

블루투스 기저대역 모듈의 설계 및 구현

천익재, 오중환, 임지숙, 김보관
충남대학교 전자공학과
전화 : 042-821-7707 / 핸드폰 : 019-438-2546

Design and Implementation of a Bluetooth Baseband Module

Ik-Jae Chun, Jong-Hwan Oh, Ji-Suk Lim, Bo-Gwan Kim
Dept. of Electronics Engineering, Chungnam National University
E-mail : s_arity@cnu.ac.kr

Abstract

Bluetooth wireless technology is a publicly available specification proposed for Radio Frequency (RF) communication for short-range and point-to-multipoint voice and data transfer. It operates in the 2.4GHz ISM(Industrial, Scientific and Medical) band and offers the potential for low-cost, broadband wireless access for various mobile and portable devices at range of about 10 meters.

In this paper, we describe the structure and the test results of the bluetooth baseband module we have developed. This module has a UART interface for HCI and a audio codec for voice. The interface between controller and this module supports common control interface. An FPGA implementation of this module is tested for file and bit-stream transfers between PCs.

I. 서론

사회적인 요구와 관련 기술 및 테크놀로지의 발달에

본 연구는 KAIST MICROS 센터를 통한 한국과학재단의 우수연구센터 지원금과 반도체 설계 교육 센터 (IDEC)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

힘입어 무선 통신기술은 전화 서비스, 의료 기기, 가전 제품 뿐만 아니라 많은 분야에 적용되고 있다. 기존에 유선으로 그 기능을 충분히 하던 분야들도 새로운 기능을 추가하고 사용자에게 더 많은 편의를 제공하기 위하여 무선 기술을 도입하고 있다. 특히, ISM 대역폭을 사용하는 무선 대역 확산 통신은 주파수 대역을 무료로 사용할 수 있기 때문에, 이 대역폭을 사용하는 무선 통신 방식을 채용하는 응용 분야는 폭발적으로 늘어날 것이다. 이처럼 무선통신 기술이 여러 분야에 적용되는 상황에서 차세대 무선통신의 핵심이 될 블루투스의 기저대역 모듈의 구현은 중요한 과제라 할 수 있다.

블루투스는 현재 세계적으로 하드웨어와 소프트웨어의 초기 단계 개발이 이루어지고 있는 ISM 대역을 이용한 단거리 무선통신 기술 규격으로써 mobile 과 portable 장치를 위한 저 가격 무선통신 네트워크 구축을 목적으로 개발되었다. 블루투스 규격은 Ericsson, IBM, Intel, Nokia, Toshiba가 주축이 되어 시작된 Bluetooth Special Interest Group(SIG)에 의해 개발되었으며 현재 3COM, Lucent, Microsoft 등과 같은 telecommunication, computing, network분야의 대표적인 기업을 포함해 1800여 개의 회사가 참여하고 있다.

본 논문에서는 블루투스 물리 계층의 프로토콜 처리 부분인 블루투스 기저대역 모듈을 설계하고 검증하였다.

II. 블루투스의 특징 및 구조

2.1 블루투스의 기본 특징

블루투스는 휴대용 기기나 데스크 탑 전자 장치들을 연결하는 케이블을 대체하기 위한 단거리 무선 통신으로써 제안되었으며 낮은 복잡도, 저 전력, 저 가격화에 중점을 두어 개발되고 있다.

블루투스 시스템은 점대점 접속과 점대다중 접속을 지원한다. 점대다중 접속에 있어서 채널은 블루투스 장치들에 의해서 공유되며 이러한 장치들은 피코넷을 형성한다. 형성된 하나의 피코넷은 하나의 마스터와 최대 7개의 슬레이브를 가지며 이러한 피코넷들이 모여 스캐터넷을 형성한다.

블루투스는 2.4GHz 대역의 unlicensed ISM(Industrial, Scientific, Medical) 밴드에서 동작하며 간섭(interference)과 감쇠(fading)를 줄이기 위하여 주파수 hopping 송수신을 적용하고 있다. 호핑의 순서는 블루투스의 마스터 클럭에 의해서 결정된다. 또한 전이중 전송을 수행하기 위하여 TDD(Time-Division Duplex)방식을 사용하고 있다.

블루투스 프로토콜 스택은 데이터 전송을 위한 ACL(asynchronous connection-less) 링크와 음성 전송을 위한 SCO(synchronous connection-oriented) 링크, 그리고 데이터와 음성을 모두 전송할 수 있는 링크를 지원한다. 데이터 전송을 위한 bit-rate는 1Mb/s이며 하나의 채널 슬롯은 625us의 슬롯 길이를 가진다.

2.2 블루투스 기저대역 모듈의 기본 구조

블루투스 시스템은 radio, baseband, link controller, 그리고 link manager와 호스트 터미널 인터페이스를 위한 Host Controller Interface로 구성된다. Link manager는 HCI로부터 받은 명령어 및 데이터를 baseband 수준의 동작으로 변환시켜 주며 다른 블루투스 장치와 링크를 만들고 제어하는 역할을 한다. Link controller는 link manager로부터 명령어 및 데이터를 받아 실제적으로 baseband가 동작을 할 수 있도록 물리적인 링크를 제어하며 패킷들을 재결합하는 역할을 수행한다. Baseband는 데이터를 실제적으로 encoding 하고 decoding하며 timing을 제어하는 부분으로 link controller로 구분되기도 한다. Radio는 무선 송수신을 위하여 데이터를 GFSK로 변복조하며 주파수 호핑을 수행한다. 그림 1은 블루투스 시스템의 기저대역 프로토콜 스택을 보인다.

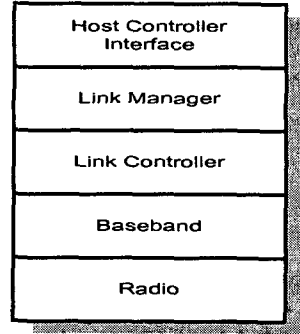


그림 1 기저대역 프로토콜 스택

2.3 기저대역 모듈의 설계

본 논문에서 구현하고자 하는 기저대역 모듈은 기본적으로 기저대역 프로토콜과 저수준 연결 처리과정을 수행하며 그림2에서 보이는 것과 같이 baseband 유닛, audio codec, UART의 3부분으로 구성된다. Baseband 유닛은 블루투스 bit-stream의 encoding 및 decoding과 저수준 타이밍 제어를 통한 bit-level 처리를 수행하는 부분으로써 link controller에 대한 하위 레벨 기능을 수행한다. 콘트롤러(MCU)와의 인터페이스는 범용 인터페이스를 따르도록 설계하여 범용성을 높였다. Radio 유닛과의 인터페이스는 Ericsson의 RF 모듈을 기준으로 하여 설계되었으며 RF 모듈의 제어는 serial control interface에 의해 이루어지고 Boundary Scan Architecture(IEEE std 1149.1)에 기반한다[그림 3].

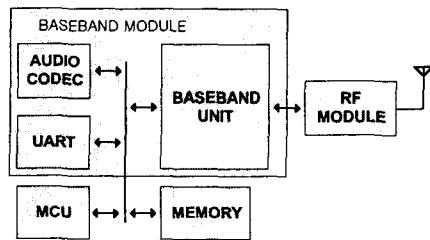


그림 2 블루투스 HW 블록 다이어그램

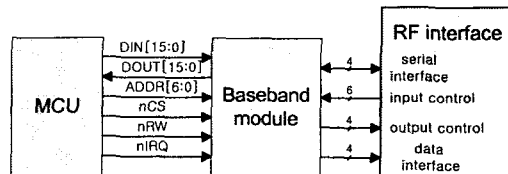


그림 3 기저대역 모듈 인터페이스

블루투스 기저대역 모듈의 설계 및 구현

Baseband 유닛의 모든 기능은 레지스터에 의해 제어되므로 콘트롤러(MCU)가 baseband 유닛의 레지스터를 설정함으로써 bit-stream 처리와 인터럽트, 암호화 등과 같은 기능을 제어할 수 있다. 데이터 전송에 따른 모든 패킷의 상태는 nIRQ신호에 의해서 콘트롤러를 호출하고 인터럽트 레지스터에 의해 콘트롤러에 전달된다. 시스템 클록은 13MHz로 동작되며, bit-stream 처리는 Tx의 경우 RF 모듈에서 제공하는 1MHz의 클록에 동기된다. Rx는 동기를 맞추기 위하여 Radio interface의 PLL블록에서 생성된 1MHz 클록에 동기된다. 그림4는 baseband 유닛의 블록 다이어그램을 보인다.

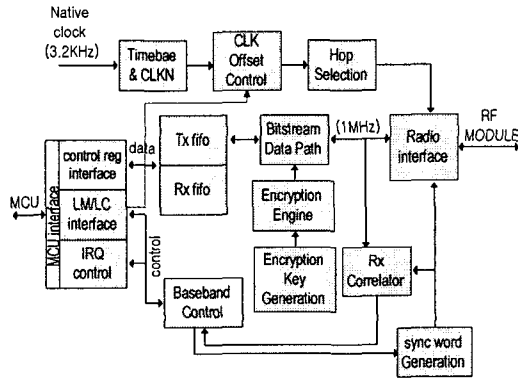


그림 4 baseband 유닛 블록 다이어그램

UART는 호스트와의 인터페이스를 담당하는 부분으로 HCI의 기본이 되는 유닛이다. UART는 Numerical Controlled Oscillator(NCO)를 이용하여 다양한 baud rate (300bps ~ 460.8kbps)을 지원할 수 있도록 설계되었으며 HCI 데이터를 처리할 수 있도록 HCI 데이터 형식과 길이 정보를 검출하는 기능을 포함한다.

Audio codec은 음성 데이터를 처리하는 부분으로 A-law, μ -law, CVSD를 모두 지원한다. 외부 아날로그 PCM 칩과의 인터페이스는 8-16bit linear PCM 신호를 처리할 수 있도록 설계하였다.

2.4 블루투스 클록 제어

클록 제어 블록은 블루투스 유닛의 설계에 있어서 가장 중요한 부분으로 두 블루투스 유닛이 서로 통신 채널을 형성하고 통신을 수행하기 위해서는 마스터 클록에 기준을 두고 슬레이브의 클록(클록의 phase 포함)을 동기 시켜야 한다. 이를 위해 기저대역 모듈은

3.2KHz 클록을 사용하여 송수신기의 송수신 시점을 결정하는 기준 클록으로 이용하며 28 bit 카운터로 구현된다. 블루투스는 CLKN, CLKE, CLK의 3가지 클록을 정의하고 사용한다. CLKN은 수정되지 않는 클록으로써 모든 클록의 기준이 되고 CLKE와 CLK는 각각 추정된 클록과 마스터 클록을 나타내며 CLKN에 offset을 더함으로써 얻어진다. 그림5는 블루투스 클록 생성을 위한 블록이다.

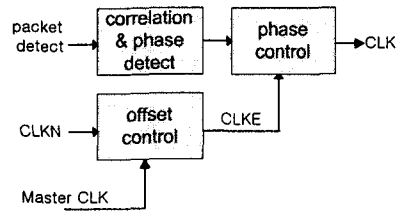


그림 5 블루투스 클록 생성

2.5 블루투스 bit-stream 처리

RF를 통해 전송을 하기 전에 데이터를 encoding하는 과정은 불안정한 채널(RF)을 통해 데이터가 전송될 때 발생할 수 있는 데이터의 손상에 대한 처리를 위해서 중요하다. 그림 5와 그림 6은 설계된 baseband 유닛의 Tx, Rx bit-stream 처리 블록을 보인다. 설계된 블록은 각 기능 블록간 버퍼의 사용을 없애고 bit-stream을 연속적으로 처리할 수 있도록 설계하였다. 각 블록의 sequencer는 처리 과정에서 발생하는 여러 가지 정보를 baseband 유닛의 콘트롤 레지스터에 전달하고 패킷의 종류에 따라 각 기능 블록을 제어한다.

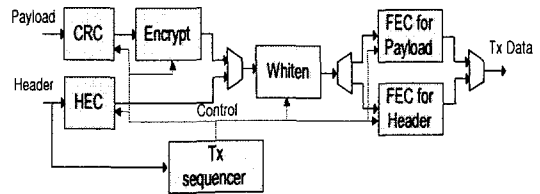


그림 6 Tx 데이터 처리 블록

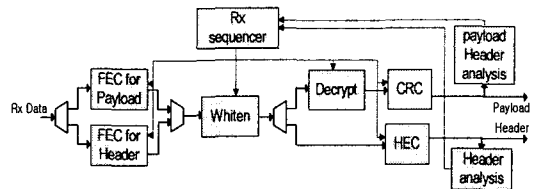


그림 7 Rx 데이터 처리 블록

HEC는 헤더 오류 검출에 적용되고 FEC는 오류에 대한 제한된 검출과 정정 기능을 가지며 2/3 FEC에서 최대 2 bit 오류 검출과 1bit 오류 정정 기능을 수행한다. FEC는 패킷의 종류에 따라 세가지 방법이 사용된다(none, 1/3, 2/3).

암호화 과정은 payload에만 적용되고 baseband 유닛의 레지스터를 설정함으로써 활성화된다. 암호화는 암호화 엔진에 의해 만들어진 cipher stream을 단순히 bit-stream과 exclusive OR함으로써 수행된다.

데이터의 수신은 수신되는 패킷에 따라 bit-stream 처리 과정이 바뀌게 된다. Rx는 Tx와 달리 수신되는 데이터의 정보(packet type, length 등)를 수신 전에 알 수 없으므로 수신과정에서 이러한 정보를 인식해야한다. 이를 처리하기 위하여 Rx 블록은 수신된 데이터의 형태를 분석하는 블록이 필요하게 된다.

2.6 패킷 데이터 검출

그림 8은 synchword를 이용하여 주기적으로 동기화를 이루는 과정을 보여준다. Uncertainty window의 시작 전에 64bit의 synchword가 correlator에 병렬로 저장이 된다. 그 후 입력 stream을 레지스터에 쉬프트하면서 계속 correlation을 수행한다. 수신된 값과 설정된 synchword가 같게 되면 correlation은 중지되고 header, payload stream을 받게 된다. 그러나 uncertainty window안에 correlation이 완료되지 않는다면 그후의 stream을 수신하지 않는다.

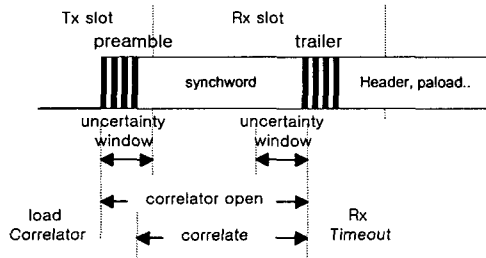


그림 8 correlation scheme

III. 기저대역 모듈의 검증 및 테스트

Bluetooth specification 1.0b에 기반한 블루투스 기저대역 모듈의 구현을 위하여 Xilinx사의 100만 gate virtex 칩을 사용하였으며 이 칩에 컨트롤러(MCU)를 함께 구현하고 Ericsson의 RF 모듈인 PBA313 01/2를 PCB에 실장하여 테스트 보드를 구현하였다.

두 개의 테스트 보드를 이용하여 각각을 서로 다른

PC에 UART 인터페이스를 이용하여 연결하고 파일 전송테스트 프로그램과 bit-stream 전송 프로그램을 이용하여 UART 인터페이스와 기저대역 모듈의 동작을 확인하고 검증하였다.

IV. 결론

블루투스는 기존의 장치에 블루투스 장치를 덧붙임으로써 간단히 무선네트워크를 구축할 수 있으며 다양한 어플리케이션 및 Ethernet과 같은 프로토콜을 적용할 수 있어 산업 및 일상 전반에 걸쳐 광범위하게 사용될 수 있다. 또한 대량 생산을 기대할 수 있으며 ISM밴드를 사용함으로써 전세계 공통으로 사용할 수 있는 송수신 모듈을 제조할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 낮은 전송 속도와 ISM 밴드를 사용하는 다른 장치들 간의 간섭 등이 문제점으로 남아있다. 본 논문에서 설계된 모듈은 범용 IP core로 사용될 수 있으며 보다 나은 성능을 갖는 차세대 블루투스 규격 구현의 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] <http://www.bluetooth.com>
- [2] Specification of the Bluetooth System V1.0B, December 1st, 1999.
- [3] Jennifer Bray and Charles F Sturman, "BLUETOOTH Connect Without Cables", Prentice Hall PTR, 2001.
- [4] Brent A. Miller and Chatschik Bisdikian, "BLUETOOTH REVEALED", Prentice Hall PTR, 2001.
- [5] Mattisson, S., "Low-Power Considerations in the Design of Bluetooth," International Symposium on Low Power Electronics and Design, pp. 151-154, 2000.
- [6] Shorey, R. and Miller, B.A., "The Bluetooth Technology: Merits and Limitations," IEEE International Conference on Personal Wireless Communications, pp. 80 -84, 2000.
- [7] Chiasserini, C.R. and Rao, R.R., "Performance of IEEE 802.11 WLANs in a Bluetooth Environment," IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Vol. 1, pp. 94 - 99, 2000.