

# 무선센서 네트워크에서의 에너지 효율적인 클러스터링에 의한 라우팅 알고리즘★

이충세\*

## 요 약

최근 무선 센서 네트워크에서 센서 노드의 에너지 효율성을 향상시켜 네트워크의 수명을 향상시키는 라우팅 기법의 연구가 많이 수행되고 있다. 무선 센서 네트워크는 제한된 에너지 및 하드웨어 성능 때문에 배터리, 메모리 및 프로세서 등 모든 자원을 효율적으로 사용해야 하며, 이를 위해 관련 통신 프로토콜도 저-전력 소모를 달성할 수 있도록 설계하고 구현해야 한다. 센서 네트워크에 많이 사용되는 LEACH, HEED 등과 같은 클러스터 기반의 라우팅 방식들은 클러스터 헤더들과 해당 멤버 노드들 간의 데이터 전달을 통하여 에너지의 효율성을 얻는다. 이 논문에서는 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 클러스터 라우팅 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 이용하여 성능 결과를 제시한다.

## An Energy Efficient Routing Algorithm Based on Clustering in Wireless Sensor Network

Chung-Sei Rhee\*

### ABSTRACT

Recently, a lot of researches have been done to increase the life span of network using the energy efficient sensor node in WSN. In the WSN environment, we must use limited amount of energy and hardware. Therefore, it is necessary to design energy efficient communication protocol and use limited resources. Cluster based routing method such as LEACH and HEED get the energy efficient routing using data communication between cluster head and related member nodes. In this paper, we propose an energy efficient routing algorithm as well as performance result using simulation.

**Key words : WSN, Clustering, LEACH, Head and Sink, Simulation, Energy, Protocol routing**

---

접수일(2016년 3월 2일), 게재확정일(2016년 3월 15일)

---

\* 충북대학교 소프트웨어학과  
컴퓨터 정보 통신 연구소 연구원

★ 본 논문은 2015년도 충북대학교 학술연구지원 사업의 연구비에 의하여 연구 되었음.

## 1. 서론

무선 센서 네트워크 (Wireless Sensor Network)는 주위 환경을 감시하고 데이터를 수집하는 목적으로 개발된 다양한 응용이 가능한 기술로써, 자연 환경에서 야생 동물의 서식지 모니터링, 물류/재고 관리 분야, 군사 지역이나 보안 지역에서의 침입 탐지, 전투 지역 관리 분야 및 의료 모니터링 등 다양한 분야에 걸쳐 연구가 진행되고 있다.[1,2] 센서 노드들은 주변 현상을 인식하고, 측정된 데이터를 기지국에 전송하며 기지국에서는 수집된 데이터를 분석한다. 센서 노드는 온도, 습도, 조도 등의 물리량을 감지할 수 있는 센서와 데이터 처리 및 무선 통신 기능을 포함하는 방법으로 이루어져 있다. 일반적으로 무선 센서 네트워크는 광범위한 지역에 수많은 센서 노드들이 배치하여 생성하고, 과학 의학 군사, 그리고 상업적 등 다양한 분야에 적용할 수 있다.

무선 센서 네트워크에서 고려해야 할 중요한 요소 중에 하나는 에너지 효율이다. 보통 센서 노드들은 사람이 접근하기 힘든 환경에 설치되어 동작하고, 노드의 소형화를 위해 제한된 용량의 배터리를 사용한다. 바꾸어 표현하면, 센서 노드의 배터리 교환이 어렵기 때문에 센서 네트워크의 에너지 효율은 네트워크의 전체 수명에 직접적인 영향을 미친다. 이러한 문제를 해결하기 위해 효율적인 알고리즘의 연구가 필요하다.

최근까지의 연구된 기법들은 에너지 효율성을 높이기 위하여 다양한 프로토콜들이 제시하고 있다. 이러한 프로토콜 중에서 네트워크 라이프 타임, 네트워크 확장성 그리고 로드 밸런스를 위한 프로토콜 방법으로 클러스터링 기법들이 있다. 클러스터링 기법은 네트워크를 작은 부분으로 분할하여 관리하는 프로토콜 기법이다. 대표적인 클러스터링 알고리즘은 LEACH이다.[4, 5]

이 논문에서는 대표적인 클러스터 알고리즘인 LEACH 알고리즘의 단점을 보완하고 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 클러스터 라우팅 알고리즘을 제안한다. 제안한 에너지 효율적인 클러스터 라우팅 알고리즘은, LEACH기법의 존재하는 3가지 문제점인 클러스터 형성과정 클러스터 헤더 선출방식 그리고 클러스터간의 통신 방식의 단점을 보완한다.

## 2. 관련 연구

센서 네트워크의 클러스터링 알고리즘은 노드들이 많이 존재하고 무작위로 설치된 센서 노드들을 계층적으로 연결한 클러스터 헤드와 클러스터 멤버로 구성된 클러스터 단위의 통신 방법이다. 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜의 대표적인 연구는 LEACH, LEACH-C, TEEN, HEED, 등이 있다.

LEACH는 노드간의 에너지 소모를 균등하게 하게 하여 네트워크 생존 시간을 최대화하기 위해 분산된 환경의 클러스터 구조로 데이터 전송을 수행한다. 클러스터 헤드는 식(1)의 확률 함수에 의해 결정한다.

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

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  $r \bmod N/k$  라운드동안 자신이 클러스터 헤드였다면 0이고 아니면 1이다. 노드들의 잔여 에너지가 시간에 따라 큰 차이를 보이는 반응적 네트워크 환경 하에서는 식(2)의 확률함수로 클러스터 헤드를 결정한다.

$$P_i(t) = \min \left\{ \frac{E_i(t)}{E_{total}(t)}, k, 1 \right\} \quad (\text{식 2})$$

HEED(Hybrid Energy-Efficient Distributed Clustering Approach) 프로토콜은 클러스터 헤드를 선출하기 위해 개별 노드 자신의 인자만을 이용한다는 점에서 클러스터의 선출 기법으로 효율적이다. 클러스터 헤드 선출 시에 사용되는 식은 멤버노드들이 가진 잔여 에너지를 이용하며 식(3)과 같은 확률 함수를 정의한다.

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

$E_{max}$ 는 멤버 노드가 가진 초기 에너지,  $E_{residual}$ 는 멤버 노드의 현재 잔여 에너지,  $C_{prob}$ 는 전체 네트워크 노드 중 클러스터 헤드의 비율(5%)을 의미한다. HEED 프로토콜 알고리즘은 초기의  $C_{prob}$ 와  $P_{min}$  값 중에서 큰 값으로 시작하여  $CH_{prob}$ 이 1이 될 까지  $CH_{prob}$ 에 2를 곱하거나 1이 된 이웃 노드들로부터 메시지를 수신할 때까지 반복하여 클러스터 헤드를 선출하도록 한다. 이것은 모든 노드들의 에너지를 알 필요 없이 오직 노드 자신의 인자만을 이용하여 클러스터 헤드를 선출할 수 있으며, 일정 반복 횟수를 수행한 후 종료되는 장점을 가지고 있다.

### 3. 클러스터 라우팅 알고리즘

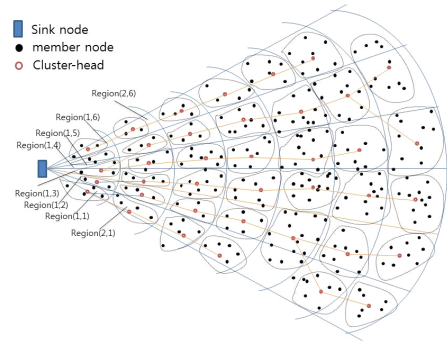
무선 센서네트워크에서 에너지를 더 효율적으로 사용하고 네트워크 생존 시간을 연장하기 위하여 이 논문에서는 대표적인 클러스터 알고리즘인 LEACH에 대하여 분석하고 이 알고리즘의 단점을 보완하고 에너지를 효율적으로 사용할 수 있는 클러스터 라우팅 알고리즘을 제안한다.

첫째, 클러스터 형성은 싱크 노드와 센서노드사이의 거리에 근거하여 전체 네트워크를 여러 개의 구역으로 나눈다. 각각의 센서노드는 모두 지정된 구역의 지역 표(region flag)를 가지고 있으며, 이로 인해 전체 네트워크에서 대체적인 위치를 확인할 수 있다. 둘째, 하이브리드 클러스터 헤더 노드 선출 방법을 취하여 에너지 절약 목표에 도달한다. 셋째, 클러스터간의 통신은 멀티 홉 라우팅 프로토콜을 사용한다.

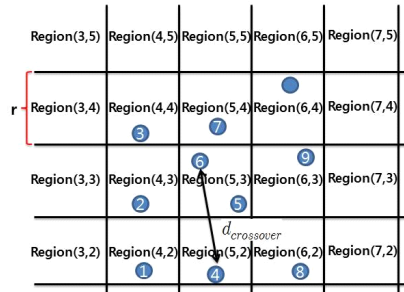
#### 3.1 네트워크 구역 분류

이 연구에서는 다중 경로 채널 방식보다는 자유 공간 채널 방식을 사용한다. 자유 공간 채널 방식을 사용하려면 우선 각 노드간의 최장통신 거리를 설정해야 한다. 즉  $d_{crossover}$ (cross-over distance)을 그림 1과 같이 전체 네트워크를 여러 개 구역으로 나누어 매개 구역에 지역 표를 정해준다. 또한 그림2와 같이 클러스터 헤더가 클러스터 헤더 6과 통신을 하려면

두 노드간의 거리가 정해진  $d_{crossover}$ 보다는 작아야 하며, 만약에  $d_{crossover}$  값이 두 구역간의 최장 거리인 대각선 값이면 두 구역간의 노드는 자유 공간채널 방식(Free space channel model) 전파방식으로 통신을 할 수가 있다. 그러므로 구역을 나눌 때 되도록 정사각형으로 나눈다. 각 구역의 변의 길이  $r$ 은  $d_{crossover}/\sqrt{5}$ 로 해야 한다. [11]



(그림 1) 제안하는 알고리즘의 토폴로지



(그림 2) 클러스터 간 통신

#### 3.2 클러스터 헤더 노드 선출 방법

모든 센서 노드들은 이 메시지를 받은 후 그 중에서 유용한 정보만 선택한다. 또한 각 멤버 노드들의 정보에 근거하여 자기가 갖고 있는 정보를 클러스터 헤더 노드에 전송하는 타임 슬롯을 알 수 있다. 그리고 타임 슬롯 외에는 에너지 소모를 감소하기 위해 수면 상태에 들어간다. 매 라운드마다 클러스터 헤더 노드를 선출하기 위하여 모든 노드가 싱크 노드에게

메시지를 보내야 한다. 그러므로 많은 에너지를 소모하게 된다. 첫 라운드에서는 선택된 클러스터 헤더 노드가 싱크 노드를 대신하여 매 라운드 마다 뉴 클러스터 헤더 노드를 선출한다. 이런 방법으로 많은 에너지를 절약할 수 있다.

Generate *Random Number*;

Calculate  $T_i$  for all nodes in Network;

If  $R < T_i$  {

Select as a new Header;

Broadcast cluster header leveling;

}

else

{

Register as a temporary cluster head;

add 1 in cluster leveling message and re-broadcast;

}

(표 1) Cluster Head Selection 알고리즘

### 3.3 전파 범위의 데이터 전송 기법

이 논문에서 제안하는 데이터 전송기법은 전송경로 선정과 데이터 전송과정을 교차하여 수행하는 통합 라우팅 기법을 사용한다. 라우팅에는 클러스터 내부에서의 데이터 전송과 클러스터 외부로의 데이터 전송 부분으로 나눈다. 클러스터 내부의 데이터 전송은 일반노드가 감지한 데이터를 자신이 속한 클러스터 헤더에 전송하는 것을 그리고 외부에서의 데이터 전송은 클러스터 헤더가 클러스터 내의 여러 노드들이 감지한 데이터들을 병합한 결과를 중간 노드를 이용하여 전송하는 과정을 나타낸다.

## 4. 실험 및 성능 평가

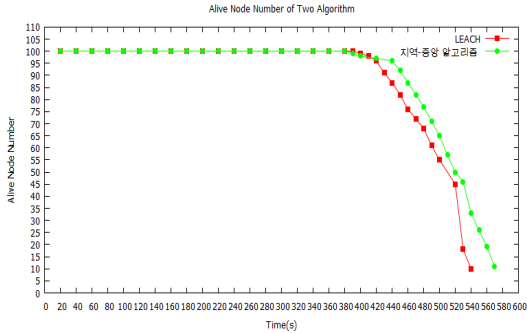
제안한 클러스터 라우팅 알고리즘과 LEACH 알고리즘을 비교한 결과를 시뮬레이션을 통하여 분석한다.

### 4.1 시뮬레이션 환경

제한하는 클러스터 라우팅 알고리즘을 기존의 LEACH방식과 성능을 분석하기 위하여 NS-2 시뮬레이션을 사용하여 구현하였고, 100m x 100m 의 네트워크 크기에 100개의 센서노드를 임의로 배치하였으며, 싱크 노드는 가로 50m 세로 175m 지점에 위치한다. 제안한 클러스터 라우팅 알고리즘과 LEACH알고리즘은 에너지를 가장 많이 보유한 노드를 클러스터 헤더 노드로 선정한다.[13]

### 4.2 시뮬레이션 결과 및 성능 분석

LEACH과 제한하는 알고리즘은 에너지 효율을 목표로 서로 다른 클러스터 헤더 전환방식을 사용하여 네트워크의 각 노드의 에너지 소모량을 균형화 시킨다. 두 알고리즘은 클러스터 헤더 노드를 통하여 데이터를 압축하고 병합하는 방식으로 데이터 전송량을 제한하여 에너지 소모를 줄인다. 클러스터 헤더는 병합된 데이터를 다음 홉을 통하여 싱크 노드에게 전송한다. 알고리즘은 구역을 나누는 방식으로써 클러스터 간의 라우팅 거리를 제한하는데 그 목적은 클러스터 간의 라우팅을 자유 공간 채널 방식으로 에너지를 절약한다. 데이터 전송량과 데이터 전송거리를 제한하는 것을 통하여 제안한 알고리즘은 에너지 소모량을 효율적으로 감소시킨다. 두 번째 라운드부터 노드들은 제어 알고리즘을 통하여 다시 클러스터를 형성하는데 이 방법은 매 라운드마다 모든 노드들이 정보를 싱크 노드에게 전송하는 LEACH 알고리즘에 비해 불필요한 에너지 소모를 감소시킨다. LEACH 알고리즘의 분산(distributed) 클러스터 헤더 선출 방법과 비교했을 때, 제한하는 알고리즘은 분산 클러스터 형성방법에서의 비용절감 이점을 가지고 있을 뿐만 아니라 중앙화에 의해 클러스터 헤더를 균등하게 분포 시키는 이점도 가지고 있다. 또한 통신이 필요한 두 클러스터 간의 통신거리가  $d_{crossover}$  를 초과하지 않으므로 에너지를 절약하고 전체 네트워크의 생존 기간을 연장시킨다.



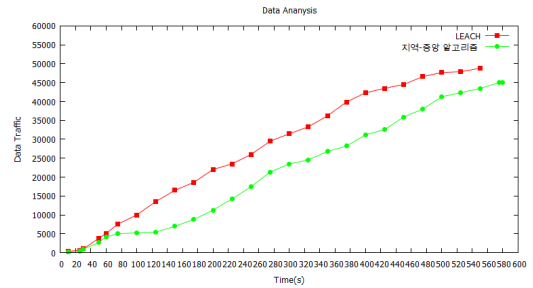
(그림 3) 생존 노드 수의 비교

(그림 3)는 시간에 따라 변경 되는 생존 노드의 수를 비교한 그래프이다. 그림 5와 같이 LEACH과 제안한 알고리즘의 불능 노드가 처음 발생하는 시점은 각각 400초, 390초였고, 마지막 생존 노드가 발생하는 시점은 각각 540초, 578초에 발생하였다. 이것은 전체 센서 네트워크의 생존 시간을 지역-중앙 알고리즘이 LEACH 알고리즘과 비교하면 7% 정도 향상된 것을 보이고 있다. 기존 LEACH에 비해 전체 노드들의 클러스터 헤더 선출단계에서 사용되는 불필요한 에너지를 감소시킴으로써 전체 에너지 효율을 높일 수 있었다. 비록 LEACH 알고리즘에 비해 지역 중앙 알고리즘은 먼저 불능 노드가 발생했지만 시간이 흐름에 따라 생존 노드가 많이 분포되어 중첩된 멤버 노드들의 누적된 에너지로 안정 단계에서 효율적으로 사용되는 것을 확인할 수 있다.

<표 2> 시뮬레이션 시간에 따른 생존 노드의 수의 변화

Time(s)	제안한 알고리즘	LEACH	Improvement(%)
350	100	100	0
400	99	100	-0.01
450	92	82	10.0
500	66	54	12.0
540	35	11	24.0

시뮬레이션을 총 50번 반복하여 네트워크가 동작하는 동안 특정 시뮬레이션 시각에서 생존 센서노드의 평균적인 개수를 계산하였다. LEACH와의 비교결과 평균적으로 11.5%, 최대 24%의 성능향상을 확인 하였으며 [표2]을 이용하여 제안한 알고리즘의 시뮬레이션 결과와 LEACH 알고리즘과의 결과를 비교하였다.



(그림 4) 두개의 알고리즘의 데이터 통신량

센서 노드에서 보낸 데이터가 기지국까지 도달하는 데이터 전송량을 실험하였다. 그림 4을 보면 같은 시간 때 LEACH 알고리즘의 데이터 전송량과 제안한 클러스터 라우팅 알고리즘의 데이터 전송량은 다르며 전체적으로 보았을 때 제안한 알고리즘의 데이터 전송량은 LEACH 알고리즘의 데이터 전송량에 비해 약 31% 적다. 데이터 전송량이 적기 때문에 오랜 시간 동안 노드가 생존해 있고, 노드의 생명이 증가한 것은 전체 네트워크의 생존 주기를 연장 하는 것과 같다. 그 이유는 두 알고리즘의 라운드 구조 때문이다. 제안하는 클러스터 라우팅 알고리즘은 클러스터 헤더 선출 단계에서 에너지 임계값을 이용하여 센서 노드를 필터링 (Filtrated out)한다. 그러므로 데이터 전송량이 많이 감소되며 에너지 소모를 많이 감소시킨다.

## 5. 결론

이 논문에서는 무선센서 네트워크에서 에너지를 효율적으로 사용하여 전체네트워크의 생존 시간을 연장하는 연구를 수행하였다. 무선센서 네트워크에서 대표적 클러스터 알고리즘인 LEACH를 살펴보고 LEACH 알고리즘의 단점을 보완하고 에너지를 효율적으로 사

용할 수 있는 클러스터 라우팅 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션의 분석결과에서 알 수 있듯이 제안하는 클러스터 라우팅 알고리즘이 기존의 LEACH 알고리즘에 비해 네트워크 라이프 타임을 7.8% 연장하였을 뿐만 아니라 데이터 전송량을 평균 28% 줄여 에너지 소모를 최대한 줄이는 효과를 보여주고 있다.

## 참고 문헌

- [1] I.Akyildiz et. al., "A survey on Sensor Networks," IEEE Comm. Mag., vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Aug 2002
- [2] S. Bandiopadhyay and E. J. Coyles, "An Energy Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for WSN," Proc. of IEEE INFOCOM, pp. 1713-1723, 2003
- [3] K. Akkaya and M. Younis, "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," Ad Hoc Network, Vol 3, pp. 325-349, 2005.
- [4] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Network," proc of the IEEE wireless Communication, vol. 1, pp. 660-670, Oct, 2002
- [5] V. Raghunathan, C. Schurgers, S. Park and M. Srivastava, "Energy Aware Wireless Microsensor Networks," IEEE Signal Processing Magazine, 19 (2) : 40-50, March, 2002
- [6] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," Proc. of the Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 1-10, January, 2000.
- [7] 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, no. 4, pp. 366-379, Oct. 2004.
- [8] O. Buyanjargal, Y. Kwon, "Adaptive and Energy Efficient Clustering Algorithm for Event-Driven Application in Wireless Sensor Networks (AEEC) ", Journal of Networks, Vol. 5, no. 8, pp. 904-911, Aug, 2010.
- [9] A. Manjeshwar, D.P. Agrawal, "TEEN : A routing protocol for enhanced efficiency in wireless sensor networks," Parallel and Distributed Processing Symposium, Proc. 15th International 23-27, pp. 2009-2015, Apr, 2001.
- [10] W. Heinzelman. "Application-Specific Algorithm Architectures for Wireless Network." Ph. D. thesis, MIT 2000.
- [11] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin. "Geography-informed energy conservation for ad hoc Routing." In the Proc of the 7th Annual ACM/IEEE Inter Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom'01). Rome, Italy, July 2001, pp. 70-84.
- [12] Kyoung-Jin Choi, "ECS: Energy Efficient Cluster-head Selection algorithm in WSN", Journal of The KICS vol. 32, no. 6, pp. 342-349, Jun. 2007
- [13] H. Chan, A. Perrig. "ACE: An Emergent Algorithm for Highly Uniform Cluster Formation. Proc. First European Workshop Sensor Networks (EWSN), volume 2920 of LNCS. Springer, Berlin, Germany, pp. 154-171, January, 2004

————— [저자 소개] —————



**이 충 세 (Chug-Sei Rhee)**

1973년 2월 학사

1979년 8월 석사

1990년 5월 박사

email : [csrhee@cbu.ac.kr](mailto:csrhee@cbu.ac.kr)