

WSN 환경에서 LEACH 기반 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜

조대균* · 권태욱**

Energy Efficient Routing Protocols based on LEACH in WSN Environment

Dae-Kyun Cho* · Tae-Wook Kwon**

요약

무선 네트워크 환경에서 센서들은 전원 공급을 위해 상시 전원이 연결되어 있는 것은 아니기 때문에 센서들에게 공급되는 에너지원인 배터리의 수명은 한정되어 있다. 따라서 네트워크 수명을 연장하는 다양한 연구들이 진행되어 왔으며, 효율적인 에너지 사용을 위해 계층기반 라우팅 프로토콜인 LEACH(Low-energy Adaptive Clustering Hierarchy)가 등장하였다. 하지만 데이터 송신 시 전송거리의 제곱만큼의 에너지 소모가 이루어지기 때문에 융합된 데이터를 싱크 노드에 직접 전송하는 LEACH 프로토콜은 에너지 소모가 크다는 제한사항을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 제한사항을 개선하기 위해, 매 라운드마다 클러스터 헤드들이 싱크 노드와의 상대적인 거리 계산을 통해 클러스터 헤드 간 체이닝 연결되는 멀티 홉 전송으로 전송거리를 최소화할 수 있는 알고리즘을 제안한다.

ABSTRACT

In a wireless network environment, since sensors are not always connected to power, the life of a battery, which is an energy source supplied to sensors, is limited. Therefore, various studies have been conducted to extend the network life, and a layer-based routing protocol, LEACH(Low-energy Adaptive Clustering Hierarchy), has emerged for efficient energy use. However, the LEACH protocol, which transmits fused data directly to the sink node, has a limitation in that it consumes as much energy as the square of the transmission distance when transmitting data. To improve these limitations, this paper proposes an algorithm that can minimize the transmission distance with multi-hop transmission where cluster heads are chained between cluster heads through relative distance calculation from sink nodes in every round.

키워드

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

* 국방대학교 관리대학원(chodaekyun@naver.com)

** 교신저자 : 국방대학교 컴퓨터공학과

• 접수일 : 2023. 06. 27

• 수정완료일 : 2023. 07. 20

• 게재확정일 : 2023. 08. 17

• Received : Jun. 27, 2023, Revised : Jul. 20, 2023, Accepted : Aug. 17, 2023

• Corresponding Author : Tae-wook Kwon

Dept. Computer engineering, Korea National Defense University

Email : chodaekyun@naver.com

I. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network, 이하 WSN)[1]는 네트워크 영역 내 배치된 센서들로부터 정보들을 수집하고 이를 전송하는 무선 송수신 장치가 달린 네트워크이다. 즉, 센서 노드(Sensor Node)와 이를 수집해 외부로 내보내는 싱크 노드(Sink Node)로 구성된 네트워크 시스템을 말한다. 4차 산업혁명을 맞이해 스마트한 도구들이 우리 일상에 적용되기 시작하면서 우리의 삶을 편리하게 하고 있는데 이는 정확하고 신속하게 각종 데이터를 측정할 수 있는 센서의 활용이 가능해졌기 때문이다. WSN[1, 2]은 기존의 네트워크와 다르게 통신 수단이 아니라 자동화된 원격 정보 수집을 기본 목적으로 하며, 과학적·의학적·군사적·상업적 용도 등 다양한 응용 개발에 활용되고 있다.

이동성이 없는 작은 센서를 통하여 수백 또는 수천 개의 센서를 네트워크로 연결하여 고품질 무장에 감지 네트워크를 달성할 수 있도록 해야 한다. 일단 주어진 환경에 배치되면 센서들의 위치는 고정이기 때문에 전력공급은 제한된다. 이러한 센서의 특성으로 전체 네트워크의 수명시간은 통상 배터리에 의해 결정되기 때문에 제한된 에너지원인 배터리로부터 에너지를 효율적으로 사용하기 위해 다양한 연구들[7-10]이 진행되고 있다. 무선 전송에서의 에너지 소모[2]는 센서들 사이에서 거리의 제곱에 비례한다. 즉 센서의 전력 소모[6]는 데이터 송·수신 시에 가장 많이 발생하게 된다. 따라서 센서들 사이의 전송거리를 감소시키는 것이 네트워크 전체 수명을 향상시키는 방법이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 WSN의 계층기반 라우팅 중 LEACH 프로토콜에 주목하였고, 센서의 전력 소모가 가장 많이 발생하는 데이터 송신 시 전송거리의 제곱만큼 소모되는 에너지를 최소화하여 에너지 효율 면에서 더 개선된 알고리즘을 제안한다.

본 논문은 II장에서 계층기반 라우팅 프로토콜인 LEACH와 PEGASIS 프로토콜에 대해 논하고 III장에서는 제안 프로토콜을 소개하고 IV장에서 제안 프로토콜의 성능을 분석하고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련연구

2.1 무선 센서 네트워크

무선 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜[2]은 네트워크 구조에 따라 크게 평면기반 라우팅(Flat based routing), 계층기반 라우팅(Hierarchical based routing), 적응형 라우팅(Adaptive routing)으로 구분된다. 무선 센서 네트워크 환경에서 주요 목표는 전체 네트워크의 수명을 연장하기 위하여 에너지 소모를 최소화 하는 것이다. 이 목적 달성을 위하여 다수의 계층기반 라우팅 프로토콜 연구들이 활발히 진행되었으며, 해당 프로토콜들 중 대표적인 프로토콜은 LEACH(: Low-energy Adaptive Clustering Hierarchy)와 PEGASIS(: Power- Efficient Gathering in Sensor Information Systems) 프로토콜이 있다.

2.2 LEACH 프로토콜

LEACH 프로토콜의 운영은 라운드르 나뉘는데 설정(setup), 지속상태(steady state) 2단계로 구성된다 [3]. 설정단계에서는 클러스터가 형성되고 클러스터 헤드가 선정된다. 지속상태에서는 싱크 노드까지 전송되는 실 데이터가 발생하며 지속상태 기간은 오버헤드를 최소화하기 위해 설정 단계 기간보다 더 길게 구성된다. 한 라운드마다 무작위로 순환하는 클러스터 헤드의 역할은 전체 네트워크의 에너지 소모를 일정하게 유지하기 위한 것으로 설정 단계 동안, p라고 말하는, 기 결정된 클러스터 헤드의 비율을 통해 노드들이 스스로 선발한다. 노드들은 0과 1 사이의 난수를 선택하고 그것을 r이라 한다. 이러한 난수는 T(n)이라 하는 임계 값보다 작다면, 노드는 현 라운드 동안 클러스터 헤드가 된다. 임계 값 T(n)[4]은 현 라운드에 클러스터 헤드가 될 예상 %와, 과거 라운드 (1/p) 동안에 클러스터 헤드로서 선발되지 않았던 전체 노드들을 조합하는 방정식에 기초하여 계산되어 지며 그 결과는 G라 표현하고 식 1과 같다.

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

각각의 선정된 클러스터 헤드들은 그들이 각각의 클러스터 영역 내 새로운 클러스터 헤드임을 알리기 위해 네트워크의 나머지 노드들에게 광고 메시지를 브

로드캐스트 한다. 광고 메시지를 수신한 비 클러스터 헤드는 RSS(: Received Signal Strength)를 통해 가까운 클러스터 헤드 노드를 탐색하여 클러스터를 결정하고 그들의 결정을 해당 클러스터에게 알려준다. 이후 클러스터 헤드는 클러스터에서 노드들의 수에 기초하여 TDMA(: Time Division Multiple Access) 스케줄을 생성하고 이 스케줄을 모든 클러스터 멤버들에게 다시 브로드캐스트 한다. 지속상태 단계 동안 센서 노드들은 감지를 시작하고 그들의 각 클러스터 헤드에게 데이터를 전송한다. 일단 클러스터 헤드가 그들의 모든 멤버 노드들로부터 데이터를 수신하면, 그것은 싱크 노드까지 데이터를 중계하기 이전에 데이터를 융합하고 융합된 데이터를 싱크 노드로 전송한다. 한 라운드 이후에 설정 단계로 복귀하고, 새로운 클러스터 헤드를 선발하기 위해 또 다른 라운드 수행한다.

LEACH 프로토콜이 클러스터 형성 및 클러스터 헤드의 데이터 융합을 통해서 네트워크 수명을 증가시킬 수는 있을지 몰라도, 아직 많은 다수의 문제점 [3,4]들이 있다. 예를 들면, 기 결정된 클러스터 헤드의 수를 전체 네트워크에 어떻게 균등하게 분배할 것인지 분명하지 않다. 그러므로 선발된 클러스터 헤드가 네트워크의 한 부분에 집중될 가능성이 존재한다. 그래서 어떤 노드들은 클러스터 헤드를 전혀 찾지 못할 수도 있고 어떤 클러스터 헤드는 싱크 노드로부터 멀리 떨어져 있어서 가깝게 위치한 클러스터 헤드보다 더 많은 에너지를 소모하게 되어 불균등한 에너지 소모가 발생하게 된다.

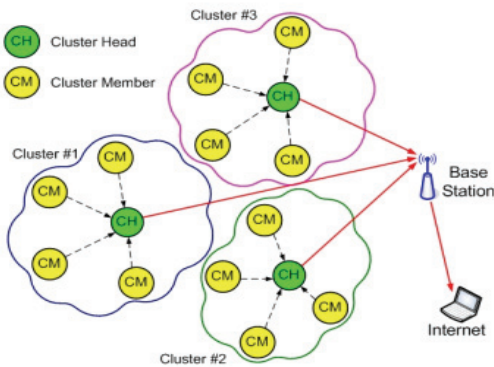
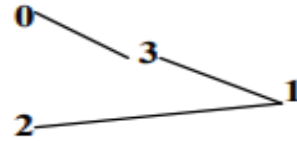


그림 1. LEACH 프로토콜의 네트워크 구조
Fig. 1 Network structure of the LEACH protocol

2.3 PEGASIS 프로토콜

PEGASIS 프로토콜[5]은 LEACH 프로토콜을 향상시킨 것으로 네트워크 수명을 연장하기 위해 센서 노드들 사이에 단일 체인을 형성하여 통신한다. 싱크 노드와 통신하는 노드를 리더 노드라고 하며, LEACH와 유사하게 매 라운드마다 리더 노드를 선발하고 그 역할을 순환해가며 수행한다. PEGASIS 프로토콜의 핵심은 근접한 노드들 사이에서의 전송을 통해 에너지 소모를 줄여 각 노드의 수명주기를 증가시키는 것이다.

PEGASIS 프로토콜은 체인을 구성하기 위해 싱크 노드에서 가장 먼 노드에서부터 시작한다. 이후 greedy 알고리즘을 사용하여 서로 가장 가까운 노드들로 체인을 구성하여 하나의 체인을 형성한다.



BS

그림 2. greedy 알고리즘을 사용한 체인 형성
Fig. 2 Chain formation using the greedy algorithm

노드0에서부터 체인 형성이 시작되어 그림 2와 같이 가장 가까운 노드3과 체인이 형성되고 노드3은 가장 가까운 노드1과 체인을 형성한다. 노드1은 가장 가까운 노드인 노드2와 체인을 형성해야 하지만 노드3과 이미 체인이 형성된 상태이므로 체인이 형성된 노드를 제외하고 가장 가까운 노드2와 체인을 형성한다. 이와 같이 하나의 체인이 형성된 후 싱크 노드와 통신하는 리더 노드를 선발한다.

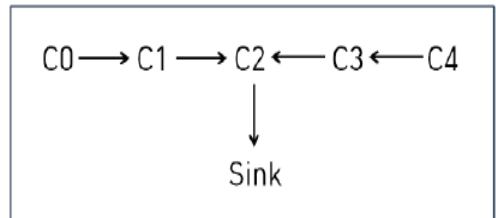


그림 3. 토큰을 이용한 데이터 전송
Fig. 3 Token passing data transmission

노드 C2가 리더 노드의 역할로 선발되었다면, 그림 3에서처럼 토큰을 말단 노드인 노드 C0에게 전달되고 해당 토큰을 전달받은 노드 C0은 노드 C1에게 데이터를 전송한다. 노드 C1은 자체 데이터와 수신된 인접 노드의 데이터를 융합해 노드 C2로 전달한다. 노드 C1으로부터 융합된 데이터를 수신한 노드 C2는 반대편 체인의 끝 노드인 C4로 다시 토큰을 전달해 동일한 방법으로 반대 방향의 데이터를 융합해서 노드 C2로 전송한다. 토큰과 함께 모든 데이터를 전달받은 노드 C2는 하나의 융합된 데이터를 싱크 노드로 전송하면서 라운드를 종료한다.

즉 매 라운드에서 리더 노드가 시작한 토큰 전달 방식을 이용하여 체인 끝 노드에서부터 데이터 전송이 시작되며, 체인 끝 노드를 제외한 모든 노드에서 데이터 융합을 수행하고, 각 노드는 인접 노드의 데이터를 자체 데이터와 융합하여 다음 다른 인접 노드로 전송한다. 최종적으로 융합된 데이터는 리더 노드에게 전송되고 리더 노드는 융합된 데이터를 싱크 노드로 전송한다. 이때, 체인 안의 노드들은 싱크 노드로의 데이터 전송을 교대로 수행함으로써 전력 소모를 모든 노드들에 균등하게 배분하여 네트워크의 수명을 증가시킨다.

PEGASIS 프로토콜과 관련된 연구 결과[5]에 의하면, PEGASIS가 LEACH 프로토콜에 비해 네트워크 수명이 2배 연장되는 것으로 나타난다. 하지만 전체 노드를 하나의 체인으로 연결해 데이터를 전송하기 때문에 대규모 네트워크에는 적합하지 않고 싱크 노드로 데이터를 전송함에 있어서 전체 체인을 거쳐야 되기 때문에 즉각적인 데이터가 필요한 모니터링 분야에도 적합하지 않는 제한사항들이 있다.

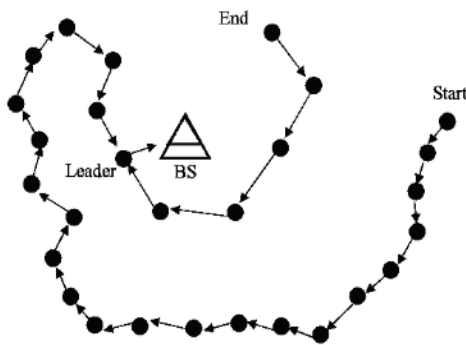


그림 4. PEGASIS 프로토콜의 네트워크 구조
Fig. 4 Network structure of the PEGASIS protocol

III. 제안한 방법

제안 프로토콜은 LEACH 프로토콜의 제한사항을 개선하기 위해 기존 LEACH 프로토콜에 PEGASIS 프로토콜의 장점을 결합한 알고리즘이다. LEACH 프로토콜의 경우 클러스터링을 통해 평면기반 라우팅에 비해 네트워크 수명을 연장시킬 수 있지만 데이터 송신 시 전송거리의 제곱만큼의 에너지 소모가 이루어지기 때문에 거리가 먼 싱크 노드까지의 데이터 전송 시 클러스터 헤드의 과도한 에너지 소모 발생한다는 제한사항이 있다.

이러한 제한사항을 개선하기 위해 제안 프로토콜은 매 라운드마다 클러스터 헤드들이 싱크 노드와의 상대적인 거리 계산을 통해 자신보다 싱크 노드에 가까운 클러스터 헤드들을 경유하여 싱크 노드까지 전송되는 개선된 체이닝 기법과 센서 노드의 데이터 수신 각을 설정하여 전 방향에서 수신되는 전파를 설정된 수신 각으로 한정시켜 클러스터 헤드들 경유 간 멀티 홉 전송을 적용하였다. 그러므로 클러스터 헤드는 싱크 노드로 직접 전송하는 것이 아니라 자신보다 싱크 노드에 가까운 클러스터 헤드를 경유하고 클러스터 헤드들 경유 간 멀티 홉 전송을 통해 싱크 노드로 전송함으로써 데이터 송신 간 전송거리 단축시켜 제곱만큼 소모되는 에너지의 감소를 목적으로 한다.

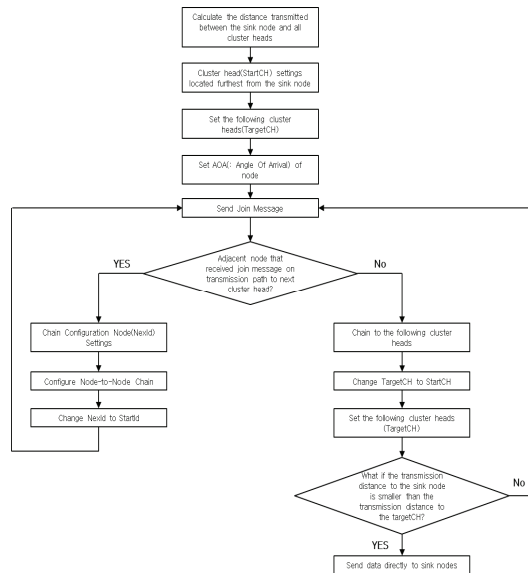


그림 5. 제안 프로토콜의 흐름도
Fig. 5 Flowchart of proposed protocol

제안 프로토콜은 기본적으로 LEACH 프로토콜의 동작 및 구조에 기반하고 있으며 LEACH 프로토콜의 운영과 동일한 설정, 지속상태 2단계로 구성되고, 설정 단계의 스케줄 생성 이후에 체이닝 형성 과정이 추가되어 동작한다. 제안 프로토콜의 동작은 그림 6과 같은 과정으로 이루어진다. 먼저 각 노드는 라운드 시작 시점마다 임계식에 따라 스스로 클러스터 헤드로 선정 될 확률을 구한다. 이후 클러스터 헤드로 선발된 노드들은 주변 노드들에게 헤드임을 알리는 메시지를 브로드캐스트하고 클러스터 헤드로 선발된 노드들의 모든 정보를 공유한다.

이때, 네트워크의 모든 노드들이 수신할 수 있는 전송강도로 발신하고, 클러스터 헤드로부터 메시지를 수신 받은 주변 노드들은 메시지의 신호강도를 계산하여 자신과 가장 가까운 클러스터 헤드를 자신의 클러스터 헤드로 결정하고 클러스터 헤드에게 클러스터에 참여하겠다는 연결허락 메시지를 발신한다. 마찬가지로 네트워크상에 클러스터 헤드들의 위치를 모르므로 모든 노드들이 수신할 수 있는 전송강도로 발신한다. 각 클러스터 헤드들은 주변 노드들이 보낸 연결허락 메시지를 수신하여 클러스터를 완성한다. 이벤트를 감지되면 멤버 노드는 수집된 정보를 자신이 속한 클러스터 헤드 노드에게 전송하고 클러스터 헤드는 수집된 정보를 융합하여 대푯값(최종 값)을 전송한다. 이때, 자신보다 싱크 노드에 가깝게 위치한 인접한 클러스터 헤드를 다음 클러스터 헤드로 결정한다.

그 결과 싱크 노드와 먼 거리에 위치한 클러스터 헤드부터 가깝게 위치한 클러스터 헤드까지 체이닝이 형성된다. 이러한 체이닝 형성 과정에서 데이터 수신 각을 설정하여 다음 클러스터 헤드까지의 전송 경로 상 설정된 수신 각으로 들어오는 노드 중 거리가 가장 가까운 노드들을 경유하는 멀티 홉 전송을 한다. 이때, 설정된 수신 각에 들어오는 노드가 없을 경우 다음 클러스터 헤드로 직접 체이닝이 형성된다. 최종적으로 싱크 노드와 가장 가깝게 위치한 클러스터 헤드가 각 클러스터 헤드로부터 전달 받은 대푯값(최종 값)들을 융합해서 싱크 노드에 전송한다. 싱크 노드까지의 전송이 완료되면 한 라운드가 종료되고, 클러스터 헤드 선정부터의 위 과정을 반복하여 수행한다.

제안 프로토콜의 핵심은 매 라운드마다 클러스터 헤드가 자신보다 싱크 노드에 가깝게 위치한 인접한 클러스터 헤드들 순으로 체이닝을 구성하여 데이터가 전송되므로 싱크 노드로 직접 전송하던 LEACH 프로토콜에 비해 데이터 송신 간 전송거리를 단축시켜 클러스터 헤드가 소모하는 에너지를 줄일 수 있고 체이닝 형성 과정에서 데이터 수신 각을 설정하여 설정된 수신 각에 들어오는 노드 중 거리가 가장 가까운 노드들을 경유하는 멀티 홉 전송을 통해 불필요한 전송 경로를 줄여 에너지 효율을 높일 수 있다.

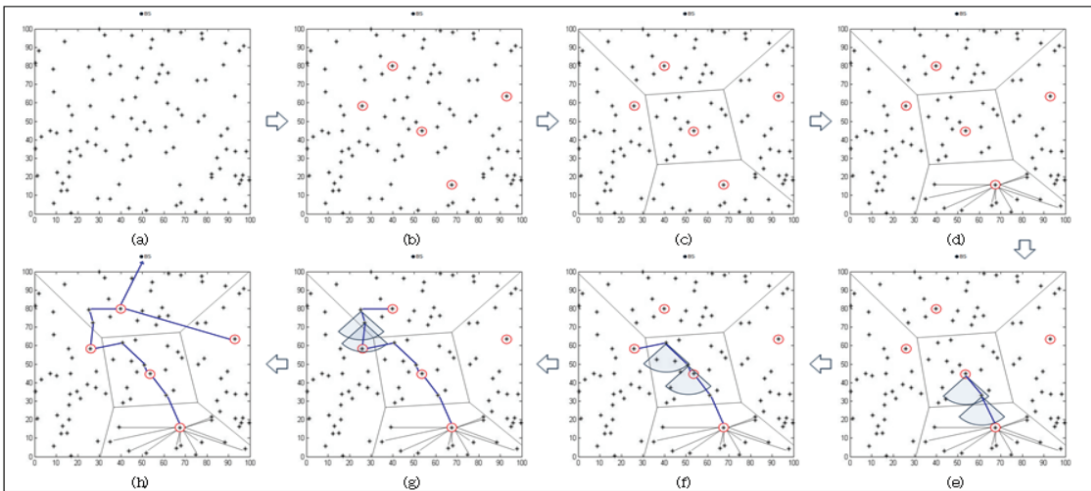


그림 6 제안 프로토콜의 동작
Fig. 6 Operation of proposed protocol

IV. 실험 및 성능분석

4.1 실험환경

제안 프로토콜과 LEACH 프로토콜의 성능 분석에 사용한 라디오 모델은 First order radio model로 LEACH와 PEGASIS 프로토콜에서 동일하게 사용된 모델을 적용하였다. 실험환경은 CPU Intel(R) Core(TM) i5-5200 @2.20GHz, OS Windows 10, RAM 8GB이며, 시뮬레이터로는 Matlab을 사용하였다. 실험을 위한 전체 네트워크 배치는 100×100 (m), 노드의 수는 100개이며 싱크 노드의 위치는 (x=50, y=200)에 배치하였다. 노드의 초기 에너지는 0.25 (J) 이고 전송 데이터 크기는 2,000 (bit)로 설정하였다. 실험 시나리오는 프로토콜을 제외한 모든 조건이 동일한 네트워크에서 각각의 프로토콜을 동작하여 모든 노드가 에너지를 다 소모하여 전체 네트워크가 사망할 때까지 라운드를 진행하며, 최초로 죽은 노드가 발생한 라운드, 전체 네트워크의 30% 죽은 노드가 발생한 라운드, 마지막으로 죽은 노드가 발생한 라운드를 측정하여 라운드별 운영 노드를 비교하고, 라운드별 전체 네트워크의 에너지 소모를 측정하여 각각의 프로토콜의 에너지 효율을 비교하는 실험을 진행하였다.

4.2 라운드별 운영 노드 비교 결과

라운드별 운영 노드 수에 대한 실험 결과는 그림 8과 같으며 X축은 라운드, Y축은 운영 노드를 나타낸다. 파랑 실선은 LEACH 프로토콜, 주황 실선은 제안 프로토콜을 시뮬레이션 한 결과이다.

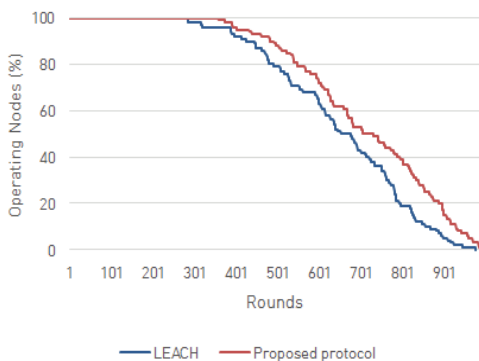


그림 7. 라운드별 운영 노드 수
Fig. 7 Operational nodes per rounds

각 그래프를 보면 최초로 죽은 노드가 발생한 라운드, 전체 네트워크의 30% 죽은 노드가 발생한 라운드, 마지막으로 죽은 노드가 발생한 라운드는 LEACH 프로토콜의 경우 287, 554, 978 Round이고, 제안 프로토콜은 360, 610, 990 Round이며 이는 표 1과 같다.

표 1. 프로토콜별 운영 노드 비교

Table. 1 Operational node comparison by protocol

Round	Protocol	
	LEACH	Proposed protocol
First Dead Node	287	360
30% Dead Node	554	610
Last Dead Node	978	990

실험 결과를 통해서 제안 프로토콜은 LEACH 프로토콜에 비해 최초로 죽은 노드가 발생한 라운드에서 약 25.6%의 성능 향상, 전체 네트워크의 30% 죽은 노드가 발생한 라운드에서 약 10.2%의 성능 향상, 마지막으로 죽은 노드가 발생한 라운드에서 약 1.2%의 성능 향상을 보여준다.

4.3 라운드별 에너지 소모 비교 결과

라운드별 소모되는 에너지에 대한 실험 결과는 그림 9와 같으며 X축은 라운드, Y축은 에너지 소모를 나타낸다. 파랑 실선은 LEACH 프로토콜, 주황 실선은 제안 프로토콜을 시뮬레이션 한 결과이다.

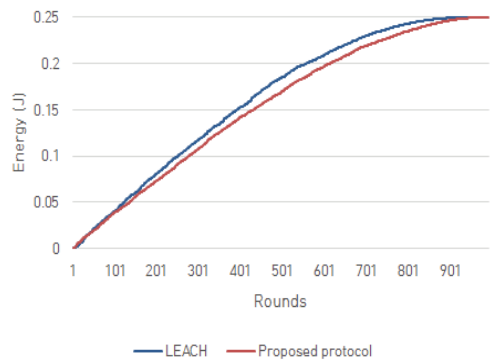


그림 8. 라운드별 에너지 소모
Fig. 8 Energy consumption by rounds

각 그래프를 보면 전체 에너지 소모 평균값은 LEACH 프로토콜의 경우 0.16196 J이고, 제안 프로토콜은 0.15364 J이며 이는 표 2와 같다.

표 2. 프로토콜별 전체 에너지 소모 평균값

Table. 2 Average total energy consumption by protocol

	Protocol	
	LEACH	Proposed protocol
Average energy consumption (J)	0.16196	0.15364

실험 결과를 통해서 제안 프로토콜이 LEACH 프로토콜에 비해 전체 에너지 소모 평균값이 약 5.14% 낮은 것으로 보여준다.

V. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크 환경에서 데이터 송신 시 전송거리의 제공만큼 소모되는 에너지를 감소시키기 위해서 LEACH 프로토콜에 PEGASIS 프로토콜의 장점을 결합하여 데이터 송신 간 전송 거리를 단축시키는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 성능 분석 결과 제안 프로토콜이 기존의 LEACH 프로토콜보다 에너지 효율 면에서 더 나은 결과를 보였으며, 네트워크 생존시간 향상에도 효과가 있음을 확인하였다. 프로토콜을 제외한 다른 모든 조건이 동일한 상황에서의 실험이므로 제안 프로토콜이 LEACH 프로토콜에 비해 데이터 송신 간 전송거리의 제공만큼 소모되는 에너지를 줄이고 설정된 수신 각으로 한정시켜 효율적인 전송 경로로 구성되는 등의 요인으로 해석할 수 있다.

향후 연구로는 네트워크 크기의 변화에 따른 에너지 효율을 비교하고 멀티 홉 전송을 위한 최적의 데이터 수신 각을 찾는 연구를 진행할 예정이다.

References

[1] D. Cha, C. Paik, and Y. Jung, *U-Network Technology: Mobile and Optical Communications*,

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.
- [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.
- [5] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems," *Proc of IEEE Aerospace Conference*, Montana, USA, 2002.
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [10] M. Alshowkan, K. Elleithy, and H. Alhassan, "LS-LEACH: A New Secure and Energy Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor

Networks," *IEEE/ACM 17th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications*, Delft, Netherlands, 2013.

저자 소개



조대균(Dae-Kyun Cho)

2015년 육군3사관학교 기계공학과
졸업(공학사)
2022년~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