

CC2530상에서 Z-Stack을 이용한 거리 측정 센서 네트워크 디자인 및 구현

김병순*, 강오한**

요약

무선 센서 네트워크 디자인 및 구현에 관한 문서들이 거의 없어서, 개발자들은 커뮤니티 공간에서 질문과 대답을 통해 정보를 획득함으로써 개발에 많은 시간이 소요된다. 이 논문은 TI의 CC2530 기반에서 초음파 센서와 Z-Stack의 Generic 응용 예제 프로그램을 사용한 거리 측정 센서 네트워크 디자인 및 구현 과정을 보이고, 실험을 통해 구현 결과를 보였다. 향후 Z-Stack을 사용한 센서 네트워크를 개발하고자 할 때 개발자들은 설계 및 구현 시간을 줄일 수 있을 것이다.

키워드: 지그비, 무선 센서 네트워크, Z-Stack, CC2530

Design and Implementation of a Range Measuring Sensor Network with Z-Stack on CC2530

Byungsoon Kim*, Oh-Han Kang**

Abstract

As there are few documents about how to design and implement a sensor network with Z-Stack, developers can get information from developer's community on Internet. That takes longer time to develop the network. This paper presents how to design and implement a range measuring sensor network with Z-Stack's Generic application and ultrasonic sensors based on CC2530, and then show experimental results through the implemented network. This work will make less time for a developer to implement a sensor network with Z-Stack.

Keywords : ZigBee, Wireless Sensor Network, Z-Stack, CC2530

1. 서론

무선 센서 네트워크는 물리적 또는 환경적 조건을 모니터링하기 위해 센서를 사용하는 독자적인 장치들로 구성된 네트워크이다. 이 네트워크는 일반적으로 크기가 작고, 배터리로 동작하며 제한적인 계산 능력을 갖는 장치들로 구성된

다. 이 장치들은 센서에 의해 측정된 데이터를 싱크 노드(sink node)로 전달하는 역할을 한다 [1].

무선 센서 네트워크는 수질, 토양 또는 기후 측정을 수집하기 위해 장기간 배포 솔루션이 요구되는 환경 모니터링과 같은 응용에 이상적이다. 전력망, 가로등, 도시 상수도과 같은 공익설비를 위해 센서는 에너지 사용을 줄이면서 자원을 잘 활용하기 위한 시스템 상태 데이터를 수집하는 방식을 제공한다[2].

하지만 지그비 기반의 무선 센서 네트워크 디자인 및 구현 기술에 대하여 체계적으로 기술된 문서들이 거의 없다. 따라서 센서 네트워크 개발자들은 개발자들의 커뮤니티 공간에서 질문과 대답을 통해 정보를 획득함으로써 개발이 이루어

※ 교신저자(Corresponding Author): Byungsoon Kim
접수일:2013년 12월 27일, 수정일:2014년 03월 02일
완료일:2014년 03월 08일

*, ** 안동대학교 정보과학교육과

Tel: +82-54-820-5649, Fax: +82-54-820-7566

▣ 이 논문은 2012학년도 안동대학교 국제학술교류보조금에 의하여 연구되었음

어진다. 이러한 과정은 무선 센서 네트워크 디자인 및 구현에 많은 시간이 소요되는 단점이 있다.

이 논문은 TI(Texas Instruments)의 지그비 프로토콜인 Z-Stack을 사용하여 TI의 CC2530 [3]마이크로 컨트롤러상에서 아날로그 전압 측정 방식의 거리 측정 센서 네트워크 디자인 및 구현 기술에 기여하는 것을 초점으로 둔다.

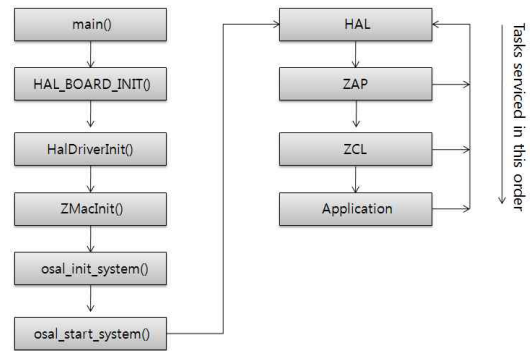
이 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 지그비 기술과 Z-Stack 구조를 살펴보고, 3장은 거리 측정 무선 센서 네트워크 디자인 및 구현 방법에 관하여 설명한다. 4장은 구현 결과에 대하여 논의하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 배경 기술들

CC2530은 인텔 8051과 호환되는 마이크로 컨트롤러 유닛(Microcontroller Unit)을 갖는 RF (Radio Frequency) 트랜시버로서 2.4GHz의 ISM(the Industrial, Scientific, and Medical) 대역에서 동작한다. DSSS(Direct-Sequence Spread Spectrum)를 사용하여 16개의 데이터 채널을 제공하며, 데이터 전송률은 최대 250 Kbps이다. 8051 마이크로 컨트롤러 유닛은 최대 256K 플래쉬 메모리와 8K RAM을 제공하고, 인터페이스는 21개의 GPIO (General-Purpose Input Output), 두 개의 USART(Universal Synchronous Asynchronous Receiver/Transmitter), 한 개의 ADC(Analog-to-Digital Converter)를 포함한다. 그리고 보안을 위해 AES-128 암호 기법을 제공한다.

지그비는 성형과 피어-대-피어 메시 네트워크 토폴로지(peer-to-peer mesh network topology)와 FFD(Full Function Device), RFD(Reduced Function Device)인 두 가지 형태의 장치를 지원한다. FFD는 코디네이터(coordinator)나 라우터(router)로 동작할 수 있으며 모든 유형의 장치와 통신할 수 있고, 모든 종류의 네트워크 토폴로지를 지원한다. RFD는 엔드 장치(end device)로만 동작할 수 있고, 오직 코디네이터와 통신할 수 있다. 지그비 네트워크는 하나의 코디네이터, 여러 개의 라우터와 엔드 장치를 포함할 수 있다[4].

(그림 1) Z-Stack 서비스 다이어그램



(Figure 1) Z-Stack Service Diagram

(그림 1)은 Z-Stack의 서비스 다이어그램을 나타낸 것이다. 소프트웨어 응용 프레임워크는 OSAL(Operating System Abstraction Layer) 운영체제를 기반으로 만들어진다. 그리고 OSAL은 메시지 관리, 태스크 동기화, 타이머 관리, 인터럽트 관리, 태스크 관리, 메모리 관리, 전원 관리, 비휘발성 메모리, HAL(Hardware Abstraction Layer)에 대한 인터페이스 등을 제공한다[5]. ZAP(ZigBee Application Processor) 프레임워크는 Z-Stack상의 지그비 응용 프레임워크의 구조를 재사용한다[6]. 응용 프레임워크의 각 계층은 OSAL 내에서 태스크로 구성되는데, OSAL_START_SYSTEM() 함수는 tasksArr[] 배열에 등록된 태스크들을 차례대로 반복 실행하며, 그 중에서 HAL 태스크는 우선 순위가 가장 높다.

한영오[7]는 산소 포화도 무선 전송을 위한 nRF24 칩셋을 사용한 무선 통신모듈 개발에 대하여 기술하였다. 지그비 소프트웨어와 관련하여 Wauthy[8]는 TI(Texas Instruments) CC2430상에 IEEE 802.15.4-2006 프로토콜을 구현하였으며, 김병순[9,10]은 TI CC2530에서 IEEE 802.15.4과 Z-Stack 이식 과정을 기술하였다. 또한 황소영[11]은 지그비 네트워크상에서 전등을 제어 할 수 있음을 보였고, Wenwu[12]는 IEEE 주소를 이용한 지그비 응용 프로그램 구현과정을 보였다.

3. CC2530 기반의 거리 측정 센서 네트워크 디자인

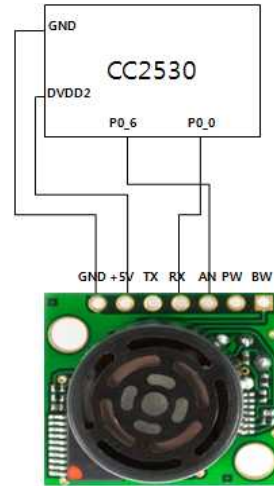
MaxBotix사의 LV-MaxSonar-EZ0[13] 초음파 센서는 0 ~ 6.45m 범위의 물체를 발견할 수 있고, 15cm ~ 6.45m 범위의 거리 정보를 연속적으로 측정할 수 있다. 그리고 이 센서의 출력은 펄스 폭, 아날로그 전압, 시리얼 디지털의 3가지 형태를 제공하며, 출력 핀과 각 핀의 기능은 <표 1>과 같다.

<표 1> LV-MaxSonar-EZ0

Output Pin	Description
GND	Ground
+5V	Vcc
TX	Delivers asynchronous serial with an RS 232 format.
RX	The EZ0 will continually measure range and output if RX data is held high. If held low, the EZ0 will stop ranging.
AN	Outputs analog voltage with a scaling factor of (Vcc/512) per inch.
PW	Outputs a pulse width representation of range
BW	Leave open or hold low for serial output on the TX output.

<Table 1> LV-MaxSonar-EZ0

(그림 2) CC2530과 LV-MaxSonar-EZ0의 핀연결

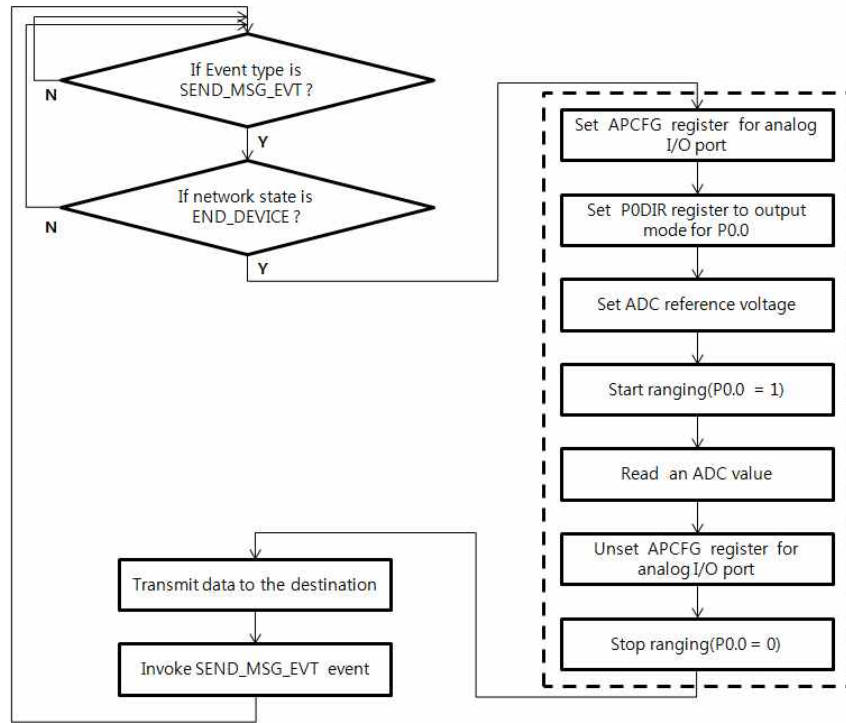


(Figure 2) Pin Connections between CC2530 and LV-MaxSonar-EZ0

CC2530은 일반적 목적의 디지털 입출력 혹은 주변장치 입출력으로 설정할 수 있는 21개의 디지털 입출력 핀이 있으며, P0_0 부터 P0_7 핀은 아날로그 전압 측정 목적으로 사용할 수 있다[3]. 센서의 AN 핀은 아날로그 전압 측정값을 출력하고, RX 핀은 거리 측정을 시작하거나 중지하는 목적으로 사용할 수 있어 센서와 CC2530을 (그림 2)과 같이 설계하였다. 따라서 센서 제어를 위해 P0_0 핀에 HIGH를 인가한 후 P0_6 값을 읽고, P0_0 에 LOW를 인가하여 센싱을 중지할 것이다.

주기적으로 거리 측정값을 지그비 네트워크를 통해 전송하기 위해 Z-Stack V2.5.0의 Generic 응용 예제 프로그램을 수정하여 사용한다. 이 예제는 엔드 장치가 코디네이터에게 논리적 연결을 설정한 후 5초마다 "Hello World" 메시지를 전송하는 예제 프로그램이다.

(그림 3) 거리 측정 다이어그램

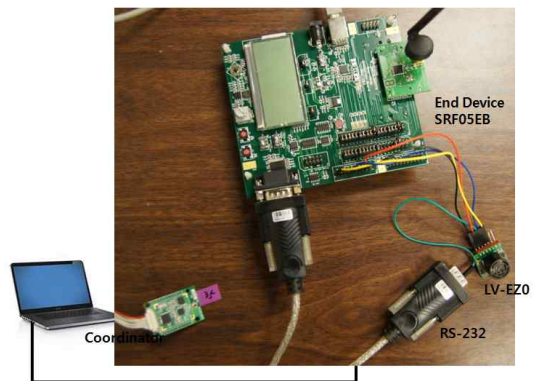


(Figure 3) Distance Ranging Diagram

(그림 3)은 Generic 응용 프로그램에서 센서 제어를 위한 흐름도이다. 우리는 지그비 네트워크의 엔드 장치에서 SEND_MSG_EVT 이벤트가 발생하면 초음파 센서로 하여금 거리측정을 하도록 한다. 먼저 APCFG(Analog Peripheral I/O Configuration) 레지스터에 아날로그 전압 측정(Analog-to-Digital Converter)을 위해 사용하는 핀(P0.6)을 설정한다. 그리고 PODIR(Port 0 Direction) 레지스터에 센싱 시작과 정지 역할을 하는 P0.0 핀을 출력 모드로 설정하고, 아날로그 전압 측정시 전압의 기준 값을 설정한다. 센싱 시작을 위해 P0.0 핀에 HIGH를 인가한 후, 센서의 AIN핀으로부터 아날로그 전압 값을 읽고 전압 값을 거리 단위로 변환한다. 그리고 APCFG 레지스터로부터 아날로그 전압을 측정하는 핀을 해제하고, P0.0에 LOW를 인가하여 센싱을 중지한다. 센싱한 값을 코디네이터 장치에게 전송하고 지정한 시간 후에 SEND_MSG_EVT 이벤트가 발생하도록 예약한다.

4. 구현 결과

(그림 4) 실험 디자인



(Figure 4) Experiment Design

거리 측정을 구현하기 위해 (그림 4)와 같이 테스트 환경을 구성하였다. 초음파 센서와 지그비 장치와의 연결을 쉽게 하기 위해 지그비 네트워크의 엔드 장치로서 TI의 평가 보드인

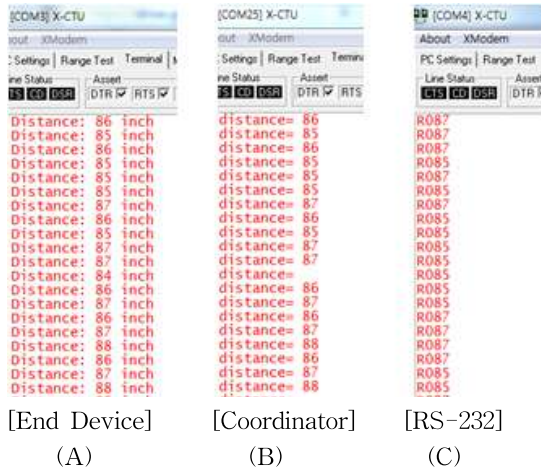
SmartRF05EB 1.8.1[14]를 사용하고, 코디네이터는 씨알지테크놀로지의 CM-Z100 모듈을 사용하였다. 각 장치들 간의 핀들은 <표 2>와 같이 서로 연결하고, 코디네이터는 컴퓨터에 USB 인터페이스로 연결하였다. 또한 센싱을 통해 측정된 값이 올바른 값인지를 확인하기 위해 센서의 TX 핀에 RS-232 Serial-to-USB 장치를 연결하였다. 그리고 Z-Stack 2.5.0을 컴파일하고 SmartRF Flash Programmer를 사용하여 각각의 엔드 장치와 코디네이터로 수정한 펌웨어를 다운로드하였다. 마지막으로 시리얼 데이터를 위한 터미널 프로그램은 Digi사의 X-CTU를 사용하였다.

<표 2> 장치들의 핀 연결

LV-EZ0	Smart RF05EB 1.8.1	RS-232
GND	P20.20	
VCC	P20.3	
RX	P20.12	
AN	P20.17	
TX		RX

<Table 2> Pin Connections between Devices

(그림 5) 실험 결과



(Figure 5) Experimental Results

(그림 5)는 실험환경인 3개의 장치(엔드 장치, 코디네이터, RS-232 Serial-to-USB)에 각각 연결된 터미널의 화면을 캡처한 것이다.

(A)는 센서로부터 데이터를 읽은 후 변환과정

을 거친 인치(inch) 단위의 거리 값이고, (B)는 코디네이터가 지그비 네트워크를 통해 엔드 장치로부터 수신한 값이다. 그리고 (C)는 센서가 직접 거리 값을 출력한 것이다. (A)와 (B)를 통해 엔드 장치에서 측정된 거리 값이 대부분 코디네이터 장치로 전달되었지만 일부의 데이터는 지그비 네트워크의 에러로 인하여 손실되었음을 확인할 수 있다. 그리고 (A)와 (C)를 통해 엔드 장치에서 측정된 거리 값과 초음파 센서의 시리얼 데이터 값 사이에 1 인치 정도의 오차가 있음을 확인할 수 있다. 이것은 센서로부터 획득한 아날로그 전압 값으로부터 거리 값으로 변환하는 과정에서 발생한 전압의 오차 때문에 발생하였다.

5. 결론

이 논문은 초음파 센서를 사용하여 거리 측정 지그비 네트워크의 디자인과 구현 기술에 대하여 살펴보았다. 이를 위해 TI의 CC2530과 LV-MaxSonar-EZ0를 사용하고 Z-Stack의 Generic 응용 예제 프로그램을 이용하여 거리 측정 시스템을 구현하고 실험을 통해 구현 결과를 보였다.

향후 거리 측정 시스템을 이용하여 지그비 응용 제품 개발에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 기대된다.

References

- [1] Thomas Basmer, Henry Schomann, Steffen Peter, "Implementation Analysis of the IEEE 802.15.4 MAC for Wireless Sensor Networks," International Conference on Selected Topics in Mobile and Wireless Networking, 2011.
- [2] Gwanghyun Kim, "Wireless Sensor Network?," Process Control Instrumentation Technology, Nov. 2009.
- [3] "CC253x System-on-Chip Solution for 2.4-GHz IEEE 802.15.4 and ZigBee Applications User's Guide," Texas Instruments, Tech. Rep., 2012.
- [4] Chienyuan Liu, "The design of home care assistant system by the ZigBee technology," Life Science Jou

rnal, Vol.6, No.2, 2009.

- [5] "OS Abstraction Layer Application Programming Interface," Texas Instruments, Tech. Rep., 2011.
- [6] Zin Kyaw, "Creating a ZigBee Smart Energy Device with the MSP430F54xx and the CC2530-ZNP(ZigBee Pro Network Processor)," Texas Instruments, White Paper, January 2010.
- [7] Young-Oh Han, "The Development of Module for Measurement and Wireless Communication of SpO2 /PPG signals," Journal of Digital Contents Society, Vol. 11, No. 2, Jun. 2010.
- [8] Jean-Francois Wauthy and Laurent Schumacher, "Implementation of an IEEE 802.15.4-2006 Protocol Stack on the Texas Instrument CC2430," Proceedings of the 7th ACM workshop on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, and ubiquitous networks, 2010.
- [9] Byungsoon Kim, "Implementation of IEEE 802.15.4 Protocol Stack on the Texas Instrument CC2530," Journal of Digital Contents Society, Vol. 13, No. 3, Sep. 2012.
- [10] Byungsoon Kim, "Porting of Z-Stack and Implementation of UART on the TI CC2530," Journal of Digital Contents Society, Vol. 13, No. 4, Dec. 2012.
- [11] Soyoung Hwang and Donghui Yu, "Remote Monitoring and Controlling System Based on ZigBee Networks," Intl. Journal of Software Engineering and Its Applications, Vol. 6, No. 3, July, 2012.
- [12] Wenwu Hua, et al., "A Design of Z-Stack Application Based on the IEEE Address," Journal of Applied Mechanics and Materials, 2013.
- [13] "LV-MaxSonar-EZ0," datasheet, MaxBotix, 2012.
- [14] "SmartRF05 Evaluation Board User's Guide," Texas Instruments, Tech. Rep., 2010.



김 병 순

1993년 : 서강대학교 컴퓨터과 (공학석사)
2003년 : 경북대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

1993년~1996년: 하이닉스반도체
2003년~현재: 안동대학교 정보과학교육과 교수
관심분야 : USN, ZigBee, 컴퓨터교육



강 오 한

1982년 : 경북대학교 전자공학 전공(공학학사)
1984년 : 한국과학기술원 전산학과(공학석사)
1992년 : 한국과학기술원 전산학과(공학박사)

1984년~1994년: (주)큐닉스컴퓨터 시스템응용연구소
1994년~현재: 안동대학교 정보과학교육과 교수
관심분야 : 그리드 시스템, 컴퓨터교육