

WSN에서의 효율적 라우팅을 위한 에너지 기반 PEGASIS 프로토콜

도현우* · 권태욱**

An Energy-based PEGASIS Protocol for Efficient Routing in Wireless Sensor Networks

Hyun-Woo Do* · Tae-Wook Kwon**

요약

다수의 소형 센서들을 일정한 공간에 배치하여 무선으로 네트워크를 구성하는 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network, WSN)환경에서는 각 센서들이 제한된 배터리 전력을 가지고 있어 각 센서 노드의 수명이 네트워크 수명과 직결되므로 효율적인 라우팅을 통해 네트워크의 수명을 극대화하여야 한다. 본 연구는 WSN환경에서 대표적인 에너지 효율적 라우팅 프로토콜인 PEGASIS를 기반으로 싱크 노드로부터의 거리에 따라 그룹을 구분하고, 그룹마다 다중 체인을 구성한 후, 그룹별 에너지 잔량 비교를 통해 리더 노드를 선정하는 라우팅 프로토콜을 제안한다. 제안된 기법은 각 그룹의 리더 노드들이 그룹에서 에너지가 가장 많은 노드를 선택하므로 기존의 PEGASIS 기법보다 네트워크 수명을 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

In a Wireless Sensor Network (WSN) environment, where numerous small sensors are arranged in a certain space to form a wireless network, each sensor has limited battery power. Therefore, the lifetime of each sensor node is directly related to the network's lifetime, necessitating efficient routing to maximize the network's lifespan. This study proposes a routing protocol based on PEGASIS, a representative energy-efficient routing protocol in WSN environments. The proposed protocol categorizes nodes into groups based on their distance from the sink node, forms multiple chains within each group, and selects the leader node for each group by comparing the remaining energy levels. The proposed method ensures that each group's leader node is the one with the highest energy within that group, which has been shown to increase the network's lifespan compared to the traditional PEGASIS method.

키워드

Wireless Sensor Network, PEGASIS, Multi-Chain Based Routing, Middle Leader-Node Routing, Energy Based Routing
무선 센서 네트워크, 페가시스, 다중체인 기반 라우팅, 중앙 리더노드 라우팅, 에너지 기반 라우팅

* 국방대학교 관리대학원(dohyunwoo@naver.com)

** 교신저자 : 국방대학교 컴퓨터공학과

• 접수일 : 2024. 07. 12

• 수정완료일 : 2024. 08. 27

• 게재확정일 : 2024. 10. 12

• Received : Jul. 12, 2024, Revised : Aug. 27, 2024, Accepted : Oct. 12, 2024

• Corresponding Author : Tae-Wook Kwon

Dept. Computer Engineering, Korea National Defense University

Email : kwontw9042@korea.ac.kr

I. 서 론

다수의 센서 노드들을 이용하여 무인으로 정보를 수집하고 및 처리하기 위해 사용되는 기술을 무선 센서 네트워크(WSN, Wireless Sensor Network)라고 한다[1]. WSN은 센서를 활용하여 저가로 운용하는 시스템이므로 특정 환경에서 다수의 센서 노드들이 라우팅 프로토콜을 이용하여 서로 데이터를 주고받는다. 이러한 센서 노드들은 배터리로 동작하고 광범위한 영역에 많은 수의 노드가 배치되기 때문에 배터리 방전 시 교체가 어려운 특징을 가지고 있다. 따라서 센서 노드들의 배터리의 수명이 전체 네트워크의 수명과 직결되므로 효율적인 배터리 전력 사용을 통한 네트워크의 수명을 극대화하는 것이 매우 중요하다[2].

WSN 라우팅 프로토콜은 네트워크의 구조에 따라 평면 기반 라우팅, 계층 기반 라우팅, 위치 기반 라우팅으로 나뉜다. 특히, 라우팅 알고리즘 설계할 때 센서 노드들의 에너지 효율을 중요시하여 중복 데이터 통합과 전송 경로 최적화를 목적으로 하는 계층 기반 라우팅이 많이 연구되고 있으며, 계층 기반 라우팅의 대표적인 프로토콜로는 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)와 PEGASIS(Power-Efficient Gathering in Sensor Information System)가 있다[3, 4].

LEACH와 PEGASIS 프로토콜은 에너지 효율성을 개선하기 위해 다양한 기법과 방법을 적용하여 네트워크의 수명을 연장하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다.[5]

본 논문에서는 PEGASIS 다중체인 알고리즘을 기반으로 전체 네트워크 수명을 늘리는 성능 개선을 하기 위해 그룹 내 가장 에너지가 높은 노드를 리더 노드로 선정하는 방식을 제안한다.

II. 관련연구

2.1 PEGASIS 라우팅 프로토콜

PEGASIS 프로토콜은 기존의 WSN 환경에서 대표적으로 사용하던 LEACH 프로토콜의 클러스터 구성과 데이터 전송 방법을 체인 형태로 개선하여, 각 노드들이 이전의 데이터들을 종합하여 다음 노드로 넘겨주는 방식을 사용한다. 이러한 방식을 통해 각 노드

들이 리더 노드로 데이터를 직접 보내게 될 때 발생하는 불필요한 에너지 소모를 줄인다.

체인을 구성할 때는 Greedy 알고리즘을 통해 기지국으로부터 거리가 가장 먼 센서 노드가 체인의 시작점이 되고, 시작노드와 거리가 가장 가까운 센서 노드가 해당 체인의 다음 노드로 선택된다. 이러한 과정을 구역 내 모든 노드들이 하나의 체인으로 완성될 때까지 반복하는 과정을 갖는다. 각 센서 노드들은 신호의 세기를 이용하여 이웃 노드와의 거리를 측정하고, 가장 가까운 노드만 정보를 받을 수 있도록 신호의 세기를 조정한다. 체인 구성이 완료된 후 데이터 전송은 토큰링 방식을 이용하여 전송한다.

PEGASIS는 LEACH 방식에 비해 효율적이라고 볼 수 있지만 두 가지 문제점이 발생한다. 첫 번째로는 기지국인 BS(Base Station)와 멀리 떨어져 있는 노드가 리더 노드가 될 경우, 데이터 전송 거리가 늘어나 불필요한 에너지 소모가 발생한다는 것이다[6]. 두 번째는 Greedy 알고리즘으로 체인이 구성되기 때문에 아직 체인이 형성되지 않은 소수의 센서 노드는 거리가 먼 노드와 체인이 연결되거나 체인의 경로가 중복, 중첩되어 불필요한 에너지가 소모된다는 것이다[7].

2.2 다중체인 기반 라우팅 프로토콜

다중체인 기반 라우팅 프로토콜은 노드의 신호영역을 강도 기준에 따라 동심원 형태로 주어지며, 그룹 간격을 일정한 설정 값에 따라 나누게 된다.[8] BS를 기준으로 신호 영역에 따라 가장 가까운 곳에서부터 일정한 간격으로 그룹을 증가시키면서 할당한다.

각 그룹 안에서 가장 좌측에 있는 노드가 시작점이 되어 기존의 PEGASIS기법과 동일하게 Greedy 알고리즘을 통한 연쇄적인 체인을 형성하며, 리더 노드(그룹 내 가장 좌측에 위치한 노드)가 자신의 데이터를 상위 및 하위 그룹 리더 노드로 전송하고 BS로부터 가장 가까운 그룹1의 리더 노드가 최종적으로 BS에게 데이터를 전송한다[9]. 그룹 내 노드끼리 체인을 형성하여 전송 거리가 짧아지므로 불필요한 에너지 소모를 방지한다. 하지만 각 그룹의 리더 노드가 무작위로 선정되기 때문에 리더 노드 간 데이터를 전송할 때 전송거리가 늘어나 불필요한 에너지 소모가 발생할 수 있는 문제가 있다.

이를 극복하기 위해 최근 연구에서는 그룹 내 리더

노드 선정 시, 그룹의 중앙에 위치한 노드를 리더 노드로 선정하여 노드 간 전송거리를 축소시켜 전체 네트워크의 수명을 늘리는 기법을 보였다[10].

다중 체인을 형성할 때, 리더 노드들은 그룹의 위치 상 중앙에 위치하여 리더 노드의 좌·우 방향으로 체인을 형성하고, 리더 노드는 리더 노드들끼리 체인을 형성하는 방식으로 BS까지 체인을 연결한다. 리더 노드가 중앙으로 고정되어 있어 불필요한 전송거리를 줄여주어 네트워크의 수명을 증가시켜주었다.

III. 에너지 기반 다중체인 라우팅

제안하는 기법은 네트워크의 수명을 늘리기 위해 그룹 내 에너지가 가장 높은 노드를 리더 노드로 선정하는 방식이다. 앞서 소개한 다중체인 기법과 중앙 리더 노드 기법과 동일하게 그룹을 나누어 체인을 형성하는 다중 체인 알고리즘을 사용한다. 알고리즘은 크게 그룹 할당, 리더 노드 선정, 다중 체인 구성, 데이터 전송의 4단계로 이루어진다.

3.1 그룹 할당

무선 센서 네트워크 안의 센서 노드는 랜덤하게 배치되지만, 위치정보를 바탕으로 BS로부터의 거리에 따라 각자의 그룹을 할당받게 된다. 그룹 간의 간격은 일정한 거리로 나누어지며, 센서 노드는 BS로부터의 거리에 따라 그룹이 정해진다.

3.2 리더노드선정

그룹 내 센서 노드 중에서 에너지가 가장 높은 노드를 리더 노드로 선정한다. 각 그룹의 리더 노드는 그룹 안에 속해 있는 센서 노드로부터 데이터를 수집하여 병합하고 상위 그룹의 리더 노드에게 데이터를 전송하는 역할을 맡는다. 각 그룹은 10라운드마다 리더 노드 선정 과정을 반복한다.

3.3 다중체인구성

각 그룹 내 센서 노드들은 서로 체인을 구성하게 된다. 체인의 시작점은 각 그룹의 리더 노드가 된다. 각 그룹 내 체인 구성이 끝나면 각 그룹의 리더 노드는 다음 그룹의 최기 센서 노드와 다중 체인을 구

성한다. 그림 1에서 다중 체인을 구성한 것을 볼 수 있다.

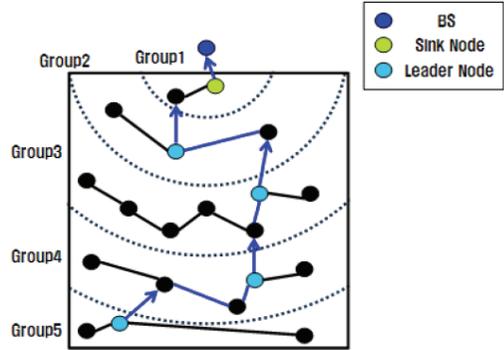


그림 1. 에너지 기반 라우팅 프로토콜
Fig. 1 Energy-based routing protocol

3.4 데이터 전송

각 그룹 내 센서 노드들과 각 그룹의 리더 노드 간 체인 구성이 끝나면, 각 센서 노드들은 체인을 따라 리더 노드로 데이터를 전송하는데, 자신의 이웃 노드로부터 수집한 데이터를 자신의 데이터와 병합하여 다음 이웃 노드에게 전달한다.

최종적으로 첫 번째 그룹의 싱크노드가 모든 센서 노드의 데이터를 수집하고 병합하여 BS로 데이터를 전달하면 한 라운드가 종료된다. 10라운드가 진행되면 리더 노드 선정 단계(3.2)로 돌아가고 이 과정을 반복한다.

IV. 실험 및 분석

라우팅 프로토콜의 성능을 확인하기 위해 기존에 소개된 알고리즘들과 시뮬레이션을 통해 비교 평가하였다. 실험 결과에 대한 분석 요소는 첫 번째로 50라운드를 수행했을 때의 소모된 전체 네트워크 에너지량과 가장 많이 소모된 노드의 에너지 잔량이며, 두 번째로 첫 번째 dead 노드가 발생하는 시점이 언제인지(네트워크 수명)에 관한 결과 값을 확인하였다.

기존에 라우팅 프로토콜과 첫 번째 Dead 노드가 발생하는 시점은 비슷하거나, 기존 PEGASIS 프로토콜이 제안하는 라우팅 프로토콜보다 다소 먼저 발생

할 수 있을 것으로 예상되며, 지속했을 때 불필요한 경로가 발생하지 않고 데이터 전송 거리가 짧기 때문에 제한하는 라우팅 프로토콜이 전체적인 에너지 효율은 높을 것으로 판단하였다.

4.1 환경 구성

최초 모든 노드의 에너지는 1,000,000(J)로 설정하고 사용되는 에너지는 거리의 제곱에 비례하도록 설정하였다. 시뮬레이션에 사용된 실험환경은 [표 1]과 같다.

표 1. 실험환경

Table 1. Experiment environment

Sortatio	Contents
CPU	Intel(R) Pentium(R) CPU 3825U @ 1.90GHz
OS	Ubuntu 22.04.4
RAM	8.00GB
Simulator	Network Simulator 3

시뮬레이터는 TCP/IP와 같은 유선 네트워크뿐만 아니라 WiFi, WiMax LTE 등의 무선 네트워크에 대한 시뮬레이션 수행이 가능한 오픈소스 시뮬레이터인 NS3를 사용하였다. 시뮬레이터는 리눅스 기반으로 C++로 짜여진 코드를 활용하여 시뮬레이션을 구동한다.

무선센서 네트워크의 크기는 100m×100m로 하고, 전체 센서 노드 수는 50개로 설정하였다. 노드들의 배치는 무작위로 설정하였고, 기존에 소개된 두 가지 PEGASIS 기법들과의 에너지 비교를 위해 무작위 배치 후에는 위치를 고정시켜 놓았다. BS의 위치는 네트워크 밖의 (50, 150)지점에 배치하였다.

BS를 기준으로 30m 간격으로 영역을 동심원 형태로 나누어 그룹을 4개로 구분하였고 그룹별 Greedy 알고리즘에 따라 자신과 가장 가까운 이웃 노드와 체인을 설정한다. 노드들의 목록을 설정하기 위해 그룹별로 BS에서 가까운 좌측부터 번호를 부여하면 그룹1은 1~5번, 그룹2는 6~15, 그룹3은 16~30, 그룹4는 31~50번으로 노드 번호가 부여된다. 위의 설정으로 배치한 최초 센서 노드와 BS의 모습은 [그림 2]와 같다.

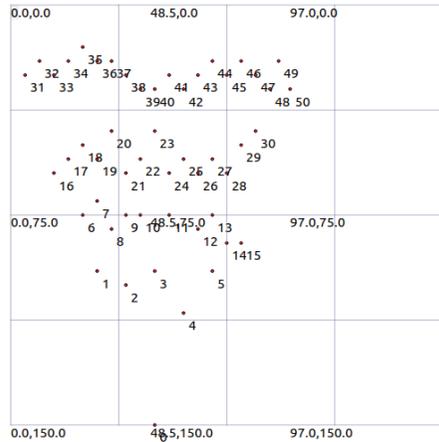


그림 2. 센서 노드와 BS의 배치

Fig. 2 Placement of sensor nodes and BS

4.2 세부 수행절차

● 다중 체인 기반 라우팅 프로토콜

실험의 결과 비교하기 위해 기존의 두 가지 기법과 제한하는 기법에 따른 토폴로지를 구현하였다. 첫 번째로 최초 제안된 다중 체인 기반 라우팅 프로토콜 기법은 리더 노드를 가장 좌측으로 설정하여 리더 노드와 BS, 리더 노드와 리더 노드를 연결한다. 이를 토대로 구현한 다중체인 기법의 토폴로지는 [그림 3]과 같다.

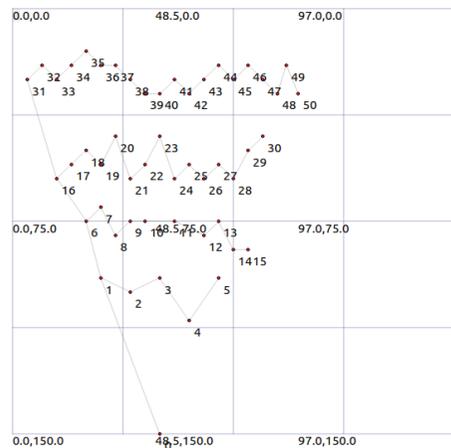


그림 3. 다중 체인 기반 라우팅 프로토콜

Fig. 3 Multi-Chain based routing protocol

● 중앙 리더 노드 라우팅 프로토콜

두 번째 비교 대상은 리더 노드를 중앙으로 위치시킨 기법이다. 그룹별 중앙으로 설정한 리더 노드를 기준으로 좌우로 체인을 형성하고 리더 노드와 BS, 리더 노드와 리더 노드를 연결한다. 위와 같이 구성된 중앙 리더 노드 기법의 토폴로지는 [그림 4]와 같다.

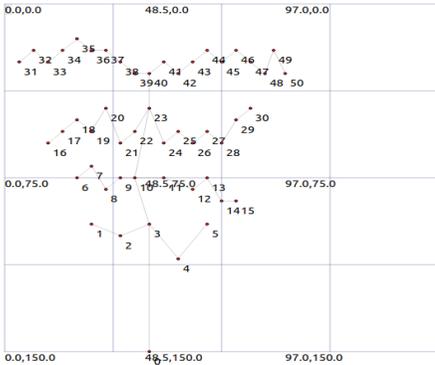


그림 4. 중앙 리더 노드 라우팅 프로토콜
Fig. 4 Middle leader node routing protocol

● 에너지 기반 라우팅 프로토콜

제안하는 기법은 동일한 조건에서의 비교를 위해 중앙 리더 노드 라우팅 프로토콜과 같이 최초에는 중앙 리더 노드로 다중체인을 설정한 후, 10라운드가 지났을 때 마다 그룹 내 에너지 잔량이 가장 높은 노드를 다음 라운드의 리더 노드로 선정한다. 최초의 토폴로지는 [그림 5]와 동일한 모습이다.

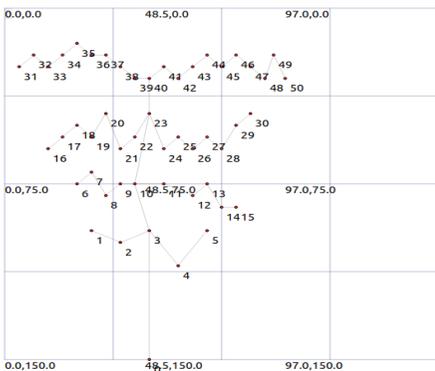


그림 5. 최초 에너지 기반 라우팅 프로토콜
Fig. 5 First energy based routing protocol

기존에 제시된 두 가지 기법과 달리 10라운드마다 네트워크 구성이 변화하게 되는데 50라운드가 종료되었을 때 네트워크 구성은 [그림 6]과 같이 된다.

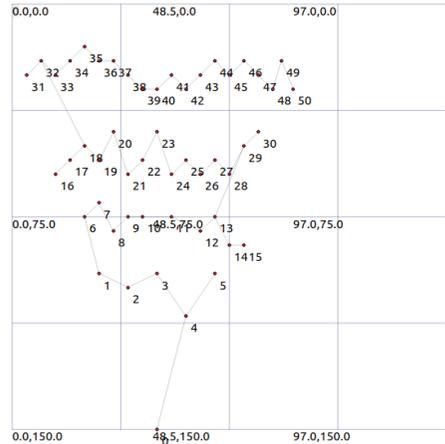


그림 6. 최종 에너지 기반 라우팅 프로토콜
Fig. 6 Final energy based routing protocol

4.3 실험 결과 분석

본 논문에서는 기존의 두 가지 PEGASIS 기법과 제안된 라우팅 기법의 에너지 효율성을 비교하였다. 첫 번째로 각 기법에 따라 동일하게 50라운드를 실행하였을 때, 전체 센서 노드들이 소모한 에너지의 평균 값을 구했다. 각 기법 별 산출되는 값은 [표2]와 같다.

표 2. 50라운드 후 소모 에너지 평균

Table 2. Average energy consumption after 50 rounds

Routing Method	Multi-Chain Based	Middle Leader Node	Proposed Scheme
Average Energy Consumption	25,276	18,112	24,991

50라운드 수행 후 전체 노드들이 소모한 에너지의 평균은 중앙 리더 노드 - 제안 기법 - 다중체인 라우팅 프로토콜 순으로 높았다. 중앙 리더 노드 프로토콜의 경우, 노드 간의 거리가 최소가 되기 때문에 다중체인

기법과 제안한 기법보다 에너지 사용량이 적었다.

그러나 노드별 에너지 소모량을 확인하면 개별 노드의 생존에는 다른 결과가 나온다는 것을 알 수 있다. 다음은 50라운드 후 가장 많이 소모한 노드의 번호와 에너지의 잔량을 측정한 결과[표3] 이다.

표 3. 50라운드 후 가장 많이 소비된 노드 및 잔량
Table 3. Most used nodes and remaining after 50 rounds

Routing Method	Multi-Chain Based	Middle Leader Node	Proposed Scheme
Most Consumed Energy Node (Left Energy)	Node 1 (143,750)	Node 3 (718,750)	Node 5 (812,825)

가장 에너지를 많이 소모한 노드는 다중체인-중앙 리더 노드-제안 기법 순으로 나타났다. 이는 기존 두 가지의 프로토콜을 사용하였을 경우 시간이 지나갈수록 노드 1개가 사용하는 에너지는 제안 기법보다 많다는 것을 의미한다. 노드 1개의 사용하는 에너지가 많을수록 네트워크에서 노드 1개가 죽는 시점이 빨라지게 되고 전체 네트워크의 수명에 영향을 미치게 된다.

이러한 예상은 [표4]와 같이 네트워크에서 첫 번째 Dead 노드가 발생하는 시점을 측정을 통해 확인할 수 있었다.

표 4 첫 번째 Dead 노드 발생 시점
Table 4. First Dead Node Occur Time

Routing Method	Multi-Chain Based	Middle Leader Node	Proposed Scheme
Round	59 (Node 1)	178 (Node 3)	299 (Node 4)

첫 번째 Dead 노드가 발생한 시점을 보았을 때 다중체인-중앙 리더 노드-제안된 기법 순으로 빨랐고, 라운드 수의 차이는 크게 나타났다. 생존 라운드 수의 정량적인 차이를 통해 각 네트워크의 수명을 비교하면 제안된 기법이 다른 기법들에 비해 확연한 차이를 볼 수 있다. 제안된 기법과 비교하였을 때, 다중체인 기법보다는 4.07배, 중앙 리더 노드 기법보다는 1.55배 생존 라운드 수가 길어진 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서 제안하는 기법은 BS를 기준으로 동심원을 그리고 일정한 거리에 따라 그룹을 할당하고, 그룹 내 노드 중에서 에너지 잔량이 가장 높은 노드를 리더 노드로 선정한 후, 다중 체인을 구성하고 데이터를 전송, 10라운드마다 에너지가 높은 노드를 리더 노드로 재선정하는 과정을 반복하는 라우팅 프로토콜이다.

실험을 통해 기존에 제시한 다중체인 기반 라우팅 프로토콜과 중앙 리더 노드 프로토콜과 비교하였을 때 동일한 조건 하에서 네트워크의 수명이 보다 길어진 것을 확인할 수 있었다.

References

[01] 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.

[02] 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.
<https://doi.org/10.13067/JKIECS.2012.7.6.1337>

[03] W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocols for Wireless Microsensor Networks", *Proceedings of the 33rd Annual Hawaiian International Conference on Systems Science*, Maui,

Hi, USA, Jan. 2000.

<https://doi.org/10.1109/HICSS.2000.926982>

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

<https://doi.org/10.1109/AERO.2002.1035242>

- [05] D. Cho and T. Kwon, "Energy Efficient Routing Protocols based on LEACH in WSN Environment", *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 18, no. 4, 2023, pp. 609-616.

<https://doi.org/10.13067/JKIECS.2023.18.4.609>

- [06] 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.

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2020.21.6.1181>

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

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

<http://dx.doi.org/10.47116/apjcri.2020.11.15>

- [09] 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.

<https://doi.org/10.1109/ICACT.2007.358351>

- [10] B. Beak and T. Kwon, "Energy Efficient Routing Protocol Based on PEGASIS in WSN Environment", *Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 18, no. 4, 2023, pp. 579-586.

<http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2023.18.4.579>

저자 소개



도현우(Hyun-Woo Do)

2016년 육군사관학교 기계공학과 졸업(공학사)

2023년~현재 국방대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사과정

※ 관심분야 : 컴퓨터 통신, 센서 네트워크



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 : 컴퓨터 통신&네트워크, 센서 네트워크, CCN, SDN, VR&AR

