

# 센서 네트워크에서 클러스터 헤드 자가 선출 알고리즘

최경진\* · 정석문\*\*

\*해군사관학교 전기전자공학과

CHS : Cluster Head Self-election algorithm in WSNs

Koung-Jin Choi\* · Suk-Moon Jung\*\*

\*Korea Naval Academy

- e-mail : sting5@navy.ac.kr

## 요 약

센서 네트워크에서 클러스터링은 클러스터 헤드 노드가 일반 노드의 데이터를 모아 싱크로 전송함으로써 노드 간의 통신의 양을 줄이게 하고 일반 노드의 스케줄을 조정함으로써 노드의 슬립타임을 연장하게 한다. 제안하는 CHS(Cluster Head Self-election) 알고리즘은 노드 자신만의 변수 즉, 자신의 초기 에너지 및 현재 에너지, 클러스터 헤드에 의해 병합된 클러스터 내 노드들의 데이터가 싱크로 전송되는 각 라운드, 노드 자신이 클러스터 헤드로 선출된 수를 이용하여 확률적인 방법으로 클러스터 헤드를 스스로 선출하여 에너지가 제한되는 센서 네트워크의 수명을 연장하였다.

## ABSTRACT

Clustering protocol of Wireless sensor networks(WSNs) can not only reduce the volume of inter-node communication by the nodes's data aggregation but also extend the nodes's sleep times by cluster head's TDMA-schedule coordination. In order to extend the network lifetime of WSNs, we propose CHS algorithm to select cluster-head using three variables. It consists of initial and current energy of nodes, round information, and total numbers which have been selected as cluster head until current round

## 키워드

클러스터링, 클러스터 헤드 선출, 에너지 효율성, 확률적인 자가 선출

## 1. 서 론

클러스터 기반의 네트워크 토폴로지(topology)를 구성하고 유지하는 클러스터링(clustering) 기술은 많은 연구가 이루어져 왔다. 에너지 효율성(Energy-efficiency)이 중요한 센서 네트워크에서 클러스터링 기술은 클러스터 헤드(cluster head) 노드가 일반 노드의 데이터를 모아 싱크로 전송함으로써 노드 간의 통신의 양을 줄이게 하고 일반 노드의 스케줄을 조정함으로써 노드의 슬립타임을 연장하게 한다<sup>[1]</sup>. 클러스터링 알고리즘에서 기본적으로 요구되는 사항은 클러스터링 후 모든 노드는 클러스터 헤드이거나 단 하나의 클러스터에 속해야 하고 센서 노드의 에너지 소비를 최소

화하여야 한다<sup>[2]</sup>. 제안하는 CHS 알고리즘은 노드의 에너지가 제한되는 센서 네트워크의 수명 향상을 위하여 3가지 변수값(노드의 초기 및 현재 에너지, 클러스터 헤드에 의해 병합된 데이터가 싱크로 전송되는 각 라운드, 노드 자신이 클러스터 헤드로 선출된 수)을 이용하여 클러스터 헤드를 에너지 효율적으로 선출한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 관련된 클러스터 헤드 선출 기법인 LEACH, EACHS, HEED의 알고리즘에 대하여 알아보고 3장에서 CHS의 확률적인 클러스터 헤드 자가 선출 기법에 대하여 제안한다. 4장에서는 분석 및 시뮬레이션을 통하여 CHS의 성능을 확인하고 5장에서 결론을 도출한다.

## II. 관련 연구

센서 네트워크의 수명 향상을 위해서는 센싱 필드 내의 노드 간 에너지 밸런싱이 필요하게 되어 노드들의 잔여 에너지가 클러스터 헤드 선정에 있어서 가장 중요한 선출 요소가 된다<sup>[3]</sup>. 본 장에서는 선행 연구된 3가지의 클러스터 헤드 선출 알고리즘을 알아본다. 먼저, LEACH는 노드간의 에너지 소모를 균등하게 하여 네트워크 생존 시간을 최대화하기 위해 분산된 환경의 클러스터 구조로 데이터 전송을 수행한다. 클러스터 헤드는 식 (1)의 확률 함수에 의해 결정이 된다<sup>[4]</sup>.

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{k}{N - k * (r \bmod \frac{N}{k})} & : C_i(t) = 1 \\ 0 & : C_i(t) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

식 (1)에서  $i$ 는 노드의 식별자,  $t$ 는 시간,  $N$ 은 전체 노드의 수,  $k$ 는 클러스터 헤드의 수,  $r$ 은 라운드를 나타낸다.  $C_i(t)$ 는 최근  $r \bmod (N/k)$  라운드 동안 자신이 클러스터 헤드였다면 0이고 아니면 1이다. EACHS에서는 모든 노드의 평균 에너지와 자신의 잔여 에너지 외 현재 이전 라운드에서 데이터 전송에 소모된 에너지를 분모 및 분자에 포함시켜 다른 노드보다 에너지가 많으면 클러스터 헤드 선출 확률이 높게 적으면 선출 확률이 작아지게 하는 조정 변수를 두었다<sup>[5]</sup>.

$$CH_{prob} = \frac{P}{1 - \left( (r+1) \bmod \frac{1}{P} \right)} \times \left[ \frac{E_{residual} - E_{dissipate}}{E_{average} - E_{dissipate}} \right] \quad (2)$$

HEED에서는 클러스터 헤드의 선정을 노드 자신의 선출 요소만을 이용하여 클러스터 헤드를 결정하는 알고리즘이 제안되었다<sup>[6]</sup>.

$$CH_{prob} = C_{prob} \times \frac{E_{residual}}{E_{max}} \quad (3)$$

## III. LEC 알고리즘

### 3.1 문제 제기

LEACH에서는 모든 노드가 동일하게 에너지를 소비한다는 가정하에서는 클러스터 헤드 선출 기법이 우수하나 실제 네트워크에서 노드들은 상이한 통신 거리 및 임의의 사건별로 다른 잔여 에너지를 유지하기 때문에 완전히 확률적인 클러스터 헤드 선출 요소만을 도입한 알고리즘으로는 클러스터 헤드를 공정하게 선정할 수가 없다<sup>[7]</sup>. LEACH에서는 이러한 사항을 고려하여 클러스터 헤드 선출시 노드 전체의 현재 에너지와 자신의

현재 에너지를 고려하여 클러스터 헤드를 결정하는 알고리즘을 추가로 제안하였으나 노드 전체의 현재 에너지의 합을 알기 위해서는 추가적인 오버헤드가 필요하다. 또한, EACHS도 모든 노드의 현재의 평균 에너지를 알아야 한다는 제한적인 가정을 전제하고 있다. HEED는 노드 자신의 요소만을 이용하여 클러스터 헤드를 자가 선출한다는 점에서는 우수한 알고리즘이나 모든 노드의 에너지가 유사하게 낮을 때는 클러스터 헤드 선출 확률값에 2배수를 곱할 시 그 값이 1에 도착하는 노드 수가 많아 대부분의 노드가 클러스터 헤드가 될 수 있다는 단점이 있다. 즉, 선행된 3가지의 연구에서는 자신의 현재 에너지에 기초하여 클러스터 헤드를 에너지 효율적으로 선출하는 우수한 클러스터 헤드 선출 알고리즘은 존재하지 않는다.

### 3.2 CHS 알고리즘

제안하는 CHS는 에너지가 제한되는 센서 네트워크의 수명향상을 위하여 다음과 같이 3가지의 변수값을 이용하여 확률적인 방법으로 클러스터 헤드를 스스로 선출한다. 첫째는 노드 자신의 초기 에너지 대 현재 에너지인 노드의 에너지 보유율이다. 둘째는 클러스터 헤드가 선출되고 클러스터 헤드가 클러스터 멤버 노드의 데이터를 병합하여 싱크로 전송되기까지의 시간인 각 라운드이다. 셋째는 노드 자신이 현재 라운드까지 클러스터 헤드로 선출된 수의 합이다. 즉, CHS는 3가지 변수값을 이용하여 노드 자신이 스스로 클러스터 헤드임을 노드들에게 광고한다. CHS의 클러스터 헤드 선출 확률 함수는 식 (4)와 같다.

$$P_i(r) = p \frac{E_{residual}}{E_{initial}} \left( \frac{p\sqrt{r}}{(1 + CH_i \bmod \frac{1}{p})} + x \right) \quad (4)$$

여기서  $p$ 는 클러스터 헤드의 비율,  $E_{initial}$ 는 노드  $i$ 의 초기 에너지,  $E_{residual}$ 은 노드  $i$ 의 잔여 에너지,  $CH_i$ 는 노드  $i$ 가 현재 라운드까지 클러스터 헤드로 선출된 총 수,  $r$ 은 라운드를 의미한다. 식(4)에서 대괄호 좌변 식은 노드가 자신의 현재 에너지에 따라 클러스터 헤드로 결정됨을 의미한다. 하지만 좌변의 식만 존재하면 노드의 에너지가 점점 적어져 클러스터 헤드 선출 확률이 작아지게 되고 어떤 노드도 클러스터 헤드가 될 수 없는 제한점을 가지고 있다. 따라서, 이러한 제한점을 최적으로 보상하기 위해 노드의 현재 에너지가 적어짐에 따라 라운드는 증가하는 특성을 이용하여 괄호 안 식의 분자에 라운드  $r$ 값을 두었으며  $r$ 에 루트를 한 것과  $p$ 를 곱한 것은 보상되는 값이 점진적으로 증가하도록 한 것이다. 마지막으로  $x$ 는 조정 변수로 1이라는 값을 두었다. 즉, CHS는 시간에 따라 점점 줄게 되는 노드의 잔여 에너지를 앞서 설명한 변수값을 이용하여 보상하는 클러스터 헤드 선출 알고리즘이다.

### IV. 분석 및 시뮬레이션

#### 4.1 에너지 소비 모델

CHS의 성능을 확인하기 위해 기존에 제안된 에너지 소비모델을 이용하였다<sup>[3,7]</sup>. L비트 메시지를 거리 d까지 전송하기 위해 소비되는 노드의 에너지와 노드가 L비트 메시지를 수신하기 위해 소비되는 에너지는 식 (5), (6)과 같다.

$$E_{Tx}(l,d) = \begin{cases} LE_{elec} + L\epsilon_{fs}d^2, & d \leq d_0 \\ LE_{elec} + L\epsilon_{mp}d^4, & d > d_0 \end{cases} \quad (5)$$

$$E_{Rx} = LE_{elec} \quad (6)$$

표 1. 에너지 소비 모델 매개 변수

변수	설명	변수	설명
L	비트 메시지	A	M*M 노드 분포
Eelec	회로 에너지 소모	dCH	노드, CH간 거리
EDA	Aggregation 에너지	dSINK	CH, SINK간 거리
efs	자유공간 손실	k	클러스터 헤드 수
emp	다중경로 손실	n	노드 총 수
d0	거리 임계값	ρ	노드 분포

하나의 라운드 동안에 클러스터 헤드와 비 클러스터 헤드 노드에서 소모되는 각각의 에너지는 식 (7)과 같게 된다.

$$\begin{cases} E_{CH} = \left(\frac{n}{k} - 1\right)LE_{elec} + \frac{n}{k}LE_{DA} + LE_{elec} + L\epsilon_{fs}d^{2BS} \\ E_{nonCH} = LE_{elec} + L\epsilon_{fs}d^{2CH} \end{cases} \quad (7)$$

하나의 클러스터 내에서 클러스터 헤드에서 소모되는 에너지와 비클러스터 헤드 노드들에서 소모되는 에너지의 합은 식 (8)과 같다.

$$E_{cluster} = E_{CH} + \left(\frac{n}{k} - 1\right)E_{nonCH} \quad (8)$$

따라서, 정리하면 네트워크에서 소모되는 총 에너지는 식 (9)와 같게 된다.

$$E_{tot} = L \left\{ 2nE_{elec} + nE_{DA} + \epsilon_{fs}(kd^{2BS} + nd^{2CH}) \right\} \quad (9)$$

#### 4.2 성능 비교

CHS가 클러스터 헤드 선출에 있어서 널리 알려진 프로토콜인 LEACH와 비교해서 어떠한 성능을 나타내는지 MATLAB 시뮬레이션을 통하여

확인하였다. 시뮬레이션 매개 변수는 표 2와 같다.

표 2. 시뮬레이션 매개 변수

변수	값	변수	값
노드수	50	CHprob	0.1
M	100m*100m	efs	10pJ/bit/m^2
SINK 위치	(50,50)m	emp	0.0013pJ/bit/m^4
초기 에너지	0.5J	Eelec	50nJ/bit
메시지 길이	4000bit	EDA	50nJ/bit/report

모든 노드의 초기 에너지가 동일한 환경에서 LEACH 프로토콜과 네트워크 수명을 비교하였다.

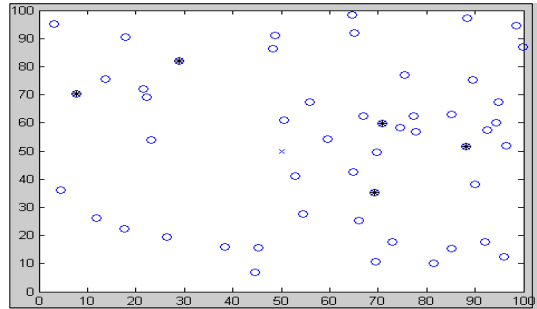


그림 1. 노드 배치 형태

구성되는 노드 배치 형태는 그림 1과 같으며 싱크(x), 클러스터 헤드(\*), 일반 노드(o), DEAD 노드(.)로 구성이 된다.

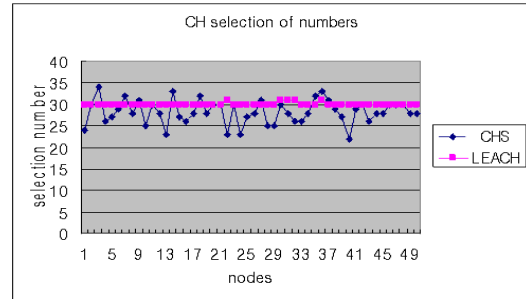


그림 2. 노드별 클러스터 헤드 선출 수

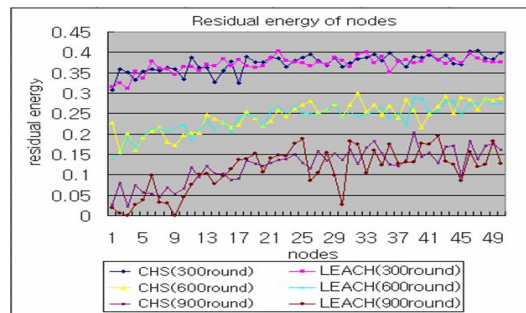


그림 3. 노드별 현재 에너지

그림 2에서 LEACH는 노드별로 공정한 클러스터 헤드 수를 보장하고 CHS는 30주위로 클러스터

터 헤드가 분포됨을 알 수가 있다. 다시 말하면, LEACH는 완전히 확률적인 요소만을 이용하여 노드별로 매우 일정하게 클러스터 헤드를 선출하고 있는 것이다. 그림 3에서 노드별 현재 에너지를 보면 라운드가 300에서 900으로 증가함에 따라 CHS에 비해 LEACH에서 많은 노드가 현재 에너지가 0인 상태에 먼저 근접함을 확인할 수가 있다. 다시 말하면, CHS가 LEACH에 비해 네트워크 전체 수명이 더 길어진다는 것을 예측할 수 있다.

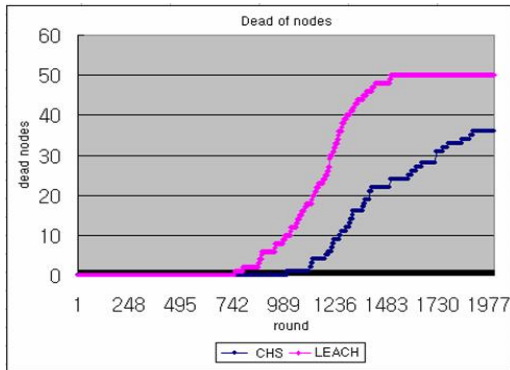


그림 4.라운드 대비 DEAD 노드 수

표 3.노드의 생존 비율

구분	LEACH	CHS	수명
FD	756	1009	+ 33 %
HD	1192	1591	+ 34 %

그림 4는 라운드별 DEAD 노드 수를 나타내며 표3을 이용하여 상세히 설명한다. 센서 네트워크에서 모든 노드가 살아있는 경우는 가장 안정적으로 네트워크가 구성되기 위한 환경이다. 본 저자는 첫 노드의 배터리가 소진되는 라운드를 FD(First Dead)라 하였고 전체 노드 중 절반의 노드가 생존하고 있는 라운드를 HD(Half Dead)로 명명하였다. 다시 말하면, FD 발생 전까진 네트워크 구성 환경이 매우 안정적인 기간이고 FD에서 HD로 갈수록 불안정해지는 기간인 것이다. 즉, 그림 4에서 노드의 생존 비율을 표 3으로 나타내면 첫 노드의 배터리가 소진되는 라운드는 LEACH는 756이고 CHS는 1009이다. 그리고, LEACH에서 전체 노드 중 절반의 노드가 죽기 시작하는 라운드는 1192이며 CHS는 1591로 CHS가 더 긴 네트워크 수명을 가진다는 것을 알 수 있다.

### V. 결 론

CHS는 클러스터 헤드 선출에 있어 노드 자신의 정보만을 이용한다. 다시 말하면, 클러스터 헤드 선출 매 라운드마다 전체 노드의 에너지를 알 필요가 없다. 이러한 점에서 2, 3장에서 살펴 본

클러스터 헤드 선출 알고리즘과 다른 특징이 있으며 성능에 있어서도 노드 자신의 잔여 에너지, 시간에 따라 증가하는 라운드값, 자신이 클러스터 헤드가 된 수를 기반으로 클러스터 헤드를 자가 선출함으로써 네트워크 수명을 향상하였다. 따라서, 제안하는 CHS 알고리즘은 에너지가 제한되는 무선 센서 네트워크의 수명 향상을 위한 클러스터 헤드 선출 기법으로 효과적으로 적용될 것으로 기대된다. 차후에는 CHS 알고리즘을 이용하여 에너지를 절약하는 최적 클러스터 헤드 수 계산 및 각종 선출 변수값에 따른 에너지 효율성 분석에 대한 연구가 필요하다.

### 참 고 문 헌

- [1] N. Vljacic, D. Xia, "Wireless Sensor Networks : To Cluster or Not To Cluster?", International Symposium on a World of Wireless, 2006
- [2] Lee sang hak, Kimdae hwan, Yu jun jae, "Ubiquitous sensor network technic trend", Korea Internet information institute paper, pp. 97-107, 2005
- [3] Manjeshwar, A.Agrawal, D.P, "TEEN : a routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks", Parallel and Distributed Processing Symposium, April 2001
- [4] Heinzelman, W.B, Chandrakasan, A.P, Balakrishnan, H, "An application-specific protocol architecture for wireless micro sensor networks", IEEE Transactions on Volume 1, Issue 4, pp. 660-670, Oct. 2002
- [5] Liang Ying, Yu Haibin, "Energy Adaptive Cluster-Head Selection for Wireless Sensor Networks", Proceedings of the Sixth International Conference on Parallel and Distributed Computing Applications and Technologies, pp. 634-638, December 2005
- [6] Younis. O, Fahmy. S, "HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for adhoc sensor networks", Mobile Computing, IEEE Transactions on Volume 3, pp. 366-379, Oct.Dec. 2004