

# 무선 센서 네트워크에서 균등한 클러스터 밀도를 고려한 토큰 기반의 클러스터링 알고리즘

이 현 석<sup>†</sup> · 허 정 석<sup>††</sup>

## 요 약

무선 센서 네트워크에서 센서노드의 수명은 배터리에 의해 제한되므로 에너지는 가장 중요한 고려사항이다. 클러스터링은 네트워크의 에너지 소비를 효율적으로 관리하는데 사용되는 방법 중 하나이며, LEACH는 대표적인 클러스터링 알고리즘이다. LEACH는 센서 노드들의 에너지 소비를 공평하게 분산시키기 위해 에너지 소모적 기능을 하는 클러스터 헤드를 매 라운드마다 무작위로 순환시키는 방법을 사용하고 있다. 클러스터 헤드의 무작위 선정은 매 라운드 최적의 클러스터 헤드 수를 보장해주지 못한다. 그리고 밀도가 높은 클러스터에 위치한 클러스터 헤드는 과부하 상태가 된다. 본 논문에서는 클러스터 헤드의 수를 보장하기 위한 토큰 기반의 클러스터 헤드 선정 알고리즘과 균등한 밀도의 클러스터 형성을 위한 클러스터 선택 알고리즘을 제안한다. 시뮬레이션을 통하여 제안하는 알고리즘이 LEACH 보다 네트워크 수명이 9.3%정도 연장됨을 보여주었다.

키워드 : 무선센서네트워크, 클러스터링, 에너지 효율성, 토큰

## A Token Based Clustering Algorithm Considering Uniform Density Cluster in Wireless Sensor Networks

Hyun-Seok Lee<sup>†</sup> · Jeong-Seok Heo<sup>††</sup>

### ABSTRACT

In wireless sensor networks, energy is the most important consideration because the lifetime of the sensor node is limited by battery. The clustering is the one of methods used to manage network energy consumption efficiently and LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) is one of the most famous clustering algorithms. LEACH utilizes randomized rotation of cluster-head to evenly distribute the energy load among the sensor nodes in the network. The random selection method of cluster-head does not guarantee the number of cluster-heads produced in each round to be equal to expected optimal value. And, the cluster head in a high-density cluster has an overload condition. In this paper, we proposed both a token based cluster-head selection algorithm for guarantee the number of cluster-heads and a cluster selection algorithm for uniform-density cluster. Through simulation, it is shown that the proposed algorithm improve the network lifetime about 9.3% better than LEACH.

Keywords : Wireless Sensor Network, Clustering, Energy Efficient, Token

### 1. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)에서는 네트워크 계층 프로토콜에 기반을 두어 에너지를 절약하기 위한 연구가 다각도로 진행되어 왔다. 무선 센서 네트워크에서는 많은 수의 센서 노드가 조밀하게 분포되어, 다중 홉(multi-hop) 네트워크 환경을 이루며 각 센서 노드는 배터

리는 제한된 에너지를 가지고 단말 노드의 역할과 라우터의 역할을 동시에 수행하므로 에너지를 모두 소비한 노드는 더 이상 네트워크에 참여하지 못하게 되고, 네트워크의 정상적인 통신이 불가능하게 된다. 따라서 무선 센서 네트워크의 수명을 연장하기 위해서는 한정된 에너지의 효율적 관리가 매우 중요한 연구 과제이다.[1, 2]

무선 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜은 네트워크 구조에 의해 크게 모든 노드가 동등한 입장에서 공통된 하나의 라우팅 기법을 사용하는 SPIN(Sensor Protocols for Information via Negotiation)[5], Directed Diffusion[6]등의 평면 기반 라우팅, 센서 노드의 위치 정보를 기반으로 라우팅 경로를 설

<sup>†</sup> 정 회 원: 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부 박사과정

<sup>††</sup> 정 회 원: 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수  
논문접수: 2010년 2월 16일  
수정일: 1차 2010년 4월 30일  
심사완료: 2010년 5월 6일

정하는 GAF(Geographic Adaptive Fidelity)[7], GEAR(Geographic and Energy Aware Routing)[8]등의 위치기반 라우팅 그리고 클러스터링을 기반으로 노드 간의 계층적 단계를 두어 데이터를 전송하는 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[9], TEEN(Threshold-sensitive Energy Efficient Protocols)[11]등의 계층기반 라우팅으로 분류된다.

일반적으로 인접한 센서 노드는 유사한 정보를 가지므로, 로컬 클러스터를 형성하고 클러스터 헤드에 의해 집약된 데이터를 싱크노드로 전송하는 클러스터링 기법이 저전력 구동에 효과적이다. 클러스터 기반의 계층적 라우팅 프로토콜에서는 클러스터 헤드를 선출하는 방법, 클러스터의 수와 크기 등에 따라 에너지 효율성이 달라진다. 에너지 소비량을 최소화하여 네트워크의 생존 시간을 최대화하기 위해서는 최적의 클러스터 헤드 결정이 중요하다.[1, 3, 4]

본 논문에서는 클러스터 헤드 토큰을 사용하여 최적의 클러스터 헤드 수를 보장하는 클러스터 헤드 선정 알고리즘과 과밀도 환경에서 각 클러스터의 평균 밀도를 균등하게 하여 네트워크의 수명을 연장하는 일반 노드의 클러스터 선택 알고리즘을 제안한다.

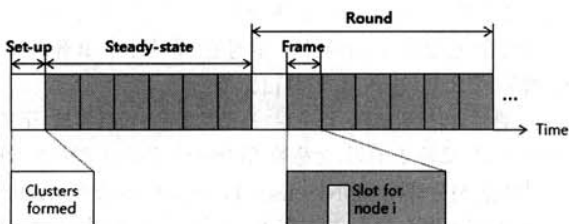
본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 계층 기반의 라우팅 프로토콜에 대해 알아보고, 3장에서는 제안 알고리즘에 대해 기술한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통한 성능 평가 결과를 분석하고, 5장에서 본 논문의 결론을 기술한다.

## 2. 계층 기반 라우팅 프로토콜

### 2.1 LEACH

LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[9]는 클러스터링 기반 라우팅 기법으로, 클러스터헤드가 클러스터의 멤버 노드들로부터 데이터를 전송 받아 데이터 병합(data aggregation)을 통해 데이터를 싱크노드로 전달하여 전체적인 통신비용을 줄인다. 그리고 네트워크를 구성하는 모든 노드들의 에너지 소모를 공정하게 분산시키기 위해 에너지 집약적인 기능을 하는 클러스터 헤드를 라운드(round)라는 시간 단위마다 무작위로 순환시켜 네트워크의 생존 시간을 최대화한다.

각 라운드는 (그림 1)과 같이 클러스터 헤드와 클러스터를 구성하는 set-up 단계와 TDMA 스케줄에 따라 데이터의 전송이 이루어지는 steady-state 단계로 구성된다.



(그림 1) LEACH의 Time Line

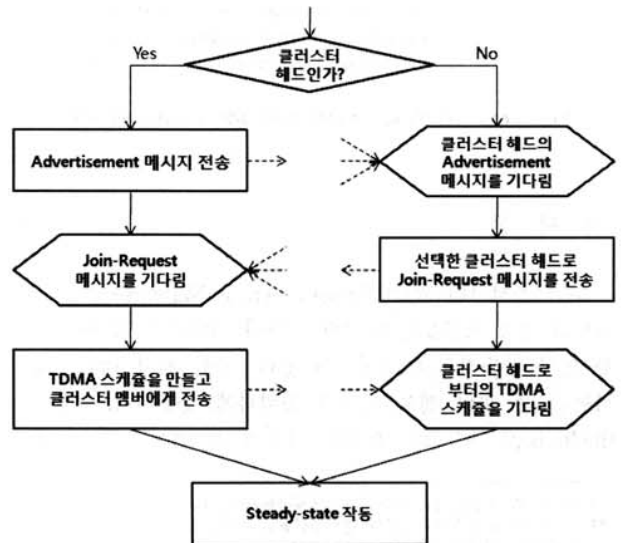
클러스터 헤드는 수식 1의 threshold  $T(n)$ 를 난수와 비교하여 선정된다. 수식에서  $P$ 는 필요한 클러스터 헤드의 확률(예,  $P=0.05$ ),  $r$ 은 현재 라운드의 순서번호,  $G$ 는 최근  $1/P$  라운드 동안 클러스터 헤드로 선정되지 않았던 노드들의 집합이다.

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

새로운 라운드가 시작되면 각 노드들은 0과 1사이의 난수를 선택하고, 수식 1에 따라 threshold  $T(n)$ 를 계산하여 두 수를 비교한다, 난수 값이 threshold  $T(n)$ 보다 작으면 클러스터 헤드로 선정되고, 난수 값이 threshold  $T(n)$ 보다 크거나 같으면 클러스터 멤버가 된다. 선정된 모든 클러스터 헤드들은 동일한 전송 에너지로 CSMA MAC 프로토콜을 사용하여 advertisement 메시지를 브로드캐스트 한다. 이 메시지를 받은 노드들은 수신된 신호의 세기(RSSI)가 가장 큰 노드를 자신의 클러스터 헤드로 선택하고 Join-REQ 메시지를 선택한 클러스터 헤드로 전송한다. Join-REQ 메시지를 받은 클러스터 헤드는 클러스터 멤버노드로 등록한다. 이 과정이 끝나면 클러스터 헤드가 멤버 노드들의 수를 이용하여 클러스터내의 충돌 없는 데이터 전송을 보장하기 위해 TDMA 스케줄을 구성하고, 이 스케줄을 클러스터 멤버노드들에게 전송하여 알림으로서 set-up 단계가 종료된다. (그림 2)는 LEACH set-up 단계의 절차[10]를 나타내고 있다.

Steady-state 단계에서는 각 클러스터 멤버 노드들은 자신의 전송슬롯에서만 데이터를 전송하고 나머지 슬롯들에서는 sleep 모드로 가서 전력 소모를 줄인다.

LEACH에서는 클러스터 내부에서는 TDMA를 사용하여



(그림 2) LEACH의 동작 절차

노드간의 간섭을 피하고, 클러스터 간에는 서로 다른 CDMA 코드를 사용하여 간섭을 피한다.

LEACH의 성능은 매 라운드마다 일정한 수의 클러스터를 구성하고, 클러스터 헤드가 분산되어 배치되어야 최적의 성능을 보이는데, 노드가 스스로를 헤드로 선출하는 방법에서는 이를 보장할 수가 없는 문제점이 있다.

2.2 LEACH 개선 연구 동향

계층 기반 라우팅에서 주요 연구 과제는 최적의 클러스터 헤드를 선정하는 방법, 클러스터 헤드의 수를 보장하는 방법, 클러스터의 균형적인 에너지 소모 방법 등을 통해 무선 센서 네트워크의 수명을 최대화 시키는데 있다.

LEACH-C(LEACH-Centralized)[10]는 클러스터 구성을 싱크노드에서 수행한다. 싱크노드는 각 라운드의 시작 단계인 set-up 단계에서 각 노드에 대한 위치정보와 에너지 보유량에 대한 정보를 전송받아 네트워크 전체 노드들의 평균 에너지를 계산한다. 평균 에너지보다 낮은 에너지를 보유한 노드는 클러스터 헤드 선정에서 제외되며, 평균보다 높은 에너지를 보유한 노드들 중에서 simulated annealing algorithm[12]을 이용하여 클러스터 헤드를 선정하여 이를 메시지를 전송하여 알린다. LEACH-C는 클러스터 멤버 노드들이 클러스터 헤드에게 데이터를 전송하는데 있어서 에너지를 최소화 하는 최적의 클러스터 헤드를 선정함으로써 효율적인 클러스터를 구성할 수 있지만 이러한 최적의 클러스터 헤드를 선정하기 위한 오버헤드가 큰 것이 문제점이다.

LEACH의 확률에 의한 클러스터 헤드 선정 알고리즘은 클러스터 헤드의 최적의 분포와 충분한 에너지를 보장하지 못한다. 이를 보완하기 위해 퍼지 이론을 이용한 CHEF(Cluster Head Election mechanism using Fuzzy logic)[13], NECHS(eNergy-Efficient Cluster Head Selection)[14] 등의 클러스터 헤드 선정 알고리즘이 제안되었다. CHEF는 퍼지변수로 energy와 Local Distance를 사용하여 클러스터 헤드로 선정될 기회 chance를 계산하여 최적의 클러스터 헤드가 선정되도록 하였으며, NECHS는 CHEF를 보완하여 퍼지변수로 energy와 node number를 이용하여 최적의 클러스터 헤드를 선정하였다.

T-LEACH(Threshold-based LEACH)[15]는 매 라운드마다 이루어지는 클러스터 헤드의 재선출에 사용되는 에너지를 줄이기 위해 잔여 에너지에 따른 임계값을 사용하여 클러스터 헤드 선정 횟수를 줄여 네트워크 수명을 늘렸다.

확률에 의한 클러스터 헤드 선정은 매 라운드마다 최적의 클러스터 헤드 수를 보장하지 못한다. 최적의 클러스터 헤드 수를 보장하기 위한 연구로 TSCHS(Two Step Cluster Head Selection)[16]는 클러스터 선정을 두 단계로 나누어 첫 번째 단계에서 최적의 클러스터 헤드 수보다 많은 임시 클러스터 헤드 후보를 선정하고, 두 번째 단계에서 Base Station과의 거리, 잔여에너지를 이용해 임시 클러스터 헤드 후보에서 클러스터 헤드를 선정하여 클러스터 헤드 수를 보장한다.

3. 제안하는 알고리즘

본 논문에서는 클러스터 헤드 토큰을 이용하여 최적의 클러스터 헤드 수를 보장하고 매 라운드마다 클러스터 헤드 선정으로 소모되는 에너지를 줄이기 위한 클러스터 헤드 선정 알고리즘과 불균등한 밀도를 가진 네트워크 환경에서 클러스터 헤드의 에너지 균등성을 보장하기 위한 클러스터 헤드 선택 알고리즘을 제안한다.

3.1 클러스터 헤드 선정 알고리즘

본 논문의 클러스터 헤드 선정 알고리즘은 클러스터 헤드의 수를 보장하기 위해 토큰을 사용하고, 클러스터 헤드의 변경을 최소화하여 에너지 효율성을 높이고자 한다.

본 논문에서 정의한 제어 메시지의 종류는 <표 1>과 같다. 본 논문에서 제안하는 클러스터 헤드 선정 알고리즘은 다음과 같다.

① 최적의 클러스터 헤드의 수를 n개라고 할 때 Sink 노드에서 CH-Token 메시지를 n개만큼 네트워크로 전송한다.

CH-Token 메시지를 받은 노드는 확률 p에 의해 클러스터 헤드가 될지 일반 노드가 될지 결정하고, 클러스터 헤드 노드가 되면 Advertisement 메시지를 전송한다. 일반 노드로 결정이 되면 이웃 노드들 중 하나를 선택하여 CH-Token 메시지를 전송(gossiping)한다. 최적의 클러스터 헤드 분포를 위한 확률 p는 시뮬레이션을 통하여 최적의 값을 구하였다.

② 최초 클러스터 형성후 클러스터 헤드의 변경은 클러스터 내에서만 발생한다.

클러스터 헤드의 변경 시점은 수식 2의 에너지 임계값과 현재 클러스터 헤드의 에너지 잔여량을 비교하여 에너지 잔여량이 에너지 임계값보다 작으면 클러스터 헤드를 변경한다.

$$e_{TH} = e_{CAVG} - \left( \frac{n_{CAVG}}{n_{CMember}} \right) \tag{2}$$

- $e_{TH}$  = 에너지 임계값
- $e_{CAVG}$  = 클러스터내의 평균 에너지
- $n_{CMember}$  = 클러스터 멤버의 수

③ 클러스터의 변경이 결정되면, 현재 클러스터 헤드는

<표 1> 제어 메시지

메시지 타입	기능	데이터
Advertisement	클러스터 헤드의 광고 메시지	클러스터 멤버수
C-Join	클러스터 합류	에너지 잔여량
C-Release	클러스터 탈퇴	
CH-Token	클러스터 헤드 선정	클러스터 헤드 토큰(Group ID)

클러스터 멤버들 중에서 에너지가 가장 높은 노드를 다음 클러스터 헤드로 선정하고 클러스터 멤버 수에 대한 정보를 포함하여 CH-Token 메시지를 선정된 클러스터 헤드에게 전송한다.

④ 선정된 클러스터 헤드는 멤버 테이블을 초기화하고 다음 라운드의 set-up 단계에서 클러스터 멤버의 수에 대한 정보를 포함한 Advertisement 메시지를 브로드 캐스팅하고, 클러스터 변경이 일어나지 않은 기존의 클러스터 헤드는 멤버 테이블을 유지하고 Advertisement 메시지를 브로드 캐스팅한다.

⑤ 클러스터 헤드는 노드들로부터 에너지 잔여량 정보가 포함된 C-Join 메시지를 받으면 클러스터 멤버노드로 등록을 하고, C-Release 메시지를 받으면 클러스터 멤버노드에서 해제한다. 변동 사항이 없는 기존의 멤버노드는 다음 라운드까지 유지한다.

제안하는 알고리즘은 매 라운드마다 클러스터 헤드 변경이 이루어지지 않고 에너지를 많이 소모한 클러스터 헤드만을 변경하게 되며, 일반 노드의 클러스터 선택은 매 라운드 발생할 수 있다.

제안하는 알고리즘에서는 클러스터 헤드 변경이 일어나지 않고 일반 노드의 클러스터 변경도 일어나지 않으면 C-Join 메시지를 전송하지 않으므로 set-up 과정에서 소모되는 에너지를 절약할 수 있다.

### 3.2 일반 노드의 클러스터 선택 알고리즘

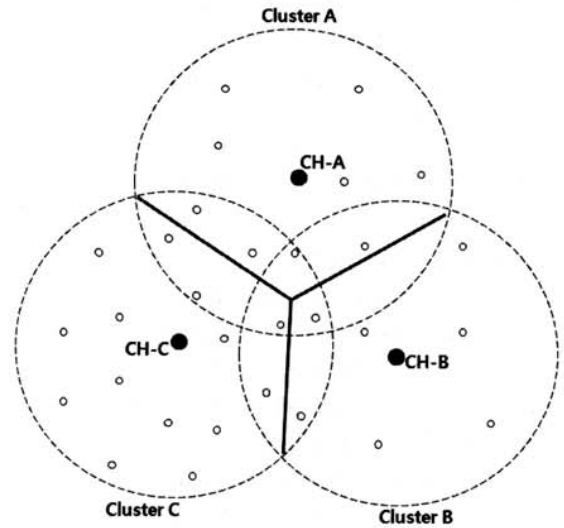
LEACH에서 클러스터 헤드가 아닌 노드들의 클러스터 선택은 클러스터 헤드가 전송한 advertisement 메시지의 수신 신호 세기(RSSI)에 기반하여 이루어진다. 수신신호가 큰 메시지를 보낸 클러스터 헤드가 가까운 거리에 있다고 판단하여 자신의 클러스터 헤드로 선택하게 된다.

이러한 클러스터 헤드 선택은 노드의 밀도가 균등하게 배치되어 있는 네트워크 환경에서는 문제가 되지 않으나, (그림 3)과 같이 불균등하게 배치되어 있는 네트워크 환경에서는 노드 밀도가 높은 클러스터 C의 클러스터 헤드는 밀도가 낮은 클러스터 B의 클러스터 헤드보다 과도한 에너지를 가져오게 된다.

본 논문에서는 불균등한 밀도를 가진 네트워크 환경에서도 각 클러스터 헤드의 에너지 사용 공평성을 보장하기 위해서 클러스터 헤드 선택시 파라미터로 수신신호세기(RSSI) 뿐만 아니라 클러스터 멤버 노드의 수를 이용하여 클러스터 헤드를 선택하는 알고리즘을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 클러스터 선택 알고리즘은 다음과 같다.

① 클러스터 헤드가 아닌 일반 노드가 클러스터 헤드들로부터 클러스터 멤버의 수에 대한 정보가 포함된 Advertisement 메시지를 받으면 수식 3에 의해 구해진 adjustRSSI가 큰 클



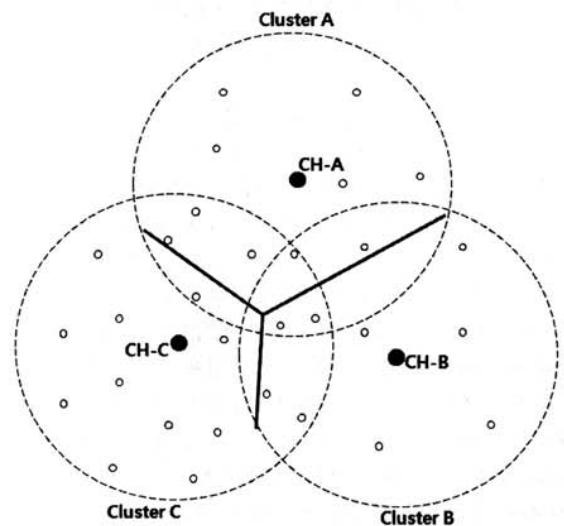
(그림 3) 불균등한 노드 밀도에서 RSSI에 따른 클러스터 형성

러스터 헤드를 자신의 클러스터 헤드로 선택한다.

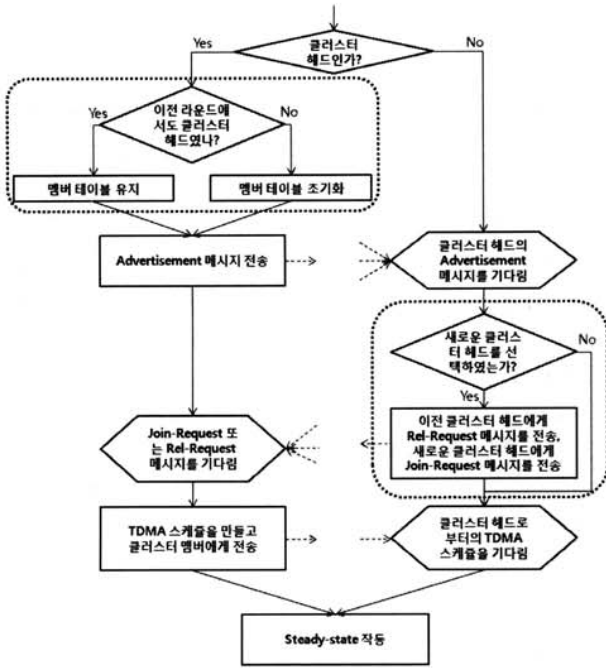
$$adjustRSSI = \frac{RSSI}{nCMember} \quad (3)$$

② 선택되어진 클러스터 헤드가 새로운 클러스터 헤드이면 기존의 클러스터 헤드에는 C-Release 메시지를 보내고, 새로운 클러스터 헤드에는 자신의 에너지 잔여량 정보를 포함한 C-Join 메시지를 전송한다.

③ 선택되어진 클러스터 헤드가 기존의 클러스터 헤드이면 메시지 전송은 이루어지지 않고 기존의 클러스터를 유지한다. (그림 4)는 불균등한 밀도를 가진 네트워크 환경에서 adjustRSSI에 의해 형성된 클러스터가 (그림 3)의 RSSI로



(그림 4) adjustRSSI에 의해 조절된 클러스터



(그림 5) 제안 알고리즘의 동작 절차

형성한 클러스터 보다 균등한 밀도의 클러스터를 형성하게 됨을 보여준다.

(그림 5)는 제안하는 클러스터 헤드 선정 알고리즘과 일반 노드의 클러스터 선택 알고리즘의 set-up단계에서의 동작 절차를 나타내고 있다.

### 4. 성능 평가

시뮬레이션은 NS-2.27에 MIT의 NS2-LEACH 패키지를 변형하여 사용하였으며, 시뮬레이션 환경과 에너지 모델은 <표 2>와 같다.

센서 네트워크의 크기는 100×100m, 센서 노드의 개수는 100개, 클러스터 헤드는 5개로 설정하였다. 클러스터 헤드의 수는 기존 연구 결과에서 평균적으로 5%의 클러스터 헤드를 가지는 것이 가장 효율적이기 때문이다. 또한 노드의 이동성은 없는 것으로 가정하고, 데이터 전송시 에러는 고려하지 않았다.

<표 2> 시뮬레이션 파라미터 설정값

파라미터	값
네트워크 크기	100×100m
센서노드의 수	100
싱크노드의 위치	(0, 50)
클러스터 헤드 선정 확률 (p)	0.20
센서 노드 초기 에너지량	1J
데이터 송수신 소모 에너지량 ( $E_{tr}$ )	50nJ/bit
송신 증폭 에너지량 ( $E_{amp}$ )	100pJ/bit/m <sup>2</sup>
데이터 패킷 크기	1000 bits

### 4.1 클러스터 헤드 선정 확률

클러스터 헤드가 최적의 분포를 가지는 확률 p를 구하기 위해 센서 노드를 (그림 6)과 같이 격자 형태로 균등하게 배치하고, 클러스터 헤드를 5개로 설정하고 CH-Token 메시지 5개를 전송하였다.

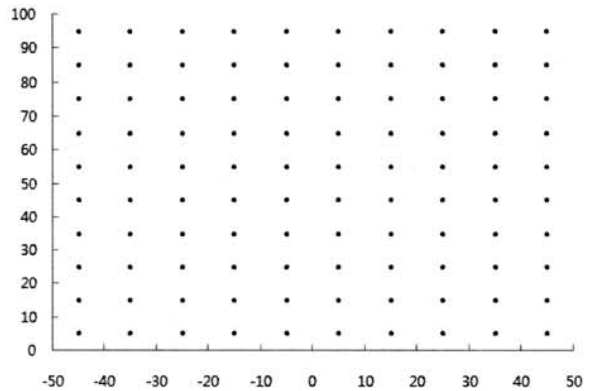
확률 p는 0~1의 범위를 가지며 0.05 단위로 증가하여 측정하였으며, 최적의 클러스터 헤드 분포를 측정하기 위한 값으로 클러스터 형성후 1라운드 동안 각 클러스터의 소모 에너지를 측정하여 표준편차가 작을수록 최적의 클러스터 분포를 가진다고 보았다.

클러스터의 총 소모 에너지는 데이터 송수신에 소모되는 에너지량( $E_{tr}$ )과 송신 증폭 에너지량( $E_{amp}$ )의 합으로써 식(4)에 따라 구해진다.

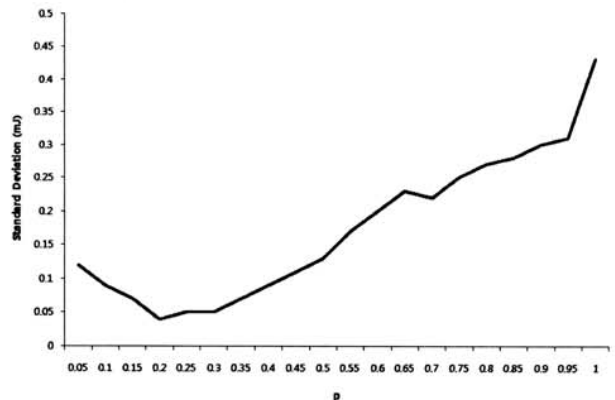
$$E_{total} = \sum_{i=1}^{N_{member}} E_{amp}(i) + \sum_{i=1}^{N_{member}} E_{tr}(i) \quad (4)$$

·  $N_{member}$  : 클러스터 멤버 노드의 수

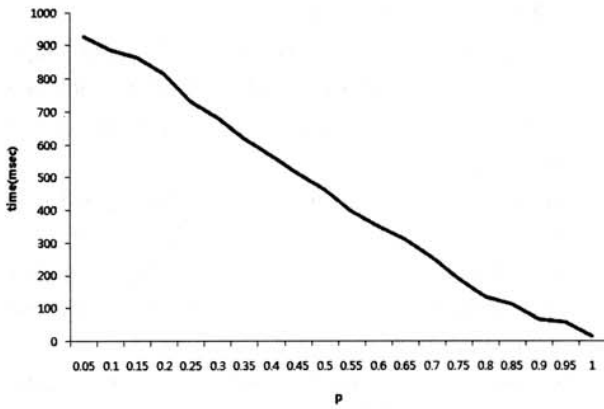
(그림 7)은 확률 p의 변화에 따른 클러스터 소모 에너지의 표준편차를 보여주고 있다. 시뮬레이션 결과 확률 p가 0.20 이었을 때 표준 편차가 가장 작으므로 최적의 클러스터



(그림 6) 격자 형태의 노드 배치



(그림 7) 확률 p에 따른 클러스터 소모 에너지의 표준편차



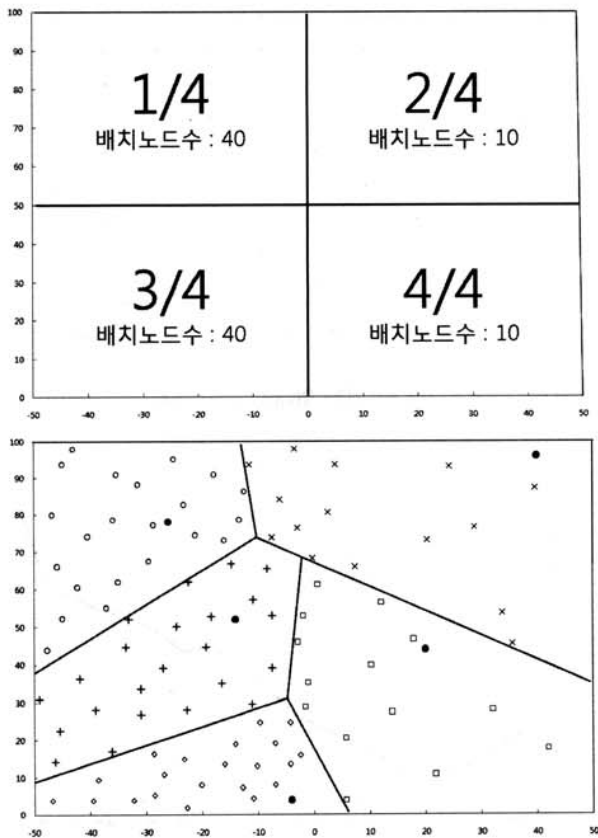
(그림 8) 확률 p에 따른 클러스터 set-up 시간

터 헤드 분포를 가지게 됨을 알 수 있다.

(그림 8)은 확률 p에 따른 클러스터 헤드 선정까지 걸리는 시간을 나타내고 있다. LEACH의 클러스터 헤드 선정은 평균 0.38msec 걸리는데 비해 제안 알고리즘은 p를 0.20으로 했을 때 814msec로 클러스터 set-up에 많은 시간이 소요된다.

4.2 제안 알고리즘의 시뮬레이션 결과

노드의 배치는 제안하는 알고리즘의 성능을 측정하기 위해 (그림 9)와 같이 밀도를 달리하여 임의로 배치하였다.



(그림 9) 시뮬레이션을 위한 과밀도 노드 배치

<표 3> 시뮬레이션 모델

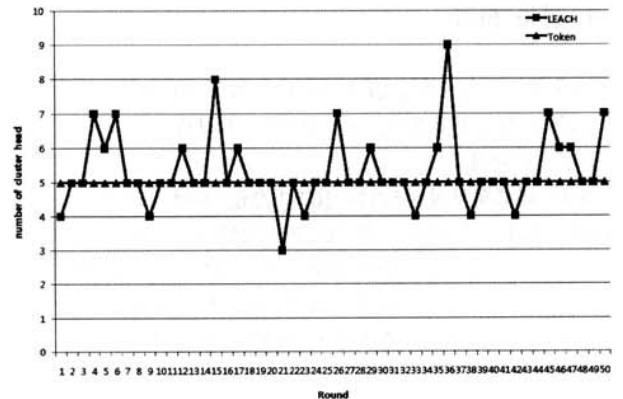
	클러스터 헤드 선정	일반노드의 클러스터 선택
LEACH	Random	RSSI
Token	Token	RSSI
Token-adjustRSSI	Token	adjustRSSI

제안 알고리즘의 성능을 비교 평가하기 위해 <표 3>과 같이 3가지 모델을 시뮬레이션 하였다. 확률에 의해 클러스터 헤드를 선택하고 RSSI를 이용해 클러스터를 결정하는 LEACH 모델과 LEACH와 동일하나 클러스터 헤드 선택 시 제안한 클러스터 헤드 토큰을 사용하는 Token 모델, 그리고 클러스터 헤드 토큰과 adjustRSSI 둘 다 사용하고 클러스터 내에서만 클러스터 헤드 변경이 이루어지는 Token-adjustRSSI 모델의 성능을 비교 평가하였다.

4.2.1 클러스터 헤드의 수 비교

최적의 클러스터 헤드의 수를 보장하기 위해 본 논문에서는 클러스터 헤드 토큰의 사용을 제안하였다. (그림 10)은 확률에 의해 무작위로 선택되어지는 LEACH와 토큰을 사용하는 Token 모델의 50 라운드 동안 선택되어진 클러스터 헤드의 수를 나타내고 있다.

LEACH 모델은 확률에 의해 무작위로 클러스터 헤드가 선정되어 지므로 최적의 클러스터 헤드 수를 보장해주지 못하고 있으며, Token 모델은 클러스터 헤드 토큰을 사용하여 최적의 클러스터 헤드 수를 보장해 주고 있음을 알 수 있다.

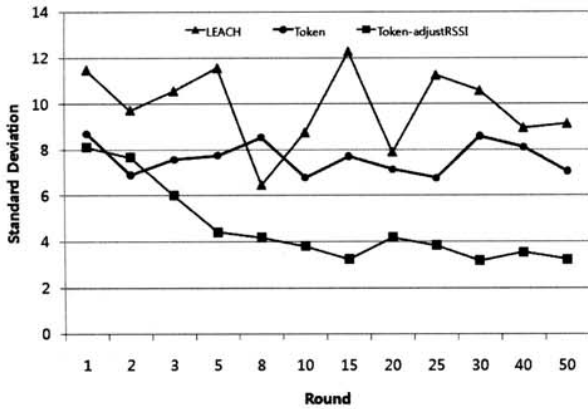


(그림 10) 라운드별 클러스터 헤드의 수 비교

4.2.2 클러스터 멤버노드의 밀도 비교

먼저 과밀도의 클러스터에 속한 클러스터헤드의 과부하를 방지하기 위한 일반 노드의 클러스터 선택 알고리즘의 성능 평가를 위해 각 모델의 클러스터의 멤버 노드 수를 비교하였다. (그림 11)은 라운드별 각 클러스터의 멤버노드 수를 가지고 표준편차를 구한 값이며 표준편차가 작을수록 균등한 밀도를 가진 클러스터를 형성했음을 나타낸다.

LEACH 모델은 매 라운드 마다 무작위로 새로운 클러스터 헤드를 형성하고 일반노드는 수신신호세기에 따라서 클



(그림 11) 클러스터 멤버노드 수에 따른 밀도 비교

러스터를 선택하게 되어 클러스터내의 밀도가 평균 표준편차 9.87로 불균등한 것을 볼 수 있으며, Token 모델은 클러스터 헤드의 수만을 보장하므로 평균 표준편차 7.63으로 LEACH 모델에 비해 균등함을 보여준다. Token-adjustRSSI 모델은 클러스터 내에서만 클러스터 헤드를 변경하고 수신 신호세기과 클러스터 멤버노드의 수에 따라 클러스터를 결정하므로 클러스터내의 밀도가 평균 표준편차 4.28로 다른 모델보다 상대적으로 균등한 밀도를 가지는 것을 볼 수 있다. 클러스터 내에서만 클러스터 헤드를 선정하기 때문에 라운드가 지날수록 균등한 밀도를 가진 클러스터가 형성됨을 알 수 있다.

4.2.3 노드의 균등한 에너지 소모 비교

네트워크의 클러스터가 최적의 상태로 만들어질수록 노드의 균등한 에너지 소모를 가져오고, 따라서 모든 노드가 정상적으로 네트워크에 참여하는 시간은 길어진다. (그림 12)는 라운드가 지나감에 따라 네트워크에 참여하고 있는 노드의 수를 보여주고 있다.

<표 4>에서와 같이 노드가 네트워크에 참여하지 못하는 최초 라운드는 LEACH 모델이 182라운드, Token 모델은 224라운드이며 Token-adjustRSSI 모델은 263라운드로 Token-adjustRSSI 모델이 다른 모델보다 균등한 에너지 소모를 하

<표 4> 노드의 네트워크 참여 라운드 및 라운드당 제어 메시지 수의 평균

	LEACH	Token	Token-adjustRSSI
노드가 죽은 최초 라운드	182	224	263
마지막 노드가 죽은 라운드	365	357	399
라운드당 제어 메시지 수의 평균(개)	75.8	83.1	38.2

고 있음을 보여주고 있다.

노드가 마지막으로 네트워크에 참여한 최종 라운드는 LEACH 모델이 365라운드, Token 모델이 357라운드이며 Token-adjustRSSI 모델은 399 라운드까지 지속이 되어 LEACH 모델보다 약 9.3%의 네트워크 수명을 연장하였다.

매 라운드 클러스터 형성을 위한 set-up 과정에서 발생하는 제어 메시지수의 평균을 보면 LEACH 모델이 75.8개, Token 모델이 83.1개이며 Token-adjustRSSI 모델에서는 38.2개로 다른 방식보다 에너지 효율적임을 나타내고 있다. Token 모델은 최적의 클러스터 헤드의 수를 보장하여 LEACH 모델보다 균등한 밀도를 가지지만 매 라운드 클러스터 헤드 선정을 위해 사용되는 제어 메시지의 증가와 라운드 후반 전체 노드의 수가 감소되었음에도 불구하고 클러스터 헤드의 수는 5를 유지함으로써 에너지 효율성이 뛰어나지 못했다.

5. 결론

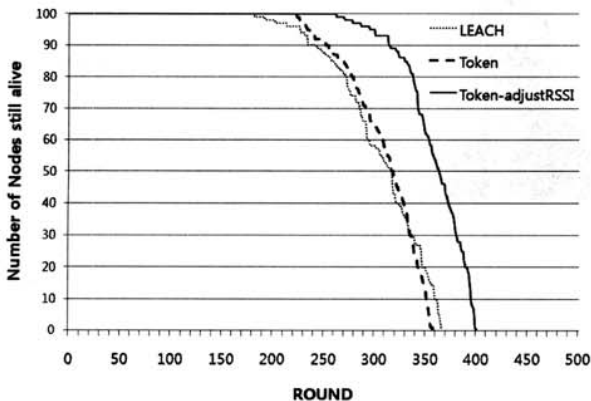
본 논문에서는 클러스터 헤드 토큰을 기반으로 하는 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선정 알고리즘과 클러스터의 밀도의 균등성을 보장하는 클러스터 선택 알고리즘을 제안하였다.

제안 알고리즘은 과밀도의 네트워크 환경에서 클러스터 헤드의 과부하를 줄이고, 클러스터 형성을 위한 set-up 과정에서 오버헤드를 감소시켜 LEACH 모델보다 균등한 에너지 소모를 하고 있으며, 이를 통해 네트워크 수명에서도 약 9.3% 정도의 향상을 보여주었다.

본 논문에서는 불균등한 밀도를 가진 네트워크 환경에서 노드의 균형적인 에너지 소모를 유도하여 전체 네트워크의 수명을 연장하였고 이를 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

그러나 토큰을 사용하는 모델은 라운드 초기 클러스터 헤드의 최적의 수를 보장해주지만 라운드 후반 전체 노드의 수가 감소함에 따른 최적의 클러스터 헤드 수 재설정과 토큰의 재분배 등 추가 연구가 필요함을 보여주었다.

무선 센서 네트워크에서 에너지 효율성은 중요한 네트워크 설계 기준이며 향후 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜뿐만 아니라 무선 환경에서 발생하는 링크에러에 따른 재전송 시 소모되는 에너지를 줄이기 위한 트랜스포트 프로토콜의 개발이 필요하다.



(그림 12) 라운드별 네트워크 참여 노드의 수

**참 고 문 헌**

[1] J. N. Al-Karaki, A. E. Karmal, 'Routing Techniques in wireless sensor networks : A Survey,' *Wireless Communications, IEEE*, Vol.11, No.6, pp.6-28, 2004.

[2] I. F. Akyldiz, W. Su, Y. Sankarusubramaniam, and E. Czirici, 'Wireless sensors networks: a survey,' *Computer Networks*, Vol.38, No.4, pp.393-422, Aug., 2002.

[3] K. Akkaya, M. Younis, 'A survey on routing protocols for wireless sensor networks,' *Ad Hoc Networks*, Vol.3, No.3, pp.325-349, 2005.

[4] S. Bandyopadhyay and E. Coyle, 'An energy efficient hierarchical clustering algorithm for Wireless Sensor Networks,' in *Proc. of INFOCOM 2003*, vol. 3, pp.1713~1723, 2003.

[5] J. Kulik, W. R. Heinzelman, and H. Balakrishnan, 'Negotiation-based protocols for disseminating information in wireless sensor networks,' *Wireless Networks*, Vol.8, pp.169-185, 2002.

[6] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, 'Directed diffusion: a scalable and robust communication paradigm for sensor networks,' *Proceedings of ACM MobiCom '00*, Boston, MA, pp.56-67, 2000.

[7] Y. Xu, J. Heidemann, D. Estrin, 'Geography-informed Energy Conservation for Ad-hoc Routing,' In *Proceedings of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp.70-84, 2001.

[8] Y. Yu, D. Estrin, and R. Govindan, 'Geographical and Energy-Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks,' *UCLA Computer Science Department Technical Report, UCLA-CSD TR-01-0023*, May 2001.

[9] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, 'Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks,' *Proceedings of HICSS*, pp.3005-3014, Jan. 2000.

[10] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, 'An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks,' *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol.1, No.4, pp.660-670, Oct., 2002.

[11] A. Manjeshwar and D. P. Agarwal, 'TEEN: a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks,' In *1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing*, April, 2001.

[12] T. Murata and H. Ishibuchi, 'Performance evaluation of

genetic algorithm for flowshop scheduling problems,' *Proc. 1st IEEE Conf. Evolutionary Computation*, Vol.2, pp.812-817, June, 1994.

[13] J.M. Kim, S.H. Park, Y.J. Han and T.M. Chung, 'CHEF: Cluster Head Election mechanism using Fuzzy logic in Wireless Sensor Networks,' *Advanced Communication Technology*, pp.654-659, 2008.

[14] Yu Hu, Xiaorui Shen, Zhenhua Kang, 'Energy-Efficient Cluster Head Selection in Clustering Routing for Wireless Sensor Networks,' *WiCom '09. 5th International Conference on Networking and Mobile Computing*, Digital Object Identifier 10.1109/WICOM.2009.5303808, 2009.

[15] J.M. Hong, J.J. Kook, S.J. Lee, D.S. Kwon, S.H. Yi, 'T-LEACH: The method of threshold-based cluster head replacement for wireless sensor networks,' *Information Systems Frontiers*, Vol.11, No.5, pp.513-521, 2009.

[16] Z.G. Sun, Z.W. Zheng, S.J. Xu, 'An Efficient Routing Protocol Based on Two Step Cluster Head Selection for Wireless Sensor Networks,' *WiCom '09. 5th International Conference on Networking and Mobile Computing*, Digital Object Identifier 10.1109/WICOM.2009.5303948, 2009.



**이 현 석**

e-mail : jamesjkh@ulsan.ac.kr  
 2001년 울산대학교 금속공학과(학사)  
 2003년 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부  
 (석사)  
 2005년~현 재 울산대학교 컴퓨터정보통신  
 공학부 박사과정

관심분야: 무선센서네트워크, Ad-Hoc 네트워크, 이동통신



**허 정 석**

e-mail : heojs@ulsan.ac.kr  
 1976년 서울대학교 전기공학과(학사)  
 1985년 서울대학교 컴퓨터공학과(석사)  
 1995년 부산대학교 컴퓨터공학과(박사)  
 1986년~현 재 울산대학교 컴퓨터정보통신  
 공학부 교수

관심분야: 무선센서네트워크, 광대역 네트워크, 이동통신