

# Bluetooth 기저대역 모듈을 위한 USB 인터페이스의 설계

박성일, 박인철

한국과학기술원 전자전산학과 전기 및 전자공학 전공

## 초록

This paper describes a USB interface of the digital baseband module for the Bluetooth system. The interface has been designed in compliance with USB Specification 1.1 and HCI USB transport layer specification of Bluetooth v1.1. It supports full-speed 12Mbit/s interface. The interface has been verified using FPGA and fabricated in a 0.25um 5 metal CMOS technology.

## 1. 서론

USB (Universal Serial Bus)는 PC 와 주변기기들을 단일한 인터페이스로 쉽게 연결하기 위하여 규정된 직렬 버스 표준이다. 1998 년에 제안된 규정 1.1[1]에서는 12Mbit/s 와 1.5Mbit/s 의 전송 속도를 지원하고 있으며, 스캐너, 디지털 카메라, 마우스, 키보드와 같이 중/저속으로 PC 와 데이터를 주고 받는 기기들의 인터페이스로 널리 사용되고 있다.

Bluetooth 는 가까운 거리에서 음성과 데이터를 무선으로 전송하기 위한 규약이다 [2]. Bluetooth 규약은 PC 와 같은 호스트와 통신을 하기 위해서 HCI 전송 계층을 (Host Controller Interface Transport Layer) 규정한다. USB 는 HCI 전송 계층으로 12Mbit/s 를 지원하도록 규정되어 있다.

본 논문에서는 프로그램 가능한 내장형 마이크로 컨트롤러와 전용 하드웨어로 이루어져 있는 Bluetooth 기저대역 모듈의 USB 인터페이스 구조를 설계하였다. 설계된 인터페이스는 별도의 버퍼를 갖지 않고 다른 모듈들과 메모리를 공유함으로써 크기를 줄일 수 있었다. 또, 하드웨어적인 제어를 줄이고 레지스터를 설정하는 것에 의해 제어되도록 하여 유연성을 (flexibility) 증가시켰다.

## 2. Bluetooth 기저대역 모듈의 구조

Bluetooth 기저대역 모듈은 RF 모듈로부터 수신된 디지털 비트 열로부터 (stream) 음성이나 데이터를 복원하여 PC 나 오디오 처리부로 전달하거나 그 반대의 기능을 한다. Bluetooth 기저대역 모듈은 그림 1과 같이 Microcontroller, MMU (Memory Management Unit), SRAM, Baseband Unit, USB 인터페이스, UART 인터페이스, Audio CODEC 으로 이루어진다.

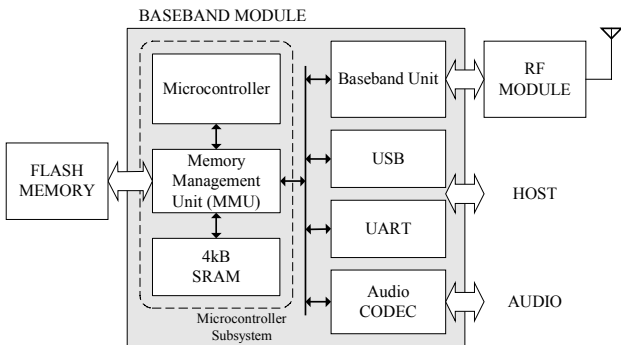


그림 1. Bluetooth 기저대역 모듈.

Microcontroller 는 각각의 인터페이스와 기저대역 모듈을 소프트웨어적으로 제어한다. Baseband Unit, USB 인터페이스, UART 인터페이스, Audio CODEC 사이의 데이터 전송은 MMU 에 의해서 관리된다. 각각의 유닛 안에 FIFO 와 같은 버퍼를 두는 것 대신에 SRAM 을 공유한다.

## 3. USB 인터페이스의 구조

### a) USB 신호 (Signaling)

USB 는 공유된 한 쌍의 전송 라인을 통해 부호화된 비트 열을 전송하는 버스 시스템으로 PC 와 같은 루트 허브가 (root hub) 버스를 통제한다 (그림 2).

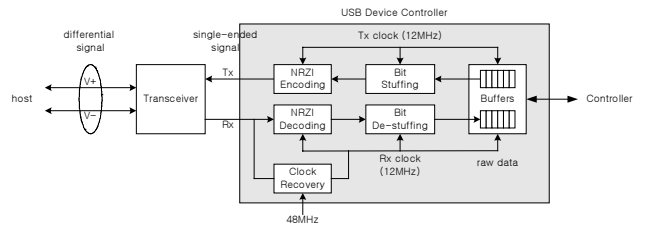


그림 2. USB 신호 흐름.

전송 라인을 통해서 수신된 차동 (differential) 신호들은 비트 열로 변환된 후 NRZI (Non-Return to Zero, Inverted) 복호화, 비트 De-stuffing 처리를 통해서 데이터로 복원된다. NRZI 방법은 비트가 0 이면 이전 전송 비트를 반대 값으로 바꾸고, 1 이면 이전 값을 유지하는 부호화 방법으로 전송 신호의 완결성을 향상시킨다. 비트 stuffing 은 여섯 개의 비트 열이 연속으로 1 의 값을 가질 때, 0 을 삽입하여 NRZI 부호화 된 값을 강제적으로 바꾸는 부호화 방법으로 비트 열로부터 동기 정보를 더 정확하게 추출할 수 있도록 한다. 송신과 수신은 반대 과정의 처리를 수행한다.

### b) 클럭 복원 (Clock Recovery)

USB 시스템은 송신측과 수신측 사이에 별도의 클럭을 공유하지 않고 데이터 비트 열만 전송한다. 그러므로, 호스트 PC 와 USB 인터페이스 사이의 동기를 맞추기 위해서는 비트 열의 천이를 (transition) 검출하여 클럭을 복원해야 한다. HCI 전송 계층은 12Mbit/s 전송 속도를 갖는 USB 인터페이스를 지원한다. 12MHz 클럭을 복원하기 위하여 USB 인터페이스는 48MHz 레퍼런스 클럭을 사용한다. 그림 3은 클럭 복원 회로의 블록 다이어그램을 나타낸다.

Pulse Swallower 는 전송 초기에 불안정한 천이에 클럭이 동기 되지 않도록 하기 위해서 두 번째 천이까지 무시하는 역할을 한다. 비트 열은 Data Sampler 에서 48MHz 로부터 생성된 네 개의 위상을 각각 가지는 12 MHz 클럭으로 표본화 되고 Phase Detector 에 의해서 천이의 위치가 검출된다. 천이의 위치를 가지고 수신에 사용되는 클럭을 복원한다.

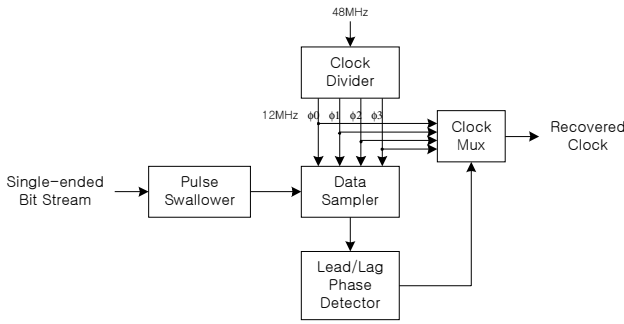


그림 3. 클럭 복원 회로.

### c) USB 인터페이스 구조

USB 인터페이스는 그림 4와 같이 Clock Recovery Circuit, Transceiver Interface, Serial Interface Engine, Protocol Layer Handler, Register Manager, Parallel Interface 로 구성된다.

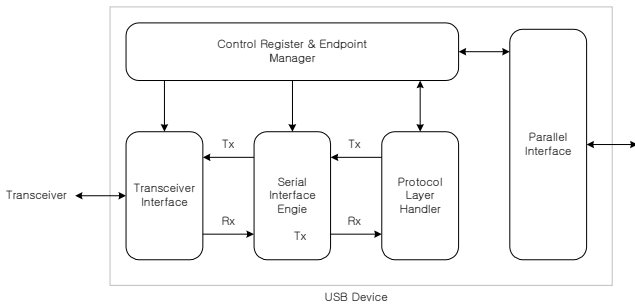


그림 4. USB 인터페이스의 구조.

Transceiver Interface 는 외부 버스 트랜시버를 구동하기 신호를 생성한다. Serial Interface Engine 은 송수신 신호화를 수행한다. 송신부는 비트 열을 NRZI 부호화, stuffing 을 수행하고 데이터에 대한 CRC (Cyclic Redundancy Check) 값을 직렬화 하여 첨부한다. 수신부는 복원된 클럭으로 신호를 표본화하고 NRZI 복호화, de-stuffing 을 수행하여 데이터를 복원할 뿐만 아니라 CRC 값을 검사하여 전송 오류를 검사한다. Protocol Layer Handler 는 호스트 PC 와 주고 받을 패킷(packet)의 순서를 관리한다. 예정되지 않은 패킷이 수신되면 오류 처리를 수행한다. 오류가 없는 예정된 패킷이 수신되면 버퍼에 저장된다.

USB 인터페이스는 송수신에 관련된 이벤트가 발생하면 마이크로 컨트롤러에 인터럽트를 발생시킨다. 마이크로 컨트롤러는 Parallel Interface 를 통해서 레지스터의 내용을 읽고 해당되는 처리를 수행한다.

USB 인터페이스가 수신한 데이터는 MMU 에 읽기 요구를 요청해서 처리한다. MMU 는 메모리 쓰기를 허용함으로써 수신하고 있는 데이터를 메모리에 저장하게 한다. 반대로, USB 인터페이스를 이용해서 송신하고자 할 경우에는 마이크로 컨트롤러가 MMU 를 제어하여 USB 버퍼에 쓰도록 한다.

### 4. 구현 및 검증

USB 인터페이스는 Verilog 하드웨어 기술 언어로 설계되었다. 설계된 인터페이스를 검증하기 위하여 FPGA 를 이용

하여 구현한 후 PC 와 연결하여 테스트를 수행했다. USB 제어 정보와 데이터를 전송하기 위한 디바이스 드라이버를 작성하였고 인터페이스가 올바르게 동작하는 것을 확인하였다. 검증된 USB 인터페이스는 Bluetooth 기저대역 모듈에 포함되어 0.25  $\mu\text{m}$  5LM CMOS 공정으로 제작되었다. 그림 5는 제작된 칩과 USB 인터페이스를 나타낸다.

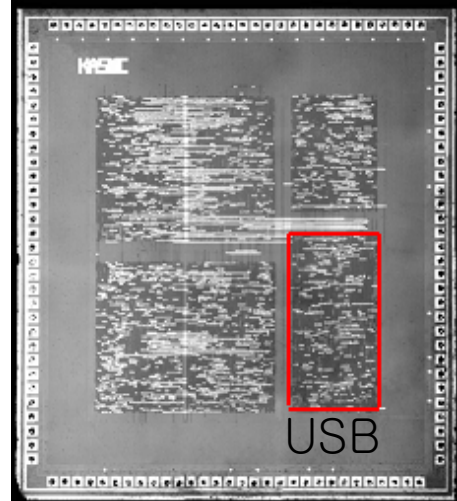


그림 5. 칩의 사진.

### 5. 결론

본 논문에서는 Bluetooth 기저대역 모듈에 사용되는 USB 인터페이스 구조를 제시하고 설계하였다. 설계된 인터페이스는 FPGA 로 구현한 후 PC 와 연결되어 검증되었고 0.25 $\mu\text{m}$  CMOS 공정을 이용하여 칩으로 제작되었다.

설계된 USB 인터페이스는 별도의 버퍼를 갖지 않고 다른 모듈들과 메모리를 공유함으로써 크기를 줄일 수 있었고, 하드웨어적인 제어를 줄이고 레지스터를 설정하는 것에 의해 제어되도록 하여 유연성을 증가시켰다. 이러한 특징은 본 USB 인터페이스가 Bluetooth 이외의 시스템에 쉽게 사용될 수 있는 범용 Soft IP (Intellectual Property)가 되는 것을 가능하게 하였다.

### 5. 감사의 글

본 연구는 KAIST MICROS 센터를 통한 한국과학재단의 우수연구센터 지원금에 의하여 수행되었습니다.

### 참고문헌

[1] Universal Serial Bus Specification 1.1, Sep. 1998.  
 [2] Bluetooth SIG, "Specification of the Bluetooth System," version 1.0B, volumes 1 and 2, Dec. 1999.  
 [3] J. Bray and C.F. Sturman, "Bluetooth: Connect Without Cables", Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, 2001.