
에너지 효율과 적응변조를 이용한 이동통신 시스템의 효율적인 데이터 전송방법

오의교*

Effective Transmission Method using Energy Efficient Adaptive Modulation

Eyu-Kyo Oh*

요 약 통신 시스템의 설계 전력 여유분을 이용하여 기존 시스템의 구성을 변경하지 않고 시스템의 전반적인 전송 효율을 증진시킬 수 있는 적응변조방식의 변환은 주로 전송량에 대한 관점에서 다루었으나, 변조방식의 변환 시 소모 되는 순간 에너지는 이동통신 단말과 같이 배터리가 필요한 장치의 효율을 낮춘다. 따라서 전송효율만을 고려하던 기존 방식에 순간 에너지소비의 관점을 도입하여 에너지 효율을 고려한 변환기법을 제안한다.

주제어 : 적응변조, 에너지효율, SDR, MPSK

Abstract In this paper, the effective transmission method is proposed to save the energy and to increase the throughput of the communication system using adaptive modulation. Traditionally, adaptive modulation has been used to improve the throughput using the power margin of the system design. Considering the instantaneous energy during the modulation method changing duration, the effective transmission method is proposed. By the simulation, the performance and effectiveness is validated.

Key Words : Adaptive Modulation, Energy Efficiency, SDR, MPSK

1. 서론

차세대 이동통신의 고속전송을 하기 위해 제안된 기술로는 주파수 스펙트럼을 효율적으로 사용하기 위해 제안된 적응변조방식(Adaptive Modulation)은 사용하는 채널 환경에서 발생하는 인터피어런스를 최소화 하며, 시스템 확장성을 넓힐 수 있는 방식의 적절한 변복조 방식 및 코딩을 사용함으로써, 서비스의 품질 및 전송률(throughput)을 향상시킬 수 있는 전송방식이다. 기존의 변조방식은 시스템이 전송하고자 하는 정보의 특성에 따라 요구하는 전송품질을 결정하고 이를 만족하도록 설계된다. 이러한 경우 채널의 특성변화를 감안하여 링크마진을 갖도록 설계하는 것이 일반적이다. 그러나 대부분의 경우 전송환경이 설계된 조건보다 우수한 환경에서 전송되므로 열악한 환경을 기준으로 설계된 여분의 전송

전력이 낭비되므로, 링크마진을 이용하는 방안이 제시되고 있다. 적응변조방식은 이러한 마진을 이용하여 송신 전력 혹은 대역폭의 증가 없이도 전송률을 증가하는 방식으로써, 차세대 이동통신에 필요한 조건을 만족할 수 있는 방법으로 4세대 통신인 SDR(Software Defined radio)에 사용되고 있다. 다만, 이러한 방식을 적용하는 경우에 하드웨어의 구현이 까다로운 현실적인 어려움이었으나, 디지털신호처리(Digital Signal Processing) 기술의 발전으로 이를 해결하고 있다.

적응변조방식은 채널 환경에 맞추어 전송 링크를 채널 용량에 접근시키는 방식이므로 대부분의 경우 에너지 억제 방식을 채택한다. 따라서 채널 조건에 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 혹은 MPSK(M-ary Phase Shift Keying)를 채택한 물리계층 방식이 제안된다[2].

*호남대학교 이동통신공학과

논문접수: 2012년 10월 2일, 1차 수정을 거쳐, 심사완료: 2012년 10월 21일

주로 응용되는 SDR 기술등 이동통신 기술에서는 단말기의 배터리 수명이 중요한 이슈로 떠오르고 있다. 적응변조방식이 물리계층의 기능인 데이터 전송량에 맞추어 설계되지만, 소비되는 전력을 줄이지 않으면 배터리 등을 사용하는 단말의 기능에 맞추기 어렵다. 따라서 채널환경 뿐만 아니라 패킷의 길이조정등을 통해 크로스레이어 개념을 도입하여 에너지소비를 줄이기 위한 방안이 제시되고 있다[10]. 이러한 방법과 배터리 체크등을 통해 전송방식을 결정하는 진화된 기술이 사용될 것이다.

본 논문에서는 MPSK를 사용하는 적응변조 기법에서 변조방식의 전환시 소모되는 에너지를 추정하여 이를 이를 최소화 하기 위한 에너지 효율적 적응변조방식을 제안한다.

2. 적응변조방식의 전송효율성

2.1 적응변조방식

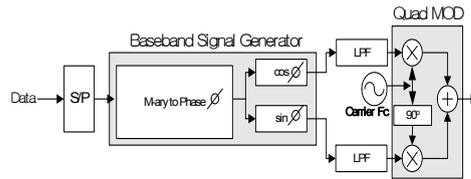
대부분의 시스템은 설계 시에 전송전력의 여유분(link margin)을 가지게 된다. 이는 전송 환경의 악화에 따른 급속한 시스템 다운을 막기 위한 것이지만, 현실적으로 적용하는 경우, 극히 악조건이 아닌 경우에는 제한선 부분까지 내려가는 경우는 거의 없다. 따라서 정상적인 조건에서 시스템이 가지는 전력여유분을 이용하여 높은 변조율로 데이터를 전송하는 경우 추가적인 트래픽 성능의 향상을 얻을 수 있을 것으로 예상되어 이를 이용한 것이 적응변조방식이다. 적응변조방식은 동일한 하드웨어로 구성된 시스템에서 시스템의 변조방식을 사용 환경에 적절하게 변경함으로써 최대한의 처리량을 확보하기 위한 방식으로 기본적으로 새로운 시스템을 구성하는 것이 아니라 기존의 방식을 이용하여 성능의 향상을 꾀하는 것이므로 시스템 설계의 부담을 줄일 수 있으며, 추후 개발되는 SDR 시스템의 기본 조건이 될 수 있다[3].

2.2 MPSK 적응변조방식

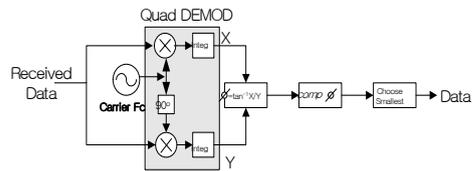
본 논문에서 적용하고자 하는 변조방식은 MPSK 방식을 사용한다. MPSK 변조방식은 크기가 일정한 시스템으로 잡음의 크기에 관련이 없으며, M의 변수 변경 시에 하드웨어의 구현상 타이밍만 고려하면 시스템의 구성이 쉽다는 장점이 있기 때문이다. 일반적으로 사용되는 MPSK 방식은 전체 영역을 M에 따라 균등하게 분할

하여 위상을 결정하는 Uniform MPSK 방식이다. 이러한 MPSK는 크기가 일정한 변조방식으로 [그림 1, 2]와 같이 한 가지 구성의 하드웨어 구조로 구현 할 수 있다는 장점이 있다[4][6].

이러한 구성의 변조기에 대한 복조기의 구성은 [그림 2]와 같이 구성된다.



[그림 1] M-ary PSK 변조기의 구성도

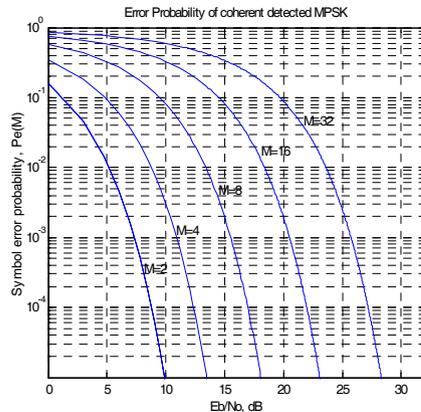


[그림 2] M-ary PSK 복조기의 구성도

적응변조는 이러한 MPSK의 하드웨어 구조를 이용하여 채널 환경을 예측한 후에 그에 맞게 M을 조정함으로써 시스템의 처리량을 높이고자 한다. 비트 수 $n = \log_2 M$ 으로 정의되는 코허런트 MPSK의 심볼에러 평균확률은 식 (1)과 같이 근사된다[8].

$$P_E(M) = \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{nE_b}{N_0}} \sin\left(\frac{\pi}{M}\right) \right) \quad (1)$$

[그림 3]은 M에 따른 심볼오류율을 나타낸 것이다.



[그림 3] MPSK의 M에 대한 심볼오류율

[그림 3]에서 만일 일정한 심볼오류율 10^{-5} 을 기준으로 한다면 E_b/N_0 가 높아질수록 M을 증가시킬 수 있다. 즉 10dB 이하에서는 성능을 얻기 어려우며, $10\sim 13$ dB 까지는 M=2가 선택되며, $13\sim 18$ dB 에서는 M=4, $18\sim 23$ dB 까지는 M=8, $23\sim 28$ dB 의 범위에서는 M=16, 28dB 이상에서는 M=32 를 선정해도 오류율을 유지할 수 있다. 이러한 M의 값에 대한 MPSK의 대체적인 처리량은

$$n \times (1 - P_E(M)) \quad (2)$$

으로 볼 수 있다[8]. 따라서 M의 증가에 따라 처리량은 상당한 증가를 할 수 있다는 것을 알 수 있다. 이처럼 적응변조 방식을 고려하면, 같은 전력 및 대역폭으로 효과적인 처리량을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

3. 에너지효율의 고려

본 논문에서는 시스템의 효율성을 이론적으로 살펴보기 위해 단일 링크로 두 사용자가 연결된 경우를 고려한다. 링크 품질은 SNR(Signal to Noise ratio)로 고려하며 송신기는 피드백루프 혹은 역방향 채널품질등을 통해 알고 있다고 가정한다. 채널의 상태는 항상 변화하므로 사실 정확한 예측은 매우 어렵다. 따라서 송신(전송 및 재전송)하는 시간동안에 SNR은 변하지 않는다고 가정한다.

적응변조방식이 m개가 가능하고, 샘플당 비트 수가 N_m bit/sample 이라고 가정하자. 정보 총 용량 N_s 비트를 보내는데 필요한 샘플의 수는

$$N_r = \frac{N_s}{N_m} \quad (3)$$

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 BER(Bit Error Rate)이 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 SNR 이 증가하면 BER은 감소하므로 함수는 적응변조 방식에

의존한다. 총 N_s 정보비트의 전송동안 발생한 예상 비트 에러는 $N_e = p_b \cdot N_r$ 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

$$p_e = 1 - (1 - p_b)^{N_r} = 1 - \alpha^{N_r} \quad (4)$$

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 심볼시간을 이용하면 패킷당 에너지소비는 다음과 같다[10].

$$E_{pt} = \frac{N_p}{N_m} P_t + N_g P_g \quad (5)$$

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

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

몇가지 가정을 바탕으로 하면 에너지소비가 최소화 되는 패킷길이를 계산할 수 있으며, 최적길이는 다음과 같다[10].

$$N_{p,op} = \frac{N_m}{2} \sqrt{\frac{\ln \alpha N_m N_g^2 - 4N_g}{N_m \ln \alpha}} - \frac{N_m N_g}{2} \quad (6)$$

이러한 패킷길이를 사용하여 에너지소비가 줄어들음을

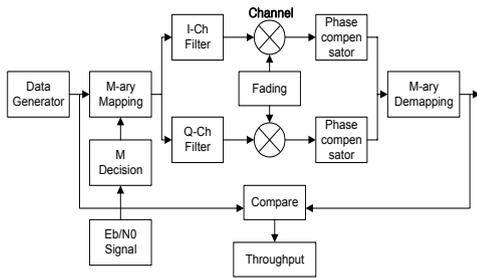
보였다[10].

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

4. 성능분석

이러한 적응변조방식의 성능을 평가하기 위해 가상의 채널 환경을 실제와 유사하게 구성하여 모의실험 하였다. [그림 4]는 전체적인 채널환경모형을 나타낸다.

먼저 적응변조방식에 의한 성능분석을 위해 기존 시스템에 대해 적응변조방식을 사용한 경우의 처리량 개선을 이상적인 조건에서 검토하기 위하여 이상적인 조건을 고려한다.



[그림 4] 채널환경 시뮬레이션 모델

채널환경에 대한 데이터는 귀환된 전력제어 비트에 의해 수행되어야 하나, 모의실험 특성상 가상 귀환 데이터를 입력부에 주도록 구성한다.

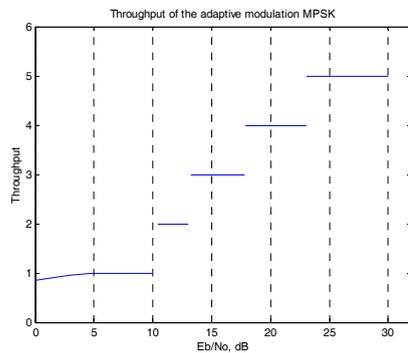
실험에 사용되는 변조 값은 대부분의 논문에서 사용하고 있는 방식으로 [그림 3]에 나타난 데이터를 기준으로 10^{-5} 의 SER(Symbol Error Rate)를 기준으로 하여 기준 값을 초과하는 경우에 따라 변조방식을 변경하는 전통적인 방식을 사용한다[5][7].

<표 1> 적응변조방식의 변환조건

변조방식	변환조건 (dB)
BPSK	$E_b/N_0 \leq 10$
QPSK	$10 < E_b/N_0 \leq 13$
8PSK	$13 < E_b/N_0 < 18$
16PSK	$18 < E_b/N_0 < 23$
32PSK	$23 < E_b/N_0 < 28$

여기서 MPSK의 M은 변조레벨을 나타낸 것으로 2³²의 값을 갖는다. M이 2이면 Binary의 B, 4dlaus Quadrature의 Q로 표시한다. [그림 5]는 E_b/N_0 의 변화량을 무시하고, 그 값만으로 구성되는 이상적인 적응변조의 경우에 일반적인 BPSK를 사용한 경우의 처리량을 1로 잡을 때, 상대적인 처리량을 알아본 것이다.

이상적인 경우에 일정한 레벨 이상의 E_b/N_0 가 확보된다면 M을 높임으로써 기존 시스템의 전송효율을 높일 수 있음을 알 수 있다. 본 모의실험의 M 변경은 이상적인 경우의 [그림 3]을 기준으로 10^{-5} 의 오류율을 기준으로 한 E_b/N_0 를 전환점으로 하여 모의실험 한 결과이다.



[그림 5] 신호레벨에 따른 이상적인 적응변조

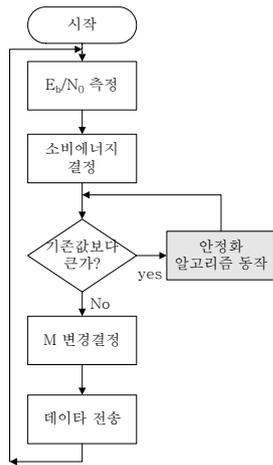
시스템의 M이 변경되는 순간의 에너지를 고려하면 가장 많은 성분을 차지하는 에너지는 데이터를 전송하기 위한 항으로 다음과 같이 나타나며, 이는 변조지수 m에 반비례하여 나타남을 알 수 있다.

$$E_{total} = \frac{N_s}{N_p} \frac{N_p}{N_m} P_t \tag{7}$$

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 PER의 감소에 따라 재전송률이 급격하게 증가하여 에너지소비가 급속한 증가를 보인다. 따라서 이러한 에너지소비가 발생하지 않도록 일시적으로 n-1의 비트로 유지하며 에너지 체크를 수행할 필요가 있으며, 이는 [그림 6] 과 같은 방식으로 진

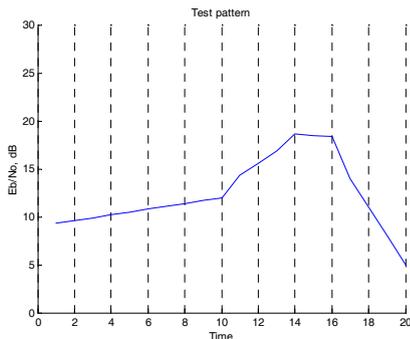
행된다.

[그림 6]의 과정을 설명하기 위해 임의의 상황에서 시간에 따라 E_b/N_0 가 변화하는 경우를 산정해 본다. [그림 7]은 가정된 임의의 입력신호를 나타낸 것이다 [1][9][5].



[그림 6] 시스템 적응변조결정 알고리즘

시험패턴의 발생은 단말기의 움직임을 기준으로 발생하였다. 시간의 변화에 따라 서서히 중심국에 다가오는 경우부터 빠른 접근성, 정체, 그리고 빠른 이동성을 가정하여 산정한다.

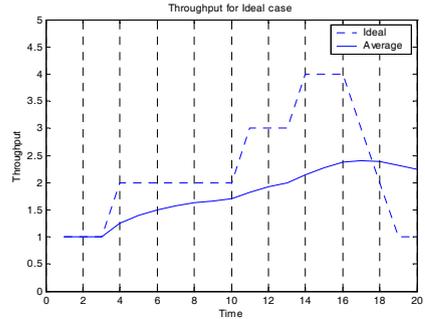


[그림 7] 시간에 따른 모니터링 패 널환경

[그림 8]은 [그림 7]의 E_b/N_0 변화에 대해 기존의 방식에 따른 처리량을 이상적으로 표현한 것이다.

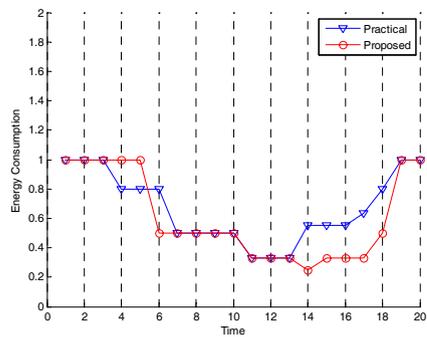
평균 처리량은 전송된 시간에 대한 처리량의 누적값

을 해당 시간으로 나누어 평균치를 산출한다.

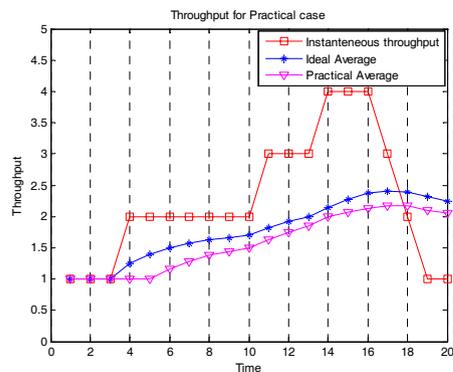


[그림 8] 이상적인 적응변조의 처리량

[그림 9]는 에너지소비량을 나타낸 것이다. 적응변조 방식의 n 변화에 따른 순간의 에너지 소비량은 통상적인 인접 비트간 변환에 사용되는 PER 손실 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ 의 감소를 가정하여 나타낸다. 또한 [그림 10]은 이러한 모델의 경우에 전송률을 나타낸 것이다.



[그림 9] 제한된 시스템의 에너지소비량



[그림 10] 제한된 안정화 방식의 전송효율

[그림 9]에서는 순시 에너지가 변조방식의 변경으로 인해 일시적으로 급격하게 증가됨을 보이고 있으며, 이러한 증가량은 전체적인 배터리의 성능을 떨어뜨림을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안된 에너지체크를 이용한 안정화 기법을 적용한 경우를 적용하여, 측정된 채널 상태에 따라 변조방식을 결정하나, 순시의 급격한 에너지변화를 조절하여 변조방식을 적절하게 변경함으로써 전체적인 증가량을 억제한다. 제안된 방식을 적용하는 경우, 일부 에너지 증가가 발생하지만, 전체적으로 안정화 됨을 알 수 있다.

반면에 [그림 10]에서 보듯이 안정화 알고리즘의 도입으로 인해 시스템의 전송효율은 이상적인 경우에 비해 약간 낮아지지만, 전체적인 트레이드오프로 에너지소비를 줄여 전체적인 시스템 성능이 안정됨을 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 기존 시스템에 비해 월등한 전송효율의 증가를 가져오는 적응변조방식을 이동통신 시스템에 도입하여 안정적으로 전송효율을 높일 수 있는 방안을 제시하고 모의실험 하였다.

기존의 적응변조 방식이 에너지 소비를 고려하지 않았지만, 이를 소려한 시스템의 성능을 개선하려 하였다. 다만, 에너지소비를 구체화하여 표현하기 어려워, 전체적인 시스템 차원에서 고려하였다.

제안된 방식은 에너지 소비를 줄일 수 있지만 전송효율은 약간 떨어지게 된다. 하지만, 전체적인 전송효율을 크게 떨어뜨리지 않고, 소비되는 에너지를 줄일 수 있는 방안을 제시하여, 이동통신 단말등 배터리를 이용한 경우, 급격한 에너지 소비를 막을 수 있는 해결책이 될 수 있다.

실제 적용모형의 환경에서 발생할 수 있는 여러 가지 예시와 이론적인 보완등이 필요하다고 보이며, 이러한 문제점은 추후 과제로 계속 연구해 갈 계획이다.

참 고 문 헌

[1] 오의교 (2001). 채널성능 예측에 따른 적응변조방식의 성능분석. 호남대학교 정보통신연구, 11, 103-112.
 [2] 오의교, 차균현 (2003). 이동통신 시스템에 적용된 안

정화 적응변조방식의 전송효율 성능분석. 한국통신학회논문지, 28(10A), 780-787.

[3] Hiroshi Harada (2002). Simulation and software radio. Harada Prasad.
 [4] M.B.Pursley (1996). Phase shift key modulation for multimedia multicast transmission in mobile wireless networks. Proc. 1996 IEEE Military communications conference. vol. 1.
 [5] Mohamed-Slim Alouini (1999). An Adaptive Modulation Scheme for Simultaneous Voice and Data Transmission over Fading Channels. IEEE SAC 17(5).
 [6] Pursley (2000). Adaptive Nonuniform Phase Shift Key Modulation for multimedia traffic in wireless networks. IEEE SAC. 18(8).
 [7] Sampei (1997). Application of digital wireless technologies to global wireless communications. prentice-hall. 505-542.
 [8] Sklar (2001). Digital communications. Prentice-hall. 219-235.
 [9] T.S Rappaport (1996). Wireless Communications: principles and practice. Englewood Cliffs, Prentice-hall.
 [10] Ying Chen, Linda M davis (2012). A cross-layer adaptive Modulation and Coding Scheme for energy efficient software defined radio. J sign process syst.

오 의 교



- 1982년 2월 : 고려대학교 전자공학과(공학사)
- 1984년 2월 : 고려대학교 전자공학과(공학석사)
- 2004년 2월 : 고려대학교 전자공학과(공학박사)
- 1984년 3월 ~ 1996년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1996년 3월 ~ 현재 : 호남대학교 이동통신공학과 부교수
- 관심분야 : SDR, 이동통신, 적응변복조, 채널부호화
- E-Mail : ekoh@honam.ac.kr