

레이레이 페이딩 환경하에서 밀러부호화 기법에 의한 16-QAM 통신방식의 성능개선

Performance Improvement of 16-QAM for Employing Miller Coding Technique in Rayleigh Fading Environment

김 태 현* · 하 덕 호**

Tae-Heon Kim* · Deock-Ho Ha**

요 약

본 연구에서는 레이레이 페이딩 채널하에서 16-QAM통신 방식의 BER를 개선시키는 방안을 제안한다. 이동 무선 환경에서 페이딩에 의한 BER 열화를 극복하기 위하여 밀러코딩 기법을 적용하였으며 이것은 동일한 코딩 이득에 대해 맨체스터 코딩기법에서 필요한 대역폭의 절반으로 가능하므로 효과적일뿐 아니라 180° 위상모호성 등에 덜 민감하므로 PSK 계열의 통신방식에 보다 효과적이다. 제안된 시스템을 컴퓨터상에서 시뮬레이션한 결과 맨체스터 코딩기법에 비해 10⁻⁴에서 약 3.8 dB 정도 개선시키는 효과를 보였다.

Abstract

The purpose of this paper is to propose an improvement method of BER for coded 16-QAM under Rayleigh fading channel. To overcome the BER degradation due to the fading under mobile communication, we apply delay modulation technique which is efficient to get both a coding gain and approximately one-half those needed by Manchester coding on bandwidth requirements. Especially, the delay modulation scheme is insensitive to the 180° phase ambiguity common to NRZ-L and Manchester coding schemes. From the computer simulation, BER performance of our scheme has achieved about 3.8 dB improvement of about 10⁻⁴, compared to Manchester coded 16-QAM.

I. 서 론

QAM(Quadrature Amplitude Modulation)은 높은 capacity를 얻을 수 있는 효과적인 변조 방식이지만 이동통신 환경에 적용하기 위해서는 비선형성과 빠른 레이레이 페이딩, 시간 지연 스프레드 등

에 기인하는 오류율 성능 저하를 고려하지 않으면 안된다. 따라서 본 논문에서는 스펙트럼 효율면에서 강점을 지니는 16-QAM의 오류율 성능 향상을 위해 지연 변조(Miller code) 기법을 적용한 통신 시스템을 모델링하고, 이를 컴퓨터상에서 시뮬레이션하여 그 효용성을 평가하였다.

본 연구는 기 발표된 논문^{[1],[2]}의 계속적 연구로

* 부산경상대학교 사무자동화과 (Dept. of Office Automation, Pusan Kyungsang College)

** 국립 부경대학교 정보통신공학과 (Dept. of Telematics Eng., National Pukyong University)

· 논문 번호 : 970912-058

· 수정완료일자 : 1998년 3월 31일

서 지연변조(밀러부호화) 기법이 주파수면에서 신호에너지가 데이터율($R = T/1$)의 절반 이하이고, 스펙트럼이 $f=0$ 근처에서 매우 작으므로 맨체스터 코딩 기법에 비해 보다 강점을 지닐 것이란 개념에 기인한다^[3]. 따라서 이동통신 환경에서 16-QAM에 이를 적용하여 맨체스터 코딩 기법과 differential 코딩 기법에 적용한 기 발표된 시스템과의 컴퓨터상에서 시뮬레이션을 통한 성능 분석을 시도하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 16-QAM에 지연변조 기법을 적용한 본 논문의 시스템 구성과 시뮬레이션 시스템을, III장에서는 실험 및 결과 검토를 기술하였으며, IV장에서는 스펙트럼 효율 분석을, 마지막으로 V장에서는 결론을 나타내었다.

II. 16-QAM의 구성 및 이동무선 채널에서 오류율 해석

진폭과 위상의 변화를 이용하여 신호를 전송하는 방식을 QAM(Quadrature Amplitude Modulation)이라 한다. QAM방식 중 스펙트럼 효율이 4 b/s/Hz인 16-QAM은 2-레벨 입력 신호 PRBS(Pseudo Random Binary Signal)가 동상과 직교 채널로 들어가서 레벨 변환기(level converter)를 거쳐 각 채널 당 4-레벨의 신호로 변환되어 출력단에서 신호점이 16개로 구성되는 통신방식을 말한다.

16-QAM은 진폭과 위상의 변화를 이용한 전송방식이므로 위상의 변화만을 이용하여 데이터를 전송하는 16-PSK와 16-QAM에 PR(Partial Response) 필터를 적용하여 구성한 49-QPRS 방식에 비해 오류율이 좋다. 이것은 16-QAM이 16-PSK에 비해 신호점 거리를 더 멀리 둘 수 있어 인접 부호점으로 오인될 확률이 줄어들고, 49-QPRS는 16-QAM의 L-레벨의 신호가 PR 필터를 통과하여 구성되므로 그 레벨 값이 $(2L-1)$ 로 커지기 때문이다. 그러나 이와 같이 오류율면에서 강점을 지니는 16-QAM을 이동무선환경에 도입하면 신호점간 거

리가 짧기 때문에 비선형성, 빠른 레일레이 페이딩, 시간지연 스프레드 등에 기인하여 error floor 현상이 발생하여 적용에 문제가 있다.

본 논문에서는 먼저 이동무선 환경에서 오류율을 검토하기 위해서 페이딩의 세기 정도를 나타낼 수 있는 페이딩 모델 중, m-분포 모델^[4]을 도입하여 $m=1$ 인 경우의 레일레이 페이딩을 고려하였다. 일반적으로 m-분포는 다음 식 (1)과 같이 나타내어진다^{[1],[4]}.

$$P(S) = 2m^m \frac{S^{2m-1}}{\Gamma(m)\Omega^m} \exp\left(-\frac{mS^2}{\Omega}\right), s \geq 0 \quad (1)$$

여기서,

$\Gamma(\)$: 감마함수

$\Omega/2$: 수신 평균 전력($\Omega=R^2$)

m : 페이딩 지수

레일레이 페이딩 환경에서 오류율식은 수신 신호의 진폭 S 가 $m=1$ 일 때의 확률밀도 함수 $P(S)$ 와 페이딩 없는 경우의 오류확률 $P_{non}(e)$ 를 S 에 관하여 평균을 취하면 다음 식 (2)와 같이 구할 수 있다^[5].

$$P(e) = \int_0^{\infty} P(S) P_{non}(e) dS \quad (2)$$

여기서,

$P(S)$: 수신신호의 포락선 S 의 확률밀도함수

$P_{non}(e)$: 페이딩 환경전의 오류식(단순 신호점에 의한 오류식)

$$\begin{aligned} P_{non}(e) &= \int_{\frac{d_n}{2}}^{\infty} P(x) dx \\ &= \int_{\frac{d_n}{2}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_G} \exp\left(-\frac{x^2}{\sqrt{2}\sigma_G^2}\right) dx \quad (3) \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{d_n}{2\sqrt{2}\sigma_G}\right) \end{aligned}$$

16-QAM의 신호점은 직교채널(Q-channel)과 동상채널(I-channel)에 대칭되게 분포하며 신호가 페이딩을 받게 되면 신호의 진폭은 각 부호점에 따라 달라진다. 동상과 직교채널이 독립이라고 하고 페이딩을 받은 어떤 한 부호점의 부호 오류율을 $P(X, Y)$ 라 두면, 한 부호점의 오류율은 식 (4)와 같이 동상채널의 오류율 $P(X)$ 와 직교채널의 오류율 $P(Y)$ 의 합으로 나타낼 수 있다.

$$P(X, Y) = P(X) + P(Y) \quad (4)$$

또한 동상과 직교채널에서 발생하는 오류는 같기 때문에 $P(X)$ 와 $P(Y)$ 는 식 (1)과 (2)에 의해 식 (5)와 같이 된다^[5].

$$P(X) = P(Y) = \frac{1}{2} \int_0^\infty \text{erfc} \left(\frac{|S_x - A_x|}{\sqrt{2\sigma_G^2}} \right) \frac{2m^m S_x^{2m-1}}{\Gamma(m)(A_x+d)^{2m}} \exp \left(-\frac{mS_x^2}{(A_x+d)^2} \right) dS_x + \frac{1}{2} \int_0^\infty \text{erfc} \left(\frac{|(A_x+2d) - S_x|}{\sqrt{2\sigma_G^2}} \right) \frac{2m^m S_x^{2m-1}}{\Gamma(m)(A_x+d)^{2m}} \exp \left(-\frac{mS_x^2}{(A_x+d)^2} \right) dS_x \quad (5)$$

여기서,

$(2x-1)d$: 신호점간의 거리

$A_x = (2x-1)d - d$

S_x : 페이딩을 받은 수신신호의 진폭

σ_G^2 : 잡음의 평균전력

이동무선 환경에서 16-QAM의 이론적인 오류율 식은 안쪽에 분포하는 점(d)과 바깥쪽에 분포하는 점(3d)을 다르게 생각하여 계산해야 한다. 그림 1에서 안쪽에 분포하는 점은 양쪽으로 오류가 발생하고 바깥쪽에 분포하는 점은 인접 부호점이 있는 안쪽으로부터 오류가 발생한다. 따라서 16-QAM의 안쪽에 분포하는 신호점의 오류율 $P(1)$ 과 바깥쪽에 분포하는 신호점에 대한 오류율 $P(2)$ 는 식 (6)

과 같다. 식 (6)에서 $P(1)$ 의 전항은 신호점 d에서 좌측으로 오류가 발생할 확률이고 후항은 우측으로 오류가 발생할 확률이며 레이레이 페이딩 환경하에서는 $m=1$ 인 항으로 대체하여 계산하여야 한다.

$$P(1) = \frac{1}{2} \int_0^\infty \left(\text{erfc} \left(\sqrt{\frac{\rho_G}{10}} R_1 \right) \frac{2m^m R_1^{2m-1}}{\Gamma(m)} \exp(-mR_1^2) \right) dR_1$$

$$P(2) = \frac{1}{2} \int_0^\infty \left(\text{erfc} \left(\sqrt{\frac{\rho_G}{10}} |3R_2 - 2| \right) \frac{2m^m R_2^{2m-1}}{\Gamma(m)} \exp(-mR_2^2) \right) dR_2 \quad (6)$$

여기서,

$\rho_G (= \frac{5d^2}{\sigma_G^2})$: 평균 반송파 전력대 잡음전력

$R_1 = \frac{S_1}{d}, \quad R_2 = \frac{S_2}{3d}$

$\Gamma(m)$: 감마함수

이상의 이론적인 해석을 통해 레이레이 페이딩 환경하의 오류율 계산에서 앞에서 언급한 식 (5)와 식 (6)의 $m=1$ 인 경우를 수치해석적으로 계산하였으며 이 결과와 시뮬레이션 결과를 함께 그림 2에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 16-QAM을 이동무선 환경에 도입하였을 때 오류율이 열화된

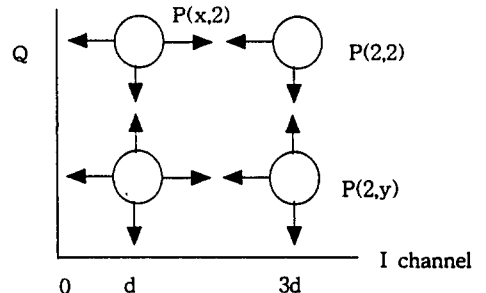


그림 1. 16-QAM 신호점 분포

Fig. 1. Signal constellation of 16-QAM.

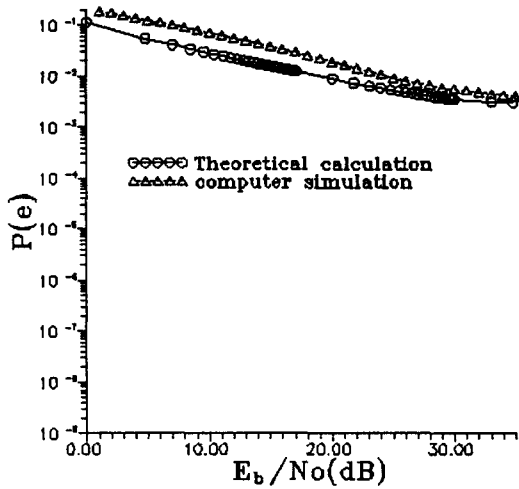


그림 2. 이동무선환경 하의 16-QAM의 오류율 ($\alpha=0.00$)
 Fig. 2. BER of 16-QAM over mobile communication channel.

다. 그림 2에서 심볼 ‘△’는 단지 수식을 이용한 이론적인 계산 결과이고 ‘○’는 필터특성 그리고 전송 상에 발생하는 잡음을 고려하여 시뮬레이션 하였기 때문에 이론적인 결과와 약간의 차이를 보이고 있다.

Ⅲ. 지연 변조(밀러 부호화) 기법의 16-QAM 적용 및 검토

3-1 시스템 구성 모델

다음 그림 3은 Ⅱ장에서 언급한 16-QAM을 이동 무선환경에 도입할 경우 필연적으로 나타나는 오류율 열화를 극복하기 위하여 본 논문에서 구성한 지연 변조 기법을 적용한 16-QAM 시스템의 계통도를 보여준다.

먼저 2진 시퀀스가 지연변조의 부호기(Miller encoder)로 입력되어 코딩된 후 송신 저역-통과 필터에 입력된다. 필터 형태는 $x/\sin x$ 형태의 squ-

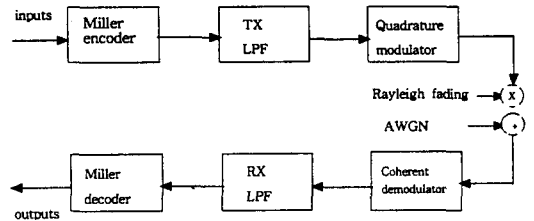


그림 3. 시스템 계통도
 Fig. 3. System block diagram.

are root raised cosine 필터($\alpha=0.2$)이다. 필터링된 동상 성분과 직교 성분의 기저대역 신호들은 변조기를 거쳐 변조되어 채널로 전송된다. 채널은 레일레이 페이딩과 AWGN(Additive White Gaussian Noise)을 가정하며, $f_d = 80$ Hz, $T_s = 0.00025$, 그리고 동기점파를 가정하여 시뮬레이션한다. 한편, 수신측에서는 채널을 통해 전송된 복소 신호를 복조하고 수신 저역 통과 필터를 거쳐 다시 동상 성분과 직교성분을 추출하고, 전송측에서 고려한 Miller 부호 규칙에 의거 원래의 2진 데이터 시퀀스를 복호한다.

다음에 마지막으로 송신 데이터와 수신데이터간의 오류 counting을 통한 몬테칼로 방식으로 오류율을 비교, 분석한다.

3-2 지연변조(Delay Modulation) 기법의 개요

지연 변조 즉, 밀러(Miller) 코딩 방식은 2진 PCM 파형 코딩 기법의 하나로서 데이터 시퀀스 “1”에 대해서는 심볼 간격의 중앙점에서 신호 천이가 일어나고 “0”일 경우 또다른 “0”이 연속되지 않는 한 천이가 일어나지 않게 하는 방식으로서 주파수면에서 신호에너지가 데이터율($R=T/1$)의 절반 이하이고, 스펙트럼이 $f=0$ 근처에서 매우 작으므로 다른 코딩 방법, 예를 들면, 맨체스터 코딩 기법에 비해 대역폭 면에서 보다 강점을 지닌다. 아울러 NRZ-L이나 맨체스터 코딩 기법에 공통적으로 나타나는 180° 위상 모호성에 덜 민감하므로 PSK

(Phase Shift Keying)제열의 통신방식에 효과적 인 것으로 보고되고 있다^[6].

그림 4는 NRZ-L, Manchester 코딩, differential coding 등과 Miller coding 방식의 파형을 비교하여 나타낸 것이다. Miller coding의 경우 4개의 상태를 갖고 확률이 1/4로 모두 동일한 Markov source로 모델링될 수 있으며 4가지의 기본적 신호는 다음과 같이 정의된다^[6].

$$s_1(t) = -s_4(t) = A; 0 \leq t \leq T$$

$$s_2(t) = -s_3(t) = \begin{cases} A & ; 0 \leq t \leq \left(\frac{T}{2}\right) \\ -A & ; \left(\frac{T}{2}\right) \leq t \leq T \end{cases} \quad (7)$$

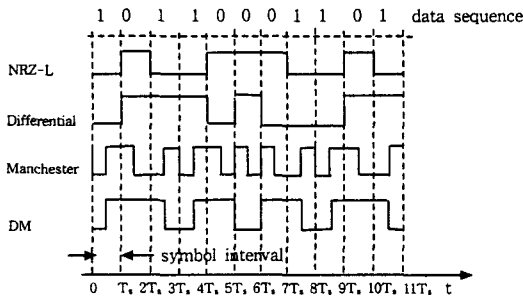


그림 4. 파형비교
Fig. 4. Waveform comparisons.

3-3 오류율 검토

그림 5는 16-QAM에 delay modulation기법을 적용한 본 시스템과 부호화하지않은 시스템, 그리고 Manchester 및 differential 코딩 기법을 적용한 시스템^[2]과의 비트오류율 면에서 비교한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 본 시스템의 신호점 분포는 8-PSK의 신호점 분포에서 위상을 $\pi/8$ 천이시켜 만든 $\pi/8$ -8PSK 신호점 분포를 이용하였다^[2].

Delay modulation 기법을 적용한 경우, 부호화하지 않은 경우에 비해 현저한 성능 개선을 가져왔고, 맨체스터 코딩한 시스템과의 비교에서는 10^{-4}

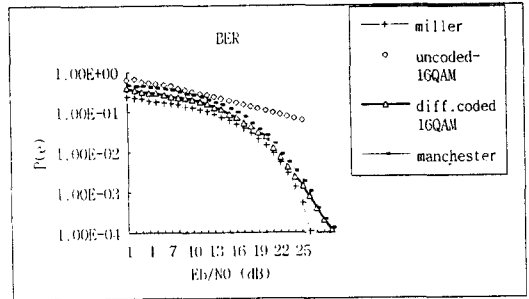


그림 5. BER 시뮬레이션 결과 ($\alpha=0.2$ 인 경우)
Fig. 5. The simulation result of BER.

표 1. 실험결과 비교(10^{-4} 판정기준)
Table 1. The comparison of simulation results.

적용 시스템	E_b/N_0 (dB)
비부호화된 16-QAM	경감불능오류 발생
맨체스터부호화된 16-QAM	29.8
차동부호화된 16-QAM	28.7
지연 변조+16-QAM	26

판정 기준에서 E_b/N_0 가 약 3.8 dB정도, differential 코딩을 적용한 시스템에 비해서는 약 2.7 dB 정도의 개선을 가져왔다. 이상에 논의된 내용을 표 1에 일목요연하게 정리하였다.

IV. 스펙트럼 효율 고찰 및 비교

이동통신과 같이 대역폭이 제한된 경우 스펙트럼 효율은 매우 중요한 파라미터가 되며, 스펙트럼 효율이 뛰어난 시스템으로 한정된 주파수를 효율적으로 사용하는 것이 요망된다. 본 장에서는 맨체스터 코딩을 채용한 경우와 delay modulation을 채용한 경우와의 스펙트럼 효율을 비교 검토한다. 일반적인 delay modulation의 파형의 전력 스펙트럼 밀도식은 식 (8)과 같다^[6].

$$G_M(f) = CA^2T_s \frac{1}{2\theta^2(17+8\cos 8\theta)}$$

$$(23-2\cos\theta-22\cos 2\theta-12\cos 3\theta+5\cos 4\theta+12\cos 5\theta+2\cos 6\theta-8\cos 7\theta+2\cos 8\theta) \quad (8)$$

여기서 $\theta = \pi fT$,
 T : 신호펄스 폭,
 A : 신호 진폭

맨체스터 코딩 기법과 delay modulation 기법의 스펙트럼 효율을 분석 비교한 시뮬레이션 결과는 다음 그림 6과 같다. 그림에서 보는 것과 같이 맨체스터 코딩 기법에 비해 스펙트럼 효율이 그대로 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 이것은 지연 변조 기법이 주파수면에서 신호에너지가 데이터율($R = T/1$)의 절반 이하이고, 스펙트럼이 $f=0$ 근처에서 매우 작으므로 맨체스터 코딩 기법에 비해 보다 강점을 지님을 시사한다.

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 스펙트럼 효율은 뛰어나지만 이동통신 채널에서 심각한 성능 열화로 사용이 제한되

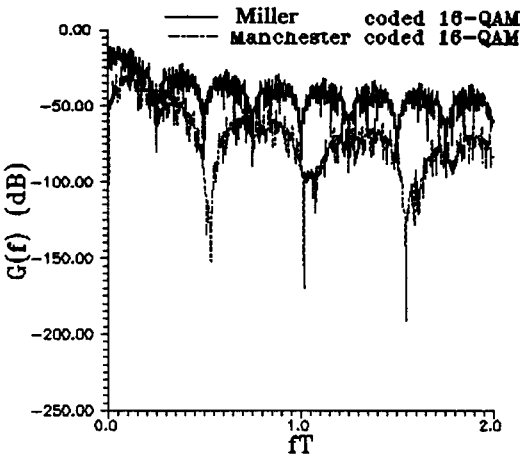


그림 6. 스펙트럼 효율 비교
 Fig. 6. The comparison of spectral efficiency.

어은 16-QAM을 이동통신 채널에서 적용 가능하도록 페이딩에 의한 시스템의 오류율 성능 저하를 극복하기 위하여 대역폭 확장없이 부호 이득을 얻을 수 있는 지연 변조(delay modulation)기법을 적용하였다. 모델링된 시뮬레이션 시스템을 이동 무선 채널 환경에서 16-QAM에 적용하여 컴퓨터 실험을 하여 그 성능을 평가하였다.

컴퓨터 시뮬레이션 결과 기존의 부호화되지 않은 시스템에 비해 현저한 성능 개선을 가져왔으며 특히 Manchester 부호화된 시스템에 비해 오류율 면과 스펙트럼 효율면에서 상당히 개선시키는 성능 향상을 보였다. 특히 기 발표된 differential 코딩 기법과 비교할 때 스펙트럼 효율면에서는 비슷한 개선을 가져왔지만 오류율 면에서 본 논문의 방법이 10^{-4} 근처에서 약 2.7 dB 정도의 개선 효과를 보였다. 그러나 본 논문에서 얻은 결과는 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 결과로 향후 delay modulation에 대한 이론적 오류율 해석을 통한 관계 정립 및 검토키가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

본 논문에 의한 다음의 연구 방향은 TCM을 적용한 기 연구[7]에 지연 변조를 첨가하여 성능을 더욱 향상시키는 것이 될 것이다.

참고문헌

- [1] 강대경, 하덕호 “스펙트럼 유효이용을 위한 디지털 이동통신 방식에 관한 연구,” 제4회 통신정보 합동학술대회 논문집, pp. 555-559, 1994년 4월 28일.
- [2] Taeheon Kim et. al., “An Analysis of BER performance of 16-QAM by Differential and Manchester Coding Schemes” *Proc. of Asia-Pacific Microwave Conference, AP-MC'95*, pp. 893-896, Oct. 10-13, 1995.
- [3] 김태헌, 하덕호, “지연변조기법을 이용한 16-QAM 통신방식의 무선전송 채널에서의 성능 개선에 관한 연구,” JCCI, 제7회 통신정보 합동학술대회 논문집 1권, pp. 17-20, 1997년 4

월 17일.

[4] Minoru Nakagami, *The m-distribution-A General Formular of Intensity Distribution of Rapid Fading, in Statistical Method in Radio Wave Propagation*, W. C. Hoffman Ed., New York: Pergamon press 1960.

[5] 조성준, 김현철, 공병옥, 고봉진, “가우스성 잡음과 임펄스성 잡음이 혼재하는 다중전파 페이딩 전송로 상에서의 제반 디지털 통신 시스템 특성의 종합분석 및 비교에 관한 연구

(1, 2부),” 한국통신학회논문지, 1989년 6월 호, 제14권 3호.

[6] M. K. Simon et al., *Digital Communication Techniques*, Prentice Hall International, Inc, 1995.

[7] 김태현, 하덕호, “비대칭 신호점에 의한 부호화된 16-QAM의 이동무선 채널에서의 BER 개선에 관한 연구,” 한국전자과학회 논문지, pp. 197-206, 1997년 4월호, 제8권 제2호.

김 태 현



1987년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1997년 2월 : 국립 부경대학교 전자공학과 박사과정 수료

1989년 6월~1991년 8월 : 금성정보통신(주) 연구소
 1991년 9월~1994년 2월 : 한국전자통신연구원 통신시스템 연구단 연구원
 1994년 3월~현재 : 부산경상대학 사무자동화과 조교수
 [주 관심분야] 디지털 이동통신방식, 멀티미디어, CAD시스템

하 덕 호



1979년 2월 : 한양대학교 전자공학과(공학사)
 1984년 3월 : 일본 Kyoto 대학 전자공학과(공학석사)
 1987년 3월 : 일본 Kyoto 대학 전자공학과(공학박사)

1987년 3월~1987년 8월 : 일본 (주)Matsushita 전기, 무선연구소 연구원
 1987년 9월~현재 : 부경대학교 정보통신공학과 교수
 1990년 8월~1991년 8월 : 캘리포니아 대학(Davis) 방문 연구교수
 [주 관심분야] PCS, FPLMTS, 무선 LAN, 다이버시티 시스템, 실내외 전파특성, 모델링, 디지털 이동통신방식