

적응변조 이동통신 시스템의 프레임 길이와 에너지소비에 따른 적절한 전송방법

오익교*
호남대학교 이동통신공학과*

Optimum Transmission Method with Energy Saving and Frame length on the Adaptive Modulation Mobile System

Euy-Kyo Oh*
Dept. of Mobile Communication Eng., Honam University*

요 약 이동통신 시스템에 적용되는 적응변조방식의 변환은 주변 환경을 고려한 변환을 사용하므로, 변환 조건 및 이에 따른 전송량의 변화에 대한 관점에서 다루었으나, 이동통신 단말기와 같이 에너지 효율이 좋아야 하는 경우에는 이러한 적응방식이 성능을 낮게 할 경우가 발생한다. 따라서 전송효율만을 고려하던 기존방식에서 소비 에너지를 고려하고, 프레임 길이를 조절하여 사용하는 적응변조방식을 제어하는 최적화 방식을 제안한다.

주제어 : 적응변조, 에너지효율, SDR, MQAM, 프레임길이

Abstract In this paper, the optimum transmission method is proposed to save the energy and to increase the throughput of the adaptive modulation mobile radio system with frame length control. Traditionally, adaptive modulation has been used to improve the throughput using the power margin of the system design. Considering the frame length vs energy saving and adptive modulation, the optimum transmission method is proposed for hub and mobile station each.

Key Words : Adaptive Modulation, Energy Efficiency, SDR, MQAM, frame length

1. 서론

적응 변조(Adaptive Modulation: AM) 방식은 시간적으로 공간적으로 변화하는 채널의 상태를 감지하여 측정된 환경에 적합한 변조 방식을 적응적으로 할당함으로써, 시스템의 효율을 높이는 중요한 통신 방식이다. 고정 변조 방식은 전송 채널이 시간에 따라 변하므로 BER(Bit Error Rate) 성능이 주변 환경의 측정치인 신호 대 잡음비(SNR: Signal to Noise Ratio)에 따라 변하지만, 적응

변조 방식은 SNR에 따라 변조방식이 적응적으로 변화하므로 항상 일정한 평균 BER 성능을 유지할 수 있어 채널의 상태가 수시로 변하는 통신 환경에서도 좋은 시스템 성능을 확보할 수 있다. 그러므로 적응형 전송방식은 사용자에게 고품질의 서비스를 끊임 없이 제공하고, 통신 시스템의 용량을 증가시킬 수 있다.

하지만 무선 네트워크 링크는 시간에 따라 채널 조건이 급격하게 변화할 뿐만 아니라, 무선 이동 단말기를

Received 1 November 2013, Revised 29 November 2013
Accepted 20 December 2013
Corresponding Author: Euy-Kyo Oh(Honam University)
Email: ekoh@honam.ac.kr

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

사용하는 사용자측의 배터리 에너지가 제한될 수 있다는 특징이 있다. 따라서 무선 채널은 안정된 시스템을 고려하는 것과는 다른 방식으로 접근되어 제한된 에너지를 사용하는 경우에는 시스템의 성능을 낮추더라도 효율적으로 사용하는 것이 중요한 요소이다.

이러한 관점에서 적응변조방식을 적용하기 위하여 세 가지 관점에서 변조방식의 타당성을 살펴본다. 먼저 SNR에 따른 심볼의 변화를 이용하는 기존의 적응변조방식, MAC 레이어 프레임의 사이즈에 따른 전송량의 변화 및 배터리 에너지소비에 따른 전송률의 안정화 방식을 고려하여 최적의 변조지수 변경 방식을 결정해야 한다.

SNR에 따른 변조방식의 변경은 여유이득을 사용하는 전통적인 적응변조방식에 따르며, 주변 환경을 측정하는 SNR의 측정이 정확하게 이루어지도록 측정기법을 적용해야 한다[1,2]. 또한 채널 잡음이 변화하는 경우 MAC 레이어의 프레임사이즈는 사용자 입장의 전송률에 상당한 영향을 미치며, 만일 프레임 길이를 조절하면 요구되는 전송률을 만족하는 에너지효율성을 증진할 수 있고, 전송률 감소 없이 수신 범위를 늘리는 경우에도 사용된다[3,4]. 에너지소비는 단말의 특성을 고려하여 프레임사이즈에 따른 소비와 변조방식 변경시의 소비전력을 고려하여 최적의 전송률이 확보되도록 변경되어야 한다[4,5,6]. 이처럼 변조지수의 변경, 프레임사이즈, 에너지효율성을 고려할 때 각 변수간에는 장단점이 존재하므로 시스템 특성에 맞게 세 변수간의 트레이드오프(tradeoff)가 존재한다.

이러한 이론을 바탕으로 적용되는 SDR 시스템에서는 변조방식이 적응형으로 변화하며, 변조방식이 바뀌면 시스템 성능도 향상된다.

2. 요소별 적응변조방식의 효율성

2.1 M-ary 적응변조방식의 전송효율

무선 채널은 시변 채널이며 이러한 채널변화는 임의로 제어되는 것이 아니기 때문에 변화하는 조건의 채널을 통해 성공적으로 패킷을 전송하기 위해 많은 변조와 코딩이 연구되었다.

대표적인 플랫 페이딩 채널에서 추정된 SNR에 따라 적응적으로 QAM 신호를 전송하는 적응 변조 시스템은

가정하여, 입력 데이터는 기저대역 프레임으로 구성되고, 수신기에서 추정된 SNR 정보로 선택된 변조 모드에 따라 기저대역신호를 4, 16, 64, 256 QAM 방식으로 변조하며, 수신단에서는 이상적인 동기를 가정하고, SNR을 추정하는 방법을 통해 채널환경을 추정한다고 가정한다. 이러한 경우에 AWGN 채널에서 수신 SNR은 다음과 같다[7].

$$\gamma = \frac{S}{\sigma_w^2} \tag{1}$$

여기서 γ 는 수신 신호의 SNR이고, S 는 신호 전력, σ_w^2 은 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 잡음의 분산이다. 이 정보를 변조 선택기에 입력하여 다음 송신/수신 프레임의 변조/복조 레벨을 선택할 수 있도록 조정한다. 기본적으로 채널 추정용 파일럿이 추가된 적응변조 시스템에서는 수신된 프레임은 역다중화 동작을 통해 파일럿(pilot)과 페이로드(payload) 데이터로 분리하고, 파일럿을 통해 SNR을 추정하며, 추정된 값을 모드선택 블록에 입력하여 다음 전송될 데이터의 변조 방식을 선택한다.

일반적으로 SNR 추정 오차가 없을 때, 즉 정확한 SNR을 통하여 적응변조 모드를 결정할 때, 변조 레벨의 선택에 따른 적응변조 시스템이 갖는 평균 BER은 다음과 같다[7].

$$a_n = \int_n^{n+1} f_\gamma(\gamma) d\gamma \tag{2}$$

$$BER = \int_{\gamma_n}^{\gamma_{n+1}} BER(\gamma) f_\gamma(\gamma) d\gamma \tag{3}$$

$$\overline{BER} = \frac{Error\ bits}{Total\ bits} = \frac{\sum k(n) BER_n}{\sum k(n) a_n} \tag{4}$$

여기서 $f_\gamma(\gamma)$ 은 QAM 신호의 확률 밀도 함수이고, BER_n 은 n 모드에서 M-QAM 신호 BER이고, \overline{BER} 는 수신된 신호의 평균 BER이다. 적응변조 시스템의 평균 BER은 송신된 비트의 전체 평균 비트 수와 평균에러 비트의 수의 비로 계산할 수 있다.

적응변조방식으로 사용된 M-ary QAM 시스템에 나카가미 페이딩을 적용한 오율은 다음과 같다[1].

$$P_{MQAM} = \int_0^{\infty} P_{eMQAM} \cdot p(R) dR \quad (5)$$

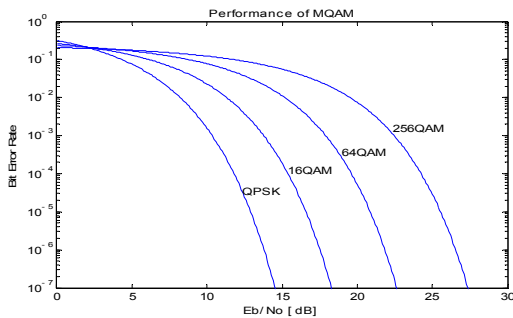
여기서

$$P_{eMQAM} = \frac{2(M - \sqrt{M})}{M} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{6R}{M-1}} \right) \quad (6)$$

시뮬레이션을 위해 단순화한 동기방식(coherent) QAM의 오차확률은 다음과 같다 [8,9].

$$P_{eMQAM} \leq \frac{4}{k} Q \left(\sqrt{\frac{3k/2}{L-1} SNR} \right) \quad (7)$$

이 식을 이용하여 각 변조방식의 평균 SNR에 대한 BER 특성을 구하면 다음과 같이 나타난다[10].



[Fig. 1] Channel performance of MQAM

따라서 원하는 BER 성능을 만족하는 SNR값이 충족될 경우 변조방식을 변화함으로써 전송률을 더 높일 수 있다.

2.2 프레임길기와 전송률

프레임길이에 따른 변화를 살펴보기 위해 적용되는 적응변조방식의 M은 16, 64, 256을 다루기 위해 사용자가 보는 관점에서 가변 BER 상에서 프레임길이의 함수로 throughput을 채택한다. throughput은 모든 오버헤드가 제거된 후의 사용자가 수신한 대역폭에 대한 값이며 잃어버린 프레임 때문에 줄어든다. 즉 한 비트만 잃어도 전체 프레임이 손상되기 때문이다. 이런 프레임이 생길

면 대역폭의 낭비가 되며, 시간낭비가 된다. 또한 시그널링도 다시 시작해야한다.

프레임의 사이즈에 대한 관계를 다루기 위해 다음과 같은 채널을 가정한다[3,4].

L_P : 사용자 데이터 길이

L_Q : 물리계층 오버헤드의 길이 52.5 바이트

L_H : MAC & IP 헤더 오버헤드 40 바이트

프레임사이즈 = $L_P + 20$ 바이트

R_C : 무선채널의 비트레이트 2 Mbps(QPSK), 4Mbps(16QAM), 8Mbps(64QAM), 16Mbps(256QAM)

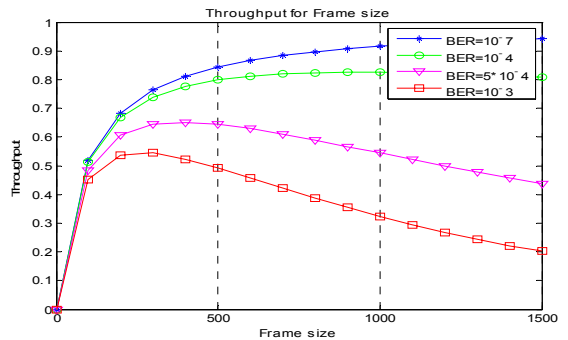
BER : 채널 BER

G : throughput

이러한 값으로 다음 식이 나타난다.

$$\begin{aligned} \frac{G}{R_C} &= \frac{L_P}{L_P + L_Q + L_H} (1 - BER)^{L_P + L_H} \\ &= \frac{1}{1 + \frac{L_H + L_Q}{L_P}} (1 - BER)^{L_P + L_H} \end{aligned} \quad (8)$$

식(8)은 프레임길기와 BER에 대한 기본 데이터에 대해 정규화된 throughput 값으로 주어진다. 오버헤드값을 일정하다고 가정하면 변조방식에 따라 사용자 데이터의 사이즈 L을 변화한다. 시뮬레이션된 결과는 [Fig. 2]와 같다.



[Fig. 2] Throughput for Frame size

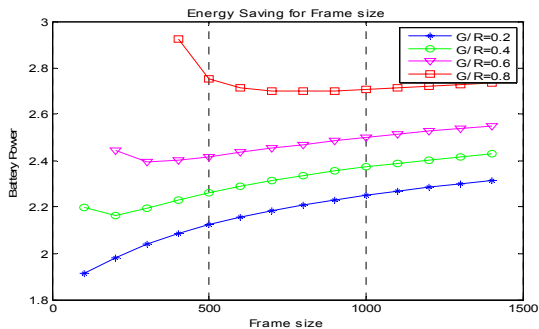
여기서 BER이 10^{-3} 이하의 저품질데이터 전송의 경우에는 프레임사이즈를 늘리는 것보다, 오히려 줄이는 것이 throughput 을 올리는 데 효과적이라는 것을 알 수 있다. 반면에 BER이 10^{-7} 이상의 고품질 전송의 경우에는 프레임 사이즈를 늘리는 것이 효율적임을 알 수 있다.

2.3 에너지 소비측면의 관측

또 다른 관계는 배터리전력과 프레임사이즈에 대한 관계를 생각해 볼 수 있다. QPSK 시스템의 경우를 가정하면, BER은 다음과 같은 식으로 나타난다[8,9].

$$BER_c = \frac{1}{4} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \quad (9)$$

이 식과 (식 8)을 이용하여 throughput 과 소비에너지 E_b/N_0 의 관계를 예측한 결과는 다음과 같이 나타난다.



[Fig. 3] Energy Saving for Frame size

[Fig. 3]을 통해 throughput 이 높을 경우 특정 프레임 사이즈보다 적은 경우에 에너지소비가 급격하게 올라가는 것을 알 수 있으며, 500 바이트를 넘는 경우에는 프레임사이즈의 증가에 대해 에너지소비가 증가함을 알 수 있다.

적응변조방식의 적용에서 다른 문제점으로는 적응변조시의 에너지 소비를 간과할 수 없기 때문에 이러한 소비를 줄일 수 있는 안정화 방법의 도입이 필요하다[5,6]. 적응변조방식이 m개가 가능하고, 샘플 당 비트 수가 N_m bit/sample 이라고 가정하자. 정보 총 용량 N_s 비트를 보

내는데 필요한 샘플의 수는

$$N_r = \frac{N_s}{N_m} \quad (10)$$

잡음이 없는 채널에서 총용량 N_s 를 보내기 위한 N_r 샘플이 성공적으로 송신되려면, N_r 는 N_m 에 역비례하고, N_m 이 더 커지면 보내는 횟수가 적어져서 시스템은 더 에너지 효율적이다. 그러나 잡음이 발생하는 채널에서 N_m 이 크면 더 큰 BER이 발생하여 무선 네트워크에서 재전송을 요구하게 된다. BER은 일반적으로 SNR의 함수이며 적응변조의 방식과도 관련된다. SNR 이 r 라면 BER 은 MCS m 에 대한 SNR의 함수이며, 이것은 $p_b = f_m(r)$ 로 표현된다. 일반적으로 SNR이 증가하면 BER은 감소하며 함수는 적응변조 방식에 의존한다. 총 N_s 정보비트의 전송동안 발생한 예상 비트에러는 $N_e = p_b \cdot N_r$ 이다. 당연히 BER이 작으면 재전송 요구가 감소된다. 작은 N_m 에 대한 방식에서는 샘플 수 N_r 는 더 커지고, 심볼당 에너지가 고정되면 동일량의 데이터를 전송하는데 사용되는 에너지가 더 많이 필요하다. 그러나 작은 N_m 에 대한 방식은 같은 SNR에 대해 더 작은 BER을 갖고, 따라서 더 작은 에너지가 재전송에 소비된다. 이것이 에너지 트레이드오프이다.

패킷 기반 시스템에서 수신기는 CRC(Cyclic Redundancy Check)만을 체크하며, 에러가 발생하면 전부 버리고 재전송한다. PER(Packet Error Rate)은

$$p_e = 1 - (1 - p_b)^{N_p} = 1 - \alpha^{N_p} \quad (11)$$

여기서 N_p 는 한 패킷의 비트 수이며, 명백히 더 커지면 패킷에서 에러 발생율이 높아진다.

반대로 한 패킷의 전송에 사용되는 에너지소비를 고려한다. 수신기의 전력소비는 배터리에 심각한 영향을 끼치므로 송수신기 모두에서 사용되는 전체 전력을 고려한다. 일반성을 잃지 않고 전력소모는 전 시간동안의 전체 에너지로 볼 수 있다. 정규화된 심볼 시간을 이용하면 패킷 당 에너지소비는 다음과 같다[11].

$$E_{pt} = \frac{N_p}{N_m} P_t + N_g P_g \quad (12)$$

여기서 BPSK(Binary Phase Shift Keying) 전송 (에너지 P_g) 방식으로 전송되는 패킷전송에서 N_g 는 오버헤드이며 P_t 는 데이터 전송에 필요한 에너지이고 N_m 은 한 시간영역의 비트수이다.

잡음이나 인터피어런스에 의한 재전송도 있지만, CSMA/CA 의 충돌이 발생한 경우나 동일밴드에 타 무선국이 발생한 인터피어런스도 재전송을 야기한다.

몇 가지 가정을 바탕으로 하면 에너지소비가 최소가 되는 패킷길이를 계산할 수 있으며, 최적 길이는 다음과 같다[11].

$$N_{p,op} = \frac{N_m}{2} \sqrt{\frac{\ln \alpha N_m N_g^2 - 4N_g}{N_m \ln \alpha}} - \frac{N_m N_g}{2} \quad (13)$$

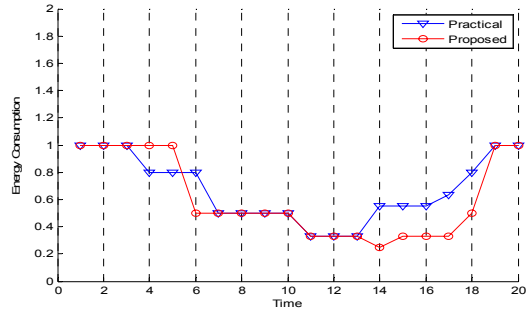
이러한 패킷길이를 사용하여 에너지소비가 줄어들음을 보였대[12].

하지만 항상 패킷을 가변할 수 없기 때문에 고정된 패킷길이를 이용하여 전송하는 경우에도 에너지를 최소화할 수 있는 방안을 찾는 것이 중요하다.

시스템의 M이 변경되는 순간의 에너지를 고려하면 가장 많은 성분을 차지하는 에너지는 데이터를 전송하기 위한 항으로 다음과 같이 나타나며, 이는 변조지수 m에 반비례하여 나타남을 알 수 있다.

$$E_{total} = \frac{N_s}{N_p} \frac{N_p}{N_m} P_t \quad (14)$$

하지만 오버헤드 에너지 및 재전송에 사용되는 에너지는 전환 순간에 차이를 보인다. n-1 비트가 사용되는 전 단계에서는 주어진 SNR에 안정된 전송을 하고 있기에 재전송률이 0에 가깝다. 반면에 동일 SNR에서 n 비트로 전환되면 순간적인 전환에 따른 PER 의 감소에 따라 재전송이 급격하게 증가하여 에너지소비가 급속한 증가를 보인다. 따라서 이러한 에너지소비가 발생하지 않도록 일시적으로 n-1의 비트로 유지하며 에너지 체크를 수행할 필요가 있다.



[Fig. 4] Proposed system Energy Consumption

[Fig. 4]는 이러한 에너지소비의 안정화를 적용한 경우에 전송률을 나타낸 것이다.

3. 기지국과 단말기의 효율적 전송방식

이동통신의 적응변조 방식은 주변 환경의 상태를 측정하여 변조방식을 변경하므로 주변 SNR을 측정하는 기법이 주로 다루어진다. 하지만, 이동통신의 기지국과 단말기의 큰 차이점은 에너지원의 사용에 있기 때문에 이를 고려하여 변조방식을 변경하는 것이 타당하다.

기지국의 경우는 배터리를 사용하지 않고 안정적인 전원을 사용한다는 가정에서 출발하므로 전력소비가 큰 문제가 되지 않는 경우로써 전송률을 최대로 할 수 있는 변조방식을 선택하는 것이 유리하다. 또한 프레임 길이를 최대화 하여 높은 전송률을 유지하는 것이 전체적인 이득을 가져올 수 있다. 다만, 동일한 에너지를 사용한다면 변조지수 M이 커지면 송신할 수 있는 범위가 줄어들게 된다. 따라서 에너지 측면에선 M을 키우고 프레임 길이를 적절하게 하는 것이 이득이다.

반면에 단말기와 같이 배터리를 사용하기 때문에 에너지가 제한된 경우라면, 변조지수 M을 주변 환경 SNR에 따라 단순하게 올리는 것은 위험이 따른다. 즉 필요에 따라 M을 낮추어 높은 전송률을 유지하는 것이 중요하며 시스템은 동일한 BER이 유지되도록 한다. 위 시뮬레이션에서 나타나듯이 더 긴 프레임 길이로 64, 16, 4를 256 대신 보내며, BER이 커지고 길이를 짧게 한다.

따라서 M을 줄임으로써 높은 범위를 유지할 수 있다. 예로 짧은 프레임 길이로 M을 줄이며, 그러나

throughput 이 0.8 이상이면 더 긴 프레임길이를 사용한다. 그러나 M이 커지면 전력소비가 많아진다. 따라서 에너지가 제한되어 있으면 M을 줄여 에너지를 저장해야 한다. 그러나 throughput이 0.2보다 작은 경우는 더 짧은 프레임 길이를 사용해야 한다.

이러한 결과를 바탕으로 하여 기지국의 변조방식은 QAM 혹은 QPSK를 유지하는 것이 바람직하다. 반면에 단말기의 경우 다음의 조건을 고려한 선택이 필요하다.

우선 주변 SNR의 측정 값에 따라 가능한 M의 범위를 설정한다. 선택 가능한 M이 높을수록 배터리 소비는 증가하게 된다. 따라서 에너지소비량이 가능한지 확인한 후 2차 선택을 하게 된다. 이러한 조건하에서 프레임사이즈가 커질수록 에너지 소비가 많아지므로 3차 선택에서는 에너지 소비를 고려하여 선택되어야 한다.

이처럼 환경에 따라 단말기의 적응변조 방식을 조절할 필요가 있다.

4. 결론

본 논문에서는 적응변조방식을 이동통신 시스템에 도입하여 사용하면서 에너지소비를 고려한 단말기의 변조방식을 안정화 할 수 있는 방안을 제시하였다. 또한 프레임 길이에 따른 변조방식의 선택이 필요함을 보이고, 이를 대입하여 모의실험 하였다.

제안된 방식은 전체적인 전송효율을 크게 떨어뜨리지 않고, 소비되는 에너지를 줄일 수 있는 방안을 제시하여, 이동통신 단말 등 배터리를 이용한 경우, 급격한 에너지 소비를 막을 수 있는 해결책이 될 수 있다.

실제 적용모형의 환경에서 발생할 수 있는 많은 문제점은 추후 과제로 계속 연구해 갈 계획이다.

REFERENCES

[1] Sampei, Application of digital wireless technologies to global wireless communications, prentice-hall, pp.505-542, 1997.
 [2] Euy-Kyo Oh, Analysis of the adaptive modulation performance according to the channel estimation,

Information study Honam Univ, vol.11, 2003
 [3] Paul Lettieri, Adaptive Frame length Control for Improving Wireless Link Throughput, range and Energy Efficiency, IEEE, 1998.
 [4] Yafei Hou, Performance Tradeoff with Adaptive Frame Length and Modulation wireless network, IEEE, 2005.
 [5] Euy-Kyo Oh, Effective Transmission Method using Energy Efficient Adaptive Modulation, The Journal of Digital Policy & Management, 2012
 [6] Euy-Kyo Oh, Kyun-Hyun Tchah, The performance evaluation of the throughput increasement according to the stable adaptive modulation to the mobile communication system, The journal of Korea information and communication society, Vol28, No 10A, 2003.
 [7] Seon-Ae Kim, Adaptive Modulation System Using SNR Estimation Method Based on Correlation of Decision Feedback Signal, KJKIEES, 22, 3, 2011.
 [8] Sklar, Digital communications, Prentice-hall, pp.219-235, 2001.
 [9] Won-Young Yang, Digital Communication Using Matlab, HongReung, pp200-207, 2003.
 [10] Hiroshi Harada, Simulation and software radio, Harada Prasad, 2002.
 [11] Mohamed-Slim Alouini, An Adaptive Modulation Scheme for Simultaneous Voice and Data Transmission over Fading Channels. IEEE SAC Vol.17, No.5, May, 1999.

오 의 교(Oh, Euy Kyo)



· 1982년 2월 : 고려대학교 전자공학
 과(공학사)
 · 1984년 2월 : 고려대학교 전자공학
 과(공학석사)
 · 2004년 2월 : 고려대학교 전자공학
 과(공학박사)
 · 1996년 3월 ~ 현재 : 호남대학교 이
 동통신공학과 부교수

· 관심분야 : SDR, 이동통신, 적응변복조, 채널부호화
 · E-Mail : ekoh@honam.ac.kr