

# IP에 기반한 블루투스 기저대역 모듈의 설계 및 구현

임지숙\*, 천익재\*, 김보관\*  
\*충남대학교 전자공학과  
e-mail : jisuk96@pony.cnu.ac.kr

## Design and Implementation of a Bluetooth Baseband Module based on IP

Ji-Suk Lim\*, Ik-Jae Chun\*, and Bo-Gwan Kim\*  
\*Dept. of Electronics Eng., Chungnam National University

### 요약

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 was developed based on IP reuse. So Interface of each module such as link controller, UART, and audio CODEC is designed based on ARM7 comfortable processor. We also considered various interfaces of related external chips. The fully synthesizable baseband module was fabricated in a 0.25 $\mu$ m CMOS technology occupying 2.79 $\times$ 2.8mm<sup>2</sup> area including the ARM TDMI processor. And a FPGA implementation of this module is tested for file and bit-stream transfers between PCs.

### 1. 서론

사회적인 요구와 관련 기술 및 테크놀로지의 발달에 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 구축

을 목적으로 개발되었다. 블루투스 규격은 Ericsson, IBM, Intel, Nokia, Toshiba 가 주축이 되어 시작된 Bluetooth Special Interest Group(SIG)에 의해 개발되었으며 현재 1800여 개의 회사가 참여하고 있다 [1].

본 논문에서는 블루투스 물리 계층의 프로토콜 처리 부분인 블루투스 기저대역 모듈을 설계하고 검증하였다. 본 모듈은 모듈을 이루는 각 부분을 IP로 사용할 수 있도록 인터페이스를 ARM7 호환 프로세서에 기반하여 설계하였다. 이 모듈은 ASIC으로 구현되어 테스트 되었고 85k 게이트 크기를 갖는다.

### 2. 블루투스의 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 [1] [2].

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 [3].

블루투스는 2.4GHz 대역의 unlicensed ISM(Industrial, Scientific, Medical) 밴드에서 동작하며 간섭(interference)과 감쇠(fading)를 줄이기 위하여 주파수 홉 송수신기를 적용하고 있다. 호핑의 순서는 블루투스의 마스터 클럭에 의해서 결정된다. 또한 전이중 전송을 수행하기 위하여 TDD(Time-Division Duplex) 방식을 사용하고 있다 [3].

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/s 이며 하나의 채널 슬롯은 625µs의 슬롯 길이를 가진다 [1].

### 3. 블루투스 기저대역 모듈의 기본 구조

블루투스 시스템은 radio, baseband, link controller, 그리고 link manager 와 호스트 터미널 인터페이스를 위한 Host Controller Interface 로 구성된다. Link manager 는 HCI로부터 받은 명령어 및 데이터를 baseband 수준의 동작으로 변환시켜 주며 다른 블루투스 장치와 링크를 만들고 제어하는 역할을 한다. Link controller 는 link manager 로부터 명령어 및 데이터를 받아 실제적으로 baseband 가 동작을 할 수 있도록 물리적인 링크를 제어하며 패킷 들을 재결합하는 역할을 수행한다. Baseband 는 데이터를 실제적으로 encoding 하고 decoding 하며 timing 을 제어하는 부분으로 link controller 로 구분되기도 한다. Radio 는 무선 송수신을 위하여 데이터를 GFSK 로 변복조하며 주파수 호핑을 수행한다 [4].

### 4. 기저대역 모듈의 설계

본 논문에서 구현하고자 하는 기저대역 모듈은 기본적으로 기저대역 프로토콜과 저수준 연결 처리과정을 수행하는 link controller(baseband unit), host controller 인터페이스인 UART, 그리고 음성 데이터 처리를 위한 오디오 코덱의 3부분으로 구성된다. Baseband 유닛은 블루투스 bit-stream 의 encoding 및 decoding 과 저수준 타이밍 제어를 통한 bit-level 처리를 수행하는 부분으로써 link controller 에 대한 하위레벨 기능을 수행한다 [5]. 프로세서와의 인터페이스는 현재 블루투스 시스템에서 프로세서로 많이 사용되고 있는 ARM7 TDMI 프로세서의 버스 인터페이스를 따르도록 설계하여 손쉽게 프로세서와 각 페리퍼럴(peripheral) 블록을 연결할 수 있도록 함으로써 범용성을 높였다. Radio 유닛과의 인터페이스는 Ericsson 의 RF 모듈을 기준으로 하여 설계하였으며 이와 다른 RF 모듈의 인터페이스도 함께 고려함으로써 다양한 블루투스 시스템에 적용가능 하도록 하였다. RF 모듈의 제어는 serial control interface 에 의해 이루어지고 Boundary

Scan Architecture(IEEE std 1149.1)에 기반한다 [그림 1]. 각 페리퍼럴의 제어는 memory mapped I/O 와 인터럽트에 의해 제어되도록 하였으며 기저대역 모듈을 구성하는 각 유닛은 각각의 FIFO 를 갖음으로써 독립적인 IP 로 사용될 수 있도록 하였다.

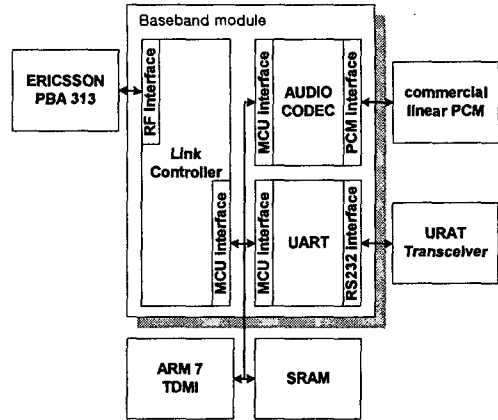


그림 1. 블루투스 기저대역 모듈의 구조

#### 4.1 Link Controller 의 설계

링크 컨트롤러를 구성하는 Baseband 유닛의 모든 기능은 레지스터에 의해 제어되므로 프로세서가 baseband 유닛의 레지스터를 설정함으로써 bit-stream 처리와 인터럽트, 암호화 등과 같은 기능을 제어할 수 있도록 하였다. 데이터 전송에 따른 모든 패킷의 상태는 인터럽트 레지스터에 의해 프로세서에 전달된다. 또한 링크 생성 및 채널 제어와 같은 기능은 소프트웨어 뿐만 아니라 하드웨어를 통해 자동으로 처리할 수 있도록 함으로써 유연성을 높였다. 시스템 클럭은 12MHz 로 동작되며, bit-stream 처리는 Tx 의 경우 RF 모듈에서 제공하는 1MHz 의 클럭에 동기된다. Rx 는 동기를 맞추기 위하여 radio interface 의 PLL 블록에서 생성된 1MHz 클럭에 동기된다. 그 외에 블루투스 시스템의 기본 클럭으로써 3.2KHz 와 RF 모듈 제어를 위한 4MHz 의 클럭이 사용된다. 그림 2 는 baseband 유닛의 블록 다이어그램을 보인다.

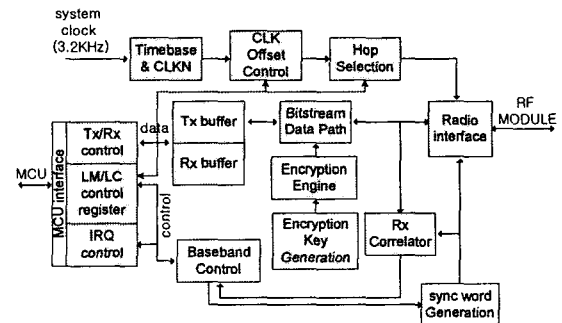


그림 2. Baseband 유닛 블록 다이어그램

### 4.2 Host Controller Interface

UART는 기저대역 모듈과 호스트 사이의 인터페이스를 담당하는 부분으로 HCI의 기본이 되는 유닛이다. UART는 NCO(Numerical Controlled Oscillator)를 이용하여 다양한 baud rate (300bps ~ 1.5Mbps)을 지원할 수 있도록 설계되었으며 기본적인 UART와는 구별되는 기능으로써 블루투스의 HCI 데이터를 처리할 수 있도록 HCI 데이터 형식과 길이 정보를 검출하는 기능을 갖도록 설계하였다.

### 4.3 Audio CODEC

Audio CODEC은 블루투스의 응용 시스템에서 가장 기본이 되는 음성 데이터를 처리하는 부분으로 A-law,  $\mu$ -law 방식의 log PCM과 CVSD(Continuous Variable Slope Delta modulation) [5] 방식을 모두 지원하도록 설계하였으며 이 세가지 코딩 방법 사이의 변환이 가능하도록 구현하였다. 외부 아날로그 PCM 칩과의 인터페이스는 8~16bit linear PCM 신호를 처리할 수 있도록 설계하여 일반적으로 많이 사용되는 상용 linear PCM 칩을 직접 연결할 수 있도록 하였다. 이와 더불어 프로세서에 의해 제어받지 않고 직접 음성 데이터를 처리할 수 있는 기능을 제공함으로써 프로세서의 부하를 줄였다.

### 4.4 블루투스 클럭 제어

클럭 제어 블록은 블루투스 유닛의 설계에 있어서 가장 중요한 부분으로 두 블루투스 유닛이 서로 통신 채널을 형성하고 통신을 수행하기 위해서는 마스터 클럭에 기준을 두고 슬레이브의 클럭(클럭의 phase 포함)을 동기시켜야 한다. 이를 위해 기저대역 모듈은 3.2KHz 클럭을 사용하여 송수신기의 송수신 시점을 결정하는 기준 클럭으로 이용하며 이를 28 bit 카운터로 구현하였다. 블루투스는 CLKN, CLKE, CLK의 3가지 클럭을 정의하고 사용한다. CLKN은 수정되지 않는 클럭으로써 모든 클럭의 기준이 되고 CLKE와 CLK은 각각 추정된 클럭과 마스터 클럭을 나타내며 CLKN에 offset을 더함으로써 얻어진다 [5]. 그림 3은 블루투스 클럭 생성을 위한 블록이다.

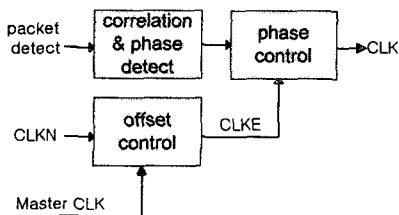


그림 3. 블루투스 클럭 생성 블록

### 4.5 블루투스 비트 스트림 처리

RF를 통해 패킷 전송을 하기 전에 데이터를 encoding하는 과정은 불완전한 채널(RF)을 통해 데이터가 전송될 때 발생할 수 있는 데이터의 손상에 대한

처리를 위해서 중요하다. 그림 4와 5는 설계된 baseband 유닛의 Tx, Rx bit-stream 처리 블록을 보인다. 설계된 블록은 bit-stream의 처리 타이밍을 고려하여 각 기능 블록간 버퍼의 사용을 없애고 bit-stream을 연속적으로 처리할 수 있도록 하였다. 이를 위하여 sequencer를 설계하였고 이 sequencer는 처리 과정에서 발생하는 여러 가지 정보를 baseband 유닛의 컨트롤 레지스터에 전달하고 패킷의 종류에 따라 각 기능 블록간 데이터의 흐름을 제어한다.

HEC는 헤더 오류 검출에 적용되고 FEC는 오류에 대한 제한된 검출과 정정 기능을 가지며 2/3 FEC에서 최대 2 bit 오류 검출과 1 bit 오류 정정 기능을 수행한다. FEC는 패킷의 종류에 따라 세가지 방법이 선택적으로 사용된다.

암호화 과정은 payload에만 적용되고 baseband 유닛의 레지스터를 설정함으로써 활성화된다. 암호화는 암호화 엔진에 의해 만들어진 cipher stream을 단순히 bit-stream과 exclusive OR 함으로써 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 인식해야 한다. 이를 처리하기 위하여 Rx블록은 수신된 데이터의 형태를 분석하는 블록이 필요하게 된다. 이를 위해 payload header analysis블록과 header analysis블록을 설계하였다.

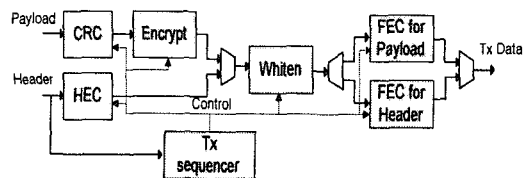


그림 4. 패킷 송신 블록

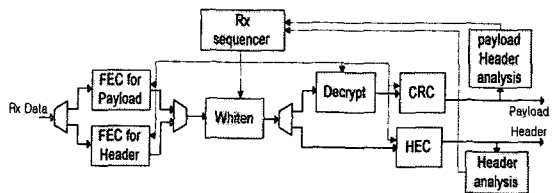


그림 5. 패킷 수신 블록

### 4.6 패킷 데이터 검출

그림 6은 synchword를 이용하여 주기적으로 동기화를 이루는 과정을 보여준다. Uncertainty window의 시작 전에 64bit의 synchword가 correlator에 병렬로 저장된다. 그 후 입력 stream을 레지스터에 쉬프트하면서 계속 correlation을 수행한다. 이것은 baseband 유닛의 correlator에서 수행되며 수신된 값과 설정된 synchword가 같게 되면 correlation은 중지되고 header, payload stream을 받게 된다. 그러나 uncertainty window

안에 correlation 이 완료되지 않는다면 그 후의 stream 을 수신하지 않는다.

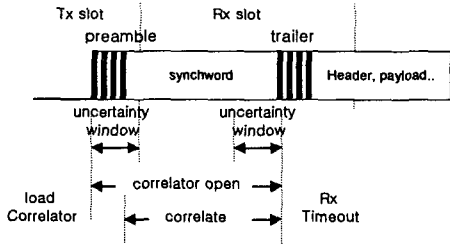


그림 6. 패킷 데이터 검출

### 5. 기저대역 모듈의 검증 및 테스트

우리는 설계한 모듈의 구현 및 검증을 위하여 프로토타입 칩을 구현하고 FPGA 테스트를 수행하였다. 프로토타입 칩은 0.25 $\mu$ m 5 메탈 2.5V 공정을 사용하였으며 시스템 클럭은 12Mhz, 코어 사이즈는 2.79x2.8mm<sup>2</sup>, 그리고 게이트 수는 85000 게이트였다. 이 칩의 테스트는 IMS ATS2 장비를 이용하여 기능 및 타이밍 검증을 수행하였다. 다음 그림 7 은 본 논문에서 구현한 프로토타입 칩의 레이아웃을 보인다.

FPGA 테스트는 Xilinx 사의 100 만 게이트 Virtex 칩을 사용하였으며 이 칩에 합성 가능한 프로세서를 함께 구현하고 flash memory, SRAM, Ericsson 의 RF 모듈인 PBA313 01/2, 그리고 RF 안테나를 PCB 에 실장하여 테스트 보드를 구현하였다. 두 개의 테스트 보드는 각각 UART 인터페이스를 이용해 PC 에 연결되었으며 정상적으로 링크를 형성하고 파일과 bit-stream 전송을 수행하였다.

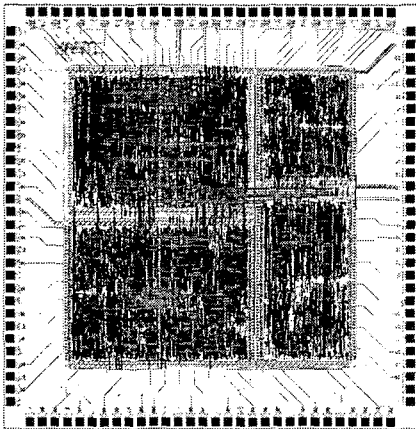


그림 7. 블루투스 모듈의 칩 레이아웃

### 6. 결론

블루투스는 기존의 장치에 블루투스 장치를 덧붙임으로써 간단히 무선네트워크를 구축할 수 있으며 다양한 어플리케이션 및 프로토콜을 적용할 수 있어 산업 및 일상 전반에 걸쳐 광범위하게 사용될 수 있다. 또한 저 가격화 및 소형화를 통해 대량 생산을 기대할 수 있으며 ISM 밴드를 사용함으로써 전세계 공통으로 사용할 수 있는 송수신 모듈을 제조할 수 있다는 장점이 있다.

본 논문에서는 Bluetooth specification 1.1 에 기반한 블루투스 기저대역 모듈을 합성 가능한 Verilog 코드로 설계하였으며 주변 칩들과의 인터페이스를 고려하여 IP 로써 손쉽게 사용할 수 있도록 하였다. 또한 소프트웨어와 하드웨어를 통하여 선택적으로 저수준 타이밍 제어 및 채널 제어를 수행할 수 있도록 함으로써 성능 향상을 도모하였다.

### Acknowledgement

본 연구는 KAIST MICROS 센터를 통한 한국과학기술원의 우수연구센터 지원금과 반도체 설계 교육 센터 (IDEC) 그리고 BK21 충남대학교 정보통신 인력 양성 사업단의 지원에 의하여 수행되었습니다.

### 참고문헌

- [1] <http://www.bluetooth.com>
- [2] Brent A. Miller and Chatschik Bisdikian, "BLUETOOTH REVEALED", Prentice Hall PTR, 2001.
- [3] Shorey, R. and Miller, B.A., "The Bluetooth Technology: Merits and Limitations," IEEE International Conference on Personal Wireless Communications, pp. 80 -84, 2000.
- [4] Jennifer Bray and Charles F Sturman, "BLUETOOTH Connect Without Cables", Prentice Hall PTR, 2001.
- [5] Specification of the Bluetooth System, Specification Volume 1, Core, Ver. 1.1, Feb. 2001.