드들은 다중의 데이터를 수집하며 단일 크기의 데이터로 구성한다[4]. 센서 노드들은 절대 위치와 상대 위치에 따라 센서 노드와 베이스 스테이션의 거리를 결정한다. 제어 단계에서 센서 노드들 간에 동기화가 이루어진다. 현재까지 클러스터링에 관련된 많은 연구가 있었지만 위에서 언급한 센서 네트워크의 많은 특징으로 인해 적용할 수 있는 어플리케이션이 상당히 제한적인 것이 사실이다[5].

3. ANTCLUST

개미는 개체, 종(種), 환경에 의해서 구별되는 페르몬이라고 하는 화학물질을 합성하고 자신의 피부층을 통해 퍼트린다[10][11]. 두 개의 거미가 만날 때, 그들은 이 화학물질을 교환 및 비교함으로써 같은 개미집에 속한 일행인지를 알아낸다. 이런 일련의 행위는 매번 만날 때 마다 행해지게 된다. 개미집에서 얼마동안 생활하고 다른 개미들과 반복적으로 만난 후, 젊은 개미들은 자신들의 동료들을 구별하기 위한 화학물질을 만들게 된다.

ANTCLUST는 colonial closure 모델이 적용된 클러스터링 알고리즘으로 한 마리의 개미를 하나의 개체로, 하나의 개미집을 하나의 클러스터로 간주한다[8].

ANTCLUST에서 유사도 $S(i, j) = [0, 1]$ 는 개체 i 와 j 쌍 사이에서 정의된다. 개체 i 는 클러스터 식별자 $Label_i$, 유사도의 허용임계치 $Temp_i$, 클러스터 크기 추정치 $M_i = [0, 1]$, 클러스터에서 개체가 얼마나 잘 적응하는지를 측정하는 $M_i^+ = [0, 1]$ 를 갖는다.

이들은 각각 $Label_i = 0$, $M = 0$, $M^+ = 0$ 로 초기화된다. $Temp_i$ 는 개체 i 가 임의적인 만남을 경험하는 학습 단계를 통해서 정의된다.

$$Temp_i \leftarrow \frac{\overline{S(i, *)} + Max(S(i, *))}{2} \quad (1)$$

$\overline{S(i, *)}$ 와 $Max(S(i, *))$ 는 개체 x 와 x 를 만나는 모든 개체 사이의 평균과 유사도 최대값을 표현한다. 유사도와 임계치값을 기반으로 해서, 클러스터를 생성, 병합, 삭제하게 된다. 반복적으로 임의적인 만남을 가지게 함으로써, 클러스터는 같은 클러스터에 있는 개체들을 다른 클러스터에 있는 개체보다 서로간의 유사도를 높여 적절하게 구성되게 된다. 우리는 두 개의 개체 i 와 j 가 만났을 때의 경우를 고려한다. 먼저, 두 개의 개체 i 와 j 는 유사도 $S(i, j)$ 와 임계치값 $Temp_i$ 와 $Temp_j$ 에 의해서 그들의 대응관계를 적용할지 여부를 결정한다.

$$Acceptance(i, j) \Leftrightarrow (S(i, j) > Temp_i) \wedge (S(i, j) > Temp_j) \quad (2)$$

그런 다음 $Temp_i$ 와 $Temp_j$ 는 식 (1)에 의해서 갱신된다. 다음에는 그들의 $Label$ 을 비교한다. 고려해야하는 조건은 5가지가 있는데, 그것은 아래와 같다.

(1) 개체 i 와 j 가 클러스터의 멤버가 아닐 경우, 개체와 클러스터는 서로 클러스터 관계를 맺게 된다. 새로운 클러스터는 $Label_i \leftarrow Label_N$, $Label_j \leftarrow Label_N$ 로 생성된다.

(2) 만약 두 개체 중 하나가(개체 i 라고 한다면), 클러스터 포함되지 않았을 경우, 그리고 만약 개체 i 와 j 가 서로 클러스터 관계를 맺는다면, $Label_i \leftarrow Label_j$ 처럼 개체 i 는 개체 j 를 클러스터로 삼게 된다.

(3) 두 개체가 같은 클러스터에 속할 때, 서로 클러스터 관계를 맺게 된다.

$$M_i \leftarrow (1 - \alpha)M_i + \alpha, \quad M_j \leftarrow (1 - \alpha)M_j + \alpha, \\ M_i^+ \leftarrow (1 - \alpha)M_i^+ + \alpha, \quad M_j^+ \leftarrow (1 - \alpha)M_j^+ + \alpha$$

로 크기 추정치를 증가한다.

여기서 α 는 0과 1사이의 유사도를 나타내는 상수값이다.

(4) 두 개체가 같은 클러스터에 속할 때, 이미 클러스터 관계를 맺고 있으므로 $M_i \leftarrow (1 - \alpha)M_i + \alpha$, $M_j \leftarrow (1 - \alpha)M_j + \alpha$, $M_i^+ \leftarrow (1 - \alpha)M_i^+$, $M_j^+ \leftarrow (1 - \alpha)M_j^+$ 로 추정치 크기를 갱신한다.

그런 다음 더 작은 추정치를 갖는 개체 x 는 $Label_x \leftarrow 0$, $M_x \leftarrow 0$, $M_x^+ = 0$ 로 자신의 클러스터를 잃게 된다.

$$x = \{x | M_x^+ = \min(M_i^+, M_j^+)\}$$

(5) 두 개의 개체가 서로 다른 클러스터에 속할 때, 서로 클러스터 관계를 맺는다. 먼저 자신의 클러스터 크기를 $M_i \leftarrow (1-\alpha)M_i$, $M_j \leftarrow (1-\alpha)M_j$ 를 이용해서 어떻게 변경할지를 측정한다. 그런 다음, 더 작은 클러스터에서 개체 x는 $Label_x \leftarrow Label_{(k|k \in (i,j), k \neq x)}$ 로 자신의 클러스터를 변경한다.

$$x = \{x | M_x = \min(M_i, M_j)\}$$

4. ANTCLUST 기반의 분산 클러스터링 방법

본 논문에서는 하나의 센서를 하나의 개미로, 하나의 클러스터를 하나의 개미집으로 간주한다. 센서 노드간의 유사성은 센서 노드에서 클러스터 헤드의 거리에 대응된다. 센서 노드들은 무선 라디오 통신을 통해서 만난다. 일반적으로 센서 노드는 전방향 안테나를 갖고 주변 노드들에게 라디오 신호를 브로드캐스트한다. 그리고 전송 범위에 있는 모든 센서 노드에게 수신을 받는다. 또한 ANTCLUST에서는 서로 통신하게 되는 개체들 모두 자신의 클러스터를 조절하는 동안 단방향(one-way) 통신을 하게 된다.

라운드라고 부르는 데이터 수집 사이클은 4단계로 구성된다. 1)클러스터 헤드 입후보(대상 선정) 2) 클러스터 형성 3)등록 4) 데이터 전송이 그것이다. 클러스터 입후보 단계에서 모든 센서 노드들은 초기에 클러스터 헤드 선정을 위해 자기 자신을 후보로 간주한다. 잔여 에너지가 좀 더 많은 센서 노드는 다른 노드보다 더 빨리 자신이 대상이라는 사실을 제한된 범위 R내에 브로드캐스팅함으로써 클러스터 헤드가 될 수 있다. 다른 노드로부터 광고를 수신한 센서 노드들은 자신의 입후보를 포기하고 클러스터에 참여한다. 클러스터 헤드 입후보 단계는 4.1절 자세히 설명되어 있다. 클러스터 형성 단계에서는 센서 노드들이 라디오 통신을 통해 만난다. 클러스터 헤드가 되지 못한 일정 퍼센티지 P_{ex} 의 센서노드들은 범위 $r(r < R)$ 내에서 자신들의 클러스터에 관한 정보를 브로드캐스트한다. 브로드캐스트 메시지를 수신한 이웃 센서 노드들은 자신들의 클러스터와 새롭게 광고하고 있는 클러스터에 관한 정보를 기반으로 해서 어떤 클러스터에 참여할지를 결정한다. 좀 더 자세한 사항은 4.2절에 기술된다. 등록 단계에서 각 센서 노드는 클러스터 헤드에 등

록 메시지를 전송함으로써 클러스터 멤버로 자신을 등록한다. 데이터 전송 단계에서는, 클러스터 멤버들은 자신의 데이터를 클러스터 헤드에 전송한다. 클러스터 헤드는 멤버들의 데이터를 수신하여 수집한 뒤 직접 베이스 스테이션으로 전송한다. 각 라운드의 시작과 단계별 변경 시에는 센서 노드들 간에 동기화가 이루어진다.

클러스터들을 구축하기 위해, 센서 노드는 표 1에서 보이는 것처럼 자신과 클러스터 헤드에 관한 정보를 유지한다. 표 1에 파라미터 사이에, 처음 세 가지는 정적인 파라미터이다. $Temp_i$ 와 P_i 는 센서 노드 i가 배치되었을 때 초기화되고, 매 라운드마다 갱신된다. 클러스터에 관한 정보는 각 라운드의 시작에서 초기화된다. 마지막 세 가지 파라미터는 배치 시에 초기화되지만 센서 노드 i의 여러 주변 조건에 따라 조정될 수 있다.

일반적인 라운드단계는 4단계를 거치지만 본 논문은 효율적인 클러스터 구성이 주된 목적이므로 등록 및 데이터 전송은 고려대상에서 제외한다.

〈표 1〉 기호표기법

센서노드 i에 대한 표기	
i	노드 식별자
e_i	잔여에너지
c_i	좌표
$Temp_i$	유사도 임계치, 초기값 R
P_i	0~1 사이의 입후보 확률, 초기값 0.5
센서노드 i의 클러스터에 대한 정보	
$head$	클러스터 헤드 식별자
E_i	클러스터 헤드의 잔여에너지
C_i	클러스터 헤드의 좌표
M_i	클러스터 멤버수의 추정치
시스템 파라미터	
r	노드간 통신을 위한 클러스터 정보 브로드캐스팅 전송 범위
R	범위클러스터 헤드에 대한 입후보 브로드캐스팅 전송 반경
P_{ex}	노드간 통신에 참여할 센서 노드의 비율

4.1 클러스터 헤드 입후보 단계

한 라운드의 시작에서 모든 센서 노드들은 클러스터 헤드를 위해 자기 자신을 대상 후보로 간주한다. 파라미터들은 아래와 같이 초기화된다.

$$head_i \leftarrow i, E_i \leftarrow e_i, C_i \leftarrow c_i, M_i \leftarrow 1 \quad (3)$$

클러스터 헤드 입후보 단계에서 시간 T 를 갖는다고 가정하면, 센서 노드 i 는 $T \times (1 - P_i) + K$ 에 반지름 R 범위 내에서 자신의 입후보를 알린다. 이 때 K 는 동일한 P_i 를 갖는 센서 노드들 사이의 충돌을 감소시키기 위한 $[0, (T_p - 1)]$ 사이의 임의의 값이다. 센서 네트워크의 생존기간을 연장시키기 위해서, 센서 노드 간의 에너지 소비는 반드시 균형을 이루어야 한다. 다음 절에서 설명되는 P_i 를 조정함으로써, 잔여 에너지가 더 많은 센서 노드들은 클러스터 헤드가 될 가능성이 좀 더 높아지게 된다. p 는 식 5에 따라 P_i 를 증가시키거나 감소시킬 때 사용되는 상수값이다. 광고 메시지에선 식별자 $head_i$, 클러스터 헤드의 잔여 에너지 E_i , 좌표 C_i , 클러스터 멤버들의 수에 대한 추정치 M_i , 그리고 센서 노드의 잔여 에너지 e_i 등이 포함된다. 입후보를 알릴 때는 E_i 와 e_i 는 동등일하다.

아직 입후보하지 못한 센서 노드는 다른 센서 노드로부터 광고 메시지를 받을 때 자신의 입후보를 포기하고 클러스터의 멤버가 된다. 뿐만 아니라, 이미 클러스터에 속한 센서 노드가 다른 광고 메시지를 수신할 때, 그 노드는 클러스터 형성 단계 프로시저를 거치게 되며 어떤 클러스터에 참여할지를 결정해야 할지에 대한 제안을 받는다.

4.2 클러스터 형성 단계

클러스터 헤드 입후보 단계 마지막에서 모든 센서 노드는 클러스터 헤드 또는 멤버로서 클러스터에 속하게 된다. 퍼센티지 P_{ex} 만큼의 센서노드들은 반경 r 내에 자신의 클러스터에 관한 정보를 브로드캐스트하고 군집화를 구성한다. 광고를 수신할 때, 라디오 신호 범위 내의 센서 노드들은 센서 노드를 만나고 클러스터를 찾는다. 광고를 만나기 위한 형태는 입후보를 위한 형태와 같다. 만약 센서 노드가 클러스터 헤드라고 한다면, 노드 간에 이루어지는 만남에는 참여하지 않는다.

만약 센서 노드 i 가 클러스터 헤드가 아니라면, 자신의 클러스터를 조정한다. 먼저, 센서 노드 i 는 임계치 $Temp_i$ 를 갖는 거리를 $head_j$ 와 비교함으로써 센서 노드 j 가 속한 클러스터 헤드 $head_j$ 를 받아들일지를 결정

한다.

$$Acceptance(i, j) \Leftrightarrow (d(i, head_j) \leq Temp_i) \quad (4)$$

여기에서 $d(i, head_j)$ 는 좌표 c_i 와 C_j 로부터 파생된 클러스터 헤드 $head_j$ 와 센서 노드 i 사이의 거리를 나타낸다. 센서 노드 i 가 클러스터 헤드 $head_j$ 를 자신의 클러스터 헤드로 삼는다는 것은 센서 노드 i 는 클러스터 헤드 $head_j$ 에 충분히 가깝다는 것을 의미한다. 센서 노드 i 는 두 개의 클러스터를 비교한다. 만약 $(head_i = head_j) \wedge (Acceptance(i, j) = True)$ 처럼 센서 노드 i 와 j 가 같은 클러스터에 속한다면, 센서 노드 i 는 $M_i \leftarrow M_i + 1$ 로 자신의 크기 추정치를 증가한다. 만약 센서 노드 i, j 가 서로 다른 클러스터에 속한다면, 센서 노드 i 의 가까운 곳에 다른 클러스터가 있다는 것을 의미한다. 클러스터 헤드 $head_j$ 는 센서 노드 i 의 $Temp_i$ 에 있지만, 클러스터 헤드 $head_j$ 의 광고는 센서 노드 i 에 의해 수신되지 않는다. 에너지 효율적인 데이터 수집을 위해서, 클러스터 헤드가 데이터를 보냄으로써 센서 노드 i 는 에너지를 절약할 수 있기 때문에 센서 노드 i 가 클러스터를 선택하는 것이 효율적이다. 그리고 센서 노드 i 는 에너지 빈곤 상태에 빠지는 것을 피하기 위해 좀 더 잔여 에너지를 갖고 있는 클러스터 헤드를 선택해야만 한다. 마지막으로, 더 적은 멤버를 갖는 클러스터가 선호되는데, 클러스터 헤드가 센서 데이터를 수집하는데 소요되는 에너지는 클러스터 멤버 수와 비례한다. 그러므로, 센서 노드 i 는 자신의 클러스터를 $head_i \leftarrow head_j, E_i \leftarrow E_j, C_i \leftarrow C_j, M_i \leftarrow M_j + 1$ 로 바꾼다. 만약

$$(head_i \neq head_j) \wedge (Acceptance(i, j) = True) \wedge \left(\frac{E_j}{M_j \cdot d^2(i, head_j)} \geq \frac{E_i}{M_i \cdot d^2(i, head_i)} \right)$$

를 유지한다면 위의 조건들을 제외하고, 센서 노드 i 는 클러스터 형성을 위해서 아무것도 하지 않는다.

센서 노드 i 가 클러스터 헤드인지 아닌지와 상관없이, 센서 노드 j 의 잔여 에너지 e_j 와 자신의 잔여 에너지 e_i 사이의 관계를 반영하기 위해 자신의 클러스터 헤드 입

후보 확률 P_i 를 갱신한다.

$$P_i \begin{cases} \text{Min}(1, P_i + p), & \text{if } e_i > e_j \\ \text{Max}(0, P_i - p), & \text{if } e_i < e_j \\ P_i, & \text{if } e_i = e_j \end{cases} \quad (5)$$

여기에서 p 는 $p = [0, 1]$ 를 만족하는 상수값이다. 입 후보 확률을 절대적인 양에 의해서가 아니라, 주변 센서 노드의 잔여 에너지에 관해서 결정한다.

다음으로 센서 노드 i 는 임계치 $Temp_i$ 를 갱신한다.

$$Temp_i \leftarrow \frac{\overline{d(i, *)} + \max(d(i, *))}{2} \quad (6)$$

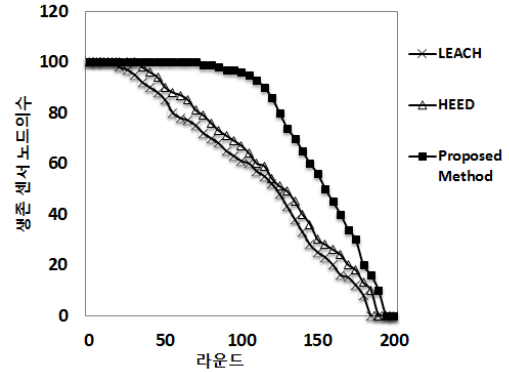
$\overline{d(i, *)}$ 와 $\max(d(i, *))$ 는 센서 노드 i 가 광고 수신을 통해 인식한 자신과 모든 클러스터 헤드와의 사이의 최대, 최소 거리이다.

5. 실험

본 논문에서 제안한 라우팅 프로토콜의 성능 평가를 위해 NS-2 시뮬레이터[7]를 사용하여 제안한 방법의 효율성을 평가했다. 100 * 100의 격자 형태의 지역에 임의로 센서 노드 100개가 배치된 센서 네트워크를 고려한다. 베이스 스테이션은 (x=30, y=250)에 위치한다. 실험에서, 모든 통신은 에너지를 소비한다. 우리는 에너지 소비 모델을 [2]와 같이 사용했다. 클러스터 정보를 광고하는 메시지는 60 비트 길이로 설정되었다. 각 클러스터 멤버는 16 비트 길이 메시지를 클러스터에 등록하기 위해서 전송하였다. 센서 데이터의 크기는 1024 비트였다.

그림 1에서는, 기존 알고리즘인 LEACH[6], HEED[12]과 제안 방법 라운드별 생존 노드수의 비교를 보인다. LEACH에서 일정한 퍼센티지 P_{opt} 만큼의 센서 노드는 자신의 입후보를 센서 네트워크 전체에 광고한다. 광고를 듣고, 각 센서 노드는 가장 가까운 클러스터 헤드를 선택하고 자신을 클러스터 멤버로 등록한다. HEED는 또한 클러스터 헤드 선출에 센서 노드들의 잔여 에너지를 고려한다. 입후보의 확률 H_p 는 사전 결정된 상수 확률과 최대 용량과 비교해 잔여 에너지의 퍼센티지를 곱함으로써 얻을 수 있다. 실험을 위한 대부분의 조건은 [12]와 같

다. 제안된 방법에서 R, r, P_{ex} 는 각각 60, 30, 20%로 설정했다.



[그림 1] 알고리즘별 생존 노드수 비교

제안된 방법은 기존의 방법보다 성능이 좋다. 그 이유는 LEACH의 경우, 모든 센서는 클러스터 헤드가 되기 위한 동일한 기회를 갖는다. 그러므로, 잔여 에너지를 충분히 갖지 못하는 센서 노드는 자주 클러스터 헤드가 되지 못한다. 또한 주변 노드들은 충분한 배터리가 있음에도 정작 자신은 배터리 고갈로 인해 동작을 중단하기도 한다. 더욱이 LEACH에서는 클러스터 헤드가 확률적으로 선택되기 때문에, 사전 결정된 클러스터의 최적의 수는 어쩔 수 없이 구성이 안되기도 하고 한 지역에 클러스터가 균형적으로 분산되지 않을 수도 있다. HEED는 제안된 방법보다 클러스터를 더 많이 형성하기 위해서 많은 브로드 캐스팅을 요구로 인해, 제안된 방법보다 더 많은 에너지를 소비한다. 실험 결과 기존의 방법들보다 27%의 생존 노드수의 증가가 있었다.

5. 결론 및 향후연구

본 논문에서는, ANTCLUST를 기반으로 해서, 센서 네트워크에서 데이터를 수집하기 위한 에너지 효율적인 새로운 클러스터링 알고리즘 제안했다. 제안된 방법은 더 많은 잔여 에너지를 갖는 센서 노드들은 클러스터 헤드가 되도록 하고 센서 노드 간 지역적인 상호작용을 통해 클러스터 구성을 개선시켰다. 제안된 방법의 특성을 요약해 보면, 첫째 완전히 분산적인 방법으로 클러스터

를 구성한다. 각 센서 노드는 클러스터 헤드가 될지 그렇지 않을지, 사회적이 될 것인지 아닌지, 스스로 어떤 클러스터에 참여할지를 결정한다. 두 번째, 센서 노드의 잔여 에너지를 균등하게 함으로써 다른 방법들 보다 더 오래 동안 센서 네트워크의 생존 기간을 유지할 수 있다. 더 많은 잔여 에너지를 갖는 센서노드는 클러스터 헤드가 될 기회를 더 많이 얻게 된다. 게다가, 센서 노드는 인접성뿐만 아니라 클러스터 헤드의 잔여 에너지로 자신의 클러스터를 선택한다. 세 번째로는 불안정한 라디오 환경 하에서 더 많은 데이터 수집이 가능하다는 것이다. 만약 센서 노드가 입후보 메시지를 듣지 않으면, 클러스터 헤드가 되고 스스로 베이스 스테이션에 자신의 센서 데이터를 전송한다. 실험에서는 제안된 방법을 이용하여 기존의 방법보다 27%이상의 생존노드 수의 증가를 확인하였다.

우리는 현재 자신의 주변 관찰을 통해 센서 노드가 자동으로 제어 파라미터를 자동으로 조정하는 좀 더 효율적인 클러스터링 알고리즘을 고려하고 있다. 또한 에너지 효율적인 클러스터 기반의 데이터 수집을 위한 센서 네트워크의 범위 지역을 고려하고 있다. 또한, 다중 홉 전송과 같은 클러스터 헤드 간 통신을 통해 베이스 스테이션에 센서 데이터를 전송하는 경우로 연구의 범위를 확장할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y. and Cyirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, pp. 393 - 422.

[2] Bonabeau, E., Theraulaz, G. and Dorigo, M. (1999). *Swarm Intelligence*. New York : Oxford University Press.

[3] Dasgupta, K., Kalpakis, K., and Namjoshi, P. (2003). An efficient clustering-based heuristic for data gathering and aggregation in sensor networks. in *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference*.

[4] Hall, D. L. and Llinas, J. (2001). *Handbook of Multisensor Data Fusion*. CRC Pr I Llc.

[5] Heinzelman, W. R., Chandrakasan, A. P. and

Balakrishnan, H. (2002). An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, pp. 660 - 670.

[6] Heinzelman, W. R., Chandrakasan, A. and Balakrishnan, H. (2000). Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. in *Proceedings of HICSS-33*, pp. 3005 - 3014.

[7] <http://www.isi.edu/nanam/ns/>. The Network Simulator NS-2. Information Sciences Institute. University of Southern California.

[8] Labroche, N., Monmarché, N. and Venturini, G. (2002). A new clustering algorithm based on the chemical recognition system of ants. in *Proceedings of ECAI* pp. 345 - 349.

[9] Lindsey, S., Raghavendra, C. and Sivalingam, K. (2001). Data gathering in sensor networks using the energy delay metric. in *IPDPS Workshop on Issues in Wireless Networks and Mobile Computing*, pp. 924 - 935.

[10] Yamaoka, R. (1999). How do ants recognize their nestmates?. *Quarterly Journal Biohistory*, no. 23.

[11] Yamaoka, R. (2001). The communication and community of ants. *NATURE INTERFACE*, no. 6, pp. 58 - 61.

[12] Younis, O. and Fahmy, S. (2004). Distributed clustering in ad-hoc sensor networks: A hybrid, energyefficient approach. in *Proceedings of IEEE INFOCOM*.

신 봉 희



- 1977년 : 인하대학교 전자공학과 공학사
- 1981년 : 인하대학교 전자공학과 공학석사
- 1995년 : 단국대학교 전자공학과 공학박사
- 2010년 ~ 현재 : 인천대학교 컴퓨터

공학부 교수

· 관심분야 : 마이크로프로세서, 임베디드시스템, etc.

· E-mail : bhshin@incheon.ac.kr

전 혜 경



- 1995년 2월 : 인하대학교 일문과(문학사)
- 1999년 8월 : 인하대학교 정보공학과(공학석사)
- 2002년 9월 ~ 현재 : 인하대학교 컴퓨터정보학과 박사 수료
- 관심분야 : 상황인식, 센서네트워크,

유비쿼터스

· E-mail : jhk7010@nate.com

정 경 용



- 2000년 2월 : 인하대학교 전자계산공학과(공학사)
- 2002년 2월 : 인하대학교 컴퓨터정보공학과(공학석사)
- 2005년 8월 : 인하대학교 컴퓨터정보공학과(공학박사)
- 2005년 9월 ~ 2006년 2월 : 한세대

학교 IT학부 교수

- 2006년 3월 ~ 현재 : 상지대학교 컴퓨터정보공학부 교수
- 관심분야 : 지능시스템, 데이터마이닝, 상황인식, 웨어러블 컴퓨팅, HCI, 바이오센서, IT융합
- E-mail : cyjung@sangji.ac.kr