

# 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율성을 고려한 센서 노드 제어

박희동  
나사렛대학교 정보통신학과

## Sensor Node Control Considering Energy-Efficiency in Wireless Sensor Networks

Hee-Dong Park

Dept. of Information & Communication, Korea Nazarene University

**요약** 무선 센서 네트워크의 수명 및 성능은 각 센서 노드들의 에너지 효율과 밀접한 관련이 있다. 본 논문에서는 센서 노드의 에너지 효율을 높이기 위해 센서 노드의 동작 상태를 정상, 절전, 및 비활성 모드로 나눈다. 정상 모드로 동작하는 센서 노드는 정상 주기로 센싱 및 데이터 전송을 하지만, 절전 모드에서는 그 주기를 늘임으로써 에너지 소비를 줄인다. 센싱 및 데이터 전송을 하지 않는 비활성 모드에서는 에너지 소비가 최소화된다. 또한, 제안 알고리즘은 센싱 데이터가 이전의 값과 동일할 경우 전송을 하지 않음으로써 불필요한 에너지 소비를 줄일 수 있다. 제안 알고리즘은 Tiny OS 기반의 ZigbeX 플랫폼에 구현되었으며, NS-2를 사용하여 그 성능을 분석하였다. 성능 분석 결과 제안 알고리즘이 전체 센서 노드의 에너지 소비 및 그 표준편차를 효율적으로 줄임으로써 무선 센서 네트워크의 수명을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

**주제어** : 무선 센서 네트워크, 에너지 효율, 정상 모드, 절전 모드, 비활성 모드

**Abstract** The life-time and performance of a wireless sensor network is closely related to energy-efficiency of sensor nodes. In this paper, to increase energy-efficiency, each sensor node operates in one of three operational modes which are normal, power-saving, and inactive. In normal mode sensor nodes sense and transmit data with normal period, whereas sensor nodes in power-saving mode have three-times longer period. In inactive mode, sensor nodes do not sense and transmit any data, which makes the energy consumption to be minimized. Plus, the proposed algorithm can avoid unnecessary energy consumption by preventing transmitting duplicate sensed data. We implemented and simulated the proposed algorithm using Tiny OS based ZigbeX platform and NS-2, respectively. Performance evaluation results show that the proposed algorithm can prolong sensor networks' lifespan by efficiently reducing energy consumption and its standard deviation of all sensor nodes.

**Key Words** : Wireless sensor network, Energy-efficiency, Normal mode, Power-saving mode, Inactive mode

Received 31 December 2013, Revised 7 February 2014  
Accepted 20 February 2014  
Corresponding Author: Hee-Dong Park(Korea Nazarene University)  
Email: hdpark@kornu.ac.kr

ISSN: 1738-1916

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

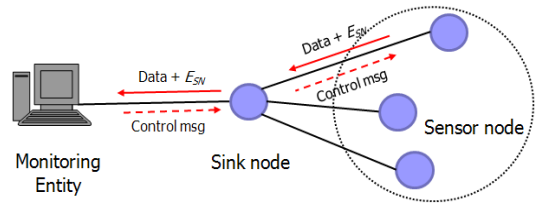
무선 센서 네트워크의 수명을 향상시키기 위해서는 배터리와 같은 제한된 에너지를 갖는 각 센서 노드들의 에너지 소비 효율을 높이는 것이 매우 중요하다 [1, 2]. 센서 노드의 에너지 소비는 주로 센싱, 프로세싱, 및 전송 과정 중에 일어나는데, 그 중에서도 RF 전송 및 수신 과정에서 가장 많은 에너지 소비가 발생한다 [3, 4]. 따라서 패킷 사이즈를 줄이거나 데이터 송수신 횟수를 줄이는 등 센서 노드의 에너지 소비를 줄이고 에너지 사용 효율을 높이기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다 [5, 6, 7, 8, 9, 10]. 각 센서 노드의 에너지 사용 효율을 높이는 것과 더불어 무선 센서 네트워크의 수명을 향상시키기 위해서는 전체 센서 노드들의 에너지 소비가 골고루 일어나도록 조절하는 것이 필요하다. 특히 센서 노드들이 넓은 지역에 걸쳐 분포할 경우에는 특정 센서 노드들의 에너지가 먼저 소진되어 전체 네트워크의 수명 및 성능을 저하시킬 수 있으므로 에너지 소비량의 표준편차를 줄임으로써 전체 네트워크의 수명 및 성능을 높일 수 있는 기술 개발이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 무선 센서 네트워크를 구성하는 각 센서 노드의 에너지 소비량 및 그 표준편차를 줄임으로써 전체 네트워크의 수명 및 성능을 향상시킬 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

## 2. 제안 알고리즘

Fig. 1은 제안 방안의 시스템 구성을 나타내는데, 각 센서 노드는 자신의 잔존 에너지량을 센싱 데이터와 함께 싱크 노드를 거쳐 네트워크 모니터링 개체 (Monitoring entity)에게 보고한다. 각 센서 노드로부터 잔존 에너지량을 보고 받은 모니터링 개체는 그 값을 전체 센서 노드들의 평균 잔존 에너지량과 비교하여 센서 노드의 동작 모드를 결정한 후 센서 노드가 해당 동작 모드로 동작할 수 있도록 제어 메시지를 전달한다.

제안 알고리즘은 센서 노드의 동작 상태를 정상 (Normal), 절전 (Power-saving), 및 비활성 (Inactive) 모드로 나눈다. 네트워크 모니터링 개체가 센서 노드의 동작 모드를 결정하는 알고리즘은 Fig. 2에서와 같다. 센서



[Fig. 1] System architecture of the proposed scheme

노드의 잔존 에너지 ( $E_{SN}$ ) 크기가 모든 센서 노드의 평균 잔존 에너지 ( $E_{avg}$ )보다 클 경우에는 정상 모드로 동작하고, 반대로 작을 경우에는 절전 모드로 동작함으로써 모든 센서 노드들이 골고루 전력을 소비하게 된다. 단,  $E_{SN}$ 이 미리 정해진 문턱치 값 ( $E_{th}$ )에 도달하면 비활성 모드로 동작하여 자신의 전력소모를 최소화한다.

```

if( $E_{SN} \geq E_{avg}$ )
    mode ← normal
else if( $E_{th} < E_{SN} < E_{avg}$ )
    mode ← power_saving
else
    mode ← inactive
    
```

[Fig. 2] Sensor node's operation mode decision algorithm

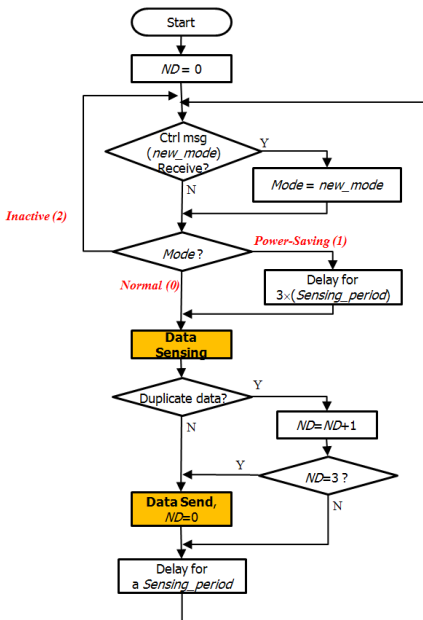
Table 1은 센서 노드의 세 가지 동작 모드에서 각각의 센싱 및 데이터 전송 주기를 보여 준다. 절전 모드에서는 정상 모드에 비해 3배의 센싱 및 데이터 전송 주기를 가지므로 그만큼 에너지 소모가 줄어든다. 비활성 모드에서는 MCU가 센싱 및 데이터 전송을 하지 않는 휴지 (Sleep) 상태에 있으므로 에너지 소모가 최소화된다.

<Table 1> Comparison of sensor node's operation modes

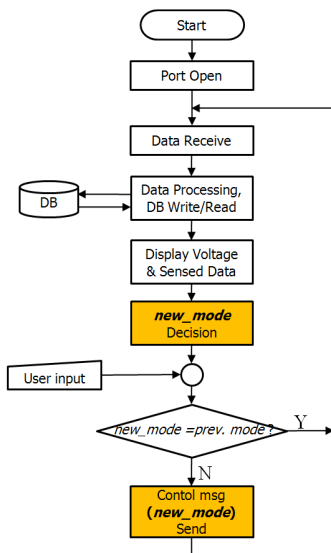
Operation modes	Sensing & transmission period
Normal	T
Power-saving	$3 \times T$
Inactive	Not applicable

제안 알고리즘에서는 센서 노드의 센싱 값이 이전의 값과 같거나 비슷할 경우가 많다는 점을 이용하여 센서 노드의 에너지 소모를 더욱 줄일 수 있다. 즉 센싱 데이

터가 이전의 그것과 동일할 경우 데이터 전송을 하지 않  
는데, 센싱 데이터의 시간적 중복성이 높은 환경일수록  
RF 전송에 의한 에너지 소비 감소 효과는 더욱 커진다.



[Fig. 3] Sensor node's operation algorithm



[Fig. 4] Monitoring entity's operation algorithm

Fig. 3 및 4는 각각 센서 노드 및 모니터링 개체의 전  
체 동작 알고리즘을 나타낸다. Fig. 3에서 알 수 있는 바  
와 같이, 센서 노드의 동작 모드는 모니터링 개체의 제어  
메시지에 의해서 결정되며, 센싱 데이터가 이전의 것과  
중복일 경우에는 최대 3회까지 싱크 노드로의 RF 전송을  
연기할 수 있다. 따라서 절전 모드로 동작하는 센서 노드  
의 센싱 값이 이전의 값과 다를 경우에는 정상 모드에 비  
해 3배의 주기로 RF 전송을 수행하지만, 센싱 데이터가  
중복일 경우에는 전송 주기가 최대 9배로 늘어나 RF 전  
송에 의한 에너지 감소를 더욱 줄일 수 있다. 그러므로  
제안 알고리즘에 의해 전체 센서 노드의 에너지 소비 및  
그 표준편차를 줄일 수 있어 전체 네트워크 수명 및 성능  
을 향상시킬 수 있다.

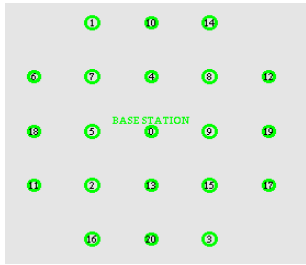
### 3. 성능 평가 및 구현

#### 3.1 성능 평가

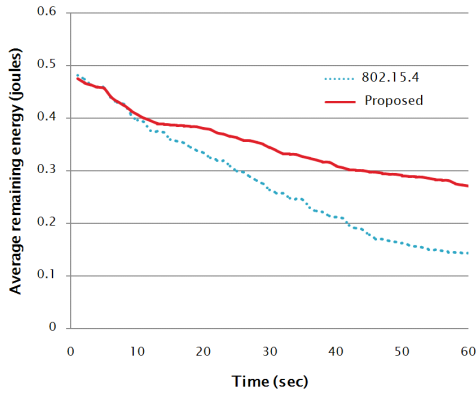
본 논문에서는 NS-2를 이용하여 제안 알고리즘과 일  
반적인 IEEE 802.15.4의 성능을 비교 평가하였다. Table  
2 및 Fig. 5는 모의실험에 사용된 파라미터 및 토폴로지  
를 각각 나타낸다. 모의실험의 주요 평가 사항은 센서 노  
드들의 잔존 에너지량 평균 및 표준편차이며, 센싱 데이  
터의 30%는 이전의 센싱 값과 1회 중복, 또 다른 30%는  
2회 중복이 발생하지만, 나머지 40%의 센싱 데이터는 이  
전와 다른 것으로 가정하였다.

<Table 2> Simulation parameters

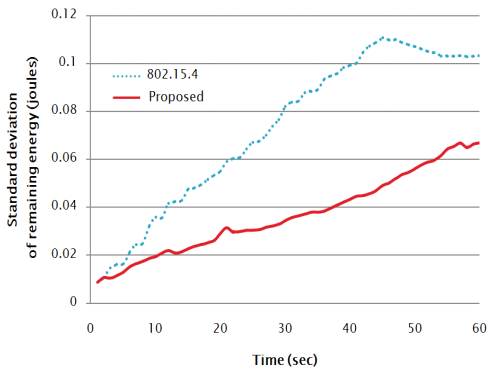
Parameters	Values
MAC	IEEE 802.15.4
Routing protocol	AODV
Network size	50m × 50m
Number of sensor nodes	20
Normal sensing period (T)	3 sec
Packet size	30 bytes
Simulation time	60 sec
Initial Energy	0.5 Joules
TxPower	0.4 W
RxPower	0.3 W



[Fig. 5] Simulation topology



[Fig. 6] Average of remaining energy



[Fig. 7] Standard deviation of remaining energy

Fig. 6 및 7은 센서 노드들의 잔존 에너지량 평균 및 표준편차를 각각 나타낸다. 제안 알고리즘을 적용한 결과 센서 노드들의 에너지 소비가 현저히 줄어 들뿐만 아니라 에너지 소비량의 표준편차도 감소하여 전체 센서 네트워크의 수명 및 성능을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

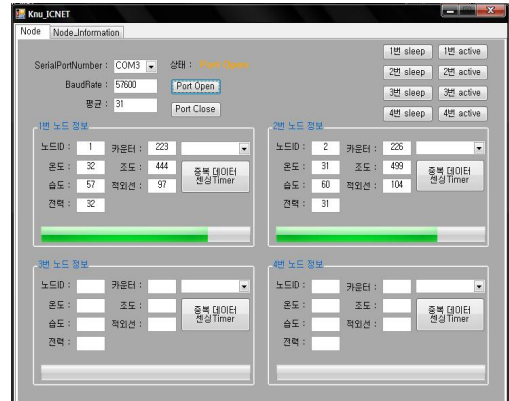
### 3.2 시스템 구현

제안 알고리즘을 ZigbeX II 센서 노드 플랫폼을 사용하여 구현하였다. Table 3은 본 논문의 시스템 구현 환경을 나타낸다. 구현에 사용된 4개의 ZigbeXII 센서 노드들은 Zigbee 통신을 이용하여 무선으로 데이터를 주고받으며, 서버는 싱크 노드와 UART 통신을 수행한다. 센서 노드들 간의 데이터 라우팅은 TinyOS 기반의 Tree 라우팅 알고리즘을 센서 노드에 포팅하여 구현하였다.

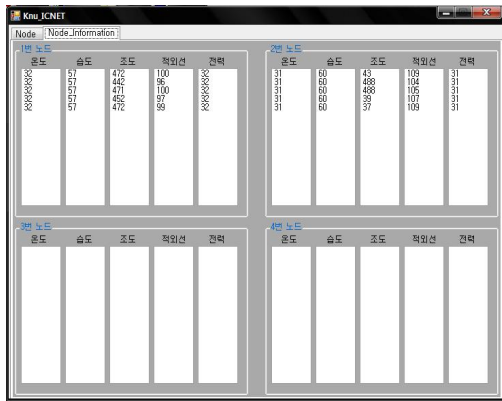
<Table 3> Implementation environments

	Items	Products
Sensor node	Hardware	ZigbeX II (Hanback Elec.)
	OS, Language	TinyOS 2.0, nesC
Monitoring entity	Hardware	NoteBook (Samsung Elec.)
	OS, Language	Windows XP, Visual C#
	DBMS	MySQL

Fig. 8 및 9는 모니터링 개체(서버)에 구현된 제어 및 모니터링 프로그램 실행 화면을 보여주고 있다. 센서 노드의 동작 모드는 잔존 전력량의 크기에 따라 결정되지만, 필요할 경우 네트워크 관리자가 센서 노드의 동작 모드를 강제적으로 변경할 수 있도록 구현하였다. 전력량은 Progress Bar 및 Textbox를 이용하여 보여 주고 있다.



[Fig. 8] Network control and monitoring program



[Fig. 9] Sensed data monitoring

#### 4. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 수명 및 성능을 향상시키기 위한 센서 노드 제어 알고리즘을 제안하고 구현하였다. 제안 방안에서 각 센서 노드는 네트워크 모니터링 개체로부터 수신한 제어 메시지에 따라 자신의 동작 모드를 정상, 절전, 및 비활성 모드 중 하나로 설정함으로써 에너지 효율을 높이고 센서 노드들 간 에너지 소비량의 차이를 최소화한다. 또한 중복 센싱 데이터를 전송하지 않음으로써 에너지 소모를 더욱 줄일 수 있다. 네트워크 모니터링 개체는 각 센서 노드의 잔존 에너지량을 모니터링하고 전체 센서 노드들의 평균 잔존 에너지량과 비교하여 각 센서 노드의 동작 모드를 결정한 후 적절한 제어 메시지를 각 센서 노드에게 전송한다. 제안된 알고리즘을 ZigbeX 플랫폼에 적용하여 구현하였으며, NS-2를 사용하여 성능을 분석한 결과 무선 센서 네트워크의 수명 및 성능을 효율적으로 높일 수 있음을 확인하였다.

#### REFERENCES

[1] B. M. Sadler, Fundamentals of Energy- Constrained Sensor Network Systems, IEEE Aerospace and Electronic System Magazine, Vol. 20, No. 8, pp. 17-35, 2005.

[2] V. Sharma, U. Mukherji, V. Joseph, S. Gupta, Optimal Energy Management Policies for Energy Harvesting Sensor Nodes, Vol. 9, No. 4, pp. 1326-1336, 2010.

[3] S. R. Madden, M. J. Franklin, J. M. Hellerstein, W. Hong, "TinyDB: An Acquisitional Query Processing System for Sensor Networks," ACM Transactions on Database Systems, Vol. 30, No. 1, pp. 122-173, Mar. 2005.

[4] Ruqiang Yan, Hanghang Sun, Yuning Qian, Energy-Aware Sensor Node Design with Its Application in Wireless Sensor Networks, IEEE Transactions on Instruments and Measurement, Vol. 62, No. 5, pp. 1183-1191, 2013.

[5] I. Koutsopoulos, S. Stanczak, The Impact of Transmit Rate Control on Energy-Efficient Estimation in Wireless Sensor Networks, IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 11, No. 9, pp. 3261-3271, 2012.

[6] Jun-Pil Boo, Hyeon-Gyu Yang, Do-Hyeon Kim, Sensor Node Control Algorithm Based on TinyOS, The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 8, No. 4, pp. 1-8, 2008.

[7] Kyoungbok Ji, Changhwa Kim, Sangkyung Kim, Implementation and Performance of Energy-efficient Node Management in Wireless Sensor Networks, Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 17, No. 4, pp. 123-131, 2008.

[8] Yangwei Wu, Xiang-Yang Li, YunHao Liu, Wei Lou, Energy-Efficient Wake-Up Scheduling for Data Collection and Aggregation, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol. 21, No. 2, pp. 275-287, Feb. 2010.

[9] R. Jurdak, A. G. Ruzzelli, G. M. P. O'Hare, Radio Sleep Mode Optimization in Wireless Sensor Networks, IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 9, No. 7, pp. 955-968, July 2010.

[10] N. A. Pantazis, S. A. Nikolidakis, D. D. Vergados, Energy-Efficient Routing Protocols in Wireless Sensor Networks: A Survey, IEEE Communications

Surveys & Tutorials, Vol. 15, No. 2, pp. 551-591,  
2013.

**박희동(Park, Hee Dong)**



- 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1998년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학석사)
- 2005년 8월 : 경북대학교 전자공학과(공학박사)
- 1998년 3월 ~ 2007년 8월 : 포항대학교 컴퓨터응용계열 조교수
- 2007년 9월 ~ 현재 : 나사렛대학교 정보통신학과 부교수
- 관심분야 : 모바일컴퓨팅, WSN, WPAN/WBAN, 유헬스, 홈 네트워크 등
- E-Mail : hdpark@kornu.ac.kr