

TI CC2530 상의 Z-Stack 이식 및 UART 구현

김병순*

요약

무선 센서 네트워크는 일반적으로 엔드 장치에 연결된 센서가 측정된 데이터를 코디네이터에게로 전달하는 자원이 한정된 장치들로 구성된다. 지그비는 무선 센서 네트워크에서 가장 많이 사용되는 프로토콜 중의 하나로서, 적절한 데이터 전송률을 가지면서 저전력, 저비용의 무선 통신을 지원하기 위해 표준으로 도입되었다. 이 논문에서는 TI의 CC2530 상에서 TI의 지그비 프로토콜 스택 이식과 UART 인터페이스를 구현하는 방법에 관하여 논의한다. 시리얼 포트를 통한 데이터 전송 과정을 시현함으로써 구현한 보드가 올바르게 동작됨을 보인다.

키워드: 지그비, Z-Stack, CC2530

Porting of Z-Stack and Implementation of UART on the TI CC2530

Byungsoon Kim*

Abstract

Wireless sensor networks consist of resource constraint devices which typically send data measured by sensors attached to the end devices towards a coordinator. One of the best solution for wireless sensor networks is ZigBee, where it is wireless standard introduced for low power, low cost wireless communication with moderate data rates. In this paper, we present porting of Z-Stack and implementation of UART on the TI CC2530. We show that our implemented board works correctly in terms of transmitting and receiving data via serial port.

KeyWords: ZigBee, Z-Stack, CC2530

1. 서론

무선 센서 네트워크는 물리적 또는 환경적 조건을 모니터링 하기 위해 센서를 사용하는 독자적인 장치들로 구성된 무선 네트워크이다. 무선 센서 네트워크는 제한적인 자원을 갖는 장치들로 구성되며, 이러한 장치들은 센서에 의해 측정된 데이터를 싱크 노드(sink node)로 전달하는

역할을 한다[1]. 이러한 장치들은 일반적으로 작고, 배터리로 동작하며 제한적인 계산 능력을 갖는다.

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

IEEE 802.15.4를 기반으로 동작하는 지그비(ZigBee) 기술은 무선 센서 네트워크를 위한 최적의 솔루션 중의 하나로서, 네트워크를 확장하기 위해 사용하기도 한다.

본 논문에서는 TI(Texas Instruments) CC2530 마이크로 컨트롤러상에서 ZigBee 2007 사양을 준수하는 TI의 Z-Stack 이식과

※ 교신저자(Corresponding Author): Byungsoon Kim
접수일:2012년 10월 24일 수정일:2012년 11월 24일
완료일:2012년 12월 10일

* 안동대학교 정보과학교육과

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

email:bsgim@andong.ac.kr

■ 본 연구는 안동대학교의 2012년도 산학연구비 지원사업에 의하여 연구되었음

UART(universal asynchronous receiver transmitter) 구현에 대하여 논의한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 IEEE 802.15.4와 지그비 기술을 살펴보고, 3장은 포팅과 구현 기술에 관하여 설명한다. 4장은 실험 결과에 대하여 설명하고, 마지막으로 결론은 5장에서 맺는다.

2. 배경 기술들

IEEE 802.15.4 표준은 장치들 사이에서 저 비용과 저 속도 통신 제공을 목적으로 무선 개인 영역 통신망(Personal Area Network)을 위한 프로토콜로서 개발되었으며 물리층과 MAC 부계층으로 구성된다.

물리층은 868MHz, 902MHz, 2405 MHz인 3개의 ISM(Industrial, Science and Medical) 대역을 정의하며, 868MHz 대역은 20Kbps 대역폭의 한 개 채널, 902MHz는 각각 40 Kbps 대역폭인 10개의 채널, 2405MHz는 각각 250Kbps인 16개 채널로 구성된다. 868MHz와 902MHz 대역은 유럽과 북미에서 지역적으로 사용할 때 적합하며, 2405 MHz는 전세계에서 지역적으로 사용하기에 적합하다[3, 4].

MAC 부계층은 상위층에게 데이터 서비스와 관리 서비스를 제공하며, 비콘 관리, 채널 접근 제어, 보장된 시간 슬롯(guaranteed time slot) 관리, 프레임 검사, 프레임 전송 및 응답, 장치 연결 및 해제 등의 기능을 수행한다. 그리고 CSMA/CA 프로토콜을 사용하여 라디오 채널에 대한 접근을 제어한다[4].

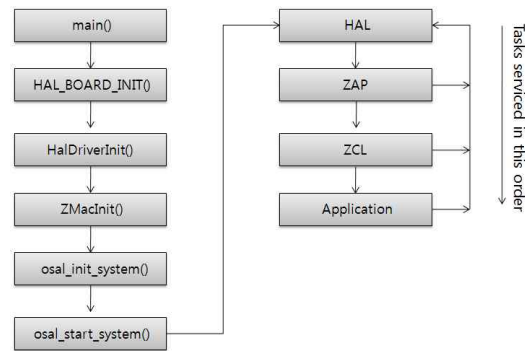
TI CC2530[5]은 8051과 호환되는 마이크로 컨트롤러 유닛(Micro Controller Unit)을 갖는 RF 트랜시버(radio frequency transceiver)로서 2.4GHz의 ISM 대역에서 동작한다. DSSS(Direct-Sequence Spread Spectrum)를 사용하여 16개의 데이터 채널을 제공하며 데이터 전송률은 최대 250 Kbps이다. 8051 MCU는 최대 256K 플래쉬 메모리와 8K RAM을 제공하고, 인터페이스는 21개의 GPIO (General-Purpose I/O), 두 개의 USART(Universal Synchronous Asynchronous Receiver/Transmitter), 한 개의 ADC(Analog-to-Digital Converter)를 포함한다. 그리고 보안을 위해 AES-128 암호 기법을 제공

한다.

지그비는 IEEE 802.15.4 무선 개인 영역 통신망 기술의 물리층과 MAC 층을 사용하며, 네트워크와 응용 계층의 프로토콜은 지그비 연합에서 정의하고 있다.

지그비는 성형과 피어-대-피어 메쉬 네트워크 토폴로지(peer-to-peer 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 코디네이터와 여러 개의 라우터, 엔드 장치를 포함할 수 있다[6].

(그림 1) Z-Stack 서비스 다이어그램



(Figure 1) Z-Stack Service Diagram

(Figure 1)은 Z-Stack의 시스템 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[7]. ZAP(ZigBee Application Processor) 프레임워크는 Z-Stack상의 지그비 응용 프레임워크의 구조를 재사용한다[8]. 응용 프레임워크의 각 계층은 OSAL 내에서 태스크로 구성되는데, OSAL_START_SYSTEM() 함수는 tasksArr[]

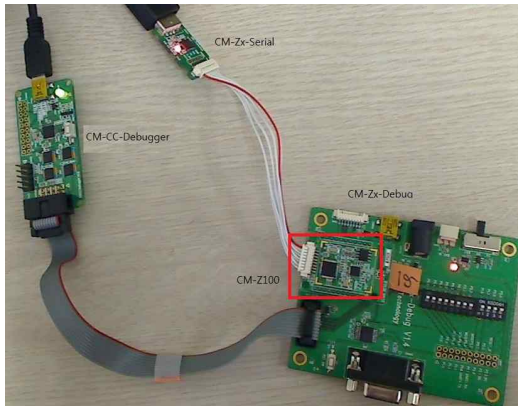
배열에 등록된 태스크들을 차례대로 반복 실행하며, rm 중에서 HAL 태스크는 우선순위가 가장 높다.

한영오[9]는 산소 포화도 무선 전송을 위한 nRF24 칩셋을 사용한 무선 통신모듈 개발에 대하여 기술하였다. 지그비 소프트웨어와 관련하여 Wauthy[10]는 TI(Texas Instruments) CC2430상에 IEEE 802.15.4-2006 프로토콜을 구현하였고, 김병순[11]은 TI CC2530에서 IEEE 802.15.4 포팅 과정을 기술하였다. 하지만 우리는 TI CC2530에서 Z-Stack 포팅과 UART 인터페이스 구현에 관하여 논의하고자 한다.

3. Z-Stack 이식 및 UART 구현

Z-Stack을 구현할 하드웨어는 씨알지테크놀로지 CM-Z100 모델로서 이식과 구현을 위해 (Figure 2)와 같이 하드웨어를 구성한다.

(그림 2) Z-Stack 이식 환경



(Figure 2) Z-Stack Porting Environment

CM-Z100은 CC2530F256 마이크로컨트롤러와 2.4GHz의 무선 전송거리를 확장하기 위해 TI CC2591 칩을 사용하였고, 다른 모듈과의 인터페이스를 위해 RS232인 8핀 연결자를 제공한다.

소스 파일인 ZStack-CC2530-2.5.0을 빌드하기 위해 IAR EW8051 8.10 [12] 버전을 설치하고, 빌드과정에서 생성된 .hex 파일을 타겟 보드로 다운로드하기 위해 TI SmartRF Flash Programmer 툴을 설치한다.

Z-Stack을 이식하기 위해 먼저 타겟 보드의

하드웨어에 대한 환경 설정을 해야 한다. 이식을 쉽게 지원하기 위해 하드웨어 환경 설정 파일인 hal_board_cfg.h에서 여러 가지 유형의 하드웨어에 대한 환경 설정들이 정의되어 있다. 따라서 구현할 대상의 하드웨어와 가장 유사한 CC2530과 CC2591로 구성된 HAL_PA_LNA를 타겟 보드 유형으로 선택한다. 그리고 이식과정의 디버깅을 지원하기 위해 메시지들이 LCD 화면으로 출력되는 것을 시리얼 포트에 출력되도록 변경하기 위해 hal_lcd.c의 HalLcdWriteString() 함수에서 HalLcd_HW_WriteLine(option, str); 명령문 대신 HalUARTWriteString(

SERIAL_APP_PORT, (uint8 *)str); 명령문으로 수정하였다.

UART 인터페이스를 사용한 데이터 전송을 지원하기 위해 우리는 Z-Stack에 포함된 SerialApp 샘플 프로그램을 수정하여 구현한다. 무선을 통해 데이터가 도착하면 SerialApp.c의 SerialApp_ProcessMSGCmd() 함수가 호출되는데, (Figure 3)과 같이 데이터가 도착하면 프레임의 데이터 부분만 시리얼 포트에 출력하도록 수정하였다.

(그림 3) UART 콜백

```
void SerialApp_ProcessMSGCmd(
    afIncomingMSGPacket_t *pkt ) {
    uint8 stat, seqnb, delay;

    switch ( pkt->clusterId ) {
        case SERIALAPP_CLUSTERID1:
            HalUARTWriteString(SERIAL_APP_PORT,
                pkt->cmd.Data);
            break;
    }
}
```

(Figure 3) UART Callback

(그림 4) UART 데이터 전송

```
void Serial_Send(void)
{
    // 데이터 읽음
    if (!SerialApp_TxLen && (SerialApp_TxLen=
        HalUARTRead(SERIAL_APP_PORT,
            SerialApp_TxBuf, SERIAL_APP_TX_MAX)))
```

```

{
    SerialApp_TxBuf[SerialApp_TxLen]
    ='W0';
}
// 전송할 데이터 있으면 MAC 계층에게 전송
요청
if (SerialApp_TxLen) {
    zAddrType_t txAddr;
    if (afStatus_SUCCESS !=
        AF_DataRequest(&SerialApp_TxAddr,
            ( e n d P o i n t D e s c _ t
                *)&SerialApp_epDesc,
                SERIALAPP_CLUSTERID1,
                (byte)osal_strlen( SerialApp_TxBuf ) + 1,
                SerialApp_TxBuf, &SerialApp_MsgID, 0,
                AF_DEFAULT_RADIUS)) {
        osal_set_event(SerialApp_TaskID,
            SERIALAPP_SEND_EVT);
        HalUARTWriteString(SERIAL_APP_PORT,
            "-");
    }
    else SerialApp_TxLen=0;
}
}
    
```

(Figure 4) UART Data Transmission

(Figure 4)는 UART를 이용한 데이터 전송을 처리하는 함수이다. UART 인터페이스로부터 도착한 데이터를 지그비로 전송하기 위해 전송할 데이터 끝에 널(null)문자를 추가한다. 이와 같이 하면 연속된 문자가 입력되더라도 데이터 손실 없이 올바르게 전송된다. 그리고 버퍼에 저장된 데이터를 AF_DataRequest() 함수를 이용하여 전송하며, 전송이 성공하면 전송할 데이터 크기를 나타내는 변수 SerialApp_TxLen 값을 리셋한다.

(그림 5) 장치의 자동 바인딩

```

UINT16 SerialApp_ProcessEvent( uint8 task_id,
                                U I N T 1 6
                                events) {
    while ( (MSGpkt = (afIncomingMSGPacket_t *)
        osal_msg_receive( SerialApp_TaskID ))
    ) {
        switch ( MSGpkt->hdr.event ) {
            case ZDO_STATE_CHANGE:
                SerialApp_NwkState =
    
```

```

(devStates_t)(MSGpkt->hdr.status);
        if ( (SerialApp_NwkState ==
            DEV_ZB_COORD)
            || (SerialApp_NwkState ==
            DEV_ROUTER)
            || (SerialApp_NwkState ==
            DEV_END_DEVICE)) {
                MatchDescReq();
                EndDeviceBindReq();
                break;
            }
        }
    }
    
```

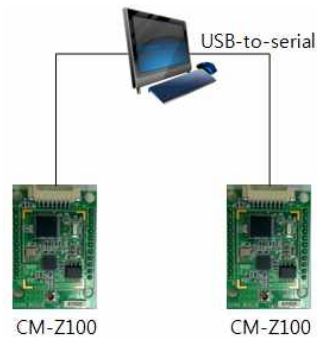
(Figure 5) Automatic Device Binding

(Figure 5)는 엔드, 라우터, 코디네이터 장치가 자동으로 서로 연결하는 함수이다. 지그비 장치의 상태가 변경되어 장치로부터 ZDO_STATE_CHANGE 이벤트가 발생하면 MatchDescReq() 와 EndDeviceBindReq() 함수를 실행시켜 장치들간에 자동으로 바인딩하도록 한다.

4. 실험 결과

구현된 프로토콜의 동작을 확인하기 위해 컴퓨터 본체에 두 개의 장치를 USB-to-serial 인터페이스를 사용하여 (Figure 6)과 같이 연결하였다.

(그림 6) 실험 환경



(Figure 6) Design of Experiment

코디네이터와 엔드 장치를 위한 .hex 파일을

빌드한 후, SmartRF Flash programmer 툴을 이용하여 RF 모듈의 플래시 메모리로 각각 다운로드하여 실행하였다. 또한 Tera Term 터미널 프로그램을 실행하여 시리얼 포트를 이용하여 각 장치를 연결하였다.

(그림 7) 코디네이터 터미널

```
IEEE: 00124B0001C99483Energy LevelScan FailedEnergy LevelScan FailedEnergy LevelScan FailedZigBee CoordNetwork ID: 280FZ00_STATE_CHANGE *MatchDescReq called *Match Desc ReqRsp SentBind_rsp
These data are from end device.
These data are from coordinator...
```

(Figure 7) Terminal of Coordinator

(그림 8) 엔드 장치 터미널

```
IEEE: 00124B0001C9949CAAssoc CnfSuccessEndDevice: A5A9Parent: 0Z00_STATE_CHANGE *MatchDescReq called *Match_Desc_rspBind_rsp
These data are from end device.
These data are from coordinator...
```

(Figure 8) Terminal of End Device

(Figure 7)과 (Figure 8)의 첫 줄에서 각 장치의 IEEE 주소가 출력되었고, (Figure 8)의 “Assoc CnfSuccess”는 코디네이터와 엔드 장치가 부팅 후 두 장치간에 연결이 올바르게 설정되었음을 나타내는 메시지이다. “These data are from end device”는 엔드 장치가 코디네이터로 전송한 메시지이고, “These data are from coordinator”는 코디네이터가 엔드 장치로 전송한 메시지이다. 따라서 장치들이 부팅한 후 자동으로 서로 간에 바인딩한 후 시리얼 포트를 통하여 데이터를 서로 주고받음을 확인할 수 있다.

5. 결론

이 논문은 TI CC2530 마이크로 컨트롤러상에 Z-Stack 이식과 응용 프로그램의 인터페이스를 위해 UART 인터페이스를 구현하는 방안에 대하여 살펴보았다.

구현한 하드웨어를 사용하여 코디네이터와 엔드 디바이스로 설정한 후 시리얼 포트로 연결한 터미널에서 양방향으로 데이터를 전송함을 보였다.

향후 다양한 센서를 지그비 장치에 부착하여 지그비 응용 제품 개발에 대한 추가 연구가 필

요할 것으로 기대된다.

References

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.

Gwanghyun Kim, “Wireless Sensor Network?”, Process Control Instrumentation Technology, Nov. 2009.

IEEE Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification for Low-Rate Wireless Personal Area Networks, IEEE Std., Rev. IEEE Std 802.15.4-2006 and IEEE Std 802.15.4-2007a, 2007.

Chienyuan Liu, “The design of home care assistant system by the ZigBee technology,” Life Science Journal, Vol.6, No.2, 2009.

“A True System-on-Chip Solution for 2.4GHz IEEE 802.15.4 and ZigBee Applications”, Texas Instruments, Tech. Rep., 2011.

Chienyuan Liu, “The design of home care assistant system by the ZigBee technology,” 2009.

“OS Abstraction Layer Application Programming Interface,” Texas Instruments, Tech. Rep., 2011.

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.

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.

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.

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.

IAR Embedded Workbench for 8051 (www.iar.com/ew8051).



김 병 순

1993년 : 서강대학교 컴퓨터과
(공학석사)

2003년 : 경북대학교 컴퓨터공
학과(공학박사)

1993년~1996년:하이닉스반도체

2003년~현재 : 안동대학교 정보과학교육과 부교수

관심분야 : DTN, USN, 멀티캐스팅