

## HDR-WPAN 시스템의 용량증대 방안 연구

강철규\*, 오용택\*, 김재영\*\*, 조성언\*\*\*, 오창현\*

### 요약

본 논문에서는 HDR-WPAN(high data rate wireless personal area network) 시스템에서 TCM-128QAM 변조 방식과 25MHz 대역폭 확장을 통한 전송용량 향상 방안을 제안하였다. TCM-128QAM의 변조방식을 사용하였을 경우, 15MHz의 대역폭에서 최대 66Mbps의 전송속도를 나타낼 수 있지만, roll-off 계수  $\alpha=0.35$  으로 하고, 대역폭을 25MHz로 확장하였을 경우, 최대 110Mbps의 전송속도를 나타낼 수 있다. 이 같은 결과를 PSD(power spectrum density) 분석 및 BER(bit error rate) 성능을 이용하여 확인하였다.

### A Study on the Capacity Enhancement of HDR-WPAN System

Chul-Gyu Kang\*, Yong-Taek Oh\*, Jae-Young Kim\*\*, Sung-Eon Cho\*\*\*, Chang-Heon Oh\*

### Abstract

In this paper, we proposed a capacity enhancement method using TCM-128QAM modulation and bandwidth extension of 25MHz in HDR-WPAN (high data rate wireless personal area network) system. In case using TCM-128 QAM modulation scheme, we can obtain maximum 66Mbps transmission rate in bandwidth of 15MHz. If extend bandwidth by 25MHz and roll-off coefficient  $\alpha=0.35$ , we can obtain maximum 110Mbps transmission rate. These results are confirmed through PSD (power spectrum density) analysis and BER (bit error rate) performance.

Key words : Capacity Enhancement, HDR-WPAN

## 1. 서론

가정 내에 구성된 디지털 캠코더, DVD, HDTV, home theater 등의 디지털 가전기기들을 하나의 네트워크로 연결하여 고품질 멀티미디어 데이터들을 가정 내의 모든 장소에서 실시간으로 송·수신할 수 있고, 가정 내의 정보가전기기가 네트워크로 연결되어 기기·시간·장소에 구애받지 않고 서비스가 제공되는 미래 가정환경인 디지털 홈에 대한 욕구가 증대되고 있다. 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 네트워킹 수요가 급증할 것으로 예상된다. 이러한 홈 네트워킹을 구성할 수 있는 후보기술로서 100m 이상의 전송 거리를 지원하는 PLC, Ethernet, HomePNA, WLAN 과 같은 기술이 있으며, 10m 이내

의 거리만을 지원하는 IEEE 1394, WPAN 기술 등이 있다. 이 가운데 WLAN은 실질적 전송 속도가 20~30Mbps 이고, QoS 가 보장되지 않아서 멀티미디어 스트리밍을 제공하는데 한계를 지니고 있는 반면, WPAN 가운데 HDR-WPAN(IEEE 802.15.3)의 경우 최대 70m 반경에서 55Mbps의 전송속도를 지원하고, QoS, peer-to-peer 기능으로 가전기기간의 양방향 통신이 가능한 차세대 홈 네트워킹 기술로 인정받고 있다 [1],[2].

본 논문에서는 HDR-WPAN 시스템을 110Mbps로 용량 증대 하는 방안으로 대역폭의 확장과, TCM-128QAM 변조 방식을 사용하는 것에 대해 분석한다. 본 논문의 구성은 1장 서론에 이어 2장에서 HDR-WPAN 시스템을 설명하고, 3장에서는 HDR-WPAN 시스템의 용량증대 방법에 대해서 설명 한다. 4장에서는 HDR-WPAN 시스템의 성능과 제안한 시스템의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교하고, 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

\* 제일저자(First Author) : 강철규

접수일 : 2004년 10월 26일, 완료일 : 2004년 11월 27일

\* 한국기술교육 대학교 대학원 전기전자공학과

정보통신공(석사과정)

swing98@kut.ac.kr

## 2. HDR-WPAN 시스템

IEEE 802.15.3은 2.4GHz의 주파수 대역을 사용하는 싱글캐리어 시스템이다. PHY는 원하는 데이터 전송속도를 위해 11Mbaud에서 코딩과 5개의 변조 방식을 지원한다. PHY가 지원하는 변조, 코딩 및 데이터율은 표 1과 같다.

표 1. 2.4GHz PHY의 변조 및 데이터율

변조방식	코딩	전송률
QPSK	8-state TCM	11Mbps
DQPSK	none	22Mbps
16-QAM	8-state TCM	33Mbps
32-QAM	8-state TCM	44Mbps
64-QAM	8-state TCM	55Mbps

IEEE 802.15.3의 최대 전송 가능한 프레임 크기는 상위 계층으로부터 통과한 데이터 프레임의 최대 크기이며 2044 octets 까지 가능하다. 만약 데이터 연결을 위해서 security가 필요하다면 상위 계층의 2044 octets에서 security overhead 만큼 뺀 값이 데이터 프레임 크기로 결정된다.

변조 및 복조에서 QPSK, 16/32/64-QAM은 그림 1과 같은 8-state 2-D 트렐리스 코드를 사용하고, DQPSK에서는 트렐리스 코드를 사용하지 않는다.

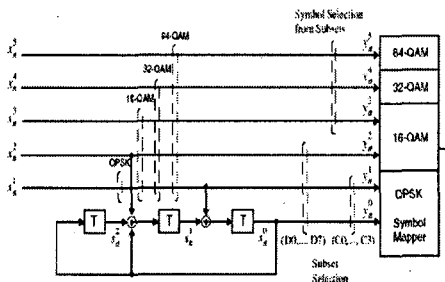


그림 1. QPSK, 16/32/64-QAM 트렐리스 인코더

PHY 프레임은 4가지의 세그먼트(프리앰블, 헤더, 데이터, 테일)를 포함한다. 프리앰블은 수신기에서 동기화, carrier -offset 복구, 그리고 신호 equalization 용도로 사용한다. 헤더에는 seed id, 변조방식, 데이터의 길이가 포함되며, CCITT CRC-16 header check sequence(HCS)로 보호 된다.테일은 프레임의 끝에 위치하며 트렐리스 코드의 가장 좋은 거리 특성을 갖도록 해준다.

IEEE 802.15.3의 PHY 프레임 포맷은 11Mbps 모드와 22, 33, 44, 55Mbps 모드 두 가지로 구분된다. 11Mbps에서는 PHY 헤더, MAC 헤더 그리고 HCS가 두 번 반복되며 첫 번째는 22Mbps DQPSK 모드에서

변조되고 두 번째는 PHY 헤더, MAC 헤더, HCS가 11Mbps QPSK-TCM 모드로 변조된다[3].

## 3. HDR-WPAN 시스템의 용량증대 방안

HDR-WPAN 시스템은 15MHz의 대역폭에서 TCM-64QAM 변조를 할 경우 최대 55Mbps의 전송 속도를 갖는다. 110Mbps의 전송속도를 갖는 시스템을 구성하기 위해 대역폭의 확장과 TCM-128QAM의 변조방식을 적용한다.

### 3.1 TCM-128QAM

TCM(Trellis Coded Modulation)에서는 부호화되기 전과 후의 시스템 평균 전력은 동일하게 설계된다. 또한 부호화를 위해 필요한 잉여성분을 제공하기 위해, 신호 집합은  $M=2^k$ 로부터  $M'=2^{k+1}$ 로 증가된다. 즉  $M=2M'$ 이다. 그러나 알파벳 크기의 증가가 요구되는 대역폭 증가로 나타나지 않는다. TCM에서 대역폭의 증가는 신호의 전송률에 의존한다. 확장된 신호집합은 인접한 신호 점들 간 거리를 감소시키는 결과를 가져온다. 그러나 잉여성분들에 의해 취약한 신호 성분들 간의 거리를 증가시킴으로 오류 확률을 줄일 수 있다[4].

그림 2는 TCM-128QAM에서 TCM-64QAM과 동일한 자유거리 특성을 가짐을 나타낸다.

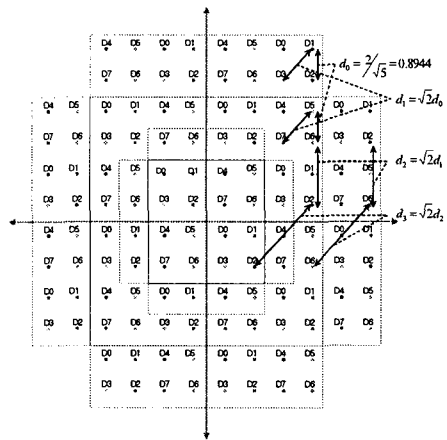


그림 2. TCM-128QAM 성상도

### 3.2 나이퀴스트 최소 대역폭

이동통신에서 사용되는 가장 일반적인 펄스 웨이핑 필터는 올림형 코사인 필터(raised cosine filter)이다. 올림 코사인 필터는 나이퀴스트 필터의 특성(표본화 순간에 ISI가 발생하지 않는 특성)을 따른다. 올림형 코사인 필터의 전달함수는 식(1)과 같다.

### 4. 성능평가

$$H_{RC} = \begin{cases} 1 & 0 \leq |f| \leq \frac{(1-\alpha)}{2T_s} \\ \frac{1}{2} \left[ 1 + \cos \left[ \frac{\pi \left( |f| \cdot 2T_s - 1 + \alpha \right)}{2\alpha} \right] \right] & \frac{(1-\alpha)}{2T_s} \leq |f| \leq \frac{(1+\alpha)}{2T_s} \\ 0 & |f| \geq \frac{(1+\alpha)}{2T_s} \end{cases} \quad (1)$$

여기서  $\alpha$ 는  $0 \leq \alpha \leq 1$ 의 범위를 갖는 roll-off 계수이다.  $\alpha = 0$ 일때, 올림형 코사인 roll-off 필터는 최소 대역폭의 사각 필터에 해당한다. 그 필터의 임펄스 응답은 전달함수의 푸리에 역변환으로 구할 수 있고, 식 (2)와 같다.

식 (1), (2)를 통해 roll-off 계수  $\alpha$ 가 증가했을 때 필터의 대역폭 또한 증가하고, 인접 심볼 영역의 time sidelobe 레벨은 감소한다. 이것은  $\alpha$ 값이 증가하면 타이밍 지터의 민감도는 감소하나 차지하는 대역폭은 증가함을 의미한다.

$$h_{RC} = \frac{\sin\left(\frac{\pi t}{T_s}\right)}{\pi t} \cdot \frac{\cos\left(\frac{\pi \alpha t}{T_s}\right)}{1 - \left(\frac{4\alpha t}{2T_s}\right)^2} \quad (2)$$

$B$  symbols/s의 심볼 전송률에 대하여 ISI가 발생하지 않는 최소한의 요구되는 대역폭 B는 필터의 roll-off 계수  $\alpha$ 를 고려하여 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$R_s = \frac{1}{T_s} = \frac{2B}{1 + \alpha} \quad (3)$$

진폭 편이 방식(ASK) 및 위상 편이 방식(PSK)과 같은 대역통과 변조 신호들은 등가 기저대역 신호들의 전송 대역폭의 두 배를 필요로 한다. 자신의 기저대역 대역폭의 두 배만큼 필요로 하는 주파수 변이 신호를 양측파대 (double-sideband; DSB) 신호라고 한다. 따라서 필요한 DSB 대역폭 B와 심볼 전송률  $B$  사이의 관계는 식 (4)와같이 표현된다[5].

$$R_s = \frac{1}{T_s} = \frac{B}{1 + \alpha} \quad (4)$$

식 (4)를 적용했을 때 TCM-128QAM의 변조 방식만 사용 한다면 66Mbps의 전송 속도를 갖는다. TCM-128QAM 변조 방식과 roll-off 계수  $\alpha = 0.35$ 를 사용하여 110Mbps의 전송 속도를 갖기를 원한다면 24.7495MHz의 대역폭 확보가 필요하게 된다.

본 장에서는 HDR-WLAN 시스템을 AWGN 환경에서 시뮬레이션하여 분석한다. 시스템의 파라메타는 표 2와 같다.

그림 3은 전송률 55Mbps일 때의 송신 PSD(Power Spectrum Density) 마스크 특성을 나타낸다.

표 2. Simulation Parameter

Parameter	Value
Symbol rate	11Mbaud
Modulation (data rate)	Trellis-coded QPSK(11 Mbps ) DQPSK(22 Mbps) Trellis-coded 16QAM(33 Mbps) Trellis-coded 32QAM(44 Mbps) Trellis-coded 64QAM(55 Mbps) Trellis-coded 128QAM(110 Mbps)
Trellis code	Variable, 8-state convolutional code
Transmit filter	Square-root raised cosine, $\alpha=0.35$
Channel bandwidth	15MHz, 25MHz
Frame length	1250bytes

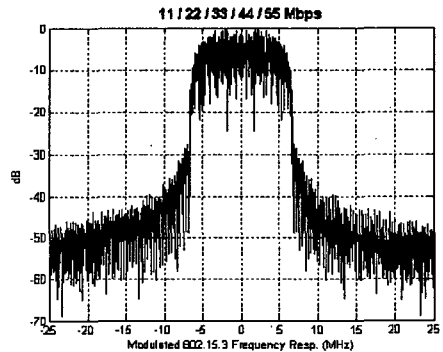


그림 3. 55Mbps에서의 스펙트럼

그림에서 보이는 것처럼 15MHz의 대역폭에서 -30dB의 송신 PSD가 요구된다.

그림 4는 TCM-128QAM 변조 방식을 사용하여 110Mbps의 전송속도를 가질 때의 송신 PSD를 나타낸다. -30dB의 송신 PSD에서 약 25MHz의 대역폭이 요구됨을 알 수 있다.

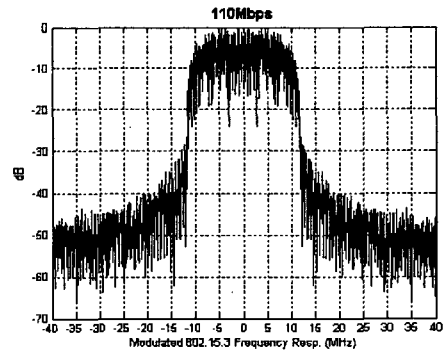


그림 4. 110Mbps에서의 스펙트럼

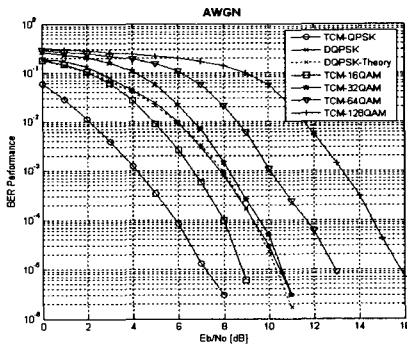


그림 5. AWGN 채널 환경에서의 BER 성능곡선

그림 5는 AWGN 채널에서의 BER 성능을 나타낸다. AWGN 채널에서  $10^{-5}$ 의 BER 성능을 갖기 위해 요구되는  $E_b/N_0$ 는 TCM-64QAM에서 약 13dB, TCM-128QAM에서 약 16dB가 필요하다.

TCM-128QAM으로 TCM-64QAM과 동일한 BER 성능으로 전송하기 위해서는 TCM-64QAM보다 약 3dB 정도의 파워가 더 필요하다.

### 5. 결론

본 논문에서는 HDR-WPAN의 110Mbps로 전송속도 향상 방안으로 TCM-128QAM 변조 방식과 25MHz의 대역폭 확장을 제안하였고, AWGN 채널 환경에서 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 15MHz의 대역폭에서 TCM-128QAM 변조 방식을 사용하였을 경우, 66Mbps의 전송 속도로 전송되는 반면, 대역폭을 25MHz, roll-off 계수  $\alpha = 0.35$ 로 했을 경우, 110Mbps의 전송 속도를 구현할 수 있었다. 또한, TCM-128QAM 변조방식이 AWGN 채널에서  $10^{-5}$ 의 BER 성능을 갖기 위해서는  $E_b/N_0$ 가 약 16dB가 필요함을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

### 참고 문헌

- [1] 전호인, "무선 홈 네트워크 기술 표준화 동향 및 발전방향", 한국통신학회, 2004. 3.
- [2] 박선옥, 하정락, 김성희, "고속률 WPAN의 기술동향", 주간 기술동향, 2003. 2.
- [3] IEEE Std 802.15.3, Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks(WPANs), 2003.
- [4] John G. Proakis, Digital Communications. 4th Edition. McGraw-Hill, Inc., 2001.
- [5] Theodore S. Rappaport, Wireless Communications

Principles and Practice. Prentice-Hall, Inc., 2002.



#### 강철규

2004년 2월 : 한국기술교육대학교  
정보기술공학부 정보통신전공  
(공학사)

2004년 11월 - 현재 : 한국기술교육  
대학교 대학원 전기전자공학과  
정보통신공(석사과정)

관심분야 : 멀티미디어 무선통신, 홈 네트워크



#### 오용택

1980년 2월 : 숭실대 전기공학과 졸업  
(공학사)

1982년 2월 : 연세대 대학원  
전기공학과 졸업(공학석사)

1987년 2월 : 연세대 대학원  
전기공학과(공학박사)

1987년 - 1991년 한전 정보처리처 과장

1991년 - 현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부  
전기전공 교수

#### 김재영

1990년 2월 : 연세대학교 전자공학과  
(공학사)

1992년 2월 : 연세대학교 대학원  
전자 공학과 (공학석사)

1996년 8월 : 연세대학교 대학원  
전자 공학과 (공학박사)

1996년 8월 - 1999년 2월 : 대우전자(주) 근무

1999년 3월 - 현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원  
관심분야 : 멀티미디어 무선통신, 홈 네트워크



#### 조성언

1989년 2월 : 한국항공대학교  
항공통신공학과 (공학사)

1991년 2월 : 한국항공대학교 대학원  
항공통신정보공학과 (공학석사)

1997년 2월 : 한국항공대학교 대학원  
항공전자공학과 (공학박사)

1991년 3월 - 1992년 2월 : 한국항공대학교

항공통신정보공학과 조교

1997년 3월 - 현재 : (국립) 순천대학교 공과대학  
정보통신공학부 부교수

관심분야 : 멀티미디어통신, 이동통신 및 위성통신,  
환경전자공학

**오 창 현**



1988년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과 (공학사)

1990년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 (공학석사)

1996년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 (공학박사)

1990년2월 - 1993년9월 : 한진전자(주) 기술연구소 근무

1993년10월 - 1999년2월 : 삼성전자(주) CDMA 개발팀 근무

1999년 3월 - 현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 조교수

관심분야 : 이동통신, 멀티미디어 무선통신, SDR