

블루투스 기저대역 시스템 설계

백은창[†] · 조현묵^{**}

요 약

본 논문에서는 블루투스 표준 1.0b를 기반으로 이동전화, 노트북, PDA 등 각종 이동 가능한 장치들을 무선으로 연결시켜주는 근거리 무선통신용 블루투스의 기저대역 시스템을 설계하였다. 즉, 기저대역 시스템의 각 기능블록인 패킷생성 블록, HEC와 CRC 기능블록, Whitening/Dewhitening 기능블록, FEC 기능블록, 입출력 블록(TX, RX 루틴), 클럭 생성 기능블록, 주파수 선별 기능블록, 그리고, 패킷 제어 블록 및 전체 데이터 처리절차를 Verilog HDL 코드로 설계하였으며, Model Sim 툴을 이용하여 기능을 검증하였다.

Design of Bluetooth baseband System

Eun-Chang Baek[†] and Hyun-Mook Cho^{**}

ABSTRACT

In this paper, it is designed and verified the baseband system that performs various protocol functions of specification of the Bluetooth system. In order to verify the developed circuits, various baseband functions are tested by using the ModelSim simulator. The developed circuits operate at 4MHz main clock. Test suite includes hop selection function, generation of the sync word, error correction(1/3 rate FEC, 2/3 rate FEC), HEC generation/checking, CRC generation/checking, data whitening/dewhitening and packet trans/reception procedure. etc. As a result of the simulation, it is verified that the developed baseband system conform to the specification of the Bluetooth system.

Key words: Bluetooth, Baseband system, Packet, Protocol

1. 서 론

블루투스는 PDA, 휴대전화, 노트북 등을 인터넷 또는 각 장치들을 무선으로 연결 시켜주는 근거리 무선 규격이다. 이 규격은 정해진 거리 내에서 일반 컴퓨터와 프린터, 스캐너 등의 주변기기를 무선으로 통신 할 수 있도록 함으로써 컴퓨터 주변에 지저분하고 복잡하게 널린 케이블들을 제거하여 하나의 무선 연결을 가능하게 해주는 시스템이다. 또한 여러 무선 시스템 중에서 블루투스가 갖는 저렴한 가격, 적은 전력소모, 모듈의 소형화 등의 특징에 힘입어 범용성이 높은 차세대 무선통신의 표준으로 자리잡아가고 있다.

블루투스 시스템은 FCC의 면허가 필요없는 누구나 사용할 수 있는 2.4 GHz대 ISM(Industrial, Scientific, Medicine) 대역의 주파수를 사용하여 최대 10m 내에서 각종 단말기들을 무선 접속해 사용할 수 있다. 대역폭 1MHz의 채널을 79개 설정(2.402 ~ 2.480 GHz), 1초간에 1,600 회 채널을 바꾸는 주파수 이동대역 확산방식(FHSS) 기술로 전파를 송수신 함으로써 같은 주파수대에서 작동하는 다른 시스템들과 비교하여 빠르고 짧은 패킷으로 간섭과 페이딩을 최소화할 수 있다. 전송 속도는 음성 채널이 64Kb/s의 동기화 된 연결을 지원하고, 비동기 채널인 데이터 전송은 최대 723.2Kb/s의 비대칭 연결과 433.9 Kb/s의 대칭 연결을 지원한다. 채널은 풀 듀플렉스(full duplex) 전송을 하기 위하여 TDD(Time-Division Duplex) 방식을 사용하고, 슬롯 간격은 625 μ s

[†] 준회원, 공주대학교 전기전자정보공학과 (공학석사)

^{**} 정회원, 공주대학교 정보통신공학부 부교수

이다. 패킷의 전송은 보통 한 슬롯을 사용하지만 경우에 따라 3개 혹은 5개의 슬롯까지 확장 사용이 가능하며, 단일 네트워크인 피코넷에서 최대 8개의 기기가 연결될 수 있으며 독립적인 피코넷이 모여 스캐터넷을 이룰 수 있다. 이러한 기능을 갖는 블루투스 기저대역 시스템의 패킷 생성 및 검증을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서는 블루투스 기저대역 시스템의 구성에 대하여 기술하였으며, 3장에서는 블루투스 기저대역 시스템의 설계 및 검증에 대해서 설명하였다. 마지막으로 4장에서 본 논문의 결론을 맺었다.

2. 기저대역 시스템 구성

2.1 블루투스의 네트워크 구성

블루투스의 초기상태는 다른 장치와 연결되지 않은 스탠바이 상태이다. 다른 장치와 통신할 수 있는 피코넷을 구성하기 위해서는 반드시 inquiry와 paging 과정을 거쳐야 연결상태가 된다. Inquiry과정은 새로운 기기를 발견하는데 사용되며 paging 과정과 함께 실제 접속을 이룰 수 있는 절차이다. 그림 1은 두 개의 블루투스 시스템이 연결되는 절차와 상태를 나타내었다. 먼저 피코넷을 구성하기 위해서는 시스템의 역할을 마스터나 슬레이브로 분별되고, 마스터를 간주된 블루투스 시스템은 초기에 스탠바이 상태가 되어 inquiry 과정을 수행한다. 반면 슬레이브 시

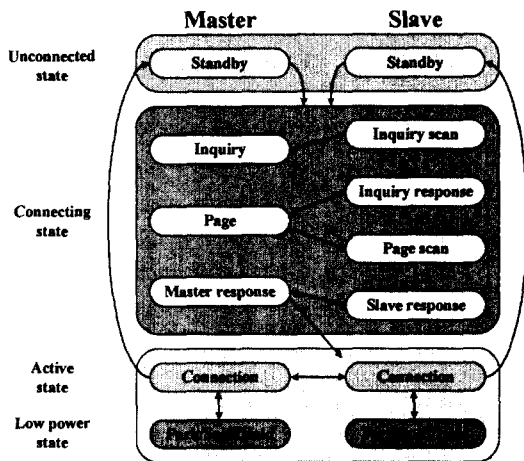


그림 1. 블루투스 시스템의 연결절차 흐름도

스템은 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. 저전력 상태의 Park, Sniff, Hold 모드는 연결상태에서 파워를 절약할 수 있다.

이러한 연결절차가 수행된 후 블루투스 장치간의 네트워크를 구성한다. 블루투스의 네트워크인 피코넷은 2개 이상의 기기가 동일한 채널을 공유하는 블루투스 시스템의 최소 연결상태이며 주파수 호핑 패턴 생성을 관리하는 1개의 마스터에 최대 7개의 활성화된 슬레이브 장치가 연결될 수 있고, 더 많은 슬레이브가 파크된 상태로 마스터와 연결될 수도 있다.

2.2 패킷의 구성

피코넷 채널에서 데이터 전송은 패킷을 통하여 이루어진다. 기본적인 패킷구성은 접근코드, 헤더, 페이로드 세 부분으로 구성되며 그림 2에 나타내었다. 패킷의 비트 전송순서는 LSB 부터 전송 및 해석되고, MSB는 가장 나중에 전송한다.

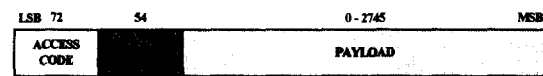


그림 2. 블루투스 패킷형식

패킷은 접근코드, 접근코드+헤더, 접근코드+헤더+페이로드 형식으로 구성될 수 있다. 헤더가 없는 패킷은 paging과 inquiry 과정에 사용되며 접근코드도 68비트가 된다. 동일한 피코넷에서 패킷전송은 모두 채널접근코드(CAC: Channel Access Code) 형식의 패킷을 갖는다. 이 접근코드는 Preamble, Sync word, Trailer의 세 부분으로 구성되며 72비트이다.

패킷의 헤더는 10비트의 정보에 8비트 HEC 비트를 추가하여 18비트로 구성되지만, 1/3 FEC 로 인코딩되어 총 54비트를 이루게 된다. 헤더는 피코넷 안에 활성화로 연결되어 있는 장치를 식별할 수 있고, 전송되는 패킷의 타입과 링크 형태를 나타낸다.

2.3 물리 채널

채널 내에서 패킷을 전송할 때 그림 3과 같이 시간

분할(TDD) 방식을 이용하여 패킷을 전송한다. 시간 분할방식은 일정한 시간슬롯을 나누어 패킷을 전송하는 방식이다. 시간슬롯의 간격은 $625\mu s$ 이고 마스터의 클럭에 따라 번호가 매겨진다. 시간슬롯의 번호는 $0 \sim 2^{27}-1$ 이고, 2^{27} 의 주기 길이로 순환한다. 마스터는 짝수 시간슬롯에서 패킷을 전송할 수 있고, 슬레이브는 홀수의 시간슬롯에서만 패킷을 전송할 수 있다. 마스터와 슬레이브가 자신의 전송시간에만 패킷을 전송하여 패킷의 충돌을 방지할 수 있다. 패킷을 전송할 때 시간슬롯도 시작되며, 마스터나 슬레이브의 전송 패킷은 3~5개의 시간슬롯까지 점유하여 사용할 수 있다.

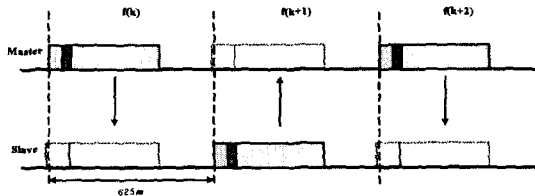


그림 3. 시간분할방식의 패킷 전송

블루투스 시스템은 SCO(Synchronous Connection Oriented)와 ACL(Asynchronous Connection-Less) 두 가지 형태의 연결방식을 제공한다. SCO 링크는 대칭적이고 마스터와 특정 슬레이브 사이에 점-점 링크이며 슬롯을 예약하고, 음성과 같은 시간을 제한하는 정보를 지원한다. 마스터는 동일한 슬레이브나 다른 종류의 슬레이브에 3개까지의 SCO 링크를 제공할 수 있으며, 슬레이브는 동일 마스터로부터 3개의 SCO 링크를 지원 받지만 마스터가 다른 경우에는 2개까지의 SCO 링크를 지원 받는다. SCO 패킷은 음성 정보를 갖고 있기 때문에 오류가 생기더라도 재전송되지 않는다. ACL 링크는 점-다점 링크이며 SCO 링크로 예약되지 않은 임의의 장치와 패킷을 교환할 수 있다. ACL 링크는 마스터와 모든 활성 슬레이브 사이에 패킷 교환접속을 제공한다. 마스터와 슬레이브 사이에는 한 개의 ACL 링크만이 존재하고, 데이터의 안전성을 보장하기 위하여 패킷을 재전송할 수 있다.

3. 기저대역 시스템 설계 및 검증

3.1 전체 구성

블루투스 프로토콜의 구조는 그림 4와 같이 나타

낼 수 있으며 크게 어플리케이션, L2CAP, Link Manager, 기저대역, RF 계층으로 나뉜다.

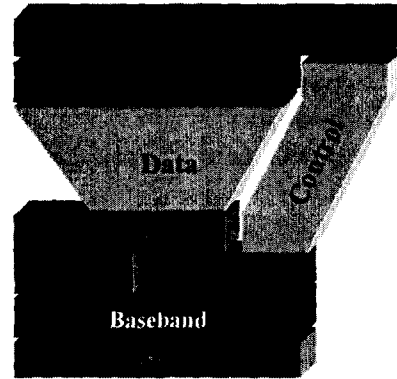


그림 4. 블루투스 프로토콜의 구조

그림에 나타내었듯이 블루투스는 하드웨어와 작동하는 기저대역과 링크를 관리하는 LMP(link management protocol)가 있다. LMP는 다른 기기의 Link Manager를 찾아 LMP를 통해 통신하게 된다. L2CAP(logical link control and adaptation protocol)은 기저대역의 상위에서 프레임 구성하거나 오류 제어, 인증, 암호화 등을 정의한다. 블루투스는 비동기 데이터와 동기 음성 데이터를 지원한다. 블루투스에서는 어플리케이션을 프로파일이라고 하며 따로 정의되어있다. 본 논문에서는 블루투스의 기저대역 계층에 대해서 기술하였다. 그림 5는 기저대역 시스템의 전체적인 구조를 나타내었다.

기저대역 시스템의 블록구조는 크게 패킷생성 블록, HEC(Header Error Check)와 CRC(Cyclic Redundancy Check)기능블록, Whitening/Dewhitening 기능블록, 암호화/복호화 기능블록, FEC 기능블록,

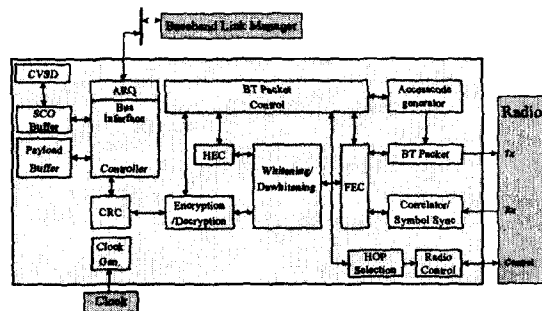


그림 5. 기저대역 시스템의 전체구조

입출력 블록(TX, RX 버퍼), 클럭 생성 기능블록, 주파수 선별 기능블록, 오디오 기능블록 그리고, 패킷 제어 블록 등으로 구성된다.

전체적인 시스템을 구성하는 주요 블록들의 동작을 간략히 설명하면 다음과 같다.

- 패킷생성 블록은 다른 장치와 통신하기 위해 송수신하는 데이터를 생성하는 블록이다. 패킷은 접근코드(AC: Access Code), 헤더(Header), 페이로드(Payload)로 구성된다.

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

- Whitening/Dewhitening 기능블록은 HEC와 CRC도움을 거친 패킷을 랜덤화하고 불필요한 패턴과 DC바이어스를 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 동기화 시킨다.

- 주파수 선별 기능블록은 피코넷 연결상태에서 의사랜덤 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 웨이브폼에서 출력비트와 비교한다.

설계한 블루투스 시스템의 블록들은 Verilog HDL로 코딩하였으며, ModelSim 툴을 사용하여 시뮬레

이션 및 검증을 수행하였고, 설계한 블루투스 기저대역 시스템의 시뮬레이션 동작주파수는 5GHz를 기본주파수로 사용하였으며, 또한 기본 동작주파수를 9.76MHz와 4.88MHz로 분주하여 사용하였다. 시뮬레이션을 통해 검증된 대표적인 주요 기능에 대해 설명하겠다.

3.2 주파수 발생과 선별 기능

마스터와 슬레이브 장치간의 간섭 현상을 줄이기 위해서는 스펙트럼 확산 방식을 이용할 수 있다. 통신 중에 무선 송수신기는 의사랜덤(pseudo random) 방법으로 한 채널에서 다른 채널로 도약을 하는데, 순간적인 홉의 대역폭은 작지만 전체 주파수 대역에 대하여 확산이 이루어진다. 이러한 스펙트럼 확산에 따라 피코넷에 있는 모든 기기는 호핑 채널을 따르기 위하여 마스터의 주소와 클럭을 사용한다. 통신장치가 피코넷에 참여하지 않을 때는 대기상태가 되며 주기적으로 호출 메시지를 체크한다. 수신된 비트의 대부분이 접근코드와 일치하면 장치는 자신을 활성화시키고 연결설정 절차를 취한다. 호출장치와 수신장치가 같은 통화대기 캐리어를 선택하면 수신장치는 접근코드를 수신하고 승인신호를 되돌려 보낸다. 그런 후에 호출장치는 그 장치의 주소와 현재 클럭을 포함하고 있는 패킷을 전송한다. 수신장치는 이 패킷을 승인한 후에 각각의 장치는 홉 선택을 하기 위하여 호출장치의 파라미터를 사용하여 호출장치가 주로 동작하는 피코넷을 형성한다. 그림 6과 그림 7은 79-홉 시스템에서의 홉 선택 블록다이어그램과 검증 파형을 나타낸 것이다.

홉 선택을 위해 32-홉 세그먼트에서 입력 X가 정해지면 마스터에서 슬레이브로 혹은 슬레이브에서 마스터로 전송역할을 Y1, Y2로 선택된다. A에서 D

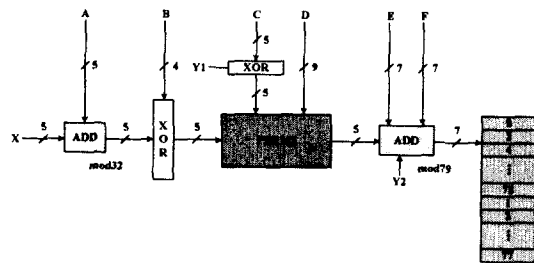


그림 6. 79-홉 선택 블록다이어그램

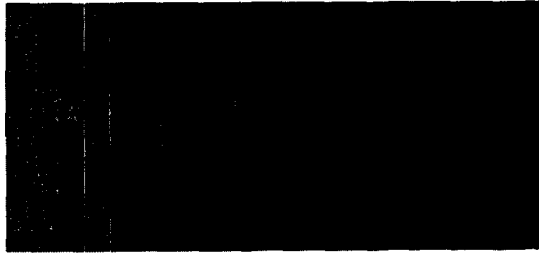


그림 7. 79-홉 선택 블록다이어그램의 검증 패형

까지는 세그먼트내의 명령으로 정해지고, E와 F는 호핑 주파수의 값으로 결정된다. 커널은 호핑 주파수에 포함된 레지스터에 신청을 하게 된다. 이렇게 신청된 목록은 먼저 짝수 호핑 주파수를 모두 작성하고 난 다음 홀수 호핑 주파수를 모두 작성하게 된다. 79-홉 선택 블록다이어그램의 동작주파수는 5GHz를 사용하였고, Y1의 마스터/슬레이브의 선택은 2.44MHz의 주파수로 반복된다. 홉 시퀀스는 다음의 세 가지 형태의 클럭 사이에서 판별하게 된다.

- CLK₂₇₋₀ : 현재의 피코벳의 마스터 클럭
- CLKN₂₇₋₀: 기기의 원래 클럭
- CLKE₂₇₋₀: 호출된 기기의 초기 클럭

CLKE는 수신기의 근사화를 위해 오프셋과 호출자의 CLKN을 합한 것이다.

주파수 선별기능 블록 내의 교환동작은 79-홉 시스템에서는 5입력-5출력으로 23-홉 시스템에선 4입력-4출력으로 교환된다. 79-홉 시스템의 교환동작은 표 1을 이용하여 그림 8과 같이 나타낼 수 있다. 이러한 79-홉 시스템의 교환동작은 7개의 스테이지로 구성되며 버터플라이 연산으로 교환이 이뤄진다. 교환동작의 검증 패형은 그림 9에 나타내었다.

그림 10과 그림 11은 79-홉 시스템의 교환동작 중 버터플라이 연산에 대한 회로와 검증 패형 나타낸

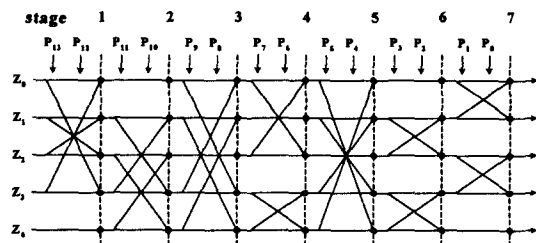


그림 8. 79-홉 시스템의 교환동작

표 1. 79-홉 시스템의 버터플라이

Control signal	Butterfly
P ₀	{Z ₀ ,Z ₁ }
P ₁	{Z ₂ ,Z ₃ }
P ₂	{Z ₁ ,Z ₂ }
P ₃	{Z ₃ ,Z ₄ }
P ₄	{Z ₀ ,Z ₄ }
P ₅	{Z ₁ ,Z ₃ }
P ₆	{Z ₀ ,Z ₂ }
P ₇	{Z ₃ ,Z ₄ }
P ₈	{Z ₁ ,Z ₄ }
P ₉	{Z ₀ ,Z ₃ }
P ₁₀	{Z ₂ ,Z ₄ }
P ₁₁	{Z ₁ ,Z ₃ }
P ₁₂	{Z ₀ ,Z ₃ }
P ₁₃	{Z ₁ ,Z ₂ }

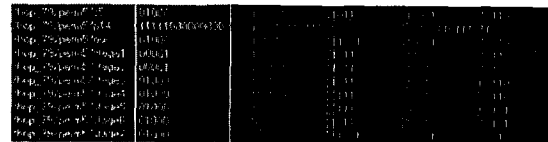


그림 9. 79-홉 시스템의 교환동작의 검증 패형

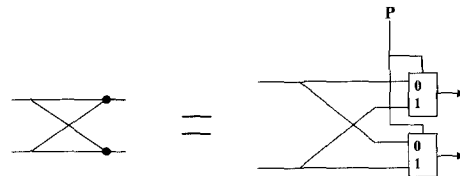


그림 10. 버터플라이 연산회로



그림 11. 버터플라이 연산의 검증 패형

것이다. 버터플라이 연산은 P가 0이면 현재 입력을 유지하여 출력하고, P가 1이면 두 입력을 교환하여 출력하는 방식이다.

3.3 Sync Word 생성 기능

Sync 워드는 64비트 전체길이 PN 열의 중첩으로 삭제 블록 코드에 기반으로 한다. 삭제코드는 다른 주소에 기초한 Sync 워드 사이에 커다란 해밍간격을 보장한다. PN 열은 접근코드의 자동상관 특성을 개선시킨다. Sync 워드의 생성과정은 다음과 같다.

- ① 정보 열을 생성한다.

- ② PN 중첩 열의 “정보 커버링” 부분과 XOR한다.
- ③ 코드워드를 생성한다.
- ④ PN 중첩 열의 모든 64비트와 코드워드를 XOR한다.

그림 12와 그림 13은 Sync 워드의 생성절차와 검증 과정을 나타내었다.

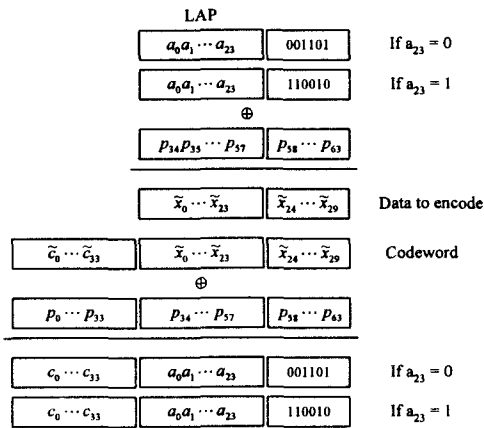


그림 12. Sync word의 생성절차



그림 13. Sync word의 검증 과정

시뮬레이션 과정에서 볼 수 있듯이 Sync 워드는 동작주파수 5GHz에 동기되어 생성된다. Sync 워드는 24비트 LAP에 6비트를 추가하여 정보 열을 생성한다. 추가된 비트는 LAP의 MSB가 0이면 001101, 1이면 110010이다. 생성된 정보 열은 PN열의 비트와 XOR되어 스크램블 된다. 코드워드가 생성한 후에 완전 PN 열은 코드워드에 XOR된다. 이 단계는 코드워드의 정보부분을 디스크램블 한다. 동시에 코드워드의 패리티 비트가 스크램블 되고, 원래의 LAP와 바카열은 접근코드 Sync 워드의 부분의 역할이 보장되고, 주기적 특성이 제거된다.

3.4 HEC 생성 기능

HEC 생성블록은 에러와 잘못 전송되는 패킷을 CAC, 헤더의 HEC, 페이로드의 CRC를 사용하여 검사할 수 있다. 패킷을 수신할 때 가장 먼저 접근코드를

를 검사한다. CAC 안에 64비트 Sync 워드는 마스터의 24비트 LAP로 구해지기 때문에 LAP가 올바른지 검사하여 수신자가 다른 피코넷의 패킷을 수용하는 것을 방지한다. 8비트 UAP는 HEC와 CRC 패킷을 만들 때 오류와 잘못된 주소를 검사하기 위하여 사용한다. 만약 동일한 접근코드 패킷이 수신되어도 UAP가 일치하지 않으면 HEC와 CRC를 체크하여 제거하게 된다 그러나 Inquiry Response 상태에서 FHS 패킷은 HEC와 CRC에 동일한 UAP를 사용하지 않는다. 이 경우에는 DCI(Default Check Initialization)를 사용하고, DCI는 0x00으로 정의된다. HEC나 CRC를 연산하기 전에 HEC/CRC 생성기 안에 쉬프트 레지스터는 8비트 UAP(또는 DCI)값으로 초기화된 후 HEC와 CRC 생성기로 옮겨진다. HEC 생성과 검사 기능을 그림 14에 나타내었다. HEC 패킷은 10비트 헤더 정보 비트에 8비트 HEC 비트를 추가하여 총 18비트 헤더를 생성하여 전송하게 된다.

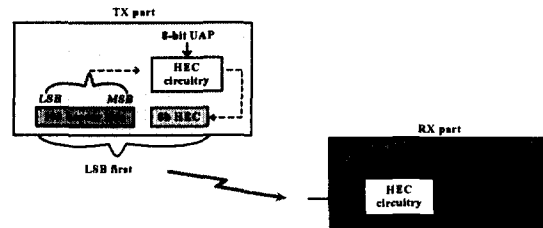


그림 14. HEC 생성과 검사

그림 15는 HEC 생성회로의 초기 상태를 나타내었다. 초기의 HEC 생성회로에는 8비트 UAP의 값이 미리 저장되어 LFSR의 UAP₀가 좌측 끝의 레지스터 요소가 되고, UAP₇이 우측 끝 요소가 된다.

그림 16은 LFSR을 이용한 HEC 생성회로를 나타내었고, 그림 17은 HEC 생성회로의 검증 과정을 나타내었다.

10비트 정보 비트에 추가되는 8비트 길이의 HEC 비트 생성 다항식은 $g(D)=(D+1)(D^7+D^4+D^3+D^2+1) = D^8+D^7+D^5+D^2+D+1$ 이다. 데이터는 스위치 S가 위치 1에 설정되어 쉬프트 된다. 마지막 데이터 비트가 LFSR로 클럭되고, 스위치 S는 위치 2에 설

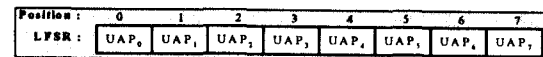


그림 15. HEC 생성회로의 초기상태

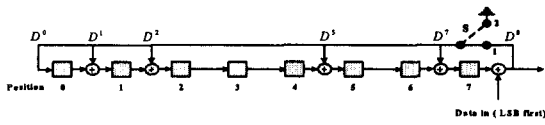


그림 16. HEC 생성회로



그림 17. HEC 생성블록의 검증 파형

정되어 레지스터에서 HEC의 LFSR 비트를 오른쪽에서 왼쪽으로 읽게된다. 즉, 오른쪽의 위치 7을 먼저 전송하고, 왼쪽으로 위치 0까지 전송되는 것이다.

3.5 CRC 생성 기능

CRC 생성과 검사기능을 그림 18에 나타내었고, 16비트 LFSR의 초기 상태는 그림 19에 나타내었다. CRC의 16비트 LFSR 회로는 CRC-CCITT 생성 다항식 $g(D) = D^{16} + D^{12} + D^5 + 1$ 을 사용하여 생성되고, 페이로드의 정보 비트 뒤에 붙게된다. 초기에 8개의 왼쪽 비트는 8비트 UAP로 초기화되지만 나머지 8개의 오른쪽 비트는 0으로 설정된다.

그림 20은 LFSR을 이용한 CRC 생성회로를 나타내었고, 그림 21은 CRC 생성회로의 검증 파형을 나타내었다. 스위치 S는 위치 1로 설정되어 데이터가 쉬프트 된다. 마지막 비트가 LFSR 로 삽입된 후에

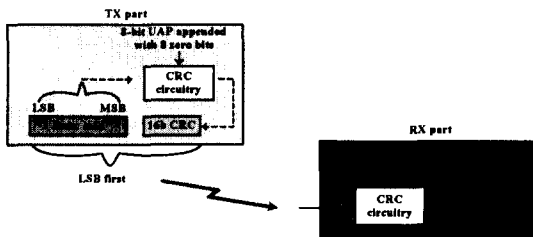


그림 18. CRC 생성과 검사

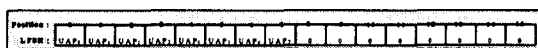


그림 19. CRC 생성회로의 초기상태

스위치는 위치 2로 설정되어 레지스터의 오른쪽에서 왼쪽으로 읽게된다. 즉, 오른쪽의 위치 15를 먼저 전송하고, 왼쪽으로 위치 0까지 전송되는 것이다.

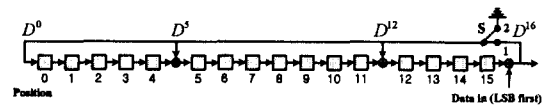


그림 20. CRC 생성회로

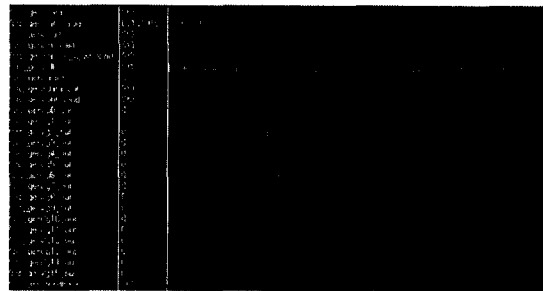


그림 21. CRC 생성블록의 파형

3.6 Whitening 생성 기능

데이터의 Whitening은 생성된 HEC와 CRC를 전송하기 전에 Whitening 워드로 데이터를 랜덤화하고 불필요한 패턴을 최소화하는 역할을 한다. 수신자는 수신된 데이터를 FEC 로 디코딩한 후 동일한 Whitening 워드를 이용하여 Dewhitening 을 하게 된다. Whitening 워드는 $g(D) = D^7 + D^4 + 1$ 의 생성 다항식을 사용하여 헤더와 페이로드를 생성하게 된다. 그림 22는 LFSR을 이용한 Whitening 회로를 나타내었고, 그림 23은 Whitening의 검증 파형을 나타

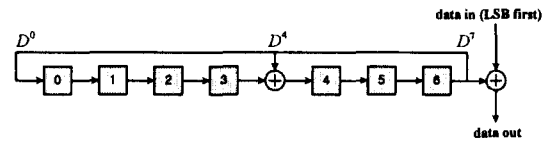


그림 22. Whitening 생성회로



그림 23. Whitening 생성블록의 파형

내었다.

3.7 패킷 전송/수신 절차

지금까지 설명한 주요기능들 중 HEC와 CRC 생성/체크 기능과 Whitening/Dewhitening 기능을 포함한 패킷의 전송절차 기능으로 블루투스 기저대역 시스템에서 패킷의 전체적인 송수신 절차를 설명할 수 있다. 기저대역 시스템의 전체적인 데이터 흐름의 블록도를 그림 24에 나타내었다.

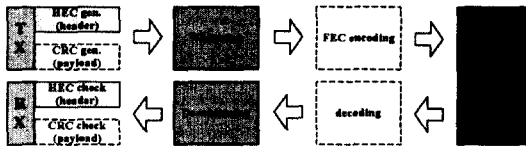


그림 24. 기저대역 시스템의 전체데이터 흐름

패킷의 전체적인 송수신 절차에서 전송절차를 살펴보면 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 FEC를 선택적으로 거치게 된다. FEC는 패킷의 타입에 따라 FEC 1/3 혹은 FEC 2/3 인코더/디코더로 구별된다. 그림 25에는 기저대역 시스템의 송수신 절차를 검증한 파형을 나타내었다.

송수신 검증 파형에서 볼 수 있듯이 마스터 전송 파형인 hec_gen/data_in과 crc_gen/data_in 파형이 슬레이브 수신 파형인 hec_check/data_out, crc_check/data_out과 동일함을 확인함으로써 올바른 송수신 동작이 이루어짐을 검증할 수 있으며, 이렇게 송수신된 데이터는 1.66GHz 속도로 FIFO에 읽기쓰기 절차를 수행하여 처리하게 된다. 전체 송수신 절차에 대한 시뮬레이션은 두 개의 블루투스 모듈을 마스터와

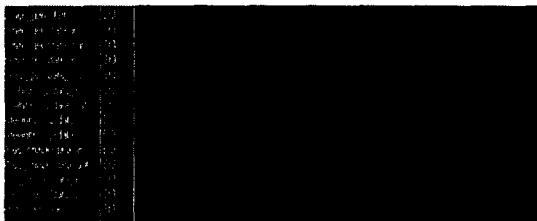


그림 25. 블루투스 기저대역 송수신 검증 파형

슬레이브로 맞물려 놓고, 마스터에서 HEC와 CRC를 거쳐 전송한 패킷과 슬레이브에서 수신한 패킷을 비교하여 올바른 송수신이 이루어짐을 확인하는 방식으로 수행하였다.

4. 결 론

근거리 무선 통신분야에 대한 많은 연구가 진행되고 있는 가운데 최근 각광받고 있는 블루투스 시스템도 이러한 요구에 의해 주목받고 있는 연구분야이다. 그러나 국내에서는 아직 블루투스 칩의 개발이 미비한 상태이며 해외 선진기업에 의존하고 있는 실정이다. 본 연구는 원칩화된 블루투스 시스템의 FPGA 구현을 위한 첫 단계로서 블루투스 시스템의 표준규격을 분석하고, 블루투스 프로토콜의 기저대역 시스템을 설계하여 이를 Verilog HDL 언어로 기술하여 ModelSim 툴을 이용한 시뮬레이션으로 각 기능블록의 동작을 검증하였다. 기저대역 시스템의 중요 기능블록은 크게 클럭 생성 기능블록, 주파수 선별 기능블록, 패킷 제어 블록, HEC와 CRC 생성기능, 그리고 송신 및 수신을 위한 Whitening/Dewhitening 기능블록 등으로 구성되며 이들 각 기능블록을 설계 및 검증하였다. 전체 기저대역 시스템의 패킷 전송과정을 검증하기 위해 우선 HEC, CRC, Whitening 등의 세부 기능블록에 대한 기능 검증을 거친 후 전체 시스템에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 설계된 기저대역시스템의 기능블록을 검증하기 위해 5GHz의 메인 동작주파수를 사용하여 시뮬레이션 하였으며, 검증 결과 모든 동작이 정상적으로 동작함을 확인할 수 있었다.

향후 본 논문에서 구현되지 않은 암호화 기능블록과 CVSD 기능 블록의 연구를 하고 좀더 나아가 FPGA 칩을 구현하기 위한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Specification of the Bluetooth system, Core, v1.0B Dec 1999.
- [2] Specification of the Bluetooth system, Core, v1.1 Feb 2001.
- [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.

[9] Sedra, Smith, "Bluetooth Denystified", 2001.

[10] Jennifer Bray, "Bluetooth Application Developer's Guide", Syngress Media, 2001.

[11] Steve Karty, "Bluetooth Personal Area Network Technology," NCS Tech. July 2000.

[12] James Kardach, "Bluetooth Architecture Overview," Intel Technology Journal, May 2000.

[13] Graham Kirby, "Integrating Bluetooth Technology into Mobile Products," Intel Technology Journal, May 2000.



백 은 창

2000년 공주대학교 전자공학과 (공학사)
 2002년 공주대학교 전기전자정보공학과 (공학석사)
 관심분야 : 무선통신용 IC 설계, 회로 및 시스템 설계



조 현 목

1989년 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 1991년 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
 1995년 고려대학교 전자공학과 (공학박사)
 1995년~현재 공주대학교 정보통신공학부 부교수
 관심분야 : 아날로그/디지털 IC 설계, 멀티미디어 시스템 설계