

에너지 효율 개선을 위한 IEEE 802.15.4 기반의 Cross Layer Protocol

정회원 정 필 성*, 종신회원 김 화 성**, 정회원 오 영 환*

A Cross Layer Protocol based on IEEE 802.15.4 for Improving Energy Efficiency

Pil-seong Jeong* *Regular Member*, Hwa-sung Kim** *Lifelong Member*,
Young-hwan Oh* *Regular Member*

요 약

IEEE 802.15.4 표준에서 슈퍼프레임 구조는 활성화 구간과 비활성화 구간을 사용하여 낮은 전력 소모를 제공하도록 한다. 하지만 슈퍼프레임의 활성화 구간 동안 통신하는 노드들은 코디네이터와의 거리와는 상관없이 동일한 전송 반경을 사용하여 데이터를 전송하기 때문에 불필요한 에너지를 낭비하게 된다. 본 논문에서 코디네이터는 통신 영역을 4개의 영역으로 나누고 각 영역에 포함되어 있는 노드는 코디네이터가 전송한 비콘 메시지를 확인하여 송신전력을 설정함으로써 데이터 전송에서 발생하는 전력 소모를 최소화한다. 또한, Cross Layer 프로토콜을 통하여 PAN(Personal Area Network) 영역을 구성하도록 하여 메시지 전송 충돌(collision) 현상을 최소화하였다.

Key Words : Wireless Sensor Network, IEEE 802.15.4, ZigBee, Cross Layer Protocol, Superframe

ABSTRACT

Superframe in IEEE 802.15.4 Standard is subdivided into an active period and an inactive period to reduce energy consumption. But communication nodes use same data transmission range in an active period, thus communication nodes spend a lot of energy to send data another nodes. In this paper, we proposed reduce energy consumption algorithm that nodes use different transmission power. Coordinator split transmission area into four group and transmit beacon message to nodes. Nodes adjust transmission power according to beacon message and wastes low energy than normal nodes. We proposed energy-efficient cross layer protocol that have different PAN(Personal Area Network) by four range group.

1. 서 론

유비쿼터스 컴퓨팅(Ubiquitous Computing) 환경에서 연구되고 있는 기술 중 하나인 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)는 유무선 네트워크 인프라에 상황인지를 위한 센서 디바이스를 통하여 감지된 환경 데이터를 응용 서비스 서버와 연동하는 기술이다. 센서 노드는 에너지 사용에 제약을 받으며 배터

리가 소모되어 노드의 동작이 멈추면 더 이상 네트워크의 수단으로 사용될 수 없기 때문에 네트워크의 생존시간을 최대화하기 위하여 효율적인 전력 소모를 피하여야 한다^{1,2)}.

무선 센서 네트워크는 ZigBee를 기본 기술로 사용하고 있다^{3,4)}. ZigBee는 PHY계층과 MAC계층을 IEEE 802.15.4로 네트워크 및 상위계층을 ZigBee Alliance에서 표준화를 진행한다. ZigBee 기반의 센서

* 광운대학교 전자통신공학과 통신망 연구실(sung3ne@naver.com)

** 광운대학교 전자통신공학과 네트워크컴퓨팅 연구실(hwkim@kw.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-02-118, 접수일자 : 2011년 2월 18일, 최종논문접수일자 : 2011년 7월 7일

네트워크에서의 IEEE 802.15.4 표준은 슈퍼프레임 구조를 선택하여 사용함으로써 센서 노드의 상태를 활성화와 비활성화 상태로 구분하고, Duty Cycle을 적용하여 센서 노드가 데이터 전송을 하지 않을 경우 라디오에 사용되는 불필요한 전원에 따른 에너지 소모를 줄이는 것이다. 하지만 라디오가 사용되는 시점에서 슈퍼프레임의 활성화 구간 동안 통신하는 노드들은 자신이 가진 일정한 송신전력을 사용하여 코디네이터의 위치와는 상관없이 동일한 전송 반경을 사용하여 데이터를 전송하게 됨으로 불필요한 전력을 사용하게 된다⁵⁻¹⁰⁾.

ZigBee 기반의 네트워크는 IEEE 802.15.4와 ZigBee Alliance의 독립적인 표준화에 따른 MAC과 네트워크 계층의 호환성과 한정된 자원을 바탕으로 구성된 센서 노드의 한계로 인하여 기존 OSI 7 계층과 같은 계층적 프로토콜의 개발에 많은 한계가 존재한다. 이로 인하여 에너지 효율적인 MAC 프로토콜과 네트워크 프로토콜의 연결에 많은 어려움이 있어 대부분의 센서 네트워크의 운용은 MAC 계층에 의존하고 있다. 네트워크 계층 간 상호 호환을 위하여 무선 센서 네트워크에서는 다수의 계층을 하나의 스택으로 구성하는 Cross Layer 프로토콜에 대한 연구가 진행 중에 있다¹¹⁾.

본 논문에서는 MAC과 네트워크 계층을 하나의 프로토콜 스택으로 구성하는 Cross Layer 프로토콜을 제안한다. MAC 계층에서는 코디네이터가 송신전력을 제어하여 4개의 SUB_PAN 영역을 나누고 각 영역의 센서 노드들은 코디네이터가 전송한 비콘 신호를 확인하여 송신전력을 설정함으로써 데이터 전송 시 소모되는 에너지를 최소화하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘의 성능평가를 위해 통신 반경을 고려한 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜인 GAF (Geographical Adaptive Fidelity)과 센서 노드 단위, PAN 단위의 에너지 소모와 전체 네트워크에서의 에너지 소모를 비교하였다.

본 논문은 다음과 같은 구성을 가진다. 2장에서는 IEEE 802.15.4 기술과 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜에 대해 알아보고, 3장에서는 제안한 Cross Layer 프로토콜을 소개한다. 4장에서는 제안한 프로토콜의 성능평가를 수행하고 결과에 따른 비교 및 고찰을 기술한다. 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관계 이론

2.1 무선 센서 네트워크

센서 네트워크란, 컴퓨팅 능력을 가진 매우 작은 크

기의 독립된 무선 센서 노드들을 건물, 도로, 산악, 의류, 인체 등 물리적 공간인 센서 필드에 임의 배치하여 독립된 네트워크를 구성하고 주위의 온도, 빛, 진동, 생체신호 등의 정보 수집을 목적으로 하는 네트워크 기술을 의미한다. 센서 노드들은 센서 필드에 조밀하게 임의 배치되며 Access Point와 같은 고정된 기반 없이 센서 노드 간 자율적이고 독립적인 네트워크 토폴로지를 구성한다. 또한 센서 노드의 이동성을 고려하여 제한된 에너지를 갖기 때문에 센서 노드는 에너지 의존적인 다양한 기술들을 사용한다.

2.2 IEEE 802.15.4 기술

IEEE 802.15.4는 LR-WPAN(Low Rate Wireless Personal Area Network)을 위한 PHY 계층과 MAC 계층 표준이다. LR-WPAN은 제한된 전력과 낮은 데이터 처리율이 요구되는 곳에서 무선 접속으로 간단하게 구성할 수 있는 저비용의 네트워크이다. LR-WPAN은 설치가 용이하고, 신뢰성 있는 데이터 전송, 근거리에서의 동작, 초저가 비용 그리고 합리적인 배터리 수명 등의 특징을 가지고 있는 프로토콜이다. IEEE 802.15.4 LR-WPAN은 스타형 또는 Peer-to-Peer 토폴로지 두 가지 토폴로지로 동작한다. 두 가지 토폴로지로 동작하는 모든 디바이스들은 고유한 64 비트의 확장 주소를 갖는다. 이 주소는 PAN 내에서의 통신용으로 사용될 수 있다. 반면 디바이스가 PAN 코디네이터에 가입되어 사용되는 경우에는 PAN 코디네이터가 할당하는 단축 주소가 사용된다. 스타형 토폴로지 통신은 여러 개의 디바이스와 PAN 코디네이터의 중앙 컨트롤러로 이루어진다. 디바이스는 통상적으로 몇 개의 응용이 서로 연관되어 있으며, 통신 시작점 또는 종단점이 된다. PAN 코디네이터 또한 특정한 응용을 가질 수도 있으며, 통신 시작과 끝, 또는 중간 라우팅 포인트로 사용될 수 있다. PAN 코디네이터는 PAN의 가장 중요한 제어 장치이다. 각각의 독립적인 PAN은 고유의 식별자(Identifier, ID)를 갖는데, 이 PAN ID는 단축 주소를 사용하는 네트워크에서 디바이스 간 통신을 가능하게 하고, 서로 독립적인 네트워크에 있는 디바이스들 간의 전송을 가능하게 한다.

2.3 Cross Layer 프로토콜

무선 센서 네트워크에서는 각 노드 당 에너지를 줄이는 것도 중요하지만, 네트워크 전체의 에너지 소모를 줄이는 것도 중요하여 에너지 효율적인 MAC 프로토콜과 라우팅 프로토콜이 다수 제안되었다. 그러나 기존 OSI 7 계층처럼 독립적으로 개발된 MAC

프로토콜은 IEEE 802.15.4에서, 라우팅 프로토콜은 ZigBee Alliance에서 연구되어 프로토콜 계층간 호환성에 많은 문제점이 나타났다. 이로 인하여 현존하는 많은 라우팅 프로토콜의 일부분만 사용되거나, 데이터 전송을 MAC 계층에 의존하는 경향이 나타나고 있다. 이러한 문제 해결을 위해 센서 네트워크에서는 계층적 병합 기법인 Cross Layer 프로토콜에 대한 연구가 이슈화 되고 있다. Cross Layer 프로토콜은 기존에 사용되어진 OSI 7 계층들을 네트워크의 효율성을 고려하여 하나의 스택(Stack)으로 구성하는 기법이다. 무선 센서 네트워크에서 Cross Layer 기법을 적용하기 위해 연구되고 있는 계층은 MAC과 PHY, MAC과 라우팅, Transport과 PHY 그리고 3-Layer의 병합이다.

III. 제안하는 Cross Layer 프로토콜

3.1 제안하는 Cross Layer 프로토콜

현재 연구되는 에너지 효율적인 MAC 프로토콜과 네트워크 라우팅 프로토콜을 실제 센서 네트워크의 동작에 사용되는 센서 노드에 적용시키기 위해서는 다음과 같은 문제점을 가지고 있다. 첫째, 기존의 OSI 7 Layer와 같은 계층적인 프로토콜의 개발로 인한 상호 호환성 문제이다. IEEE 802.15.4와 ZigBee Alliance는 각각 독자적으로 MAC과 네트워크 프로토콜을 연구하기 때문에 하위계층 또는 상위계층의 동작을 고려하지 않고 프로토콜을 설계하였다. 이로 인하여 대다수의 라우팅 프로토콜들은 연구의 대상일 뿐 알고리즘의 적용에는 많은 어려움이 있으며, 실제 센서 노드를 사용하여 네트워크를 구축하게 되면, 데이터 전송의 역할을 MAC 계층에 의존하고 있는 현실이다. 둘째, 기존에 무선 네트워크에서 사용된 노드는 정전압은 물론 하드웨어적으로 다양한 프로토콜을 적용할 수 있는 능력을 보유하고 있지만, 제한된 자원으로 구성된 센서 노드에서는 다양한 계층적 프로토콜을 적용시키는데 에너지 및 처리능력의 제약을 가지고 있다.

본 논문에서는 기존 ZigBee 방식의 네트워크 구조를 해결하기 위하여 현재 연구가 활발히 진행되고 있는 MAC과 네트워크 계층을 하나의 스택으로 구성하는 Cross Layer 프로토콜을 제안하였다. 제안하는 프로토콜에서는 코디네이터는 송신전력을 4단계로 설정하여 SUB_PAN을 나누게 된다. 각각의 영역에 맞는 비컨 메시지를 송신함으로써 SUB_PAN 노드들이 기존의 고정적인 송신전력을 사용하는 것이 아니라 영역별 전송에 필요한 에너지 소비를 유도하여 고정 송

신전력을 사용하는 노드보다 더 낮은 에너지 소비를 하게 된다.

제안하는 프로토콜의 에너지 송신 전력을 고려하기 위해서 Friis 전송 모델을 이용하였다. 식 (1)은 Friis 전송 모델을 나타낸다.

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 = G_T G_R \left(\frac{c}{4\pi f d}\right)^2 \quad (1)$$

P_R 과 P_T 는 각각 수신 안테나와 송신 안테나의 와트 출력 값이며, G_R 과 G_T 는 각각 수신 안테나와 송신 안테나에서의 출력 이득이다. λ 는 미터 단위의 파장이고, f 는 Hz단위의 주파수이고, c 는 초당 미터 단위의 광속이다. 위 수식을 데시벨 형태의 기본 경로 손실 L 로 표현하면 식(2)과 같다.

$$L = 32.44(dB) + 20\log fMHz + 20\log dKm \quad (2)$$

전파 손실을 나타내는 L 을 dB로, 주파수 f 의 단위를 MHz, 거리 d 의 단위는 Km를 나타낸다. 이러한 Friis 전송 모델을 기반으로 송신전력별 통신 반경을 고려하여 무선 센서 네트워크 환경에 적합한 Cross Layer 프로토콜 모델을 제안하였으며 기능은 다음과 같다.

- 다중 슈퍼프레임을 이용한 SUB_PAN 영역 설정 및 스케줄링
- PAN의 디바이스 및 라우터 노드의 선정
- PAN 스케줄링에 의한 데이터 전송

그림 1은 제안하는 센서 네트워크 PAN 구조를 나타낸다. PAN 영역은 선형의 토폴로지에 1개의 PAN 코디네이터와 디바이스 노드로 구성된다. 디바이스 노드의 PAN 영역은 4개의 SUB_PAN 영역으로 나뉘어 각기 독립적인 PAN 영역을 구성한다. 코디네이터는 초기의 가장 작은 송신전력으로 비컨 프레임을 전송하고, 비컨 프레임을 수신한 센서 노드는 자신의 송신전력으로 사용한다. 송신전력이 설정되었을 시 새로운 송신전력의 정보를 가진 비컨 메시지의 경우 기존의 송신전력을 비교하고 기존의 송신전력보다 큰 송신전력의 정보를 가진 비컨 프레임의 경우 이를 무시하고 비활성 상태로 들어간다.

제안한 네트워크 구조의 기반이 되는 송신전력에 따른 통신 반경은 표 1과 같이 4단계로 나누어진다.

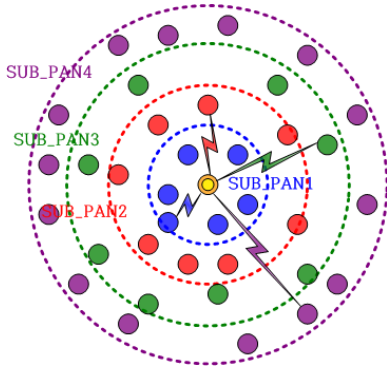


그림 1. 제안하는 네트워크 PAN 구조

표 1. SUB_PAN ID와 전송 반경

SUB_PAN ID	송신 전력 (dBm)	전류 소모	최대전송 반경 (m)
4	0	17.4 mA	123
3	-1	16.5 mA	109.4
2	-3	15.2 mA	86.9
1	-7	12.5 mA	54.8

그림 2는 각각의 SUB_PAN 영역을 정의하기 위한 비컨 프레임의 구조를 나타낸다.

IEEE 802.15.4 비컨 프레임의 Beacon Payload 필드에서 1Byte의 정보를 이용하여 SUB_PAN ID를 나타내며 이를 비교하여 디바이스 노드는 각각의 SUB_PAN 영역의 가입이 이루어지며 그에 맞는 송신전력을 사용하여 데이터 전송을 한다.

그림 3은 제안하는 센서 네트워크의 슈퍼프레임 구조를 나타낸다. 제안하는 슈퍼프레임 구조를 사용하여 각 SUB_PAN 영역별 개별적인 통신이 가능하도록

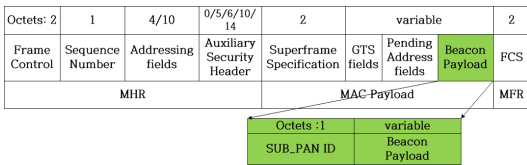


그림 2. 제안하는 센서 네트워크에서의 비컨 프레임

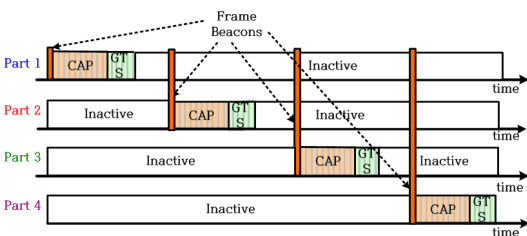


그림 3. 제안하는 슈퍼프레임 구조

하여 기존의 PAN 영역 내부의 통신에 참여하지 않는 다수의 노드가 라디오의 ON 상태로 지속되는 것을 최소화 시켜준다. 또한 서로 독립적인 SUB_PAN을 구성하기 때문에 전체 PAN 영역에서의 메시지의 충돌이 감소한다. 비컨 메시지를 수신한 SUB_PAN 영역은 Active 상태로 데이터 전송을 위한 슈퍼프레임이 동작하고 다른 영역의 SUB_PAN에서는 Sleep 상태를 유지하여 에너지 효율을 높인다.

3.2 제안하는 Cross Layer 프로토콜 동작 단계

제안하는 Cross Layer 프로토콜은 크게 노드의 PAN 가입 단계와 라우터 노드의 선정 단계로 구분한다. 이는 다수의 PAN 영역에 속하는 노드들을 관리하기 위한 방법으로서 송신전력의 최소화를 최우선적으로 동작한다.

3.2.1 노드의 SUB_PAN 가입 단계

다중 PAN 영역에 속한 노드의 PAN 영역 가입은 코디네이터로부터 수신한 비컨 메시지의 Superframe Specification 필드를 이용하여 PAN ID 정보를 확인한다. 이후 Beacon Payload 필드의 SUB_PAN 정보를 이용하여 보다 적은 송신전력을 사용하는 PAN 영역에 가입하게 된다.

그림 4는 노드의 PAN 가입 순서도를 나타낸다. 디바이스 노드는 비컨 메시지를 수신하여 PAN ID 정보를 확인하며 기존 노드가 가진 PAN ID 정보와 비교한다. 기존의 PAN ID 정보와 동일하다면 기존의 SUB_PAN ID 정보를 A, 새롭게 수신한 SUB_PAN ID 정보를 B로 가정하여 A, B를 비교하여 송신전력을 적게 소모하는 SUB_PAN 영역으로 가입하여, 디

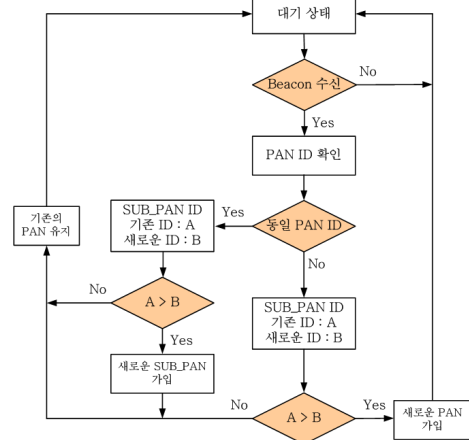


그림 4. 제안하는 노드의 PAN 가입 순서도

바이스 노드로 구성된다. 새롭게 수신한 PAN ID 정보가 기존의 PAN ID 정보와 다를 경우 역시 기존의 SUB_PAN ID와 비교하여 송신전력을 적게 사용하는 PAN 및 SUB_PAN 영역으로 가입하여 디바이스 노드로 구성된다.

그림 5는 다중 PAN 영역에 속한 디바이스 노드의 가입의 동작 과정을 나타낸다.

(a) PAN_1 코디네이터에 의해 PAN_1 영역의 센서 노드의 가입단계가 이루어져 PAN_1 코디네이터 통신 반경 내의 노드는 PAN_1에 가입하여 네트워크를 구성한다. (b) PAN_2 코디네이터는 통신 반경 내의 노드에게 비컨 메시지를 전송하여 PAN을 구성한다. PAN_2 가입단계의 진행으로 인해 PAN_1과 PAN_2 두 개의 영역에 중복으로 속하는 노드가 발생한다. (c) 중복 영역에 속하는 노드는 SUB_PAN 정보를 확인하여 기존의 PAN_1의 SUB_PAN 과 동일하거나 큰 값의 PAN_2의 SUB_PAN 정보를 수신하였다면 기존의 PAN_1 영역으로, PAN_1의 SUB_PAN 보다 작은 값을 PAN_2의 SUB_PAN 정보를 수신하였다면 PAN_2 영역으로 가입하게 된다.

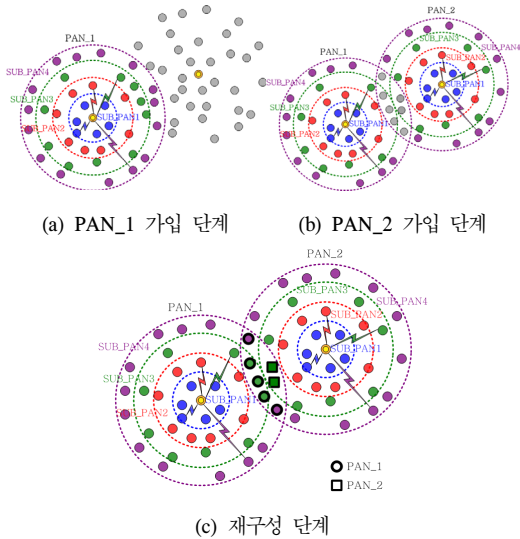


그림 5. 다중 PAN 영역에 속한 노드 가입 단계

3.2.2 라우터 노드 선정 단계

각 PAN의 코디네이터, 라우터 노드들로 이루어진 메쉬 네트워크의 형성으로 슈퍼프레임의 스케줄링에 맞춘 데이터의 전송이 가능하도록 라우터 노드의 선정이 필수적이다. 그림 6은 라우터 노드의 선정 순서도를 나타낸다.

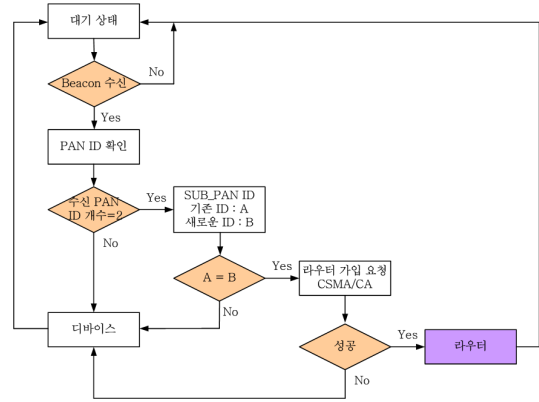


그림 6. 제한하는 라우터 노드 선정 알고리즘의 순서도

라우터 노드는 비콘 메시지를 수신하여 센서 노드가 몇 개의 노드에 속하는지 정보를 확인하며 2개의 PAN 영역에 중복된 경우에만 선정 가능하다. PAN ID 정보를 2개 가진 센서 노드는 기존의 SUB_PAN ID를 A로 새롭게 수신한 SUB_PAN ID를 B로 가정한다. A, B의 값이 동일한 경우 센서 노드는 IEEE 802.15.4의 CSMA/CA를 기반으로 경쟁하여 라우터 노드로서의 가입을 요청하고 가입에 성공한 노드는 라우터 노드로서 동작 한다.

그림 7은 라우터 노드의 선정 과정을 나타낸다. PAN_1과 PAN_2 두 개의 PAN 코디네이터로부터 비콘 메시지를 수신한 노드 중 동일한 SUB_PAN ID를 가진 노드는 CSMA/CA 기반으로 경쟁하여 라우터

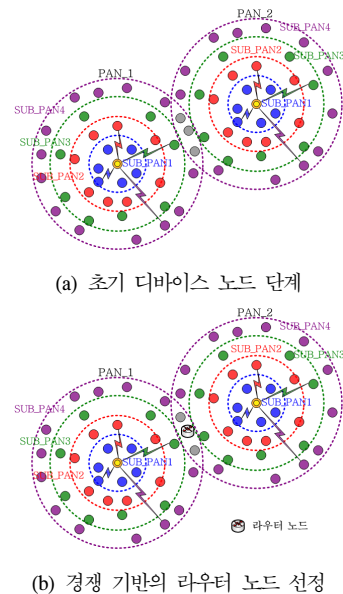


그림 7. 라우터 노드의 선정

노드로 한 개의 노드가 선정된다.

다수의 PAN 영역을 연결하는 라우터 노드의 선정이 이루어지면 그림 8과 같은 형태의 메쉬 네트워크가 구성된다.

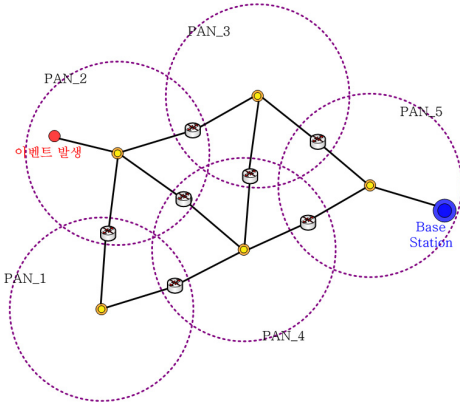


그림 8. 코디네이터와 라우터 노드의 메쉬 네트워크

IV. 성능 평가 및 고찰

4.1 성능 평가 파라미터

제안한 프로토콜의 성능평가를 위해 전송 모델은 CC2420으로 설정하였다. CC2420은 최대 -82dBm의 전송 거리를 가진다. 이론적으로 데이터 전송이 가능한 통신 반경은 식(2)를 이용하여 나타낼 수 있다. 주파수를 2.4GHz라 가정한다면 식(2)에 의하여 송신전력을 0dBm으로 사용할 경우 수신 감도가 -82dBm일 때의 통신 반경은 약 123m가 된다. 시뮬레이션 환경에 보다 적합한 데이터 입력을 위해 SEAMCAT 시뮬레이터를 사용하여 시뮬레이션으로 결과를 살펴보았다. SEAMCAT으로 구한 최대 통신 반경 지점인 -82dBm 지점에서의 통신 거리를 표 3에 나타내었다.

두 번째 파라미터인 데이터 전송에 소모되는 에너지를 알아야 한다. 먼저 1bit당 소모되는 에너지를 측

표 2. SEAMCAT으로 확인한 CC2420 통신 반경

송신 전력(dBm)	최대 통신거리 (m)
0	124
-1	111
-3	88
-5	70
-7	55.5
-10	39.5
-15	22
-25	7

표 3. CC2420 송신전력에 따른 비트 당 소모 에너지

송신 전력(dBm)	Energy/bit (nJ/b)
0	208.8
-1	198
-3	182.4
-7	150

정하기 위해서는 식(3)가 사용된다.

$$P_{Bit} = I_{Tx} \times V_s \times \frac{1}{R_{Tx}} \quad (3)$$

CC2420은 250kbps의 데이터 율을 가지고 있으며 비트 당 전송 속도는 4us가 소모된다. 비트 당 전송에 소모되는 에너지는 설정된 송신전력의 전류 I_{Tx} 와 전압 V_s 그리고 데이터 율 R_{Tx} 의 역수의 곱으로 구할 수 있다. 표 3은 송신전력에 따른 비트 당 소모 에너지를 나타낸다.

4.2 성능평가

제안한 알고리즘과의 성능평가를 위해서 NS-2 시뮬레이터를 이용하여 동일 송신전력을 사용하는 IEEE 802.15.4 프로토콜과 제안한 프로토콜을 사용한 센서 네트워크 환경에서 송신전력에 따른 에너지 소모율을 비교하였다. 100m x 100m 크기의 공간을 설정하고 중앙에 1개의 코디네이터를 구성하며 디바이스 노드들은 자유 배치가 되도록 구성하였다. 패킷 손실은 고려하지 않았으며 노드는 고정되어 있는 것으로 가정하였다. 성능평가를 위한 추가적인 가정 사항은 다음과 같다.

- 디바이스 노드는 최소 하나 이상의 코디네이터에 종속된다.
- 코디네이터는 지속적인 전원의 공급을 받는다.
- 모든 노드는 활성 구간에 데이터를 전송하기 위한 경쟁을 한다.

성능평가는 PAN 영역 내에서의 노드 숫자에 따른 데이터 패킷의 전송 성공률, PAN 영역과 전체 네트워크의 에너지 소모량, 그리고 전체 네트워크에서의 에너지 소모량으로 나누어 성능평가를 진행한다. 성능평가를 위한 환경은 다음 표 4와 같다.

4.2.1 PAN 영역에서의 전송 성공률 성능 평가

PAN 영역 내에서 노드의 데이터 전송 성공률에 대

표 4. 성능평가 파라미터

구분	파라미터	
Radio Receive	18.8 mA	
Radio Sleep	1 uA	
Radio Active	426 uA	
Radio Transmission	SUB_PAN4	17.4 mA
	SUB_PAN3	16.5 mA
	SUB_PAN2	15.2 mA
	SUB_PAN1	12.5 mA
1 Slot Time	5 ms	
Sleep Time	320 ms	
Data Packet Size	36 Bytes	
Beacon Packet Size	14 Bytes	
Ack. Packet Size	5 Bytes	
Battery Capacity	1000 mAh	
Event Time	400 ms	
Traffic Type	CBR	
Size of Environment	3m x 3m	
Number of Nodes	20	
Number of Coordinator	1	
Node Movement	None	

한 성능을 평가하였다. 실험 환경은 PAN 영역 내부의 노드의 개수를 증가하며 모든 디바이스 노드는 가정 사항과 같이 활성구간에 데이터 전송을 위한 경쟁을 하며, 1000초 동안 이벤트를 발생하여 측정하였다. 그림 9는 디바이스 노드의 증가에 따른 통신 성공률을 보여주고 있다. 노드의 숫자가 증가함에 따라 한정된 슈퍼프레임의 슬롯에 따른 통신에 참여하지 못하는 노드가 발생하며 이는 노드 수의 증가에 따라 점점 통신에 성공할 확률이 적어진다. 기존의 IEEE 802.15.4에서는 80개의 노드에서 88%의 성공률을 가지지만, 제안한 알고리즘에서는 300개 노드에서 88%의 성공률을 가지며 점차 감소하는 것을 볼 수 있다.

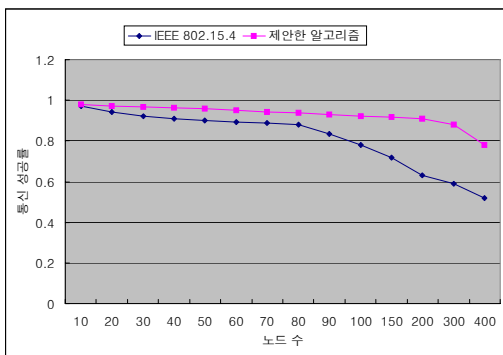


그림 9. PAN 영역 내의 통신 성공률

4.2.2 PAN 영역에서의 에너지 소모량 성능 평가

PAN 영역 내에서 노드의 증가에 따른 PAN 영역 내 1 Cycle의 슈퍼프레임 동작에서의 에너지 소모량을 측정하였다. 단, 지속적인 전원을 공급받는 코디네이터를 제외한 모든 디바이스 노드의 에너지 소모량을 측정하였다. 그림 10은 기존 IEEE 802.15.4기반의 PAN과 제안한 알고리즘의 PAN에서의 에너지 소모량을 나타낸다. 초기 10개의 노드에서는 차이가 거의 없지만 다수의 노드를 사용함에 따라서 PAN 영역에서의 적은 에너지 소모의 결과를 얻을 수 있었다.

그림 11은 노드의 초기 에너지를 1000mAh로 설정한 후 노드의 평균 Life Time을 나타낸다. 기존 알고리즘을 사용할 경우 약 243일을 사용할 수 있으며 제안한 알고리즘의 경우 약 276일을 사용할 수 있다는 결과를 얻었다.

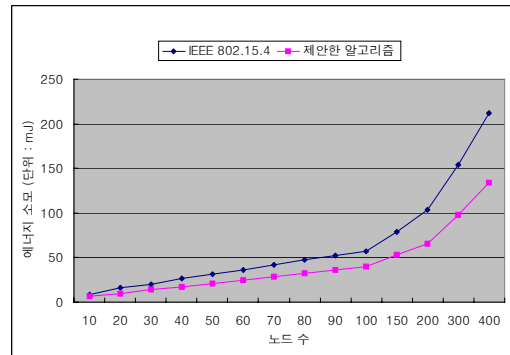


그림 10. PAN 영역의 소모 에너지 비교

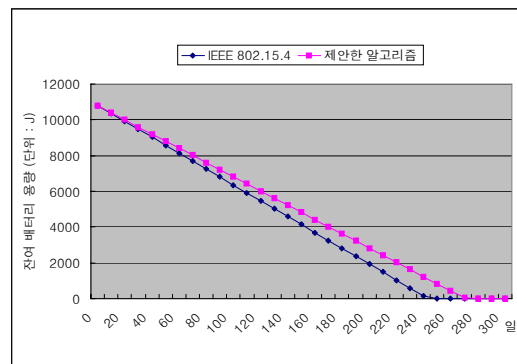


그림 11. 센서 노드의 평균 Life Time

4.2.3 네트워크에서의 에너지 소모량 성능 평가

에너지 소모의 비교는 기존에 제안된 알고리즘인 GAF 비교하였다. GAF 알고리즘은 클러스터 구성을 통해 네트워크의 연결도에 영향을 주지 않으며 네트

워크의 생존시간의 향상을 이루고, 또한 통신 반경 내에서 가장 먼 지점의 노드에게 데이터를 전송하여 통신에 소모되는 에너지를 고려한 알고리즘이다. 각 PAN은 10개의 노드로 이루어져 네트워크의 전체 센서 노드의 수는 50개로 이루어진다.

그림 12는 GAF 알고리즘으로 동작하는 네트워크와 제안한 알고리즘에서의 네트워크에서의 측정시간에 따른 에너지 소모량을 나타낸다. 프로토콜의 동작을 시작하는 초기에 제안한 알고리즘이 다소 큰 에너지 소모율을 확인할 수 있었다. 이는 데이터 전송과는 별도로 PAN 가입 및 라우터 노드의 선정 과정에서 소모하는 에너지가 원인이다. 제안한 알고리즘은 기존 알고리즘에 비하여 약 13%의 에너지 효율을 보여주었다. 또한, 노드별 에너지 소모는 코디네이터로부터 먼 노드의 경우 더 많은 에너지 소모를 나타내게 된다.

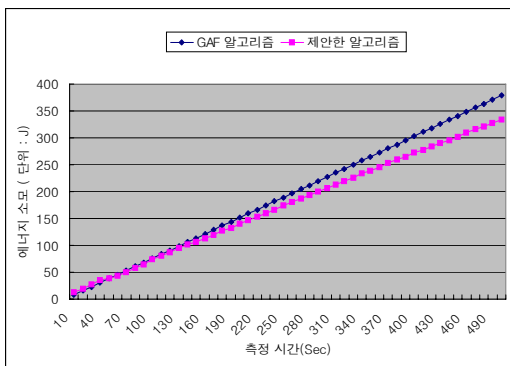


그림 12. 네트워크에서의 동작 시간 및 소모 에너지

V. 결 론

본 논문에서는 제한된 에너지를 갖는 센서 노드들로 구성된 센서 네트워크의 효율적인 에너지 사용을 위한 Cross Layer 프로토콜을 제안하였다. 기존의 네트워크 운영 방식에서 고려하지 않았던 송신전력을 제어함으로써 센서 노드 및 센서 네트워크의 에너지 효율을 개선하고 다수의 노드가 존재하는 PAN 영역에서의 메시지의 충돌을 감소시켰다. 제안하는 알고리즘의 성능 평가를 위해 NS-2 시뮬레이터를 이용하여 통신 반경을 이용하는 알고리즘인 GAF와 제안한 알고리즘을 비교하였다. 성능 평가 결과 노드의 수가 증가하고, 네트워크 사용 시간이 많을수록 4개의 SUB_PAN영역으로 나누어 PAN을 관리 운영하는 제안한 알고리즘이 보다 에너지 효율적인 성능을 보여

주었다. 제안하는 알고리즘은 IEEE 802.15.4기반의 ZigBee가 가지고 있는 호환성 문제 해결과 더불어 송신전력에 따른 네트워크 구성 방안을 제시하였다. 기존 알고리즘에 비해 각 노드단위에서 평균 11%의 에너지 효율을 나타내었으며 노드의 수가 증가함에 따라 전체 네트워크에서의 에너지 소모 효율은 높게 나타난다.

향후 연구 과제로는 코디네이터로부터 먼 영역에 속하는 노드들의 슈퍼프레임 스케줄을 고려하여 전체 네트워크와의 동일한 Life Time을 갖도록 적용하는 방안이 향후 연구 과정을 통해 개선해야 할 문제로 지적된다.

참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz, S. Weilian, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *Communications Magazine, IEEE*, 40(8), pp.102-114, 2002.
- [2] 김기일, 김상하, "MANET에서의 다중 경로 라우팅 프로토콜 연구 동향", *정보통신연구진흥원 학술정보*, July, 2005.
- [3] IEEE Standard for Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), 2006.
- [4] <http://www.zigbee.org>
- [5] Jose A. Gutierrez, Edgar H. Callaway, Jr., Raymond L. Barrett, Jr. "Low-Rate Wireless Personal Area Networks : Enabling Wireless Sensors with IEEE 802.15.4," *IEEE press*, 2003.
- [6] 김재현, 김석규, 이재용, "무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율성을 고려한 MAC/라우팅 프로토콜", *전자공학회지*, 32(7), pp. 57-73, July, 2005.
- [7] W. B. Heinzelman, A.P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *Wireless Communications, IEEE*, 1(4), pp.660-670, 2002.

