Regular paper | Journal of the KIECS. pp. 579-586, vol. 18, no. 4, Aug. 31. 2023, t. 120, pISSN 1975-8170 | eISSN 2288-2189
http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2023.18.4.579

WSN 환경에서 PEGASIS 기반 에너지 효율적 라우팅 프로토콜

백병철* · 권태욱**

Energy Efficient Routing Protocol Based on PEGASIS in WSN Environment

Byoung-Choul Baek* · Tae-Wook Kwon**

요 약

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network : WSN)는 저가의 소형 센서를 활용해서 무선으로 사용되기 때문에 제한된 배터리 전력을 가지고 있다. 배터리를 교체할 수 없으므로 센서 노드의 수명은 배터리의 수명과 직결되므로 전력을 효율적으로 사용하여 네트워크의 수명을 극대화해야 한다. 본 연구에서는 대표적인 에너지 효율적 라우팅 프로토콜인 PEGASIS(: Power-Efficient Gathering in Sensor Information System)를 기반으로 싱크 노드로부터의 거리에 따라 계층화하여 하나의 체인이 아닌 다중 체인을 구성하는 프로토콜을 제안한다. 제안하는 프로토콜은 노드 간 전송 거리를 줄여서 불필요한 에너지 소모를 막아 네트워크 수명을 높일 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

A wireless sensor network (WSN) has limited battery power because it is used wirelessly using low-cost small sensors. Since the battery cannot be replaced, the lifespan of the sensor node is directly related to the lifespan of the battery, so power must be used efficiently to maximize the lifespan of the network. In this study, based on PEGASIS, a representative energy-efficient routing protocol, we propose a protocol that classifies layers according to the distance from the sink node and configures multiple chains rather than one chain. The proposed protocol can increase network lifespan by reducing the transmission distance between nodes to prevent unnecessary energy consumption.

키워드

Wireless Sensor Network, Hierarchical Based Routing Protocol, PEGASIS, Multiple-Chain Based Routing Protocol
무선 센서 네트워크, 계층 기반 라우팅 프로토콜, 다중 체인 기반 라우팅 프로토콜

* 국방대학교 관리대학원
** 교신저자 : 국방대학교 컴퓨터공학과
• 접 수 일 : 2023. 06. 16
• 수정완료일 : 2023. 07. 14
• 게재확정일 : 2023. 08. 17
• Received : Jun. 16, 2023, Revised : Jul. 14, 2023, Accepted : Aug. 17, 2023
• Corresponding Author : Tae-Wook Kwon
Dept. Computer engineering, Korea National Defense University
Email : kwontw9042@korea.ac.k

Ⅰ. 서 론

무선 센서 네트워크(WSN)는 기존의 인프라가 없는 네트워크 환경에서 정보 수집 및 처리를 무인으로 수행하기 위해 사용되는 기술이다[1]. 이러한 네트워크는 작은 센서들이 협력하여 임무를 수행하며, 특히 전장과 같은 긴급한 상황에서 빠른 설치와 상황인지에 유용하다. WSN은 다양한 센서 장비들을 유·무선 네트워크 인프라에 결합하여 상황인지에 필요한 환경 데이터를 수집하고 서버와 연동하여 제공한다. 이를 위해 센서 필드와 센서를 연결하는 기지국(Base Station : BS) 등으로 구성된다.

WSN은 저전력 및 저가의 시스템이라는 점이 가장 중요한 특성이다.[2] 센서 노드는 배터리로 작동하며, 광범위한 영역에 많은 수의 노드가 배치되기 때문에 배터리 교체가 불가능하다. 따라서 센서 노드의 수명은 배터리의 수명과 직결되며, 전력을 효율적으로 사용하여 네트워크의 수명을 극대화하는 것이 매우 중요하다[3-5].

일반적으로 WSN 라우팅 프로토콜은 네트워크 구조에 따라 평면 기반 라우팅, 계층 기반 라우팅, 위치 기반 라우팅으로 구분한다. 에너지 효율을 중요시하여 중복 데이터의 통합과 전송 경로의 최적화를 목적으로 하는 계층 기반 라우팅이 많이 연구되고 있으며, 대표적인 프로토콜로는 LEACH(: Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)와 PEGASIS가 있다. LEACH와 PEGASIS 프로토콜은 에너지 효율성을 개선하기 위한 다양한 기법과 방법을 적용하여 센서 네트워크의 수명을 연장하는 데에 많은 연구가 이루어지고 있다.

본 논문에서는 계층 기반 라우팅 프로토콜 중 PEGASIS를 기반으로 한 다중 체인 알고리즘을 제안한다. 2장에서는 PEGASIS와 PEGASIS를 기반으로 한 알고리즘을 알아보고, 3장에서 다중 체인 기반 라우팅 프로토콜을 제안한다. 4장에서는 제안된 기법에 대한 실험을 통해 에너지 효율을 비교한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구 방향으로 구성하였다.

Ⅱ. 관련연구

2.1 PEGASIS 프로토콜

PEGASIS는 계층 기반 라우팅 프로토콜 중에서 대표적인 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜이다[6]. PEGASIS는 기존의 LEACH 프로토콜을 개선하여 네트워크의 수명을 더욱 증가시킨다.

PEGASIS는 LEACH의 클러스터 구성과 데이터 전송 방법을 개선한 체인 형태의 데이터 전송 방식을 사용하여 에너지 소모를 줄인다. 먼저, 체인을 구성할 때 Greedy 알고리즘을 이용하여 싱크 노드로부터 거리가 가장 먼 센서 노드가 체인의 시작점이 되고 시작 노드와 거리가 가장 가까운 센서 노드를 체인의 다음 노드로 선택한다. 이 과정은 모든 노드가 1개의 체인에 포함될 때까지 반복한다. 이때 각 센서 노드는 신호의 세기를 이용하여 이웃 노드와의 거리를 측정하여 가장 가까운 노드만 정보를 받을 수 있도록 신호의 세기를 조정한다. 체인 구성이 완료된 후 데이터 전송은 토큰링 방식을 이용한다.

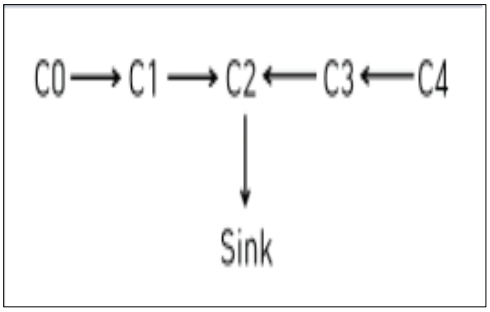


그림 1. 토큰 데이터 전송
Fig. 1 Token passing data transmission

리더 노드가 토큰(Token)을 체인의 양 끝에 있는 센서 노드들에 전달하고 토큰을 수신한 센서 노드는 체인을 따라 리더 노드의 방향으로 [그림 1]과 같이 데이터를 전달한다. 현재 C2가 리더 노드일 때, 양 끝에 있는 C0와 C4로 토큰을 전송하고 이 토큰은 가장 가까운 센서 노드인 C1과 C3를 거쳐 C2로 전송한다. C2는 최종적으로 데이터를 수집하고 병합하여 싱크 노드로 토큰과 함께 데이터를 전송한다. 이때, 라운드마다 리더 노드는 각 노드가 번갈아 가며 역할을 수행하여 전체적인 에너지 소모를 줄인다.

PEGASIS는 에너지 효율적인 프로토콜인 것은 확실하지만 두 가지 문제점[7-9]이 있다. 첫 번째 싱크 노드와 멀리 떨어져 있는 노드가 리더 노드가 될 경우, 데이터 전송 거리가 늘어나 불필요한 에너지 소모가 발생한다. 두 번째 Greedy 알고리즘으로 체인이 구성되기 때문에 아직 체인이 형성되지 않은 소수의 센서 노드는 거리가 먼 노드와 체인이 연결되거나 체인의 경로가 중복, 중첩되어 불필요한 에너지가 소모된다.

2.2. CCS

CCS(The Concentric Clustering Scheme for Efficient Energy Consumption in the PEGASIS)[10]는 [그림 2]와 같이 센싱 영역을 신호 강도를 이용하여 동심원 형태로 주어지며, 레벨 간격은 설정값에 따라 다양할 수 있다.

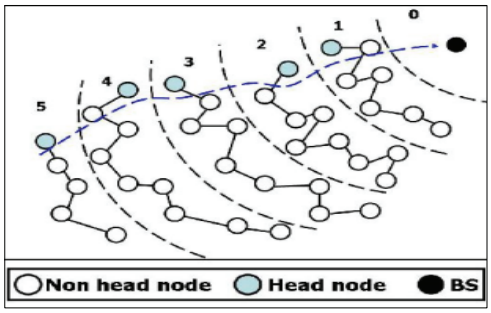


그림 2. CCS 데이터 전송
Fig. 2 CCS data transmission

싱크 노드에서 가장 가까운 트랙부터 레벨을 증가시키면서 할당한다. 체인은 각 레벨 안에서 가장 좌측에 있는 노드가 시작점이 되고 PEGASIS와 같은 Greedy 알고리즘을 이용하여 체인을 형성하며 하나의 노드를 헤드 노드로 선출하여 자신의 데이터를 상위 및 하위 레벨 헤드 노드로 전송하고 싱크 노드로부터 가장 가까운 레벨 1 헤드 노드가 싱크 노드로 데이터를 전송한다. 레벨 내 노드끼리 체인을 형성하여 전송 거리가 짧아 불필요한 에너지 소모를 방지하고 라운드마다 그룹의 헤드 노드를 각 노드가 번갈아 가며 역할을 수행하여 전체적인 에너지 소모를 줄인다. 하지만 각 레벨의 헤드 노드가 무작위로 선정되기 때문에 헤드 노드 간 데이터를 전송할 때 전송 거리가 늘어나 불필요한 에너지 소모가 발생할 수 있는 문제가 있다.

III. 제안하는 기법

제안하는 기법은 효율적인 에너지 소비를 위해 다중 체인 기법을 사용한다. 그룹 판단, 리더 노드 선정, 다중 체인 구성, 데이터 전송의 4단계로 이루어지며, 프로토콜의 전체적인 흐름도는 [그림 3]과 같다.

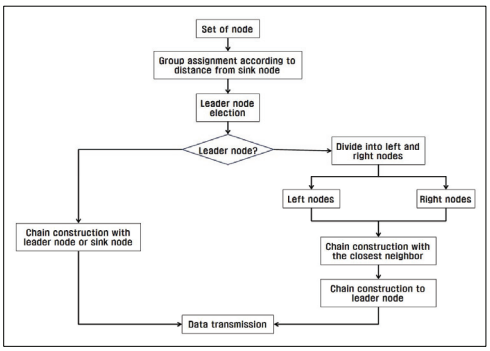


그림 3. 제안 프로토콜의 흐름도
Fig. 3 Flow chart of the proposed protocol

3.1 그룹 판단

WSN의 센서 노드는 무작위로 배치되지만, 위치정보를 바탕으로 싱크 노드로부터의 거리에 따라 각자의 그룹을 판단하게 된다. 그룹은 싱크 노드 위치에 따라 정해질 수 있다. 그룹 개수에 따라 각 그룹 안에 포함되는 센서 노드의 수가 달라지는데 이에 대한 표준편차가 가장 작은 값을 선택하여 그룹 개수를 정한다. 그룹 간의 간격은 일정한 거리로 나누어지며 센서 노드는 싱크 노드로부터의 거리에 따라 그룹이 판단된다. [그림 4]에서는 3개의 그룹으로 구분하였다.

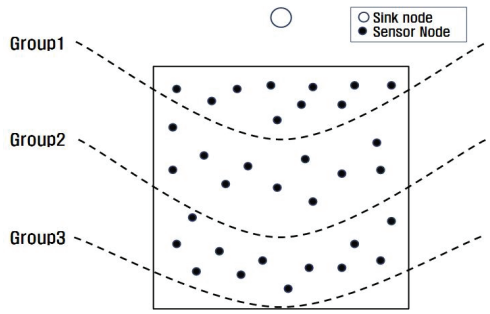


그림 4. 그룹 판단
Fig. 4 Group Judgment

3.2 리더 노드 선정

그룹 내 센서 노드 중에서 가장 중앙에 있는 노드를 [그림 5]와 같이 리더 노드로 선정한다. 각 그룹의 리더 노드는 그룹 안에 속해 있는 센서 노드로부터 데이터를 수집하여 병합하고 상위 그룹의 리더 노드에게 데이터를 전송하는 역할을 맡는다. 각각의 리더 노드는 같은 역할을 하고 최종적으로 첫 번째 그룹의 리더 노드가 싱크 노드로 데이터를 전송한다. 리더 노드는 라운드마다 그룹 내 노드가 번갈아 가면서 역할을 수행하지 않고 리더 노드의 에너지가 모두 소진되면 남은 노드 중에서 가장 중앙에 있는 노드가 다음 리더 노드로 선정된다.

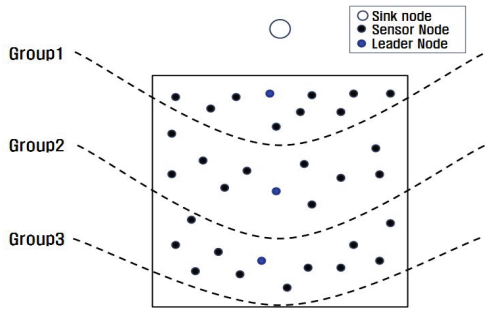


그림 5. 리더 노드 선정

Fig. 5 Leader node selection

3.3 다중 체인 구성

각 그룹 내 센서 노드들은 서로 체인을 구성하게 된다. 체인을 형성하기 전 그룹의 리더 노드를 기준으로 좌측에 있는 센서 노드를 좌측 노드로, 우측에 있는 센서 노드를 우측 노드로 구분한다. 체인의 시작점은 [그림 6]와 같이 그룹의 리더 노드가 된다. 좌측 노드들과 좌측 체인을 구성하고, 우측 노드들과 우측 체인을 구성한다. 각 그룹 내 다중 체인 구성이 끝나면 각 그룹의 리더 노드끼리 체인을 구성한다. 리더 노드 간 체인의 시작점은 마지막 그룹의 리더 노드이다.

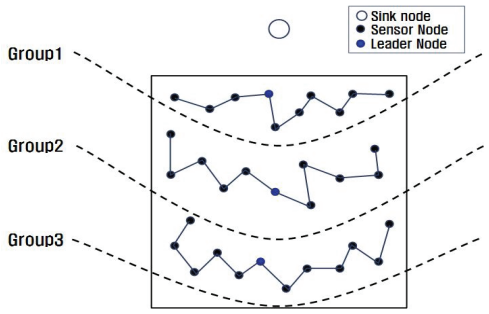


그림 6. 다중 체인 구성

Fig. 6 Multi-chain construction

3.4 데이터 전송

각 센서 노드는 체인을 따라 리더 노드로 데이터를 전송하는데 이때, 이웃 노드로부터 수집한 데이터를 자신의 데이터와 병합하여 다음 이웃 노드에게 전달한다. 각 그룹의 리더 노드는 그룹 내 포함되어 있는 센서 노드의 데이터 수집이 끝나게 되면 이전 그룹의 리더 노드에게 받은 데이터와 병합하여 바로 다음 그룹의 리더 노드에게 데이터를 전송한다. 최종적으로 첫 번째 그룹의 리더 노드가 모든 센서 노드의 데이터를 수집하고 병합하여 싱크 노드로 [그림 7]과 같이 데이터를 전달하면 한 라운드가 종료된다.

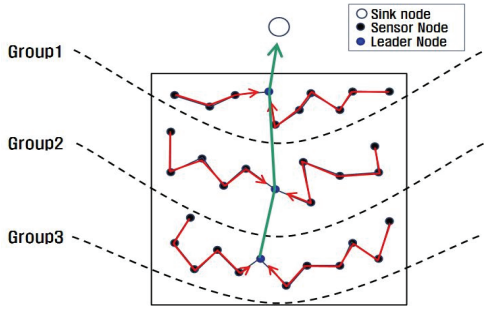


그림 7. 데이터 전송

Fig. 7 Data transmission

제안된 라우팅 프로토콜은 싱크 노드의 거리에 따라 그룹을 할당하였고 노드 간 가장 가까운 이웃 노드에게 데이터를 전송하기 때문에 불필요한 경로를 최소화하였고, 각 그룹의 리더 노드는 싱크 노드로 바로 데이터를 전달하지 않고 다음 그룹의 리더 노드에게 데이터를 전송하기 때문에 에너지 소모를 줄일 수 있다.

Ⅳ. 실험 분석 및 결과

4.1 실험을 하기 위한 체인 구성

무선 센서 네트워크의 크기는 100m×100m이고 전체 센서 노드 수는 100개, 200개 두 가지로 설정하여 체인 기법인 PEGASIS와 제안된 다중 체인 기법의 센서 노드 구성을 확인한다. 센서 노드는 무작위로 배치되고 싱크 노드의 위치는 (50, 150)으로 전장 상황을 고려하여 센서 필드의 후방에 배치하는 것으로 가정한다.

센서 노드가 100개일 때 PEGASIS의 체인 구성은 [그림 8]과 같다. Greedy 알고리즘에 따라 싱크 노드와 가장 거리가 먼 센서 노드를 체인의 시작노드로 선택하여 체인을 구성하고 자신과 가장 가까운 이웃 노드를 체인의 다음 노드로 선택한다.

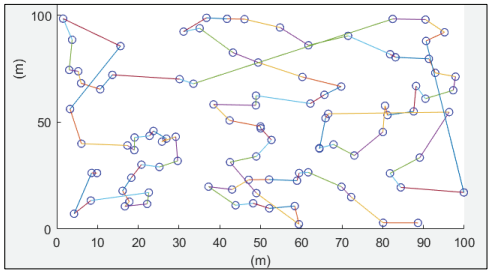


그림 8. PEGASIS 체인 구성(100 노드)
Fig. 8 The chain construction in PEGASIS (100 nodes)

제안하는 기법의 체인 구성에서는 싱크노드와의 거리 20m ~ 50m에 따라 무선 센서 네트워크를 동심원 형태로 나누었을 때 그룹 수를 2에서 5까지 가정하고 각 그룹 수에 따라 체인을 구성했을때 그룹에 속하는 센서 노드의 수에 대한 표준편차값을 계산한다.

싱크노드와의 거리에 따라 각 그룹 내 포함되는 센서 노드의 표준편차값을 비교하면 [그림 9]와 같이 20m 5개 그룹의 경우가 최소값을 가지게 되므로 그룹 수는 5가 되고 다중체인 구성은 [그림 10]과 같다.

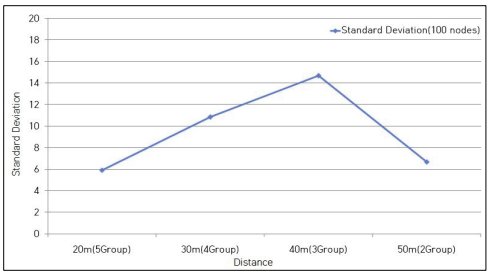


그림 9. 그룹 수에 따른 노드 표준편차값(100 노드)
Fig. 9 Node standard deviation value according to the number of groups (100 nodes)

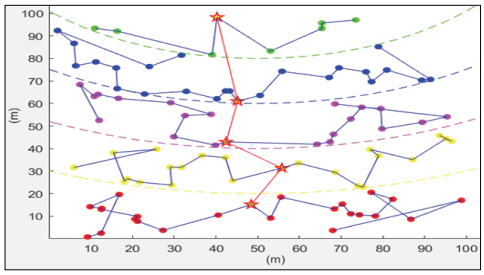


그림 10. 제안하는 라우팅 프로토콜(5Group)
Fig. 10 Proposed Routing Protocol (5Group)

센서 노드 200개가 무작위로 배치된 PEGASIS의 체인 구성은 아래 [그림 11]과 같다.

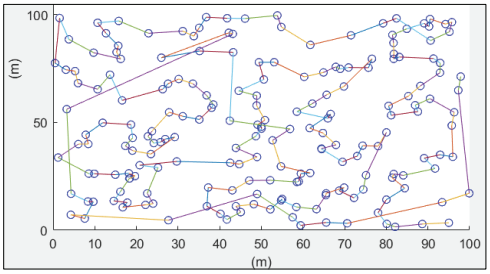


그림 11. PEGASIS 체인 구성(200 노드)
Fig. 11 The chain construction in PEGASIS (200 nodes)

센서 노드 200개가 무작위로 배치되고 싱크노드와의 거리 20m ~ 50m에 따라 무선 센서 네트워크를 동심원 형태로 나누었을 때 그룹 수를 2에서 5까지 가정하고 각 그룹 수에 따라 체인을 구성했을때 그룹에 속하는 센서 노드의 수에 대한 표준편차값은 [그림 12]와 같다. 센서 노드의 표준편차값을 비교하면 20m 5개 그룹의 경우가 최소 값을 가지게 되므로 그룹 수는 5가 되고 다중체인 구성은 [그림 13]과 같다.

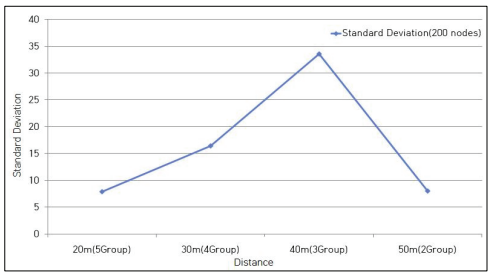


그림 12. 그룹 수에 따른 노드 표준편차값(200 노드)
Fig. 12 Node standard deviation value according to the number of groups (200 nodes)

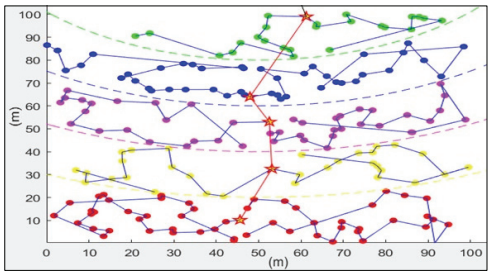


그림 13. 제안하는 라우팅 프로토콜(5Group)
Fig. 13 Proposed Routing Protocol (5Group)

4.2 실험 분석 및 결과

무선 센서 네트워크의 크기는 100m×100m, 각각 100개와 200개의 무작위로 배치된 센서 노드의 개수에 대해 전체 네트워크 에너지 효율성을 비교한다. 싱크 노드의 위치는 (50, 150)으로 가정한다. 센서 노드의 초기 에너지는 0.25(J), 전송 데이터의 크기는 2000(bit)로 가정한다. 그룹 수는 알고리즘에 따라 값이 정해지는데 본 연구에서는 센서 노드 100개와 200개가 배치되었을 경우 그룹별 센서 노드의 표준편차가 가장 적은 5개의 그룹으로 할당된다. 실험 환경은 [표 1]과 같다.

표 1. 실험 환경
Table 1. Experimental environment.

Sortatio	Contents
CPU	Intel(R) Core(TM) i5-8250U CPU @ 1.60GHz 1.80 GHz
OS	Windows 10 Enterprise
RAM	8.00GB
Graphic	Intel(R) UHD Graphics 620
Simulator	Matlab

본 논문에서는 PEGASIS와 제안된 라우팅 기법의 에너지 효율성을 비교한다. 네트워크 크기 100m × 100m, 센서 노드 100개가 배치된 경우 첫 번째 노드가 죽는 시점(라운드)과 30% 노드가 죽는 시점(라운드)을 비교하여 에너지 효율성은 [표 2]에서 보여준다.

표 2. 에너지 효율성(100 노드)
Table 2. Energy Efficiency(100 nodes)

Time	PEGASIS protocol	Proposed scheme	Energy-Efficiency (%)
First node dead	412 round	174 round	-57.8 %
30% node dead	894 round	1485 round	66.1 %

센서 노드 200개가 배치된 경우 첫 번째 노드가 죽는 시점(라운드)과 30% 노드가 죽는 시점(라운드)을 비교하여 에너지 효율성은 [표 3]에서 보여준다.

표 3. 에너지 효율성(200 노드)
Table 3. Energy Efficiency(200 nodes)

Time	200 nodes		Energy-Efficiency (%)
	PEGASIS protocol	Proposed scheme	
First node dead	253 round	183 round	-27.7 %
30% node dead	947 round	1983 round	109.4 %

PEGASIS와 제안된 라우팅 기법의 에너지 효율성을 비교해본 결과 센서 노드 100개일 때, 첫 번째 노드가 죽는 시점(라운드)은 제안된 라우팅 기법이 약 -57.8% 비효율적이나 30% 노드가 죽는 시점(라운드)은 약 66.1% 효율적인 것을 볼 수 있다. 센서 노드 200개일때도 첫 번째 노드가 죽는 시점(라운드)은 약 -27.7% 비효율적이나 30% 노드가 죽는 시점(라운드)는 약 109.4% 효율적인 것을 볼 수 있다.

제안된 라우팅 기법은 PEGASIS와 다르게 리더 노드가 매 라운드마다 번갈아가며 역할을 수행하지 않고 고정으로 역할을 수행하기 때문에 첫 번째 죽는 노드가 빠르게 발생하지만 장기적으로 전체 에너지의 효율성과 네트워크의 지속성 면에서 PEGASIS보다 효율적이다. 또한, 노드의 밀도가 높을수록 에너지 효율이 더욱 높음을 알 수 있다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서 제안하는 라우팅 기법은 싱크노드와의 거리에 따라 그룹을 할당하고 그룹별 리더 노드를 선정, 선정된 리더 노드를 기준으로 다중 체인 기법을 사용하여 데이터를 전송함으로써 불필요한 전송거리를 줄여 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜을 제안하였다. 실험 결과 PEGASIS와 제안한 라우팅 기법에 설정값을 동일하게 설정하였을 때 PEGASIS보다 제안한 라우팅 기법이 더욱 에너지 효율적인 프로토콜인 것이 증명되었고, 네트워크 수명 또한 향상되었음을 확인하였다. 또한, 싱크노드와의 거리에 따른 그룹의 수는 5개 그룹이 최적임을 확인하였다. 특히, 센서 노드의 수를 달리하여 실험해본 결과 노드의 수를 더 늘려 밀도를 높였을 때 제안된 라우팅 기법의 에너지 효율이 더 높아진 것을 확인하였다.

References

[1] J. Choi and T. Kwon, “Echelons Scale Identification Scheme of Surveillance and Reconnaissance Sensor Network,” *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 13, no. 3, 2010, pp. 438-444.

[2] D. Jeon, “A study on the Implementation of Wireless Sensor Network for Wireless Home Networking,” *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 6, 2012, pp. 1337-1342.

[3] D. Lee, K. Cho, C. Kang, C. Oh, “Link Cost based Routing Protocol for Improving Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 23, no. 5, 2019, pp. 574-580.

[4] J. Won and H. Park, “Residual Power based Routing Protocol to Extend Network Lifetime in Wireless Sensor Network,” *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 21, no. 5, 2018, pp. 592-598.

[5] M. Son and Y. Kim, “A Study on Hierarchical Communication Method for Energy Efficiency in Sensor Network Environment,” *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 8, 2014, pp. 889-898.

[6] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, “PEGASIS : Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems,” *Proceedings, IEEE Aerospace Conference*, Montana, USA, Mar. 2002, pp. 1125-1130.

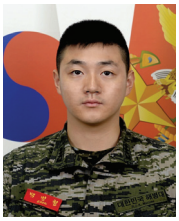
[7] S. Jung, “Multi-Chain based Routing Protocol for Efficient Energy Consumption in Wireless Sensor Networks,” *Journal of Digital Contents Society*, vol. 21, no. 6, 2020, pp. 1181-1189.

[8] C. Suh and J. Yang, “A-PEGASIS : Advanced Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems,” *Journal of Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, vol. 34, no. 6, 2007, pp. 458-465.

[9] B. Shin and J. Kim, “Chain-based Routing Model of Improving the Network Lifetime in WSNs,” *Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange*, vol. 6, no. 11, 2020, pp. 173-181.

[10] S. Jung, Y. Han, and T. Chung, “The Concentric Clustering Scheme for Efficient Energy Consumption in the PEGASIS,” *The 9th International Conference on Advanced Communication Technology*, Gangwon, Korea, Feb. 2007, pp. 260-265.

저자 소개



백병철(Byoung-Choul Baek)

2012년 제주대학교 에너지공학과 졸업(공학사)
2022년~현재 국방대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사과정

※ 관심분야 : Next Generation Networking, U-Sensor Networking

권태욱(Tae-Wook Kwon)

1986년 육군사관학교 전자공학과 졸업(공학사)
1995년 美 해군대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학석사)
2001년 연세대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)
2007년~현재 국방대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : Next Generation Networking, Content Centric Networking, Software Defined Networking, Network Function Virtualization, U-Sensor Networking, VR, RFID