

배전선로 원격 진단을 위한 ZigBee 무선통신 시스템 개발

이경섭¹, 정동현^{2,a}

¹ 서일대학교 전기과

² 극동대학교 정보통신공학과

Development of ZigBee Wireless Communication System for Remote Diagnosis in Distribution Power Lines

Kyeong-Seob Lee¹ and Dong-Hyun Chung^{2,a}

¹ Department of Electrical Engineering, Seoul University, Seoul 131-702, Korea

² Department of Information and Telecommunication Engineering, Far East University, Eumseong 369-700, Korea

(Received July 27, 2015; Revised August 20, 2015; Accepted August 25, 2015)

Abstract: This paper presents a ZigBee wireless communication system for remote diagnosis in overhead distribution power lines. The system is divided in three parts in the functional aspect - a host computer module, a remote controller module and a diagnostic system module. The host computer module designed as USB interface transmits control signals and receive data measured by sensor. The remote controller module operates the diagnostic system. Diagnostic system module communicates with internal main controller and host computer USB. Multiple communication channel is adopted for simultaneous operations of several diagnostic system. Dedicated protocol for each module is developed. The system is designed with a focus on low cost and small size suitable for lightweight and small diagnostic system.

Keywords: ZigBee, Wireless communication, Multiple communication channel, Diagnosis, Distribution power lines

1. 서 론

최근 들어 전기의 사용량이 증가로 인하여 안정된 전력수급은 매우 중요한 문제 중에 하나로 대두되고 있다. 이를 위해 한국전력은 매년 많은 예산을 들여 선로를 점검 및 보수를 통해 예기치 못한 사고를 미연에 방지하기 위한 노력을 시도하고 있다.

현재 배전선로 부식 검출기에 대한 일부 연구가 진

행되었다 [1-3]. 특히 가공 배전선로의 열화진단은 구조적 특성상 원격으로 진단을 수행해야 하며, 진단시스템의 제어 및 진단 결과의 송수신에 무선 통신 네트워크의 적용이 필수적이다. 또한, 소형 및 경량의 진단시스템에 적용하기 위해서는 초소형화, 낮은 소비전력 및 저가의 통신 방식이 적합하다.

현재 근거리 무선 통신에는 Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee 등을 사용하고 있다. Wi-Fi는 AP (access point)를 기반으로 한 무선 인터넷 및 파일 전송에 주로 사용되며, Bluetooth는 휴대전화를 중심으로 하는 개인 네트워크 기기 연결에 적용된다. ZigBee는 사물간 통신 및 무선 센서 네트워크에 중점을 둔 표준으로 볼 수 있다.

a. Corresponding author; cdhhaus@naver.com

가공 배전선로의 원격 진단은 특성상 사용자와 진단 시스템이 선로를 따라 이동하면서 진단을 수행해야 하기 때문에 Wi-Fi는 AP 설치의 문제로 적합하지 않다. 지상의 운용자와 공중의 진단시스템과의 거리 및 전주 사이의 거리로 인해 통신거리가 매우 짧은 Bluetooth도 또한 적합하지 않다. 진단시스템은 배터리를 사용하므로 소비 전력이 적으며 통신거리가 충분한 ZigBee가 가공 배전선로 원격 진단에 가장 적합하다 할 수 있다.

ZigBee 통신을 적용한 사례를 살펴보면 신재생 에너지 분야에서는 태양광 발전에서 전력조정기의 원격 전압제어 [4], 태양광 인버터 원격 모니터링 [5], 소형 풍력발전기의 상태, 풍속 및 발전량 모니터링 시스템을 개발하였다 [6-8]. 이외에도 HID 가로등에 대한 원격 제어 및 감시 [9] 및 전력변환 장치의 DC 링크 커패시터의 고장 모니터링에도 적용되었다 [10].

본 논문에서는 ZigBee 통신을 이용하여 가공 배전선로 진단시스템의 원격 제어 및 모니터링을 수행할 수 있는 소형 및 저가의 다채널 무선통신 모듈을 개발하였다. ZigBee 통신시스템은 위치 및 기능에 따라 호스트 컴퓨터 모듈, 원격 조작 모듈 및 진단시스템 모듈로 나누어 설계하였다. 소형 및 경량의 진단시스템에 적합한 제어회로를 개발하였으며, 통신 제어 기능을 탑재하였다.

2. 실험 방법

2.1 ZigBee 통신시스템 선정

가공 배전선로 원격 진단을 위한 ZigBee 통신시스템의 설계 기준은 다음과 같다.

- ① 배전선로 원격 진단을 위한 최대 통신거리를 계산하며 실외에서의 통신 에러율은 3[%] 이하로 한다.
- ② 진단시스템의 센서 측정값과 위치정보를 송수신하기 위한 통신 모듈과 통신 프로토콜은 저전력이며 소형으로 한다.
- ③ 진단의 효율성 및 편리성을 위해 다수의 진단시스템의 동시 사용이 가능하며, 수신부는 진단 결과의 동시 수집 가능하도록 다채널로 구성한다.
- ④ 최종 데이터 송수신의 시간은 4분 이내로 한다. 다만 진단 프로그램의 디스플레이 시간을 고려하여 최대 5분 이내에 모든 과정에 완료되어야 한다.
- ⑤ 각 통신 모듈의 원활한 동작을 위해 각 모듈에 적합한 장치 드라이버를 적용한다.

2.1.1 통신 거리 계산

사용자와 진단시스템과의 통신 거리는 전주의 높이, 전주 사이의 거리 및 사용자 위치를 고려하여 계산하였다. 일반적으로 전주 사이의 간격은 50[m], 전주의 높이는 16[m] 이하이다. 사용자 위치에 따라 거리를 계산하여 최댓값을 적용하였다. 통신거리 계산 방법을 그림 1에 나타내었다.

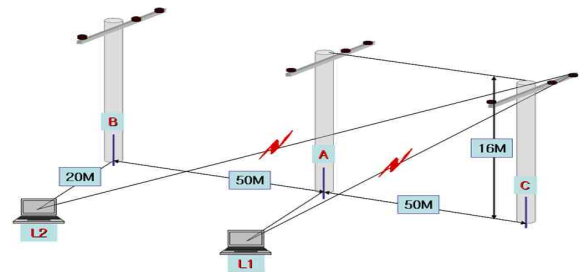


Fig. 1. Calculation of distance between user and system.

① 2기 전주에서 거리(L1)

- 사용자(전주 A 아래)와 진단시스템(전주 B 또는 C)까지의 최대 거리

$$\sqrt{50^2 + 16^2} = 52.5[\text{m}]$$

- 사용자(도로 및 주변 여건 고려하여 전주 A에서 이동)와 진단시스템(전주 B 또는 C)까지의 최대 거리

$$\sqrt{20^2 + 50^2 + 16^2} = 56.2[\text{m}]$$

② 3기 전주에서의 거리(L2)

- 사용자(전주 B 아래)와 진단시스템(전주 C)까지의 최대 거리

$$\sqrt{100^2 + 16^2} = 101.3[\text{m}]$$

- 사용자(도로 및 주변 여건 고려하여 전주 B에서 이동)와 진단시스템(전주 C)까지의 최대 거리

$$\sqrt{20^2 + 100^2 + 16^2} = 103.2[\text{m}]$$

실제 선로 진단은 전주 A에서 좌우방향(전주 B와 전주 C)으로 진단시스템을 운행하므로 최소 통신거리는 50[m] 이상으로 한다.

2.1.2 통신 모듈 선정

일반적으로 무선 프로토콜의 결정에 있어 데이터 손실률, 통신거리, 통신 속도 및 가격 등 여러 가지를 고

려한다. 배전선로 진단시스템에 적합한 통신 모듈의 선정은 가격, 통신의 안정성, 소비전력 최소화에 중점을 두었으며, 최종적으로 Helicomm IP-Link 1221-2134 모델을 선정하였다. 선정된 모델은 2.4[GHz]의 주파수 대역에서 250[kbps]의 데이터 통신 속도를 제공한다. 또한 통신거리는 150[m]로 위에서 계산된 최대 통신거리를 만족한다.

2.1.3 토폴로지 선정

각 통신기기 사이의 통신을 위한 토폴로지 구성 방법은 성형(star), 버스형(bus), 원형(ring), 트리형(tree) 및 망형(mesh) 토폴로지 등 다양한 방식이 사용되고 있다.

본 논문에서는 여러 대의 진단시스템을 동시에 운용할 수 있는 토폴로지를 구성하고자 동시에 다수의 통신이 가능하며, 목적지까지 여러 개의 경로가 존재하여 어느 하나의 노드에 이상이 발행하여도 다른 모듈에 영향을 주지 않는 장점을 가지는 망형 구조를 선정하였다.

2.1.4 통신 채널 및 프로토콜 선정

진단시스템에서 검출된 데이터를 호스트 컴퓨터로 전송하기 위한 통신 채널의 수는 선로 진단 방식 즉, 동시에 사용하는 진단시스템의 개수에 따라 달라진다. 통신 채널은 배전선로 중 어느 1상의 선로만 진단하거나 3상 선로를 동시에 진단이 가능하도록 설계하였다. 통신거리와 전주에 부착된 지지물 등을 고려하면, 6개의 진단시스템을 전주를 중심으로 좌우로 3상 선로에 배치하여 동시에 진행하는 것이 가장 적합하며 이를 위해 통신 채널은 6채널 이상으로 하였다.

호스트 컴퓨터, 진단시스템 및 진단시스템 내부에서의 통신을 위한 전용의 통신 프로토콜을 개발하였다. 통신 프로토콜은 효율성을 높이기 위해 모든 모듈에 대해 단일의 라이브러리를 사용하였다. 필요한 정보 전송 시 데이터 크기를 최소화 하도록 하였으며, 활용성을 높이고자 기능 추가 등의 변경이 용이하도록 설계하였다.

2.2 ZigBee 통신 시스템

가공 배전선로 진단시스템의 원격 제어 및 모니터링

을 위한 통신시스템은 위치 및 기능에 따라 호스트 컴퓨터 모듈, 원격 조작 모듈 및 진단시스템 모듈로 구분하였다.

2.2.1 호스트 컴퓨터 통신 모듈

호스트 컴퓨터 모듈은 리모콘을 이용하여 진단시스템을 제어하기 위한 신호 전송 및 진단시스템의 센서로부터 획득된 데이터를 수신하기 위한 것으로 USB 인터페이스를 이용해 호스트 컴퓨터와 통신한다. 호스트 컴퓨터 모듈은 UART-USB 장치를 이용하여 다른 모듈인 원격 조작용 리모콘 및 진단시스템과도 통신한다. UART-USB 장치는 5[V]로 동작하므로 호스트 컴퓨터의 USB 전원을 그대로 이용하지만, ZigBee 통신 모듈은 동작전압이 3.3[V]이므로 LDO Power Regulator을 이용해 USB 전원을 3.3[V]로 전압강하 후 사용한다. 호스트 컴퓨터의 메인 제어 프로그램을 통해 이 통신 모듈을 제어한다. 호스트 컴퓨터 통신 모듈을 그림 2에 나타내었다.

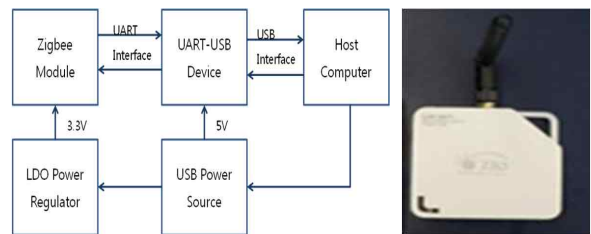


Fig. 2. Host-computer communication module.

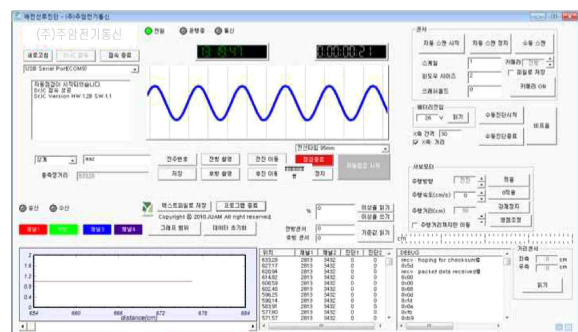


Fig. 3. Display of diagnosis results.

- 호스트 컴퓨터에 내장된 메인 제어 프로그램은
- ① 선로 위에 위치한 진단시스템을 원격으로 제어
- ② 진단시스템의 구동 모터 및 배터리 정보를 화면에 표시

③ 진단시스템으로부터 전송된 데이터를 기반으로 전선의 열화진단 수행 및 결과 표시한다.

그림 3의 메인 제어 프로그램은 사용자에게 친숙한 GUI (graphic user interface)를 적용하였으며, 조작 편리성, 진단시스템 운행 중 전선의 이상 여부의 실시간 확인 등 사용자 편의를 최대한 반영하였다.

2.2.2 원격 조작 모듈

진단시스템을 원격으로 조작할 수 있는 리모콘을 위한 것으로 사용자 조작에 대해 MCU는 이를 바탕으로 진단시스템에 내장된 내부 통신용 모듈에 전송할 명령을 생성한다.

리모콘의 조정버튼은 7개이며 각각 전원, 검사시작, 비상정지, 진단시스템 선택용 Up/Down, 수동전진, 수동후진의 기능을 한다. 전원 버튼을 조작하면 전원 LED가 점등된다. 원격 제어 및 데이터를 전송하기 위한 진단시스템을 선택할 수 있도록 하였으며, 선택된 진단시스템은 1:1로 매칭된 LED ON/OFF 상태로 확인할 수 있다.

수동 전진과 수동 후진은 해당 버튼을 조작하는 동안에만 실행이 된다. 비상정지 버튼을 통해 배전선로에서 동작되는 진단시스템에 이상이 발생되면 즉시 동작을 멈출 수 있도록 하였으며, 비상정지가 수행되면 진단시스템의 모든 기능이 멈추게 된다. 연속 동작은 검사시작 버튼을 이용한다.

리모콘에 1분 이상 사용자 조작이 없으면 전원 절약을 위해 자동으로 Sleep 모드로 전환된다. 그림 4는 원격 조작 모듈이다.

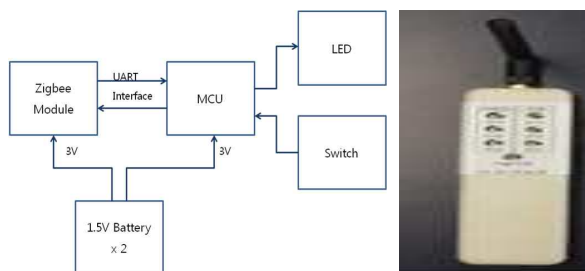


Fig. 4. Remote control module.

2.2.3 진단시스템 통신 모듈

진단시스템 통신 모듈은 진단시스템의 메인 컨트롤

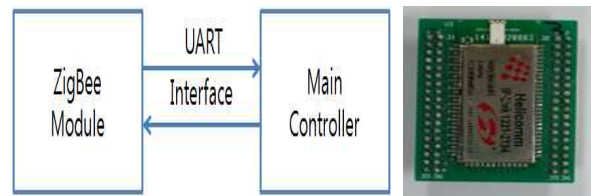


Fig. 5. Diagnostic system communication module.

러에 탑재된다. UART를 이용하여 센서로부터 측정되는 결과를 처리하기 위한 DSP (digital signal processing) 모듈과 통신하는 역할을 한다. 제어 명령의 수신 및 센서의 측정 결과를 호스트 컴퓨터에 전송한다. 그림 5는 진단시스템 통신 모듈이다.

3. 결과 및 고찰

가공 배전선로 진단시스템을 위한 통신 모듈의 성능을 평가하기 위한 현장 실험을 수행하였으며, 통신 가능한 최대 거리의 확인과 실제 배전선로에서의 실험으로 나누어 진행하였다.

그림 6은 현장 평가를 위한 호스트 컴퓨터의 메인 제어 프로그램 초기 설정 화면이다. 좌측 상단의 적색 사각형은 그림 2에서 보인 호스트 컴퓨터 통신 모듈이며, 모든 설정 이후 진단이 시작되면 그림 3과 같은 진단 결과가 표시된다.

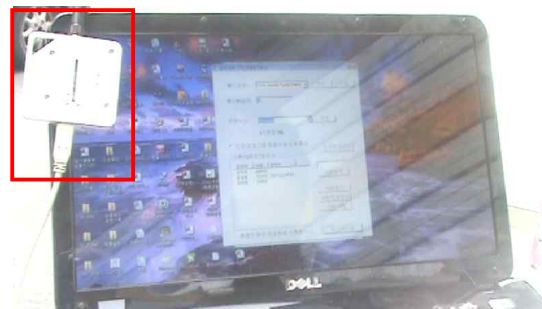


Fig. 6. Display of initial settings for field test.

통신 가능한 최대 거리에 대한 실험은 50~150[m] 범위의 설정된 거리에서 각각 20회의 조작 시험을 진행하였으며, 시험 결과인 해당 거리별 통신 성공률은 표 1과 같다.

Table 1. Field test results for distance.

Distance[m]	50	100	120	150
Rate[%]	100	100	95	85

**Fig. 7.** Field test for overhead distribution power lines.

호스트 컴퓨터와 진단시스템과의 거리가 100[m] 이내에서는 100[%] 통신 성공률을 보였다. 100[m]를 초과하는 경우 거리에 따라 5~15[%]의 통신 실패를 보였지만 애자 등의 지지물로 인해 실제 진단은 전주를 중심으로 좌우 전주 구간에서 수행되어 통신거리는 충분함을 확인하였다.

실제 배전선로는 선로의 위치 및 선로에 연결된 부하의 상황이 매우 다양하게 존재한다. 다양한 주변 환경 및 부하 조건하에서의 통신 성능을 확인하기 위해 상가, 학교 주변, 주택가 등의 장소에서 간선과 지선을 구분하여 실험을 진행하였다.

그림 7은 배전선로에서의 실험 과정으로, 그림의 적색 원은 통신 모듈이 내장된 진단시스템의 주행 모습이다. 진단시스템의 평균 주행거리는 41[m]이며, 다양한 주변 환경 및 부하 조건이 변화하는 상황에서도 주행 중 원격 조작용 리모콘 동작 및 호스트 컴퓨터와의 통신이 원활하게 이루어짐을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 소형 및 경량의 가공 배전선로 원격 진단시스템에 적합한 ZigBee 통신 모듈을 개발하였으며, 기능 및 위치에 따라 세 개의 모듈로 나누어 설계하였다.

각 모듈은 진단시스템 원격 조작 신호 전송 및 측정된 데이터 수신을 위한 호스트 컴퓨터 모듈, 진단시스템 원격 조작 모듈 및 진단시스템 내부 및 호스트 컴퓨터와 통신하는 진단시스템 통신 모듈이다.

여러 대의 진단시스템이 동시에 진단 수행이 가능하도록 다채널 통신 방식 및 이에 적합한 망형 구조의 토폴로지를 채택하였으며, 각 모듈 상호간에 효율적인 통신을 위해 전용의 프로토콜을 개발하였다. 현장 실험을 통해 통신 가능한 거리는 100[m] 이상이며, 배전선로 진단에 필요한 충분한 통신거리임을 확인하였다. 실제 배전선로에서의 실험을 통해 다양한 주변 환경 및 부하 조건이 변화하는 상황에서도 각 통신 모듈이 정확하게 동작함을 확인하였다.

REFERENCES

- [1] T. Nonaka, H. Yoshimi, F. Sato, H. Matsuki, and T. Sato, *IEEE Trans. Magnetics*, **38**, 3321 (2002). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TMAG.2002.802303>]
- [2] Y. W. Kang, J. W. Kang, B. M. Yang, and J. K. Jeong, *J. Kor. Inst. Illuminating and Electrical Insulation Eng.*, **12**, 12 (1998).
- [3] Y. C. Oh, T. Y. Kim, K. S. Lee, H. S. Jeong, J. S. Yoo, J. K. Yang, J. B. Lee, K. H. Lee, and C. H. Kim, *Proc. of KIEE Summer Conference*, **2140** (2009).
- [4] J. W. Seo, S. Moon, J. H. Jang, and J. H. Park, *Proc. Kor. Inst. Power Electronics*, **466** (2012).
- [5] H. W. Je and O. Yang, *J. Kor. Inst. Information Technology*, **10**, 94 (2012).
- [6] S. Y. Kim, S. I. Ann, and S. H. Kim, *Proc. of Kor. Inst. Intelligent Systems Fall Conference*, **153** (2011).
- [7] D. S. Moon and S. H. Kim, *J. Kor. Inst. Intelligent Systems*, **22**, 460 (2012). [DOI: <http://dx.doi.org/10.5391/JKIS.2012.22.4.460>]
- [8] H. H. Kim, S. B. Ahn, S. J. Choi, and J. K. Pan, *J. Kor. Academia-Industrial Cooperation Soc.*, **13**, 4186 (2012). [DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.9.4186>]
- [9] W. S. Chung, Y. B. Kim, and J. G. Shon, *T. KIEE*, **63**, 69 (2014).
- [10] D. J. Kim, J. G. Shon, and H. J. Jeon, *T. KIEE*, **61**, 41 (2012).
- [11] K. H. Won, J. H. Kim, and J. J. Yoo, *Telecommunication Technology Association Journal*, **94**, 112 (2004).
- [12] G. H. Kim, *J. Kor. Inst. Electronic Communication Soc.*, **6**, 312 (2011).