

# 센서 네트워크에서의 동적 크기 다중홉 클러스터링 방법

임 유 진<sup>†</sup> · 안 상 현<sup>††</sup>

## 요 약

제한된 자원을 가진 센서 노드들로 구성된 센서 네트워크에서 가장 중요한 이슈 중 하나는 주어진 에너지를 최대한 활용하여 네트워크 수명을 연장하는 것이다. 네트워크 수명을 연장하는 가장 대표적인 방법은 클러스터링 방법이다. 본 논문에서는 CH(Cluster Head) 및 후보 CH 노드들로부터 주어지는 통신 부하(load)와 잔여 에너지 양에 대한 정보를 기반으로 클러스터 크기를 동적으로 변화시켜 클러스터 내의 노드 밀도에 상관없이 각 CH에게 주어지는 부담을 일정하게 유지시키는 새로운 동적 크기 다중홉 클러스터링 방법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 제안된 방법이 기존의 단일홉 모드나 고정 크기 다중홉 모드 클러스터링 방법보다 우수함을 보였다.

**키워드** : 센서 네트워크, 클러스터링

## Dynamic-size Multi-hop Clustering Mechanism in Sensor Networks

Yujin Lim<sup>†</sup> · Sanghyun Ahn<sup>††</sup>

### ABSTRACT

One of the most important issues in the sensor network with resource-constrained sensor nodes is prolonging the network lifetime by efficiently utilizing the given energy of nodes. The most representative mechanism to achieve a long-lived network is the clustering mechanism. In this paper, we propose a new dynamic-size multi-hop clustering mechanism in which the burden of a node acting as a cluster head(CH) is balanced regardless of the density of nodes in a sensor network by adjusting the size of a cluster based on the information about the communication load and the residual energy of the node and its neighboring nodes. We show that our proposed scheme outperforms other single-hop or fixed-size multi-hop clustering mechanisms by carrying out simulations.

**Key Words** : Sensor Network, Clustering

### 1. 서 론

무선 센서 네트워크는 특정 현상을 모니터링 하고자 일정 지역에 분포된 무선 노드들로 구성된 네트워크이다. 센서 노드는 어떠한 현상을 인식, 측정하고 수집된 데이터를 무선 채널을 통하여 싱크(sink) 노드에 전송하는 역할을 담당하며, 싱크는 여러 센서 노드들로부터 데이터를 수집하여 분석한다. 이러한 센서 네트워크는 기존의 애드혹(ad-hoc) 네트워크와는 달리 센서 노드들이 적은 이동성과 제한된 에너지를 가지며 보다 조밀하게 배치되어 있는 특성을 가진다.

센서 네트워크에서 가장 큰 이슈는 네트워크 수명을 연장하는 것이다. 일반적으로 네트워크 수명이란 네트워크 노드들 중에서 에너지가 고갈되는 첫 번째 노드가 발생할 때까지의

시간을 뜻한다. 에너지 소모는 주로 라디오 통신에서 발생한다. 예를 들어 100m 떨어진 곳에 1 비트를 전송하는데 소모되는 에너지는 3000개의 명령어를 실행하는데 필요한 에너지와 같다[1].

센서 네트워크에서 에너지 소모를 줄이기 위한 대표적인 방법으로는 데이터 통합을 통하여 전송 데이터를 줄임으로써 통신 비용을 줄이는 방법으로 클러스터링(clustering)을 들 수 있다. 클러스터링은 수백 수천의 노드들에 대한 확장성을 요구하는 응용에 아주 유용하다. 이는 어떤 현상을 인식한 센서 노드들이 싱크로 측정 데이터를 각기 전송하는 대신, 네트워크 노드들을 대상으로 하나 이상의 클러스터를 구성하여 센서 노드는 자신이 가입한 클러스터의 CH(Cluster Head)에게 측정 데이터를 전송하고, 여러 센서 노드들로부터 측정 데이터를 수신한 CH는 이를 통합하여 자신의 클러스터를 대표해서 싱크에 통합된 데이터를 전송함으로써 데이터 전송 비용을 줄이는 방법이다.

클러스터링 방법은 클러스터 내의 통신 모드에 따라 단일홉(single-hop) 클러스터와 다중홉(multi-hop) 클러스터로 구분된다[2]. 단일홉 모드는 클러스터 내의 모든 센서 노드들이

\* 본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 정보통신부의 유비쿼터스컴퓨팅및네트워크원천기술개발사업의 지원에 의한 것이다.

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2004-10372-0) 지원으로 수행되었음.

† 정 회 원 : 수원대학교 정보미디어학과 전임강사

†† 정 회 원 : 서울시립대학교 컴퓨터과학부 부교수

논문접수 : 2005년 3월 16일, 심사완료 : 2005년 9월 26일

CH와 단일홉 통신을 하는 것을 말하며 어떠한 패킷의 중계도 발생하지 않는다. 센서 노드와 CH 사이에 통신이 직접적으로 이루어지기 때문에 한 순간에 오직 한 노드만이 전송할 수 있으며 따라서 비경합방식 MAC(contention-less MAC)이 선호된다. 이를 위하여 CH가 아닌 센서 노드들은 CH에게 자신의 클러스터 가입을 알리는 메시지를 전송하여야 한다. 반면 다중홉 모드는 센서 노드와 CH 사이에 다중홉 통신을 수행한다. 다시 말해서 CH는 자신의 존재를 알리기 위한 advertisement 메시지를 제한된 범위 내에서 브로드캐스트한다. 여기서의 제한된 범위란 클러스터의 크기를 말하며 1홉 이상이 된다. 또한 메시지의 다중홉 전송을 위해서 CH 근처 노드들은 자신이 수신한 CH 정보를 다른 노드들에게 중계해야 하는 추가적인 부담을 가진다. Advertisement 메시지를 수신한 센서 노드들은 자신들이 측정된 데이터를 자신이 가입한 CH에게 다중홉으로 전송해줌으로써, CH는 이들을 취합하여 자신의 클러스터를 대신해 싱크 노드에게 전달한다. 그러나 센서 노드들이 네트워크에 일정하게 배치된다는 보장이 없기 때문에 단일홉 모드일 경우 각 클러스터 당 노드 밀도가 다를 수 있고 따라서 특정 CH만 오버로드될 수 있다. 그러나 다중홉 모드는 최적의 클러스터 크기 결정을 통해 각 CH에 대한 부하(load)를 일정하게 유지할 수 있다.

본 논문에서는 네트워크 내의 노드 배치가 일정치 않은 실제 환경에서 다중홉 모드를 위한 최적의 클러스터의 크기를 구하는 것이 현실적으로 쉽지 않음에서 착안하여, CH의 부하 상황과 잔여 에너지 양에 따라 각 클러스터의 크기를 동적으로 변화시킴으로써 전체 CH의 부하를 일정하게 유지시켜 전체 네트워크 수명을 연장시키는 방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 단일홉 또는 다중홉 모드를 지원하는 대표적인 클러스터링 기법들을 소개한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 동적 크기 다중홉 클러스터링 방법에 대하여 자세히 설명하고, 4장의 실험을 통하여 기존 방식과의 성능 비교 결과를 보인 후, 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

LEACH[3]와 HEED[4]는 단일홉 모드를 사용하는 가장 대표적인 클러스터링 방법이다. LEACH[3] 방법은 수식 1을 사용하여 모든 센서 노드들이 골고루 번갈아 가면서 CH가 될 수 있게 하기 위한 확률 값  $T(n)$ 을 계산하여 부하를 골고루 분산시키는 방법이다.  $P$ 는 CH로 선출될 확률 값을 말하며 (예를 들어  $P=0.05$ ),  $r$ 은 현재 라운드(round)를,  $G$ 는 지난  $1/P$  라운드 동안 CH로 선출되지 않은 노드들의 집합을 지칭한다. CH로 선출된 노드는 advertisement 메시지를 브로드캐스팅함으로써 자신의 존재를 알린다. 이러한 advertisement 메시지를 수신한 일반 센서 노드는 자신이 가입할 클러스터를 결정하고 해당 클러스터의 CH에게 자신의 가입을 알리는 메시지를 전송한다(*set-up* 단계). 가입 완료 이후 특정 현상을 인식한 센서 노드들은 수집한 데이터를 싱크에게 직접 전

송하는 것이 아니라 자신이 가입한 클러스터의 CH에게 전송한다. 하나 이상의 센서 노드들로부터 데이터를 수신한 CH는 데이터 통합을 통하여 전송할 데이터를 감소시킨 후 최종적으로 싱크에게 전송한다(*steady-state* 단계). 이러한 *set-up* 단계와 *steady-state* 단계를 합쳐서 라운드라 하며, 각 라운드마다 새로운 CH가 재선출된다.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P \times (r \bmod \frac{1}{P})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

HEED[4]는 수식 2에서와 같이 LEACH에서처럼 모든 노드가 같은 확률로 CH로 선출되는 것에 추가적으로 노드의 가용 에너지 양을 고려함으로써 가능한 한 가용 에너지 양이 많은 노드를 CH로 선출함으로써 네트워크 수명을 증가시킨다.  $E_{residual}$ 은 노드의 남은 가용 에너지 양을,  $E_{max}$ 는 노드의 초기 에너지 양을 말한다.

$$CH_{prob} = CH_{prob} \times \frac{E_{residual}}{E_{max}} \quad (2)$$

S. Bandyopadhyay [5]는 다중홉 모드를 지원하는 클러스터링 방법을 제안하였다. 확률  $p$ 에 의해서 CH가 선출되며, 선출된 CH는 자신을 알리는 advertisement 메시지를 브로드캐스트하고 전송된 advertisement 메시지는 센서 노드들에 의해서  $k$  홉(클러스터 크기)만큼 중계된다. 하나 이상의 advertisement 메시지를 수신한 센서 노드들은 자신이 가입할 클러스터를 결정한 후 해당 클러스터의 CH에게로 가입 메시지를 전송하게 된다. 이때 성능에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 클러스터 크기이며 S. Bandyopadhyay는 강도함수(intensity function)  $\lambda$ 를 가지는 동종의 공간 포아송(Poisson) 분포에 따라 센서 노드들이 분포되어 있는 네트워크 환경에서 다중홉 클러스터링을 위한 클러스터 크기,  $k$ 를 다음과 같이 정의하였다.

$$k = \left\lceil \frac{1}{r} \sqrt{\frac{-0.917 \ln(\alpha/7)}{p\lambda}} \right\rceil$$

$r$ 과  $p$ 는 각각 전송 범위와 센서 노드가 CH로 선출될 확률을 나타내며,  $\alpha$ 는 아주 작은 값(예를 들어 0.001)이다. 다시 말해서 센서 노드들이 균일하게 분포되어 있는 환경을 가정하여 최적의 클러스터 크기,  $k$ 를 계산하였다. 그러나 현실적으로 모든 센서 노드들이 균일하게 분포되어 있다고 가정하기는 어려우며 이러한 환경에서 최적의 클러스터 크기를 계산해 내기란 쉽지 않다. 뿐만 아니라 기존 연구들에서는 한번 결정된 클러스터 크기를 계속해서 사용하므로 특정 시점에서의 최적의 클러스터 크기가 다른 시점에서도 그렇다는 보장이 없는 실제 환경에서 이러한 고정 크기 방법은 부적절하다

고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 각 클러스터 내의 노드 밀도와 CH의 가용 에너지 정보를 기반으로 각 클러스터의 크기를 동적으로 변화시킬 수 있는 다중홉 모드 클러스터링 방법을 제안한다.

### 3. 동적 다중홉 클러스터링 방법

본 논문에서는 비경합방식 MAC을 가정하고 또한 다중홉 모드에 비하여 상대적으로 많은 수의 CH를 사용함으로써 데이터 통합의 정도가 작은 단일홉 모드 클러스터링을 대신하여 다중홉 모드를 선택하였고, 고정 크기 클러스터의 경우 클러스터 내의 노드 밀도를 고려할 수 없으며 다중홉 클러스터의 경우 최적의 클러스터 크기를 선정하는 것이 어렵다는 것에 착안하여 각 클러스터 내의 노드 밀도와 CH의 가용 에너지 정보를 기반으로 각 클러스터의 크기를 동적으로 변화시킬 수 있는 동적 크기 다중홉 클러스터링 방법을 제안한다. 이를 통하여 각 클러스터 CH에게 주어지는 부담을 일정하게 유지시킴으로써 네트워크 수명을 연장시킬 수 있다.

먼저 각 노드는 정기적으로 수식 1 또는 2와 같이 기존에 제안된 방법으로 CH를 선출한다. 본 논문은 CH 선정 방법이 아닌 클러스터 크기 조절에 의한 네트워크 수명 연장에 초점을 맞춘다. 선출된 CH는 자신을 알리는 advertisement 메시지를 브로드캐스트하며 이때 TTL 값을 클러스터 크기만큼 설정한다. 초기 클러스터 크기는 디폴트 값으로 정해지지만 향후 수집된 부하 정보를 기반으로 증가 또는 감소된다. CH의 부하는 다음과 같이 프로세싱 부하  $PL_{CH}$ 와 통신 부하  $CL_{CH}$ 로 구성된다.

$$L_{CH} = f(PL_{CH}, CL_{CH}) \quad (3)$$

CH 부하 중 대부분을 차지하고 있는  $CL_{CH}$ 는 다음과 같이 자신의 클러스터 멤버 노드들로부터 전송된 데이터 메시지를

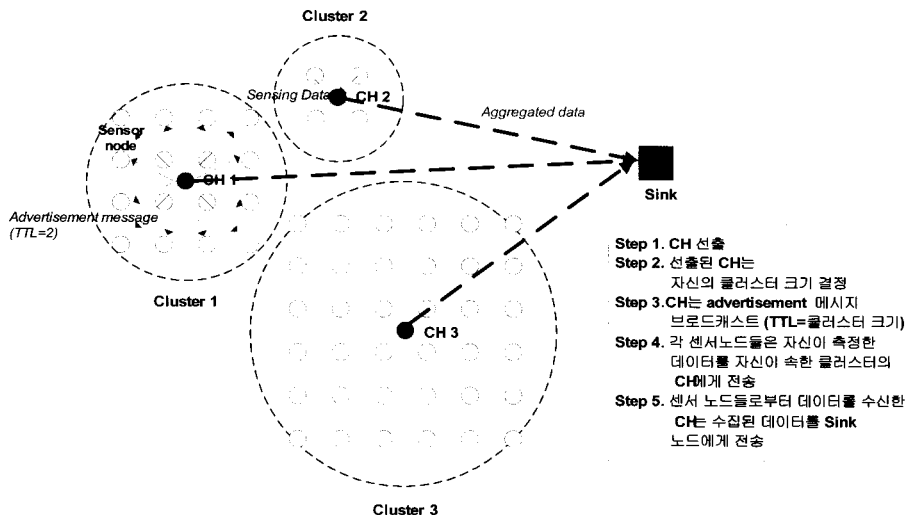
수신하는데 필요한 에너지와 수집된 데이터 메시지를 통합하여 싱크에게 전송하는 에너지로 구성된다.

$$CL_{CH} = \sum_{j=0}^n E_{RX,j} + E_{TX,sink} \quad (4)$$

```

compute CHprob ← CHprob ×  $\frac{E_{residual}}{E_{max}}$ 
TTL ← any_default_value // TTL means cluster size
if (CHprob ≥ Random(0,1)) { // I am a Cluster Head
    my_status ← Cluster_Head
    compute CLCH ←  $\sum_{j=0}^n E_{RX,j} + E_{TX,sink}$ 
    if (CLCH ≤ min(load of neighboring old CH nodes))
        TTL ← TTL + 1
    else if (CLCH ≤ max(load of neighboring old CH nodes))
        TTL ← TTL - 1
    broadcast an advertisement msg with  $\frac{CL_{CH}}{E_{residual}}$  & TTL
}
else { // I am a regular node
    my_status ← Non_Cluster_Head
    if (received any advertisement msg) {
        save the  $\frac{CL_{CH}}{E_{residual}}$  of the advertisement msg
        if (received one more advertisement msg)
            my_cluster_head ← sender of max(TTL of advertisement)
        if (updated TTL ≠ 0)
            forward the advertisement msg
    }
    else // not received any advertisement msg within a
        specific time interval
        my_status ← Cluster_Head
}
    
```

(그림 1) 동적크기 다중홉 클러스터링 방법



(그림 2) 동적크기 다중홉 클러스터링 동작

(수식 4)를 통하여 계산된 CH의 부하는 advertisement 메시지를 브로드캐스트할 때  $\frac{CL_{CH}}{E_{residual}}$ 의 형태로 포함되어 전송된다. CH로부터 해당 메시지를 수신한 일반 센서 노드들은 해당 정보를 저장하고 있다가 나중에 자신이 CH가 되었을 때, 자신의 부하 정보와 비교하여 자신의 부하가 다른 노드들의 부하보다 작으면 클러스터 크기를 증가시키고 다른 노드들의 부하보다 크면 클러스터 크기를 감소시킨다. *set-up* 단계에 대한 자세한 알고리즘은 (그림 1)과 같다.

Advertisement 메시지를 수신한 센서 노드들은 자신이 가입할 클러스터를 결정한다. 그러나 이전의 방법들과는 달리 CH에게 가입 메시지를 전송하지 않는다. 본 논문에서는 비경합방식 MAC을 가정하지 않았기 때문에 CH가 자신의 클러스터 멤버들의 목록을 유지해야 할 필요가 없다. 만약 주어진 시간 내에 어떠한 advertisement 메시지도 수신하지 못한 센서 노드는 자신이 CH가 되며, 하나 이상의 advertisement 메시지를 수신한 노드는 자신과 보다 더 가까운 위치에 있을 가능성이 높은 CH(예를 들어 advertisement 메시지에 포함되어 있는 TTL 정보를 이용하여)를 선택한다.

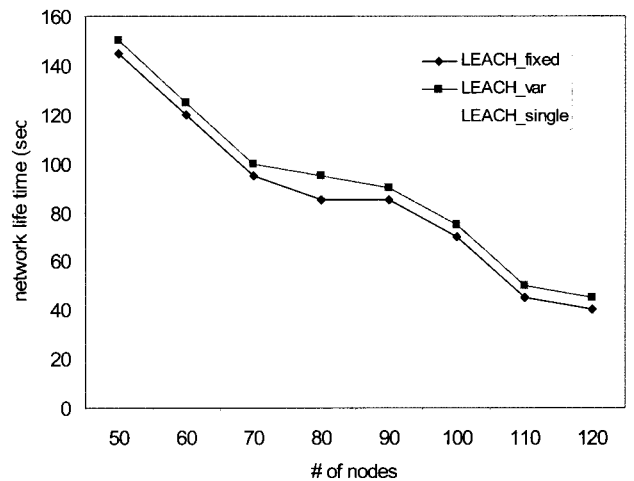
클러스터 구축 후 특정 현상을 인식한 센서 노드는 자신이 속한 클러스터의 CH에게로 데이터를 전송하며 하나 이상의 데이터를 수신한 CH는 데이터 통합을 거쳐 최종적으로 싱크에게 전송한다

(그림 2)는 이제까지 설명한 동적 크기 다중홉 클러스터링 방법의 동작 예를 보인 것이다. CH로 선출된 3개의 노드(CH 1, CH 2, CH 3)는 자신의 부하 정도를 기반으로 클러스터 크기를 결정한다(클러스터 1과 클러스터 2, 3의 크기는 각각 2와 1, 3이다). 자신의 클러스터 크기를 결정한 CH는 자신의 존재를 알리는 advertisement 메시지를 클러스터 내로 브로드캐스트 한다. 이때 advertisement 메시지의 TTL값을 클러스터 크기로 설정함으로써 해당 메시지가 클러스터 내에서만 브로드캐스트 될 수 있도록 한다. Advertisement 메시지를 수신한 센서 노드들은 자신이 가입할 클러스터를 결정하게 되고, 이후 센서 노드는 자신이 수집한 정보를 해당 클러스터의 CH에게 전송하게 된다.

#### 4. 성능 평가

본 논문에서 제안한 동적 크기 다중홉 클러스터링 방법의 성능 평가를 위하여 ns-2[6] 시뮬레이터와 NRL의 센서 네트워크 확장팩[7]을 사용하였다. 실험은 1000x1000m 범위 내에 무작위로 배치된 50-120개의 노드에 대하여 수행되었다. 각 센서 노드의 에너지는 5 J(Joule)로 설정되었으며 버퍼는 최대 50 패킷까지 저장할 수 있다. 노드의 가용 에너지가  $10^{-4}$  이하가 되면 해당 노드는 더 이상 동작하지 못한다고 간주하였다. 센서 노드의 최대 범위는 200m 정도이며 패킷 길이는 100바이트이다. 센서 노드들이 인식하는 현상은 1초에 한번씩 발생하며 이러한 현상이 발생하는 위치는 매초마다 무작위로 선정된다.

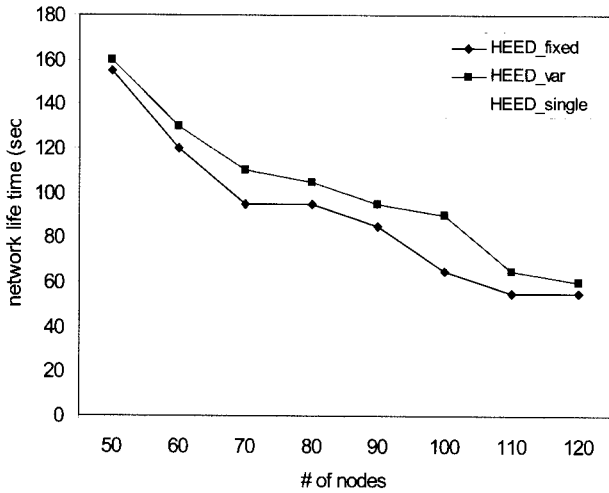
본 논문에서 제안한 동적 크기 다중홉 클러스터링 방법의 성능 평가를 위하여 단일홉 모드와 다중홉 모드에 대하여 실험을 수행하였다. 다시 말해서 앞서 설명되었던 LEACH 방식과 HEED 방식을 사용하여 CH를 선출하였고 이에 대하여 기존의 단일홉 모드, 고정크기 다중홉 모드(3홉), 그리고 동적 크기 다중홉 모드에 대하여 실험하였다. 실험은 노드 개수의 변화에 따른 네트워크 수명, 네트워크 노드들의 가용 에너지 편차, 그리고 클러스터 크기의 변화에 대하여 수행되었다.



(그림 3) 단일홉 모드와 다중홉 모드의 네트워크 수명 비교(LEACH)

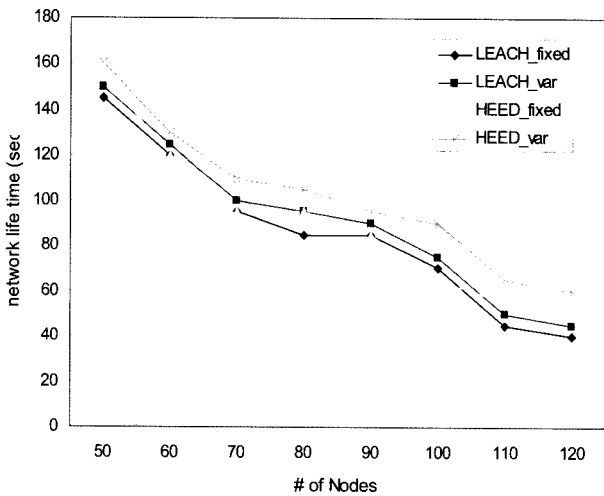
(그림 3), (그림 4), (그림 5)는 네트워크 노드 개수 변화에 따른 네트워크 수명을 보인 것이다. (그림 3)은 LEACH 방법을 사용하여 CH를 선출했을 때의 성능을 보인 것이며 LEACH\_single은 단일홉 모드를, LEACH\_fixed는 다중홉 모드에서 클러스터 크기가 고정일 때, LEACH\_var는 다중홉 모드에서 클러스터 크기가 동적으로 변화할 때를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 단일홉 모드에 비하여 다중홉 모드가 30-50% 향상된 성능을 보임을 알 수 있다. 단일홉 모드의 경우 네트워크 노드들 대부분을 클러스터에 포함하기 위해서 필요한 CH 개수는 다중홉 모드(클러스터 크기를 3으로 했을 때)를 사용할 때 필요한 CH 개수에 비해 4배정도 많다. 따라서 보다 많은 CH가 자신의 정보를 브로드캐스트해야 하며 또한 많은 수의 CH가 자신이 통합한 데이터를 싱크에게 전송해야 하므로 다중홉 모드에 비하여 낮은 성능을 보이는 것이다. 다중홉 모드의 경우 CH로부터 advertisement 메시지를 수신한 모든 센서 노드가 재전송을 할 경우 많은 오버헤드를 야기시킬 수 있으며, 센서 네트워크와 같이 노드들의 밀도가 높은 환경에서는 더욱 악화된다. 따라서 본 논문에서는 RSSI를 사용하여 가장 바깥에 위치한 노드들만이 advertisement 메시지를 재전송하도록 함으로써 이와 같은 오버헤드를 줄였다. 다중홉 모드에 있어서 고정 크기 클러스터링 방법이 동적 방법에 비하여 10-15% 낮은 성능을 보이고 있으며, 이는 클러스터 내의 노드 밀도를 기반으로 계산된 CH의 부하값을 기반으로 상대적으로 부하가 많은 CH는 클러스터 크기를 줄이고 부하가 적은 CH는 클러스터 크기를 늘림으로써

각 CH의 상황에 맞게 에너지 소모 정도를 조절함으로써 네트워크 수명을 연장시킬 수 있었기 때문이다.



(그림 4) 단일홉 모드와 다중홉 모드의 네트워크 수명 비교(HEED)

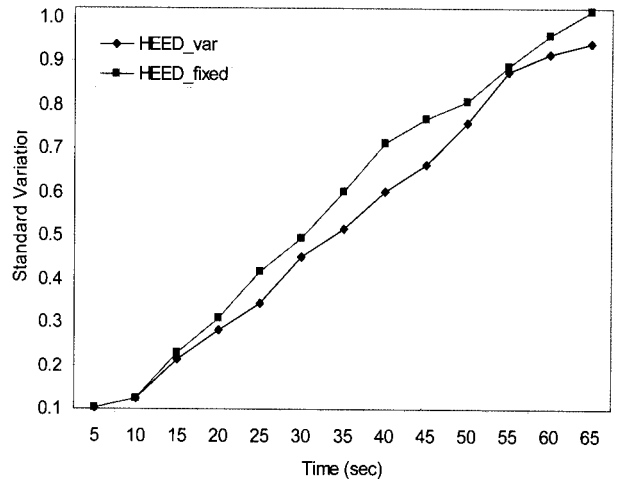
(그림 4)는 HEED 방법을 사용하여 CH를 선출했을 때의 네트워크 수명 비교 결과이다. 전체적으로 LEACH 방법을 사용한 것에 비해 보다 긴 네트워크 수명을 보인다. 이는 단순히 모든 노드가 번갈아 가면서 CH가 되는 LEACH 보다는 각 노드의 가용 에너지 양을 고려하여 CH를 선출하는 HEED 방식이 네트워크 수명을 연장하는데 보다 효과적임을 보이는 것이다. 또한 (그림 3)에서와 같이 다중홉 모드에서 고정 크기 방식에 비하여 동적 방식이 10-15% 향상된 성능을 보임을 알 수 있다. 이는 본 논문에서 제안한 방법이 CH 선출 방식과는 무관하게 클러스터 크기의 동적인 조정을 통하여 네트워크 수명을 향상시킬 수 있음을 나타낸 것이다.



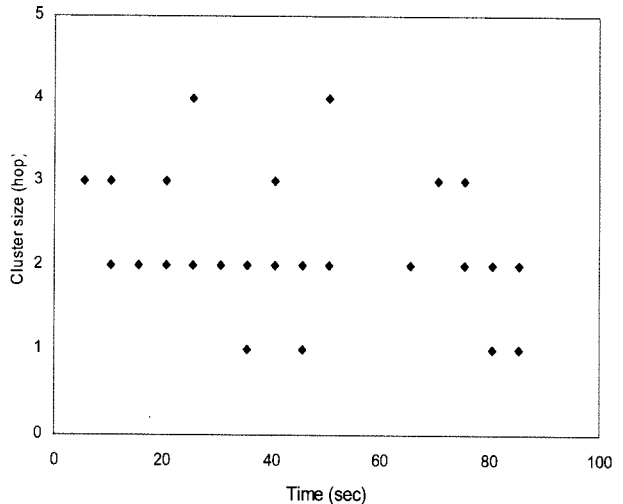
(그림 5) 다중홉 모드에서의 성능 비교

(그림 5)는 다중홉 모드에서 네트워크 노드 개수 변화에 따라 고정 크기 클러스터링 방법과 동적 크기 클러스터링 방법의 네트워크 수명 차이를 보이고 있다. 앞서 언급했듯이

HEED 방법을 사용했을 때가 LEACH 방법을 사용했을 때보다 전체적으로 나은 성능을 보이며, 동적 크기 클러스터링 방식이 고정 크기 방식보다 네트워크 수명을 연장시킴을 볼 수 있다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 고정 크기 클러스터링 방식은 CH로 선출된 노드에게 주어지는 부하 정도에 상관없이 고정된 크기의 클러스터를 형성하기 때문에 상대적으로 노드 밀도가 높은 곳에 위치하고 있는 노드는 자신이 CH가 되었을 때 그 만큼 많은 멤버 노드로부터 데이터를 수신받아야 하므로 상대적으로 노드 밀도가 낮은 지역에 위치하고 있는 CH에 비하여 에너지 손실이 많이 발생하게 되며, 이로 인하여 네트워크 노드들 간의 가용 에너지 값의 편차가 커지고 네트워크 수명이 짧아지게 된다. (그림 6)은 HEED 방식을 사용하는 환경에서 고정 크기 클러스터링 방법과 동적 크기 클러스터링 방법을 사용했을 때 네트워크 노드들 간 가용 에너지 양의 편차를 보인 것이다. 마지막으로 (그림 7)은 동적 크기 클러스터링 방법을 사용했을 때 각 클러스터의 크기 변화를 보인 것이다. 시간이 흐를수록 네트워크 전체적으로 가용 에너지 양이 줄어들기 때문에 CH는 자신의 클러스터 크



(그림 6) 네트워크 노드들간 가용 에너지 양 차이



(그림 7) 클러스터 크기의 변화

기를 줄인다. 그러나 자신의 가용 에너지 양만을 고려하는 것이 아니라 주변 다른 노드들의 부하까지 함께 고려하므로 전체적으로 다 같이 에너지 양이 줄어든다 하더라도 상대적으로 보다 많은 가용 에너지를 가진 CH가 자신의 클러스터 크기를 증가시킬 수 있다.

### 5. 결 론

제한된 자원을 가진 센서 노드들로 구성된 센서 네트워크에서 가장 중요한 이슈 중 하나는 주어진 에너지를 최대한 활용하여 네트워크 수명을 연장시키는 것이다. 네트워크 수명을 연장시키는 여러 가지 방법 중 대표적인 것으로 클러스터링을 들 수 있으며, 이는 노드들을 클러스터로 구성하여 특정 현상을 인식한 센서 노드가 자신이 수집한 데이터를 직접 싱크 노드에게 전송하는 것 대신 자신이 속한 클러스터의 CH(Cluster Head)에게 전송함으로써 CH가 하나 이상의 데이터를 수집, 통합한 후 클러스터를 대표해서 싱크에게 최종적으로 데이터를 전달하는 방식이다.

클러스터링 방법에는 클러스터의 크기에 따라 단일홉 모드와 다중홉 모드로 구별할 수 있으며, 단일홉 모드는 클러스터 내의 모든 센서 노드들이 CH와 단일홉 통신을 하는 것을 말하며 센서 노드와 CH 사이에 통신이 직접적으로 이루어지기 때문에 비경합방식 MAC(contention-less MAC)이 선호된다. 반면 다중홉 모드는 이러한 비경합방식 MAC을 필요로 하지 않으며 각 CH의 부하를 비슷하게 유지할 수 있다. 이러한 다중홉 모드 방식에 있어서 최적의 클러스터 크기를 결정하는 것이 가장 중요한 요인이지만 사실상 센서 노드의 배치가 일정하지 않은 실제 환경에서 최적의 클러스터 크기를 결정하는 것은 매우 어려운 일이다.

따라서 본 논문에서는 CH의 부하 상황과 잔여 에너지 양에 따라 클러스터 크기를 동적으로 변화시킴으로써 전체 네트워크 수명을 연장시키는 방법을 제시하였다. 또한 성능 평가를 통하여 고정 크기 클러스터링 방식에 비해 동적 크기 클러스터링 방법이 약 10~15%의 네트워크 수명연장을 가져올 수 있음을 보였다.

### 참 고 문 헌

[1] G. J. Pottie and W. J. Kaiser, "Wireless integrated network sensors", Communications of the ACM, Vol.43, No.5, pp.51-58, May, 2000.  
 [2] V. Mhatre and C. Rosenberg, "Design guidelines for wireless sensor networks: communication, clustering and aggregation", Ad-hoc networks journal, Elsevier science, Vol.2, pp.45-63, 2004.

[3] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks", IEEE Hawaii international conference on system sciences, January, 2000.  
 [4] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A hybrid, energy-efficient approach", IEEE Infocom, pp.629-640, March, 2004.  
 [5] S. Bandyopadhyay and E. J. Coyle, "An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks", IEEE Infocom, pp.1713-1723, April, 2003.  
 [6] The network simulator, ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>  
 [7] NRL's sensor network extension to ns-2, <http://nrlsensorsim.pf.itd.navy.mil/>



안 상 현

e-mail : ahn@uos.ac.kr  
 1986년 서울대학교 컴퓨터공학과(학사)  
 1988년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과(석사)  
 1989년 University of Minnesota 컴퓨터학과(박사)

1988년 (주)테이콤 연구원  
 1994년 세종대학교 컴퓨터학과 전임강사/조교수  
 1998년~현재 서울시립대학교 컴퓨터과학부 조교수/부교수  
 관심분야 : 애드혹 네트워크, 센서 네트워크, 홈 네트워크, 이동통신, 라우팅 프로토콜 등



임 유 진

e-mail : yujin@suwon.ac.kr  
 1995년 숙명여자대학교 전자계산학과(학사)  
 1997년 숙명여자대학교 대학원 전자계산학과(석사)  
 2000년 숙명여자대학교 대학원 전자계산학과(박사)

2000년 서울대학교 Post-Doc  
 2000년 서울시립대학교 연구교수  
 2003년 University of California Los Angeles, Post-Doc  
 2003년 삼성종합기술원 전문연구원  
 2004년~현재 수원대학교 정보미디어학과 전임강사  
 관심분야 : 센서 네트워크, 애드혹 네트워크, 홈 네트워크 등