

## EH-WSN 라우팅에서 데이터의 긴급성을 고려한 중계노드 선택기법

### Relay Node Selection Scheme for EH-WSN Routing considering Data Urgency

Min-Seung Kang<sup>1</sup> · Hyung-Kun Park<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Undergraduate Student, Department of Electrical Electronic & Communication Engineering, KOREATECH, Cheonan, 31253 Korea

<sup>2</sup>Professor, Department of Electrical Electronic & Communication Engineering, KOREATECH, Cheonan, 31253 Korea

#### ABSTRACT

In the EH-WSN(Energy Harvesting Wireless Sensor Network), the routing protocol must consider the power condition of nodes such as residual power and energy harvesting rate. Many EH-WSN studies have emphasized the power aspect and make the urgency of sensed data less important. However, in applications such as environmental monitoring, stability and latency become more important issues than power efficiency for urgent data. In this paper, we designed a routing protocol that can set path according to data urgency. To this end, relay nodes are determined considering the urgency of data. Nodes with poor power do not participate in routing when normal data is generated, so that urgent data can be transmitted reliably with low latency. The performance of the proposed routing protocol is analyzed by computer simulation.

**Keywords** : Energy harvesting, Relay node selection, Routing, Sensor networks

## I. 서론

에너지 하베스팅 무선 센서네트워크(EH-WSN)에서 각 센서노드들은 주변의 다양한 에너지를 수집하는 에

너지 수집 소자와 수집된 에너지를 저장할 수 있는 에너지 저장 소자를 탑재하고 있다[1-2]. 그러나 EH-WSN의 경우에도 소모되는 에너지에 비해 에너지 수집율이 매우 낮으며 주변 환경에 따라 에너지 수집의 편차가 매우 커서 항상 충분한 에너지를 수집하고 저장할 수는 없다. 따라서 EH-WSN에서도 전력문제는 매우 중요한 제약 조건이 된다. 따라서 EH-WSN에서 잔여전력과 에너지 수집율과 같은 전력상황은 라우팅 프로토콜을 설계하는데 있어 중요한 고려사항이 된다. 그동안 EH-WSN에서 효율적 전력사용을 통해 네트워크 수명을 늘리기 위한 라우팅프로토콜이 많이 제안되었다[3-6].

센서네트워크는 제한적 전력상황으로 인해 자칫 전력고갈상태에 이를 수 있으며 충분한 충전시간 동안 정상적이 동작을 멈추게 된다. 환경감시와 같은 응용에 있어서 긴급한 데이터 발생 시 지연을 최소화하면서 신뢰성을 보장할 수 있는 전송방식이 필요하다[7]. 예를 들어, 산불이나 조난상황 등과 같은 긴급성이 요구되는 상황에는 우선순위를 높은 데이터로 선정하여 최대한 빨리 라우팅 할 수 있도록 해야 할 것이다. 만약 지속적으로 발생하는 정상상태의 데이터를 전송하기 위해 모든 자원을 소모하게 되면 막상 긴급데이터가 발생했을 때 전송지연이 발생할 수 있게 된다. 따라서 하베스팅 노드의 에너지 수집률과 잔여전력 그리고 데이터의 긴급성을 바탕으로 하여 전송경로를 설정할 수 있는 라우팅프로토콜이 필요로 된다[8]. 본 논문에서는 각각의 노드들이 데이터의 긴급성과 자신의 전력상황을 판단하여 중계노드로 참여할지를 결정하는 경로설정방식을 제안하고자한다.

## II. 데이터의 긴급성을 고려한 중계노드의 선택

본 논문에서는 데이터의 긴급성을 판단하여 라우팅 경로를 설정할 수 있는 라우팅 프로토콜을 설계하고자한다. 이를 위해 먼저 데이터의 긴급성에 따라 라우팅

Received 6 June 2020, Revised 12 June 2020, Accepted 19 June 2020

\* Corresponding Author Hyung-Kun Park(E-mail:hkpark@koreatech.ac.kr, Tel:+82-42-520-5123)

Professor, Department of Electrical Electronic & Communication Engineering, KOREATECH, Cheonan, 31253 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.8.1113>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

경로 설정을 위한 중계노드로 참여할 수 있는 노드를 선별하는 것이 필요하다. 최대한 많은 노드들이 긴급데이터의 발생 시에 패킷데이터를 전송할 수 있는 최소한의 전력을 저장하고 있도록 하여야 한다. 이를 위해 정상 데이터의 발생 시에 잔여전력 및 에너지 수집률이 낮은 노드들은 라우팅에 참여하지 않도록 하여 최소한의 에너지를 보관할 수 있도록 하여야 한다. 에너지 수집율을 고려한 전력상태는 다음 식(1)과 같이 전송주기  $t_0$  후의 에너지 잔량  $E_r(t+t_0)$  으로 표현할 수 있다. 단, 현재 데이터를 전송한다는 가정하에 충전시간  $t_c$  후에 충전을 통해 노드에 남는 예상 잔여에너지를 계산한다.

$$E_r(t+t_0) = E_r(t) - E_a + R_h(t) * t_c \quad (1)$$

이때  $E_a$ 는 노드가 활성상태에서 라우팅의 중계노드로 참여하여 데이터 송신에 소모되는 에너지이며  $R_h(t)$ 는 노드의 에너지 수집율을 나타낸다. 현재의 잔여전력과 식(1)에서 계산한 예상 잔여전력을 바탕으로 하여 표 1과 같이 노드들을 전력상태에 따른 3가지의 에너지 레벨로 분류한다.

Table. 1 Energy levels of nodes

Energy level		Normal Data	Urgent Data
1	$E_r(t) < E_{r,min}$	x	x
2	$E_r(t) \geq E_{r,min}$	$E_r(t+t_0) < E_{r,min}$	o
3		$E_r(t+t_0) \geq E_{r,min}$	o

레벨1은 잔여전력이 데이터 전송을 위한 최소 기준 전력  $E_{r,min}$  이하로 떨어진 경우이다. 이 경우는 라우팅에 참여하여 데이터 전송을 성공적으로 마무리할 수 있는 충분한 전력을 갖지 못하는 경우이다. 따라서 라우팅에 중계노드로 참여하였을 경우 경로설정 후 데이터 전송이 이루어지지 못하는 경우가 발생할 수 있으므로 정상상황 및 긴급상황의 어느 경우에도 충분한 에너지를 수집하기 전까지는 라우팅의 중계노드로 참여하지 않는다. 에너지 레벨2와 3의 노드들은 라우팅에 참여하여 현재의 데이터 패킷을 전송을 완료할 수 있을 만한 충분한 잔여 에너지를 갖고 있는 경우이다. 레벨2는 현재의 전송에는 충분한 에너지를 갖으나 패킷전송을 완료한 후 다음 전송주기까지 충전했을 때 에너지 수집율이 충분하지 못하여 예상 잔여전력이 최소 기준전력에 미치지

못하는 경우이다. 레벨 2의 노드들은 현재 데이터 전송은 가능하나 다음의 전송주기에서는 전송불능 상태가 되므로 긴급한 데이터가 발생하더라도 데이터전송에 참여할 수 없는 상황이 된다. 따라서 이와 같은 노드들은 정상상태의 데이터 전송에는 참여하지 않고 긴급상황에만 전송 참여할 수 있는 노드들로 분류한다. 이는 긴급상황에서 긴급데이터의 전송을 안정적으로 보장하기 위한 방안이다. 마지막으로 레벨3의 노드들은 현재 데이터 전송에 참여하더라도 다음 전송주기에 충분한 에너지를 확보할 수 있으므로 정상데이터 및 긴급데이터 모두에서 라우팅에 참여하도록 한다.

본 논문에서는 AODV(Ad hoc On-demand Distance Vector) 라우팅 프로토콜을 기반으로 하여 긴급데이터 전송을 지원하는 라우팅 프로토콜을 설계한다. 기존의 라우팅과는 달리 데이터의 긴급성에 따라 노드들의 중계노드로서의 참여여부가 결정되므로 라우팅 경로 설정을 위한 RREQ패킷 전송 시 전송할 패킷 데이터의 긴급성을 표시해 주어야 한다. 이를 위해 그림 1과 같이 RREQ패킷에 priority필드를 추가하였다. priority필드를 이용하여 다양한 QoS를 갖는 데이터를 처리할 수 있겠으나 본 논문에서 priority필드는 데이터가 정상상태의 정상 패킷이면 0을 긴급데이터 패킷이면 1의 값을 갖도록 한다.

Type	Flags	Reserved	Hop Count
RREQ ID			
Destination Address			
Destination sequence number			
Source Address			
Source Sequence Number			
Priority			

Fig. 1 RREQ packet for proposed routing protocol.

RREQ(Route Request)데이터를 수신한 노드들은 데이터의 우선권 필드를 확인한 후 자신의 에너지 레벨과 패킷의 긴급성을 비교하여 멀티홉 전송에 참여할지 말지를 결정하게 된다. 만약 전송에 참여하게 되면 계속해서 RREQ를 전송하여 AODV방식의 경로설정 참여하게 되며 데이터 전송에 참여할 수 없는 에너지 레벨이면 바로 슬립모드로 들어가 에너지 수집을 통한 충전을 시작하게 된다.

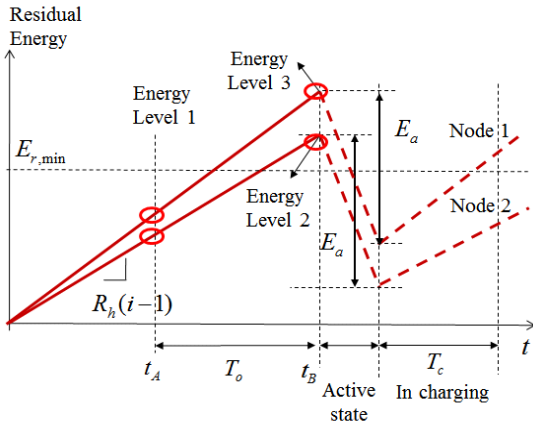


Fig. 2 Example of energy level of relay node.

그림 2는 중계노드 선택의 예를 보여준다. 두 개의 노드1, 노드2는 경로설정시점  $t_A$ 시점에서 둘다  $E_{r,min}$  이하의 잔여전력을 갖고 있으므로 경로설정에 참여하지 않고 지속적인 sleep 상태에서 충전을 수행한다.  $t_B$ 시점에서 다시 중계노드로의 참여를 결정해야하는데 이때 데이터 전송에 참여했을 때 다음주기의 에너지를 예측한다. 노드 2는 다음 전송주기  $T_0$ 후에 최소에너지 이하의 잔여전력이 예측되므로 에너지레벨 2 노드로 분류되어 정상데이터의 경우 라우팅에 참여하지 않게 되고 노드1의 경우는 다음 전송주기에서도 충분한 에너지를 확보할 수 있으므로 에너지레벨 3의 노드로 분류되어 라우팅에 참여하게 된다.

### III. 시뮬레이션 및 성능분석

본 논문에서는 MATLAB을 이용하여 데이터의 긴급성을 고려한 중계노드의 선택과 라우팅 프로토콜을 시뮬레이션하였다. 주요파라미터는 [9]을 참조하였으며 전체 네트워크는 100개의 노드로 구성하였고 격자구조로 노드를 배치하였다. 노드들의 평균 에너지 수집율은 1mW~5mW를 평균값으로 하고 가우시안 확률분포를 따른다고 가정하였다. 최소에너지  $E_{r,min}$ 은 0.7mJ로 설정하였다. 또한 일반데이터와 긴급데이터의 발생비율은 50:1로 하였으며 성능 분석을 위해 기존의 AODV 라우팅 방식과 성능을 비교하였다.

그림 3은 에너지 수집율에 따른 노드의 에너지 고갈

확률을 나타낸다. 에너지 수집율이 낮아질수록 노드들의 에너지가 고갈되어 네트워크 수명이 끝날 확률이 증가하게 된다. 그래프에서 보듯이 제안된 라우팅 프로토콜에서는 노드들의 에너지가 고갈되지 않도록 중계노드의 참여를 제한하기 때문에 기존의 AODV에 비해 낮은 에너지 고갈확률을 보여준다. 특히 에너지 수집율이 낮은 열악한 상황에서 그 차이가 더욱 크게 나타남을 알 수 있다. 이와 같이 낮은 에너지 고갈확률은 긴급데이터 발생 시에 데이터 전송의 안정성이 높아짐을 의미한다.

그림 4는 에너지 수집율에 따른 라우팅 경로당 평균 흡수를 나타낸다. 그림에서 보듯이 일반데이터의 경우는 기존 AODV에 비해 평균 흡수가 증가하지만 긴급데이터의 경우는 기존 AODV에 비해 평균 흡수가 감소함을 알 수 있다. 이는 일반데이터의 전송지연이 늘어나는 대신 긴급데이터의 전송지연을 줄여 긴급데이터 발생 시 신속하게 데이터를 목적 노드까지 전달할 수 있음을 의미한다.

그림 5는 긴급데이터의 발생율에 따른 각 노드들의 전력고갈 확률의 평균값을 보여준다. 긴급데이터의 발생율이 낮을수록 긴급데이터에 대비한 전력준비가 충분하게 되므로 전력고갈로 인해 긴급데이터를 전송하지 못하는 상황이 발생할 가능성이 크게 줄어들게 된다. 그러나 긴급데이터의 발생율이 증가하게 되면 중계노드들이 라우팅에 참여할 확률이 증가하여 노드들의 전력이 고갈될 확률이 증가하게 되고 이는 긴급데이터에 대한 라우팅실패 가능성의 증가로 이어지게 된다. 전체적인 전력 고갈확률은 기존의 AODV라우팅보다는 낮게 나타나며 이 차이는 긴급데이터의 발생률이 작을수록 커짐을 알 수 있다.

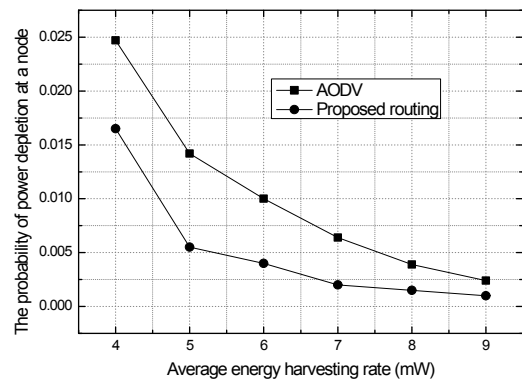


Fig. 3 The probability of power depletion according to average harvesting rate

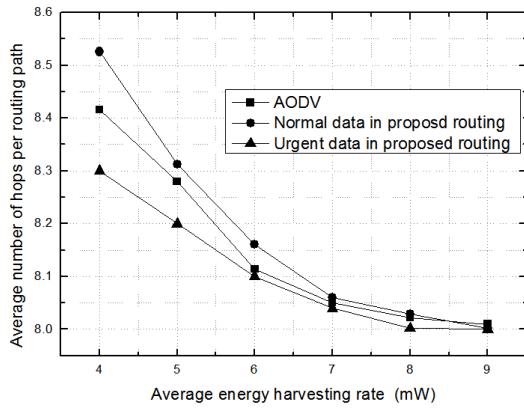


Fig. 4 Average number of hops per routing path.

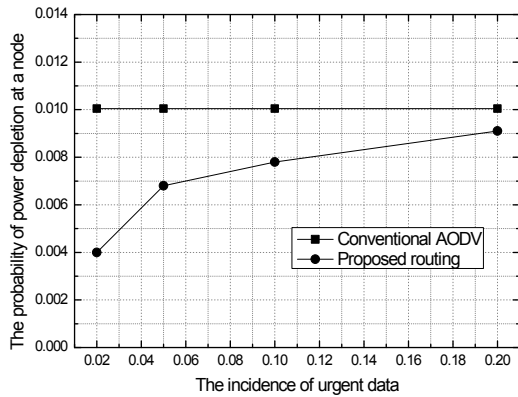


Fig. 5 The probability of power depletion at a node according to the incidence of urgent data

#### IV. 결론

본 논문에서는 데이터의 긴급성을 고려하여 멀티홉 전송에 참여할 중계노드를 결정하는 라우팅프로토콜을 제안하였다. 긴급 데이터를 전송할 수 있도록 사전에 전력상황에 맞게 노드들 스스로 전송 참여여부를 결정함으로써 긴급데이터의 발생 시 전송지연을 최소화하고 안정적인 데이터 전송이 가능하도록 하였다. 시뮬레이션 결과에서 긴급성에 따른 노드선택기법을 적용하지 않은 라우팅에 비해 긴급데이터의 전송을 위한 평균홉수가 감소하고 전력 고갈된 노드가 감소하여 전송지연이 줄어들고 안정성이 향상됨을 알 수 있다.

#### ACKNOWLEDGEMENT

This paper was supported by Education and Research Promotion Program of KOREATECH in 2020.

#### REFERENCES

- [1] T. Ruan, Z. J. Chew, and M. Zhen "Energy-Aware Approaches for Energy Harvesting Powered Wireless Sensor Nodes," *IEEE Sensors Journal*, vol. 17, no. 7, Apr. 2017.
- [2] K. Lee, and W. Lee, "Energy Efficient Resource Allocation with Energy Harvesting in Cognitive Radio Networks," *Journal of information and communication convergence engineering*, vol.2 0, no. 7, pp.1255-1261, 2016.
- [3] X. Fei, Y. Wang, A. Liu, and N. Cao, "Research on Low Power Hierarchical Routing Protocol in Wireless Sensor Networks," in *Proceeding of IEEE International Conference on Computational Science and Engineering*, pp.376-378, 2017.
- [4] J. Manikannu, and V. Nagarajan, "A survey of energy efficient routing and optimization techniques in wireless sensor networks," in *Proceeding of International Conference on Communication and Signal Processing*, pp.2075-2080, 2017.
- [5] Y. Liu, Q. Wu, Y. Tie, F. Bai, and M. jin, "An Improved Energy-Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," *Sensors*, vol. 19, no. 19, Oct. 2019.
- [6] R. D. Vani, "Routing System with diversion in wireless ad hoc Security," *Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange, HSSST*, vol. 1, no. 4, pp. 41-47, Dec. 2015.
- [7] C. Shen, and S. Chen, "A cyber-physical design for indoor temperature monitoring using wireless sensor networks," in *Proceeding of 2017 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Mar. 2017.
- [8] A. Rozas, and A. Araujo, "An Application-Aware Clustering Protocol for Wireless Sensor Networks to Provide QoS Management," *Journal of sensors*, vol. 2019, Sep. 2019.
- [9] Z. A. Eu, H. P. Tan, W. K. G. Seah, "Design and performance analysis of MAC schemes for wireless sensor networks powered by ambient energy harvesting," *Ad Hoc networks*, vol. 9, no. 3, pp. 300-323, May. 2011.