

# 고속 WPAN 서비스를 위한 IEEE 802.15.3 HDR 모델 구현에 관한 연구

김종완 · 조성언

순천대학교 정보통신공학부

## 목 차

- I. 서 론
- II. HDR-WPAN의 PHY 규격
- III. HDR-WPAN 모델 시뮬레이터 설계
- IV. HDR-WPAN 모델의 성능 분석
- V. 결 론

### I. 서 론

최근 홈 네트워크 및 유비쿼터스 네트워크에 대한 요구가 증대하면서 가정 내 가전기기, 사무기기 및 각종 정보 기기들을 근거리에서 배선의 불편 없이 고속으로 연결시켜 줄 수 있는 고속 무선 PAN (Personal Area Network) 기술이 주목을 받고 있다. IEEE 802.15.3 Working Group에서 개발한 High-rate WPAN 기술은 70m 이내의 근거리에서 무선 단말들 사이의 초고속의 멀티미디어 전송을 목표로 하고 있다[1].

802.15.3 HDR-WPAN은 2003년에 표준화가 완료되어 QoS와 Security를 지원하고 2.4GHz ISM 주파수 대역에서 5개의 채널을 할당 받아 서로 다른 채널을 지원하므로 가정 내의 멀티미디어 데이터 트래픽에 적합하다. 또한 자체적인 security suite를 보유하고 있을 뿐만 아니라 19.2 Mbps의 HD급 비디오 데이터의 전송이 가능하다. HDR-WPAN은 전력의 소모가 낮으며 11baud의 심볼 rate로 11, 22, 33, 44, 55Mbps의 전송률을 제공한다. 그리고 최대 송신출력 레벨은 세계 각 나라의 기술 기준에 의해 10mW에서 100mW로 제한되어 있으며 AWGN이 주어진 상황에서 출력 기준에 따라 각기 다른 전송 거리를 제공할 수 있다[2].

이에 따라서 WPAN은 제 3세대 이후 무선통신망의 중요한 기술로 등장하게 되었으며 디지털 미디어의 개인화를 한층 가속화할 수 있는 기반 기술로 주목되고 있다.

본 연구에서는 홈 네트워크의 기반이 되는 2.4GHz ISM주파수대역의 11, 22, 33, 44, 55Mbps급 HDR-WPAN을 기술하고 Working group에서 제공하는 IEEE 802.15.3 스펙을 기준으로 고속 데이터 전송이 가능한 모델을 구현한다. 또한, 구현한 시뮬레이터를 이용하여 AWGN 채널 환경에서 모델의 성능을 분석한다.

### II. HDR-WPAN의 PHY 규격

HDR-WPAN의 PHY 계층은 PHY 헤더와 MAC 헤더, 그리고 HCS 순으로 결합한다. 이때 HCS는 PHY 헤더와 MAC 헤더를 합하고 이를 CRC로 추정하는 것이다. 그리고 비트에서 MAC frame body(즉, frame payload와 FCS의 합)의 크기가 bit/symbol의 정수배가 아니면 MAC frame body 뒤에 Stuff bits를 추가해야 한다. 따라서 PHY 프레임의 전체 모양은 PHY 프리앰블, PHY 헤더, MAC 헤더, HCS 순으로 연결되고 그 뒤에 frame payload, FCS, Stuff bits가 차례로 연결된

다. 단, Stuff bits는 경우에 따라 필요할 때만 붙인다. 마지막으로 Tail symbols를 붙인다.

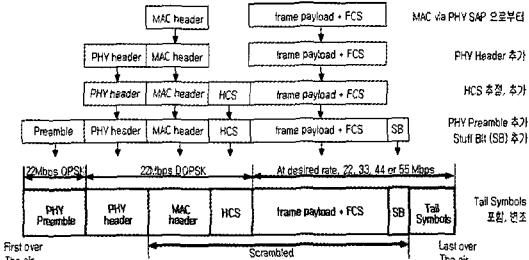


그림 1. 22, 33, 44, 55Mbps 모드의 PHY 프레임 전체구성

그림 1은 22, 33, 44, 55Mbps 모드의 PHY 프레임 전체구성이다. 그림 1에서 PHY 프리앰블은 22Mbps 전송률을 갖는 QPSK 모드로 변조되고 PHY 헤더와 MAC 헤더, HCS는 22Mbps 전송률을 갖는 DQPSK 모드로 변조된다. 마지막으로 frame payload와 FCS, Stuff bits, Tail symbols는 22, 33, 44, 55Mbps 전송률에 따라서 DQPSK 혹은 TCM 모드로 변조된다.

11Mbps 모드의 PHY 프레임 구성은 그림 2에서와 같이 다른 전송률과는 조금 다르다. 11Mbps 모드의 PHY 계층은 PHY 헤더와 MAC 헤더를 연결하고, 결합된 PHY 헤더와 MAC 헤더로 CRC-16을 통해서 HCS를 추정하여 MAC 헤더의 뒤에 붙인다. 그러나 결합된 PHY 헤더와 MAC 헤더, 그리고 HCS가 연속적으로 반복하므로 다른 전송률과는 차이가 있다. 11Mbps 모드는 심볼 당 1비트로 변조되기 때문에 MAC frame body에 대한 Stuff bits가 필요 없다. 결국, 11Mbps 전송 모드의 프레임 전체 모양은 PHY 프리앰블, PHY 헤더, MAC 헤더 그리고 HCS가 연속적으로 두 번 반복되며 frame payload와 FCS, Tail symbols로 구성된다.

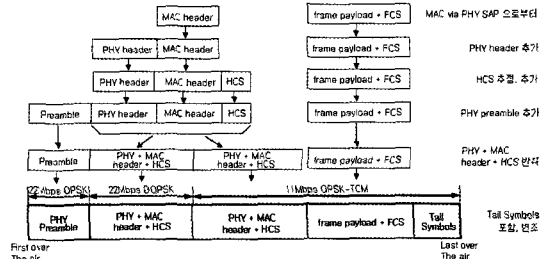


그림 2. 11Mbps 모드의 PHY 프레임 전체 구성

11Mbps 전송 모드의 PHY 프리앰블은 CAZAC 시퀀스를 사용한 4-위상 심볼이므로 22Mbps QPSK 모드로 변조된다. 그리고 PHY 헤더와 MAC 헤더, HCS가 결합되어 연속적으로 반복할 때 첫 번째의 PHY 헤더와 MAC 헤더, HCS는 22Mbps DQPSK 모드로 변조되고 두 번째의 PHY 헤더와 MAC 헤더, HCS는 11Mbps QPSK-TCM 모드로 변조된다. 마지막으로 frame payload와 FCS, Tail symbols는 11Mbps QPSK-TCM 모드로 변조된다.

### III. HDR-WPAN 모뎀 시뮬레이터 설계

#### 3.1 송신부 구현

HDR-WPAN 시뮬레이터를 구현하기 위하여 송신부에 대한 블록도를 그림 3, 그림 4와 같이 구성하고 임의의 데이터를 송신부 블록에서 각 필드(프리앰블, 헤더, frame body) 포맷에 맞게 조절한다.

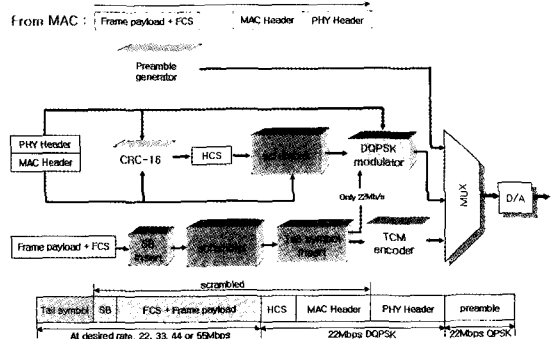


그림 3. 22, 33, 44, 55Mbps 모드 송신부 블록도

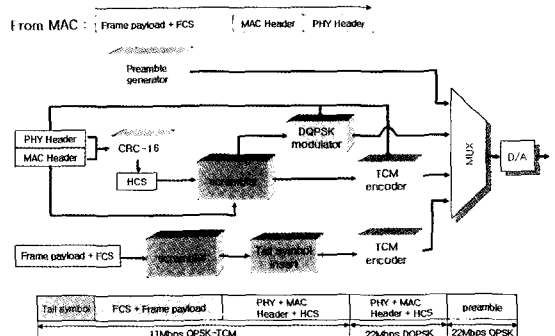


그림 4. 11Mbps 모드 송신부 블록도

프리앰블 발생기는 16개의 QPSK 심볼을 갖는 CAZAC 시퀀스를 만들어 12번 반복하여 192개의 심볼 수를 나열한다. 그러나 마지막 16개의 심볼은 CAZAC 시퀀스의 역수가 되도록 구현한다.

PHY 헤더는 Seed identifier의 2비트와 MAC frame body 데이터의 3비트, payload 길이의 11비트를 순서에 맞게 구현한다. Seed ID, MAC frame body 데이터, payload 길이를 파라미터로 하여 Seed ID는 '00', '01', '10', '11'에서 하나를 선택할 수 있도록 하고, MAC frame body 데이터는 '000', '100', '010', '110', '001'로 하여 하나를 선택할 수 있도록 한다. '000'은 11Mbps DQPSK-TCM 모드, '100'은 22Mbps DQPSK 모드, '010'은 33Mbps 16QAM-TCM 모드, '110'은 44Mbps 32QAM-TCM 모드, '001'은 55Mbps 64QAM-TCM 모드를 나타낸다. 또한, payload 길이는 최소 64 octets에서 최대 2044 octets까지를 파라미터로 한다.

MAC 헤더는 10byte로 구성되며 본 논문의 시뮬레이션 상에서는 랜덤 넘버를 발생시켜 80비트를 연속적으로 보낸다.

CRC-16은 PHY 헤더와 MAC 헤더의 출력 값을 입력받아 PHY 헤더와 MAC 헤더를 순서에 맞게 결합시키고 CRC 레지스터를 구현한다(이후부터 PHY 헤더와 MAC 헤더의 결합된 시퀀스를 Serial\_data라 함). 이때 CRC 레지스터의 초기 값은 1로 하며 첫 번째 레지스터와 Serial\_data의 한 비트가 modulo-2 연산을 수행한다(이후부터 첫 번째 레지스터와 하나의 Serial\_data 비트가 modulo-2 연산하는 것을 xor\_temp라 함). 그리고 xor\_temp와 다섯 번째 레지스터, xor\_temp와 열 두 번째 레지스터가 각각 modulo-2 연산하도록 한다. 마지막으로 CRC-16의 최종 출력을 1의 보수가 되도록 한 것이 HCS이다.

Stuff bits insert는 Stuff bits를 0으로 하고 33, 55Mbps일 경우에만 동작하도록 한다. 만약 33, 55Mbps 모드이면 MPDU를 비트로 변환시키고 각 3과 5로 나눈다. 이때 bit/symbol의 정수화가 되지 않으면 정수화가 되도록 MPDU 뒤에 0을 추가 시킨다.

스크램블러는 전송률에 따라 다음과 같이 구분하여 구현한다. 11Mbps 모드는 첫 번째 MAC 헤

더와 HCS를 스크램블링한 후 레지스터를 재 초기화 하고 두 번째 MAC 헤더와 HCS, MPDU를 스크램블링 한다. 22, 44Mbps 모드는 MAC 헤더와 HCS, MPDU만을 차례로 스크램블링 하고 33, 55Mbps 모드에서는 Stuff bits를 추가하여 같이 스크램블링 한다. 레지스터는 첫 번째와 두 번째 요소가 modulo-2 연산을 하며 초기값은 [ones(1, 13), seed\_id] 이다.

Tail symbols insert는 전송률과 트렐리스 부호기의 레지스터 상태에 따라 11Mbps 모드는 3비트, 22Mbps 모드는 4비트, 33Mbps 모드는 6비트, 44Mbps 모드는 8비트, 55Mbps 모드는 10비트의 Tail symbols를 삽입한다.

DQPSK 변조기는 22Mbps 모드와 11, 33, 44, 55Mbps 모드로 구분하여 동작한다. 22Mbps 모드에서는 PHY 헤더, 스크램블러의 출력, Tail symbols의 '0101'을 변조하고 11, 33, 44, 55Mbps 모드는 PHY 헤더와 스크램블러 출력 (1~96비트)을 변조한다. 이때 스크램블의 일부분만 변조하는 것은 그림 3과 같이 MAC 헤더와 HCS만을 DQPSK로 변조하기 때문이다. 변조 과정은 입력을 2비트씩 나누어 반복하고 이전 상태와 현재 상태 (즉, 이전의 입력 2비트와 현재의 입력 2비트)로 구분한다. 그리고 이전 상태와 현재 상태에 의해 출력 비트를 결정한다. 매핑은 출력 비트가 '00'이면  $-1 + j$ , '01'이면  $1 + j$ , '10'이면  $1 - j$ , '11'이면  $-1 - j$ 로 매핑한다.

TCM 부호기는 11Mbps 모드에서 PHY 헤더와 스크램블러의 출력 (97~나머지 비트)을 트렐리스 부호화 하고 33, 44, 55Mbps 모드에서 스크램블러의 출력 (97~나머지 비트)만을 트렐리스 부호화 한다. 또한, TCM 부호기는 상태 레지스터를 '000'으로 초기화하고 modulo-2의 연산을 이용하여 동작한다. 마지막으로 Tail symbols도 트렐리스 부호화하므로 트렐리스 부호기는 레지스터 상태를 다시 '000'으로 초기화하며 Tail symbols 합수를 호출하여 트렐리스 부호화 한다.

### 3.2 수신부 구현

수신부는 크게 동기부와 복호부, Rx 제어부로 나눈다. 동기부는 샘플링 동기, 신호 검파, 주파수 오프셋 추정 및 보상, 프레임 동기, 채널 추정 및

보상으로 구성되고 복호부는 DQPSK 복조기와 비터비 알고리즘에 의한 TCM 복호기로 구성된다. 본 연구에서는 복호부에 중점을 두고 설계하였다.

HDR-WPAN 수신부의 블록도를 그림 5, 그림 6과 같이 구성되며 수신된 신호를 DQPSK 복조기와 TCM 복호기를 이용하여 원래의 데이터를 얻는다.

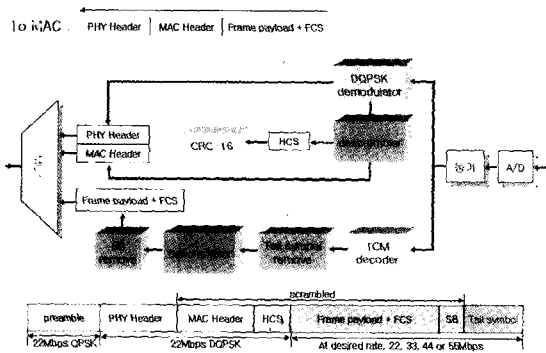


그림 5. 22, 33, 44, 55Mbps 모드 수신부 블록도

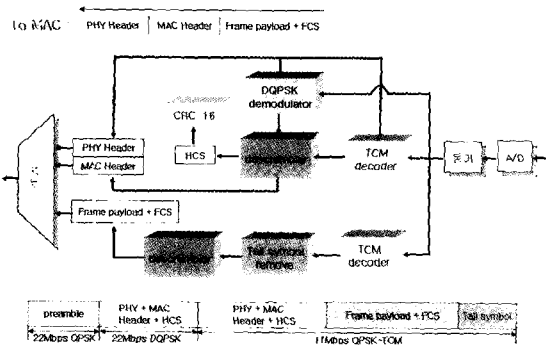


그림 6. 11Mbps 모드 수신부 블록도

DQPSK 복조는 수신단의 디매핑에서 현재 들어온 심볼과 이전에 들어온 심볼 간의 위상차를 구한다.

비터비 디코딩은 채널잡음이 포함된 수신 데이터로부터, 부호화기의 모든 상태에 대해 유사성이 가장 높은 상태전이를 추정해서 데이터를 복호하는 방법이다[3]. 이와 같은 비터비 알고리즘에 의한 복호과정은 트렐리스도를 사용해서 간결하게 기술할 수 있다. 즉, 비터비 알고리즘은 주어진 트렐리스도의 각 상태에서 최소의 가중치를 갖는

경로를 탐색하고, 이를 송신 데이터와 유사성이 가장 높은 상태 시퀀스에 해당하는 생존 경로를 결정하여 복호하는 것이다[4-7].

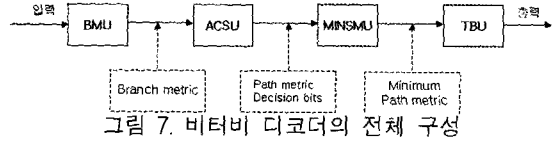


그림 7. 비터비 디코더의 전체 구성

비터비 복호는 수신신호와 각 branch 사이의 유클리드 거리를 계산하여 각 BM을 구하는 BMU(Branch metric unit), 각각의 BM을 비교하여 생존 경로를 결정하고 PM의 정보를 갱신하는 ACS(Add compare select unit), 역추적 길이까지 누적된 각 유클리드 거리를 비교하여 누적된 유클리드 합이 최소인 상태를 선택하는 MINSMU (Minimum state metric unit), 역방향으로 추적하여 송신신호를 복원하는 TBU(Trace back unit)가 있다.

### 3.3 시뮬레이터 동작

시뮬레이터의 동작은 그림 8과 같이 송신부 시뮬레이터의 순서도에 따른다. 그림 8의 순서도는 전송률을 고려하여 입력 파라미터에 따른 일련의 과정을 수행한다.

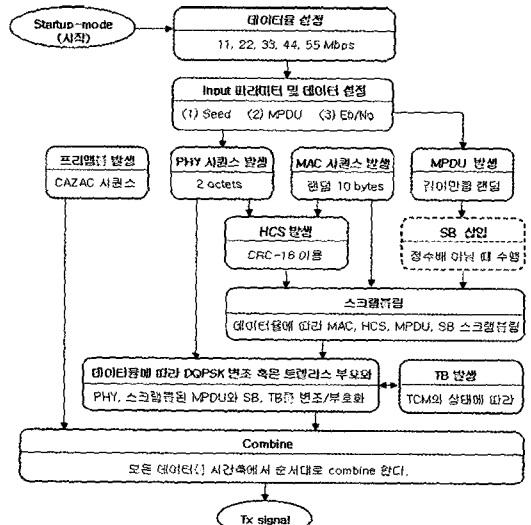


그림 8. IEEE 802.15.3 송신부 시뮬레이터의 동작 순서도

입력 파라미터는 데이터 전송률에 따른 변조 모드, Seed identifier, MPDU (데이터의 길이),  $E_b/N_o$  로 한다.

파라미터를 입력하여 시뮬레이션을 수행하면 원하는 전송 모드로 동작하고 MPDU에 의해 데이터 필드 내에 들어갈 랜덤 한 2진 데이터 열이 발생된다. 동시에, 프리앰블 발생기는 16개의 심볼을 갖는 CAZAC 시퀀스를 12주기로 발생하고 마지막 12번째 주기에서는 CAZAC 시퀀스의 역수로 변환하여 QPSK로 매핑된 데이터 열을 이룬다. 또한, 데이터율과 Seed identifier, MPDU의 파라미터가 연결되어 16비트의 PHY 시퀀스를 발생된다. MAC 시퀀스는 80비트의 2진 데이터로 랜덤하게 발생된다.

MAC 시퀀스와 PHY 시퀀스가 결합되고 CRC-16을 통해서 16비트의 2진 데이터 HCS가 발생한다. 데이터의 길이가 bit/symbol의 정수배가 아니면 SB를 추가하며 입력 파라미터의 데이터율이 33Mbps와 55Mbps일 경우에만 동작한다.

입력 파라미터의 데이터율에 따라 MAC 시퀀스, HCS 시퀀스, MPDU 시퀀스, SB를 각각 스크램블링 한다. PHY 시퀀스, 스크램블된 MPDU 시퀀스, SB를 DQPSK 변조 하거나 스크램블된 MPDU와 SB만을 트렐리스 부호화한다. 이때 데이터율이 11, 33, 44, 55Mbps 모드이면 트렐리스의 레지스터 상태에 따라 TB (Tail symbols)를 추가하고 트렐리스 부호화 한다. 그러나 22Mbps 모드에서는 '0101'을 붙인다.

마지막으로 이러한 각각의 필드를 프레임 포맷에 맞게 시간 순서대로 결합시켜 최종 전송 신호 (Tx signal)를 형성한다.

#### IV. HDR-WPAN 모델의 성능 분석

본 연구에서는 무선 통신 채널 모델 중 가장 기본이 되는 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 채널 환경을 적용하여 HDR WPAN 모델의 BER 성능을 분석한다.

##### 4.1 AWGN 채널

AWGN 채널 환경은 송신신호  $x(t)$ 와 대역 제한된 잡음  $n(t)$ 가 더해져  $y(t)$ 가 수신되며 그림 9와 같다.

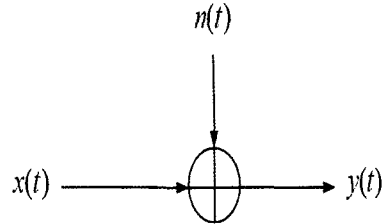


그림 9. AWGN 채널 모델

송신신호를  $x(t)$ 라고 할 때 수신신호는  $y(t) = x(t) + n(t)$ 로 나타낼 수 있다. 이때  $n(t)$ 은 다음과 같은 복소수의 잡음이다.

$$n(t) = n_I(t) + jn_Q(t) \quad (1)$$

여기서,  $n_I$ 와  $n_Q$ 는 평균이 0인 독립한 가우시안 랜덤 변수이고 전력 스펙트럼 밀도  $N_o/2$ 와 같다. 즉, 가우시안 잡음 발생기는 분산이  $\sigma^2$ 이고 평균이 0인 가우시안 랜덤수의 수열을 생성하기 위하여 사용된다[8],[9].

본 연구에서는  $E_b/N_o$  즉 정보 비트 당 수신 에너지와 잡음의 전력 스펙트럼 밀도를 기준 파라미터로 설정하였다. 설정된 파라미터로부터 적절한 전력의 잡음을 첨가하기 위하여 DQPSK 변조와 QPSK-TCM, 16/32/64QAM-TCM의 부호율을 적용하여 아래 식과 같이 이용하였다[10].

$$SNR = 10^{(EbNo/10)} \quad (2)$$

$$EffNdbps = coding\ rate \times bit/symbols \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{2}{2 \times SNR \times Effndbps}} \quad (4)$$

##### 4.2 AWGN 채널에서의 성능 분석

본 절에서는 MATLAB으로 구현한 IEEE 802.

15.3 HDR-WPAN 시뮬레이션을 이용하여 가우시안 잡음이 존재하는 실내 무선 채널에서 모뎀의 정상도와 BER 성능의 특성을 분석한다.

AWGN 환경에서 QPSK의 BER은 다음과 같다[11].

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[ \sqrt{\frac{E_b}{N_o}} \right] \quad (5)$$

AWGN 환경에서 DQPSK의 BER은 다음과 같다.

$$P_b = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( 2 \sin \left( \frac{\pi}{8} \right) \sqrt{\frac{E_b}{N_o}} \right) \quad (6)$$

AWGN 환경에서 M-ary QAM의 BER은 다음과 같다.

$$P_b = \frac{1}{\log_2 M} \left( 1 - \frac{1}{M} \right) \operatorname{erfc} \left[ (\log_2 M)^{1/2} \left( \frac{3}{M^2 - 1} \right)^{1/2} \left( \frac{E_b}{N_o} \right)^{1/2} \right] \quad (7)$$

표 1은 본 논문에서 구현한 시뮬레이션의 파라미터이다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

변조 방식	부호율	seed ID	payload 길이 (octets)	패킷 수	$E_b/N_o$ 범위	채널환경
QPSK-TCM	1/2	00	2044	19	0~15	AWGN
DQPSK	1	00	2044	19	0~15	AWGN
16QAM-TCM	3/4	00	2044	19	0~15	AWGN
32QAM-TCM	4/5	00	2044	19	0~15	AWGN
64QAM-TCM	5/6	00	2044	19	0~15	AWGN

그림 10은 본 논문에서 구현된 시뮬레이터를 검증하기 위해 시뮬레이터의 트렐리스 부호기를 제거하고 QPSK, DQPSK, 16/32/64QAM의 BER과 비교하였다. 즉, 트렐리스 부호기를 제거한 시뮬레이터의 BER과 식 (5), 식 (6), 식 (7)에 의한 BER을 비교하였다. 그림 10에서와 같이 두 개의

BER은 차이가 없으므로 본 논문에서 구현한 시뮬레이터가 올바르게 동작하고 있다는 것을 알 수 있었다.

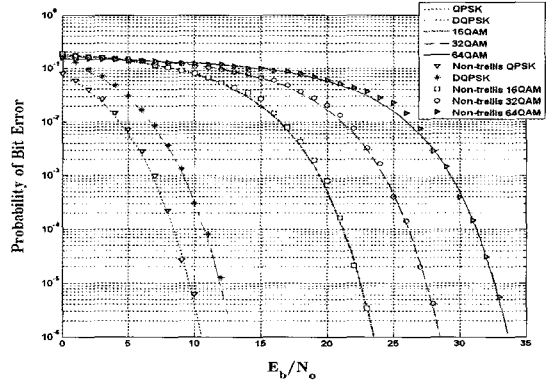


그림 10. Trellis 부호화를 하지 않은 경우의 BER

그림 11은 AWGN 환경에서 본 논문의 시뮬레이터로 트렐리스 부호화를 했을 때의 BER을 나타낸다. BER이  $10^{-4}$ 일 때 QPSK-TCM은 7.5dB를 나타내므로 트렐리스 부호화 하지 않았을 때보다 1dB 정도 성능 개선의 효과가 있었다. 또한, 16/32/64QAM-TCM은 각각 9.8dB, 11.8dB, 13.7dB 정도 나타내므로 트렐리스 부호화 하지 않았을 때 보다 각각 11.5dB, 14.5dB, 17.5dB 정도 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 한편,  $E_b/N_o$ 가 6.5dB일 때부터 16QAM-TCM이 트렐리스 부호화를 하지 않는 DQPSK 보다 BER이 낮게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.

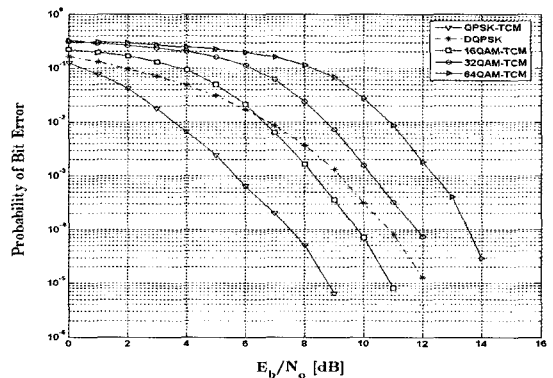


그림 11. 11, 22, 33, 44, 55Mbps 전송시 AWGN 채널에서의 BER

표 2. AWGN 채널에서 시뮬레이션의 BER 성능

변조 방식	AWGN에서 BER이 $10^{-4}$ 일 때의 $E_b/N_o$ [dB]
QPSK-TCM	7.5
DQPSK	10.9
16QAM-TCM	9.8
32QAM-TCM	11.8
64QAM-TCM	13.7

표 2는 AWGN 채널에서 시뮬레이션의 BER 성능을 정리한 표이다.

### V. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.15.3 그룹에서 2003년도에 표준화한 HDR-WPAN의 PHY 기술에 대한 구조와 세부 표준 규격을 분석하였다. 그리고 전송률을 구분하여 송·수신부의 블록도를 설계하였으며 MATLAB Software를 이용하여 시뮬레이터를 구현하였다.

송신부는 각 필드의 포맷에 맞게 구성하였으며 변조 방식은 전송률과 각 프레임의 필드마다 차이를 두고 QPSK, DQPSK, 16/32/64 QAM-TCM으로 설계하였다. 수신부에서는 현재 들어온 심볼과 이전에 들어온 심볼 간의 위상차를 구하여 DQPSK를 복조하였고 비터비 알고리즘을 이용하여 TCM을 복호하였다. 그리고 복조, 복호된 수신 데이터의 Tail symbols를 제거하고 디스크램블링 하였다. 마지막으로 Stuff bits, 프리앰블을 제거하여 HDR-WAPAN 모델의 송·수신부를 구현하였다.

본 논문의 시뮬레이터를 검증하기 위해 TCM 부호기를 제거한 시뮬레이터의 BER과 QPSK, DQPSK, 16/32/64QAM의 BER을 비교하여 시뮬레이션이 일치하는 것을 알 수 있었다. 또한, BER이  $10^{-4}$ 일 때 QPSK-TCM, 16/32/64 QAM-TCM이 TCM 하지 않은 경우 보다 각 1dB, 11.5dB, 14.5dB, 17.5dB 정도 성능이 향상 되었다. 한편,  $E_b/N_o$ 가 6.5dB일 때부터 16QAM-TCM이

트렐리스 부호화를 하지 않는 DQPSK 보다 BER이 낮게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.

본 논문에서는 무선 채널 모델 중에서 AWGN만을 적용하여 분석하였으나 다중경로의 페이딩 채널을 고려하여 성능열화의 정도를 파악하는 것이 필요하다. 그리고 보다 실제적인 HDR-WPAN을 구현하기 위해서는 equalizer와 frequency offset의 보상에 관한 연구가 수행되어야 한다.

### 참고문헌

- [1] 이승형, "초고속 무선 PAN 표준화 현황", IEIC. 전자정보센터, 2004.
- [2] IEEE std 802.15.3, Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for high rate wireless personal area networks(WPAN), 2003.
- [3] A. J. Viterbi and J. K. Omura, Principles of digital communication and coding, McGraw-Hill, NY, 1979.
- [4] H. Liou, "Implementing the Viterbi algorithm", IEEE Signal proceedings mag., pp. 42-52, Sept. 1995.
- [5] H. Dawid, O. J. Joeressen, and H. Meyr, "Viterbi decoders : high performance algorithms and architectures", Digital signal processing for multimedia systems, Marcel Dekker, 1999.
- [6] G. G. Forney, "The Viterbi algorithm", Proceedings of the IEEE, vol. 61, no. 3, pp. 268-278, March 1973.
- [7] 정차근, "순서적 역방향 상태전이 제어의 의한 역추적 비터비 디코더", 전자공학회논문지, 제 40권, 2003.
- [8] M. Hong, "Analysis of the bit error rate of trellis-coded modulation", Chalmers university of technology, thesis for the degree of master of science, 2002.
- [9] J. G. Proakis, M. Salehi, "Contemporary communication systems using MATLAB", Sigma Press, 2000.
- [10] 우병훈, "이동 멀티미디어 통신 시스템의 순방향 성능 개선에 관한 연구", 동신대학교 박사학위논문, 2003.
- [11] B. Sklar, Digital communication fundamentals and application, 2nd Ed., Prentice Hall PTR, 2001.

저자소개



**김종완**

2003년 순천대학교 정보통신공학과  
(공학사)

2003년 3월~현재 순천대학교 대학  
원 정보통신공학과 석사과정

※관심분야 : 무선멀티미디어통신, 유비쿼터스 통신 등



**조성연**

1989년 한국항공대학교 항공통신정  
보공학과(공학사)

1991년 한국항공대학교 대학원 항  
공통신정보공학과(공학석사)

1997년 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과(공학  
박사)

1997년 3월~현재 : 순천대학교 정보통신공학과 부교수

※관심분야 : 환경전자공학, 무선멀티미디어통신, 유비  
쿼터스통신, OFDM 등