

논문 2007-44TC-3-3

센서 네트워크의 에너지 및 거리 추정 기반 분산 클러스터 헤드 선정과 이주 방법

(Energy/Distance Estimation-based and Distributed Selection/Migration of Cluster Heads in Wireless Sensor Networks)

김 동 우*, 박 종 호*, 이 태 진**

(Dongwoo Kim, Jongho Park, and Tae-Jin Lee)

요 약

센서 네트워크에서 센서 노드는 제한된 계산 능력, 제한된 양의 에너지, 제한된 기억 능력을 지닌다. 이에 따라 센서 네트워크 설계 시 가장 중요하게 고려할 사항은 에너지 효율성이다. 어떻게 무선 센서 네트워크의 수명을 연장시킬 것인가는 최근 널리 논의되고 있는 사항인데, 에너지 소모, 규모 가변성 및 부하의 분배 측면에서 가장 효율적인 접근 방법 중 하나는 클러스터링 기법이다. 이 기법에서는 클러스터 헤드라 불리는 데이터를 모아 목적지로 보내는 역할의 노드를 주기적으로 변경 할 필요가 있는데, 그 이유는 저에너지 소모 및 부하의 분배를 위해서이다. 이 논문에서는 에너지에 기반한 클러스터 헤드 선정 기법과 에너지 소모를 줄이는 위치 예상에 기반한 클러스터 이주 기법을 제안하고, 시뮬레이션을 통해 네트워크의 수명 측면에서 기존 기법에 비해 약 3배 가량 개선됨을 보였다.

Abstract

In sensor networks, sensor nodes have limited computational capacity, power and memory. Thus energy efficiency is one of the most important requirements. How to extend the lifetime of wireless sensor networks has been widely discussed in recent years. However, one of the most effective approaches to cope with power conservation, network scalability, and load balancing is clustering technique. The function of a cluster head is to collect and route messages of all the nodes within its cluster. Cluster heads must be changed periodically for low energy consumption and load distribution. In this paper, we propose an energy-aware cluster head selection algorithm and Distance Estimation-based distributed Clustering Algorithm (DECA) in wireless sensor networks, which exchanges cluster heads for less energy consumption by distance estimation. Our simulation result shows that DECA can improve the system lifetime of sensor networks up to three times compared to the conventional scheme.

Keywords : Distance Estimation, Distributed Clustering, Migration, Sensor Networks

I. 서 론

무선 센서 네트워크는 수많은 센서 노드들이 밀집되어 서로 인접해서 구성되어 있으며 이들 노드 간에는

무선 ad-hoc 네트워크 구성 능력을 가지고 있어야 한다. 기존 무선 ad-hoc 네트워크를 위해 개발된 프로토콜과 알고리즘들이 현재 존재하지만, 이를 센서 네트워크에 그대로 적용할 때에는 문제들이 발생한다. 이 문제들은 센서 네트워크가 아주 많은 노드들로 구성되어 있으며, 이들 노드는 제한된 계산 능력, 제한된 양의 에너지, 제한된 기억 능력을 가진다는 특성에 의해 발생된다. 이 특성에 따라 무선 센서 네트워크의 설계 시 중요하게 고려할 사항은 에너지 효율성이다. 센서 노드는 제한된 양의 에너지를 가지면서 재충전이 거의 불가능

* 학생회원, ** 정회원, 성균관대학교 정보통신공학부
(School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University)

※ 이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로
한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.
R01-2006-000-10402-0)

접수일자: 2007년2월22일, 수정완료일: 2007년3월14일

하다. 따라서 에너지 효율성이 센서 네트워크의 생존 기간과 관계되어 센서 네트워크의 최우선 목표가 된다. 다음으로 센서 노드들은 수백 개에서 수만 개까지의 노드가 하나의 네트워크를 구성하게 되는데, 기존의 무선 네트워크 기법들은 이렇게 많은 수의 노드로 구성된 네트워크를 고려하지 않기 때문에 센서 네트워크는 규모 가변성을 지원해야 한다. 마지막으로 센서 노드들은 사용자가 접근하기 힘든 환경에 배치되므로 노드들 간에 스스로 네트워크를 구성하는 자가 구성 능력(self-configuration)이 요구된다^[1].

센서 네트워크의 라우팅 프로토콜은 평면 라우팅 프로토콜(flat routing protocol)과 계층적 라우팅 프로토콜(hierarchical routing protocol)로 나눌 수 있다. 센서 노드는 유사한 데이터의 중복 전달을 방지하기 위해 데이터 집합(data aggregation)을 수행하는데, 노드의 특성을 고려할 때 클러스터 헤드에서 데이터 집합이 가능한 클러스터 기반의 계층적 라우팅 프로토콜을 사용하는 것이 많은 장점을 가진다. 무선 센서 네트워크의 수명을 어떻게 연장할 것인가에 대한 논의가 계속되고 있는데, 계층적 라우팅 기법이 에너지 소모, 규모 가변성 및 부하의 분배 측면에서 가장 효율적인 접근 방법이다^[2]. 계층적 라우팅 기법은 클러스터링 기법이라고도 불린다. 클러스터링 기법이란 전체 네트워크를 클러스터라 불리는 일정 지역을 커버하는 노드들의 집합으로 나누는 것을 의미한다. 이 클러스터에는 노드들 간에 효율적인 통신을 위해 클러스터 헤드(cluster head)를 두고, 클러스터 헤드는 클러스터 내부의 데이터를 모아서 싱크 노드(sink node)로 보내는 역할을 하게 된다^[3].

이 때 클러스터 헤드는 데이터 전송이 시행되는 한 라운드가 끝나는 주기마다 변경해야 된다. 그 이유는 클러스터 헤드가 다른 노드들의 데이터를 받아 싱크 노드로 전달하기 때문에 다른 노드들에 비해 에너지 소모가 더 크기 때문이다. 따라서 클러스터 헤드가 자신이 가진 에너지를 모두 소모하여 전달 기능이 정지되는 것을 방지하기 위해 일정기간마다 새로운 클러스터 헤드를 선출하여 네트워크의 수명을 연장하는 방법을 사용해야 한다. 클러스터 헤드가 변경되면 클러스터 역시 변경된 클러스터 헤드를 중심으로 재구성된다.

클러스터링 기법을 사용할 때에는 구성된 클러스터들 간에 중복되는 구간이 커지면 클러스터 간의 채널 혼잡이나 라우팅, 데이터 집합 효율성이 감소되는 등의 단점이 있다^[4]. 따라서 우수한 클러스터링이란 클러스터 영역 간의 중복을 최소화하는 것이 되는데, 최적 클러

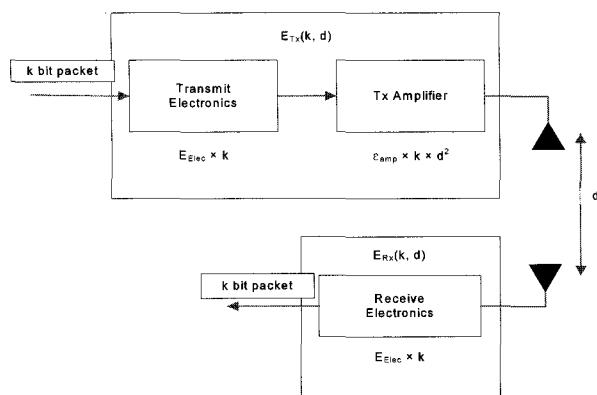


그림 1. 센서 노드의 에너지 소모 모델

Fig. 1. Energy consumption model in sensor node.

스터링을 위해서는 모든 센서 노드의 정확한 위치 정보가 필요하다. 그리고 이 정보를 바탕으로 전체 네트워크 관점에서 클러스터 구조를 결정해 주어야 하는데, 이는 센서 네트워크의 특성상 불가능하다. 따라서 효율성을 최대화하기 위해서는 노드들 간에 스스로 우수한 구조의 클러스터링을 분산적으로 형성하도록 하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 에너지 감지를 기반으로 한 확률적인 클러스터 이루 기법을 제시하고, 이 기법의 활용도를 더 높이기 위한 클러스터 생성 기법을 같이 제시한다. 즉 효율적으로 클러스터를 구성하고, 효율적인 클러스터 이루 기법을 사용하면서 무선 센서 네트워크의 수명을 연장시키는 방안을 제시한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존 클러스터링 기법에 대해 간략히 소개하고, III장에서 제안하는 클러스터링 기법을 설명한다. IV장에서 제안한 기법이 다른 클러스터링 기법들과 비교해서 더 우수함을 시뮬레이션을 통해 보이고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

LEACH^[5] 프로토콜은 노드간의 에너지 소모를 균등하게 하기 위해 클러스터 헤드를 확률에 기반해서 노드간에 균등하게 선정한다. 클러스터 내부 통신, 즉 클러스터 헤드와 멤버 노드 사이의 통신은 TDMA 방식을 사용하고, 싱크 노드와 클러스터 헤드 사이의 통신은 CDMA 방식을 사용한다. 클러스터 헤드에서 싱크 노드까지의 통신은 직접 통신(direct communication)을 사용한다. 노드의 에너지 소모 모델은 그림 1을 통해 확

인할 수 있다. 이 모델은 데이터 수신 시 및 데이터 송신 시, 두 가지의 경우로 나타낼 수 있다. 수신시에 전파 수신 기기(radio electronics)에서 소모되는 에너지는 다음 식과 같다.

$$E_{Rx}(k) = k \times E_{elec}$$

송신 시에 전파 송신 기기와 전력 증폭기(power amplifier)에서 소모되는 에너지는 다음 식과 같다.

$$E_{Tx}(k, d) = k \times E_{elec} + k \times \varepsilon_s d^2$$

여기서 k 는 패킷의 크기(bit)이고 E_{elec} 는 디지털 코딩, 모듈레이션, 필터링, 신호 전파 등에 기반을 둔 파라미터이다. ε_s 는 송신 노드와 수신 노드간의 거리(d)에 따라 자유 공간 채널 모델을 사용할 때의 파라미터이고, E_{fusion} 은 데이터 집합에 사용되는 에너지이다. LEACH 프로토콜은 클러스터 구간이 중복해서 나타나는 등 클러스터들이 네트워크 전체에 고루 분산되지 않는 특징을 보인다.

2. HEED(Hybrid, Energy-Efficient Approach)

HEED^[6] 프로토콜은 노드의 잔존 에너지를 이용하여 클러스터 헤드를 선정하는 기법이다. 이에 관계된 식은 다음과 같다.

$$CH_{prob} = C_{prob} \times \frac{E_{residual}}{E_{MAX}}$$

여기서 C_{prob} 는 전체 노드 중 클러스터 헤드의 비율을 나타내고, E_{MAX} 는 최대 에너지 양, $E_{residual}$ 은 임의의 노드의 잔존 에너지 양을 의미한다. 노드의 잔존 에너지 양에 따라 클러스터 헤드로 선정될 확률을 의미하는 CH_{prob} 값은 각 타임 슬롯마다 2배씩 증가시키다가 먼저 1을 넘게 되는 노드가 클러스터 헤드 메시지를 브로드캐스트하여 클러스터 헤드가 되는 방식이다. 동시에 그 이상의 클러스터 헤드가 선택되었을 경우에는 평균 최소 도달 파워(AMRP : Average Minimum Reachability Power)를 계산하여 이 값이 최소인 노드를 클러스터 헤드로 선정한다. 다음 식은 평균 최소 도달 파워 값을 산출해내는 식을 나타낸다.

$$AMRP = \frac{\sum_{i=0}^M MinPwr_i}{M}$$

$MinPwr_i$ 는 클러스터 헤드로 선정된 노드에서 주위 노

드 i 에 데이터를 전송하기 위한 최소 소모 전력을 의미하며 M 은 클러스터 반경 내의 노드 수이다.

HEED 프로토콜은 클러스터 헤드 선정 기법을 제외한 나머지는 LEACH 프로토콜의 방법을 그대로 따른다. HEED 프로토콜의 단점으로는 LEACH 프로토콜처럼 클러스터 헤드가 네트워크에 고루 분배되지 않는다는 점, AMRP를 계산하기 위해서는 주위 모든 노드와의 도달 파워를 계산해야 하기 때문에 이에 대한 오버헤드가 크다는 점, 클러스터 헤드 선정 시점을 모든 노드에서 동기를 맞춰 수행해야 한다는 점이 있다.

3. ACE(Algorithm for Cluster Establishment)

ACE^[7] 프로토콜은 클러스터 헤드 선정을 고정된 횟수의 반복을 통해 최소한의 클러스터로 구성하는 기법이다. 주 파라미터는 전송범위 내의 노드의 개수이며 이 값이 일정 수 이상일 때 특정 노드가 클러스터 헤드가 된다. 클러스터 헤드의 선정 이후에는 주위의 노드들 중 loyal member(다른 클러스터에 속하지 않은 노드)가 가장 많은 노드에게 클러스터 헤드 자리를 넘겨주는 클러스터 이주(migration) 기법을 제공한다. ACE 프로토콜의 경우 모든 노드가 각각 loyal member 수를 파악하기 위해 주위 모든 노드의 연결 상황을 파악해야 하므로 오버헤드가 많아지는 단점이 있다.

III. 제안 거리 추정에 기반한 분산 클러스터링 알고리즘

제안하는 DECA(Distance Estimation-based distributed Clustering Algorithm)는 앞서 소개했던 기법들과는 달리 클러스터 간 중복 구간을 최소화하면서도 이에 따른 오버헤드를 상당히 줄이면서 클러스터 헤

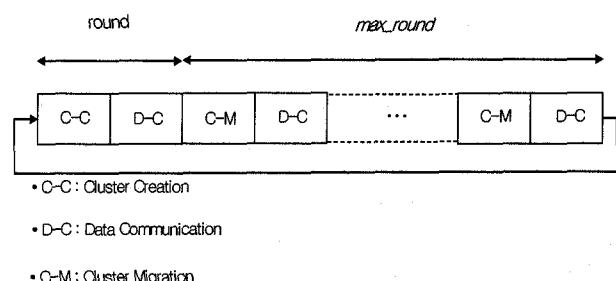


그림 2. 제안 프로토콜 DECA의 클러스터 생성, 데이터 전송, 클러스터 이주 과정

Fig. 2. Cluster creation, data communication and cluster migration of proposed DECA.

드를 변경하는 기법이다. 이 DECA 알고리즘은 그림 2에서와 같이 크게 두 단계로 나뉘어진다. 첫 번째 단계에서 노드의 잔존 에너지 양에 기반한 클러스터 선정 기법(CHS : Cluster Head Selection)을 사용하여 효율적인 클러스터링을 하고, 두 번째 단계에서는 형성된 클러스터 구조를 최대한 유지하면서 클러스터를 이주하는 기법(CM : Cluster Migration)을 사용한다.

1. 클러스터 생성 단계

클러스터 생성 단계에서는 클러스터 간 충돌 구간이 최소화되도록 클러스터를 생성한다. 제안하는 DECA에서 클러스터 헤드를 선정하는 기법은 다음 식과 같다.

$$CH_{prob} = C_{prob} \times \left(\frac{E_{residual}}{E_{MAX}} \right)^2$$

HEED와 마찬가지로 CH_{prob} 는 노드의 잔존 에너지양에 따라 클러스터 헤드로 선정될 확률을 의미하는 CH_{prob} 값은 각 타임 슬롯마다 2배씩 증가시키다가 먼저 1을 넘게 되는 노드가 클러스터 헤드가 된다. 이에 따라 클러스터 헤드로 선정된 노드는 자신의 주위로 자신이 클러스터 헤드라는 메시지(CH broadcast)를 전송하고, 이

```
//Cluster Creation Phase
Chprob = Cprob X (Eresidual /Emax)^2
While this node isn't a CH or this node isn't a member of other clusters
  If CHprob > 1
    Send CH broadcast message to neighbor nodes
  Else
    CHprob = CHprob X 2
  End if
End while
Transmit data to this node's CH

//Cluster Migration Phase
For round = 1 to max_round
  If this node is CH then
    S = {v : node v lies within this node's cluster range}
  End if
  While t < round_time
    If this node is CH then
      Find the nearest node j in S
      Send potential CH message to j
      If this node receives a message that j can't be a CH
        Remove j from S
      End if
    Else
      If this node has data
        Transmit data to this node's CH
      End if
      If this node receives potential CH message from this node's CH
        If this node's residual energy > this node's CH's residual energy
          Send CH broadcast message to neighbor nodes
        Else
          Send a message to CH that this node can't be a new CH
        End if
      End if
    End if
  End while
End for
Repeat the Cluster Creation Phase
```

그림 3. 제안하는 DECA의 pseudo-code
Fig. 3. Pseudo-code of proposed DECA.

메시지를 수신한 노드는 이에 대한 응답(reply)을 전송한다. 클러스터 헤드로 선정된 노드는 이 응답을 통해 주변 노드의 수를 알아낸다. 주변 노드의 응답 개수가 일정 한계 값(threshold) 이상인 노드가 클러스터 헤드가 되고, 데이터 전송 라운드를 시작하게 된다.

HEED 기법 및 제안한 DECA의 클러스터 선정 방식인 CHS는 각각 CH_{prob} 값을 2배씩 증가시키다가, 이 값이 1을 넘어서게 되면 클러스터 헤드로 선정되는 방식이다. 이를 제안한 CHS에서는 $(E_{residual}/E_{MAX})^2$ 값을 사용함으로 인해 초기 스케일을 늘림으로써 HEED 기법에서 빈번히 일어나는 초기 충돌 확률을 줄일 수 있다. 또한 줄어든 초기 충돌 확률에 따라 클러스터 헤드 선정 시 충돌이 일어났을 때 사용되는 AMRP 기법의 에너지 소모를 줄여 네트워크의 수명을 연장할 수 있다.

2. 클러스터 이주 단계

클러스터 이주 단계에서는 3.1절의 클러스터링 단계에서 구성된 클러스터 구조를 최대한 유지하면서도 에너지 소모량이 많은 클러스터 헤드를 다른 노드로 변경함으로써 센서 네트워크의 수명을 연장하도록 한다. 센서 노드의 소모 에너지는 그림 1의 에너지 소모 모델처럼 전송 거리의 제곱에 비례하여 감소한다. 따라서 클러스터 헤드에 인접한 노드는 전력 제어를 통해 먼 거리의 노드에 비해 적은 에너지를 소모하면서도 클러스터 헤드 노드와 통신이 가능하다. 이 정보를 바탕으로 클러스터 생성 단계에서 만들어진 클러스터 헤드로 데이터 전송 라운드가 끝나게 되면 클러스터 이주 단계에 들어선다. 이 단계에서 클러스터 헤드는 최인접 노드에게 자신의 잔존 에너지양에 대한 정보를 포함한 메시지를 보낸다. 이 메시지를 받은 최인접 노드는 수신된 클러스터 헤드의 잔존 에너지 양과 자신의 잔존 에너지 양을 비교한다. 비교 후 자신의 잔존 에너지 양이 더 크다면 CH broadcast 메시지를 주위로 보내고 그에 따라 클러스터 헤드가 된다.

하지만 최인접 노드의 잔존 에너지양이 클러스터 헤드보다 더 적다면 자신은 클러스터 헤드가 될 수 없다는 메시지를 클러스터 헤드에게 보낸다. 클러스터 헤드는 그 다음으로 인접한 노드에게 다시 잔존 에너지양에 대한 메시지를 보낸다. 이 과정은 클러스터링이 완료될 때까지 계속 된다. 클러스터 이주 기법을 사용하여 클러스터링이 완료된 후에는 데이터 전송 라운드가 시작된다. 데이터 전송 라운드가 완료된 이후 새로운 클러스터 헤드의 선정은 정해진 횟수(max_round) 만큼 클

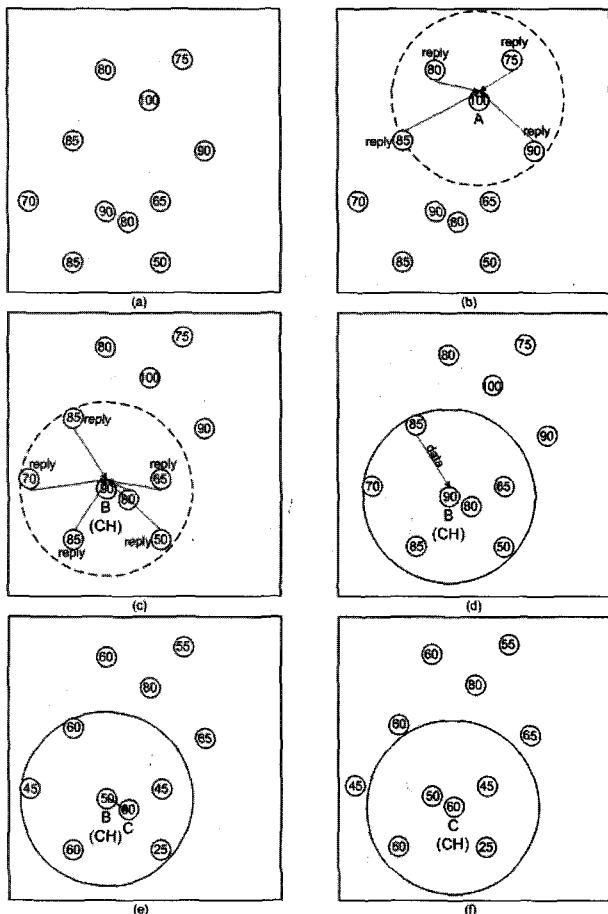


그림 4. 제안 프로토콜 DECA의 동작과정

Fig. 4. Example of proposed DECA.

러스터 이주 기법을 사용하게 된다. 클러스터 이주 기법을 위한 정해진 횟수만큼 수행한 이후는, 처음의 클러스터 생성 단계로 돌아간다(그림 2 참조).

제안한 DECA의 pseudo-code는 그림 3과 같고, 실제 동작과정의 예는 그림 4과 같다. 그림 4에서 (a)는 클러스터가 생성되기 전의 상태를 보여준다. 그림에서 클러스터 구성에 필요한 노드 수를 의미하는 한계 값은 5이고, 노드 안의 숫자는 잔존 에너지의 양의 백분율을 의미한다. (b)에서 잔존 에너지양이 가장 높은 노드 A가 클러스터 헤드로 가장 먼저 선정되었으나 주위 노드의 응답 수가 한계 값보다 적기 때문에 클러스터가 생성되지는 못한다. 다음으로 (c)에서 노드 B가 클러스터 헤드로 선정되고 주위 노드의 응답 수가 한계 값을 넘기 때문에 클러스터가 생성된다. 이후 (d)에서 데이터 전송이 시작되며, 데이터 전송이 끝나고 다음 클러스터 헤드의 선정 시기가 되면 클러스터 헤드 B는 (e)와 같이 최인접 노드인 노드 C를 다음 라운드의 클러스터 헤드로 선정한다. 이때 클러스터 헤드 B는 자신의 잔존 에너지 양 정보를 담은 메시지를 노드

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Simulation parameter.

Parameter	Value
Network grid	From (0, 0) to (100, 100)
Sink node coordinates	(50, 175)
Cluster range	25m
E_{elec}	50 nJ/bit
ϵ_s	10 pJ/bit/m ²
E_{fusion}	5 nJ/bit/signal
Data packet size	100 bytes
Broadcast packet size	25 bytes
Packet header size	25 bytes
Initial energy/node	2 J

C에게 보낸다. 노드 C는 이를 자신의 잔존 에너지의 양과 비교하고 자신의 잔존 에너지의 양이 더 많으므로 클러스터 헤드로 선정된다. 이후 C는 클러스터 헤드 메시지를 자신의 주위 노드에게 보내고, C를 중심으로 클러스터가 형성된다.

제안한 DECA는 클러스터 헤드 선정 기법인 CHS와 클러스터 이주 기법인 CM을 통해 HEED에 비해 클러스터링 시에 오버헤드가 적고, 효율적으로 클러스터가 구성된다. 그러므로 클러스터링 시에 소모되는 에너지뿐만 아니라 데이터 전송 시에도 DECA가 HEED에 비해 효율적인 통신이 가능하게 된다.

IV. 성능 분석

제안한 DECA 및 성능 비교를 위한 HEED의 시뮬레이션은 500회 반복 수행되었다. 이 시뮬레이션은 100m X 100m 넓이의 필드에 100개 혹은 200개의 노드가 균등하게 분포되어 있는 환경에서 수행되었고, 제안 DECA에서 클러스터 헤드로 결정되는데 필요한 한계 값은 10을 사용하였다. 노드의 최대 통신 반경과 클러스터 반경은 25m이며, 사용된 에너지 소모 모델 및 MAC 계층의 통신 방법은 LEACH와 동일하다고 가정한다. 데이터 생성은 각 노드에서 평균 패킷 발생율이 1 packet/sec인 포아송 분포를 따라 발생된다. 그 외 각종 시뮬레이션 파라미터는 표 1에 나타내었다.

그림 5는 제안한 DECA와 HEED의 클러스터 당 평균 노드 수를 시스템 상의 전체 노드 수에 따라 나타낸 그래프이다. 이 그래프를 통해 제안한 DECA가 HEED에 비해 한 클러스터에 소속되는 노드의 수가 많고, 따라서 중복되는 클러스터 구간 및 중복되는 노드 수가 더 적을 것이라는 것을 확인할 수 있다. 이러한 추세는

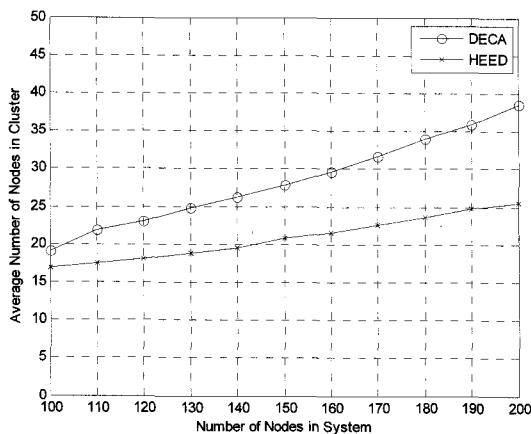


그림 5. 전체 노드 수에 따른 클러스터당 평균 노드 수
Fig. 5. Average number of nodes in a cluster for varying total number of nodes in a system.

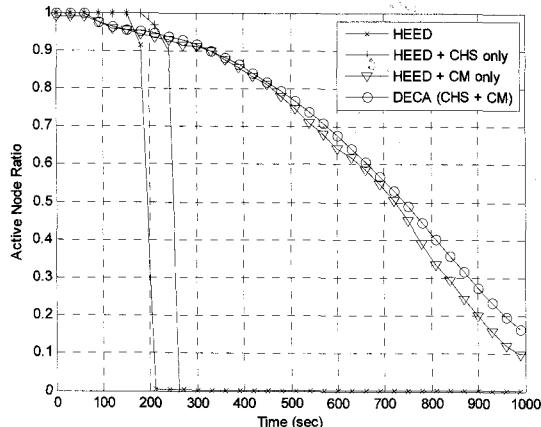


그림 6. DECA 및 HEED의 생존 노드 비율
Fig. 6. Active node ratio of DECA and HEED.

노드 수가 증가할수록 더욱 심화된다는 것 역시 그림을 통해 확인할 수 있다. 제안한 DECA의 경우 클러스터를 구성하는 데 필요한 한계 값이 있기 때문에 한 클러스터에 소속되는 노드의 수는 HEED에 비해 많고, 이를 통해 우수한 구조의 클러스터들이 생성된다.

그림 6은 제안한 DECA와 HEED의 시간에 따른 생존 노드의 비율을 제안 클러스터 헤드 선정 기법(CHS)과 제안 클러스터 이주 기법(CM)의 적용 여부에 따라 나타내고 있다. 무선 센서 네트워크가 제 역할을 수행 할 수 있는 70% 이상의 노드 생존 기간이 CHS만 적용 했을 때가 HEED에 비해 25% 가량 더 길다는 것을 확인할 수 있다. 이는 기존 HEED에서 클러스터 헤드 선정 때에 충돌이 날 경우 오버헤드가 큰 AMRP 기법을 사용하게 되는데, 제안한 CHS에서는 이 충돌 확률을 낮춤으로써 전체 네트워크의 에너지 소모가 줄었기 때문이다. 제안한 CHS에 CM을 같이 적용했을 때와 기존

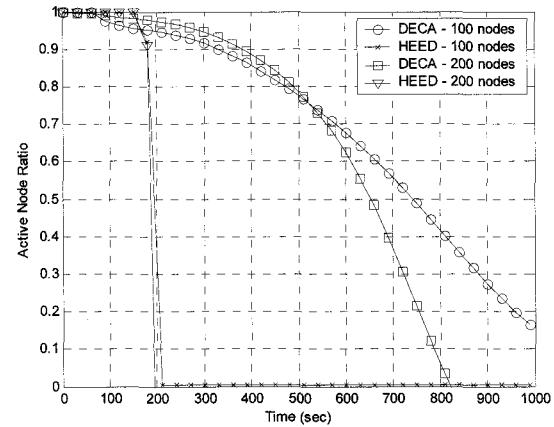


그림 7. DECA 및 HEED의 노드 수별 생존 노드 비율
Fig. 7. Active node ratio of DECA and HEED for varying total number of nodes in a system.

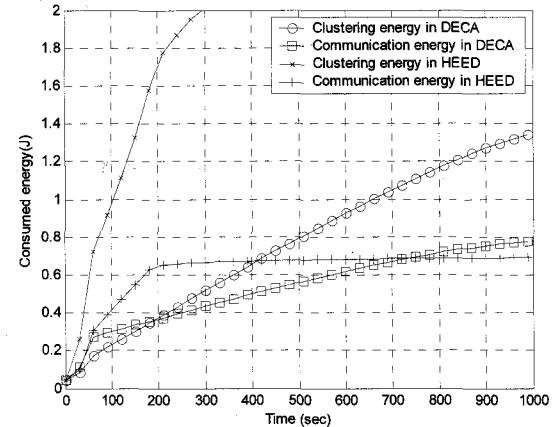


그림 8. DECA와 HEED의 노드별 누적 에너지 소모량 (노드수 : 100)
Fig. 8. Cumulative consumed energy per node of DECA and HEED.

HEED의 클러스터 헤드 선정 기법에 CM를 적용했을 때의 경우는 성능 상에 큰 차이가 없다. 이는 제안한 DECA 기법에서 CHS를 사용하는 횟수가 적기 때문이다. 즉, max_round가 10일 경우 CHS는 한번, CM은 10 번 수행된다. 하지만 여전히 CHS를 사용하지 않았을 때 보다 더 나은 성능을 보임을 확인할 수 있다.

그림 7은 제안한 DECA와 HEED의 시간에 따른 생존 노드의 비율을 각각 노드 수 100개와 200개에 대해 나타낸 그래프이다. 70% 이상의 노드가 살아있는 기간이 DECA가 HEED에 비해 3배 정도 더 길다는 것을 그림 9를 통해 확인할 수 있다. 이는 DECA의 클러스터링 시 교환되는 메시지 수가 HEED에 비해 현저히 적고, 효율적인 클러스터 구조가 생성되어서 데이터 통신 시의 에너지 소모 또한 적기 때문이다. 그림 7에서

HEED의 에너지 소모가 급격하게 일어나는 이유는 그림 8에서 노드별 누적 에너지 소모량을 통해 확인할 수 있다. 즉 HEED는 DECA에 비해 클러스터링 시에 2배 이상의 에너지를 소모하며, 이 급격한 에너지 소모 때문에 대부분의 노드가 살아남지 못하는 점을 확인할 수 있다. 반면 DECA는 클러스터링 및 데이터 통신에 소모되는 에너지가 시간에 따라 증가하다가 점차 모든 에너지를 소모하여 기능이 정지되는 노드가 생기면서 그래프가 완만해지는 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 에너지 감지에 기반한 클러스터 생성 알고리즘과 위치 예상에 기반한 클러스터 이주 알고리즘을 제안하였다. 에너지가 가장 많은 노드들 중 한 노드가 클러스터 헤드로 선정되면, 선정된 노드의 주위 노드들의 수를 세어 일정 수 이하이면 다른 노드에게 기회를 넘기고, 일정 수 이상이면 자신을 중심으로 클러스터를 만든다. 이를 통해 효율적인 클러스터를 만들 어내고, 이를 유지하기 위한 클러스터 이주 알고리즘을 사용한다. 클러스터 이주 알고리즘은 이전 단계에서 클러스터 헤드였던 노드가 다음 단계의 클러스터 헤드 노드를 위치에 기반해서 선정하는 기법이다. 즉 최인접 노드의 에너지가 클러스터 헤드인 자신의 에너지보다 많다면, 최인접 노드에게 클러스터 헤드를 넘겨준다. 시뮬레이션을 통해 제안한 DECA가 무선 센서 네트워크의 수명 연장에 효율적임을 보였다. 본 논문에서 제안한 방식은 노드 간 메시지 교환 수가 현저히 적었으며, 이로 인해 노드의 에너지 소모량 또한 크게 줄어 기존 방식에 비해 많은 이점을 가짐을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz, S. Weilian, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [2] D. Estrin, L. Girod, G. Pottie, and M. Srivastava, "Instrumenting the World with Wireless Sensor Networks," in *Proc. of ICASSP*, vol. 4, pp. 2033-2036, May 2001.
- [3] O. Younis, M. Krunz and S. Ramasubramanian, "Node Clustering in Wireless Sensor Networks: Recent Developments and Deployment Challenges," *IEEE Network*, vol. 20, pp. 20-25, May 2006.
- [4] F. Bouhafs, M. Merabti and H. Mokhtar, "A Semantic Clustering Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," in *Proc. of CCNC*, vol. 1, pp. 351-355, Jan. 2006.
- [5] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Trans. on Wireless Communications*, vol. 1, no. 4, pp. 660 - 670, Oct. 2002.
- [6] O. Younis, and S. Fahmy, "HEED: a Hybrid, Energy-efficient, Distributed Clustering Approach for Ad Hoc Sensor Networks," *IEEE Trans. on Mobile Computing*, vol. 3, pp. 366-379, Oct. 2004.
- [7] H. Chan and A. Perrig, "ACE: An Emergent Algorithm for Highly Uniform Cluster Formation," *Springer-Verlag Lecture Notes in Computer Science*, vol. 2920, pp. 154-171, Jan. 2004.

저 자 소 개



김 동 우(학생회원)
 2005년 성균관대학교 정보통신
 공학부 학사 졸업.
 2005년~현재 성균관대학교 정보
 통신공학부 석사 과정.
 <주관심분야 : 센서 네트워크,
 RFID>



이 태 진(정회원)
 1989년 연세대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1991년 연세대학교 전자공학과
 석사 졸업.
 1995년 University of Michigan,
 Ann Arbor, EECS(M.S.E.)
 1999년 University of Texas, Austin, ECE
 (Ph.D.)
 1999년~2001년 삼성전자 중앙연구소 책임연구원
 2001년~현재 성균관대학교 정보통신공학부
 조교수
 <주관심분야 : 통신 네트워크 성능 분석 및 설계,
 무선 LAN/PAN/MAN, ad-hoc/센서 네트워크,
 무선 통신 시스템>



박 종 호(학생회원)
 2004년 성균관대학교 정보통신
 공학부 학사 졸업.
 2006년 성균관대학교 정보통신
 공학부 석사 졸업.
 2006년~현재 성균관대학교 정보
 통신공학부 박사 과정.

<주관심분야 : ad-hoc/센서 네트워크, RFID, 무
 선 LAN/MAN>