

WSN LEACH 기반 에너지 효율적인 다중 패스 멀티 홉 라우팅 기법 연구

박태빈* · 권태욱**

An Energy-Efficient Multi-Path Multi-Hop Routing Techniques based on LEACH in WSN Environment

Park Tae Bin* · Tae-Wook Kwon**

요약

무선 센서 네트워크에서 사용되는 계층 기반 라우팅 프로토콜인 LEACH는 클러스터 헤드에서 융합된 데이터를 싱크 노드에 싱글 홉으로 전송하기 때문에 네트워크의 크기가 커질수록 싱크 노드까지의 거리가 멀어져 에너지 소모가 크게 증가한다. 또한 이를 해결하기 위한 기존의 멀티 홉 전송 연구들은 다음으로 전송할 노드를 찾고 이 노드를 경유하는 과정에서 역방향 전송의 문제점이 발생한다. 본 논문에서는 싱크 노드와의 거리를 기준으로 중계 노드를 선정하고, 중계 노드와 각 클러스터 헤드 사이에 직선 방향으로 위치한 일반 노드들을 경유하여 중계 노드로 전송하는 멀티 홉 라우팅 기법을 제안한다. 노드 간 전송 거리 감소 및 인접 노드를 경유하는 과정에서 발생하는 역방향 전송 최소화를 통해 기존에 제안되었던 LEACH, EEACP 프로토콜과 비교해 네트워크 수명이 연장되었음을 확인하였다.

ABSTRACT

LEACH, a layer-based routing protocol used in wireless sensor networks, sends fused data from the cluster head to the sink node in a single hop, so as the network size increases, the distance to the sink node increases significantly, which increases energy consumption. In addition, existing multi-hop transmission studies to solve this problem have problems with reverse transmission in the process of finding the next node to be transmitted and passing through this node. In this paper, we propose a multi-hop routing technique that selects a relay node based on the distance to the sink node and transmits it to a relay node via general nodes located in a straight line between the relay node and each cluster head. By reducing the transmission distance between nodes and minimizing reverse transmission occurring in the process through adjacent nodes, it was confirmed that the network life was extended compared to the previously proposed LEACH and EEACP protocols.

키워드

Energy Efficiency, Multi-Hop Transmission, Routing Protocol, Wireless Sensor Network, Chaining Techniques
에너지 효율성, 멀티 홉 전송, 라우팅 프로토콜, 무선 센서 네트워크, 체이닝 기법

* 국방대학교 관리대학원(ptb2010@naver.com)

** 교신저자 : 국방대학교 컴퓨터공학과

• 접수일 : 2024. 08. 01

• 수정완료일 : 2024. 09. 06

• 게재확정일 : 2024. 10. 12

• Received : Aug. 01, 2024, Revised : Sep. 06, 2024, Accepted : Oct. 12, 2024

• Corresponding Author : Tae-Wook Kwon

Dept. Computer engineering, Korea National Defense University

Email : ptb2010@naver.com

I. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network, WSN)는 네트워크 영역 내 정보들을 수집하는 센서 노드(Sensor Node)와 이 정보를 외부로 내보내는 싱크 노드(Sink Node)로 구성된 네트워크 시스템을 말한다[1]. 센서가 주어진 환경에 배치되면 그 위치는 고정되고 전력공급은 제한되기 때문에 전체 네트워크의 수명은 통상 배터리에 의해 결정된다[1]. 무선 전송에서의 에너지 소모는 데이터 송·수신 간에 가장 많이 발생하며 센서 간 거리의 제곱에 비례하는 특성을 가진다[2, 6]. 이로 인해 전체 네트워크 수명을 위해서는 센서 간 전송 거리를 줄이는 것이 중요하다. 계층 기반 클러스터링 기법들은 클러스터 구성과 데이터 융합 전송을 통하여 개별 노드들의 에너지 소모를 줄여 전체 네트워크 효율을 높이는 방식을 취한다. 대표적인 계층기반 프로토콜인 LEACH(: Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)는 각 클러스터 헤드들이 직접 싱크 노드에게 데이터를 전송하는 싱글 홉(single-hop) 전송 방법을 사용한다[3]. 이로 인해 싱크 노드와의 거리가 먼 노드들이 상대적으로 더 많은 에너지를 소모하는 에너지 불균형이 발생하고 네트워크의 크기가 커질수록 최종 목적지인 싱크 노드까지의 거리가 멀어져 전체 네트워크의 수명이 단축된다. 이를 해결하기 위해 클러스터 헤드 간 멀티 홉(multi-hop) 전송을 적용하여 에너지 소모를 줄이는 다양한 연구들이 진행되어 왔다[7-10].

본 논문에서는 LEACH 프로토콜을 기반으로 싱크 노드와 가장 거리가 가까운 클러스터 헤드를 중계 노드로 지정하고, 각 클러스터 헤드와 중계 노드 사이에 직선 방향으로 위치한 일반 노드들을 경유하는 멀티 홉 전송 패스를 구성하여 노드 간 전송 거리 감소 효과를 달성하며 각 클러스터 헤드에서 중계 노드를 기준으로 한 전송 방향 설정을 통해 패스 형성 과정에서 역방향 전송을 최소화하는 라우팅 기법을 제안한다. 이를 통해 싱글 홉 전송이 적용되는 LEACH 프로토콜 및 클러스터 헤드 간 체인 형성 과정에서 역방향 전송이 발생하는 기존의 연구들과 비교해 전체 네트워크 수명 향상을 기대한다[7-10].

II. 관련연구

2.1 LEACH 프로토콜

LEACH는 대표적인 계층 기반 클러스터링 라우팅 프로토콜로써 운영은 설정(setup), 지속상태(steady state) 2단계로 구성된다[3]. 설정 단계에서는 클러스터 형성 및 임계식 $T(n)$ 에 의해 클러스터 헤드가 선발되며 수식 (1)과 같다[4].

$$T(n) = p / \{1 - p(r \bmod(1/p))\} \quad \text{if } n \in G \dots (1)$$

각각의 클러스터에서 선정된 클러스터 헤드들은 자신들이 영역 내에서 선정된 새로운 클러스터 헤드임을 광고 메시지를 브로드캐스트하여 알린다. 이 메시지를 수신한 비 클러스터 헤드들은 RSS(: Received Signal Strength)를 통해 가까운 클러스터 헤드를 탐색하고 해당 클러스터 헤드에게 알린다. 이후 클러스터 헤드는 노드 수에 기초한 TDMA(: Time Division Multiple Access) 스케줄을 생성한 뒤 멤버 노드들에게 다시 브로드캐스트 한다. 지속상태에서는 싱크 노드까지 실 데이터 전송이 이루어지며 센서 노드들은 감지한 데이터를 각 클러스터 헤드에게 전송한다. 클러스터 헤드는 모든 멤버 노드들로부터의 데이터 수신 완료되면 데이터를 융합하여 싱크 노드로 전송한다. 한 라운드 진행 후에 설정 단계로 돌아가 새로운 라운드를 반복한다.

LEACH 프로토콜이 클러스터 형성 및 데이터를 융합하여 전송하는 매커니즘을 통해 효율성을 향상시켰지만, 노드들의 에너지 소모 불균형 등과 같은 문제가 존재한다[3-4]. 임계 식 $T(n)$ 을 통해 선발된 클러스터 헤드들이 네트워크의 특정 부분에 집중될 가능성이 존재하며 이로 인해 일부 노드들은 자신이 속할 클러스터 헤드를 찾지 못하는 경우가 발생한다. 또한 각 클러스터 헤드들이 싱크 노드에게 데이터를 직접 전송하는 싱글 홉 전송 방식을 사용하기 때문에 싱크 노드와의 거리가 멀수록 상대적으로 더 많은 전송 에너지를 소모한다. 이러한 현상은 네트워크의 크기가 커질수록 더 큰 영향을 받는다. LEACH 프로토콜의 네트워크 구조는 그림 1과 같다.

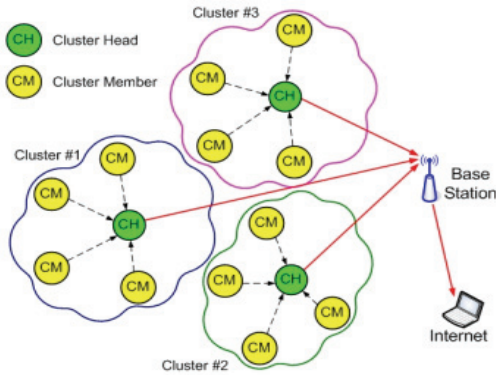


그림 1. LEACH 프로토콜의 네트워크 구조
Fig. 1 Network structure of the LEACH protocol

2.2 PEGASIS 프로토콜

PEGASIS 프로토콜은 네트워크 수명 연장을 위해 센서 노드들 사이에 단일 체인을 형성한다[5]. 싱크 노드와 데이터를 송수신하는 노드를 리더 노드라고 하며, 매 라운드마다 선발된다. PEGASIS 프로토콜의 핵심 역시 인접한 노드 간의 데이터 전송을 통해 전송 거리를 줄여 각 노드의 수명을 증가시키는 것이다.

PEGASIS 프로토콜은 체인을 형성하기 위해 싱크 노드로부터의 거리가 가장 먼 노드에서부터 greedy 알고리즘을 통해 가장 가까운 노드를 찾는 방식으로 단일 체인을 형성한다.

리더 노드에서 시작한 토큰 전달 방식을 통해 체인의 마지막 노드에서부터 데이터 전송이 시작되며, 각 노드는 인접 노드로부터 전송받은 데이터를 자체 데이터와 융합하여 다른 인접 노드로 전송한다. 리더 노드는 최종적으로 융합된 데이터를 싱크 노드로 전송한다.

PEGASIS 프로토콜과 관련된 연구 결과에 의하면, 유사한 환경에서 PEGASIS가 LEACH에 비해 네트워크 수명이 약 2배 가량 연장되는 것으로 나타난다 [5-6]. 하지만 하나의 체인으로 전체 노드를 연결해 데이터를 전송하므로 대규모의 네트워크에는 부적합하고 싱크 노드로 데이터를 전송 시 단일 체인을 모두 거쳐야 하기 때문에 즉각적인 데이터 전송이 요구되는 모니터링 분야에는 맞지 않는 제한사항들이 있고 PEGASIS 프로토콜의 네트워크 구조는 그림 2와 같다.

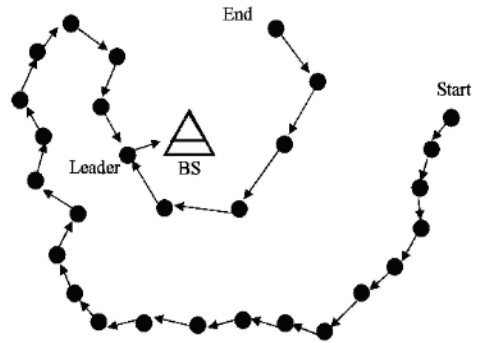


그림 2. PEGASIS 프로토콜의 네트워크 구조
Fig. 2 Network structure of the PEGASIS protocol

2.3 선행연구 분석

LEACH 프로토콜이 싱크 노드까지 데이터 전송 시 클러스터 헤드가 과도한 에너지를 소모한다는 점을 개선하기 위해 제안된 기존 연구 중 LECEPP 프로토콜은 LEACH와 PEGASIS 프로토콜의 장점을 결합한 프로토콜이다[7]. LEACH와 동일한 클러스터링 구조 기반에 PEGASIS 프로토콜의 greedy 알고리즘을 적용한 체인 기법을 활용하여 클러스터 헤드가 싱크 노드로 데이터를 직접 전송하지 않고 가까운 클러스터 헤드를 거쳐 싱크 노드로 전송함으로써 전송 거리를 단축하여 에너지를 감소시키는 알고리즘이다. 전송 거리가 단축되어 에너지 소모를 줄일 수 있지만 LECEPP 프로토콜도 개선의 여지가 존재한다. 클러스터 헤드 간 단일 체인을 형성하여 융합된 데이터를 전송하기 때문에 싱크 노드 기준 반대 방향으로 데이터 전송이 일어나는 역방향 전송이 발생할 수 있다. PEGASIS의 단일 체인 형성 기법을 적용하기 때문에 이러한 역방향 전송은 불가피하며 이는 에너지 효율을 낮추어 전체 네트워크 수명이 저하되는 요인으로 작용한다.

A-LECEPP 프로토콜은 LECEPP 프로토콜과 동일한 동작 과정 중 체인 형성 단계에서 싱크 노드의 위치 정보를 기반으로 좌, 우측으로 섹터를 구분하고 클러스터 헤드 간 PEGASIS 프로토콜의 체인 형성 기법을 적용하는 알고리즘이다[8]. A-LECEPP 프로토콜 역시 PEGASIS 프로토콜의 체인 형성 기법이 동일하게 적용되었기 때문에 좌우 영역 구분에 의해

역방향 전송이 일부 개선됨에 그쳤다.

A-EMCP 프로토콜은 PEGASIS를 기반으로 체인을 형성하는 과정에서 greedy 알고리즘이 아니라 데이터 수신 각 내에 있는 가장 인접한 노드와 체인을 형성하는 기법이 적용되었다[9]. 트리형 구조의 멀티 체인을 형성을 통해 PEGASIS의 단일 체인 형성으로 인한 전송 지연 및 역방향 전송 문제점이 일부 개선되었다.

EEACP 프로토콜은 LEACH 프로토콜을 기반으로 PEGASIS 프로토콜의 체인 형성 기법 및 멀티 홉 전송이 적용되었다[10]. 매 라운드마다 클러스터 헤드들은 자신보다 싱크 노드와의 거리가 가까운 인접 클러스터 헤드와의 연결을 통해 체이닝을 형성한다. 이 과정에서 데이터 수신 각 설정을 통해 설정된 수신 각 범위 내에 포함되는 거리가 가장 가까운 일반 노드들을 거치는 멀티 홉 전송을 적용한다. 하지만 EEACP 프로토콜도 인접한 클러스터 헤드를 찾아 체이닝을 형성하기 때문에 전송 싱크 노드 기준 반대 방향으로 데이터가 전송되는 역방향 전송이 발생한다.

III. 제안한 방법

제안 기법은 LEACH 프로토콜과 LEACH 프로토콜을 기반으로 단일 체인을 형성하는 LECEPP·EEACP 알고리즘을 개선한 전송 기법이다. LEACH 프로토콜의 경우 클러스터링 기법을 통해 전체 네트워크 수명을 연장시켰지만 전송 거리에 크게 영향을 받는 무선 네트워크 특성 상 네트워크의 크기가 커질수록 클러스터 헤드의 에너지 소모가 과도하게 발생한다는 제한사항이 있고, 단일 체인을 형성하는 EEACP 알고리즘은 역방향 전송 문제가 발생한다. 위와 같은 제한사항을 개선하기 위해 제안 기법은 싱크 노드와의 거리를 기준으로 중계 노드를 선정하고, 중계 노드와 직선 방향으로 위치한 일반 노드들을 경유하는 멀티 홉 직접 전송을 적용한다. 프로토콜별 운영 동작을 비교하면 아래 그림 3과 같다.

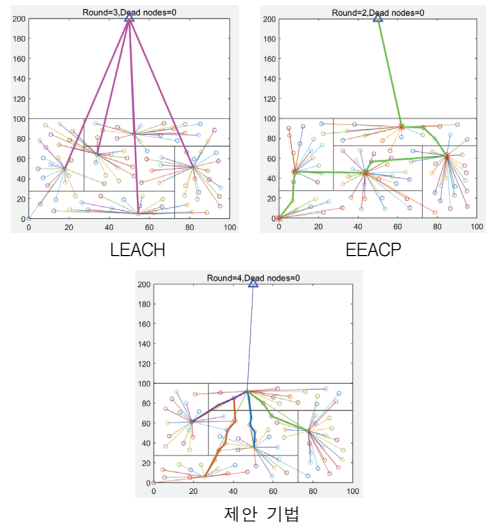


그림 3. 프로토콜별 운영 동작 비교
Fig. 3 Comparison of operations by protocol

세부 수행절차는 LEACH 프로토콜의 기본 동작 및 구조에 기반한다. 설정 및 지속 상태 2단계로 구성되며, 설정 단계에서 스케줄이 생성된 이후에 클러스터 헤드들과 중계 노드 간 통신 경로 설정 과정이 추가되어 동작한다. 제안 프로토콜의 동작은 그림 4와 같은 과정으로 이루어진다.

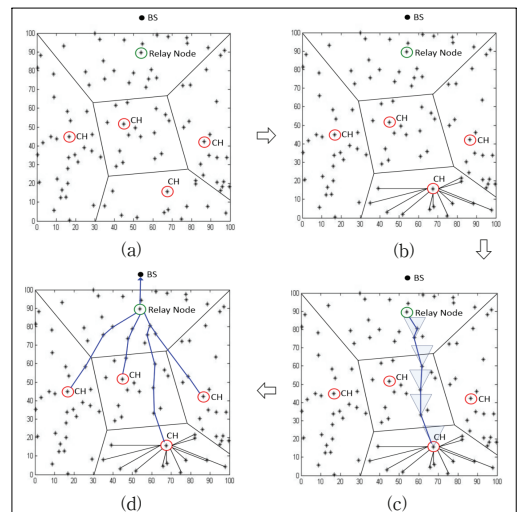


그림 4. 제안 프로토콜의 동작
Fig. 4 Operation of proposed protocol

먼저 각 노드는 라운드 시작 시점마다 임계식에 따라 클러스터 헤드 선발 절차를 거친다. 클러스터 헤드로 선발된 노드들과 싱크 노드 간 상대적인 거리 계산을 통해 싱크 노드와의 거리가 가장 가까운 클러스터 헤드가 중계 노드로 지정된다. 이후 클러스터 헤드들은 네트워크 내의 모든 노드들이 수신 가능한 전송 강도로 자신이 클러스터 헤드임을 알리는 메시지를 브로드캐스트한다. 이때 중계 노드에 대한 정보도 공유된다. 이 메시지를 수신한 비 클러스터 헤드들은 RSS(Received Signal Strength)를 이용하여 자신과의 거리가 가장 가까운 클러스터 헤드를 결정하고 해당 클러스터에 참여하겠다는 메시지를 발신한다. 이벤트를 감지하면 멤버 노드는 수집한 정보를 자신이 속한 클러스터 헤드 노드에게 전송하며 클러스터 헤드는 수집된 정보를 융합한 후 대푯값(최종 값)을 중계 노드로 전송한다.

이때 중계 노드와 클러스터 헤드들 간에 직선 방향으로 위치한 일반 노드들을 경유하는 멀티 홉 직접 전송이 적용된다. 각 클러스터 헤드에서 중계 노드 방향을 기준으로 한 데이터 수신 각을 설정하여 중계 노드까지의 전송 경로상 설정된 수신 각에 들어오는 노드들 중 거리가 가장 가까운 노드를 경유한다. 설정된 수신 각 범위 내에 포함되는 노드가 없을 경우 중계 노드로 직접 패스가 형성되며 결과적으로 중계 노드와 클러스터 헤드들 간 클러스터 헤드 개수 - 1개의 멀티 패스가 형성된다. 최종적으로 싱크 노드와의 거리가 가장 가까운 클러스터 헤드인 중계 노드가 각 클러스터 헤드로부터 전달 받은 대푯값(최종 값)을 융합하여 싱크 노드로 전송한다. 싱크 노드까지의 전송 완료 후 한 라운드가 종료되며, 클러스터 헤드와 중계노드 선정부터 위 과정을 반복하여 수행한다.

제안 프로토콜의 핵심은 각 클러스터 헤드들로부터 중계 노드까지 멀티 홉 전송을 통해 노드 간 전송 거리를 줄이는 것이다. 다중 패스 형성 과정에서 각 클러스터 헤드에서 중계 노드를 기준으로 한 데이터 수신 각을 설정하고 설정된 수신 각 내에 포함되는 노드 중 거리가 가장 가까운 노드들을 경유하는 멀티 홉 전송이 적용된다. 이를 통해 싱크 노드로 직접 전송하던 LEACH 프로토콜에 비해 데이터 송신 시 전송 거리의 제곱만큼 소모되는 에너지를 감소시키고, 전송 방향성을 지정해줌으로써 패스 형성 시 발생 가

능한 역방향 전송을 최소화 할 수 있다. 또한 각 클러스터 헤드에서 중계 노드까지 클러스터 헤드의 수 - 1개의 다중 패스를 구성하여 데이터가 전송되므로 단일 체인을 형성하는 프로토콜들에 비해 전송 송도 향상 및 특정 패스에서 데이터가 손실되더라도 그 외 데이터에 대한 정상 전송이 이루어질 수 있다.

IV. 실험 및 성능분석

4.1 실험환경

성능 분석에는 First order radio model을 사용하였고 비교 대상 프로토콜에서 동일하게 적용된 모델이다. 실험환경은 CPU Intel(R) Core(TM) i5-1034G4 @1.10GHz, OS Windows 11, RAM 8GB이며, Matlab을 시뮬레이터로 사용하였다. 전체 네트워크 배치는 100×100 m, 노드의 수는 100개, 싱크 노드의 위치는 $(x=50, y=200)$ 이며 전체 네트워크를 면적이 동일한 5개 영역으로 구분하고 각 영역에 20개씩 노드를 배치하였다. 초기 노드의 에너지는 0.25 J, 전송되는 데이터의 크기는 2,000 bit로 설정하였다.

프로토콜을 제외하면 모든 조건이 동일한 네트워크에서 각 프로토콜을 매 10라운드마다 반복하여 동작하며 최초 사망 노드가 발생한 라운드, 전체 네트워크의 30%의 사망 노드가 발생한 라운드를 측정하였고 라운드별 운영 노드 수 및 라운드별 전체 네트워크의 소모 에너지를 측정하여 각 프로토콜의 에너지 효율을 비교하였다.

4.2 라운드별 운영 노드 비교 결과

그림 5는 라운드별 운영 노드 수에 대한 실험 결과이며 X축은 라운드를 Y축은 운영 노드 수를 나타낸다. 파랑 실선은 제안 프로토콜, 주황 실선은 EEACP 프로토콜, 회색 실선은 LEACH 프로토콜 시뮬레이션한 결과이다.

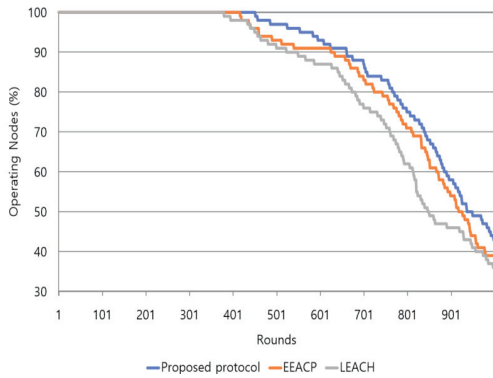


그림 5. 라운드별 운영 노드 수
Fig. 5 Operational nodes per rounds

각 그래프를 보면 최초로 사망 노드가 발생한 라운드, 전체 네트워크의 30%의 사망 노드가 발생한 라운드는 LEACH 프로토콜의 경우 381, 761 라운드이고, EEACP 프로토콜의 경우 417, 814 라운드이며, 제안 프로토콜은 452, 842라운드이다.

표 1. 프로토콜별 운영 노드 비교
Table 1. Operational node comparison by protocol

Rounds	Protocol		
	LEACH	EEACP	Proposed protocol
First Dead Node	381	417	452
30% Dead Node	761	814	842

표 1의 실험 결과를 통해 제안 프로토콜은 LEACH 및 EEACP 프로토콜에 비해 최초로 사망 노드가 발생한 라운드에서 약 18.6%, 8.4%의 성능 향상, 전체 네트워크의 30% 사망 노드가 발생한 라운드에서 약 10.6%, 3.4%의 성능 향상을 보여준다.

4.3 라운드별 에너지 소모 비교 결과

그림 6은 라운드별 전체 소모 에너지에 대한 실험 결과이며 X축은 라운드를, Y축은 전체 에너지 소모를 나타낸다. 파랑 실선은 제안 프로토콜, 주황 실선은 EEACP 프로토콜, 회색 실선은 LEACH 프로토콜 시뮬레이션 한 결과이다.

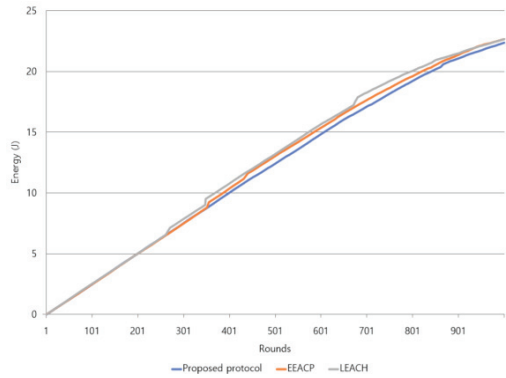


그림 6. 라운드별 에너지 소모
Fig. 6 Total energy consumption per rounds

표 2. 프로토콜별 전체 에너지 소모 평균값
Table 2. Average total energy consumption by protocol

Protocol	Total Energy consumption (J)		
	400R	600R	800R
LEACH	10.79	15.68	20.05
EEACP	10.38	15.37	19.61
Proposed protocol	10.04	14.86	19.24

표 2의 실험 결과를 통해서 제안 프로토콜의 라운드별 전체 에너지 소모량은 LEACH 및 EEACP 프로토콜에 비해 400라운드에서 7.5%, 3.4%, 600라운드에서 5.5%, 3.4%, 800라운드에서 4.2%, 1.9%의 우수한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 WSN 환경에서 데이터 송수신 간 소모되는 에너지를 최소화하기 위해 LEACH 프로토콜을 기반으로 중계 노드와 클러스터 헤드들 간 멀티홉 직접 전송 기법을 제안하였다. 성능 분석 결과 제안 기법이 기존의 LEACH, EEACP 프로토콜보다 전체 네트워크의 생존시간 측면에서 더 나은 성능을 보이는 것을 확인하였다. 프로토콜의 핵심 동작을 제외하면 다른 모든 조건이 같은 조건에서의 실험이므로 네트워크 수명 향상의 요인은 기본적으로 제안 프로

토크가 각 클러스터 헤드에서 싱크 노드로의 싱글 홉 전송이 적용되는 LEACH 프로토콜과는 달리 멀티 홉 전송이 적용되어 노드 간 전송거리가 줄어든다는 점과 EEACP 프로토콜과 같은 기존의 멀티 홉 전송 기법과는 달리 전송의 방향성을 지정해줌으로써 다음으로 송신할 노드를 찾는 과정에서 발생하는 역방향 전송을 최소화하여 효율적인 전송 경로가 형성되는 점 등으로 해석된다.

References

- [1] D. Cha, C. Paik, and Y. Jung, *U-Network Technology: Mobile and Optical Communication*, Korea: Hongleung Science Publishing, 2011.
- [2] C. M. Cordeiro and D. P. Agrawal, "AD HOC & SENSOR NETWORKS," *World Scientific*, Singapore, Singapore, 2006.
- [3] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy - Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, Maui, HI, USA, 2000. Doi: 10.1109/HICSS.2000.926982
- [4] W. B. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 1, no. 1, 2002, pp. 660-670. Doi: 10.1109/TWC.2002.804190
- [5] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems," *Proc of IEEE Aerospace Conference*, Montana, USA, 2002. Doi: 10.1109/AERO.2002.1035242
- [6] A. Diop, Y. Qi, Q. Wang, and S. Hussain, "An Advanced Survey on Secure Energy-Efficient Hierarchical Routing Protocols in Wireless Sensor Networks," *International Journal of Computer Science Issues*, vol. 10, no. 1, 2013, pp. 490-500. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1306.4595>
- [7] W. Yoo and T. Kwon, "LECEEP : LEACH based Chaining Energy Efficient Protocol," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 35, no. 5, 2010, pp. 801-808. UCI: G704-B00600.2010.35.5.015
- [8] C. Kim and T. Kwon, "Improvement of LECEEP Protocol through Dual Chain Configuration in WSN Environment(A-LECEEP, Advanced LEACH based Chaining Energy Efficient Protocol)," *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 24, no. 8, 2021, pp. 1068-1075. <https://doi.org/10.9717/kmms.2021.24.8.1068>
- [9] J. Chae and T. Kwon, "An Energy Efficient Multi-Chaining Routing Protocol using Angle of Arrival for WSN," *Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 25, no. 11, 2022, pp. 1564-1571. <https://doi.org/10.9717/kmms.2022.25.11.1564>
- [10] D. Cho and T. Kwon, "Energy Efficient Routing Protocols based on LEACH in WSN Environment," *Journal of Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 18, no. 4, 2023, pp. 609-616. <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2023.18.4.609>

저자 소개

박태빈(Tae-Bin Park)



2014년 육군사관학교 경제학과 졸업(문학사)
2023년~현재 국방대학교 대학원 컴퓨터공학과

※ 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

