
CC2520 기반의 지그비 모듈 구현에 대한 연구

문용선* · 배영철** · 노상현***

A Study on Implementation of Zigbee Module based on CC2520

Yong-seon Moon* · Young-chul Bae** · Sang-hyun Roh***

요약

본 논문에서는 지그비를 이용한 이동 로봇의 자율주행의 선행 연구로서, 메시 네트워크가 가능한 Zigbee Pro 표준안을 지원하는 CC2520을 기반으로 한 지그비 모듈을 개발하였다. 제작 후 성능 개선의 방법으로 지그비 무선 주파수 대역에 맞는 안테나를 네트워크 분석기를 이용하여 선택하였다. 또한 지그비 모듈의 임피던스 매칭을 실행하여 무선 통신의 가능한 송·수신 거리를 늘렸으며, 통신의 안정성을 확보하였다.

ABSTRACT

In this paper, we developed a Zigbee module based on CC2520 which is possible to construct the mesh network and also support to Zigbee Pro standard as a preceding research of autonomous moving of mobile robot using Zigbee. After manufacturing the Zigbee module, we selected antenna to fit Zigbee wireless frequency band using network analyze as means performance improvement. We also carry out an impedance matching of Zigbee module, extend the possible distance of two-way wireless communication and ensure the safety of communication.

키워드

Zigbee Pro, CC2520, Impedance Matching, Localization

I. 서론

최근 이동 로봇의 자율 주행에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 미국의 DARPA에서 주최했던 그랜드 챌린지 대회는 실외 이동로봇에 대한 실용성과 그 가능성을 보여준 대회였으며, 그 후속 대회인 그랜드 챌린지 얼바인은 사막지역에서 뿐만 아니라 도시에서의 무인 자동차의 실현 가능성을 보여 주었다. 무인자동차는 자율주행 이동로봇의 기술이 자동차에 적용된

것이라 할 수 있을 것이다. 자율주행 이동로봇의 구현을 위해서는 로봇의 위치 추정, 장애물에 대한 정보, 주변 환경에 대한 정보(맵), 경로 계획 등의 다양한 기술들이 필요하다.

자율 주행 이동로봇의 위치 추정은 주변 환경에 대한 상대적 위치를 알아내는 것으로 자율 주행을 위해 필요한 기술들 중 가장 중요한 요소 기술이다.

현재 로봇의 위치 추정 기술들은 다양한 제어 알고리즘들과 다양한 센서를 사용하여 연구되고 있으며,

* 순천대학교 정보통신공학부(moon@sunchon.ac.kr)

** 교신저자 : 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부(yobae@chonnam.ac.kr)

*** 순천대학교 전자공학과(rsh@urc.kr)

접수일자 : 2010. 10. 02

심사(수정)일자 : 2010. 10. 30

게재확정일자 : 2010. 12. 10

대표적으로 베이스안 필터를 이용한 방법들과 GPS, 거리 센서, INS, 지그비 센서 네트워크[1] 등이 있다.

이중에서 지그비는 저전력, 저가격, 사용의 용이성을 가진 근거리 무선 센서 네트워크의 대표적 기술 중 하나로 2003년 IEEE 802.15.4 작업분과위원회에서 표준화된 PHY/MAC 층을 기반으로 상위 프로토콜 및 응용을 규격화한 기술이다.

지그비를 이용한 위치 추정의 대표적인 방법은 RSSI(Received signal strength indicator)[2]를 이용한 방법이다. 이는 무선 신호를 수신하는 측에서 신호의 세기를 통계적인 방법에 근거하여 센서 노드의 거리 값을 산출한 뒤 삼각측량법을 이용한 위치추정 알고리즘으로 지그비 노드의 위치를 추정하는 방법이다. 그 외의 위치추정 방법에는 TOA(Time of Arrival)과 AOA(Angle of Arrival) 등이 있다.

본 연구에서는 지그비를 이동 로봇의 자율주행의 선형연구로서 메시 네트워크가 가능한 Zigbee Pro 표준안을 지원하는 CC2520 RF 트랜시버를 이용한 지그비 모듈을 제작하고, 이에 대한 성능 개선의 방편으로 네트워크 분석기를 이용하여 50Ω 임피던스 매칭을 수행한다.

II. CC2520기반 지그비 모듈 설계 및 제작

2.1 CC2520 RF Transceiver

지그비 모듈에 사용될 RF 트랜시버는 IEEE 802.15.4를 지원하며 Zigbee & Zigbee Pro 표준을 지원하는 TI사의 CC2520을 사용하였다. CC2520 이후 버전부터 Zigbee Pro 표준안을 지원하며 가장 큰 특징은 메시 네트워크(mesh network)를 지원한다는 것이다. 표 1에 Zigbee와 Zigbee Pro의 특징에 대해 나타내었다.

2.2 지그비 모듈 블록 설계

CC2520 RF 트랜시버를 기반으로 한 지그비 모듈을 설계 및 제작 하였다. 설계는 크게 6개의 블록으로 나누어 설계되었으며, 각각 CC2520, MCU, MCU-CC2520 인터페이스, Power, USB 인터페이스, 마지막으로 외부 인터페이스이다. 그림 1에 지그비 모듈의 설계 블록도를 나타내었다.

표 1. Zigbee 와 Zigbee Pro 표준안 비교
Table 1. Comparison of standard of Zigbee and Zigbee Pro

Feature Set	Zigbee	Zigbee-PRO
Zigbee Document	Zigbee Specification Doc 053474r17	Zigbee Specification Doc 053474r17
Addressing Schema	Distributed Allocation	Stochastic Addressing
Conflict Resolution	PAN ID Conflict Resolution	Node & PAN ID Conflict Resolution
Security	Standard Security	Standard/High Security
Frequency Agility	Supported	Supported
Fragmentation	Supported	Supported
Multicast	APS Layer Filtering	APS Layer Filtering &NWK Multicast
Many-to-one Routing	Not Supported	Supported
Source Routing	Not Supported	Not Supported

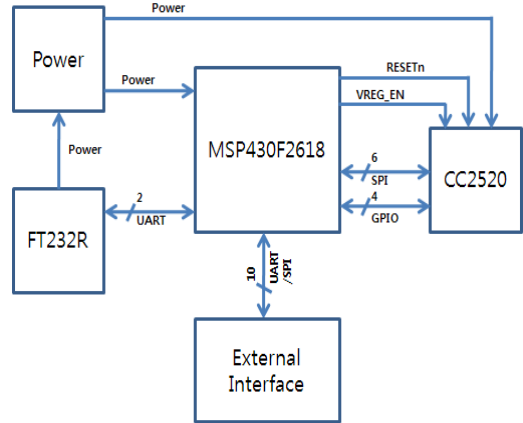


그림 1. 설계 블록도
Fig. 1 Design block diagram

2.3 회로 설계

회로 설계는 Orcad 9.2 버전을 사용했으며, Texas Instruments사의 SmartRF05EB Schematics 자료를 참고하였다.[3][4]

2.3.1 Power

지그비 모듈에 전원을 공급하는 역할을 하는 설계

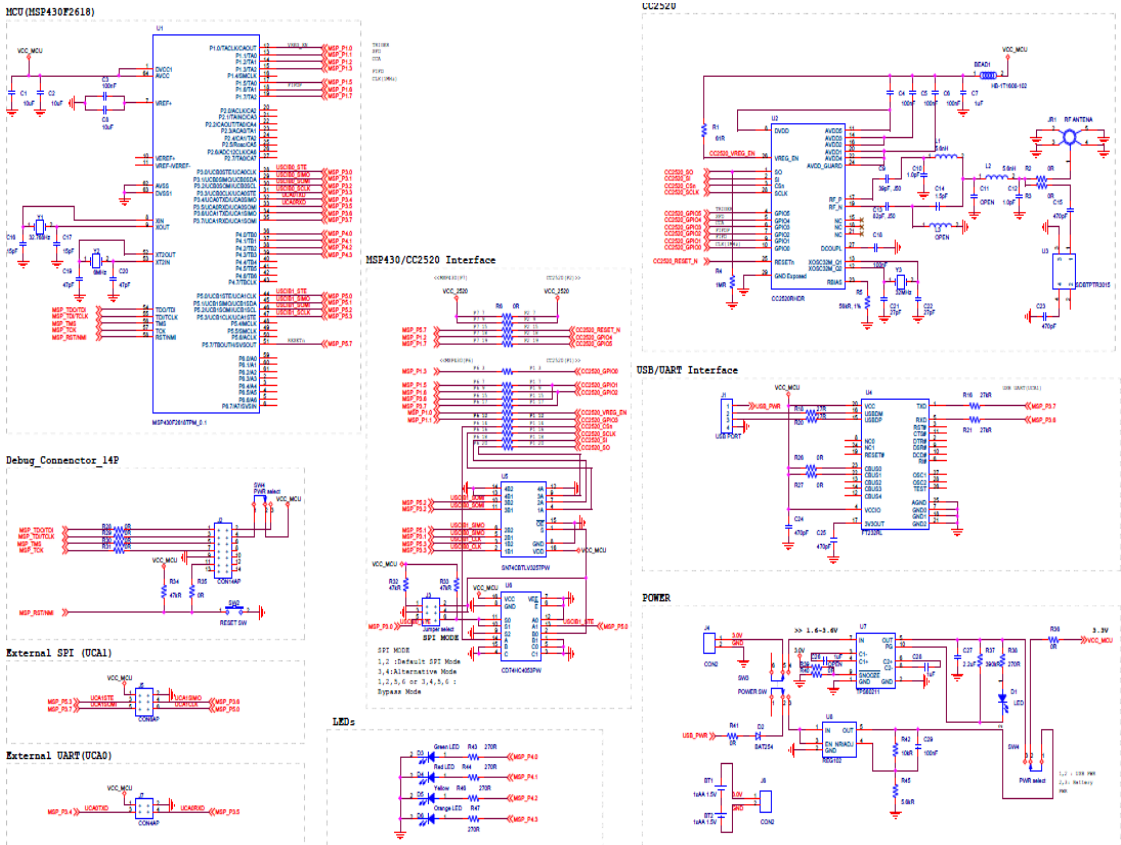


그림 2. 전체 회로 설계도
Fig. 2 Total circuit schematic

블록이다. 입력 전원은 PC의 USB 커넥터를 통해 공급받는 5V와 외부 배터리를 이용해 공급받는 3V 전원이 있다. 필요 전원의 생성은 TPS60211과 REG102로 2개의 레귤레이터를 사용하여 최종적으로 부하에 3.3V를 생성하여 공급하게 된다. 이러한 소스 전원의 선택은 점퍼핀을 이용하여 선택하여 사용할 수 있게 하였다.

2.3.2 CC2520

CC2520의 주변 회로는 TI사의 CC2520EM의 레퍼런스 회로도를 참고하여 설계하였으며, 외부 안테나와 PCB 안테나를 선택하여 사용할 수 있게 하였다.

2.3.3 MSP430F2618

MSP430F2618 MCU의 기본 클럭은 32.768KHz를

사용하며 6MHz를 추가하여 사용할 수 있다. UART와 SPI 통신 등 통신에 사용되는 모든 핀을 사용하며, 추가적으로 I/O 포트에 LED 4개를 연결하여 펌웨어 프로그램의 동작 지시와 같은 용도로 사용할 수 있도록 하였다.

2.3.4 MCU-CC2520 인터페이스

MSP430F2618과 CC2520은 기본적으로 SPI 통신을 이용하며 멀티플렉서 소자를 사용하여 점퍼핀의 셋팅을 통해 SPI 모드를 선택하여 사용할 수 있도록 하였다.

2.3.5 USB 인터페이스

FT232R 소자를 사용하여 PC와 MSP430F2618의 UART 통신을 위해 사용된다. PC와 USB 포트를 통

해 모듈을 연결하면 PC에서는 COM 포트에 인식하여 하이퍼터미널 등을 이용하여 데이터를 주고받을 수 있다.

2.3.6 외부 인터페이스

외부와의 인터페이스는 통신에 관련된 인터페이스로 SPI 한 포트와 UART 한 포트가 있다. 커넥터는 헤더핀으로 구성되어 있어 다른 센서 모듈과 쉽게 결합할 수 있는 구조로 설계되었다. 그리고 MSP430 F2618에 프로그램을 다운로드 하기 위한 JTAG 디버거 커넥터가 있다. 14핀 헤더핀으로 구성되어 있는 디버거는 전원 공급 소스로도 사용할 수 있게 되어 있다.

2.3.7 전체 회로도

그림 2에 설계한 전체 회로도를 나타내었다.

2.4 제작한 CC2520기반의 지그비 모듈

그림 2의 Orcad 회로 설계를 기반으로 제작한 지그비 모듈을 그림 3에 나타내었다. 이는 USB 포트를 이용하여 PC와 지그비를 연결한 모습이다.



그림 3. PC와 연결한 제작된 지그비 모듈
Fig. 3 Zigbee module connected PC

지그비 모듈의 송수신 테스트는 PER 테스트를 통하여 수행하였다. PER 테스트는 패킷 에러율에 대한 테스트로 TI사에서 제공되는 PER 테스트 프로그램을 사용하였다. 전송거리가 길기 때문에 송신측에는 제작한 지그비 모듈을 사용하였고, 수신측에는 TI사의

CC2520DK 모듈을 사용하여 CC2520DK에 부착되어 있는 LCD로 데이터를 확인하는 방법으로 진행되었다.

PER 테스트 결과 CC2520 스펙에 못 미치는 송수신 결과가 나왔으며, 그 원인을 분석한 결과 안테나의 임피던스 매칭이 맞지 않다는 결론을 내렸다.

III. 성능개선을 위한 지그비 안테나 임피던스 매칭

3.1 안테나 임피던스 매칭

임피던스 매칭은 어떤 하나의 출력단과 입력단을 연결할 때, 서로 다른 두 연결단의 임피던스 차에 의한 반사를 줄이려는 모든 방법을 의미한다. 임피던스 매칭이 다르면 안테나로 들어온 신호가 라인과의 접합부나 회로와의 접합부에서 반사가 일어나게 되어 결과적으로 신호레벨이 낮아지거나 신호에 노이즈가 유입되게 된다.

안테나의 임피던스 매칭은 S 파라미터를 사용하는데 S 파라미터는 주파수 분포상에서 입력전압 대 출력전압의 비를 의미한다. 예를 들어 S21이라하면, 1번 포트에서 입력한 전압과 2번 포트에서 출력된 전압의 비율을 의미한다. 즉, 1번 포트에 입력된 전력이 2번 포트로는 얼마나 출력되는가를 나타내는 수치이다. 식(1)은 S 파라미터의 정의를 나타낸다.

$$S_{ab} = \frac{V_{a^-}}{V_{b^+}} \quad S_{matrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

S 파라미터의 분류를 살펴보면 크게 4가지의 특성 파라미터로 분류할 수 있으며 각각의 분류는 투과(transmission), 반사(reflection), 결합(coupling), 그리고 절연(isolation)이다. 이중에서 안테나 임피던스 매칭에 사용되는 S 파라미터는 반사로 각각의 입/출력 포트의 자체 반사 값인 S11, S22, S33과 같이 입력과 출력 포트가 같은 경우이며, 하나의 포트에서 입력하고 출력하여 돌려받은 값이므로 결국 반사된 값을 의미한다. 네트워크 분석기를 이용하여 S11 특성을 살펴보면 특정 주파수 대역에서 S11이 크게 떨어지는 현상이 나타나는데, 이는 그 주파수 대역에서 입력전압이 반사되지 않고 최대한 외부로 방출된다는 의미이다. S11이 크게 떨어질수록 SWR도 작아져 안테나의 방사특성이 좋다

는 의미가 된다. 그림 4는 S11 파라미터 값의 형상을 나타낸다.

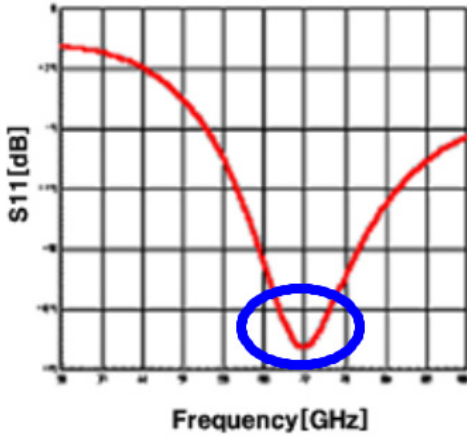


그림 4. S11의 파라미터 형상
Fig. 4 S11 parameter shape

3.2 안테나 확인

지그비 모듈에 사용될 안테나의 선택도 중요한 문제점 중의 하나이다. 지그비용 안테나로 구입하였지만 실제로는 그 대역폭과 임피던스가 맞지 않는 경우가 있다. 요즘은 이런 현상이 많이 줄어들었지만 한 번은 깊고 넘어가야 할 문제라고 생각된다.

안테나의 확인은 네트워크 분석기를 사용하여 50Ω 임피던스를 체크하였다. 센터는 지그비 주파수 대역인 2.4GHz로 맞추고 SPAN은 500MHz를 주었다. 2 종류의 안테나를 측정하였는데 그 결과는 그림 5와 그림 6과 같다. 첫 번째 테스트에 사용된 안테나는 지그비 모듈을 판매하는 회사에서 제공하는 안테나이다. 결과를 살펴보면 주파수 대역이 왼쪽으로 치우쳐 있는 2.4GHz 대역에서 S11이 떨어지는 현상을 보였으며, 그 떨어지는 폭도 매우 완만한 상태이다. S11 파라미터로 보았을 때 그 폭이 좁을수록 특정 주파수 대역에 좋은 안테나이다.

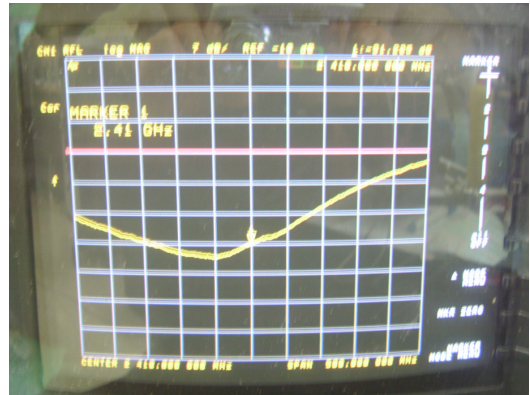


그림 5. 안테나 테스트 1
Fig. 5 Antenna test1

그림 6은 2.4GHz 대역을 사용하는 블루투스용 안테나의 테스트 결과이다. 지그비 무선 대역인 2.4GHz에 근접하여 있고 S11이 떨어지는 폭도 좁고 크게 떨어지는 현상을 보인다.

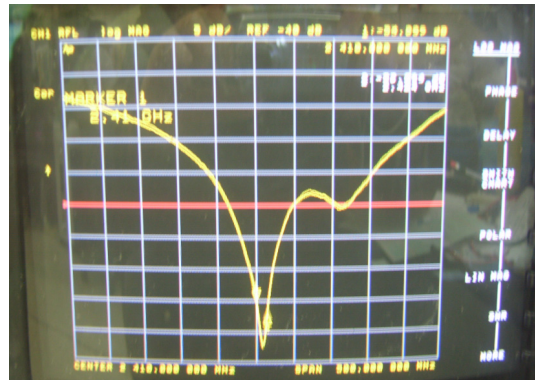


그림 6. 안테나 테스트 2
Fig. 6 Antenna test1

3.3 임피던스 매칭

안테나의 임피던스가 50Ω을 만족하는 것을 확인한 후에는 지그비 모듈의 임피던스를 확인할 단계이다. 지그비를 사용하기 위한 RF Transceiver는 TI사의 CC2520을 사용하였다. 그림 7은 CC2520의 안테나 매칭 회로를 나타내고 있다.

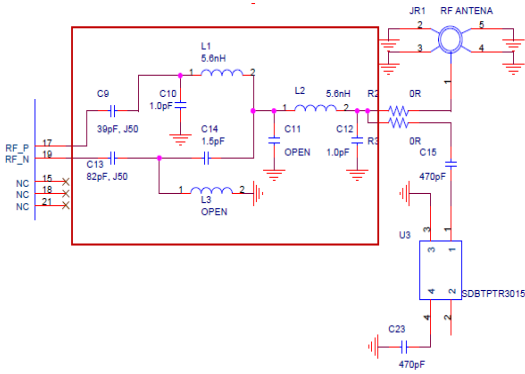


그림 7. CC2520의 안테나 임피던스 매칭 회로
Fig. 7 Antenna impedance matching circuit of CC2520

표 2는 임피던스 매칭 회로에 사용된 L, C 값의 기본 설정 값을 나타내었다. 실제로는 PCB 설계에서부터 고려하여 그 기본 값을 설정하는 것이 옳은 방법이지만 여기서는 TI사에서 제공되는 CC2520 레퍼런스 회로도 를 참고하였다.

표 2. 안테나 임피던스 매칭 회로의 기본 설정 값
Table 2. Basic setting value of antenna impedance circuit

L, C 소자	기본 설정 값
C9	39pF
C10	1pF
C11	open
C12	1pF
C13	82pF
C14	1.5pF
L1	5.6nH
L2	5.6nH
L3	open

그림 8은 안테나 임피던스 매칭 회로의 기본 설정 값으로 네트워크 분석기에 연결하여 스미스 차트를 디스플레이한 결과이다. 스미스 차트상의 50Ω에서 크게 벗어나 있는 것을 확인할 수 있었다.

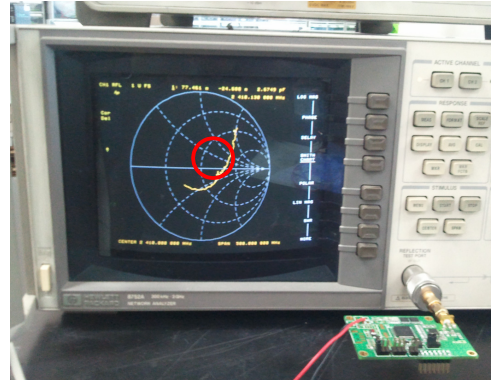


그림 8. 초기 설정 값에 의한 스미스 차트 결과
Fig. 8 Result of Smith chart by initial setting value

네트워크 분석기를 활용하여 개발된 지그비 모듈의 임피던스 매칭을 실시한 결과 표 3과 같은 L, C의 값을 얻을 수 있었다.

표 3. 임피던스 매칭 후의 L, C 값
Table 3. L, C value after impedance matching

L, C 소자	매칭을 위해 변경한 값
C9	39pF
C10	1pF
C11	1pF
C12	0.5pF
C13	39pF
C14	1pF
L1	1nH
L2	1nH
L3	1.5nH

네트워크 분석기의 스미스 차트로 확인한 결과를 그림 9에 나타내었다. 마커를 활용하여 2.4GHz 대역에 마커 1을 설정하였으며, 화면상에서 보기에는 50Ω에 근접하게 보인다.

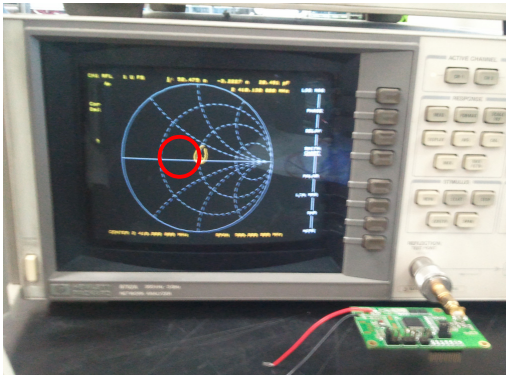


그림 9. 스미스 차트로 본 임피던스 매칭 결과
Fig. 9 Impedance matching result by Smith chart

그림 10은 네트워크 분석기의 포맷 중에서 Log MAG을 활용한 결과이다. 센터 영역인 2.4GHz에서 오른쪽으로 벗어나 대략 2.5GHz 대역에서 S11 값이 떨어지는 것을 확인할 수 있다. CC2520이 지원하는 지그비 무선 주파수 대역은 2394 ~ 2507 MHz대역으로 임피던스 매칭 결과는 이를 만족하고 있었으나 보다 정확하게 50Ω에 맞추기에는 어려움이 있었다. 이러한 임피던스 매칭의 어려움을 분석한 결과 PCB 패턴에 의한 임피던스 값이 설계할 때 예상한 임피던스 값 보다 크다는 결론을 얻을 수 있었다. 따라서 L의 기본 설정 값을 5.6mH로 했지만 임피던스 매칭 결과 작은 값인 1nH로 설정하게 되었다는 것을 알 수 있었다.

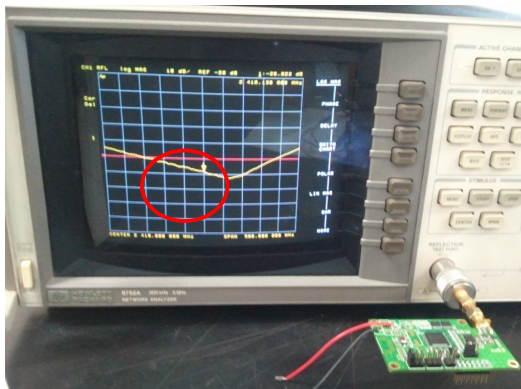


그림 10. Log MAG으로 본 임피던스 매칭 결과
Fig. 10 Impedance matching result by Log MAG

임피던스 매칭 후 다시 송수신 테스트를 실시하였다. 표 4에 임피던스 매칭의 전/후 비교 데이터를 나

타내었다. 주 비교 값은 RSSI, 전송 거리, 그리고 통신이 단절되어 내장한 프로그램이 리셋되는 현상에 대해 테스트하였다.

표 4. 임피던스 매칭 전/후 비교 데이터
Table 4. Data comparison before/after impedance matching

테스트 10회 평균	임피던스 매칭 전	임피던스 매칭 후	TI사 CC2520DK
RSSI	-78dBm	-30dBm	-33dBm
테스트한 최대 전송 거리	20m	100m	100m
통신 단절	32회/10분	3회/10분	1회/10분

IV. 결 론

본 논문에서는 지그비를 이동 로봇의 자율주행의 선행연구로서 메시 네트워크가 가능한 Zigbee Pro 표준안을 지원하는 CC2520 RF 트랜시버를 이용한 지그비 모듈을 제작하고, 이에 대한 성능 개선의 방편으로 네트워크 아날라이저를 이용하여 50Ω 임피던스 매칭에 대한 내용을 기술하였다.

CC2520기반의 지그비 모듈은 저전력 MCU인 MSP430F2618을 사용하였고, 외부와의 인터페이스를 위해 USB, SPI, UART 통신을 지원할 수 있도록 설계 되었다. 안테나는 다이폴 안테나와 PCB 안테나를 사용할 수 있도록 설계되었지만, 본 논문에서는 다이폴 안테나에 대해 임피던스 매칭을 수행하였다. 테스트 수행 도중 몇몇 회로도상의 문제점을 찾았으며, 안테나 매칭 회로를 발룬 소자로 대체하여 사용할 수 있도록 수정 중에 있다.

향후 연구과제로 구현한 지그비 모듈의 문제점을 수정하여 성능 검증을 거친후 앞서 언급했던 지그비를 이용한 자율주행 이동로봇에 대해 연구할 예정이다.

감사의 글

본 지식재산권은 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 지원을 받아 수행된 연구결과임 (10-기반, 기술혁신사업)

This work was supported in part by MIKE & NIPA

참고 문헌

- [1] M Sugano, T Kawazoe, Masayuki Murata, "Indoor Localization system using RSSI measurement of wireless sensor network based on zigbee standard", Graduate School of Information Science and Technology, , 2006.
- [2] D. Cook and S. Das, "Smart Environments: Technologies, Protocols, and Applications", Wiley, 2004.
- [3] Texas Instruments, "CC2520 Datasheet", 2009
- [4] Texas Instruments, "MSP430 Hardware Tools", 2009.
- [5] H Cho, M Kang, J Park, B Park, Niagara Falls, Ontario, Canada, "Performance Analysis of Location estimation algorithm in ZigBee networks using received signal strength", 2007
- [6] S Ondrej, B Zdenek, F Petr, Morne, Mauritius, "ZigBee Technology and Device Design", 2006
- [7] RFDH 운영자, 코너북, "RF 기초강의실", 2009

저자 소개



문용선(Yong-seon Moon)

1983년 2월 조선대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1989년 2월 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1992년 - 현재 순천대학교 정보통신공학부 교수 / 레드윈테크놀러지(주) 기술이사

※관심분야 : 산업통신망 및 로봇, 실시간 모션 제어



배영철(Young-chul Bae)

1984년 2월 광운대학교 전기공학과 (공학사)

1986년 2월 광운대학교대학원 전기공학과 (공학석사)

1997년 2월 광운대학교대학원 전기공학과(공학박사)

1986년 ~ 1991년 : 한국전력공사

1991년 ~ 1997년 : 산업기술정보원 책임연구원

1997년 ~ 2006년 : 여수대학교 전자통신전기공학부 부교수

2006년 ~ 현재 : 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부 교수

※ 관심분야 : Chaos Control and Chaos Robot, Robot control etc.



노상현(Sang-hyun Roh)

2007년 2월 순천대학교 전자공학과 (공학사)

2009년 2월 순천대학교 전자공학과 (공학석사)

2009년 ~ 현재 : 순천대학교 전자공학과 (공학박사 재학 중)

※ 관심분야 : 로봇 제어, 모터 제어, 산업통신망