

논문 2014-09-24

에너지 균등 하이브리드 WSN 프로토콜 기반 국지 기상 관측 시스템

(A Weather Monitoring System for Local Area Using an Energy-balanced Hybrid WSN Protocol)

이 형 봉, 정 태 윤*

(Hyung-Bong Lee, Tae-Yun Chung)

Abstract : This paper implements a weather monitoring system based on wireless sensor network. The wireless sensor network protocol proposed in this paper adopts a TDMA styled MAC. The protocol is designed to balance the energy consumption among sensor nodes. Other purposes of the protocol are to avoid the hidden terminal problem in 2-hop star topology, and to allow a CSMA styled communication in a given time slot to support emergent messages. Also, this paper develops the hardware of sensor node, gateway and electric generator based on solar and windy energy. The test results on the implemented system show that the time slot of each node is shifted in circular manner to balance the waiting time for transmission, and the reliability of wireless communication is over 99%.

Keywords : Weather Monitoring System, WSN, Energy-Balanced Protocol, Hybrid MAC

1. 서론

1980년대 후반 유비쿼터스 개념[1]이 도입된 이래 불과 2~3년 전까지만 해도 거의 모든 산업 분야에서 무선 센서네트워크의 응용이 무척 활발하게 일어났으나, 최근 들어 그 확산 추세가 주춤한 상태에 머무르고 있다. 그 이유는 국토의 전 지역을 커버하는 WiFi 통신으로 무장한 스마트 폰의 급속한 보급에 따른 영향도 있겠지만, 그 보다는 센서 노드의 에너지 불균등성[2] 등 센싱용 무선 통신 방법의 신뢰성 및 내구성의 취약점으로 인해 본격적인 상용화에 한계가 있기 때문이다. 이를 극복하기 위하여 자연 생태계 모니터링 시스템[3, 4]에서부터 교량 안전도 모니터링 시스템[5, 6] 등에 이르기까지 WSN(Wireless Sensor Network) 혹은 USN(Ubiquitous Sensor Network)의 실용화 시도와 함께 기술적 개선 노력이 꾸준히 이루어져 오고 있다.

*Corresponding Author(tychung@gwnu.ac.kr)

Received: 24 Feb. 2014, Revised: 21 Apr. 2014,

Accepted: 3 June 2014.

H.B. Lee, T.Y. Chung: Gangneung-Wonju National Univ.

WSN의 기술적 관점은 주로 에너지를 절약하면서도 통신의 신뢰성 향상을 도모할 수 있는 통신 방안과 멀티 홉 통신이 불가피한 경우에서의 라우팅 기법 등 크게 두 분야로 분류할 수 있는데, 이와 같은 WSN 기술들의 효율성은 WSN이 활용되는 응용분야의 특수성에 따라 크게 달라진다. 그러나, 지금까지 이루어진 센서네트워크 관련 연구 중에서 특정 응용 분야의 특수성이 반영된 것은 거의 없고, 대부분은 그림 1에 보인 WSN의 기본 개념[7]에 기반한 보편적 기술 특성에 충실하고 있다. 그림 1이 시사하는 WSN 기본 개념의 내용은 아래와 같다.

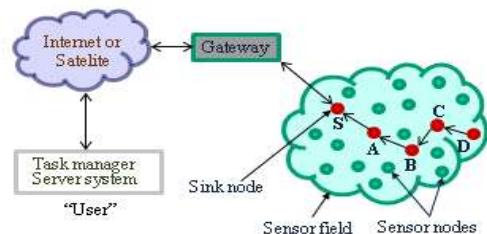


그림 1. WSN의 일반적 개념

Fig. 1 General Concept of WSN

- node들이 임의의 위치에 랜덤하게 분포한다(몇몇 특별한 경우에만 사람이나 로봇에 의해 차례로 배치된다).
- 전체적으로 제한된(보통 하나의) RF 채널을 사용한다.
- 여러 노드들의 자발적인 협력에 의하여 싱크노드까지의 데이터 전송 경로를 형성한다.

이 논문에서는, 굳이 멀티 홉 통신을 하지 않더라도 충분히 WSN을 활용할 수 있는 국지적 기상 관측 환경 즉, 성형 토폴로지(Star Topology) 네트워크에서 노드들의 에너지 소모가 효율적이면서도 균등한 무선 통신 프로토콜을 제안하여 구현한다. 이를 위하여 2 장에서 일반적인 무선 통신 방법과 본 제안의 기반이 되는 UPUS(Ultra low Power USN protocol for Star Topology)[8], 그리고 WSN 기반 기상 관측 시스템 사례 등 관련 연구들을 살펴보고, 3 장에서 UPUS를 개선한 EH-UPUS(Energy-balanced Hybrid UPUS)를 제안하고, 4 장에서 EH-UPUS를 적용한 기상 관측 시스템을 구현하여 EH-UPUS의 기능 및 성능을 평가하며, 마지막 5 장의 결론으로 이 논문을 맺는다.

II. 관련 연구

1. WSN 통신 방법

컴퓨터 무선 통신에 대한 연구는 센터에 위치한 컴퓨터를 중심으로 주변의 단말기들을 유선 대신 무선(RF 채널)으로 연결하는 ALOHA[9] 시스템에서부터 시작되었다. 이 경우 단말기들은 RF 채널이라는 하나의 전송매체를 공유하여 통신해야 하는데 이런 방식을 다중접근(Multiple Access) 방식이라 한다. 다중접근 통신 환경에서는 어느 한 노드가 통신하고 있는 도중 다른 노드가 통신을 시도하면 충돌이 일어나 기존 통신은 물론 지금 새로 시작하려는 통신도 망가질 수 밖에 없다. 따라서, 다중접근 환경에서는 노드들이 충돌을 회피하면서도 효율적으로 전송매체에 접근할 수 있도록 하는 절차적 통제가 요구되는데 이를 MAC(Medium Access Control)이라 부른다. 무선 MAC은 크게 경쟁 기반 방식과 비경쟁 기반 방식, 그리고 혼합 방식 등 크게 세 가지로 분류된다.

1.1 경쟁 기반(CSMA) MAC

이 방법은 전송매체가 비어있는 지를 확인하여

채널을 먼저 점유하도록 하는 방식인데, 그 개념에 따라 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access /Collision Avoidance)라 부른다. 즉, 다중접근을 허용하되 접근 전 매체를 미리 센싱하여 충돌이 없도록 한다는 것이다. 널리 알려진 ZigBee[10]가 이 방법으로 분류된다.

1.2 비경쟁 기반(TDMA) MAC

경쟁 기반 방식과는 달리, 각 노드마다 배타적으로 주어진 시간(타임 슬롯) 내에서 방해받지 않고 통신하는 방식을 비경쟁 기반 MAC이라 한다. 이 방법에서는 결국 시간을 분할해서 접근하므로 TDMA(Time Division Multiple Access)라 한다. TDMA MAC의 예로 UPUS[8], VSNP[11], LSNP[12] 등을 들 수 있다.

1.3 하이브리드(Hybrid) MAC

하이브리드 MAC은 CSMA와 TDMA MAC을 혼용하는 형태로 크게 두 가지 유형으로 분류할 수 있다. 첫 번째 유형은 전체 통신 시간을 CSMA와 TDMA 구간으로 분리하여 통신하는 방법이고, 두 번째 유형은 주어진 TDMA 타임 슬롯 내에서 여러 개의 노드가 CSMA로 통신하는 형태이다. 두 번째 유형의 예로 IMSN[13]을 들 수 있다.

위에서 분류된 무선 MAC 방법들은 각각의 고유 특성에 따라 대체로 서로 상반되는 장점과 단점을 가지고 있다. CSMA MAC은 구현이 용이하지만 충돌을 회피하기 위한 불규칙적인 대기 시간으로 인해 전송률이 낮아지고, 전송 시간에 대한 예측이 곤란하다. 뿐만 아니라, 송신자의 전송 시간을 알 수 없으므로 RF 채널에 계속 귀를 기울이고 있어야 하고, 이는 에너지 절약 측면에서 불리하다. 반면에 TDMA MAC은 충돌이 일어나지 않아 설계된 전송률 및 전송 지연에 대한 보장을 얻을 수 있고, 주어진 타임 슬롯 외에는 완전한 휴면이 가능하므로 에너지 효율 측면에서 유리하다. 하지만 전체 노드들 사이에 시간을 맞추기 위한 엄격한 동기화가 요구되고 이를 구현하기 위한 부담을 피할 수 없다. 또한 TDMA MAC에서는 새로 참여하고자 하는 노드들을 위한 타임 슬롯이 미확정이므로 이를 해결하는 과정이 복잡하다. 하이브리드 MAC은 주로 전송률, 전송 지연, 에너지 소모 등의 측면에서 우수한 TDMA MAC을 중심으로, 특별한 경우 CSMA MAC을 사용할 수 있도록 보완하는 형태로 설계된다.

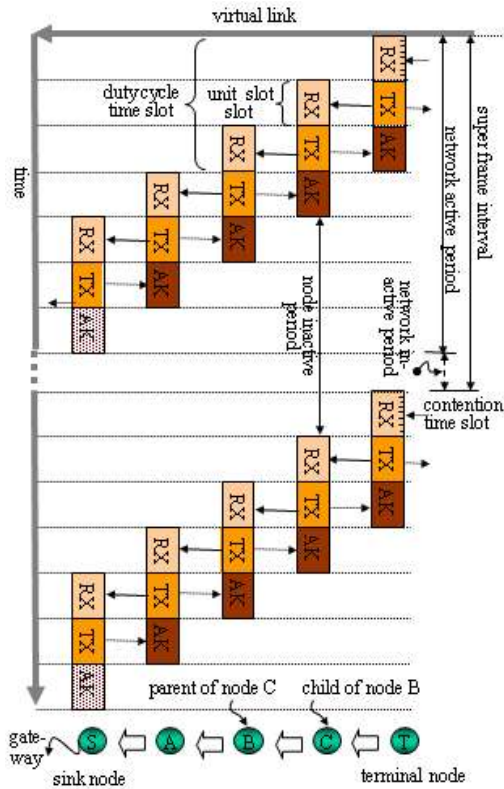


그림 2. LSNP의 개념

Fig. 2 Concept of The LSNP

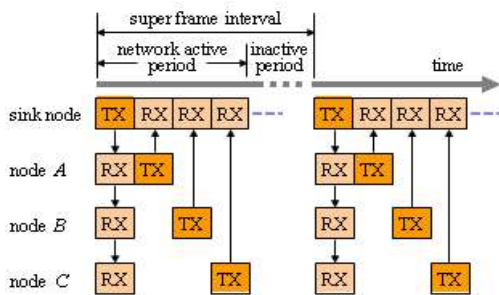


그림 3. UPUS의 개념

Fig. 3 Concept of the UPUS

2. 응용분야 특화 WSN 프로토콜

WSN의 응용 분야에 미치는 가장 큰 영향 인자 중의 하나로 노드의 통신 경로를 연결하는 토폴로지를 들 수 있다. LSNP[12]는 그림 2에서 보는 바와 같이 노드들에게 수신(RX)→전송(TX)→확인(AK)의 세 구간으로 구성된 타임 슬롯을 할당하되 이전 노드의 전송과 다음 노드의 수신 구간이 겹치

도록 배치함으로써 전체적으로 하나의 가상 선로를 형성한다. 이와 같이 LSNP는 유선을 대체할 수 있으므로 울타리, 스키장, 휴전선, 농지 경계선 등 길게 뻗은 일자형 환경에 적합하다.

그림 3의 UPUS[8]는 싱크 노드를 중심으로 단홉 거리 이내에 위치하는 주변 노드들에게 비컨 타임 슬롯을 기준으로 전송 타임 슬롯을 차례로 배정하여 데이터를 수집하고, 다음 수퍼 프레임 주기의 첫 타임 슬롯에서 한꺼번에 응답을 보냄으로써 성형 환경에서 전력 소모를 최소화 한다. UPUS는 사각 혹은 음영 지역과 같이 광범위하지 않고 비교적 좁은 환경에 적합하도록 설계되었다.

3. WSN 기반 기상 관측 시스템

WSN 기반 기상 관측 시스템의 연구 사례는 많지 않다. [14]는 TinyOS 개발 환경에서, 브로드캐스팅 및 플러딩 개념을 바탕으로 멀티홉 트리형의 전송 경로를 형성하는 MintRoute[15] 라우팅 컴포넌트를 이용하여 온도, 습도, 조도, 이슬점, 기압, 수위 등의 기상 데이터를 획득하는 센서 노드 및 이들 데이터를 수집하는 필드 서버를 구현하였다. 이 시스템의 MintRoute는 CSMA 유형 중의 하나인 B-MAC[16]을 사용하고 있는데, B-MAC에는 전송 지연 및 에너지 효율 측면에서도 개선의 여지가 있다[5]. [17]은 [14]의 MinRoute 라우팅 컴포넌트를 순수한 플러딩 라우팅으로 변형하여 전송 지연 및 통신의 신뢰성을 개선하였으나 전송 패킷의 수가 증가함에 따라 에너지 효율 측면에서의 효율성은 저하되었다.

III. 국지 기상 관측 시스템을 위한 WSN 설계

WSN 기반 국지 기상 관측 시스템 제안 배경의 가장 큰 당위성은 무엇보다도 관측 지점사이에 케이블을 사용하지 않는다는 데 있다. 따라서, 이 시스템을 위한 최적의 설계 주안점은 유선을 무선으로 대체한다는 측면에 두어야 한다.

1. WSN 토폴로지

계곡이나 강 주변의 국지 기상 상태를 모니터링 하는 데에는 센서 노드들을 선형 혹은 트리 형태로 배치하는 네트워크 토폴로지가 이상적이다. 그런데, 멀티홉 통신을 전제로 하는 선형 혹은 트리 토폴로지는 노드의 고장이나 RF 통신의 일시적 두절 등에

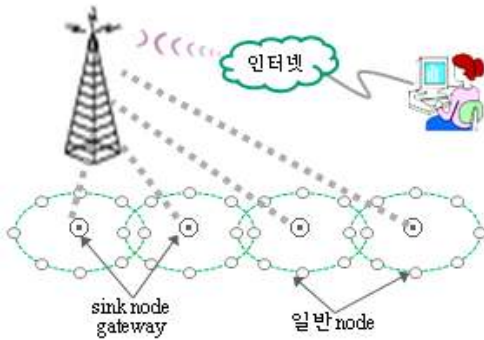


그림 4. 네트워크 토폴로지 설계
Fig. 4 Network Topology Design

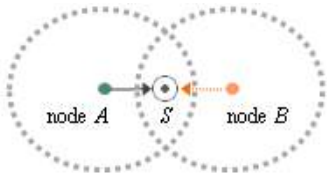


그림 5. 히든 터미널 문제
Fig. 5 Hidden Terminal Problem

다른 데이터 전송 경로의 재설정 시간으로 인해 통신 자체의 신뢰성은 물론 실시간적 데이터 전송 측면에서 취약하다. 최악의 경우, 관절점 역할을 하는 센서 노드가 장애 상태에 빠지면 그 노드를 경유해야 하는 모든 센서 노드의 데이터는 전송될 수 없다. 따라서, 고도의 데이터 통신 신뢰성과 최소의 전송 지연 측면에서 단홉 통신이 가능한 성형 토폴로지를 적용하지 않을 수 없다.

그런데, 성형 토폴로지를 적용할 경우 모니터링 영역이 제한된다는 단점이 제기된다. 특히 2GHz RF 대역의 경우 반경 100m 정도가 적절하다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 이 연구에서는 그림 4와 같이 중앙 관제 센터를 중심으로 각각의 성형 네트워크를 3G 이동 통신으로 연결하는 USN-Mobile 혼합 데이터 통신 네트워크를 구성하도록 한다.

2. WSN MAC(EH-UPUS)

노드의 수가 비교적 적고 모든 노드들이 단홉 통신 범위 내에 존재하는 성형 네트워크라면, RF 채널의 유휴 상태를 체크(CCA: Clear Channel Assessment)하고 전송하는 CSMA MAC이 충분하다. 그러나, 노드들의 통신 반경이 단홉 범위를 넘거나, 성형 네트워크 단위들이 겹치는 부분이 존재

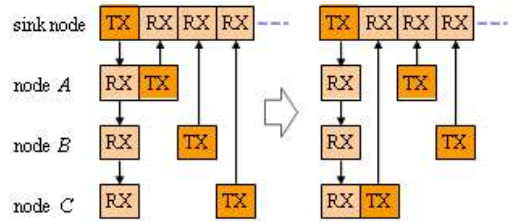


그림 6. EH-UPUS의 타임 슬롯 시프트
Fig. 6 Time Slot Shift of the EH-UPUS

할 경우 CSMA MAC이 전제로 하는 충돌 회피(CA: Collision Avoidance) 실패 가능성이 높아진다. 이를테면, 그림 5에서 노드 A와 싱크 노드 S가 통신하고 있는 도중, 노드 B가 이 상황을 알지 못하고 CCA에 성공하여 전송을 시작하면 양쪽 통신 내용 모두가 충돌로 실패한다. 이는 노드 B 관점에서 노드 A가 히든 터미널(hidden terminal)로 존재하기 때문이다. 이러한 성형 네트워크의 히든 터미널 문제를 극복하기 위해 이 연구에서는 그림 3의 TDMA MAC UPUS를 도입하였는데, UPUS는 그림 3에서 보인 바와 같이 싱크 노드가 노드 A와 노드 B에게 서로 다른 전송 타임 슬롯을 배정함으로써 히든 터미널 문제를 근원적으로 제거한다.

이 연구에서 새롭게 제안하는 EH-UPUS는 UPUS의 기본 개념에 아래의 두 가지 주안점을 개선한 TDMA MAC이다.

2.1 노드들 간의 에너지 소모 균등화

상시전원 대신 배터리(건전지)를 사용해야 하는 환경에서, 싱크 노드 주변에 배치된 센서 노드들 사이에 구조적인 에너지 소모 편차는 전체적인 전원 공급 계획에 있어서 장애요인이 된다. 그림 3의 UPUS에서는 노드 A, B, C 세 노드가 수퍼 프레임 주기에 맞춰 동시에 깨어나지만, 노드 A는 통신을 마치고 즉시 휴면에 들어가고, 노드 B와 C는 각각 한 개의 타임 슬롯과 두 개의 타임 슬롯 동안 더 기다렸다가 통신을 마치고 휴면에 들어간다. 즉, 노드 A, B, C 순서로 에너지 소모가 많고, 이 상태는 구조적으로 영원히 지속된다. UPUS의 이러한 에너지 소모 불균형 상황을 개선하기 위해 EH-UPUS에서는 그림 6에 보인 바와 같이 각 노드들에게 배정된 타임 슬롯이 수퍼 프레임 주기마다 한 칸씩 환형으로 시프트되도록 설계하였다.

2.2 경쟁기반(CSMA) 통신 구간 설정

센서 노드에서 발화 감지 등 긴급 이벤트가 발

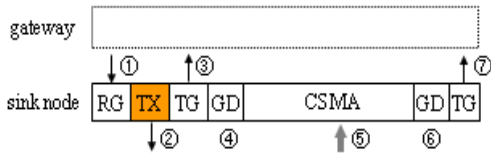


그림 7. EH-UPUS의 초기 상태
Fig. 7 Initial State of the EH-UPUS

생활 경우, 다음 번 통신 차례가 오기까지 기다리지 않고 가급적 신속하게 전송할 수 있는 방안으로 UPUS의 비활성구간에 CSMA 통신 구간을 설정하였다. 또한, 긴급 데이터 전송 뿐만 아니라 새로운 노드의 네트워크 참여 과정도 이 구간에서 이루어지게 함으로써 UPUS의 기본 타임 슬롯 하나를 제거하는 효과를 얻는다.

3. EH-UPUS 동작 절차

3.1 초기 타임 슬롯 할당

싱크 노드는 동작을 개시하면서 그림 7의 초기 타임 슬롯을 설정하는데, 각 타임 슬롯의 용도는 다음과 같다.

- RG(①) : 직렬 통신을 통하여 게이트웨이로부터 노드 설정 명령어 등 하향 데이터를 수신한다.
- TX(②) : 주변 노드들에게 시간 동기화 및 네트워크 동작을 알리는 비컨 메시지 겸, 이전 수퍼 프레임 주기에서 데이터를 수신했던 노드들에 대한 응답(acknowledge) 메시지를 모아 방송한다(초기 상태에서는 참여 노드가 없으므로 응답 내용은 포함되지 않음).
- TG(③) : 이번 수퍼 프레임 주기에서 노드들로부터 수신 받은 데이터를 게이트웨이로 전송한다(초기 상태에서는 참여 노드가 없으므로 실제로 전송되는 데이터는 없음).
- GD(④,⑥) : CSMA 통신 구간을 유지하기 위한 완충(guard) 시간 역할로 배치된다.
- CSMA(⑤) : 긴급 데이터를 가진 노드나, 네트워크 참여 희망 노드들로부터 CCA에 의한 경쟁기반 형태로 데이터를 수신 받는다.
- TG(⑦) : CSMA 구간에서 수신 받은 긴급 데이터를 게이트웨이로 전송한다.

3.2 노드의 네트워크 참여

네트워크 참여를 원하는 노드는 비컨 메시지의 SFD(Start of Frame Delimiter) 수신 시간을 기준으로 시간 동기화를 이룬 후[12], CSMA 구간에 참여

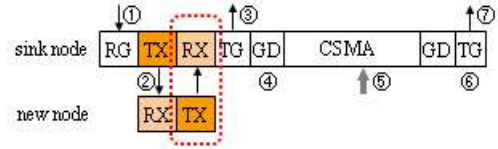


그림 8. 첫 번째 노드를 위한 타임 슬롯 할당
Fig. 8 Time Slot Assignment for the First Node

희망(조인) 메시지를 전송한다. 조인 메시지를 수신한 싱크 노드는 참여 확인 메시지에 네트워크 아이디(network id)로 즉시 응답하고, 그림 8에 보인 바와 같이 CSMA 구간을 축소하여 참여 노드를 위한 타임 슬롯을 확보한다.

3.3 타임 슬롯 시프트

싱크 노드는 수퍼 프레임 주기마다 방송되는 비컨 메시지에 참여 노드들의 타임 슬롯 번호를 재지정하여 공지한다. 이 때, 배경 타임 슬롯을 오른쪽으로 한 칸씩 이동시켜 환형으로 재지정함으로써 노드별 에너지 소모가 균등하도록 조정한다.

3.4 네트워크 복구

노드의 고장이나 주변 환경 변화에 따른 통신 장애로 인해 싱크 노드와 일반 노드 사이의 통신이 두절되면, 싱크 노드가 비컨 메시지에서 해당 노드에 대한 타임 슬롯 배정을 제거함으로써 남은 노드들과의 네트워크를 계속 유지하고, 제거된 타임 슬롯만큼 CSMA 통신 구간을 확장한다. 복구가 일어나는 구체적인 경우는 다음과 같다.

- 노드 전체의 고장 : 특정 노드로부터의 수신 실패 횟수가 설정된 횟수(기본 3회) 이상이면 싱크 노드는 해당 노드에 대한 타임 슬롯 배정을 취소한다.
- 노드 송신 장치의 고장 : 비컨 메시지를 수신하여 배정된 타임 슬롯에 데이터를 송신하지만, 싱크 노드가 이를 수신하지 못하므로, 3회 이후 이 노드는 타임 슬롯을 잃고 네트워크에서 배제된다.
- 노드 수신 장치의 고장 : 비컨 메시지를 수신하지 못하므로, 타임 슬롯 배정 내용을 알 수 없어 데이터 송신을 하지 않는다. 이 과정이 3회 이상 지속되면 결국 이 노드는 타임 슬롯을 잃고 네트워크에서 이탈한다.

IV. 국지 기상 관측 시스템 구현 및 검증

1. 하드웨어

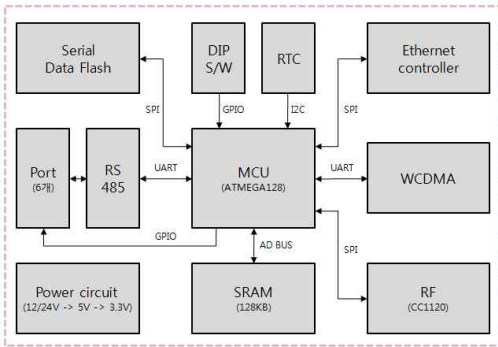


그림 9. 센서 노드 블록 다이어그램

Fig. 9 Block Diagram of the Sensor Node

표 1. 센서 노드 사양

Table 1. Specifications of the Sensor Node

모 들	모 델 및 규 격
MCU	ATmega 2560V(8MHz, 3.3V)
RF Transceiver	CC1120(400MHz, 802.15.4g, 4Kbps, SPI)
WCDMA Modem	QSC6240(2.1GHz, 384Kbps, UART)
Sensor Interface	SN65176B(RS 485)

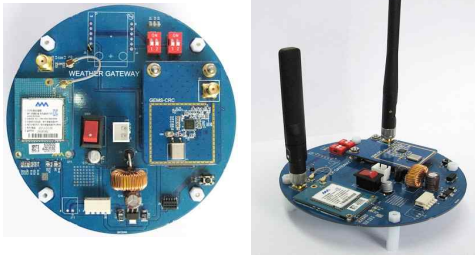


그림 10. 센서 노드 사진

Fig. 10 Photos of the Sensor Node

1.1 노드 및 게이트웨이

본 연구에서는 센서 노드와 게이트웨이를 독립적으로 구현하지 않고, 3G 모뎀의 착탈 여부에 따라 싱크 노드 및 게이트웨이 기능 여부를 선택할 수 있도록 설계하였고, RF 모듈로는 400MHz 대역을 채택하여 통신 반경 확장과 유연성 향상을 도모하였다. 그림 9는 센서 노드의 블록 다이어그램을, 표 1은 주요 모듈의 사양을, 그리고 그림 10은 개발된 센서 노드의 실제 모습을 보이고 있다.



그림 11. 일체화된 센서 모듈

Fig. 11 Sensor Module of United Sensors

표 2. 센서 사양

Table 2. Specifications of the Sensors

기상센서	모 델	범 위 및 분 해 능
온 도	SHT11	-40 ~ 60°C, 0.1°C
습 도		0 ~ 99%, ±3%
풍 향	DAU-WDTX	0 ~ 359°, ±2.5°
풍 속		0 ~ 70m/s, ±2.5%
기 압	MPXH6115A	500~1080hPa, ±0.5hPa



그림 12 태양광과 풍력 발전기 모습

Fig. 12 Photos of the Solar and Wind Electric Generator

1.2 기상 관측 센서

기상 관측 데이터의 수집 및 기능 검증을 위해 온도, 습도, 풍향, 풍속, 기압 등 5 종의 센서를 그림 11과 같이 일체형으로 통합하여 출력 인터페이스를 RS485로 표준화시켰다. 적용된 센서들의 사양은 표 2와 같다.

1.3 신재생 에너지 기반 전원공급 장치

상시 전원 공급 여부에 관계없이, 개발된 시스템이 어느 곳에서도 설치와 동작이 원스텝으로 이루어지기 위해서는 배터리 전원 공급 장치가 필요하다. 이 연구에서는 그림 12의 태양광·풍력 발전기와 이를 배터리에 연결하기 위한 하이브리드 충전 컨트롤러를 개발하였다. 풍력·태양광 발전기와 충전 컨트롤러 각각의 주요 사양 및 특징은 표 3과 같다.

표 3. 파워 모듈의 사양

Table 3. Specifications of the Power Module

모듈	규격 및 특징	
태양광 발전기	정격 출력/전압	15W, 21.5V,
	충전 전압/전류	17.6V, 0.85A
풍력 발전기	최대 출력/전류	30W, 3.4A
	정격 출력/전압	20W, 24V
충전 컨트롤러	과충전 방지(PWM 방식)	
	충전효율 극대화(MPPT 방식)	

2. EH-UPUS의 수퍼 프레임 주기 및 타임 슬롯

수퍼 프레임 주기는 기본적으로 데이터 수집 정책에 따라 2~6초 정도가 보통이고, 노드별 XTAL 클록의 편향이 달라 10초 이상의 너무 긴 수퍼 프레임 주기는 시간 동기화의 정확성 측면에서 장애 요인이 될 수 있다. 이 연구에서의 수퍼 프레임 주기는 5초로 설정하였다. 비컨과 데이터 송신 구간은 해당 송·수신 메시지의 최대 크기 및 처리 시간에 따라 결정되어야 한다. 이 연구에서는 비컨과 데이터 메시지 모두 최대 74Byte(preamble 8, data 64, CRC 2)로 설계하여, 메시지를 전송하는 시간 145ms(74 x 8 / 4096 ÷ 145ms)와 인터럽트 처

표 4. 웹기반 관리 소프트웨어 개발 도구

Table 4. Development Tools for the Web-based Management Software

항 목	개발 도구
웹 서버	Apache Tomcat Server 6.0.35
DBMS	MySQL Community Server 5.5.16
웹 프로그램	Java(JSP, AJAX)

리시간 35ms, 완충시간 20ms을 포함하여 200ms로 설정하였다. 게이트웨이와의 1회 최대 데이터 송·수신 크기는 1KByte로 설계하여 이 구간의 타임 슬롯을 데이터 통신 시간 20ms(1024 x 8 / 409,600 ÷ 20ms)와 완충시간 10ms를 포함하여 30ms로 설정하였다.

3. 웹기반 기상 데이터 관리 소프트웨어

이 연구의 관측 데이터를 검증하고 관리하기 위하여 표 4의 개발 도구 상에서 웹기반 기상 데이터 관리 소프트웨어를 개발하였고, 주요 기능은 표 5와 같다. 개발된 소프트웨어에 접속하여 수집된 기상 데이터를 검색하는 화면을 그림 13에 보였다.

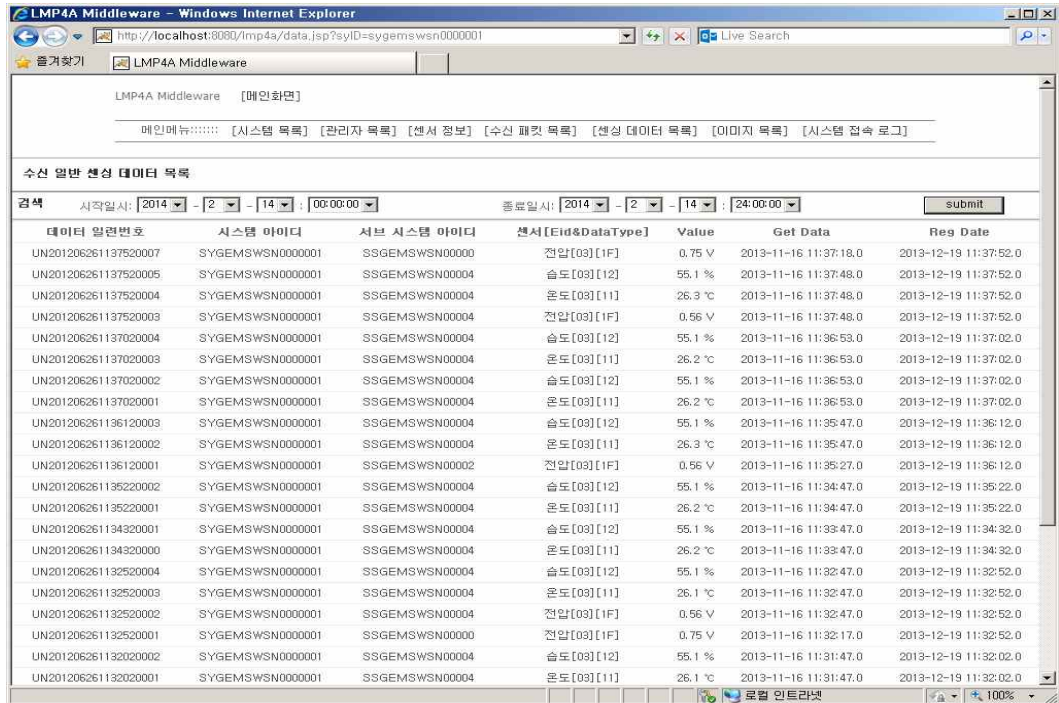


그림 13. 웹기반 기상 데이터 관리 소프트웨어 모습

Fig. 13 Snapshot of the Web-based Weather Data Management System

표 5. 웹기반 관리 소프트웨어의 주요 기능
Table 5. Contour Functions of the Web-based Management Software

기능	주요 내용
시스템 관리	시스템 목록 / 추가 / 수정 / 삭제
관리자 관리	관리자 목록 / 추가 / 수정 / 삭제
센서 관리	센서 목록 / 추가 / 수정 / 삭제
데이터 관리	패킷 목록 / 기간별 검색·플로팅



그림 14. 거리 관점의 RF 모듈 시험
Fig. 14 RF Module Test in View of Distance

표 6. 거리 관점의 RF 모듈 시험 결과
Table 6. Result of the RF Module Test in View of Distance(수신률: %, 신호세기: dBm)

높이 \ 거리	100m		300m		500m		1,000m	
	수신율	신호세기	수신율	신호세기	수신율	신호세기	수신율	신호세기
지상 1.2m(1)	99	-60	100	-80	100	-77	99	-88
지상 1.2m(2)	100	-60	100	-79	100	-77	100	-87
지표면(1)	100	-80	100	-97	99	-93	100	-99
지표면(2)	100	-78	100	-98	100	-93	100	-99
숲 1.2m(1)	99	-62	99	-77	100	-84	100	-96
숲 1.2m(2)	99	-65	99	-79	100	-88	99	-90



그림 15. 장애물 관점의 RF 모듈 시험
Fig. 15 RF Module Test in View of Obstacle

4. 개발 시스템 검증 및 평가

4.1 RF 트랜시버 시험

400MHz RF 대역을 사용하는 CC1120은 447.8625MHz ~ 447.9875MHz까지 총 11개의 채널을 제공하고, 법규정상 최대 10dBm까지의 출력이 가능하다. 이 연구에서 구현된 RF 트랜시버 CC1120 모듈의 통신 성능 및 특성을 검증하기 위하여 거리와 장애물 부문으로 분류하여 시험을 실시하였다.

□ 거리에 따른 통신 성능

거리 요인이 통신에 미치는 영향을 조사하기 위해, 개발된 센서 노드를 그림 14와 같이 개천에 접한 주택가의 100m, 300m, 500m, 1Km 거리 별 위치에 지상 1.2m, 지표면, 숲 지상 1.2m 등 세 가지 형태로 배치하고, 64Byte 패킷을 약 3 초 간격으로 100번씩 전송하는 시험을 2회 반복 실시하였다. 표 6에 각 시험 방법에 대한 결과를 보였는데, 어떤 경우에도 통신 성공률이 99% 이상이고 1Km 거리에서도 별다른 무리가 없음을 확인할 수 있다.

□ 장애물에 따른 통신 성능

장애물 시험은 그림 15와 같이 두 노드 사이에 13층 아파트 한 동과 두 동이 있는 경우 각각

표 7. 장애물 관점의 RF 모듈 시험 결과

Table 7. Result of the RF Module Test in View of Obstacle(수신률: %, 신호세기: dBm)

높이 \ 장애물	아파트 1동 장애물		아파트 2동 장애물	
	수신율	신호세기	수신율	신호세기
지상 1.2m(1)	99	-60	100	-80
지상 1.2m(2)	100	-60	100	-79
지표면(1)	100	-80	100	-97d
지표면(2)	100	-78	100	-98

에 대하여 지상 12m와 지표면에서 위와 동일한 시험을 실시하였고, 그 결과는 표 7과 같이 100%에 가깝다. 이 결과로부터 구현된 RF 모듈에 400MHz 대역 RF의 장애물 우회 특성의 우수성이 그대로 반영되었음을 확인할 수 있다.

4.2 WSN 프로토콜 EH-UPUS 검증

제안된 WSN 프로토콜 EH-UPUS의 기능을 검증하기 위해, 그림 16의 개발된 기상 관측 노드 및



그림 16. 5층 옥상에 설치된 개발 시스템 모습
Fig. 16 Photos of the Developed System Deployed on the Roof of a 5-storied Building

전원 공급 장치 한 세트를 5층 건물 옥상에 설치하고, 일반 AA형 건전지를 연결한 일반 노드 두 개와 싱크 노드 및 게이트웨이, 그리고 서버 컴퓨터를 5층 연구실에 두어 전체 시스템의 작동 상황을 관찰하였다.

□ 에너지 균등 소모를 위한 타임 슬롯 시프트

그림 17은 연구실에 설치한 노드 두 개 중 하나의 전류 소모 패턴을 정밀하게 측정하는 것인데, RX는 비컨 메시지 수신이고, TX는 자신에게 할당된 타임 슬롯 구간에서의 데이터 송신을

표 8. 5시간 동안의 온도 데이터 수집 건수
Table 6. Number of Temperature Data Received for 5 Hours

구간	1	2	3	4	5
건수	722	717	722	719	718

의미한다. 이 그림으로부터 수퍼 프레임 5초를 주기로 하여 해당 노드의 송신(TX) 타임 슬롯 구간이 0→1→2→0 순서로 순환함을 확인할 수 있다. 또한 노드의 평균 전류소모는 2.294mA이므로 2,400mA의 리튬이온 배터리를 사용할 경우 완충 후 충전 없이 약 43일간 동작할 수 있다.

□ 기상 데이터 전송 신뢰성

5 초 주기로 수집되는 온도, 습도, 풍양, 풍속, 대기 등 5 종 데이터의 수집 성공률을 검증하기 위해 그림 13의 기상 데이터 관리 소프트웨어의 검색 기능을 활용하였다. 연속된 5 개의 60 분 구간(총 5 시간)에 대한 옥상 노드의 온도 데이터 검색결과를 표 8에 보였다. 이 표의 시사점은 아래와 같다.

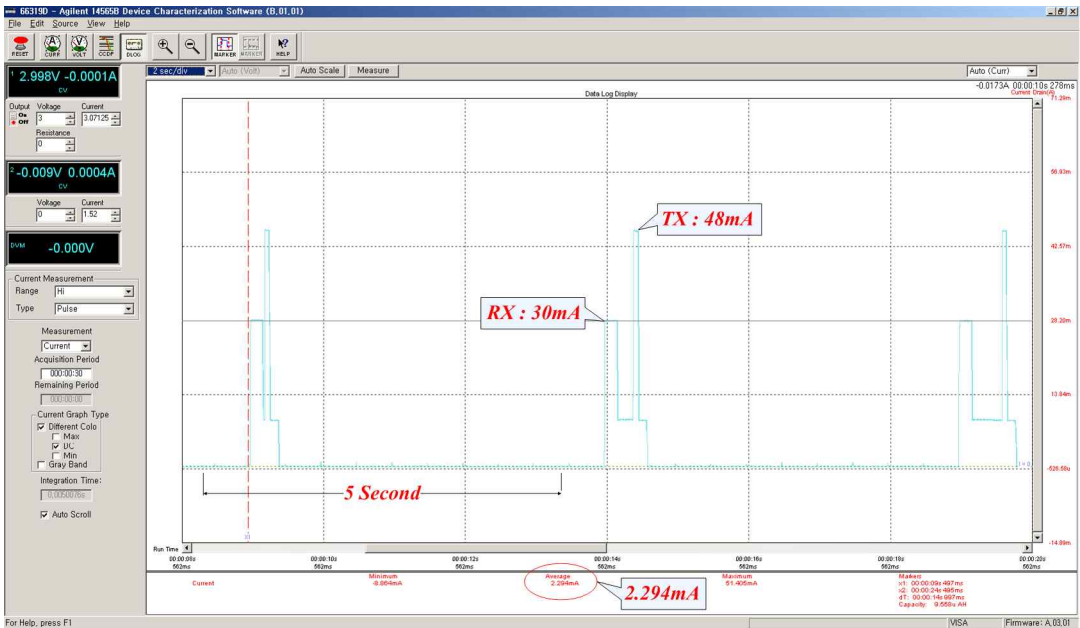


그림 17. 센서 노드의 전류 소모 패턴(타임 슬롯의 순환)

Fig. 17 Current Consumption Pattern of the Sensor Node(Rotation of Time Slot)

- 이론 상, 주어진 60분 동안 수집된 데이터는 $720(=3600/5)$ 건이어야 하지만, $\pm(1\sim3)$ 개의 차이가 나는 경우가 있다.
- 위와 같이 차이가 나는 이유는 일시적인 주변 환경 변화로 인해 센서 노드와 싱크 노드 사이의 무선 통신이 실패하여, 센서 노드가 데이터를 해당 주기에 전송하지 못하고 다음 주기에 전송하는 큐잉 메커니즘을 적용받기 때문이다.
- 5 시간 동안의 조사 결과, 시간대별 최대 차이는 3건으로 나타났고, 이들의 합산 결과는 -2로 나타나 전체적인 데이터 수집 성공률은 99.7% ($1-2/720 \div 0.997$)이다.

V. 결론

이 연구에서는 WSN 기반 국지 기상 관측 시스템을 위한 노드, 게이트웨이, 태양광 및 풍력 발전 시스템 등 하드웨어와, 싱크 노드를 중심으로 성형으로 배치된 노드들이 허든 터미널 문제를 회피하면서 에너지를 균등하게 소모하는 TDMA/CSMA 하이브리드 무선 통신 프로토콜, 그리고 데이터 관리 소프트웨어를 개발하였다. 검증 결과, 에너지 소모 균등화를 위한 노드별 타임 슬롯 시프트가 설계 의도대로 동작함이 확인되었고, 5 시간 동안의 데이터 수집 성공률이 99.7%로 나타나 통신 신뢰성 또한 충분한 것으로 평가되었다. 향후에는, 주변 환경에 의한 일시적 통신 단절 시 적용되는 큐잉 메커니즘에 실시간적 수집 시간을 대응시킬 수 있는 방안에 대한 연구가 이루어질 예정이다.

References

- [1] M. Weiser, "The Computer for the 21st Century," ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, Vol. 3, No. 3, pp. 3-11, 1999.
- [2] S. Kim, J. Park, D. Seong, J. Yoo, "An Energy-Efficient Data Gathering Method Based on Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks," Journal of KIISE: Information Networking, Vol. 40, No. 1, pp. 36-43, 2013 (in Korean).
- [3] R. Szwedczyk, A. Mainwaring, J. Polastre, D. Culler, "An analysis of a large scale habitat monitoring application", Proceedings of ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pp.214-26, 2004.
- [4] G. Tolle, J. Polastre, R. Szwedczyk, N. Turner, K. Tu, P. Buonadonna, S. Burgess, D. Gay, W. Hong, T. Dawson, D. Culler, "A Microscope in the Redwoods," Proceedings of ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pp. 51-63, 2005.
- [5] T.Y. Chung, H.S. Chung, H.B. Lee, L.J. Park, J.H. Moon, "Implementation of A Remote Fire Monitoring System Based on Bidirectional USN," IEMEK J. Embed. Sys. Appl., pp. 107-115, Vol. 2, No. 2, 2007 (in Korean).
- [6] S.N. Pakzad, G.L. Fenves, S. Kim, D.E. Culler, "Design and Implementation of Scalable Wireless Sensor Network for Structural Monitoring," Journal of Infrastructure Systems, Vol. 14, No. 1, pp. 89-101, 2008.
- [7] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," Computer Networks, Vol. 38. No. 4, pp. 393-422, 2002.
- [8] H.B. Lee, U.M. Jung, L.J. Park, J.H. Moon, T.Y. Chung, "Monitoring System of Blind Areas in a Skiing Resort using a USN," The KIPS Transactions : Part D, Vol. 16-D, No. 2, 2009 (in Korean).
- [9] N. Abramson, "THE ALOHA SYSTEM-another alternative for computer communications," Proceedings of AFIPS Joint Computer Conferences, pp. 281-285, 1970.
- [10] S. Safaric, K. Malaric, "ZigBee wireless standard," Proceedings of International Symposium on ELMAR, pp. 259-262, 2006.
- [11] H.B. Lee, L.J. Park, S.W. Park, T.Y. Chung, J.H. Moon, "Interactive Remote Control of Legacy Home Appliances through a Virtually Wired Sensor Network," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 56, No. 4, pp. 2241-2248, 2010.
- [12] H.B. Lee, K.H. Kwon, L.J. Park, T.Y. Chung, Q. Wu, "A Lightweight Lap Time Measurement System for Alpine Ski Sport Using a TDMA-Based Linear Wireless Sensor Network," International Journal of

- Distributed Sensor Networks, Vol. 2012, Article ID 674380, 2012.
- [13] H.S. Chung, J.H. Moon, S.W. Park, H.B. Lee, L.J. Park, T.Y. Chung, "Design and Implementation of a Wireless Sensor Network Protocol for a Smart Power Outlet System," IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 7, No. 6, pp. 291-300, 2012 (in Korean).
- [14] S.M. An, J.G. Kim, J.H. Yoo, S.J. Jung, W.Y. Chung, "Design of WSN based Field Server for Local Weather Monitoring," The Journal of the Korea Institute of Maritime Information & Communication Sciences, Vol. 15, No. 2, pp. 493-500, 2011 (in Korean).
- [15] A. Woo, T. Tong, D. Culler, "Taming the Underlying Challenges of Reliable Multihop Routing in Sensor Networks," Proceedings of SenSys, pp. 14-27, 2003.
- [16] J. Polastre, J. Hill, D. Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks," Proceedings of SenSys, pp. 95-107, 2004.
- [17] J.H. Yoo, S.C. Lee, W.Y. Chung, "Implementation of Flooding Routing Protocol for Field server using Weather Monitoring System," The Journal of the Korea Institute of Maritime Information & Communication Sciences, Vol. 15, No. 1, pp. 233-240, 2011 (in Korean).

저 자 소 개

이 형 봉



1984년, 서울대학교 계산통계학과 학사.

1986년, 서울대학교 계산통계학(전산과학)과 석사.

2002년, 강원대학교 컴퓨터과학과 박사.

1986~1994년, LG전자 컴퓨터연구소 선임연구원.

1999년~2003년, 호남대학교 조교수.

2004년~현재, 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야: 임베디드 소프트웨어, 센서 네트워크, 운영체제

Email: hblee@gwnu.ac.kr

정 태 윤



1987년, 연세대학교 전기공학과 학사.

1989년, 연세대학교 전기공학과 석사.

2000년, 연세대학교 전기컴퓨터공학과 박사.

1989년~1996년, 삼성종합기술원 선임연구원.

1996년~2001년, 삼성전자 중앙연구소 책임연구원.

2001년~현재, 강릉원주대학교 전자공학과 교수, 강원임베디드소프트웨어 연구센터 센터장.

관심분야: 임베디드 시스템, 센서 네트워크, 영상 부호화.

Email: tychung@gwnu.ac.kr