

CC2400을 이용한 2.4GHz 주파수 대역의 양방향 무선통신

심현준, 조형국, 황기현
동서대학교 디자인&IT전문대학원

Wireless Bi-directional Communication by 2.4GHz Frequency Band Using CC2400

Hyun-jun Shim, Hyung-ku Jo, Gi-Hyun Hwang
Graduate School of Design & IT, DongSeo University.

요 약

2.4GHz 주파수 대역의 양방향 무선통신을 이용하는 많은 응용분야에 CC2400 칩을 이용한 RF시스템을 연구하였다. 데이터의 송수신을 관리하고 오류제어를 위해 마이크로컨트롤러를 사용하였다. 또한 CC2400은 데이터 처리를 위해 First-In-First-Out이 가능한 버퍼로 마이크로컨트롤러와의 유연한 통신을 제공하며, buster 전송이 가능하고 전송 간격마다 자체적으로 power-down 되어 평균 전력 소비를 줄인다. RF 송수신단에서는 2.4GHz의 주파수로 패킷 단위의 데이터 전송이 가능하도록 시스템 구현이 가능하다. CC2400과 마이크로컨트롤러 사이의 데이터 전송과 제어 신호를 실험을 통해서 확인하였다.

I. 서론

현재 2.4GHz 주파수 대역은 주로 단거리 무선 통신 기술 분야로 컴퓨터 주변 기기, 무선 오디오, 홈 오토메이션을 위한 제어나 보안 기기, 게임기와 같은 오락기기 스포츠와 레저 장비, 고급 인형 등에 응용된다. 예로써, 빌딩내 조명/화재감지/냉난방 시스템등의 센서 네트워크 분야에서 시스템 관리 및 제어용으로 많이 사용되고 있다. 특히 2.4GHz 주파수 대역을 많이 사용하고 있는 기술 분야로는 무선 LAN과 Bluetooth를 들 수 있다. 앞에 언급된 두 기술 분야의 특징으로는 2.4GHz라는 비상업용 ISM 대역을 사용함으로써 세계 공통으로 사용할 수 있다는 것과 전력 소비량이 적어 저비용으로 보다 높은 통합 솔루션을 제공한다는 것이다. 이러한 기술 분야에 적합한 저전력, 저전압 RF transceiver 칩인 CC2400을 이용하여 무선 통신 시스템을 구현하였다.

II. 본론

1. CC2400 하드웨어 특성

1.1 CC2400 칩의 사양

CC2400은 0.18 μ m CMOS 타입의 Chipcon사의 SmartRF-03기술에 근거하는 저전력, 저전압 무선 응용을 위해서 설계된 단일 칩 형태의 2.4GHz RF transceiver이다. RF transceiver는 1Mbps의 데이터 전송율을 지원하는 기저대역 모뎀이 통합되어 있다.

CC2400은 비상업용 ISM 대역인 2.4-2.4835GHz 무선 통신에서 저비용, 보다 높은 통합 솔루션을 부여한다.

CC2400은 하드웨어의 어떤 변경도 없이 10kbps, 250kbps와 1Mbps의 무선 데이터 전송율을 지원하며 패킷 핸들링, 데이터 버퍼링, 버스트 전송, 데이터 코딩과 에러 검출, 호스트 마이크로컨트롤러의 작업부하를 줄이기 위한 포괄적인 하드웨어로 제공된다.

CC2400의 주 동작 파라메타는 SPI 통신을 통해서 프로그램 될 수 있다. CC2400의 대표적인 시스템은 마이크로컨트롤러와 몇가지 외부적, 추가적 요소들과 함께 사용된다.

CC2400의 핀 지정과 주요 핀의 세부 설명은 아래의 그림1과 표1에 상세 설명하였다.

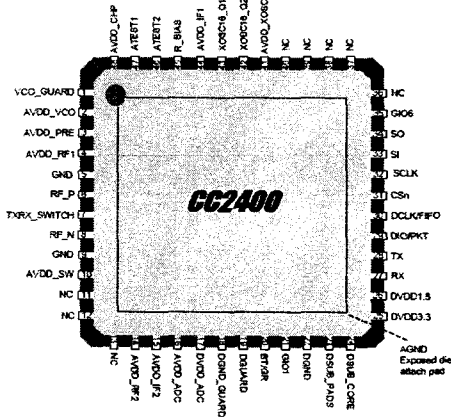


그림 1 CC2400 핀 지정

표 1 CC2400 주요 핀에 대한 설명

핀 이름	핀 타입	설명
RF_P	RF I/O	송/수신 모드에서 PA로부터 LNA까지 + RF 입력/출력 신호
TXTX_SWITCH	Power(analog)	RF 전처리를 위해 연결
RF_N	RF I/O	송/수신 모드에서 PA로부터 LNA까지 - RF 입력/출력 신호
GIO1	디지털 I/O	일반적인 디지털 I/O
TX	디지털 I/O	Tx모드를 위한 strobe 신호
RX	디지털 입력	Rx모드를 위한 strobe 신호
DIO/PKT	디지털 I/O	언버퍼모드 또는 패킷 핸들링에서 데이터 입력/출력
DCLK/FIFO	디지털 출력	언버퍼모드 또는 FIFO 제어 신호에서 데이터 클럭 출력 신호
CSn	디지털 입력	SPI : 칩 선택
SCLK	디지털 입력	SPI : 직렬 데이터 클럭
SI	디지털 입력	SPI : slave 입력
SO	디지털 출력	SPI : slave 출력
GIO6	디지털 출력	일반적인 디지털 출력 핀
XOSC16_Q1	아날로그 출력	16MHz 크리스털 발진기
XOSC16_Q2	아날로그 입력	16MHz 크리스털 발진기 또는 외부 클럭 입력

1.2 CC2400 응용회로

CC2400의 동작을 위해서 두 가지 외부 요소인 2.4GHz 안테나와 16MHz 발진기를 추가하였다. 첫째, 안테나의 경우 접이식 다이폴 안테나와 같은 안정적인 안테나를 사용할 경우 RF 입/출력 정합용 트랜스(balun)를 생략

할 수 있다. λ/2-다이폴 안테나의 길이는 식(1)로 구할 수 있다.

$$L = 14250/f \quad \text{식 (1)}$$

이때 f는 MHz 단위를 사용하며 길이 L은 cm 단위를 사용한다. 2.450MHz를 위한 안테나의 총 길이는 5.8cm로 한 측당 2.9cm의 길이를 갖는다. 그 외 일반적으로 short-range 통신을 위해 모노폴, 헤리컬, 루프 안테나들이 사용된다. 모노폴 안테나의 경우 식(2)로 구할 수 있다.

$$L = 7125/f \quad \text{식 (2)}$$

둘째, 발진기의 경우 16MHz의 외부 클럭 신호 또는 내부 크리스털 발진기를 사용하는 이유는 내부 신호 처리 기능뿐만 아니라 데이터 전송을 위해 사용되기 때문이다. 외부 크리스털을 사용할 경우 아래의 식(3)으로 총 커패시터 값을 구할 수 있다.

$$C_L = \frac{1}{\frac{1}{C_{421}} + \frac{1}{C_{431}}} + C_{기생}$$

식(3)

기생 커패시턴스(C_{기생})는 입력 커패시턴스와 PCB 부유 커패시턴스 핀에 의해 구성되며, 일반적으로 5pF이 주어진다. 외부 크리스털 발진기가 사용된 회로는 그림 2에 나타내었다.

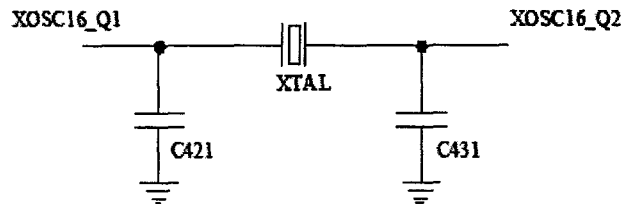


그림 2 크리스털 발진기 회로

두 외부 요소를 사용하여 CC2400 응용회로 구성 및 외부 소자 값을 아래 그림 3과 표 2에 나타내었다.

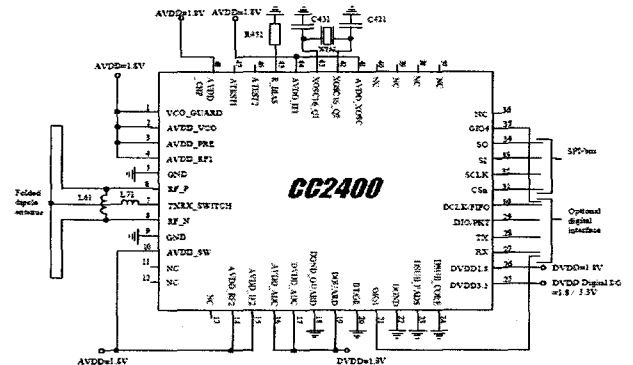


그림 3 접이식 다이폴 안테나 사용시 대표적 응용회로

표 2 응용 회로를 위한 부품표

항목	Differential antenna
C71	100pF, 오차 10%
C421	22pF, 오차 5%
C431	22pF, 오차 5%
L61	27nH, 오차 5%, Monolithic/multilayer
L71	27nH, 오차 5%, Monolithic/multilayer
R451	42kΩ, 오차 1%
XTAL	16MHz 크리스탈, 16pF 부하

2. CC2400 인터페이스

앞에서는 CC2400을 이용하여 2.4GHz 주파수에서 양방향 무선통신 시스템 구축을 위한 하드웨어적인 요소를 설명하였다면, 이와 더불어 중요한 CC2400의 레지스터 설정 및 데이터 송수신을 위한 데이터 처리 인터페이스가 어떤 방식으로 이루어지는지 설명한다.

2.1 데이터 처리방식에 따른 인터페이스 구성

CC2400은 두 가지의 데이터 인터페이스 방식을 가지고 있다. 버퍼 방식과 언버퍼 방식이다. 두 데이터 처리 방식에 따라서 데이터 코딩과 패킷 처리를 각각 구성할 수 있다. 특히 버퍼 방식을 이용한 데이터 처리를 하는 경우에는 FIFO 레지스터를 이용한 packet 전송이 가능하다. 아래 표3에 자세히 나타내었다.

표 3 구성의 개요와 하드웨어 지원

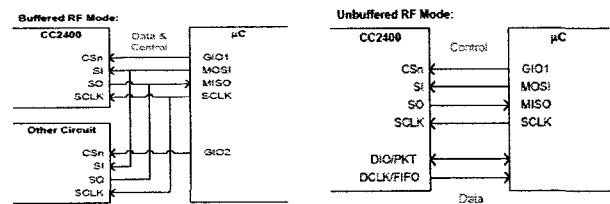
Data Interface	Data coding	Pactet handling support
Buffered (32바이트 FIFO는 SPI 인터페이스를 통해 접근된다)	NRZ	TX: · 프리앰블 발생 · Sync 워드 삽입 · CRC 계산과 삽입 RX: · Sync 워드 검출 · CRC 계산과 체크
	8/10 code	
	Manchester	
Un-buffered (DIO와 DLCK 동기화 인터페이스)	NRZ	RX: · Sync 워드 검출
	Mancheste	

위 표에서 보는바와 같이 CC2400은 버퍼 또는 언버퍼 데이터 인터페이스로 나타낼 수 있으며 데이터 코딩, 패킷 핸들링, 변조 방식등이 서로 상이하며, GRMDM 레지스터 통해서 위 표에서 보는바와 같이 데이터 인터페이스와 그에 따른 변조방식을 설정할 수 있다. 아래의 표 4에서 레지스터의 주요 구성을 보여준다.

표 4 무선 모뎀 제어와 상태 레지스터

Bit	필드명	Reset	설 명
12:11	PIN_MODE	1	0:Un-buffered mode 1:Buffered mode 2:HSSD test mode 3:Unused
3:2	DATA_FORMAT	0	00:NRZ 01:Manchester 10:8/10 line-coding 11:Reserved
1	MODULATION_FORMAT	0	0:FSK/GFSK 1:Reserved

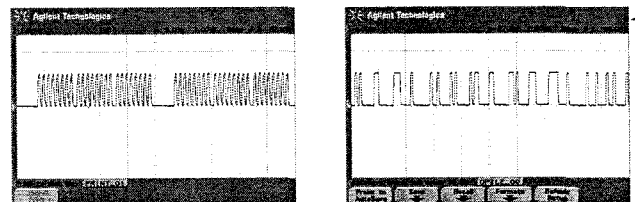
마이크로컨트롤러와의 인터페이스로 CC2400의 레지스터를 설정하거나 레지스터의 상태를 읽어 올 수 있는 4-wire 직렬 인터페이스와 데이터의 송수신을 위한 Signal 인터페이스로 나눌 수 있다. 아래의 그림 3(a)와 (b)는 인터페이스를 위한 CC2400의 핀 구성과 데이터 처리방식에 따라 마이크로컨트롤러와의 연결을 나타내고 있다.



(a) buffered (b) un-buffered

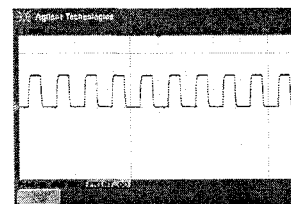
그림 3 마이크로컨트롤러 인터페이스

버퍼 모드에서 동기화를 위한 SCLK핀과 레지스터 설정을 위한 SI핀의 파형을 아래의 그림 4(a)와 (b)에서 각각 보여주고 언버퍼모드에서 데이터 송수신을 위한 동기 신호인 DCLK 파형을 그림 4(c)에서 보여준다.



(a) SCLK핀의 파형

(b) SI핀의 파형



(c) DCLK핀의 파형

그림 4 마이크로컨트롤러 인터페이스의 출력파형

3. 레지스터 설정

위 인터페이스를 이용하여 실제적인 2.4GHz 무선통신 시스템 구축을 위한 데이터 전송률, 주파수와 출력파워 등 주요 레지스터를 설정할 수 있다.

3.1 데이터 전송률

CC2400에서는 1Mbps, 250kbps와 10kbps의 무선 데이터 전송률을 지원한다. 데이터 전송률을 설정하기 위해서는 GRDEC(주소:0x21) 레지스터를 통해서 가능하다. 아래의 표 5에서 채널 필터 대역폭과 데이터 전송률을 자세히 보여준다.

표 5 GRDEC 레지스터 값

CHANNEL_DEC [binary]	BW [kHz]	DEC_VAL [decimal]	Data rate [kbps]
00	1000	0	1000
00	1000	3	250
01	500	49	10

3.2 주파수

CC2400에서의 동작 주파수 2.4GHz 설정은 FSDIV 구성 레지스터안의 주파수 워드의 프로그램에 의해서 설정할 수 있다. 주파수 워드는 총 12비트로 이루어져 있으며 기본단위는 [MHz]이다. 다음의 식(4)에 의해서 반송 주파수를 구할 수 있다.

$$f_c = \text{FREQ}[11:0] = 2048 + \text{FREQ}[9:0] \text{ [MHz]}$$

식(4)

아래의 표 6에서 FSDIV 레지스터를 나타내었다.

표 6 주파수 설정 레지스터

Bit	필드명	Reset	R/W	설명
15:12	-	0	W	Reserved.
11:10	FREQ[11:10]	2	R	읽기전용
9:0	FREQ[9:0]	353	R/W	주파수 제어 워드. $f_c = \text{FREQ}[11:0] = 2048 + \text{FREQ}[9:0] \text{ [MHz]}$ f_c 는 채널 중심 주파수 또는 반송주파수

3.3 출력파워

장치로부터 RF출력 파워는 FRENDR(주소:0x05) 레지스터의 FRENDR.PA_LEVEL[2:0] 영역에 의해 제어된다. 아래의 표 7에서 출력 파워와 전류 소비량 사이의 레지스터 값 관계를 나타내었다.

표 7 출력파워 설정과 전류 소비

PA_LEVEL[2:0] [binary]	RF 주파수 : 2.4GHz	
	Output power [dBm]	Current consumption, typ. [mA]
000	-25	11
001	-15	12
010	-10	13
011	-7	14
100	-4.6	16
101	-2.8	17
110	-1.3	18
111	0	19

III. 결론

CC2400은 자체 전력 소비를 줄이기 위해 한 packet의 데이터를 전송하고 나면 power-down 모드로 되돌아 가는 특성을 가지고 있다. 이러한 특성은 모든 무선 RF 시스템을 구축할 시 양방향 무선 통신의 단점인 전력소비의 문제점을 많이 보완해 줄 것이다.

현재 홈 네트워크나 Zigbee를 이용한 통신, 무선 센서 네트워크등의 신기술 분야에서의 양방향 무선통신은 필수적이므로 CC2400의 이용 효율의 극대화를 기대할 수 있다. 그러나 CC2400은 65개의 내부 레지스터를 가지고 있어 레지스터 제어에 필요한 제반 지식을 숙지해야 되는 단점을 가지고 있다.

향후 연구 과제는 CC2400을 이용한 시스템의 광범위한 적용을 위해 누구나 쉽게 접근할 수 있는 미들웨어를 적용할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] Chipcon's Corp, CC2400_Data_Sheet_1_5
- [2] Chipcon's Corp, CC2400EM_Reference_Design_1_3
- [3] Chipcon's Corp, CC2400_User_Manual.