

위상 파라미터 도출을 통한 H-MPSK의 BER 성능 분석

BER Performance Analysis of Hierarchical-MPSK Using Phase Parameters

이 원 준 · 박 상 규

Won Joon Lee · Sang Kyu Park

요 약

계층적 M진 위상 편이 변조(hierarchical M-ary phase shift keying) 방식은 설정된 위상 파라미터에 따라 각 비트의 오류 성능이 변하기 때문에 각 시스템의 요구에 맞는 위상 파라미터 값을 구할 수 있는 방법을 필요로 한다. 따라서 본 논문에서는 계층적 M-PSK 변조 방식에 대한 BER의 근사적 접근을 통해 원하는 각 비트의 오류 성능에 따라 중요 위상 파라미터를 찾을 수 있는 방법을 제안하고, 이전에 제시된 계층적 M-PSK 변조 방식에 대한 정확한 오류 성능 분석 방법을 통하여 제안한 방법의 정당성을 검증한다.

Abstract

Bit error rate(BER) performance of each bit for hierarchical M-ary phase shift keying(H-MPSK) modulation scheme is changed according to the phase parameters. Thus, a method to find the phase parameters appropriate to the requests of the system is needed. In this paper, we propose a method to obtain the phase parameters from an approximate approach of BER for H-MPSK and verify a validity of the proposed method through the previously provided expression for analyzing an exact error probability of H-MPSK.

Key words : H-MPSK, H-MQAM, Bit Error Rate, High Priority Bit, Phase Parameter

I. 서 론

디지털 무선 통신 기술의 진보 속에서 늘어만 가는 다양한 초고속, 고품질의 통신 서비스에 대한 요구는 여러 통신 서비스의 기본 개념을 음성 위주에서 다양한 데이터 서비스를 제공하는 멀티미디어 위주로 바뀌어가고 있다. 이에 따라 이러한 사용자들의 요구를 수용할 수 있는 광대역, 초고속 통신 서비스가 요구되고 있으며, 고품질 멀티미디어 통신 서비스에 대한 연구가 진행되고 있다. 특히 채널 상태의 변화가 심하고, 다중 경로가 존재하는 무선 이동 채널 환경에서의 데이터 전송 품질은 그 채널의 페이딩 상태와 간섭 영향에 상당히 민감하여 심할 경우 서비스 중단까지 초래한다. 또한, 위성 방송 채널

환경에 있어서도 Ka 밴드와 같이 강우 등에 의한 신호 감쇠가 심한 대역으로 옮겨가고 있어 고속의 고품질 서비스 제공에 어려움이 따르는 실정이다.

이러한 환경에서 위와 같은 문제점을 해결하고 고속의 데이터 전송을 위하여 원천 부호화를 통해 나누어진 데이터의 중요도에 따라 신뢰도를 다르게 하여 전송하는 계층적 전송 방법이 제안되었으며^[1], 현재 계층적 변조 방식은 유럽 전기통신표준협회(ETSI) 표준으로 유럽 지상파 디지털 방송(DVB-T) 및 디지털 위성 방송(DVB-S/S2)에서 사용되고 있다^[2-5]. 계층적 변조 방식은 크게 PSK 계열과 QAM 계열로 생각할 수 있는데, 다중 경로 페이딩 환경의 이동통신 및 디지털 위성 통신 및 위성 방송의 경우에 정진폭 특성으로 인해 증폭기의 비선형성에 대해

한양대학교 전자통신컴퓨터공학과(Dept. Electronics & Computer Eng., Hanyang University)

· 논문 번호 : 20090112-007

· 수정완료일자 : 2009년 4월 6일

여 효율적인 PSK 계열 방식이 제안되고 있다.

최근 이러한 계층적 MPSK 변조 방식에 대하여 정확한 BER 성능을 얻기 위한 많은 연구가 진행되었으며, 그 결과로서 다양한 BER 표현들이 제시되었다^{[6],[7]}. 참고문헌 [6]에서는 Pawula F-함수를 이용한 적분 형태의 비트 오류 확률 표현이 회귀적(recursive) 방법을 통해 제시되었으며, 참고문헌 [7]에서는 적분 연산을 필요로 하지 않으며, I/Q 불균형의 영향까지 분석이 가능한 BER 표현이 2차원 결합 가우시안 Q-함수를 이용하여 제시되었다.

계층적 MPSK 변조 방식에서는 설정된 위상 파라미터에 따라 각 비트의 오류 성능이 변하기 때문에 각 시스템의 요구에 맞는 위상 파라미터 값을 구할 수 있는 방법이 필요하다. 그러나 참고문헌 [6], [7]의 결과를 이용하여 그 방법을 구하는 것은 매우 복잡한 계산과 방대한 시간을 요구한다. 따라서 본 논문에서는 계층적 MPSK 변조 방식에 대한 BER의 근사적 접근방법을 통해 시스템에서 요구하는 비트 오류 성능에 따라 중요 위상 파라미터를 찾을 수 있는 간단한 방법을 제시한다. 또한, 참고문헌 [7]에서 제시된 BER 분석 방법을 이용하여 본 논문에서 제안된 방법의 타당성을 검증한다.

II. 계층적 위상 편이 변조 방식

계층적 MPSK에서는 먼저 우선 순위가 높은 HP (High Priority) 비트를 MSB(Most Significant Bit)에 할당한다. 그림 1에는 계층적 8-PSK의 신호점 배치도를 나타내었다. 최우선 순위의 HP비트는 원점을 기준으로 좌, 우 평면의 위치를 결정하게 되며, 두 번째 순위의 비트는 이 BPSK 배치 위에 QPSK 신호 배치를 이루게 하고, 마지막 가장 낮은 순위의 LP 비트는 QPSK 신호 배치를 중심으로 다시 8-ary PSK 신호 배치를 이루게 되어, 최종적으로 그림 1과 같은 성상도를 가지게 된다^[6]. 그림 1에서 θ_1 과 θ_2 는 신호의 중요도에 따라 변화될 수 있는 시스템 위상 파라미터이며 ($\theta = [\theta_1 \theta_2]$), θ_1 과 θ_2 에 따라 각 비트의 오류 성능이 결정된다. 여기서 각 신호점들은 그레이(Gray) 부호화되었다고 가정하였다^[6].

III. 시스템 파라미터 도출 방법

이 장에서는 각 비트의 성능을 결정하는 시스템

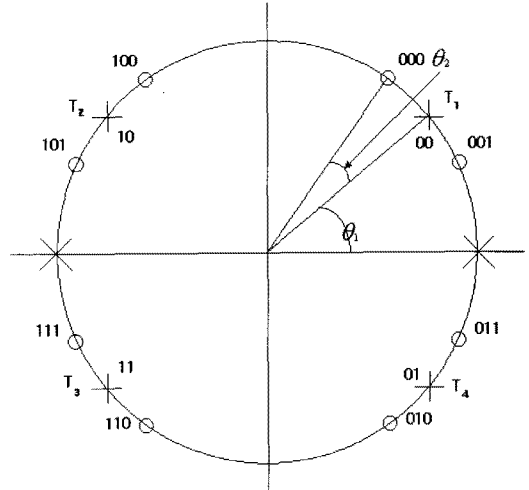


그림 1. 계층적 8-PSK 신호점 배치도
Fig. 1. Signal constellation of H-8PSK.

파라미터 $\theta_i, i=1, 2, \dots, \log_2 M - 1$ 를 구할 수 있는 방법을 제시한다. 이 도출된 방법을 이용하면 원하는 각 비트의 성능으로부터 요구되는 시스템 파라미터 θ_i 를 직접 구할 수 있다.

일반적인 E_b/N_0 와 S/N 사이의 관계식은 다음과 같다.

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \left(\frac{W}{R} \right) \quad (1)$$

그림 2에는 계층적 4-PSK의 신호의 일반적인 형태를 대하여 나타내었다. 여기서 HP 비트의 BER은 b_1 벡터의 길이에 따라 영향을 받음을 알 수 있다(b_1 벡터의 길이로 BER을 구한 경우가 가장 worst한 경우이다). b_1 신호 벡터의 길이는 $A \cos \theta$ 이므로 평균

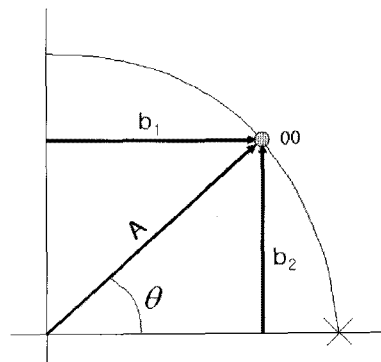


그림 2. 계층적 4-PSK 신호점
Fig. 2. One signal point of H-4PSK.

신호 전력은 $A^2 \cos^2 \theta$ 이다. 이것을 식 (1)에 대입하면,

$$\begin{aligned} \left. \frac{E_b}{N_0} \right|_{HP} &= \frac{A^2 \cos^2(\theta)}{N} \left(\frac{W}{R/2} \right) \\ &= \frac{\cos^2 \theta_1}{\cos^2(\pi/4)} \cdot \left. \frac{E_b}{N_0} \right|_{uniform} \end{aligned} \quad (2)$$

가 된다. 이것은 uniform보다 $\frac{\cos^2 \theta_1}{\cos^2(\pi/4)}$ 배 차이가 있음을 보여주고 있으며, 이를 dB로 나타내면 다음과 같다.

$$\left. \frac{E_b}{N_0} \right|_{D-HP} \text{ [dB]} = 10 \log(\cos^2 \theta_1) - 10 \log\left(\cos^2 \frac{\pi}{4}\right) \quad (3)$$

마찬가지로 LP 비트에 대해서도 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\left. \frac{E_b}{N_0} \right|_{D-LP} \text{ [dB]} = 10 \log(\sin^2 \theta_1) - 10 \log\left(\sin^2 \frac{\pi}{4}\right) \quad (4)$$

계층적 8-PSK 이상에서는 신호점간 직교성이 유지되지 않기 때문에, 위와 같은 방법으로 하였을 경우 근사식을 얻을 수 있고, 이를 일반화하면 다음과 같다.

- $k=1$,

$$\begin{aligned} \left. \frac{E_b}{N_0} \right|_{D-b_k} \text{ [dB]} &\approx 10 \log\left(\cos^2\left(\sum_{i=k}^{N-1} \theta_i\right)\right) \\ &\quad - 10 \log\left(\sin^2\left(\frac{\pi}{M}\right)\right) \end{aligned} \quad (5)$$

- $k>1$,

$$\begin{aligned} \left. \frac{E_b}{N_0} \right|_{D-b_k} \text{ [dB]} &\approx 10 \log\left(\sin^2\left(\theta_{k-1} - \left(1 - \left\lfloor \frac{k}{N} \right\rfloor\right) \cdot \sum_{i=k}^{N-1} \theta_i\right)\right) \\ &\quad - 10 \log\left(\sin^2\left(\frac{\pi}{M}\right)\right) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $k=1, 2, 3, \dots, N$ 이고, $N=\log_2 M$ 이다. 그리고 $\lfloor \cdot \rfloor$ 는 floor 함수를 나타낸다. 식 (6)을 이용하여 θ 값을 구하는 식을 유도하면 다음과 같다.

$$\theta_k \approx \frac{1}{2} \left(\cos^{-1} \left(1 - 2 \sin^2 \left(\frac{\pi}{M} \right) \cdot \left. \frac{E_b}{N_0} \right|_{D-b_{k+1}} \right) \right) + \sum_{i=k+1}^{N-1} \theta_i \quad (7)$$

식 (5)~(7)을 통해 알 수 있듯이 각 비트의 성능은 위상 파라미터 값에 따라 달라지며, 특히, k 번째 비트의 성능은 $\theta_k \sim \theta_{N-1}$ 까지의 위상 파라미터에 의해 영향을 받기 때문에 마지막인 $N-1$ 번째 위상 파라미터 (θ_{N-1})값을 결정된 후 역순으로 θ_{N-2} , $\theta_{N-3}, \dots, \theta_1$ 값을 구하는 것이 바람직하다. 이렇게 하지 않으면 목적으로 하는 기준에 부합하는 결과를 도출해 내기 힘들다.

IV. 검증 및 성능 분석

본 장에서는 이전에 제시된 정확한 오류 확률 표현을 이용하여 2장에서 유도한 위상 파라미터 도출 방법의 타당성을 검증한다.

4-1 제안된 기법의 성능 검증 방법

최근 계층적 M-PSK에 대한 일반화된 평균 BER, $P(e)$ 이 하나의 2차원 결합 가우시안 Q-함수 표현으로 유도되었으며^[7], 본 논문에서는 이 표현을 이용하여 제안된 위상 파라미터 도출 방법에 대한 검증을 수행한다.

계층적 M-PSK의 정확한 BER은 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$P(e) = \frac{1}{\log_2 M} \sum_{k=1}^{\log_2 M} P_b(k) \quad (8)$$

여기서 k 번째 비트의 오류 확률, $P_b(k)$ 는

$$P_b(k) = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{i-1} Q\left(-\frac{E[Y_1]}{\sqrt{\text{Var}[Y_1]}} \cdot \frac{E[Y_2]}{\sqrt{\text{Var}[Y_2]}}; -\rho_{r_1 r_2}\right) \quad (9)$$

이다. 또한, 식 (9)에서 $E[Y_i]$ 와 $\text{Var}[Y_i]$ 는 랜덤 변수 Y_i , $i=1, 2$ 의 평균과 분산이며, 다음과 같이 구할 수 있다^[7].

$$\begin{aligned} E[Y_i] &= \sqrt{E_s} \cos(\phi_i + \psi_j), \\ \text{Var}[Y_i] &= \sigma^2, i=1, 2, j=0, 1, \dots, M-1 \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 모든 신호점에 대한 위상각, $\phi_j, j=0, 1, \dots, M-1$ 은

$$\phi_j = G_{-phase}(M, j, \Theta) \quad (11)$$

이며, 어떤 파라미터 값들에 대해 한 위상각을 발생시키는 함수 (G_{-phase})는

$$G_{-phase}(x, y, \theta) = \pi \left(\left\lfloor \frac{4y}{x} \right\rfloor - \left\lfloor \frac{2y}{x} \right\rfloor \right) + \sum_{i=1}^{\log_2 x - 1} \theta_i \cdot (-1)^{\left\lfloor \frac{4y}{2^{x+1-i}} \right\rfloor + 1 - \left\lfloor \frac{y}{2^i} \right\rfloor} \quad (12)$$

로 본 논문에서 정의된다. 또한, 결정 영역 경계에 대한 위상각 쌍 (ϕ_1, ϕ_2)은 다음과 같이 주어진다.

i) $k=1$ 일 때

$$\begin{pmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1+2C)\pi/2 \\ (3+2C)\pi/2 \end{pmatrix} \quad (13)$$

ii) $k=2$ 일 때

$$\begin{pmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1+C)\pi \\ (2+C)\pi \end{pmatrix} \quad (14)$$

iii) $k \geq 3$ 일 때

$$\begin{pmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_{-phase}(2^{k-1}, 2n+C, \theta) \\ G_{-phase}(2^{k-1}, 2n+C+1, \theta) \end{pmatrix}, \quad n=0, 1, 2, \dots, l-1 \quad (15)$$

여기서 $\theta = [\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{\log_2 M - 1}]$ 이고, $l = 2^{k-2} + \left\lfloor \frac{1}{k} \right\rfloor$ 은 2차원 가우시안 Q-함수의 수를 나타낸다. 또한, C 값은 j 번째 심볼에서 해당 비트 값(0 혹은 1)을 나타내는 것으로, $j=0, 1, 2, \dots, M-1$ 에 따라 다음 식에서 구할 수 있다^[7].

$$C = \begin{cases} \nu, & k \neq 3 \\ \bar{\nu}, & k = 3 \end{cases} \quad \nu = \text{mod} \left(\left\lfloor \frac{\text{mod}(M-1-j+2^{\log_2 M - 2}, M)}{2^{N-k+1}} + \frac{1}{2} \right\rfloor, 2 \right) \quad (16)$$

여기서, $\bar{\nu}$ 는 ν 의 보수이며, $\text{mod}(A, B)$ 값은 A 를 B 로 나눈 나머지를 갖는다.

4-2 검증 및 BER 성능 분석

4-2-1 계층적 4-PSK

그림 3부터 그림 4까지는 식 (8)과 (9)로부터 계층적 4-PSK 신호점간 위상을 변화시켜가며 BER 성능

을 얻은 결과이다. 그림 3은 θ_1 을 $\pi/4$ 로 하여 구한 결과로써 기준이 되는 uniform QPSK의 BER을 나타낸다.

그림 4는 θ_1 을 $\pi/5$ 로 하여 얻는 결과로서, 그림 3의 uniform QPSK의 각 비트에 대한 오류 성능과 비교하였을 경우 10^{-5} 의 BER을 유지하는데 있어 HP 비트의 최대 이득은 1.17 dB이며, LP 비트는 1.61 dB의 성능 열화가 발생함을 보여준다. 여기서 각 비트의 이득 및 성능 열화 수치는 식 (5)와 (6)를 이용하여 구한 값으로, 우리가 직접 그래프를 통해 측정한

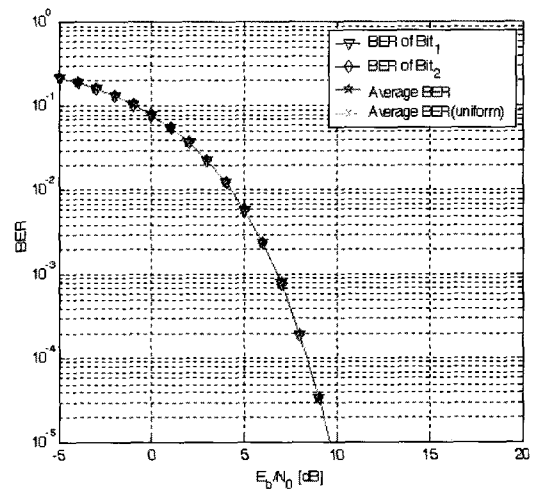


그림 3. 계층적 4-PSK의 BER ($\theta_1 = \pi/4$)
Fig. 3. BER for H-4PSK ($\theta_1 = \pi/4$).

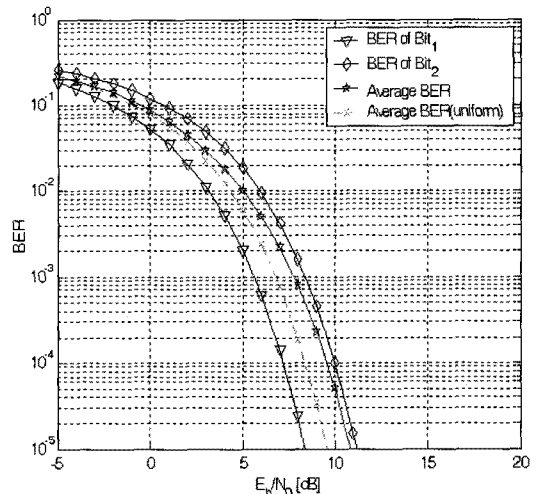


그림 4. 계층적 4-PSK의 BER ($\theta_1 = \pi/5$)
Fig. 4. BER for H-4PSK ($\theta_1 = \pi/5$).

결과와 다르지 않음을 알 수 있다.

4-2-2 계층적 8-PSK

그림 5부터 그림 7까지는 계층적 8-PSK의 BER 성능을 식 (8)과 (9)로부터 얻은 결과이다. 그림 5에는 $\theta = \left[\frac{\pi}{4} \quad \frac{\pi}{8} \right]$ 로 하여 기준이 되는 uniform 8-PSK BER을 나타내었으며, 그림 6에는 계층적 8-PSK에 대해 $\theta = \left[\frac{\pi}{4} \quad \frac{\pi}{9.76} \right]$ 로 하였을 경우에 대한 BER 성능을 나타내었다. $\theta = \left[\frac{\pi}{4} \quad \frac{\pi}{9.76} \right]$ 일 경우, 각 비

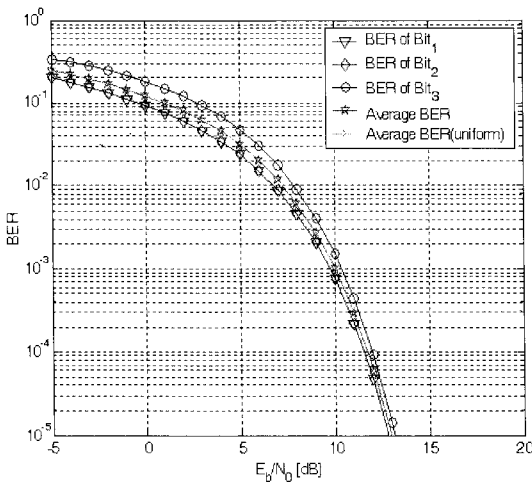


그림 5. 계층적 8-PSK의 BER ($\theta = [\pi/4 \quad \pi/8]$)
Fig. 5. BER for H-8PSK ($\theta = [\pi/4 \quad \pi/8]$).

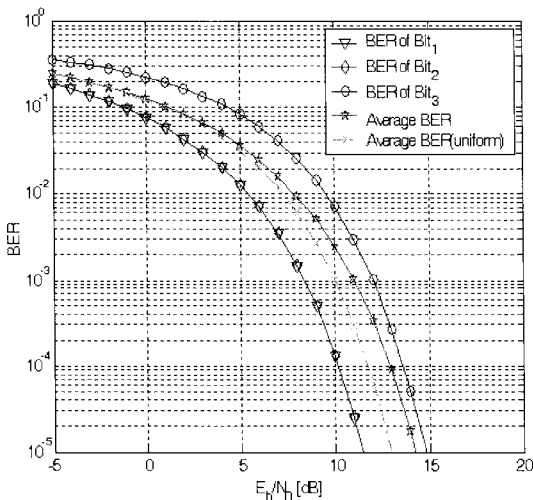


그림 6. 계층적 8-PSK의 BER ($\theta = [\pi/4 \quad \pi/9.76]$)
Fig. 6. BER for H-8PSK ($\theta = [\pi/4 \quad \pi/9.76]$).

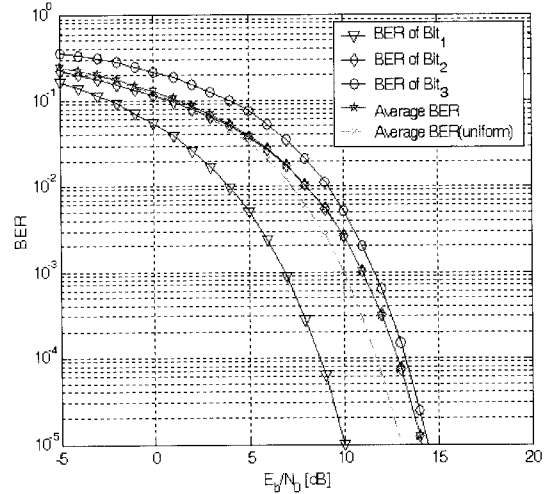


그림 7. 계층적 8-PSK의 BER ($\theta = [\pi/4.66 \quad \pi/9.32]$)
Fig. 7. BER for H-8PSK ($\theta = [\pi/4.66 \quad \pi/9.32]$).

트 당 10^{-5} 의 BER을 유지하는데 있어 HP 비트와 두 번째 비트는 약 1.35 dB의 이득을 가지며, 세 번째 비트는 약 1.65 dB의 성능 열화를 갖는다는 것이 식 (5)와 (6)으로부터 계산되는데, 이는 그림 6에 대하여 직접적인 관찰을 통해 얻은 결과와 거의 일치함을 알 수 있다. 그림 7은 $\theta = \left[\frac{\pi}{4.66} \quad \frac{\pi}{9.32} \right]$ 로 하였을 경우에 대한 각 비트의 BER 성능을 보여주고 있다. 이 경우, 10^{-5} 의 평균 BER을 유지하는데 있어 HP 비트는 최대 2.84 dB의 이득이, 두 번째 비트와 세 번째 비트는 각각 1.27 dB씩의 성능 열화가 식 (5)와 (6)으로부터 얻어지며, 그림 7을 통해 확인할 수 있다. 또한, 앞서 구한 차이 값을 식 (7)에 대입하여 위상 파라미터 값을 구하면 $\theta = [38.614^\circ \quad 19.307^\circ]$ 를 얻을 수 있는데, 이 값은 위에서 가정했던 $\theta = \left[\frac{\pi}{4.66} \quad \frac{\pi}{9.32} \right] (= 38.626^\circ \quad 19.313^\circ)$ 와 거의 같음을 확인할 수 있다.

V. 결 론

멀티미디어 데이터 전송 시 발생하는 전송 손실을 보상하기 위한 방안으로, 데이터 전송 시 덜 중요한 데이터의 보호도를 어느 정도 희생하면서 중요도의 우선 순위가 높은 데이터를 보호하여 중단 없는 통신 및 방송 서비스를 가능하도록 하는 계층적 위상 편이 변조 방식이 최근 디지털 방송과 관련하여 표

준 변조 방식으로 채택되고 있다. 본 논문에서는 이러한 계층적 위상 편이 변조 방식에 대하여 BER의 근사적 접근방법을 통해 원하는 비트 오류 성능에 따라 중요 위상 파라미터를 찾을 수 있는 간단한 방법을 제안하였고, 이전에 제시된 정확한 BER 분석 방법을 이용하여 제안된 방법의 타당성을 검증하였다. 그 결과, 제안된 방법으로 구한 uniform MPSK 대비 각 비트의 오류 성능 차이 값은 정확한 BER 표현으로부터 직접 관찰한 차이 값과 일치하였으며, 위상 파라미터가 변하더라도 여전히 일치함을 확인하였다. 본 논문에서 제안된 성능 분석의 결과는 강우 감쇠, 페이딩 그리고 간섭 등의 영향으로 채널 상태가 열악한 상황에서도 채널 성능 저하를 극복하고, 효율적이고 중단 없는 초고속, 고품질의 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 모뎀 설계 시 상당히 유용한 자료로 쓰일 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] T. Cover, "Broadcast channels", *IEEE Trans. on Inform. Theory*, vol. IT-18, pp. 2-14, Jan. 1972.
 [2] European Standard 1997, "Digital videl broadcasting; framing structure, channel coding and modulation for terrestrial television", *European Standard EN300 744 V1.1.2(1997-08)*, ETSI, Aug. 1997.

[3] "DVB-T standard: ETS 300 744, digital broadcasting systems for television, sound and data services: framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television", *ETSI Draft*, vol. 1.2.1, no. EN300 744, 1999.
 [4] "Digital video broadcasting; second generation framing structure, channel coding and modulation systems for broadcasting, interactive services, news gathering and other broadband satellite applications", *European Telecommunications Standards Institute EN 302 307 v1.1.1*.
 [5] "Digital Video Broadcasting(DVB) user guidelines for the second generation system for broadcasting, interactive services, news gathering and other broadband satellite applications(DVB-S2)", *European Telecommunications Standards Institute TR 102 376 v1.1.1*.
 [6] P. K. Vitthaladevuni, M. S Aluini, "Exact BER computation of generalized hierarchical psk constellations", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 12, pp. 2030-2037, Dec. 2003.
 [7] J. Lee, K. Cho, and D. Yoon, "New BER expression of hierarchical MPSK", *ETRI Journal*, vol. 29, no. 6, pp. 707-715, Dec. 2007.

이 원 준



1986년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학석사)
 2005년 3월~현재: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 박사과정
 [주 관심분야] 디지털 통신, 확산대역통신, 계층적 변조 방식, OFDM 시스템 등

박 상 규



1974년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
 1980년 5월: 미국 Duke University 전기공학과 (공학석사)
 1987년 5월: 미국 Michigan University 전기공학과 (공학박사)
 1987년 3월~현재: 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 교수
 [주 관심분야] 디지털 통신, 확산대역통신, MIMO, OFDM 시스템 등