

HDR-WPAN 시스템의 모뎀 구현 및 성능분석

Performance Analysis and MODEM Implementation of the HDR-WPAN System

주원기*, 김윤호**

Won-Ki Ju*, Yoon-Ho Kim**

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.15.3 그룹에서 표준화한 HDR-WPAN의 PHY 기술에 대한 구조와 세부 표준 규격을 분석하고, 송·수신부를 설계하여 성능을 분석하였다. 송신부 설계시 전송률에 따라 모드 선택이 가능한 QPSK, DQPSK, 16/32/64QAM-TCM 변조가 모두 가능하도록 설계하였고, 수신부는 DQPSK와 TCM 복호 알고리즘 구현에 중점을 두었다. VHDL을 이용하여 송수신 모뎀을 설계한 후, 실제 보드에 이식하여 MATLAB과 VHDL 시뮬레이터를 이용하여 성능 검증을 위한 연동 실험을 수행하였다. 성능분석 결과 SNR 22dB 이상에서 에러 없는 송수신이 가능함을 확인 하였다.

Abstract

In this paper, the structure and detailed specifications of the HDR-WPAN physical layer have been analyzed and the block module of transmitter and receiver have been also designed, and analyzed the performance as well. In the process of transmitter design, it concentrated on all possibility of modulation of QPSK, DQPSK and 16/32/64QAM-TCM, which could be available for mode selection due to the transmission rate. In addition to the receiver module, DQPSK and TCM decoding algorithm is mainly concerned. After designing the transceiver MODEM using VHDL, we have programmed on the platform board and verified the functions of the MODEM. Some experimental results showed that it can be considered a possibility of data communication without error over SNR 22dB,

Key words : HDR-WPAN; IEEE 802.15.3; Home Network; TCM Encoder

I. 서 론

향상된 홈 네트워킹(Home networking)이란 용어는 가정과 장비들간의 통신이 가능하도록 하는 망 구성(Networking)이란 두 가지 용어가 합쳐진 말이다. 즉,

가정에 있는 모든 장비들을 연결해 서로 통신을 할 수 있도록 함으로써, 가족 구성원이 현재 위치에 관계없이(가정 내의 위치 또는 가정 밖의 위치에 무관하게) 가정 내 장비를 제어하거나 통신할 수 있도록 해주는 기술이다.

* (주)이니솔루션(Enisolution. co. Ltd.)

** Mokwon대학교 컴퓨터공학부(Division of Computer Eng., Mok-won University)

· 제1저자 (First Author) : 주원기

· 교신저자 (Corresponding Author) : 김윤호

· 투고일자 : 2009년 2월 2일

· 심사(수정)일자 : 2009년 2월 3일 (수정일자 : 2009년 2월 17일)

· 게재일자 : 2009년 2월 28일

최근 디지털 A/V(오디오/비디오) 기기의 개발과 보급이 확대되면서 이러한 원격 서비스를 위해 맥내에서 다양한 멀티미디어 서비스를 가능하게 하는 홈 네트워크 시스템에 대한 요구가 급증하고 있다. 즉, 가정 내에 구성된 디지털캠코더, DVD, HDTV 등의 디지털 가전기기들을 하나의 네트워크로 연결하여 고품질 멀티미디어 데이터들을 가정 내의 모든 장소에서 실시간으로 송수신할 수 있고, 가정 내의 정보가전기기 네트워크로 연결되어 기기·시간·장소에 구애받지 않고 서비스가 제공되는 미래 가정환경인 디지털 홈에 대한 욕구가 증대되고 있다[1]. 특히, 디지털화가 진전된 현 시점에서는 가정 내에 약 110Mbps급의 고속 대용량 전송이 요구되고, 큰 집(35평 이상)을 기준으로 방 2개 이상 투과 시 전송 거리가 70m에 달하므로, 멀티미디어 데이터의 전송을 위한 광대역 무선 홈 네트워크 백본 네트워크 수요가 급증할 것으로 예상된다.



그림 1 홈 네트워크 개념도

Fig. 1 Concept of the home network

HDR-WPAN은 IEEE802.15.3 task group에서 표준으로 제정된 기술로서 최대 70m 거리에서 55Mbps급의 고속의 데이터 전송을 할 수 있는 차세대 홈 네트워크 기술이다[2]. 본 논문에서는 이를 VHDL 이용하여 합성 가능한 RTL코드로 구현한 뒤, 이를 Xilinx사의 Virtex-4 FPGA를 탑재한 플랫폼 보드를 통해 동작 검증 및 성능 분석을 하고자 한다.

II. HDR-WPAN(IEEE 802.15.3) 시스템

2-1 HDR-WPAN의 PHY 주요 규격

IEEE 802.15.3에서 정의한 싱글 캐리어 시스템의

PHY는 원하는 전송속도를 이루기 위해 11Mbaud에서의 코딩과 5개의 변조 방식을 지원한다. 이러한 형식들은 표 1에서와 같이 코딩과 데이터 전송속도에 따라 주어진다[3][6][9].

표 1 2.4GHz PHY의 변조 및 전송률

Table 1. Modulation and data rate for 2.4GHz PHY

Modulation	Coding	Data rate
QPSK	8-state TCM	11Mb/s
DQPSK	none	22Mb/s
16-QAM	8-state TCM	33Mb/s
32-QAM	8-state TCM	44Mb/s
64-QAM	8-state TCM	55Mb/s

결합된 PHY와 MAC 헤더는 CCITT CRC-16 header check sequence(HCS)로 보호된다. MAC 파라메타, pLengthHCS는 이 PHY 헤더를 위한 2byte이다. CCITT CRC-16 HCS는 식(1)의 다항식에 의해 결합된 PHY와 MAC 헤더를 modulo-2 연산을 해서 생성된 나머지에 1의 보수를 취한다.

$$X^{16} + X^{12} + X^5 + 1 \tag{1}$$

IEEE 802.15.3 2.4GHz 물리계층 표준은 트렐리스 코딩을 사용하는 QPSK, 16/32/64-QAM 뿐만 아니라 코드를 사용하지 않는 DQPSK 변조로 정의된다 모든 변조 방식에 대한 심볼 속도는 11M baud 이다. 지원되는 물리 계층 데이터 전송률은 11, 22, 33, 44, 55Mb/s(QPSK-TCM, DQPSK, 16/32/64-QAM-TCM)이다. [4][8].

그림 2는 각 변조방식별로 데이터를 인코딩할 때 사용될 신호 정상도로 트렐리스 부호화를 사용하지 않는 것은 DQPSK 변조에만 적용이 되며 DQPSK 심볼에 대해 비트쌍 맵핑의 “+jw” 위상 변화는 왼쪽으로 회전 하는 것으로 정의된다. 이와 다르게 QPSK와 16/32/64-QAM 방식들은 8-state 2-D 트렐리스 코드를 사용한다.

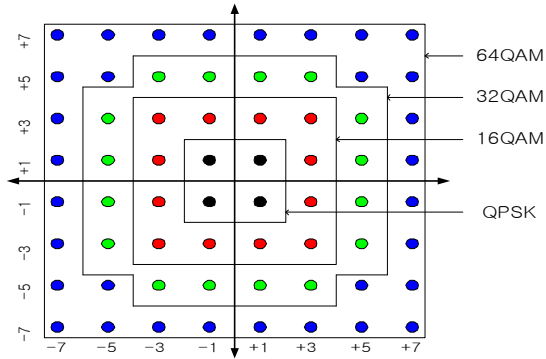


그림 2 DQPSK, QPSK, 16/32/64 -QAM 성좌도
Fig. 2. Constellation for DQPSK, QPSK and 16/32/64 -QAM

그림 3의 인코더는 8-상태 2-D 트렐리스 코드를 구현할 때 사용된다.

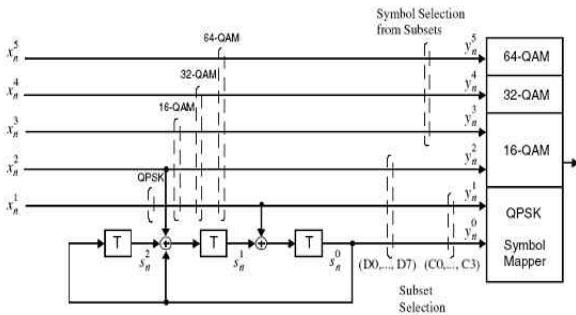


그림 3 8-state QPSK, 16/32/64-QAM 트렐리스 인코더
Fig. 3 Trellis encoder of 8-state QPSK, 16/32/64-QAM

2-2 HDR-WPAN 시스템 구조 설계

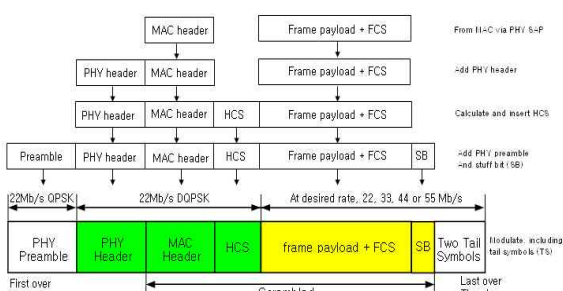


그림 4 22, 33, 44 and 55Mb/s 모드 프레임 포맷
Fig. 4 Frame format for 22, 33, 44 and 55Mb/s mode

그림 4는 22, 33, 44와 55Mb/s 모드에 대한 PHY 프레임 형식이다[5][9]. PHY 계층은 MAC 헤더 앞에

PHY 헤더를 붙이고 결합된 PHY 헤더와 MAC 헤더들과 HCS를 계산하여 MAC 헤더의 끝에 HCS를 붙인다. PHY 프리앰블은 첫 번째로 보내고 그 다음에 PHY 헤더, MAC 헤더 그리고 HCS 다음에 프레임 payload, FCS, 필요에 따라 stuff bits(SB)를, 그리고 마지막으로 tail symbol(TS)을 보낸다.

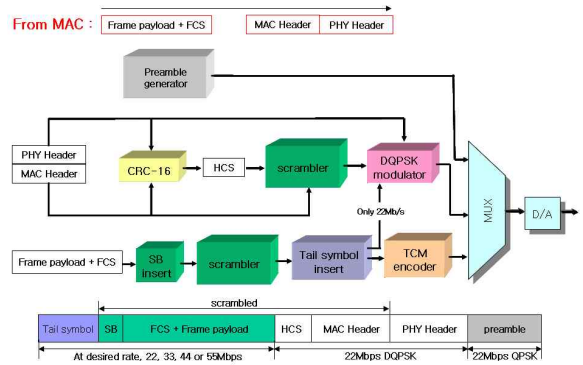


그림 5 HDR-WPAN 송신부 블록도
Fig. 5 Transmitter block for HDR-WPAN

HDR-WPAN의 송신부 블록도는 그림 5와 같다. MAC으로부터 전달받은 헤더, 프레임 페이로드들은 각각 변조 단계를 거친 후 IEEE 802.15.3 포맷에 맞게 조절되어 DA로 보내진다. 헤더구간은 DQPSK로 변조되며, 프레임 페이로드는 트렐리스 부호화를 거쳐 16/32/64-QAM으로 변조된다. 헤더와 프레임 페이로드 앞에 프리앰블을 붙임으로써 수신부에서는 이 프리앰블을 이용하여 동기를 수행하게 된다.

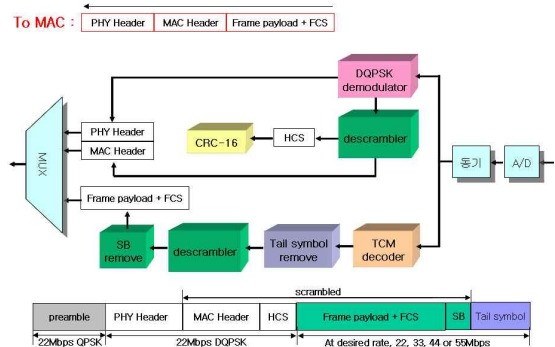


그림 6 HDR-WPAN 수신부 블록도
Fig. 6 Receiver block for HDR-WPAN

HDR-WPAN의 수신부 블록도는 그림6 과 같이 이루어져 있다. AD로부터 수신된 데이터는 동기 블록을 통해 프리앰블 구간에서 신호 검출 및 샘플링

동기, 주파수 동기를 수행하고, 복호 단계를 거쳐 복원된 헤더와 프레임 페이로드를 MAC으로 전달한다.

III. VHDL을 이용한 모뎀 구현

3-1 송신부 구현

DQPSK 변조기의 동작은 입력 데이터가 '00' 일 때는 위상을 유지하고, '10' 일 때는 $\pi/2$ 위상 천이, '11' 일 때는 π 위상 천이, '01' 일 때는 $-\pi/2$ 위상을 천이 시킨다. 또한 TCM 인코더는 아래 그림 7과 같이 D-플립플롭과 XOR 게이트로 간단히 구현된다.

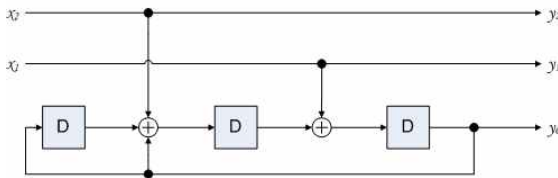


그림 7 TCM 인코더 블록도
Fig. 7 Encoder block of TCM

입력 비트에 인코딩된 한 비트가 추가되어 출력이 생성된다. 그림8 에서 DQPSK 변조와 64QAM모드에서 TCM 변조의 VHDL 시뮬레이션 결과를 확인할 수 있다.

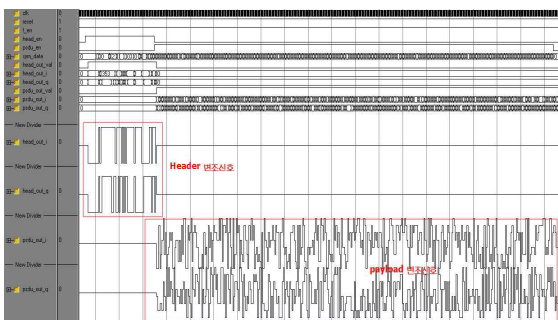


그림 8 DPQSK/TCM 변조의 VHDL 시뮬레이션
Fig. 8 VHDL simulation for DPQSK / TCM modulation

3-1 수신부 구현

DQPSK 복호기는 현재 입력 심볼과 이전 심볼 간의 위상차를 구하여 복호가 가능하며 식 (2)는 복소수인 결과 값이 생성되는 바, 그 결과 값의 부호를

이용하여 복호 데이터를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 S_{rot}(k) &= I(k)[I(k-1) + Q(k-1)] + Q(k)[Q(k-1) - I(k-1)] \\
 &\quad + j[Q(k)[I(k-1) + Q(k-1)] - I(k)[Q(k-1) - I(k-1)]] \\
 &= real_{rot}(k) + jimag_{rot}(k)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

TCM 복호기는 Viterbi decoder로 설계하였으며 이 복호기의 동작은 그림 9와 같이 입력 심벌에 대한 branch metric을 구한 뒤, 이를 누적하여 path metric으로 저장하여 최소 경로 값을 선택한 후, 역추적을 수행하여 최종 데이터를 얻는다.

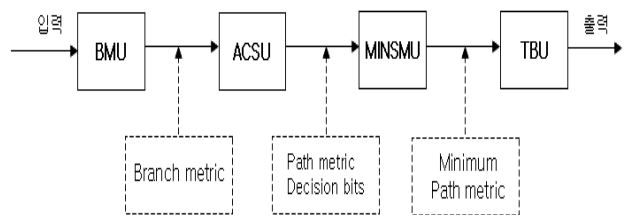


그림 9 TCM 복호기의 블록도
Fig. 9 Block diagram of TCM decoder

본 연구에서 설계한 TCM 복호기는 16/32 /64QAM 모드에 따라 동작이 가능하도록 rate 정보를 받아 변조방식에 맞추어 동작한다. 그림 10은 VHDL로 구현된 HCS검사 블록의 동작 검증을 위한 시뮬레이션 결과이다.

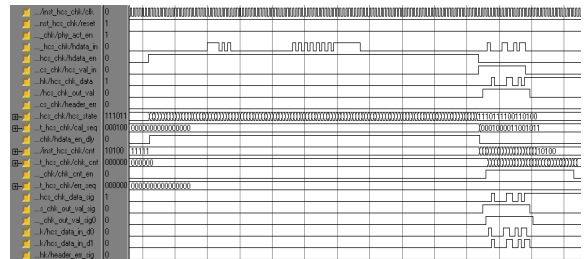


그림 10. 헤더에러 검사기의 VHDL 시뮬레이션
Fig. 10 VHDL simulation of header error checker

그림 11은 설계된 송수신 블록의 상세부분이다.

IV. 구현된 VHDL 모뎀의 성능 분석

본 연구에서는 VHDL로 구현한 HDR-WPAN 모뎀의 성능 분석을 위해 MATLAB 2006과 VHDL 시뮬레

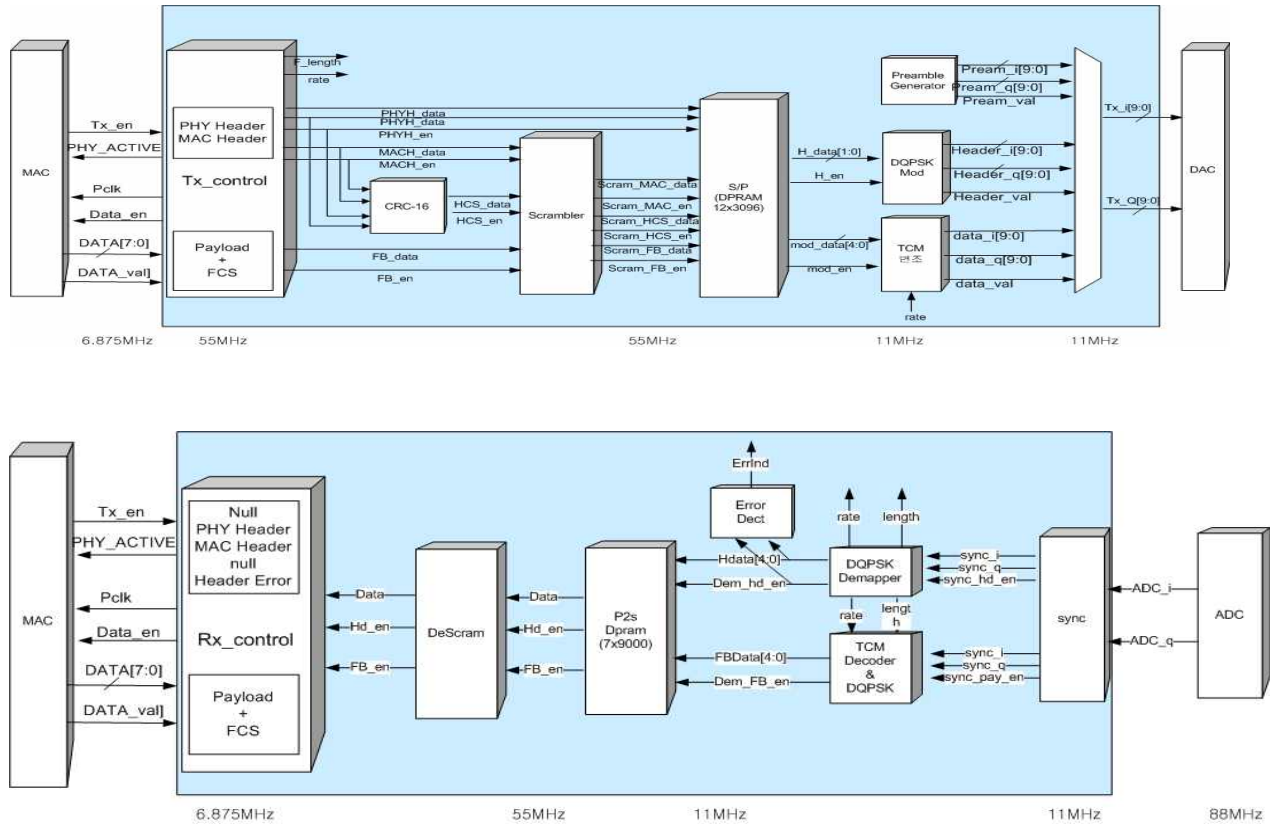


그림 11. 송수신 상세 설계 블록도
 Fir. 11 Design block diagram of the transceiver

이터인 Modelsim 6.1f를 사용하였다 (그림 12).

실험 방법은 MATLAB을 이용하여 입력 테스트 벡터를 생성하여 구현된 송신부 VHDL 모델에 입력한 후, 컴파일 된 결과물을 파일로 저장하고, 저장된 파일을 다시 MATLAB에서 불러 들여 잡음 채널을 부가 한 뒤, 수신부 VHDL 모델에 전달하여 복호 과정을 수행 하였다. 그 결과 파일을 MATLAB으로 전달하여 원천 데이터와 비교하여 SER(Symbol Error Rate)를 분석하는 방식으로 수행하였다.

시뮬레이션은 몬테-카를로 방식을 사용하여 SER 10^{-5} 의 신뢰도를 확보하기 위해 동일 잡음 채널하에서 2000 byte의 송신 데이터를 500회 이상 반복 실험 하였다. WPAN 시스템은 MAC을 통한 Byte 단위 데이터를 처리하므로 비트 하나의 에러보다는 Byte 단위의 심볼 에러에 그 의미를 두었다.

그림 13의 결과에 의하면 64QAM은 SNR 22dB, 32QAM은 SNR 18dB, 16QAM은 SNR 15dB에서 각각 10^{-5} 의 SER 성능을 보이고 있으며, 변조 방식에 따라 SNR 약 3~4dB의 개선 효과가 있음을 알 수 있었다.

그림 14는 10^{-5} 의 SER 성능을 보이는 SNR 22dB에서의 64QAM의 정상도이며, 그림 15 및 그림 16은 각각 10^{-5} 의 SER 성능을 보이는 SNR 18dB에서의 32QAM의 정상도와 10^{-5} 의 SER 성능을 보이는 SNR 15dB에서의 16QAM의 정상도이다.

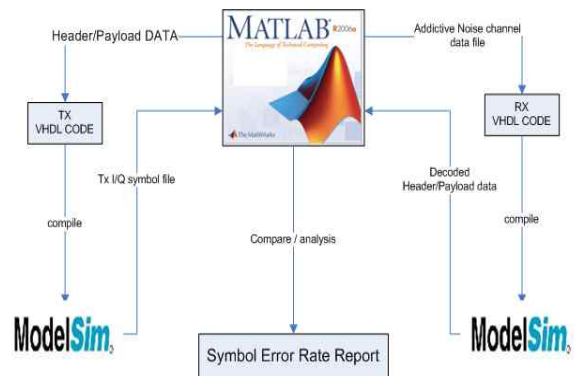


그림 12 성능분석 시뮬레이션 흐름도
 Fig. 12 Simulation flowchart for performance analysis

HDR-WPAN 실험을 위해 제작한 플랫폼 보드는

계측기를 통해 측정해 본 결과 SNR 30dB 이상의 성능을 가진다. 위의 성능 분석 결과에서 알 수 있듯이 VHDL로 설계한 모델을 실제 플랫폼 보드에 사용하는데 있어서 AWGN 채널만을 고려했을 경우, 예리 없이 사용 가능성을 확인 할 수 있다.

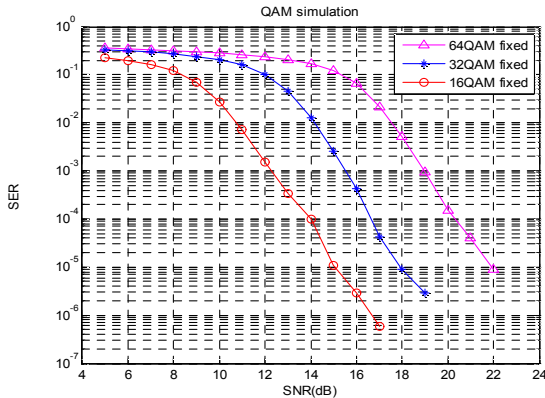


그림 13 AWGN 채널하에서 변조방식별 SER 비교
Fig. 13 SER comparison under AWGN channel

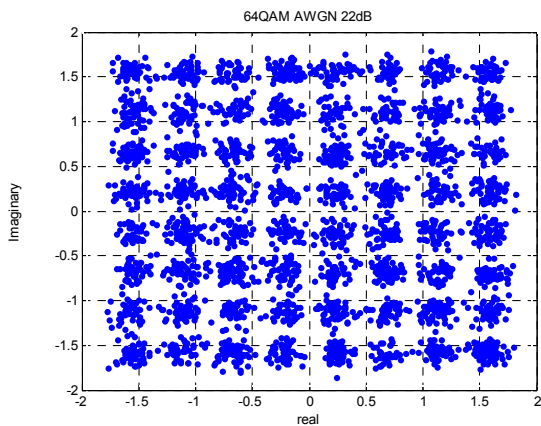


그림 14 64QAM 성상도(SNR 22dB)
Fig. 14 64QAM constellation(22dB)

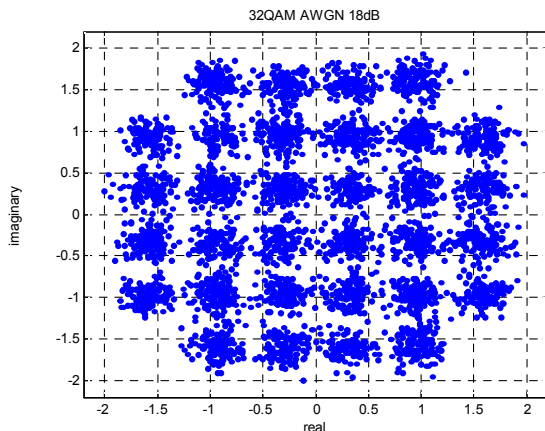


그림 15 32QAM 성상도(SNR 18dB)
Fig. 15 32QAM constellation(18dB)

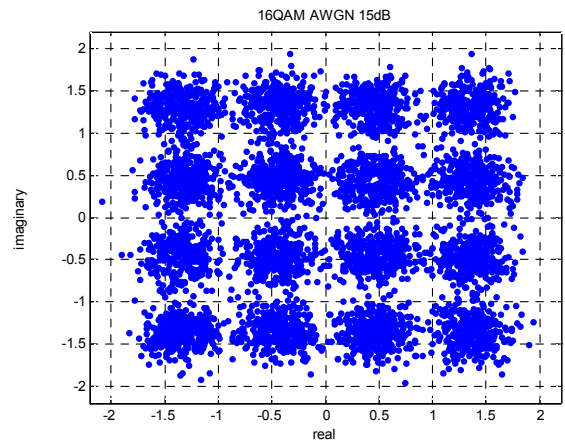


그림 16 16QAM 성상도(SNR 15dB)
Fig. 16 16QAM constellation(15dB)

V. 결 론

본 논문에서는 각종 홈 네트워크를 위한 기술 중에서도 IEEE 802.15.3 HDR-WPAN 시스템의 효율성을 제시하였고, IEEE 802.15.3 그룹에서 표준화한 HDR-WPAN의 PHY 기술에 대한 구조와 세부 표준 규격을 분석하였다. 그리고 전송률을 구분하여 송·수신부의 블록도를 설계하였으며 MATLAB Software와 VHDL 시뮬레이터를 이용하여 연동 실험을 수행하였다.

송신부 설계시 전송률에 따라 모드 선택이 가능한 QPSK, DQPSK, 16/32/64QAM-TCM 변조가 모두 가능하도록 설계하였다. 수신부는 DQPSK와 TCM 복호 알고리즘에 중점을 두고 설계하였다. 특히, DQPSK를 복조하기 위해 DQPSK 알고리즘을

수치해석 하였으며, TCM을 복호하기 위해 비터비 알고리즘에 대해 연구하여 VHDL 설계에 용이한 알고리즘을 선택하여 구성하였다. 무선 채널 모델로는 가장 기본인 AWGN 채널 환경을 설계한 VHDL 모델에 적용할 수 있도록 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션 환경을 구축하였으며, 시뮬레이션을 통해 AWGN 채널 환경에서의 신호 성상도와 SER 성능을 분석하였다. 본 논문에서 설계한 VHDL 모델은 MATLAB을 통해 충분한 성능분석을 실시하였으며, SNR 22dB 이상에서 예리 없는 송수신이 가능함을 확인 하였다.

본 연구에서 설계한 모델은 실내 무선 환경용으로

제한된다. 실외 무선 환경 및 페이딩에 강한 성능을 유지하기 위해서는 TCM 변복조 시스템뿐만 아니라 Reed-Solomon CODEC 및 인터리버와 같은 채널 코딩 기술이 요구된다. 향후, 이러한 기술을 추가 연구함으로써, 실내외 모든 환경에서 고속 무선 전송이 가능한 시스템을 개발하여 응용분야를 더욱 확대할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 정보통신연구진흥원, “IT 차세대 성장동력 기획 보고서(홈네트워크),” 2007.
- [2] IEEE 802.15.3 Task Group, “IEEE 802.15 TG3 and TG3a,” *WiMedia Alliance*, 2003. 6.
- [3] IEEE 802.15 working group for WPAN web site, “<http://grouper.ieee.org/groups/802/15/index.html>.”
- [4] IEEE 802.15.3 Task Group, “IEEE 802.15 TG3 and TG3a,” *WiMedia Alliance*, 2003. 6.
- [5] IEEE Std 802.15.3, “wireless medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specifications for high rate wireless personal area networks(WPANs),” 2003.
- [6] J. Terry, J. Heiskala, “OFDM wireless LANS : A theoretical and practical guide,” *SAMES*, 2002.
- [7] 정유승, 김남기, “FH-OFDM 시스템 성능 개선을 위한 주파수 공유채널 할당 기법” *한국정보기술 학회논문지*, 제5권 3호, 2007. 9.
- [8] 박지우, 오창현, “HDR-WPAN 시스템을 위한 주파수 옵셋 보상과 트래킹 알고리즘 성능분석”, *한국항행학회 논문지*, 제9권 2호, 2005. 12.
- [9] IEEE Std 802.15.3, *Wireless Medium Access Control and Physical Layer Spec. for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)*, 2003.

주 원 기 (朱元基)



2003년 2월 : 목원대학교 컴퓨터공학과(공학사)
 2007년 2월 : 순천대학교 정보통신공학과(공학석사)
 2003년 7월~2008년 2월 : (주)휴메이트 기술연구소 H/W 선임연구원
 2008년 3월~ 현재 : (주)이니솔루션

H/W 팀장

관심분야 : 무선 통신, 영상전송시스템, WPAN, WLAN, Ether Device Communication

김 윤 호 (金允鎬)



1986년 : 경희대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1992년 : 청주대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
 2005년 ~ 2006년 : Univ. of Auckland, NZ. Dept. of Computer Science, CITR Lab. Research Fellow.

1992년 ~ 현재 : 목원대학교 컴퓨터공학부 교수, 멀티미디어 기술사.

관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 뉴로퍼지응용, 방재정보통신정책, ISO/TC22300 기술표준화 등