

근거리 무선 통신용 블루투스 베이스밴드 시스템 설계 및 구현

백은창*, 조현묵
공주대학교 정보통신공학부

Design and implementation of short-ranged Bluetooth baseband system

Eun-Chang Baek*, Hyun-Mook Cho
School of Information and Telecommunication Engineering
E-mail : kardo@kongju.ac.kr

요 약

본 논문에서는 근거리에 놓여있는 노트북, 휴대폰, PDA, 헤드셋 등 각종 이동 가능한 장치들을 하나의 무선네트워크로 연결할 수 있는 블루투스의 베이스밴드 시스템 프로토콜 기능을 분석하고 설계하였다. 즉, 전체적인 논리 기능구조를 설계한 후 하드웨어로 구현될 패킷생성 블록, HEC와 CRC 기능블록, Whitening/Dewhitening 기능블록, FEC 기능블록, 입출력 블록(TX, RX 루틴), 클럭 생성 기능블록, 주파수 선별 기능블록, 오디오 기능블록 그리고, 패킷 제어 블록들의 처리절차를 Verilog HDL 코드로 설계 및 검증하였다.

1. 서 론

블루투스는 서로 다른 통신장치들간에 필요한 복잡한 케이블을 대신하여 하나의 무선연결을 가능하게 해주는 시스템이다. 또한 여러 무선시스템 중에서 블루투스가 갖는 저렴한 가격, 적은 전력소모, 모듈의 소형화 등의 특징에 힘입어 범용성이 높은 차세대 무선통신의 표준으로 자리잡아가고 있다.

블루투스 시스템은 누구나 사용할 수 있는 2.4 GHz의 ISM(Industrial, Scientific, Medicine) 대역에서 1MHz 밴드폭으로 초당 1,600번의 주파수 호핑(Frequency Hopping)을 함으로써 같은 주파수대에서 작동하는 다른 시스템들과 비교하여 빠르고 짧은 패킷으로 간섭과 페이딩을 최소화할 수 있다. 전송 속도는 음성 채널이 64Kb/s의 동기화된 연결을 지원하고, 비동기 채널인 데이터 전송은 최대 723.2Kb/s의 비대칭 연결과 433.9Kb/s의 대칭 연결을 지원한다.

대역의 위치와 너비는 유럽과 미국이 83.5MHz 대

역에 79개의 RF 채널을 사용하고, 일본과 스페인, 프랑스는 이보다 더 작은 대역과 23개의 RF 채널만을 사용한다. 채널은 풀 듀플렉스(full duplex) 전송을 하기 위하여 TDD(Time-Division Duplex) 방식을 사용한다. 채널의 슬롯 간격은 625 μ s이고, 패킷의 전송은 보통 한 슬롯을 사용하지만 경우에 따라 3개 혹은 5개의 슬롯까지 확장 사용이 가능하다. 그림 1에 블루투스 네트워크의 구성을 나타내었다.

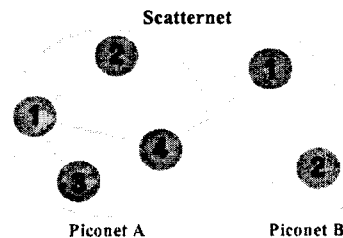


그림 1. 블루투스 네트워크의 구성

*BK21 대전·충남 정보통신인력양성사업단 연구조교(RA) 수혜

블루투스 시스템에서 2개 이상의 기기가 동일한 채널을 공유하는 피코넷(Piconet)은 주파수 호핑 패턴 생성을 관리하는 1개의 마스터에 최대 7개의 활성화된 슬레이브 장치가 연결될 수 있고, 더 많은 슬레이브가 파크된 상태로 마스터와 연결될 수도 있다. 여러 개의 피코넷이 모여 스캐터넷(Scatternet)이 형성된다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서는 블루투스 베이스밴드 시스템의 전체구성과 동작에 대해서 기술하고, 또한 기본적인 패키지 구성에 대해 설명하였으며 3장에서는 블루투스 베이스밴드 시스템의 설계 및 검증에 대해서 설명하였다. 마지막으로 4장에서는 본 논문에 대해서 결론을 맺었다.

II. 베이스밴드 시스템 구성

2.1 전체 구성

블루투스 시스템은 Host, Host/Link Controller (HC/LC), Link Manager(LM), Baseband(BB)의 네 개의 계층으로 이루어진다.

그림 2는 베이스밴드의 전체 블록도를 나타내었다. 전체 블록도는 그림에서 보는 바와 같이 크게 패킷 생성 블록, HEC(Header Error Check)와 CRC(Cyclic Redundancy Check)기능블록, Whitening/Dewhitening 기능블록, 암호화/복호화 기능블록, FEC 기능블록, 입출력 블록(TX, RX 버퍼), 클럭 생성 기능블록, 주파수 선별 기능블록, 오디오 기능블록 그리고, 패키지 제어 블록들로 구성된다.

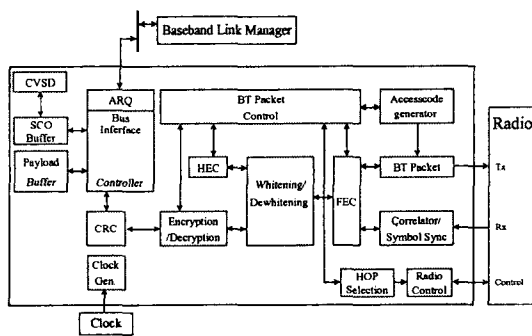


그림 2. 베이스밴드 시스템의 전체구조

전체적인 시스템을 구성하는 주요 블록들의 동작을 간략히 설명하면 다음과 같다.

- 패킷생성 블록은 다른 장치와 통신하기 위해 송수

신하는 데이터를 생성하는 블록이다. 패킷은 접근코드 (AC: Access Code), 헤더(Header), 페이로드(Payload)로 구성된다.

- HEC 와 CRC 기능블록은 헤더와 페이로드 안에 포함되어 에러와 잘못 전송된 패킷을 검사한다.

- Whitening/Dewhitening 기능블록은 HEC 와 CRC 모듈을 거친 패킷을 랜덤화하고 불필요한 패턴과 DC 바이어스를 최소화시키는 기능을 한다.

- 암호화/복호화 기능블록은 페이로드를 암호화하여 보호할 수 있고, 접근코드와 헤더는 암호화되지 않는다.

- FEC 기능블록은 패킷의 에러를 정정하는 기능으로 재전송의 수를 최소로 줄이기 위해 사용한다. 패킷 헤더는 항상 1/3 FEC로 보호하며, DM, DV, FHS, HV2 패킷은 2/3 FEC로 보호한다.

- 패킷 입출력 블록(RX, TX 버퍼)은 ACL (Asynchronous Connection-Less) 비동기 채널링크와 SCO(Synchronous Connection-Oriented) 동기 채널링크를 구분하여 전송한다.

- 클럭 생성 기능블록은 기기의 전송 타이밍과 호핑을 결정하는 내부클럭을 생성한다. 피코넷이 형성될 때, 슬레이브는 내부클럭에 오프셋을 더하여 마스터 클럭과 동기화시킨다.

- 주파수 선별 기능블록은 피코넷 연결상태에서 의 사랜덤 열을 구성하여 79-hop과 23-hop으로 나뉜다. 79-hop 시스템에서는 64MHz 32개의 주파수 세그먼트가 선택되고, 23-hop 시스템에서는 32MHz 16 세그먼트 크기가 된다.

- 블루투스 오디오 기능블록은 Log PCM과 CVSD 코덱을 사용하며, Log PCM은 64Kbps 정보 스트림을 지원하고, A-law나 μ -law 압축을 사용한다. CVSD는 델타변조를 사용하며, 선형 PCM 입력을 웨이브 폼에서 출력비트와 비교한다.

2.2 블루투스의 연결절차

블루투스의 초기상태는 다른 장치와 연결되지 않은 스탠바이 상태이다. 다른 장치와 통신할 수 있는 피코넷을 구성하기 위해서는 반드시 inquiry 와 paging 과정을 거쳐야 연결상태가 된다. Inquiry 과정은 새로운 기기를 발견하는데 사용되며 paging 과정과 함께 실제 접속을 이룰 수 있는 절차이다. 그림 3은 두 개의 블루투스 시스템이 연결되는 절차와 상태를 나타내었다. 먼저 피코넷을 구성하기 위해서는 시스템의 role 을 마스터나 슬레이브로 선택하고, 마스터를 선택한

블루투스 시스템은 초기에 스탠바이 상태가 되어 inquiry 과정을 수행한다. 슬레이브 role 을 선택한 시스템은 마스터의 inquiry 메시지를 검색하기 위해서 inquiry 스캔모드로 동작한다. 이러한 메시지는 패킷 형식으로 전송하게 되며, 패킷을 받은 시스템은 연속적인 응답절차를 수행하여 피코넷을 구성하고, 실제 데이터를 주고받을 수 있는 연결상태를 이룬다. 저전력상태의 Park, Sniff, Hold 모드는 연결상태에서 파워를 절약한다.

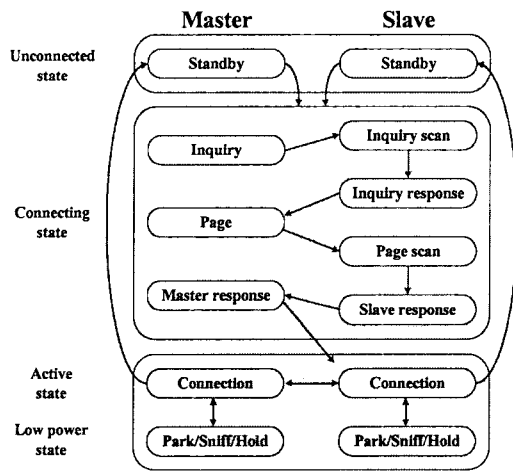


그림 3. 블루투스 시스템의 연결절차 흐름도

2.3 패킷의 구성

피코넷 채널에서 데이터 전송은 패킷을 통하여 이루어진다. 기본적인 패킷구조는 접근코드, 헤더, 페이로드 세 부분으로 구성되며 그림 4에 나타내었다. 패킷의 비트 전송순서는 LSB 부터 전송 및 해석되고, MSB 는 가장 나중에 전송한다.

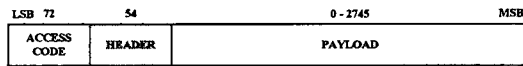


그림 4. 블루투스 패킷형식

패킷은 접근코드, 접근코드+헤더, 접근코드+헤더+페이로드 형식으로 구성될 수 있다. 헤더가 없는 경우에는 paging 과 inquiry 과정에 사용되며 접근코드도 68 비트가 된다. 동일한 피코넷에서 패킷전송은 모두 채널접근코드(CAC: Channel Access Code)형식의 패킷을 갖는다. 이 접근코드는 Preamble, Sync word,

Trailer의 3부분으로 구성되며 72비트이다.

패킷의 헤더는 10비트의 정보에 8비트 HEC 비트를 추가하여 18비트로 구성되지만, 1/3 FEC 로 인코딩되어 총 54비트를 이루게 된다. 헤더는 피코넷 안에 활성으로 연결되어 있는 장치를 식별할 수 있고, 전송되는 패킷의 타입과 연결 형태를 나타낸다. 마스터와 슬레이브 사이에 형성될 수 있는 연결은 SCO 와 ACL 두 가지 종류가 있다. SCO 는 음성데이터를 전송하고, 마스터에서 슬레이브 방향으로 슬롯을 예약하여 슬레이브에 제공하게 된다. ACL 은 SCO 가 예약하지 않은 슬롯에서 마스터가 데이터 패킷만을 전송시킬 수 있는 한 개의 링크를 제공한다. 표 1에 16개 타입의 패킷과 SCO, ACL 을 구분하여 나타내었다. 4개의 Null, Poll, FHS, DM1 은 모든 링크에 공통인 제어 패킷이고, ACL 은 일반 데이터 패킷, SCO 는 음성 패킷을 나타낸다. DV 는 데이터와 음성 패킷이 결합된 것이다.

표 1. 헤더타입에 따른 SCO와 ACL 구별

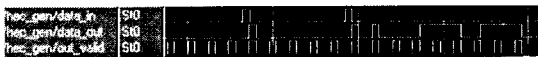
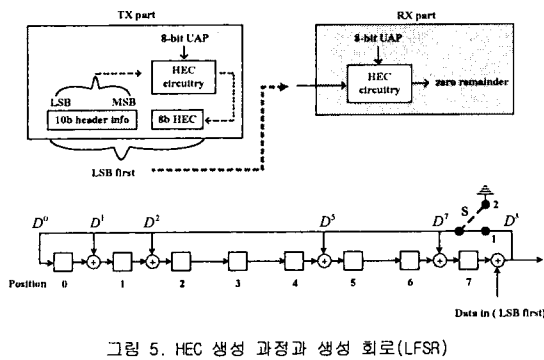
Segment	TYPE code b3b2b1b0	Slot occupancy	SCO Link	ACL link
1	0000	1	NULL	NULL
	0001	1	POLL	POLL
	0010	1	FHS	FHS
	0011	1	DM1	DM1
2	0100	1	undefined	DH1
	0101	1	HV1	undefined
	0110	1	HV2	undefined
	0111	1	HV3	undefined
	1000	1	DV	undefined
3	1001	1	undefined	AUX1
	1010	3	undefined	DM3
	1011	3	undefined	DH3
	1100	3	undefined	undefined
4	1101	3	undefined	undefined
	1110	5	undefined	DM5
	1111	5	undefined	DH5

III. 베이스밴드 시스템설계 및 검증

설계한 블루투스 시스템의 블록들은 Verilog HDL 로 코딩하였으며, ModelSim 툴을 사용하여 시뮬레이션 및 검증을 수행하였다. 시뮬레이션을 통해 검증된 대표적인 주요 기능들은 다음과 같다.

- 패킷의 전송절차 기능
- ACL/SCO 처리 기능
- HEC 와 CRC 의 생성/체크 기능
- Whitening/Dewhitening 기능
- FEC 1/3, FEC 2/3 기능
- 주파수 발생과 선별 기능
- 음성 데이터 전송 기능(CVSD)

위의 대표적인 주요기능들 중 HEC 와 CRC 생성/체크 기능과 Whitening/Dewhitening 기능을 포함한 패킷의 전송절차 기능을 예로 들어 설명하겠다. 먼저 전송절차 기능에 사용되는 각 세부블록에 대한 동작과 검증을 설명하고, 마지막으로 전체 송수신 절차에 대해서 설명하겠다. 첫 번째 기능블록인 HEC 의 생성 절차를 그림 5 에 나타내었다. 또한 그림 6 에는 HEC 의 검증 과정을 나타내었다.



패킷을 전송하기 위해 필요한 블루투스의 장치주소 (Device Address)는 총 48비트로 LAP (Lower Address Part: 24bit)와 UAP (Upper Address Part : 8bit), 그리고 NAP (None-significant Address Part : 16bit)로 구성되는데 LAP 는 접근코드 패킷을 만들 때 사용하고, UAP 는 HEC 와 CRC 패킷을 만들 때 오류와 잘못된 주소를 검사하기 위하여 사용한다. 만약 동일한 접근코드패킷이 수신되어도 UAP가 일치하지 않으면 HEC 와 CRC를 체크하여 제거하게 된다.

HEC 패킷은 10비트 헤더정보비트에 8비트 HEC 를 LFSR 다항식 $g(D)=(D+1) (D^7+D^4+D^3+D^2+1) =$

$D^8+D^7+D^5+D^2+D+1$ 을 이용하여 총 18비트 헤더를 생성하게 된다.

그림 7 에 LFSR을 이용한 CRC 생성회로를 나타내었다. 16비트 CRC 코드는 다항식 $g(D) = D^{16}+D^{12}+D^5+1$ 을 이용하여 생성된다. 여기에서 LSB 부터 상위 8비트는 UAP 값으로 로드되고 나머지 8비트는 0 으로 초기화된다.

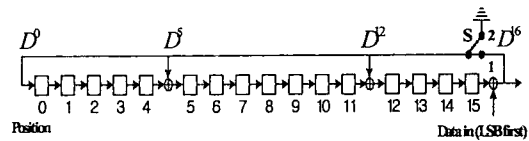
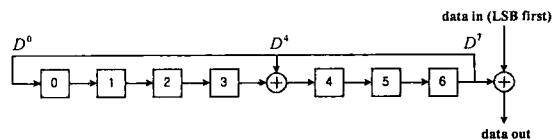


그림 8 은 LFSR을 이용한 Whitening 회로를 나타내었다. 데이터의 Whitening 은 생성된 HEC 와 CRC 를 전송하기 전에 Whitening 워드로 데이터를 랜덤화 하고 불필요한 패턴을 최소화하는 역할을 한다. 수신측에서는 수신된 데이터를 FEC 디코딩한 후에 동일한 Whitening 워드를 이용하여 Dewhitening 을 하게 된다. Whitening 워드의 다항식은 $g(D)=D^7+D^4+1$ 로 생성되어 헤더와 페이로드를 생성한다.



블루투스의 음성 코딩은 무선 인터페이스에서 Log PCM 이나 CVSD 를 사용한다. Log PCM 은 64Kbps 정보 스트림을 지원하며, 유선 인터페이스에서는 A-law, 무선 인터페이스에서는 μ -law 압축이 적용된다.

CVSD 는 델타변조방식을 사용하며, 이 변조방식은 무선 인터페이스에서 보다 강력한 음성포맷을 지원한다. CVSD 는 웨이브 폼에서 64K sample/s 의 선형 PCM 이 입력되어 출력비트와 비교하는 시스템이다.

그림 9 에 CVSD 의 인코더 회로를 나타내었고, 그림 10 에는 CVSD 의 디코더 회로를 나타내었다.

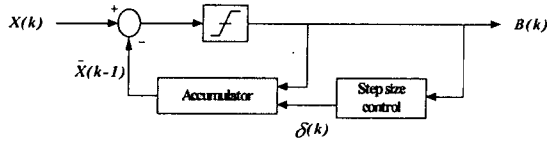


그림 9. CVSD 를 위한 인코더 회로

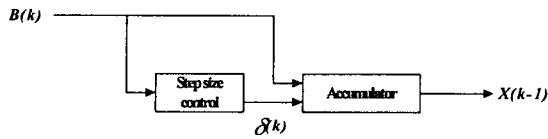


그림 10. CVSD 를 위한 디코더 회로

그림 11 에 베이스밴드 시스템의 전체적인 데이터 흐름을 블록도로 나타내었다. 패킷의 전송절차는 HEC/CRC 발생기와 Whitening, FEC 인코더를 거쳐 패킷을 전송하게 되고, 수신절차는 전송과 반대로 FEC 디코딩, Dewhitening, HEC/CRC 체크 과정을 거치게 된다. 페이로드 전송은 타입에 따라서 CRC 발생기와 FEC 를 선택적으로 거치게 된다. FEC 는 패킷의 타입에 따라 FEC 1/3 혹은 FEC 2/3 인코더/디코더로 구별된다. 그림 12 에 베이스밴드의 송수신 절차를 검증한 파형을 나타내었다.

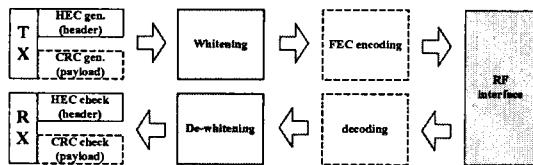


그림 11. 블루투스 베이스밴드의 송수신 절차에 대한 블록도

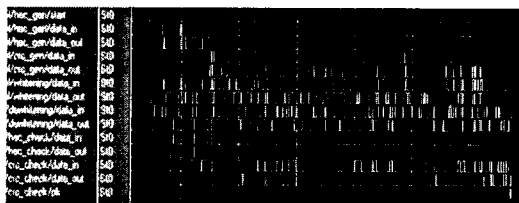


그림 12. 블루투스 베이스밴드 송수신 검증 파형

전체 송수신 절차에 대한 시뮬레이션은 두 개의 블루투스 모듈을 마스터와 슬레이브로 맞물려 놓고,

마스터에서 HEC 와 CRC 를 거쳐 전송한 패킷과 슬레이브에서 수신한 패킷을 비교하여 올바른 송수신이 이루어짐을 확인하는 방식으로 수행하였다.

검증과정에서 볼 수 있듯이 마스터 전송과정인 hwc_gen/data_in 과 crc_gen/data_in 파형이 슬레이브 수신과정인 hwc_check/data_out, crc_check/data_out과 동일함을 확인함으로써 올바른 송수신 동작이 이루어짐을 검증할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 블루투스 베이스밴드 시스템을 Verilog HDL 로 설계하고 시뮬레이션을 통해 올바른 동작을 검증하였다. 설계된 베이스밴드 시스템은 크게 클럭 생성 기능블록, 주파수 선별 기능블록, 패킷 제어 블록, 오디오 기능블록, 그리고 송신 및 수신을 위한 Whitening/Dewhitening 기능블록들로 구성되며 ModelSim 틀을 이용하여 검증을 수행하였다

설계된 전체 베이스밴드 시스템을 검증하기 위해 우선 HEC, CRC, Whitening 등의 세부 기능블록에 대해서 기능 검증을 거친 후 전체 시스템에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 검증 결과 모든 동작이 정상적으로 동작함을 확인하였으며, 향후 본 논문에서 설계한 베이스밴드 시스템을 FPGA 로 구현할 예정이다.

[참고문헌]

- [1] Specification of the Bluetooth system, Core, v1.0B Dec 1999
- [2] Specification of the Bluetooth system, Profile, v1.0B, Dec 1999
- [3] Bluetooth special interest group
<http://www.bluetooth.com>
- [4] ERICSSON Bluetooth Solutions, ERICSSON, Sep 1999
- [5] "BlueCore™ Evaluation System", CSR (Cambridge Silicon Radio), May 2000
- [6] Charles F Sturman, "Bluetooth-Connect without Cables", Prentice Hall, 2000
- [7] Nathan J. Muller, "Bluetooth Revealed", McGraw-Hill, 2000
- [8] Brent Miller, "Data over Wireless Networks", Drentice-Hill, 2000