

# 저 전력 무선 센서 네트워크를 위한 시스톨릭 구조 설계 및 구현

이경훈\* · 이학재\* · 김영민\*\*

Design and Implementation of a Systolic Architecture  
for Low Power Wireless Sensor Network

Kyung-Hoon Lee\* · Hak-Jai Lee\* · Young-Min Kim\*\*

## 요 약

본 논문에서는 동기식 디지털 통신 프로토콜을 사용하여 노드 간 견고한 링크를 유지하고 초 저 전력 통신을 수행할 수 있는 고유의 시스톨릭(systolic) 구조 및 통신 알고리즘을 제안한다. 이 시스템은 CC2500 RF 트랜시버, CC2590 RF 프론트 엔드 및 C8051F330 저 전력 마이크로컨트롤러를 사용하여 설계 및 평가 되었고 구현된 링크 노드의 전력소모는 320bps의 데이터 전송 속도에서 400 $\mu$ W 이하로 측정되었다. 구현된 시스템은 각각 센서 노드 8개를 연결할 수 있는 링크 노드 7개로 구성된 저 전력 무선 센서 네트워크를 구성하는 기본 장치의 기능을 가지고 있다. 실험을 통해 링크 노드는 4Ah의 배터리를 사용하는 경우 4초의 주기로 3년 이상의 배터리 무교체 동작을 구현할 수 있다.

## ABSTRACT

In this paper, we propose a unique systolic structure and communication algorithm that maintains a solid link between nodes using synchronous digital communication and enables low power communication. This system was designed by using CC2500 RF transceiver, CC2590 RF front end and C8051F330 low power microcontroller. The measurement of power consumption in the network link shows below 400 $\mu$ W in data transfer rate 320bps. The system constitutes the base unit of low power wireless network that was composed of each seven link nodes having eight sensor nodes. Results of the experiments show that link nodes using a 4Ah battery could operate over 3 years without replacement.

## 키워드

Low Power, Wireless Sensor Network, Systolic Structure, TDMA  
저 전력, 무선 센서 네트워크, 시스톨릭 구조, 시분할다중접속

## 1. 서 론

무선 센서 네트워크는 주변 환경과의 상호작용을 통하여 재난구호, 스마트 환경, 위치과약 시스템 등

다양한 어플리케이션을 위해 제안되었다. 이러한 시스템들은 배터리로 구동되는 무선 센서가 필요하며 일반적으로 사람의 개입 없이 장기적인 배치를 위해 설계된다. 그 결과 에너지 효율이 센서 네트워크의 주요

\* 전남대학교 전자컴퓨터공학과(naikid@hanmail.net, hjlee5120@hanmail.net)

\*\* 교신저자 (corresponding author) : 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수(kym@jnu.ac.kr)

접수일자 : 2015. 05. 19

심사(수정)일자 : 2015. 06. 13

게재확정일자 : 2015. 06. 23

설계 목표 중 하나이다[1].

무선 센서 네트워크에서 에너지를 소비하는 주요 원인은 패킷 충돌(Collision)과 다른 목적지의 패킷 수신으로 인한 오버히어링(Overhearing), 데이터 송수신 외 네트워크 컨트롤을 위한 컨트롤 패킷 오버헤드(Control Pack Overhead), 대기상태 유지(Idle listening)가 있다. 따라서 네트워크의 수명을 증가시키기 위해 소비전력을 감소시키기 위해 최적화된 MAC(Medium Access Control)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[2-4].

본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 에너지 소비를 줄이기 위하여 고유의 시스톨릭 구조를 제안하고 소비전력을 평가하였다. 2장에서는 관련연구를 소개하고 3장에서 제안된 시스톨릭 구조를 설계한다. 4장에서는 구현된 시스템의 성능평가를 제시하며, 5장은 논문의 결론을 포함한다.

## II. 관련연구

무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜은 크게 경쟁 기반 프로토콜(Contention Based Protocol)과 스케줄 기반 프로토콜(Schedule Based Protocol)로 나눌 수 있다. 먼저 경쟁 기반 프로토콜은 사용자가 사전 조정 없이 동일한 무선 채널을 사용하도록 허용한다. 대표적인 프로토콜로 IEEE 802.11, ALOHA, CSMA(Carrier Sense Multiple Access)이 있다. 비경쟁 기반 프로토콜과 비교하여 동기화 또는 네트워크 토폴로지에 대한 정보가 필요하지 않기 때문에 단순하지만 Collision, Overhearing, Idle listening이 단점으로 지적된다[5].

스케줄 기반 프로토콜에서 스케줄은 채널을 접근하고 다른 노드와 통신을 허용하도록 설정한다. 주목적은 충돌을 감소시키고, 네트워크 노드 사이의 공정성을 확보하는 것이다. 스케줄 기반의 대표적인 예로 TDMA(Time Division Multiple Access) 기법은 노드가 시간을 프레임으로 분할하여 동일한 주파수 채널을 공유할 수 있으며 각 프레임은 슬롯으로 분할된다. TDMA는 노드에 고유의 타임 슬롯을 할당함으로써 노드 사이에서 공정성을 보장하고 네트워크의 전체 처리량을 증가시킨다.

## 2.1 S-MAC

S-MAC 프로토콜은 IEEE 802.11에서 파생된 무선 센서 네트워크를 위해 특별히 고안된 프로토콜이다. S-MAC 프로토콜은 단일 채널을 사용하는 경쟁기반 프로토콜로 시간 프레임을 활성(listen) 구간과 수면(sleep) 구간으로 나누어 주기적으로 반복한다. 따라서 활성 구간 동안 다른 노드와의 통신을 허용하고 수면 구간에서는 트랜시버의 전력을 끄고 에너지 소모를 하지 않는 상태로 활성 구간의 듀티 사이클을 줄임으로써 전력 소모를 줄인다. 그림1과 같이 싱크 제어 패킷은 이웃 노드와 동기화를 구성하기 위해 활성 구간 동안 교환되고, 즉 일정 교환은 이웃에 정기적인 싱크 패킷 전달에 의해 달성된다. S-MAC 프로토콜의 활성 구간은 두 부분으로 나눌 수 있다. 첫 번째 싱크 메시지 교환을 위한 부분과 RTS, CTS, DATA 패킷 교환을 위한 부분이다[6-7].

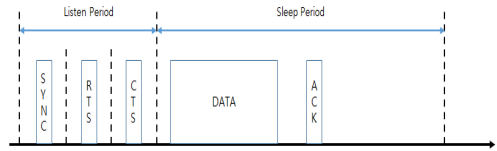


그림 1. S-MAC의 활성/수면 주기 및 컨트롤 패킷

Fig. 1 Listen/Sleep period and control packet of S-MAC

패킷 충돌을 피하기 위해서 S-MAC은 IEEE 802.11과 마찬가지로 RTS/CTS 기법을 사용한다. 또한 오버히어링 문제를 해결하기 위해 S-MAC은 RTS 또는 CTS 메시지를 듣는 이웃 노드들을 수면 모드로 전환한다. 또한 전송 지연 문제를 해결하기 위해 Adaptive Listening 기법을 제안하였다. 이는 컨트롤 패킷의 NAV(Network Allocation Vector)를 통해 첫 데이터 전송이 끝나는 시간을 예측하고 그 시간이 끝나면 NAV가 설정된 모든 노드들이 자신의 통신 모듈을 수면주기 중간에 On하여 한 번 더 전송할 패킷의 존재 여부를 체크한다. 0이 아닌 NAV 값을 가진 노드는 오버히어링을 피하기 위해 슬립모드로 전환한다. 제어 메시지 과부하(Control Packet Overhead)를 방지하기 위해 긴 메시지를 작은 단위로 분할하여 한번에 전송하는 기법을 사용한다.

S-MAC은 Idle Listening으로 인한 에너지 소비와 시간 동기화 오버헤드를 수면 스케줄로 줄일 수 있고 구현이 단순한 장점을 가진 반면, 미리 정해진 연속되는 활성/수면 주기는 센서 네트워크의 다양한 트래픽 변화에 적합하지 않고 패킷 충돌의 가능성을 증가시키고 중간 노드는 자신이 소유한 정보를 다음 수신 노드가 깨어나야만 전송할 수 있는 슬립 지연이 발생한다[8].

### 2.2 B-MAC

B-MAC은 제한된 센서 하드웨어를 고려하여 가능한 코드 크기를 최소화한 프로토콜이다. B-MAC은 CCA(Clear Channel Assign)를 기반으로 CSMA/CA 방식을 사용하는 MAC 프로토콜로서 TinyOS 상에서 구현된 기존 S-MAC의 코드(ROM:6274, RAM:516)에 비해 훨씬 작은 코드 크기(ROM:4386, RAM:172)를 갖는다. B-MAC은 통신 에너지 소모를 줄이기 위해 WiseMAC에서 사용하는 Preamble 신호 기반의 활성/수면 기법을 사용하였다[9].

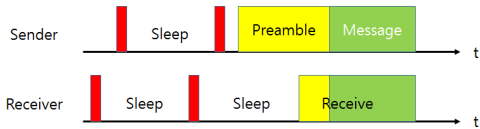


그림 2. B-MAC의 구조  
Fig. 2 Structure of B-MAC

### 2.3 D-MAC

Data-gathering MAC( D-MAC)의 목적은 에너지 효율을 유지하면서 매우 짧은 응답시간을 달성하는 것으로 작은 시간 슬롯으로 분할되는 TDMA를 기반으로 각각의 슬롯들에서 데이터 송수신을 위해 CSMA는 수행된다. D-MAC은 약 수십 ms의 지연을 보장한다. 그림 3과 같이 깊이 k의 소소 노드로부터 전송된 패킷은 k개의 시간 슬롯들의 지연을 갖는 싱크 노드에 도달 할 수 있다. D-MAC에서 노드는 송신, 수신, 슬립의 3개의 상태를 갖는다. 트리 네트워크의 동일한 깊이에서 두 노드가 스케줄을 동기화 할 때 발생하는 패킷 충돌을 줄이기 위해 경쟁 윈도우 내에서 랜덤 시간을 더한 백-오프 시간을 이용한다.

D-MAC의 알려진 단점은 트리 네트워크에서 많은 노드가 동일한 스케줄을 공유할 수 있고 제한된 충돌

회피 기법을 사용하기 때문에 패킷 충돌이 발생한다는 것이다[10].

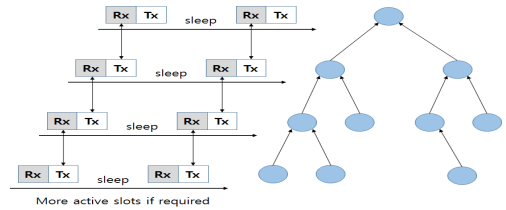


그림 3. D-MAC 구조의 데이터 수집 경로  
Fig. 3 Data gathering tree in the D-MAC scheme

## III. 시스템 설계

본 논문에서 제안된 시스템 네트워크 구조는 기본적으로 패킷 도달 시간 예측 알고리즘을 이용하여 수신 노드의 소모 전력을 낮출 수 있으며 동기식 양방향 통신을 수행한다[11-12].

### 3.1 시스템 구조

무선 네트워크는 노드 간에 다양한 형태의 구조로 무선으로 연결되어 통신을 수행하는 시스템이다. 본 논문에서는 각 노드 간에 통신을 수행하는데 있어 저 전력 패킷 예측 알고리즘 기반의 동기식 통신 방식을 사용하면서 노드 간 통신이 인접 노드로 재 확장되어 네트워크 전체로 시스템적 어레이 형태로 전파되는 시스템을 제안하고 있다. 이러한 네트워크는 1차원, 2차원 그리고 3차원으로 확장 될 수 있으며 그림 4는 2차원 시스템적 구조를 나타내고 있다.

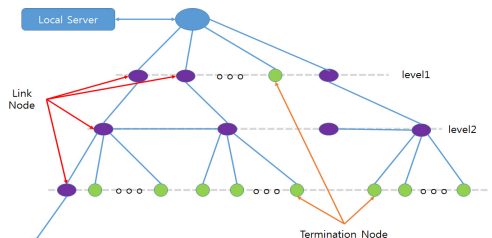


그림 4. 2차원 시스템적 구조  
Fig. 4 2-D systolic structure

이러한 네트워크 구조는 트리 네트워크 형태로 분류가 가능하며 상하 방향으로 일정한 주기를 기반으로 동기식 무선통신이 이루어지는 것을 특징으로 한다. 동일한 링크 노드를 사용하여 네트워크를 임의의 크기로 확장 가능하며 트리의 상위 노드들과 양방향 통신을 수행 하면서 네트워크의 최상위 노드 즉 마스터 노드로 모든 데이터를 전송하게 된다. 또한 트리의 각 하위 링크 노드들은 마스터 노드로 부터 명령과 데이터를 수신하게 된다. 트리 네트워크를 구성하는 링크 노드는 임의의 개수의 센서 노드들을 서브트리 구조로서 가질 수 있으며 센서 노드들은 소속 링크 노드들과 동기식 양방향 통신을 수행한다. 네트워크 통신 동작은 그림 5에 주어진 네트워크 Timing Diagram에 의해 도시 될 수 있다.

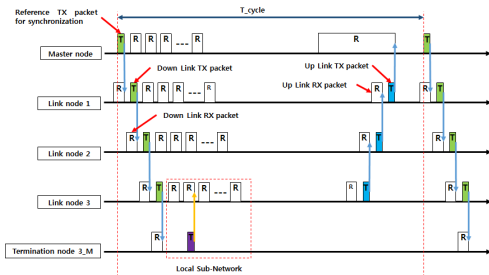


그림 5. 최소 지연 저 전력 네트워크 구조  
Fig. 5 Minimum latency low power network

그림 5에서 네트워크의 기본 통신주기(T)는 최상위 마스터 노드에 의해 결정되며 마스터 노드는 맨 처음 동기화 패킷을 T초마다 전송함으로써 통신을 개시한다. 하위 노드는 마스터의 TX 패킷에 동기화 되어 패킷 수신을 수행하고 이러한 동기화 과정은 패킷 도달시간 예측 방식의 저 전력 알고리즘을 각자 사용하여 이루어진다.

하위노드들도 마찬가지로 차 하위 노드들과 통신하기 위하여 상위 층과 패킷 수신 동기화 후 즉시 TX 패킷을 전송하여 차 하위 링크 노드들에게 패킷 동기화 수신을 유도한다. 이러한 패킷 동기화 수신은 트리 네트워크를 구성하면서 다수의 하위 링크 노드 층들로 확산되며 네트워크 노드 간 Down Link 통신경로를 형성한다.

네트워크의 양방향 통신을 위해서 본 논문에서는 Up Link를 Down Link와 Local Sub-network 구간

이후에 동기식 방식으로 수행하는 시스템을 제안한다. 최하위 링크 노드에서 최상위 마스터 노드로의 Up Link는 이미 Down Link에서 전체 네트워크 시스템 동기화가 이루어 졌기 때문에 추가적인 동기화 과정 없이 차 하위 링크 노드에서 전송된 Up Link TX 패킷을 미리 결정된 시간에 수신 창을 열도록 하여 수신하게 된다. 이러한 Up Link Path는 각 링크 노드마다 하위 레이어로부터 패킷을 수신을 완료하자마자 바로 Up Link TX 패킷을 송신 하도록 하여 지연이 최소화 되도록 형성할 수 있다.

Up Link와 Down Link 사이의 Local Sub-network는 상위 링크 노드와 패킷 동기화 이후 다수의 Time Slot을 설정하고 센서 노드들로 부터의 패킷을 수신하도록 한다. 센서 노드들은 링크 노드와 동기화 수신을 완료하고 즉시 자신에게 배정된 Time Slot을 계산하여 해당 시간에 패킷을 전송하게 된다. 각각의 Time Slot에 수신된 패킷들은 해당 링크 노드 내의 제어 프로세서에서 데이터로 분석되며 Event 발생 여부, 데이터 상위 전달 여부 등을 판단하여 Event Flag를 설정하고 상위 Up Link 경로에 패킷 형태로 전송 할 것 인지를 결정한다. 각 링크 노드들은 센서 네트워크의 특성상 Up Link 경로에서 Traffic Congestion의 발생 가능성 등을 고려하여 내부에 Data Buffer를 설치하여 데이터 흐름을 완충 조절하도록 해야 하며 또한 Up Link 패킷의 Payload 즉, Packet Length를 충분히 길게 해 주어야 한다.

#### IV. 구현 및 평가

본 논문에서는 초 저 전력 무선 패킷 네트워크를 구성하는 기본 링크 노드를 하드웨어로 구현하기 위하여 2.4 GHz RF 송수신기로써 TI CC2500을 사용하였고 링크 노드 제어 및 RF 송수신기 제어를 위해 Silicon Labs C8051F330을 사용하였다. 이렇게 구현된 링크 노드는 그림 6에 나타나 있으며 PCB 모듈은 RF 임피던스 매칭회로 및 모노폴 안테나 등과의 연결을 위한 SMA 커넥터 등을 포함하고 있다. 특히 이 모듈은 송수신 전달거리 향상을 위해 range extender로써 저잡음 증폭기 및 전력 증폭기를 내장한 TI CC2590을 사용하였다.

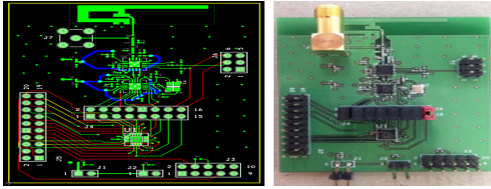


그림 6. PCB 레이아웃 및 구현 모듈  
Fig. 6 PCB layout and implementation module

구현된 링크 노드의 최대 전송 비트 속도는 512Kbps 이며 네트워크가 성공적으로 동작하기 위한 모든 조건을 만족하는 각 링크 노드의 각 전송 주기마다 필요한 패킷 바이트 수 및 소요 전송시간은 표 1과 같다.

표 1. 링크 노드의 동작 조건  
Table 1. Operation condition of link node

Composition	TX (ms)	RX (ms)
Down Link	0.5 (10bytes)	4 (10bytes)
Local Network	-	9 (10 bytes)
Up Link	1 (40bytes)	4 (40 bytes)

그림 7은 링크 노드들 간에 주고받는 송수신 패킷들의 파형이다. 1번 파형은 마스터 노드, 2번 파형은 마스터와 동기화 되어 있는 링크 노드, 3번 파형은 링크 노드와 동기화 되어있는 하위 링크 노드, 그리고 마지막 파형은 링크 노드와 동기화 되어 있는 차 하위 링크 노드를 보여 주고 있다.

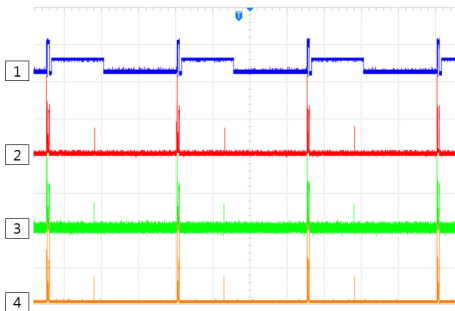


그림 7. 링크 노드 간 송수신 파형  
Fig. 7 TX/RX waveform between link nodes

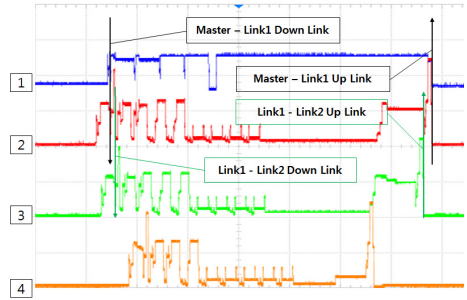


그림 8. 링크 노드 간 송수신 상세 파형  
Fig. 8 Detail waveform between link node

그림 8에서 1번 파형은 마스터 노드의 첫 번째 송신 패킷으로 첫 번째 링크 노드가 수신 패킷을 동기화 한 후 연속적으로 4개의 수신 슬롯을 자동으로 발생하는 것을 보여준다. 2번 파형의 첫 번째 링크 노드의 수신 창 바로 다음에 오는 송신패킷에 의해 다음 하위 링크 노드 즉 3번 파형의 수신 창을 종료하도록 하여 동기화를 이루는 과정을 나타내고 있다. 마찬가지로 4번 파형은 마지막 링크 노드의 파형으로 맨 처음 오는 동기화 수신창은 7번 링크 노드의 송신 패킷에 의해 동기화 되고 3개의 수신 슬롯이 연속적으로 열리고 있음을 보인다. 또한 마지막 링크 노드인 4번 파형의 마지막에 발생하는 송신 파형은 6번 링크 노드의 Up link 수신창을 종료하도록 하고 이런 방식으로 3번 파형의 Up link 수신 창을 종료하도록 하고 있다. 이와 같은 Up Link 과정은 수신 창이 종료되는 즉시 다시 송신 패킷을 발생시키고 상위 링크의 수신 창과 동기화하도록 하여 최종적으로 마스터의 수신 창이 동기화 되는 것을 보여준다.

위와 같은 실험에서 네트워크 동작 주기 T는 4 초로 설정하였고 각 링크 노드에 사용되는 송수신 패킷의 총 바이트 수는 160bytes 이다. 따라서 실질적인 데이터 전송속도는 40bytes/sec 즉, 320bps 이다. 본 논문에서 측정된 주기 동안 사용한 송신 및 수신 패킷의 총 시간은 20ms이며 표 2는 Active 구간과 Idle 구간으로 분리하여 각각 소모되는 전류를 보여준다.

표 2. 송수신 소모 전류  
Table 2. Current consumption of Tx and Rx

Link Node		Active	Idle
CC2500	RX	20mA (17ms)	1 $\mu$ A
	TX	30mA (3ms)	1 $\mu$ A
C8051F330		1mA (20ms)	10 $\mu$ A

따라서 평균 전류(AI)는 다음과 같이 계산된다.

$$AI(mA) = \frac{Active\ current\ contrib}{Period} + \frac{Idle\ current\ contrib}{Period} \quad (1)$$

$$= \frac{450}{4000} + \frac{47.76}{4000} = 0.124$$

$$Active\ current\ contrib = (Active\ RX\ current \times RX\ active\ time) + (Active\ TX\ current \times TX\ active\ time) + (Active\ MCU\ current \times MCU\ active\ time) \quad (2)$$

$$= (20 \times 17) + (30 \times 3) + (1 \times 20) = 450$$

$$Idle\ current\ contrib = Total\ Idle\ current \times (Period - Total\ Active\ time) \quad (3)$$

$$= (1 + 1 + 10) \times 10^{-3} \times (4000 - 20) = 47.76$$

따라서 링크 노드를 4Ah의 용량을 가진 배터리로 동작 시킨다면 32,000hour 즉, 3년 이상을 배터리 교체 없이 사용할 수 있음을 예측할 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서 제안한 시스톨릭 네트워크 구조는 새로운 형태의 저 전력 무선 네트워크 구축을 위한 방법으로 순수 동기화 통신 기반의 노드 간 연결을 이용하여 고속통신이 가능하며 이러한 구성이 저 전력 네트워크 구축에 적용이 가능함을 기술하고 있다. 이러한 네트워크는 사물인터넷(IoT), RFID, USN 등 다양한 분야에 적용 가능하며 그 구조 또한 Tree 외의 다른 형태에도 적용 가능하다. 동기화 네트워크를 설계 및 구현하는데 있어 프로토콜의 Firmware 제작

시 미세한 Timing 문제를 반복적으로 분석하고 Tuning 해야 하는 어려움이 있으나 원하는 속도 및 전력소모를 얻는 데는 충분한 가치가 있다고 판단된다. 향후 ZigBee, BLE(Bluetooth Low Energy) 등과 네트워크 성능 비교를 수행할 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 교육부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임(No.2013H1B8A2032290).

## References

- [1] N. Kumari, N. Patel, S. Anand, and P. P. Bhattacharya, "Designing Low Power Wireless Sensor Networks: A Brief Survey," *Int. J. of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, vol. 2, issue 9, Sept. 2013, pp. 4447-4456.
- [2] H. Singh and B. Biswas, "Comparison of CSMA based MAC Protocols of Wireless Sensor Networks," *Int. J. on Adhoc Networking Systems*, vol. 2, no. 2, Apr. 2012, pp. 11-20.
- [3] S. Kim, S. Goh, C. Jung, and S. Lee, "Energy-efficient and QoS Guaranteed MAC protocol in Ubiquitous Sensor Networks," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 3, no. 2, June 2008, pp. 71-78.
- [4] M. Son and Y. Kim, "A Study on Hierarchical Communication Method for Energy Efficiency in Sensor Network Environment," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 8, Aug. 2014, pp. 889-898.
- [5] B. Abid, H. Seda, and S. M'bengue, *Wireless Sensor Networks - Technology and Applications chapter4 Collision Free Communication for Energy Saving in Wireless Sensor Networks*, Croatia, INTECH 2012, pp. 69-98.

- [6] J. Shin, D. Park, and S. Kim, "MAC Layer Protocol for Improvement in Power Consumption and Time Delay in a Sensor Network," *The J. of The Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 40, no. 2, Feb. 2015, pp. 366-368
- [7] W. Jung and Y. Oh, "A Study on Energy Efficient MAC Protocol based on S-MAC Protocol," *The J. of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 35, no. 2, Feb. 2010, pp. 43-49.
- [8] W. Oh and S. Lee, "MAC protocol for Energy-Efficiency and Delay in Ubiquitous Sensor Networks," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 4, no. 1, Mar. 2009, pp. 20-24.
- [9] J. Yun, S. Bae, J. Kang, T. Han, and M. Chung, "Asynchronous MAC Algorithm with a Wake-up Time Estimation in Wireless Sensor Network" *Proc. of Symp. of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, Jeju, Korea, June 2009, pp. 865-866.
- [10] J. Choi, K. Kim, and D. Kim, "A Study of Medium Access Control Protocol aimed to Energy Efficiency and Reduction of data transmission delay through Single slot renewal mechanism," *Proc. of Symp. of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, Incheon, Korea, Nov. 2006, pp. 761-764.
- [11] K. Lee, B. Lee, and Y. Kim, "Implementation of Active RFID System Using Prediction Packet Algorithm for Ultra Low Power Wireless Communication," *J. of The Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 37, no. 8, Aug. 2012, pp. 661-668.
- [12] S. Kim and Y. Kim, "A Study of Low Power Protocol and Algorithm for Short Range Wireless Communication," *J. of Korea Information technology*, vol. 9, no. 5, May 2011, pp. 49-58.

저자 소개



**이경훈(Kyung-Hoon Lee)**

2003년 조선대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
2012년 전남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2014년 전남대학교 대학원 전자컴퓨터공학과 박사(수료)

※ 관심분야 : RF Circuit(RFIC), 근거리무선통신, IoT/사물인터넷, 임베디드 시스템



**이학재(Hak-Jai Lee)**

1987년 호남대학교 영어영문학과 졸업(문학사)  
2014년 전남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2014년 전남대학교 대학원 전자컴퓨터공학과 박사과정 재학중

※ 관심분야 : RF Circuit(RFIC), 근거리무선통신, 임베디드 시스템



**김영민(Young-Min Kim)**

1976년 서울대학교 전자학과 졸업(공학사)  
1978년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)

1986년 The Ohio state University 전기공학과 졸업(공학박사)

1992년 ~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수

※ 관심분야 : 영상처리, RF Circuit(RFIC), SOC 설계

