

에너지 하베스팅 무선 센서네트워크에서 에너지균형을 위한 라우팅프로토콜

Routing Protocol for Energy Balancing in Energy Harvesting Wireless Sensor network

Min-Seung Kang¹ · Hyung-Kun Park^{2*}

¹Undergraduate Student, Department of Electrical Electronic & Communication Engineering, KOREATECH, Cheonan, 31253 Korea

^{2*}Professor, Department of Electrical Electronic & Communication Engineering, KOREATECH, Cheonan, 31253 Korea

ABSTRACT

Energy harvesting sensor networks have the ability to collect energy from the environment to overcome the power limitations of traditional sensor networks. The sensor network, which has a limited transmission range, delivers data to the destination node through a multi-hop method. The routing protocol should consider the power situation of nodes, which is determined by the residual power and energy harvesting rate. At this time, if only considering the magnitude of the power, power imbalance can occur among nodes and it can induce instantaneous power shortages and reduction of network lifetime. In this paper, we designed a routing protocol that considers the balance of power as well as the residual power and energy harvesting rate.

Keywords : Energy-harvesting, Wireless sensor networks, Routing protocol, Network lifetime

I. 서 론

무선센서네트워크에서 센서노드들은 다양한 정보를 감지하며 다양한 환경에 설치된다. 환경감시서비스와

같이 전원공급이 어려운 환경에서는 센서네트워크의 제한된 전력문제는 매우 중요한 기술적 제약이 된다. 이와 같은 에너지제한의 한계를 극복하기 위해 주변 환경으로부터 에너지를 수집할 수 있는 에너지 하베스팅 기술이 무선센서네트워크에 적용되었다[1]-[3]. EH-WSN (Energy Harvesting Wireless Sensor Network)는 기존 센서네트워크의 전력제한을 극복하고 자체적인 에너지 수집기능을 통해 무선 네트워크의 수명을 연장할 수 있도록 하고 있다. 에너지 하베스팅 무선센서네트워크는 중앙집중형 네트워크 구조가 아닌 에드혹 네트워크로 이루어지며 전송거리의 제한으로 인해 멀리 떨어진 싱크노드로의 데이터 전송을 위해 멀티홉 전송을 통한 정보전달이 이루어진다. 넓은 지역에 이식된 센서노드들은 전력상황에 따라 멀티홉 라우팅에 참여하게 된다. 따라서 밀집된 많은 센서노드들로 구성된 센서네트워크에서 소스노드로부터 목적노드까지의 경로를 설정하는 라우팅 프로토콜은 네트워크 성능을 결정하는 중요한 요소 중의 하나가 된다.

에너지 하베스팅 기능을 갖는 노드들은 주변의 빛, 진동, 열, 바람 등과 같은 다양한 에너지를 수집하는 에너지 수집 소자와 수집된 에너지를 저장할 수 있는 에너지 저장 소자를 탑재하고 있다. 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 없기 때문에 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-WSN에서는 전력의 균형성보다는 효율적 전력사용을 통해 네트워크 수명을 늘리기 위한 라우팅프로토콜이 많이 제안되었다.[4]-[7]. 전력균형성을 위한 라우팅 프로토콜들도 노드들 간의 전력상황을 공유하기 위한 오버헤드가 크게 증가하여 라우팅 프로토콜이 복잡해지는 문제를 갖는다.

Received 17 March 2020, Revised 30 March 2020, Accepted 12 April 2020

* Corresponding Author Hyung-Kun Park(E-mail:hkpark@koreatech.ac.kr, Tel:+82-41-560-1176)

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

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.5.666>

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

본 논문에서는 에드혹 네트워크 환경에서 주변 노드들의 전력정보에 대한 주기적인 수집 없이, 노드들의 잔여전력과 에너지 수집율과 같은 전력상황 뿐 아니라 경로상의 노드들의 에너지균형성을 동시에 고려하여 네트워크 수명을 늘릴 수 있는 라우팅프로토콜을 제안하고 시뮬레이션을 통해 그 성능을 분석하였다.

II. 에너지 균형성을 고려한 라우팅프로토콜

멀티 홉 전송에 참여하는 노드들은 라우팅 경로를 설정하게 되는데 기존에는 홉수기반, 잔여전력기반 등 다양한 경로 설정 프로토콜이 있으나 에너지 하베스팅 센서네트워크에서는 노드들의 잔여전력과 함께 주변환경으로 부터의 에너지 수집능력을 함께 고려해야한다. 특히 네트워크 수명연장을 위해서는 특정 노드에 전력소모가 크게 발생하여 노드들이 전력고갈 상태에 빠지지 않도록 노드들의 잔여전력이 서로 균형을 이루도록 해야 한다.

이를 위해 본 논문에서는 현재의 잔여전력과 에너지 수집률 그리고 잔여전력의 균형성을 나타내는 분산값을 이용하여 새롭게 각 경로의 비용값을 정의하고자 한다. 라우팅은 기존의 AODV방식을 기반으로 한다. 경로 설정을 위해 RREQ를 수신한 노드들은 지금까지 경로에 대한 평균 예상 잔여전력 및 경로내 노드들의 잔여전력에 대한 분산값을 그림 1과 같이 RREQ 패킷에 실어 함께 전송한다.

Type	Flags	Reserved	Hop Count
RREQ ID			
Destination Address			
Destination sequence number			
Source Address			
Source Sequence Number			
Average Residual Energy $\overline{E_{r,n}}$			
Energy Variance $\sigma_{E,n}$			

Fig. 1 RREQ packet for proposed routing protocol.

그림 1에서 $\overline{E_{r,n}}$ 는 식(1)에서 구한 t_0 후의 예상 잔여전력에 대한 현재 노드 n까지의 경로 내 모든 노드들의 평균값을 의미한다. $\sigma_{E,n}$ 은 경로내의 노드들의 예상 잔여전력에 대한 표준편차값을 의미한다. RREQ패킷을

수신한 노드들은 경로내의 평균 예상 잔여전력과 표준편차값을 업데이트하고 이를 다시 RREQ패킷을 전송해야한다. n번째 홉수의 노드가 RREQ패킷을 수신하면 먼저 노드 n은 자신의 잔여전력 $E_{r,n}(t)$ 을 이용하여 경로내의 노드들에 대한 t_0 시간 후의 예상 평균 잔여 에너지 값을 식(1)와 같이 업데이트한다.

$$\overline{E_{r,n}} = ((n-1)\overline{E_{r,n-1}} + E_{r,n}(t+t_0))/n \quad (1)$$

식(1)의 평균 잔여전력은 다음 전송주기에서의 경로내의 노드들이 평균적으로 갖은 배터리 잔량을 의미하게 된다. RREQ가 전달되는 과정에서 RREQ를 수신한 노드들은 자신의 전력상태 $E_{r,n}(t+t_0)$ 를 이용하여 새롭게 평균값을 업데이트하는데 $E_{r,n}(t+t_0)$ 는 n번째 노드의 예상잔여전력을 의미하며 이때 에너지하베스팅 네트워크에서 노드들의 에너지 수집능력이 중요하게 고려된다. 에너지 수집율을 고려한 전력상태는 다음 식(2)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 남은 예상 잔여 에너지를 계산한다.

$$E_{r,n}(t+t_0) = E_{r,n}(t) - E_a + R_{h,n}(t) * t_c \quad (2)$$

이때 E_a 는 노드가 active상태에서 라우팅의 중계노드로 참여하여 데이터 송신시에 소모되는 에너지이며 $R_{h,n}(t)$ 는 노드의 에너지 수집율을 나타낸다.

이번에는 경로내의 노드들의 예상 잔여전력에 대한 균형성을 판단하기 위해 경로내 노드들의 예상 잔여전력에 대한 표준편차 $\sigma_{E,n}$ 를 업데이트하여야 한다. 표준편차에 대한 업데이트는 식(3)을 이용한다[8].

$$\sigma_{E,n} = [((n-1)\sigma_{E,n-1}^2 + (E_{r,n} - \overline{E_{r,n-1}})(E_{r,n} - \overline{E_{r,n}}))/n]^{1/2} \quad (3)$$

노드의 예상 평균 잔여전력이 클수록 노드의 에너지 수집율 및 에너지 상태가 우수하므로 경로선택의 가능성이 증가해야한다. 반면에 경로내 노드들의 전력의 표준편차가 증가하게 되면 경로내 노드들의 전력상황이 크게 다르다는 것을 의미하고 곧 네트워크 수명을 단축하는 큰 요인으로 작용하게 때문에 표준편차가 작은 경로를 선택하도록 하여야한다. 또한 동일한 에너지의 편차를 갖는다 하더라도 평균 잔여에너지가 낮을수록 에

너지 불균형 문제는 더욱 심각해지므로 경로선택에 있어 평균잔여에너지를 고려해야한다. 평균 잔여에너지가 높아 노드들이 충분한 전력을 보유하고 있다면 노드 간 전력편차가 증가하더라도 큰 문제가 되지 않을 수 있다. 따라서 경로선택을 위해 각 경로에 대한 비용함수를 다음의 식(4)와 같이 평균잔여전력과 표준편차의 비로 정의하였다.

$$\text{cost} = \frac{\sigma_{E,n}}{E_{r,n}} \quad (4)$$

RREQ 패킷을 수신한 노드들은 RREQ패킷내의 평균 에너지 필드와 에너지 분산값이 기록된 필드값을 읽어 비용값을 계산하고 이 값이 가장 작은 경로를 선택하게 된다. 나머지 RREQ값은 폐기하게 된다. 기존 AODV에서는 먼저 도착한 RREQ 패킷을 우선하여 경로가 결정되지만 전체적인 경로설정 시간을 크게 지연시키지 않는 범위에서 RREQ패킷을 지연시킴으로써 위에서 계산한 비용함수에 따른 경로를 선택할 수 있게 된다. 또한 목적지 노드는 일정시간동안 RREQ패킷을 모두 수신하여 최종경로를 선택하도록 함으로써 비록 홉 수가 증가하더라도 전력상황 및 노드간의 전력균형을 이루 수 있는 경로를 선택하게 되는 것이다.

III. 시뮬레이션 및 성능분석

본 논문에서는 제안된 에너지균형 라우팅 프로토콜의 성능을 분석하기 위하여 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 네트워크 상의 전체 노드의 개수는 36개를 균일하게 배치하였으며 배터리용량은 3mJ로 하였고 에너지 수집율의 평균값은 1~6mW로 하였고 가우시안분포를 갖는 것으로 가정하였다. 본 논문의 에너지 하베스팅 센서네트워크 환경과 유사한 환경의 실험에서 관련 시뮬레이션 파라미터를 참고하였다 [9].

그림 2는 에너지수집율의 분산값에 따른 노드들의 전력고갈확률을 보여준다. 그림에서 보듯이 기존의 AODV의 경우 노드간의 전력불균형이 증가하여 노드의 전력고갈확률이 가장 크게 나타남을 볼 수 있다. 이는 네트워크의 수명을 단축하는 요소로 작용한다. 기존 방식에 비해 노드의 평균전력을 고려한 라우팅의 경우 전력고갈 확률이 줄어들음을 볼 수 있으며 본 논문에서 제안하는 노드간

에너지 균형을 위한 라우팅방식에서는 노드의 전력고갈 확률이 크게 향상됨을 볼 수 있다. 이는 EH-WSN내의 노드들의 전력이 골고루 균형되게 사용되어 전체적인 네트워크 수명이 증가할 수 있음을 보여준다.

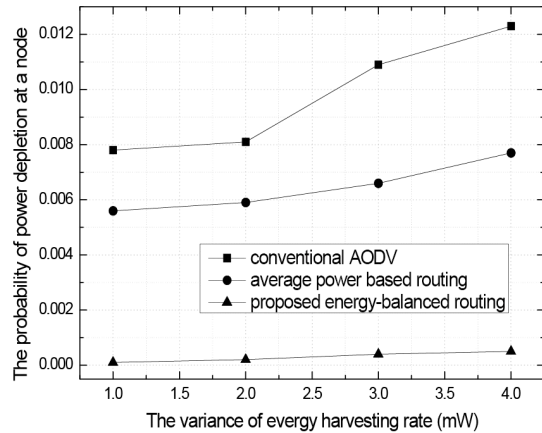


Fig. 2 The variance of residual energy according to the variance of energy harvesting rate.

IV. 결론

본 논문에서는 에너지 하베스팅 센서네트워크에서 노드들의 잔여전력과 에너지 수집율을 기반으로 한 라우팅 프로토콜을 설계하였다. 제안된 라우팅프로토콜에서는 잔여전력과 에너지 수집률과 같은 전력상황을 고려하기 위해 배터리의 평균에너지 잔량과 분산값을 업데이트하며 여러 경로 중 에너지 잔량이 높고 에너지의 분산값이 작은 경로를 선택하도록 하였다. 본 라우팅 프로토콜은 에너지 균형성과 전력상황이 우수한 노드들로 라우팅경로를 설정하도록 함으로써 노드의 전력고갈확률을 낮추고 네트워크 수명을 증가시켜 네트워크를 보다 안정적으로 운영할 수 있도록 하였다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (NRF-2017R1D1A3B03034202)

REFERENCES

- [1] T. Ueda, A. Idoue and E. Utsunomiya, "comparison of routing protocols for wireless sensor networks under battery-powered and energy harvesting conditons" in *Proceeding of Asia-Pacific Conference on Communications*, pp. 433-438, 2018.
- [2] K. Lee and J. Hong, "Resource Allocation for Maximizing Energy Efficiency in Energy Harvesting Networks with Channel Estimation Error," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol.20, no.3, pp.506-512, 2016.
- [3] T. Ruan, Z. J. Chew, M. Zhen "Energy-Aware Approaches for Energy Harvesting Powered Wireless Sensor Nodes," *IEEE Sensors Journal*, vol. 17, no. 7, April 2017.
- [4] 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.
- [5] R. Divya Vani, "Routing System with diversion in wireless ad hoc Security", *Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange*, HSST, ISSN : 2508-9080, vol.1, no.4, pp. 41-47. December 2015.
- [6] J. Manikannu, 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 (ICCSP)*, pp.2075-2080, April, 2017.
- [7] N. Sah, "Performance evaluation of energy efficient routing in wireless sensor networks," in *Proceeding of International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System*, pp. 1048-1053, October 2016.
- [8] B. P. Welford, "Note on a method for calculating corrected sums of squares and products," *Technometrics*, vol.4 no.3, pp.419 - 420, April 2012.
- [9] Z. A. Eu, H. P. Tan, Winston K.G. Seah, "Design and performance analysis of MAC schemes for wireless sensor networks powered by ambient energy harvesting," *Ad Hoc networks*, vol.9, issue 3, pp.300-323, May 2011.