

## 블루투스 동기워드 생성기의 구현

황 선 원, 조 성, 안 진 우, 이 상 훈, 김 성 진  
경남대학교 전기전자공학부

### Design of Synchronization\_Word Generator in a Bluetooth System

Sun-Won Hwang, Sung Cho, Jin-Woo Ahn, Sang-Hoon Lee, Seong-Jeen Kim  
Div. of Electrical & Electronic Engineering, Kyungnam University  
E-Mail: sanghoon@  
kyungnam.ac.kr

#### Abstract

In this paper, we deal with implementing design for a correlator access code generator module which they are used for setting up a connection between units, a packet decision, a clock synchronization, by FPGA.

The correlator module which is composed of the Wallace Tree's CSA and threshold value decision device decides useful a packet and synchronizes a clock, after it correlates an input signal of 1 Mbps transmission rate by a sliding window. An access code generator module which is composed of a BCH (Bose-Chadhuri-Hocquenghem) cyclic encoder and control device was designed according as a four steps' generation process proposed in the bluetooth standard. The pseudo random sequence which solves synchronization problem saved a voluntary device. Proposed the module was designed by VHDL. An simulation and test are inspected by Xilinx FPGA.

통해 제안되었다. 블루투스 운영 대역은 무면허 대역인 ISM(Industry Scientific Medicine)밴드를 사용하며 79채널에 대해 주파수 호핑 방식을 사용한다. 변조 방식은 각 채널에 대해 1Mb/s 전송속도를 갖는 GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) 방식을 사용한다. 송수신 장치는 625 $\mu$ s 간격의 슬롯 단위로 TDD(Time Division Duplex) 방식을 통해 전이중 통신을 행한다. 데이터는 패킷 단위로 전송되며 패킷은 1~3개의 슬롯을 점유할 수 있다. 패킷의 구조는 액세스 코드, 헤더, 페이로드(payload)로 구성되어 있다. 이중 액세스 코드는 블루투스 피코넷(piconet)에서 마스터와 슬레이브간 유용한 패킷 판별과, 마스터 시스템 클럭에 동기화 하기 위한 클럭 동기 정보를 제공한다. 블루투스 표준안에는 4개의 액세스 코드가 있으며 연결 상태에 따라 다르게 사용된다[1-2].

본 논문에서는 상태에 따라 4개의 액세스 코드를 생성하는 액세스 코드 생성 모듈과 수신된 액세스 코드에 대해 슬라이딩 윈도우 상관을 취해 유용한 패킷 판별과 클럭 동기 신호를 제공하는 블루투스 상관기 모듈 설계를 제안한다.

#### I. 서론

블루투스 무선 전송 기술은 기존의 유선망 대체와 이동성, 이종간 장비와의 상호 접속성을 꾀하기 위해 저가격성, 저전력, 소형화를 만족하는 무선 통신 프로토콜로 1998년 블루투스 SIG (Special Intest Group)를

#### II. 본론

##### 2.1 액세스 코드 생성 모듈

블루투스 유닛간 전송 되는 모든 패킷은 액세스 코드로 시작한다. 액세스 코드는 피코넷(piconet)의 마스터와 슬레이브간 클럭 동기화와 데이터의 DC 오프셋

보상, 패킷 판별을 위해 사용된다.

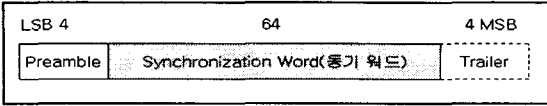


그림 1. 액세스 코드 포맷

그림 1은 액세스 코드 포맷을 보여준다. 액세스 코드는 72bit로 구성되어 있다. 이 중 트레일러(trailer) 4bit는 전송 패킷 내에 헤더 부분이 있는 경우에 사용된다. 따라서 호출(page), 조회(inquiry) 과정에서는 헤더가 사용되지 않으므로 68bit가 사용된다. 액세스 코드는 장시간 연결 상태에 따라 4개의 타입으로 나눌 수 있다.

- Channel Access Code (CAC)
- Device Access Code(DAC)
- General Inquiry Access Code(GIAC)
- Dedicated Inquiry Access Code(DIAC)

CAC는 피코넷에 포함된 모든 유닛에서 데이터 송수신 시 사용되는 액세스 코드이다. 이 액세스 코드는 마스터의 어드레스 48bit 중 하위 24bit (LAP : Lower Address Part)값으로부터 유도된다. DAC는 근거리 10m 범위내의 임의의 슬레이브 장치와 연결 설정을 위한 호출 및 호출 응답 패킷에 사용되는 액세스 코드이다. 호출 대상인 슬레이브 장치의 LAP어드레스로 유도 된다. GIAC는 모든 블루투스 유닛이 인식할 수 있는 액세스 코드이고 DIAC는 특정 범주에 속하는 장치에 내장된 블루투스 디바이스를 찾기 위한 액세스 코드이다. 이들은 블루투스 표준안에서 정의된 어드레스 값을 사용한다. GIAC는 General Inquiry LAP 0x9E8B33 어드레스를 이용해 유도되고 DIAC는 Dedicated Inquiry LAP 0x9E8B00~0x9E8B3F 어드레스를 통해 유도된다. 프리앰블(preamble)은 DC오프셋 보상과 패킷 시작을 결정할 수 있도록 1과 0의 고정된 패턴을 가지는 4bit 심볼이다. 동기워드의 LSB의 값이 1이면 1010, 0이면 0101패턴을 가진다. 트레일러(trailer) 역시 DC오프셋 보상과 패킷 헤더의 시작을 나타내기 위해 사용되며 동기워드의 MSB값에 따라 프리앰블과 동일하게 적용된다[1].

동기워드는 액세스 코드의 핵심 부분이다. 4종류의 액세스 코드는 동기워드 생성과정에 사용되는 어드레스 타입에 의해 결정된다. 동기워드의 생성은 의사 랜덤 신호(PN: Pseudo random Noise)와의 XOR연산 그리고 수정된 블록코드(64,30)를 통해 이루어진다. 수정된 블록 부호의 해밍거리는 14이다. 의사 랜덤 신호는 직교성이 뛰어난 신호로 생성과정에서의 XOR연산은 액세스 코드의 자기상관 특성을 개선한다. 동기워드의

생성과정은 4단계로 이루어진다.

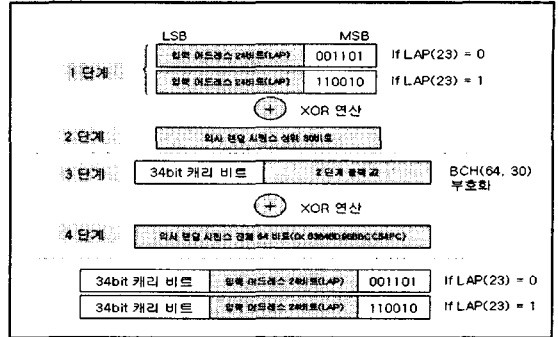


그림 2. 액세스 코드 생성도

그림2의 동기워드 생성도에서 첫 번째는 정보 시퀀스 생성이다. 동기워드 생성기의 입력으로 주어진 24bit LAP어드레스에 Barker 시퀀스를 붙이는 과정이다. 그림2에서처럼 LAP의 MSB값에 따라 "001101", "110010"중 택일한다. Barker 시퀀스를 삽입하는 이유는 자기상관 특성을 개선하기 위해서다. 두 번째 과정은 의사 랜덤 신호의 1주기 시퀀스 값 중 상위 30비트의 값과 정보 시퀀스와의 XOR연산을 행하는 것이다. 세 번째 과정은 부호워드 생성이다. 부호워드는 BCH(Bose-Chadhuri- Hocquenghem) 블록부호(64, 30) 생성기를 통해 만들어 진다. 생성 다항식은  $g(D) = 260534236651$ 이며 8진수로 표기되어 있다. BCH 블록 부호기는 LFSR (Linear Feedback Shift Register)를 통해 구현되며 소요되는 플립플롭은 34개가 된다. 네 번째 과정은 의사 랜덤 시퀀스의 64bit 전체와 생성된 부호워드와의 XOR연산을 행하는 것이다. 이 과정의 결과 입력 어드레스 LAP과 Barker 시퀀스는 원래 값을 유지하고 생성된 34개의 패리티 비트는 의사 랜덤 시퀀스와 XOR연산에 따른 직교성이 큰 신호가 된다 [1]. 해밍 거리가 14인 BCH블록부호는 블루투스 상관계의 임계 값 선택을 결정한다[2].

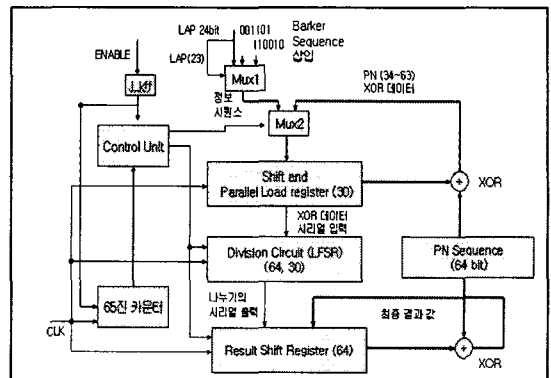


그림 3. 동기워드 생성 모듈

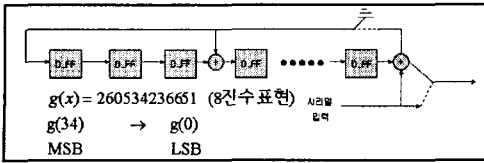


그림 4. BCH 블록부호 생성기 모듈

그림3은 설계된 동기워드 생성모듈의 블록 다이어그램이다. 생성모듈은 외부로부터 어드레스와 enable신호를 받는다. 입력과 동시에 동기워드 생성과정의 첫 번째 단계가 실행되며 나머지 단계는 제어장치의 제어신호에 따라 순차적으로 실행된다. 그림4는 BCH(64,30) 블록 부호 생성기의 블록 다이어그램이다. 생성 다항식에 의해 필요한 레지스터 수는 34개이며 정보 시퀀스 30bit 중 MSB값이 먼저 들어온다. 제시한 동기워드 생성모듈의 입력으로부터 출력까지는 66클럭의 소요가 있다.

## 2.2 블루투스 상관기 모듈

블루투스 상관기는 입력 액세스 코드의 64bit 동기 워드에 대해 슬라이딩 윈도우 상관을 취하여 패킷 판별과 클럭 동기화를 위한 정보를 얻는다. 패킷 판별은 상관을 취한 값이 임계 값의 초과 여부에 따라 결정된다. 임계 값은 블루투스 표준안에서 제시 하지 않는다. 하지만 동기워드의 생성 과정에서 해밍거리가 14인 블록부호를 실행함으로써 임계 값 선택은 57bit 매치가 일어나면 기대되는 패킷으로 판정한다[2]. 클럭 동기는 패킷 판별과 동시에 이루어진다. 블루투스 시스템 클럭은 3.2KHz 입력 클럭으로 동작하는 28bit 카운터이다. 이 클럭은 블루투스 유닛간 송수신 타이밍을 결정하는 요소가 된다. TDD방식에 의한 송수신에서 유닛간 타이밍 오차를 위한 블록 특정 윈도우는  $\pm 10\mu s$  값을 가진다. 이 블록 특정 윈도우에 따른 유닛의 송수신 타이밍 결정의 오차는  $\pm 10\mu s$ 를 초과할 수 없음을 나타내고 있다. 이러한 타이밍 오차는 마스터로부터 패킷을 수신하는 슬레이브에서 매 패킷 수신 때마다 클럭 오프셋 값을 구하고 이를 시스템 클럭에 더하여 송수신 타이밍을 보상한다. 슬레이브 수신기의 상관기 출력이 임계 값을 초과하는 순간은 마스터의 전송 심볼이 68bit인 경우이므로 이를 통해 슬레이브는 클럭 동기화를 실행한다.

본 논문에서는 패킷 판별과 클럭 동기화를 위해 사용되는 블루투스 상관기 모듈을 Wallace 트리 기반의 Adder를 사용하여 구현 한다[3-4]. 상관은 내부에 저장된 동기워드 값과 입력 동기워드 값 사이의 각각 비트에 대해 곱을 행하고 이를 더하는 과정이다. 덧셈은 자리수가 동일한 64bit에 대해 이루어져야 하므로 일반적인 덧셈알고리즘을 사용할 경우 64bit 만큼 직렬로 나열된 덧셈기로 구성된다. 이는 임계 경로를 크게 하

여 연산결과 값을 얻는데 상당한 시간을 소요한다. Wallace 트리 기반의 덧셈기는 동일 자리수 덧셈의 단계를 줄여 빠른 덧셈을 얻을 수 있는 알고리즘이다.

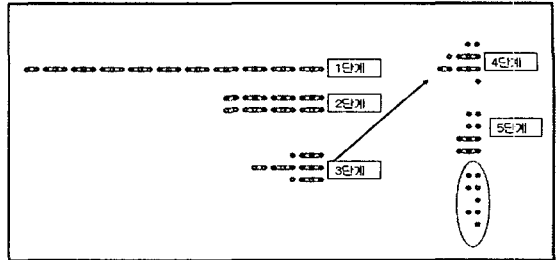


그림 5. Wallace 트리 구조의 32bit 덧셈 구성도

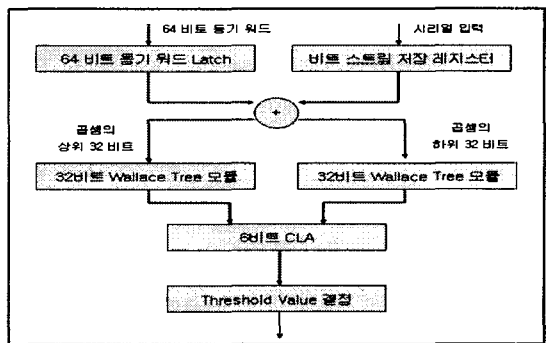


그림 6. 블루투스 상관기 모듈

그림 5은 32bit Wallace 트리 구조를 이용한 덧셈을 보여준다. 전가산기는 3개의 입력으로 2자리 수의 출력을 내고 반가산기는 2개의 입력으로 동일한 결과 값을 낸다. 그림 5에서처럼 각각의 단계는 각 자리수의 출력 변수가 2개가 되도록 반가산기와 전가산기를 이용하여 덧셈을 행한다. 최종 결과는 5단계 이후 생성된 5자리 출력 값을 5bit CLA (Carry Look-ahead Adder) 덧셈기를 이용하여 얻는다. 본 논문에서는 64bit 덧셈을 32bit로 나누어 각각에 대해 Wallace 트리 구조의 덧셈을 실행하여 결과 값을 얻는다. 곱셈의 과정은 XOR연산을 통해 얻으며 동일 비트인 경우 0이고 다른 경우는 1의 값을 얻는다. 그림6은 제시한 블루투스 상관기 모듈의 블록 다이어그램이다.

## 2.3 시뮬레이션 및 검증

본 논문에서 제시한 액세스 코드 생성모듈과 블루투스 상관기 모듈은 하드웨어 묘사언어인 VHDL을 이용하여 구현하였으며 시뮬레이션 및 테스트는 Xilinx FPGA를 통해 검증하였다. Target Device는 20만 게이트 Virtex XCV200 PQ240이다. 액세스 코드 생성모듈의 내부 동작 클럭은 13MHz이며 상관기는 입력 신호 주기 1MHz(1 $\mu s$ )에 동기되어 동작한다. 액세스 코

드 생성모듈의 검증은 블루투스 표준안 버전 1.1 부록 4의 샘플 데이터를 통해 확인한다.

그림 7는 샘플 데이터 Dedicated Inquiry LAP 0x9E8B33을 입력하여 DIAC 액세스 코드를 생성하는지 확인한 것이다. 샘플 데이터의 출력 예시 값은 0x475c58cc73345e72이며 시뮬레이션 결과도 이와 동일함을 있다. 그림 8은 샘플 데이터 0x616b1b 값을 입력하여 액세스 코드를 정확히 출력하는지 검증한 것이다.

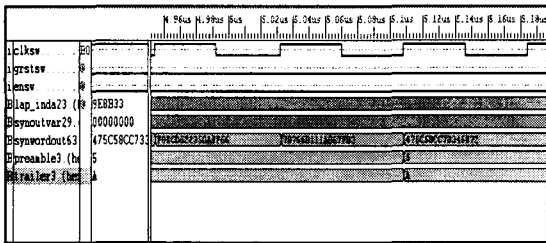


그림 7. 0x9e8b33입력의 액세스코드 시뮬레이션

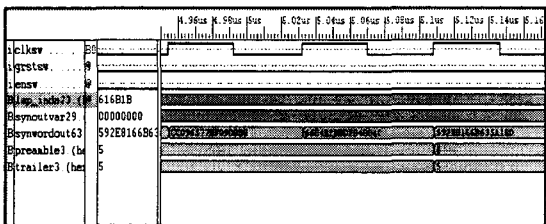


그림 8. 0x616b1b의 액세스 코드 시뮬레이션

블루투스 상관기 모듈의 시뮬레이션은 수신기에 저장되어 있는 동기워드에 57bit 정합되는 입력 값과 그렇지 않은 값을 사용하여 검증한다. 그림 10은 임계 값을 초과하는 입력 액세스 코드 0xEC2C69B54C19C18C를 입력하여 얻는 값이다. 자기상관 기저신호는 0xEC4C69B54C 29A18D이다. 그림 11은 임계 값을 초과하지 못하는 신호 0xBF2885E134A9A18D 값을 입력하여 얻은 결과이다. 곱셈을 XOR연산으로 했기 때문에 입력 신호의 매칭이 57개 이상이면 덧셈의 출력은 7보다 작거나 같은 값을 가진다. 시리얼로 입력되는 2개의 예시 값은 LSB가 먼저 입력으로 들어간다.

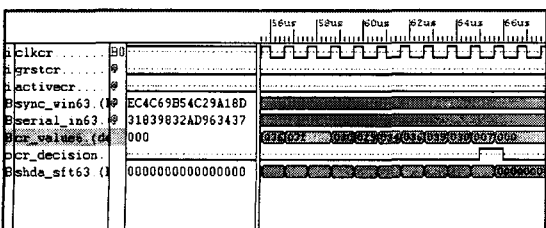


그림 9. 임계 값을 초과하는 신호의 상관기 모듈의 시뮬레이션

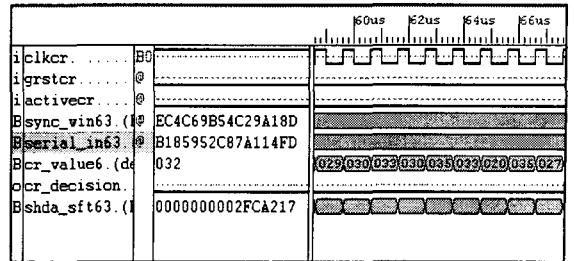


그림 10. 임계 값을 초과하지 못하는 신호의 상관기 모듈이 시뮬레이션

### III. 결론

본 논문에서는 클럭 동기화 및 패킷 판별을 위한 블루투스 상관기 모듈과 연결 상태에 따라 4개의 액세스 코드를 생성하는 액세스 생성 모듈을 설계하고 검증하였다. 상관기 모듈은 Wallace 트리 구조의 덧셈기를 사용하여 입력에서 출력까지 임계 경로를 축소하고 빠른 결과를 얻을 수 있도록 설계 하였다. 액세스 생성 모듈은 블루투스 표준안에서 제시한 샘플 데이터를 가지고 검증하여 제시한 모듈의 정확성을 테스트 하였다.

### 참고 문헌

- [1] Bluetooth Specification Version 1.1, "Core", Specification of the Bluetooth System volumel, February 22 2001
- [2] Robert Morrow, "Bluetooth Operation and Use", McGraw-Hill, 2002
- [3] Pan, S.M.; Madill D.H.; "Generalized sliding window algorithm with applications to frame synchronization", Military Communications Conference, 1996. MILCOM '96, Conference Proceedings, IEEE , Volume: 3 Page(s): 796 -800 vol.3, 21-24 Oct 1996
- [4] Israel Koren, "Computer Arithmetic Algorithms", A K Petes, Ltd, Second Edition 2002