

# 센서 네트워크에서의 거리에 따른 동적 크기 다중홉 클러스터링 방법

안 상 현<sup>†</sup> · 임 유 진<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 방법이며, 이는 단일홉 모드와 다중홉 모드로 분류된다. 단일홉 모드는 클러스터 내의 모든 센서 노드들이 CH(Cluster Head)와 단일홉 통신을 하는 것을 말하며, 반면 다중홉 모드는 중간 노드들의 중계를 통하여 센서 노드와 CH가 통신하는 방식을 말한다. 기존의 다중홉 클러스터링 방식에서 성능 상 가장 중요한 영향을 미치는 요소는 클러스터 크기이며, 노드의 분포가 균일하다고 가정하였다. 그러나 실제 네트워크에서의 노드 분포는 균일하지 않을 수 있으므로 이러한 환경에서의 최적의 클러스터 크기 계산은 아주 어렵다. 본 논문에서는 싱크 주변의 CH에 대한 트래픽 부하를 줄이기 위하여 싱크로부터의 거리를 기반으로 클러스터 크기를 동적으로 변화시키는 다중홉 클러스터링 방법을 제안한다. 또한 수학적 분석과 시뮬레이션을 통하여 제안된 동적 크기 클러스터링 방식이 기존의 고정 크기 클러스터링 보다 더 나은 성능을 가짐을 보였다.

키워드 : 센서 네트워크, 동적 크기 클러스터링, 다중홉 클러스터링, 부하 균등화

## Dynamic-size Multi-hop Clustering Mechanism based on the Distance in Sensor Networks

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

### ABSTRACT

One of the most important issues on the sensor network with resource limited sensor nodes is prolonging the network lifetime by effectively utilizing the limited node energy. The most representative mechanism to achieve a long lived sensor network is the clustering mechanism which can be further classified into the single hop mode and the multi hop mode. The single hop mode requires that all sensor nodes in a cluster communicate directly with the cluster head (CH) via single hop and, in the multi hop mode, sensor nodes communicate with the CH with the help of other intermediate nodes. One of the most critical factors that impact on the performance of the existing multi hop clustering mechanism is the cluster size and, without the assumption on the uniform node distribution, finding out the best cluster size is intractable. Since sensor nodes in a real sensor network are distributed non uniformly, the fixed size mechanism may not work best for real sensor networks. Therefore, in this paper, we propose a new dynamic size multi hop clustering mechanism in which the cluster size is determined according to the distance from the sink to relieve the traffic passing through the CHs near the sink. We show that our proposed scheme outperforms the existing fixed size clustering mechanisms by carrying out numerical analysis and simulations.

Key Words : Sensor Network, Dynamic Size clustering, Multi Hop Clustering, Load Balancing

### 1. 서 론

무선 센서 네트워크는 특정 현상을 모니터링하고자 일정 지역에 분포된 무선 노드들로 구성된 네트워크이다. 센서

노드는 어떠한 현상을 인식, 측정하고 수집된 데이터를 무선 채널을 통하여 싱크(sink) 노드로 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 네트워크에서의 가장 큰 이슈는 네트워크 수명을 연장하는 것이다. 일반적으로 네트워크 수명이란 네트워크 노드들 중에서 에너지가 고갈되는 첫 번째 노드가 발생할 때

\* 본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 정보통신부의 유비쿼터스 컴퓨팅 및 네트워크원천기반기술 개발사업의 지원에 의한 것임

† 정 화 원 : 서울시립대학교 컴퓨터과학부 교수

\*\* 정 회 원 : 수원대학교 정보미디어학과 전임강사

논문접수 : 2007년 3월 15일, 심사완료 : 2007년 8월 9일

까지의 시간을 뜻한다. 에너지 소모는 주로 라디오 통신에 의해서 발생한다.

센서 네트워크에서 에너지 소모를 줄이기 위한 접근 방법은 다음과 같은 두 가지로 크게 나누어 볼 수 있다. 첫째, MAC과 네트워크 계층상에서 데이터 송수신이 요구되지 않는 노드는 자신의 라디오를 끄는 방법이다 [1][2][3][4]. 두 번째 접근 방법은 데이터 통합을 통하여 전송 데이터의 양을 줄임으로써 통신 비용을 줄이는 것이다. 가장 대표적인 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 싱크에게 통합된 데이터를 전송함으로써 데이터 전송 비용을 줄이는 방법이다.

클러스터링 방법은 클러스터 내의 통신 모드에 따라 단일홉(single-hop) 클러스터와 다중홉(multi-hop) 클러스터로 구분된다 [5]. 단일홉 모드는 클러스터 내의 모든 센서 노드들이 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 자신이 가입할 CH에게 자신의 클러스터 가입을 알리는 메시지를 전송하여야 한다.

반면, 다중홉 모드에서 센서 노드는 중간 노드들의 중계를 통하여 CH와 다중홉 통신을 수행하므로 비경합방식 MAC을 요구하지 않는다. 그러나 CH 근처 센서 노드들은 CH와 다른 센서 노드들 사이에서 데이터를 중계해야 하는 추가적인 부담을 가진다.

센서 네트워크에서의 노드들의 분포 또한 우리가 고려해야 할 사항이다. 노드들의 분포가 균일하다는 보장이 없으므로 클러스터 내의 노드 밀도는 클러스터마다 다를 수 있고, 따라서 단일홉 모드 클러스터에서 특정 CH는 다른 CH에 비하여 과부하될 수 있다. 반면, 다중홉 모드는 최적의 클러스터 크기 결정을 통하여 CH의 부담을 조절할 수 있다. 그러나 실제 네트워크에서의 노드 분포는 균일하지 않으므로 최적의 클러스터 크기를 결정하는 것은 아주 어려운 일이다.

따라서 본 논문에서는 네트워크 내의 노드 배치가 균일하지 않은 실제 환경에서 다중홉 모드를 위한 최적의 클러스터의 크기를 구하는 것이 현실적으로 쉽지 않음에서 착안하여, 싱크로부터의 거리에 따라 각 클러스터의 크기를 동적으로 변화시킴으로써 각 CH의 부하를 일정하게 유지시켜 전체 네트워크 수명을 연장시키는 방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 단일홉 또는 다중홉 모드를 지원하는 대표적인 클러스터링 기법들을 소

개한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 동적 크기 다중홉 클러스터링 방법에 대하여 자세히 설명하고, 4장의 수학적 분석과 실험을 통하여 기존 방식과의 성능 비교 결과를 보인 후, 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

LEACH[6]와 HEED[8]는 단일홉 모드를 사용하는 가장 대표적인 클러스터링 방법이다. LEACH[6] 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. 이러한 단계를 *set up* 단계라 하고 이 단계가 끝나 네트워크 내의 모든 노드들이 클러스터에 가입하게 되면, *steady-state* 단계로 들어가 데이터 전송이 시작되게 되며 이때 특정 현상을 인식한 센서 노드들은 수집한 데이터를 싱크에게 직접 전송하는 것이 아니라 자신이 가입한 클러스터의 CH에게 전송한다. 하나 이상의 센서 노드들로부터 데이터를 수신한 CH는 데이터 통합을 통하여 전송할 데이터를 감소시킨 후 최종적으로 싱크에게 전송한다. 이러한 *set-up* 단계와 *steady-state* 단계를 합쳐서 라운드라 하며, 각 라운드마다 새로운 CH가 재선출된다.

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

이와 같이 LEACH에서처럼 모든 노드가 같은 확률로 CH로 선출되는 방식 이외에 TEEN[7]과 HEED[8]는 추가적으로 노드의 가용 에너지 양을 고려한 방법이다. HEED[8]는 수식 2에서와 같이 가능한 한 가용 에너지 양이 많은 노드를 CH로 선출함으로써 네트워크 수명을 증가시키는 방법이다.  $E_{residual}$ 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 [9]는 다중홉 모드를 지원하는 클러스터링 방법을 제안하였다. 확률  $p$ 에 의해서 CH가 선출되며, 선출된 CH는 자신을 알리는 advertisement 메시지를 브로드캐스트하고 전송된 advertisement 메시지는 센서 노드들

에 의해서  $k$  홉(클러스터 크기)만큼 증계된다. 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 센서 노드들이 균일하게 분포되어 있는 환경을 가정하여 최적의 클러스터 크기를 계산하였다. 그러나 현실적으로 모든 센서 노드들이 균일하게 분포되어 있다고 가정하기는 어려우며 이러한 환경에서 최적의 클러스터 크기를 계산해내기란 쉽지 않다. 따라서 본 논문에서는 싱크로부터의 거리를 기반으로 각 클러스터의 크기를 동적으로 변화시킬 수 있는 다중홉 모드 클러스터링 방법을 제안한다.

### 3. DDMC (Distance based Dynamic size Multi hop Clustering Mechanism)

본 논문에서는 경합방식 MAC과 모든 센서 노드들이 성능상으로 같다는 가정하에서 다중홉 모드 클러스터링 방식을 채택하였다. 일반적으로 다중홉 모드는 더 많은 CH를 필요로 하는 단일홉 모드 방식에 비해 데이터 통합의 정도가 높다고 할 수 있다.

기존의 다중홉 클러스터링 방법은 모든 CH가 같은 크기의 클러스터를 사용한다고 가정하였기 때문에 노드들의 분포가 균일하다는 가정 하에서 최적의 클러스터 크기를 결정하고자 하였다. 그러나 대부분의 실제 센서 네트워크에서의 노드 분포는 균일하지 않으므로 이러한 환경에서의 최적의 클러스터 크기를 정하는 것은 매우 어려운 일이다. 또한 싱크에 근접한 노드일수록 그렇지 않은 노드들에 비하여 트래픽 중계에 대한 부담이 커진다. 따라서 싱크 주변의 클러스터의 크기를 그렇지 않은 클러스터에 비하여 작게 유지함으로써 싱크 주변 CH에 대한 부담을 경감시키는 것이 바람직하다. 싱크로부터의 거리에 따라 클러스터 크기를 정한다면 싱크 주변 CH의 부담을 경감시킬 수 있을 뿐만 아니라 네트워크 수명을 연장시킬 수 있게 될 것이다.

본 논문에서는 네트워크 수명 연장을 위하여 클러스터 크기를 조절하는 방법에 초점을 맞추고 있으며 따라서 CH 선

정 방식은 기존에 제안된 LEACH나 HEED 방식을 사용한다. 제안된 DDMC 메커니즘에서, 수식 1 또는 2에 의해서 CH로 선출된 노드는 자신의 정보를 주변에 알리기 위하여 클러스터 크기로 설정된 TTL 값을 사용하여 advertisement 메시지를 브로드캐스트한다. 초기의 클러스터 크기는 디폴트 값으로 설정되며, 이 후에 싱크로부터의 거리에 따라 클러스터 크기가 증가된다. 싱크로부터 CH까지의 거리는 싱크로부터 전송되는 메시지 (예를 들어 Direct Diffusion에서의 Interest 메시지, ...)로부터 구할 수 있다. 싱크로부터의 거리를 알게 된 CH는 다음의 수식을 이용하여 자신의 클러스터 크기를 결정한다.

$$TTL \leftarrow TTL + \lfloor Dist / Threshold \rfloor \times Increment \quad (3)$$

CH로부터 advertisement 메시지를 수신한 센서 노드는 자신이 가입할 클러스터를 정하게 된다. 이때 비경합방식 MAC을 가정하지 않는 다중홉 모드 방식에서는 CH가 자신의 클러스터 내의 멤버 노드 명단을 관리할 필요가 없으므로 센서 노드가 CH에게 가입 메시지를 전송할 필요가 없다. 일정한 시간 동안 advertisement 메시지를 수신하지 못한 센서 노드는 자신이 CH가 되어 자신의 advertisement 메시지를 브로드캐스트 하게 된다 (그림 1 참조). 또한 하나 이상의 advertisement 메시지를 수신한 노드는 자신에게서 가장 가까운 CH를 선정한다 (이때 advertisement 메시지에 포함되어 있는 TTL값을 이용할 수 있다). 일단 클러스터가 형성되면, 클러스터 내의 센서 노드들은 자신이 수집한 데이터를 CH에게 전송하게 되고, 이를 수신한 CH는 데이터들을 통합하여 싱크에게 전송하게 된다.

### 4. 성능 평가

#### 4.1 샘플 네트워크에 대한 수학적 분석

제안된 DDMC 방식의 성능 평가를 위하여 그림 2와 같은 센서 네트워크에서 고정크기 다중홉 방식과 DDMC 방식의

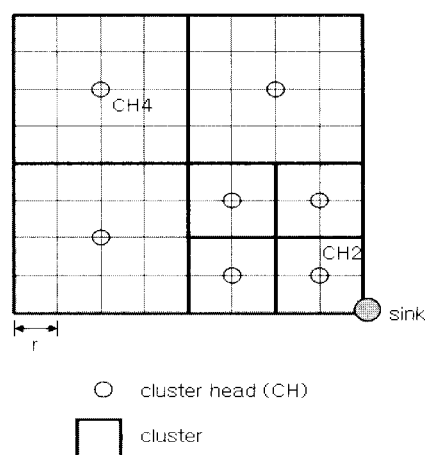
```

compute Dist (distance from sink) using any message from sink
// Dist is distance from sink (e.g., Interest message from sink in Direct Diffusion)

compute  $CH_{prob} \leftarrow CH_{prob} \times \frac{E_{residual}}{E_{max}}$  // in case of HEED for Cluster Head election
TTL ← default_TTL // TTL means cluster size (e.g., default_TTL is 2)

if ( $CH_{prob} \geq Random(0,1)$ ) { // I am a Cluster Head
    my_status ← Cluster Head
    if ( $\lfloor Dist / Threshold \rfloor > 0$ ) { // e.g., Threshold is 3
        TTL ← TTL +  $\lfloor Dist / Threshold \rfloor \times Increment$  // e.g., Increment is 2
        broadcast an advertisement message
    }
}
    
```

(그림 1) DDMC 알고리즘

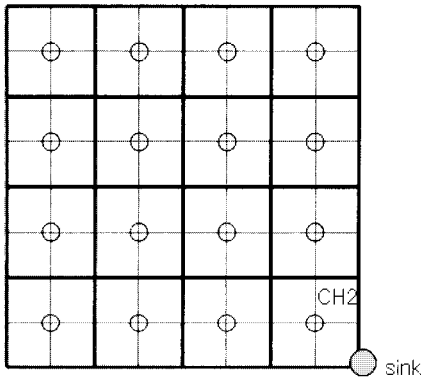


(그림 2) 2r × 2r와 4r × 4r 클러스터로 구성된 DDMC 메커니즘

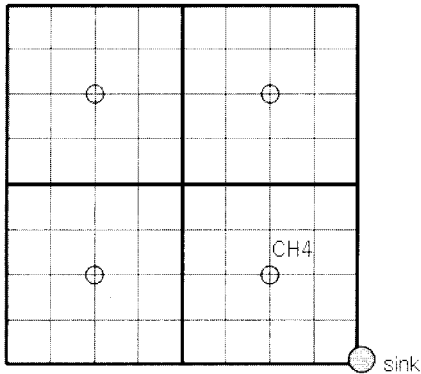
성능을 분석하였다. 분석을 위해 센서 네트워크를  $8 \times 8$ 의 셀들로 구성된 그리드(grid)로 표현하였고 각 셀들의 크기는  $r \times r$ 이며 각 셀 교차점에는 센서 노드들이 배치되었다. 노드의 전송 범위는  $\sqrt{2}r$ 이고 싱크는 그리드의 오른쪽 아래에 배치되었다. 분석을 위해 각 센서노드는 자신이 속한 클러스터의 CH로의 방향과 싱크로의 방향을 알고 있다고 가정하였다. 또한 모든 센서 노드들은 자신들이 수집한 데이터를 싱크에게 동시에 전송한다고 가정하였다. 각 모니터링 사이클은 센서 노드들에 의한 센싱 과정과 싱크에 의한 데이터 수집 과정으로 구성된다.

그림 2에서와 같이 DDMC 방식에서의 클러스터 크기는 싱크로부터 거리가  $4 \times \sqrt{2}r$ 인 범위에서는 크기를  $2r \times 2r$ , 그 이외의 범위에서는  $4r \times 4r$ 로 설정하였다. 고정 크기 다중홉 클러스터링 방식에서는 클러스터 크기가  $2r \times 2r$ 인 경우와  $4r \times 4r$ 인 경우 두 가지를 분석하였다. 이후 그림 3에서와 같은  $2r \times 2r$  고정크기 클러스터는 Fixed(2)로, 그림 4에서와 같은  $4r \times 4r$  고정크기 클러스터는 Fixed(4)로 지칭한다.

본 분석을 위해 [5]에서 사용한 통신 모델을 채택하였고, 이는 [10]에서 사용한 송수신기에 적용한 통신 모델이기도 하다. 채택된 통신 모델에서, 거리  $x$ 에 대하여 패킷을 전송하기 위해 소모되는 에너지는  $l + \mu x^k$ 이며 이때  $l$ 은 송수신



(그림 3)  $2r \times 2r$  클러스터로 구성된 고정크기 다중홉 클러스터링 메커니즘



(그림 4)  $4r \times 4r$  클러스터로 구성된 고정크기 다중홉 클러스터링 메커니즘

기의 전자회로에서 소모되는 에너지를 나타내며,  $\mu x^k$ 는 전 파손실에 대비하기 위한 RF 증폭기에서 소모되는 에너지이다.  $\mu$ 는 송수신기의 안테나 이득을 나타내는 상수값이다. 전 파 손실의 지수 값인  $k$ 는 주변환경에 따라 달라진다. 자유 전파공간에서는  $k$  값이 2이며, 또 다른 공간에서의  $k$  값은 3에서 5 정도이다. 패킷 수신 시에는 오직 수신 회로만이 사용되므로 패킷을 수신하는데 소모되는 에너지는  $l$ 이다. 그러므로 거리  $x$ 에 대하여 패킷을 증계하는데 소모되는 에너지는  $2l + \mu x^k$ 이다.

각 CH로부터 싱크까지는 하나 이상의 경로가 존재하며, 각 노드는 싱크까지의 최단경로를 알고 있다고 가정한다. 또한 분석을 위하여 CH로부터 싱크로 전송되는 모든 패킷은 싱크 주변의 CH들 또는 클러스터의 경계 노드에 의해서 증계되는 경우를 고려하였다.

DDMC 메커니즘에서 네트워크 수명을 결정하는 노드는 싱크에 가장 가까이 있는 CH (그림 2에서 CH2 노드), 또는 싱크에서 가장 가까이 있는  $4r \times 4r$  클러스터의 CH (그림 2에서 CH4 노드)이다. 각 사이클에서 CH2와 CH4에 의해서 소모되는 에너지는 각각 다음과 같다.

$$E_{DDMC\_CH2} = \left\{ f(9) \times (l + \mu(\sqrt{2}r)^k) + 8l \right\} + 3 \times f(25) \times \left\{ l + \mu(\sqrt{2}r)^k \right\} + 3 \times f(9) \times \frac{l + \mu(\sqrt{2}r)^k}{2} \quad (4)$$

$$E_{DDMC\_CH4} = f(25) \times (l + \mu(\sqrt{2}r)^k) + 24l \quad (5)$$

위 수식에서  $f(x)$ 는  $x$ 개의 측정 패킷이 통합된 결과로 나온 통합 패킷의 개수를 나타낸다.

Fixed(2)에서 싱크에 가장 가까이 있는 CH (그림 3에서 CH2 노드)는 네트워크 수명을 결정하며, CH2에 의해 소모되는 에너지 양은 다음과 같다.

$$E_{Fixed\_CH2} = \left\{ f(9) \times (l + \mu(\sqrt{2}r)^k) + 8l \right\} + 15 \times f(9) \times \left\{ l + \mu(\sqrt{2}r)^k \right\} \quad (6)$$

Fixed(4)에서 네트워크 수명을 결정하는 노드는 싱크에 가장 가까이 있는 CH (그림 4에서의 CH4)이며, CH4에 의해 소모되는 에너지 양은 다음과 같다.

$$E_{Fixed\_CH4} = E_{DDMC\_CH4} + 3 \times f(25) \times \left\{ l + \mu(\sqrt{2}r)^k \right\} \quad (7)$$

$l$ 과  $\mu$ ,  $k$ 의 값을 각각  $0.21mJ$ ,  $5.46pJ$  그리고 4로 설정하고 ([5]에서 사용한 시스템 파라미터 값과 동일),  $r = 100m$ 인 어떤  $x$  값에 대해서도  $f(x) = 1$ 이라면,  $E_{DDMC\_CH2} = 5.9388mJ$ , 그리고  $E_{DDMC\_CH4} = 5.4684mJ$ ,  $E_{Fixed\_CH2} = 11.59mJ$ ,  $E_{Fixed\_CH4} = 7.3836mJ$  이 된다. 이러한 결과는 DDMC 메커니즘이 고

정크기 다중홉 방식에 비해 성능이 우월함을 보이는 것이다. 본 분석에서 어떠한  $x$  값에 대해서도  $f(x) = 1$ 로 가정한 것은 CH가 수신한 측정 데이터의 개수에 상관없이 1개의 통합 패킷으로 싱크에게 전송한다는 것을 의미한다.  $f(x)$  값이 커질수록 ( $f(x) \geq 1$ 이고  $f(x)$ 가  $x$ 값에 비례한다면) 고정크기 방식은 더 많은 에너지를 소모하기 때문에, DDMC는 고정크기 방식에 비하여 훨씬 더 나은 성능을 보이게 된다.

4.2 시뮬레이션

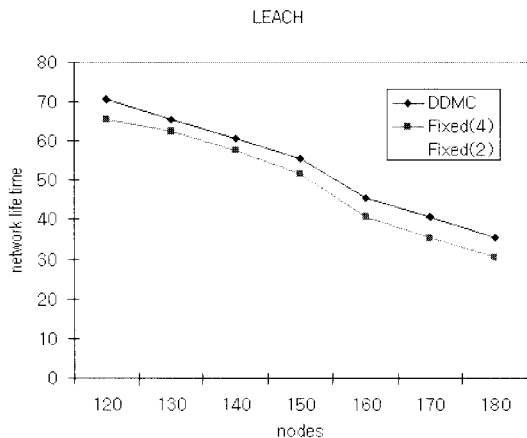
시뮬레이션을 통한 성능평가를 위하여 ns-2 시뮬레이터와 NRL의 센서 네트워크 확장팩[11]을 사용하였다. 실험은  $1000 \times 1000m$  범위 내에 무작위로 배치된 120 ~ 180개의 노드에 대하여 수행되었다. 각 센서 노드의 에너지는 7 J(Joule)로 설정되었으며 버퍼는 최대 50 패킷까지 저장할 수 있다. 노드의 가용 에너지가  $10^{-4}$  이하가 되면 해당 노드는 더 이상 동작하지 못한다고 간주하였다. 센서 노드의 최대 범위는 150m 정도이며 패킷 길이는 100바이트이다. 센서 노드들이 인식하는 현상은 1초에 한번씩 발생한다.

DDMC 메커니즘의 성능 비교를 위하여 고정크기 다중홉 모드 방식을 사용하였으며, CH 선정 알고리즘으로는 LEACH와 HEED 방식을 채택하였다. 초기 클러스터 크기는 2홉이며 클러스터 크기는 싱크로부터의 거리가 3홉 이상 멀어질 때마다 2홉씩 증가한다. 실험에서 사용된 성능 평가 요소로는 네트워크 수명과 각 노드의 가용 에너지에 대한 표준편차이다.

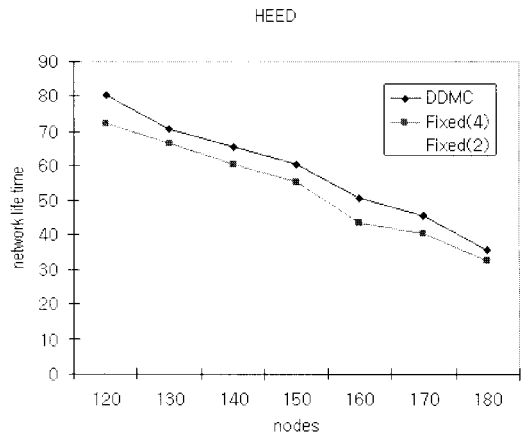
그림 5와 6은 노드 개수 변화에 따른 네트워크 수명을 보이고 있다. 그림 5는 CH 선정 알고리즘으로 LEACH 방식을 사용한 예이며, Fixed(2)와 Fixed(4)는 각기 클러스터 크기가 2 또는 4인 고정크기 클러스터링 방식을 나타낸다. 다중홉 방식에서 advertisement 메시지를 수신한 모든 센서 노드가 메시지의 중계에 참여한다면 메시지 오버헤드가 증가할 것이며, 특히 노드의 밀도가 높은 네트워크에서의 오버헤드는 심각한 수준일 것이다. 그러므로 클러스터 가장자리에 위치한 노드들만이 advertisement 메시지 중계에 참여할 수 있게 하기 위하여 본 논문에서는 RSSI (Received

Signal Strength Indicator)를 사용하였다. 그림 5는 Fixed(2)의 네트워크 수명이 Fixed(4)보다 작은 것을 보이고 있으며, 이는 2홉 크기 클러스터링 방식이 4홉 크기 클러스터링 방식에 비해 더 많은 CH를 필요로 하기 때문에 이에 더 많은 advertisement 메시지가 발생되기 때문이다. DDMC 방식은 Fixed(4)보다도 나은 성능을 보이며, 이는 DDMC 방식이 싱크 주변 CH의 클러스터 크기를 작게 유지함으로써 CH의 부담을 경감시키고, 싱크로부터 멀어질수록 클러스터 크기를 증가시켜 CH의 개수를 작게 유지하기 때문이다. 그림 6은 CH 선정 알고리즘으로 HEED 방식이 사용된 예이다. 전체적으로 HEED 방식을 사용한 경우가 LEACH 방식을 사용한 경우보다 나은 성능을 보인다. 이는 단순히 round robin 방식으로 CH를 선정하는 LEACH 방식에 비하여 HEED는 노드의 잔여 에너지량을 추가로 고려하여 CH를 선정하기 때문이다. 결과적으로 DDMC 메커니즘은 Fixed(4)에 비하여 10%정도의 네트워크 수명 연장을, Fixed(2)에 비하여 20 ~ 25%정도의 수명 연장을 가져올 수 있으며, 이는 앞서 수행한 수학적 분석 결과와도 일치된다.

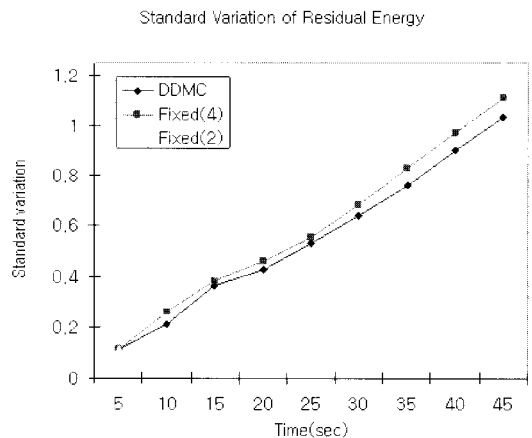
그림 7은 CH 선정 알고리즘으로 HEED 방식을 사용했을 때 각 노드의 가용 에너지에 대한 표준편차를 보인 것이다. 그림에서와 같이 DDMC 방식은 각 센서 노드에게 부과되는



(그림 5) 노드 수 변화에 따른 네트워크 수명 (LEACH)



(그림 6) 노드 수 변화에 따른 네트워크 수명 (HEED)



(그림 7) 센서 노드의 가용에너지에 대한 표준 편차

트래픽의 양을 적절하게 분산시킴으로써 가용 에너지의 표준편차가 다른 방식에 비하여 작음을 알 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 있다. 클러스터링 방법은 단일홉 모드와 다중홉 모드로 분류되며, 단일홉 모드는 클러스터 내의 모든 센서 노드들이 CH와 단일홉 통신을 하는 것으로 비경합방식 MAC이 선호된다. 반면 다중홉 모드 방식은 비경합방식 MAC을 요구하지 않으며, 다중홉 모드에서의 가장 중요한 이슈는 네트워크 수명을 연장시키기 위한 최적의 클러스터 크기를 결정하는 것이다. 그러나 노드의 분포가 균일하지 않은 실제 네트워크에서 최적의 클러스터 크기를 찾는 것은 아주 어려운 일이다.

그러므로 본 논문에서는 네트워크 수명 연장을 위하여 싱크로부터의 거리를 기반으로 클러스터 크기를 동적으로 변화시키는 다중홉 클러스터링 방법을 제안하였다. 제안된 DDMC (Distance-based Dynamic-size Multi-hop Clustering) 방식의 성능은 수학적 분석과 시뮬레이션을 통해 평가되었다. 성능 평가 결과로서, 제안된 DDMC 방식이 기존의 고정크기 다중홉 방식에 비하여 네트워크 수명 측면에서 8 - 25% 정도의 수명 연장 효과를 얻을 수 있었으며, 각 노드의 가용 에너지 표준편차 측면에서 평균 15% 더 나은 성능을 보임으로써 DDMC 방법이 각 센서 노드에게 부과되는 트래픽을 보다 더 잘 분산시키고 있음을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy efficient mac protocol for wireless sensor networks", IEEE Infocom, pp1567-1576, June 2002.
- [2] A. Cerpa and D. Estrin, "ACENT: Adaptive self configuring sensor networks topologies", IEEE Infocom, pp1278-1287, June 2002.
- [3] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan, and R. Morris, "SPAN: An energy efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks", ACM/IEEE Mobicom, pp85-96, July 2001.
- [4] V. Kawadia and P. R. Kumar, "Power control and clustering in ad hoc networks", IEEE Infocom, pp459-469, April 2003.
- [5] V. Mhatre and C. Rosenberg, "Design guidelines for wireless sensor networks: communication, clustering and aggregation", Ad hoc networks journal, Elsevier science, vol. 2, pp45-63, 2004.
- [6] 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.
- [7] J. M. Kim, H. K. Joo, S. S. Hong, W. H. Ahn, and H. B. Ryou, "An Efficient clustering scheme through estimate in centralized hierarchical routing protocol", IEEE ICHIT, 2006.
- [8] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed Clustering in Ad hoc Sensor Networks: A hybrid, energy efficient approach", IEEE Infocom, pp629-640, March 2004.
- [9] S. Bandyopadhyay and E. J. Coyle, "An energy efficient hierarchical clustering algorithm for wireless sensor networks", IEEE Infocom, pp1713-1723, April 2003.
- [10] W. Heinzelman, A. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "An Application Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks", IEEE transactions on wireless communications, Vol. 2, No. 4, Oct. 2002.
- [11] NRL's sensor network extension to ns 2, <http://nrlsensorsim.pf.itd.nrl.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)데이콤 연구원  
 1994년 세종대학교 컴퓨터학과

전임장사/조교수

1998년~현재 서울시립대학교 컴퓨터과 학부 조교수/부교수/교수  
 관심분야 : 에드혹 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 전임장사

관심분야 : 센서 네트워크, 에드혹 네트워크, 홈 네트워크 등