사례 발표

IEEE 802.11p를 지원하는 고속 WAVE 프로토타입 개발

목 차

1. 서 론
2. IEEE 802.11p 표준의 소개
3. WAVE PHY 설계
4. 초저전력 기술
5. 결 론

임기택 · 신대교 · 박부식 · 정한균
최종찬 · 김수원
(전자부품연구원)

1. 서 론

현재 전 세계적으로 대두되고 있는 교통문제의 심각성을 해결하기 위하여 교통운영의 최적화, 교통사고감소, 물류비용절감 및 환경보호 등의 효과를 제공하기 위해서는 도로에서 주행 중인 차량을 대상으로 하여 도로변에 노변장치(RSE, Road Side Unit)라는 비교적 간단한 기지국을 설치하고, 차량에는 차량 단말기(OBE, On-Board Unit)라는 저가의 통신 단말기를 탑재하여 고속으로 무선 패킷 통신을 수행해야 하므로 단거리 전용통신(DSRC, Dedicated Short Range Communication)이라는 새로운 개념의 통신방식이 정립되었다.

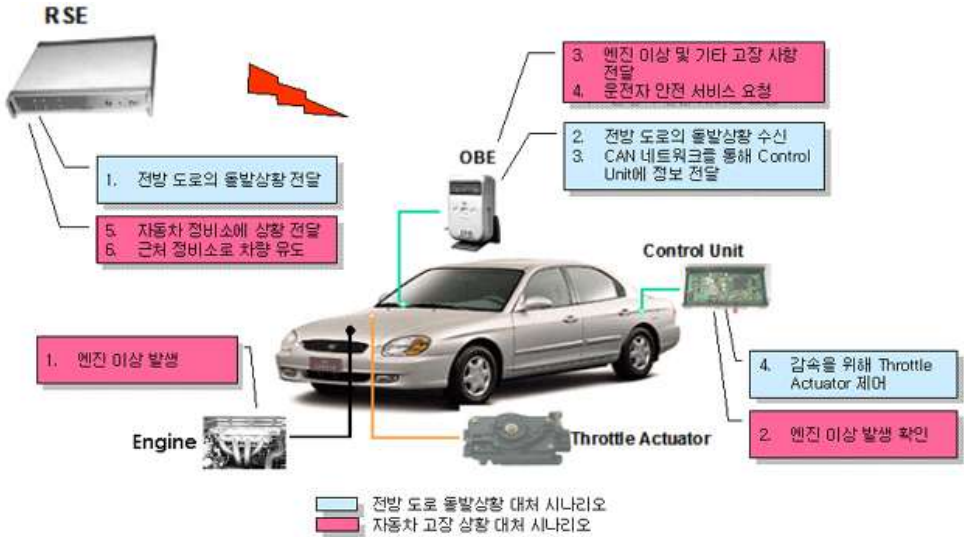
DSRC 통신 기술은 통신 반경이 수 미터에서 수 킬로미터 사이이며 도로변 노변장치와 차량의 탑재장치 사이에서 양방향으로 고속의 데이터를 송수신이 가능하게 하는 지능형 교통시스템의 통신요소로서 주목을 받고 있다.

국가 ITS 기본계획21에서는 ETCS(Electronic Toll Collection System), BIS(Bus Information System), CVO(Commercial Vehicle Operation), ATIS(Advanced Traveller Information System) 등 다양한 서비스 제공을 목표로 하고 있으며, 이의 기반인프라로서 차량과 노변간의 통신을 위한 DSRC 통신망 구축하고 있다.

DSRC 통신 시스템은 차량이 통과하는 지점에 설치되어 위치에 관련된 정보 수집이나 제공, 요금징수, 통행관제, 운행정보 등 차량 운행서비스부터 무선 인터넷이나 메시지 서비스와 같은 일반적인 서비스까지 다양한 서비스를 저렴하고 고속으로 제공하는 시스템이며, 미국, 유럽, 일본 그리고 한국은 이미 ITS 서비스를 시행하고 있으며, 중국도 2008년 5월에 국가 표준을 제정하고 시범서비스 중에 있다.

차량을 제3의 인터넷 공간으로 설정하고, 고속 DSRC 통신망을 이용해 운전자와 탑승자에게 교통안내, 긴급구난, 원격차량진단, 인터넷(뉴스, e-메일, 메신저, VOD) 등 모바일 오피스 기능의 서비스 제공을 위한 콘텐츠 산업의 발전에 기여할 것으로 예상되고 있다.

통신 및 정보처리와 함께 적용되는 교통정보처리체계로서 '주행 및 여행자 정보안내 서비스'



(그림 1) DSRC를 통한 차량 안전 서비스 시나리오 예

기술은 선진국 사회에서는 사람, 물류 및 정보 등의 이동을 원활히 하기 위하여 지리 정보와 유선 및 무선통신을 이용하여 시간적으로 변화되는 도로 교통 변화 정보, 교통사고정보, 정체 정보, 우회정보 등 교통 정보 등을 실시간으로 제공할 수 있도록 보다 진보된 교통정보 체계 시스템을 구축하여 다양한 서비스를 제공하는 기술이며, 이러한 '주행 및 여행자 정보안내 서비스'를 하기 위해 고속 DSRC 통신 기술이 필요한 실정이다.

최근들어 차량에서의 인터넷 및 멀티미디어 등의 서비스에 대한 필요성이 제기되면서 고속 DSRC의 필요성이 대두되어 미국, 일본 및 국제 표준화 기구인 ISO TC204 WG16에서는 1Mbps 이상의 고속 데이터 통신이 가능한 고속 DSRC에 대한 표준 개발이 완료되었거나 표준화 연구가 상당히 진행되었으며, 특히 미국의 경우 OFDM 방식을 사용하는 ASTM E2213-03으로 12Mbps를 필수적으로 지원하도록 하는 DSRC 표준을 발표하였다. 이후 IEEE project 802에서는 발표된 ASTM E2213-03 표준과 IEEE 802.11a를 기본으로 하여 IEEE 802.11p 표준을 제정하여 공표할 예정이다. IEEE 위원회는 DSRC의 이름은 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment)로 개명하였다.

2. IEEE 802.11p 표준의 소개

IEEE 802.11p 표준안에 대한 기본 동작에 대한 설명과 특징을 간단히 기술하고, 그 다음으로는 물리 계층에 관련한 기본적인 구조와 기능적 역할을 설명한다.

2.1 IEEE 802.11p 개요

IEEE 802.11p 표준 제정의 기본 컨셉 아래와 같다. OFDM 변복조 방식을 지원하며, 5.9GHz 대역을 사용한다. 기존의 표준인 ASTM E2213-03과 IEEE 802.11a를 기반으로 제정되었다.

- ASTM E17.51 developed standards of OFDM based DSRC PHY/MAC
- Support higher data rate ITS service
- 5.9 GHz Application
- Short to medium range communications

service
- Supports both Public Safety and Private operations
- Roadside to vehicle communication
- Very high data transfer rates and low latency in the communication link
- Desire to maintain current with future amendments to IEEE 802.11 Became SG, now TGp
- Existing ASTM E2213 standard used as basis for IEEE 802.11p draft

IEEE 802.11p 표준 제정의 범위는 MAC 계층과 PHY 계층에 대한 표준으로 현재의 DSRC보다 고속의 데이터 통신을 지원하고, RSE-OBU, OBU-OBU, OBU-Portable Unit과 통신하고, 1000m LOS(Line Of Sight) 통신 환경을 고려하여 제정되었다.

2.2 IEEE 802.11p PHY 계층 규격

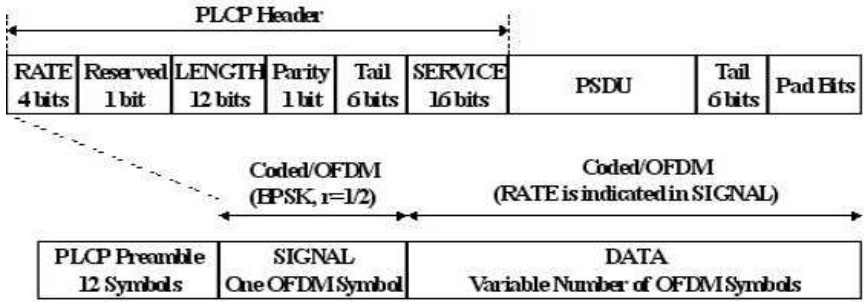
IEEE 802.11p 표준에서 총 52개의 부반송파(4개의 파일롯 부반송파 포함)를 사용하여 3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, 27 Mbps의 가변 전송률을 제공할 수 있게 되어 있다. <표 1>에서 나타내듯이 3, 6, 12 Mbps는 표준에서 정한 필수 전송속도이며, 그 외의 전송속도는 부가적이다. 이를 위해 BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM의 다양한 변조 방식과 부호율 1/2, 2/3, 3/4의 컨벌루션 부호를 사용한다. 또한 옥내환경에서의 다중경로 지연을 고려하여 보호구간(GI : Guard Interval)을 1.6μs로 하고 이때의 심볼 주기를 8μs로 하여 10MHz의 대역폭을 사용하게 한다.

(그림 3)은 OFDM PLCP(Physical Layer Convergence Protocol) 프리앰블, OFDM PLCP 헤더, PSDU(PLCP Service Data Unit), Tail 비트, Pad 비트로 구성된 IEEE 802.11p WAVE 무선 모뎀의 PPDU(PLCP Protocol Data Unit) 프레임 포맷을 보여준다.

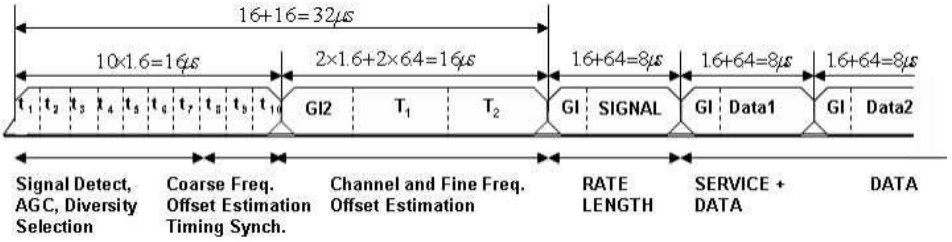
PLCP 헤더는 RATE, Reserved 비트, LENGTH, 짝수 패리티 비트, Tail 비트, SERVICE 필드로 구성되는데, 이 중 RATE, Reserved 비트, LENGTH, 짝수 패리티 비트, Tail 비트는 SIGNAL로 정의된 별도의 1 OFDM 심볼로 구성되어 가장 안정적인 BPSK 변조와 1/2 부호화를 거쳐 전송된다. PLCP 헤더의 SERVICE 필드, PSDU, Tail 비트, Pad 비트는 DATA로 정의되고 RATE 필드에 정의된 데이터 전송률로 전송되며 OFDM 심볼들로 구성된다.

<표 1> 전송률에 따른 시스템 파라미터

표준	전송속도 (Mbps)	변조방식	부호화율	부 반송파당 부호화된 비트수 (N_{BPSC})	OFDM 심볼당 부호화된 비트수 (N_{CBPS})	OFDM 심볼당 데이터 비트 수 (N_{DBPS})
필수 전송률	3	BPSK	1/2	1	48	24
	6	QPSK	1/2	2	96	48
	12	16-QAM	1/2	4	192	96
부가 전송률	4.5	BPSK	3/4	1	48	36
	9	QPSK	3/4	2	96	72
	18	16-QAM	3/4	4	192	144
	24	64-QAM	2/3	6	288	192
	27	64-QAM	3/4	6	288	216



(그림 2) IEEE 802.11p WAVE 무선 모뎀의 PPDU 프레임 포맷



(그림 3) PLCP 프리엠블 구조

PLCP 프리앰블은 기본적으로 동기화를 위해 사용되며 OFDM 패킷의 앞에 전송된다. 그림 2.21은 IEEE 802.11a의 PLCP프리앰블을 기반으로 하여 타이밍을 10MHz 대역폭에 맞추도록 변환한 PLCP 프리앰블을 나타낸다.

PLCP 프리앰블 필드는 10개의 짧은 훈련 심볼(Short Training Symbol)과 2개의 긴 훈련심볼(Long Training Symbol)로 구성된다. 전체 주기는 32μs이며, 짧은 훈련심볼은 수신단에서 AGC, 다이버시티 선택, 타이밍 동기화, 대략적인(coarse) 주파수 오프셋을 추정하는데 사용된다. 하나의 긴 훈련심볼의 주기는 FFT 주기와 같은 6.4μs이며, 3.2μs의 보호구간(GI2)이 더해져서 총 16μs가 된다. 긴 훈련심볼의 보호구간은 데이터 OFDM 심볼 보호구간의 2배에 해당하며, IFFT 출력의 마지막 샘플을 순환 확장하여 사용한다.

다음 〈표 2〉는 IEEE 802.11p 물리계층의 OFDM 심볼 파라미터를 보여준다.

하나의 데이터 OFDM 심볼은 48개의 데이터 부반송파와 4개의 파일럿 부반송파를 더한 총 52개의 부반송파로 구성되고, $T_{SYM} = 8\mu s$ 의 심볼 주기로 전송된다. 심볼 주기 T_{SYM}은 보호구간 (GI) $T_{GI} = 1.6\mu s$와 IFFT/FFT 주기 $T_{FFT} = 6.4\mu s$를 더한 값이 된다.

〈표 2〉 OFDM 심볼 파라미터

파라미터	값
N_{SD} : 데이터 부반송파의 수	48
N_{SP} : 파일럿 부반송파의 수	4
N_{ST} : 전체 부반송파의 수	52($N_{SD}+N_{SP}$)
Δ_F : 부반송파간 주파수 간격	0.15625 MHz (=10 MHz/64)
T_{FFT} : IFFT/FFT 주기	6.4 μs($1/\Delta_F$)
$T_{PREAMBLE}$: PLCP 프리앰블 구간 시간간격	32 μs($T_{SHORT}+T_{LONG}$)
T_{SIGNAL} : SIGNAL 필드의 BPSK-OFDM 심볼 시간간격	8.0 μs($T_{GI}+T_{FFT}$)
T_{GI} : GI 시간간격	1.6 μs($T_{FFT}/4$)
T_{GI2} : 훈련심볼에 대한 GI 시간간격	3.2 μs($T_{FFT}/2$)
T_{SYM} : 심볼구간 시간간격	8 μs($T_{GI}+T_{FFT}$)
T_{SHORT} : 짧은 훈련 시퀀스 구간 시간간격	16 μs($10\times T_{FFT}/4$)
T_{LONG} : 긴 훈련 시퀀스 구간 시간간격	16 μs($T_{GI2}+2\times T_{FFT}$)

부채널간의 간격은$\Delta_F(\frac{1}{T_{FFT}})=0.15625$㎒가 되고, 전송대역폭은 $64\times \Delta F=10$㎒가 된다. 데이터 심볼 변조된 48개의 데이터는 부반송파에 각각 실리게 되는데 OFDM 심볼의 -26~26번째 부반송파 중에서 부반송파로의 매핑 함수는 다음과 같다.

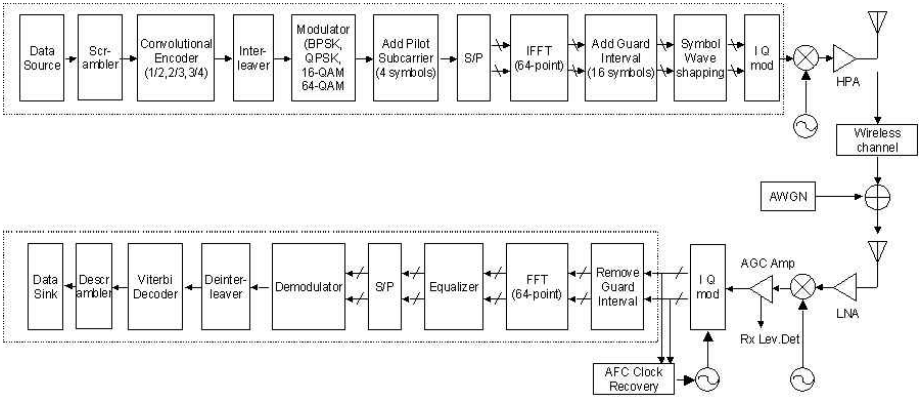
$$M(k)=\begin{cases}k-26, & 0\leq k\leq 4\\ k-25, & 5\leq k\leq 17\\ k-24, & 18\leq k\leq 23\\ k-23, & 24\leq k\leq 29\\ k-22, & 30\leq k\leq 42\\ k-21, & 43\leq k\leq 47\end{cases}$$

여기서 0번째 부반송파와 -21, -7, 7, 21번째 부반송파는 DC 부반송파와 파일럿 부반송파이다. 파일럿 심볼 삽입패턴 부분을 제외한 나머지 부반송파에 48개의 데이터가 차례로 매핑되는 것을 알 수 있다. 파일럿 부반송파에 파일럿 심볼이 삽입된 후 총 52개의 부반송파가 IFFT로 입력되며, 64-포인트 IFFT를 거쳐 OFDM 심볼이 형성된다.

3. WAVE PHY 설계

기본적으로 IEEE 802.11p 표준은 (그림 2)에 나타낸 OFDM 무선 모뎀의 블록도와 같이 IEEE802.11a와 같은 구조를 갖지만, 신호대역폭이 20MHz에서 10MHz로 축소되어 있으며, 이에 따라 대응되는 신호의 시간적인 타이밍도 변하게 된다. 따라서 시간축에서의 심볼구간은 IEEE802.11a신호에 비해 두배로 증가되며, 대역폭은 반으로 줄어들게 된다. 송신단에서 입력 데이터는 스크램블링되고 길쌈 부호기와 인터리버를 거쳐서 부반송파로 변조되는데, 이때 전송률에 따라서 각기 다른 부호율, 인터리빙 크기 및 변조방식을 갖게 된다. 4개의 파일롯 톤이 데이터 부반송파에 더해져서 총 52개의 부반송파가 IFFT를 통과하여 하나의 OFDM 심볼을 형성하며, 여기에 보호구간을 삽입한 뒤 윈도우를 취하여 전송하게 된다.

수신단에서는 송신단의 역과정이 일어나며 동기화 과정이 첨가된다. 먼저 정해진 훈련심볼을 사용하여 주파수 오프셋 및 심볼 오프셋을 추정하는 과정이 선행되어야 하고 그 뒤에 데이터가 FFT를 통과하여 52개의 부반송파로 복원된다. 등화기를 통과하여 채널응답이 보상된 데이터는 비트열로 변환되어 비터비 복호기와 디스크램블러를 거쳐서 최종 데이터로 출력된다. 본 장에서는 설계된 WAVE PHY 프로토 타입 모뎀의 송신 블록과 수신 블록의 주요 블록에 대하여 설명한다.



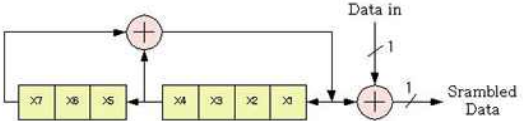
(그림 4) IEEE 802.11p WAVE 모뎀의 블록도

3.1 Scrambler and Descrambler

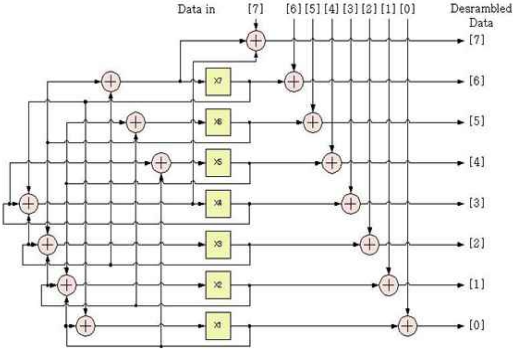
송신 데이터가 '0'이나 '1'이 연속되는 경우에는 통신 성능 면에서 좋지 않은 영향을 미치므로, 송수신단에 서로 알고 있는 값으로 랜덤화하는 작업이 필요하다. IEEE 802.11p에서는 127 길이의 스크램블러를 생성하여 송신할 또는 수신되는 데이터에 곱한다. 스크램블러 생성 다항식은 아래 식과 같다.

$$S(x) = x^7 + x^4 + 1$$

송신기와 수신기의 스크램블러와 디스크램블러의 기능은 동일하지만, 그 구현방식은 다르다. 송신기의 스크램블러 블록다이어그램은 (그림 5)와 같다. 간단한 쉬프트 레지스터와 Xor 곱셈기로 구성되어 있으며, 데이터가 시리얼로 들어오고 스크램블된 데이터도 시리얼로 출력된다. 스크램블러의 초기 레지스터 셋팅은 "0000000"이 아닌 모든 값이 허용된다.



(그림 5) 송신기의 Scrmabler의 블록도



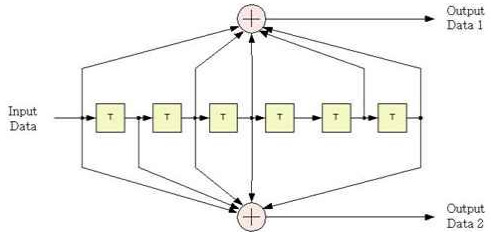
(그림 6) 수신기의 Descrmabler의 블록도

수신기의 디스크램블러는 병렬로 동작한다. 8-비트의 데이터를 한꺼번에 디스크램블하며, 결과도 8-비트 데이터로 출력한다. 또한, 레지스터의 초기값은 PLCP header 중의 Service field의 초기 7-비트가 '0'으로 셋팅되어 있으므로, Service field를 수신하는 순간 쉬프트 레지스터의 초기값을 알 수 있다.

3.2 Convolutional Encoder and Viterbi Decoder

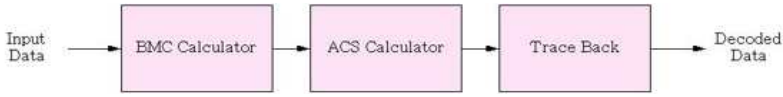
길쌈 부호화기는 구속장이 7이며, 그 생성 다항식의 아래의 식과 같으며, (그림 7)은 길쌈 부호화기의 블록다이어그램이다.

$$g_0 = 133_8 = 1011011$$
$$g_1 = 171_8 = 1111001$$



(그림 7) 송신기의 Convolution encoder의 블록도

길쌈 부호화기의 역과정은 비터비 복호화기를 주로 사용하여 설계하였다. 설계한 WAVE 프로토 타입이 비터비 복호화기는 48 traceback depth를 가지고 있으며, WAVE의 데이터 프레임에 맞도록 설계하였다. 첫 데이터 프레임은 service 필드를 제외한 PLCP 헤더로 마지막 필드가 tail로써 모든 구속장의 레지스터 값을 '0'으로 초기화한다. 이는 traceback depth를 모두 채우지 않고도 복호가 가능하게 하며, 첫 데이터를 복호하여야만 이후의 프레임의 수신이 가능하다. 첫 데이터 프레임과 이 후 데이터 프레임은 data rate, data length등의 파라메터들이 정해지므로 첫 데이터를 우선 복호한 후 이 후 데이터



(그림 8) 수신기의 비터비 decoder의 블록도

프레임을 복호한다. 중요한 정보를 가진 PLCP 헤더는 parity 비트로 보호되어 있다.

3.3 FFT & iFFT

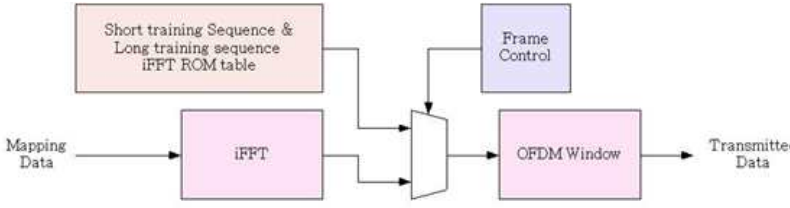
IEEE 802.11p는 OFDM 변조방식으로 통신하기 때문에 맵핑된 데이터를 iFFT를 취하여 송신하고, 수신기는 수신된 신호를 FFT를 취하여 데이터를 추출한다.

송신데이터는 (그림 3)과 같이 10번의 짧은 훈련 순열과 2번의 긴 훈련순열을 가진 프리앰블을 먼저 송신하고 데이터를 송신한다. 짧은 훈련 순열과 긴 훈련 순열은 그 값이 일정하므로 따로 iFFT를 취하지 않고, iFFT 취한 값을 ROM table에 넣어두고서 타이밍에 맞추어 송신하도록 구현하였다. iFFT는 계산량이 많고 계산시간이 오래 걸리는 기능이므로 훈련순열을 iFFT를 취하여 송신하면 즉각적인 송신이 불가능하다. 이를 보안하기 위하여 훈련순열에 대한 iFFT 값을 미리 계산하여 ROM에 저장하여 송신하고, 맵핑된 데이터의 iFFT를 계산하기 위한 시간을 벌수 있도록 하였다.

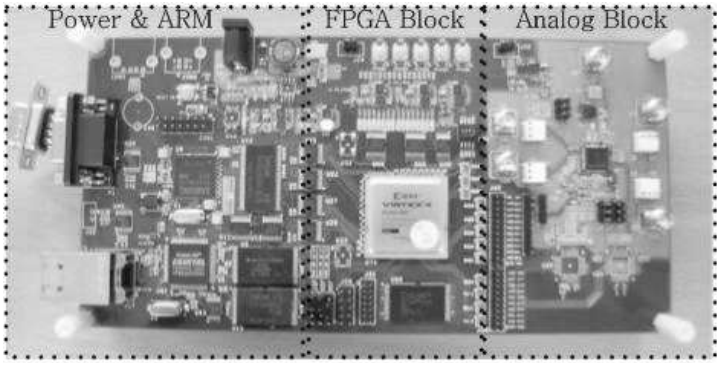
iFFT는 두 개의 Butterfly와 메모리 8개로 구성되어 있으며, iFFT를 계산속도는 파이트 라인이 적용되며, 최초 데이터 입력 후 두 개의 프레임 이후(16us)에 출력된다.

iFFT와는 달리 FFT는 수신된 훈련순열도 계산하여 채널의 정보를 얻어야 한다. 매 8us에 하나의 프레임이 수신되므로 FFT의 계산 속도는 최대한 8us 이내이여야 한다. 이러한 계산 속도를 위하여 고속의 파이프라인 기법을 도입하였고, butterfly 구조 대신 dragonfly를 사용하였다. dragonfly 구조는 한꺼번에 4개의 FFT를 처리할 수 있으며, 아래와 같은 식으로 표현된다.

$$X[4m] = \sum_{n=0}^{N/4-1} (x[n]+x[n+N/4]+x[n+N/2]+x[n+3N/4])\, W_{N/4}^{mn}$$
$$X[4m+1] = \sum_{n=0}^{N/4-1} (x[n]-jx[n+N/4]-x[n+N/2]+jx[n+3N/4])\, W_{N/4}^{mn}\, W_N^n$$
$$X[4m+2] = \sum_{n=0}^{N/4-1} (x[n]-x[n+N/4]+x[n+N/2]-x[n+3N/4])\, W_{N/4}^{mn}\, W_N^{2n}$$
$$X[4m+3] = \sum_{n=0}^{N/4-1} (x[n]+jx[n+N/4]-x[n+N/2]-jx[n+3N/4])\, W_{N/4}^{mn}\, W_N^{3n}$$



(그림 9) 송신기의 iFFT의 블록도



(그림 10) 고속 WAVE 프로토 타입 FPGA 보드 사진

5. 결 론

본 논문은 IEEE 802.11p 표준을 지원하는 WAVE 모뎀을 설계하였다. xilinx vertex4 lx60을 사용하였고, 상용 ARM 프로세서와 sram interface로 연결하여 동작하도록 설계하였다. 동작속도는 20Mhz이며, 메모리를 포함한 전체 게이트 카운트는 180만 게이트이다.

FPGA로 구현한 WAVE 모뎀은 IEEE 802.11p에서 지원하는 3, 6, 12 Mbps를 지원하며, 송신 비트수는 10비트이며, 수신 비트수는 8비트로 동작한다. 디지털 AGC (Automatic Gain Control),훈련순열을 찾기 위한 Matched 필터, 수신 전력을 계산하기 위한 RSSI 생성기, 짧은 훈련순열을 이용한 coarse 타이밍 recovery 회로와 긴 훈련순열을 이용한 fine 타이밍 recovery회로를 내장하고 있다.

참고문헌

[1] W. Y. Zou, and Y. Y. Wu, "COFDM : an overview," IEEE Trans. on Broadcasting, vol. 41 no. 1, pp. 1-8, Mar. 1995.

[2] http://www.ieee802.org/

[3] John Terry and Juha Heiskala, OFDM Wireless LANs : A Theoretical and Practical Guide, SAMS, 2002.

[4] G. D. Bergland and D. E. Wilson. A fast Fourier transform algorithm for a global, highly parallel processor. IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics, AU-17:125?127, 1969.

[5] J. Kwak et al., "Intelligent Modified Channel and Frequency Offset Estimation Schemes in Future Generation OFDM based Packet Communication Systems," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 2008, 2008.

[6] IEEE 802.11p/D3.0, Draft Amendment for Wireless Access in Vehicular Environments(WAVE), July 2007.[13] M. A. Ingram, G. Acosta, and L. Dong, "Wave channel model", IEEE802.11p Document , Nov. 2006.

[7] IEEE Std 802.11a : Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: high-speed physical layer in the 5GHz band, December 1999. 2223-2227, Sept. 1999

저자약력

임 기 택

1994년 한양대학교 전자공학과 (학사)
1996년 한양대학교 전자공학과 (석사)
1996년~현재 전자부품연구원 책임연구원
관심분야 : 지능형자동차, ITS, 엔터테인먼트용 SoC 및 시스템
이 메 일 : limkt@keti.kr

신 대 교

1998년 아주대학교 전자공학과 (학사)
2000년 아주대학교 전자공학과 (석사)
2000년~2003년 (주)이엠디티
2003년~현재 전자부품연구원 선임연구원
관심분야 : SoC설계, 디지털 모뎀 설계
이 메 일 : dukeshin@keti.kr

박 부 식

1999년 한국항공대학교 통신정보공학과(학사)
2001년 한국항공대학교 정보통신공학과(석사)
2007년~현재 한국항공대학교 정보통신공학과(박사과정)
2002년~현재 전자부품연구원 선임연구원
관심분야 : 유무선 통신 MAC, ITS, DSRC, AFDX
이 메 일 : parksik@keti.kr

정 한 균

2005년 한국항공대학교 정보통신공학(학사)
2007년 한국항공대학교 정보공학(석사)
2008년~현재 전자부품연구원 전임연구원
관심분야 : 유무선, 네트워크 시스템
이 메 일 : junghg@keti.kr

최 종 찬

1985년 경희대학교 전자공학과 (학사)
2002년 서경대학교 컴퓨터과학과 (석사)
2005년 충북대학교 정보통신공학과 (박사)
1985년~1990년 삼성 SDI 종합연구소 주임연구원
1992년~현재 전자부품연구원 수석연구원, SoC연구센터 센터장
관심분야 : VLSI 설계, SoC 플랫폼
이 메 일 : choijc@keti.kr

김 수 원

1974년 고려대학교 전자공학과 (학사)
1976년 고려대학교 전자공학과 (석사)
1983년 Texas A&M Univ. 전자공학과 (석사)
1987년 Texas A&M Univ. 전자공학과 (박사)
1987년~현재 고려대학교 전기전자전파공학과 정교수
관심분야 : Power Management IC, High Speed CMOS Transceiver
이 메 일 : ksw@asic.korea.ac.kr