

HomePNA v2.0 프리엠블 패턴에 적합한 버스트 신호 검출 알고리즘

정회원 김 경 덕*, 황 성 현**, 최 형 진***

Burst Signal Detecting Algorithm for HomePNA v2.0 Preamble Pattern

Kyoung-duck Kim*, Sung-hyun Hwang**, Hyung-jin Choi*** *Regular Members*

요 약

이 논문에서는 TEO 알고리즘에 기반한 ETEO와 MTEO 버스트 신호 검출 알고리즘이 제안되었다. 이 알고리즘은 STR과 AGC가 완료된 이후에 사용되어야 하지만, 위상과 주파수 오프셋에는 무관하게 작동한다. ETEO 알고리즘은 기존의 TEO 알고리즘을 확장한 알고리즘이며, MTEO 알고리즘은 ETEO 출력 특성을 개선시키고자 제안된 알고리즘이다. 또한 PREAMBLE64를 검출하기 위해 변형된 구조를 제안하였다. 모의 컴퓨터 시뮬레이션에 의해서 CDF와 최적의 임계치를 설정하였으며, 최적 임계치에 대한 P_M , P_F 성능과 FER 성능을 모의 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 도시하였다. 결론적으로, M=3인 MTEO 버스트 검출기가 최적의 FER 성능을 보장하는 구조로 제안되었다.

ABSTRACT

This paper proposes the ETEO and MTEO burst signal detector based on TEO algorithm. These algorithms must be used after STR and AGC operation, but are not related to phase and frequency offset. ETEO algorithm is extended version of original TEO, and MTEO algorithm is proposed for improving the output characteristics of ETEO. Also, modified ETEO and MTEO algorithm are proposed for detection of PREAMBLE64. Optimal threshold value is determined and miss and false alarm probability and FER performance are evaluated by computer simulation. Finally, this paper proposes MTEO algorithm with M=3 to guarantee the performance that FER is less than 10^{-2} .

I. 서론

TEO(Teager Energy Operator) 알고리즘^[1]은 과거와 미래 신호와의 상관관계를 이용하여 현재 신호의 에너지를 검출하는 일종의 에너지 검출 알고리즘이다. 주로, 음성 처리 분야에서 톤(tone) 신호 검출^[2], AM(Amplitude Modulation) 또는 FM(Frequency Modulation) 신호 검출^[3] 또는 의료 분야에서 뇌전도(EEG : electroencephalogram)의 갑작스러운 버스트(burst) 신호 출현을 검출하기 위해 사용되어 왔다^[4]. 기존의 에너지 검출 알고리즘은 신호의 AE(absolute energy), RMSE(root mean

square energy) 또는 SE(square energy)를 일정구간 누적하여 에너지를 검출하거나^[5] 미리 알고 있는 신호(known signal)와의 상관관계를 이용하여 에너지를 검출하는 방식으로 구분할 수 있다. 이에 반해 TEO 알고리즘은 신호의 크기(root of energy)를 이용하는 알고리즘으로 현재 심벌 크기의 제곱(전력)과 과거와 미래 심벌 크기의 곱간의 차를 이용해 갑작스러운 신호의 출현을 검출하는 알고리즘이다^{[1]-[4]}. 이 논문에서는 TEO 알고리즘을 응용하여 버스트 전송 모드로 작동하는 HomePNA v2.0 시스템의 신호 시작 시점을 검출하는 버스트 신호 검출기를 개발하여 CDF(Cumulative Density Function),

* (주)애니데이터넷 연구원
 *** 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부
 논문번호: 010063-0411, 접수일자: 2001년 4월 11일

** 삼성종합기술원 i-Networking Lab. 전문연구원

P_M (Miss Detection Probability), P_F (False Alarm Probability) 및 FER(Frame Error Rate) 성능을 모의 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제시하였다.

Home Network이란 대내에서 각종 통신 장비간의 연결 및 통합을 가능하게 하여 대내의 네트워크를 구성하는 기술을 일컫는다. 유무선의 Home Network 기술 방식 중 HomePNA(Home Phone-line Network Alliances)는 유선 방식으로서 기존의 전화선(phone-line)을 기반으로 한 기술이다. 대략 300ft($\approx 150m$)를 서비스 범위로 하며 주로 대내의 PC, 전화기, TV, 그 외 전자 장비간의 통신을 목적으로 하는 유선 Home Network 기술로 현재 4~32Mbps까지 가변전송이 가능한 HomePNA v2.0 개발이 진행 중이다. HomePNA v2.0 PHY layer의 프레임 형식은 크게 보아 PREAMBLE64, 프레임 제어 정보(Frame Control), DA(Destination Address), SA(Source Address)와 Ether-type 정보를 포함하는 Header, Ethernet 데이터, 프레임 오류 제어 정보를 포함하는 Payload, 그리고 프레임의 끝(EOF : End Of Frame)을 알리는 Trailer로 구성된다. 이 중 버스트 신호의 시작인 PREAMBLE64는 2Mbaud QPSK 전송으로 PREAMBLE64 심벌간에 "0"이 삽입된 구조이다^[6]. PREAMBLE64 구간 동안 수신기의 모든 동기 알고리즘이 완료되어야만 프레임의 모든 정보를 효과적으로 추출할 수 있다. 이 구간동안 수신기의 모든 동기 블록이 제대로 동작하기 위해서는 유입되는 버스트 신호의 시작 시점을 빠르고 정확하게 검출해야만 한다. 이 때 TEO 알고리즘을 사용하면 버스트 신호가 시작되는 시점의 TEO 출력은 버스트 신호가 존재하기 이전의 "0" 신호들의 TEO 출력보다 매우 크게 되므로 이 성질을 이용하여 PRAMBLE64 심벌들의 시작 시점을 효과적으로 검출할 수 있다. 이 논문에서는 TEO 알고리즘을 버스트 신호 검출에 적합한 구조와 HomePNA v2.0 PREAMBLE64 패턴(2Mbaud, QPSK 변조 방식)의 버스트 신호 검출에 적합한 구조로 개선하여 제안하였다.

이 논문에서 제안한 버스트 신호 검출기는 1심벌 당 1샘플로 작동하며, 심벌 동기와 이득 제어가 미리 완료된 수신 신호의 정확한 크기를 입력으로 하며, 주파수와 위상 옵셋에 무관하게 작동한다. ETEO(Extended-TEO) 알고리즘은 잡음의 영향을 최대한 배제하기 위해 제안된 알고리즘으로 현재 심벌 크기의 누승과 과거, 미래의 여러 심벌 크기간의 곱의 차로써 구현된다. MTEO(Modified-TEO)

알고리즘은 임펄스 잡음 또는 갑작스러운 잡음의 증가현상으로 인해 ETEO 출력이 증가하는 현상을 막기 위해 제안된 알고리즘으로 현재 심벌 크기의 누승에 미래 심벌 크기의 곱을 반영하고 미래, 과거 심벌간 곱과의 차를 이용해 버스트 신호의 정확한 시작 시점 검출을 가능하게 한다. 이 논문에서는 제안한 두 알고리즘간의 성능 비교를 통해 최적의 버스트 신호 검출 알고리즘을 제안한다.

이 논문의 구성은 서론에 이어, 본론의 1절에서는 TEO 알고리즘 및 HomePNA v2.0 시스템 개요에 대해 언급하며, 2절에서는 버스트 검출과 HomePNA v2.0 PREAMBLE64 패턴 검출에 적합하도록 개선한 TEO 알고리즘에 대해 제안하고, 3절에서는 제안한 알고리즘에 대한 CDF, P_M , P_F 및 FER 성능을 도시하며 마지막으로 결론을 맺는다.

II. 본론

1. TEO 알고리즘 및 HomePNA v2.0 시스템

TEO 알고리즘은 수신 신호의 크기를 이용하는 알고리즘으로 식 (1)과 같이 현재 심벌 크기의 제곱과 과거, 미래 심벌 크기의 곱과의 차를 이용해 갑작스러운 신호의 출현을 검출하는 알고리즘이다^{[1]-[4]}.

$$T[m(n)] = m^2(n) - m(n-1)m(n+1) \quad (1)$$

여기서 $m(n)$ 은 현재 수신 심벌의 크기 정보이며, $T[m(n)]$ 은 현재 수신 심벌에 대한 TEO 알고리즘의 출력이다.

과거로부터 현재까지의 여러 신호 크기의 평균값을 통해 신호 검출을 하는 기존의 누적 방식 알고리즘과는 달리, 그림 1의 TEO 알고리즘은 현재 신호의 크기 정보 변화에 크게 의존하는 신호 검출 방식이다. 만약 버스트 신호가 그림 2(b)와 같이

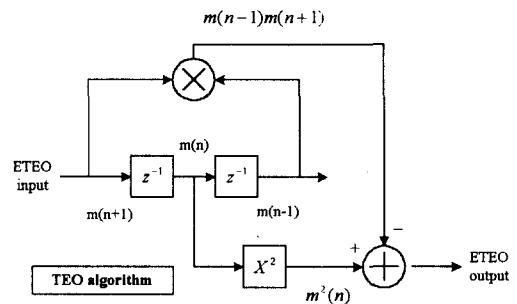
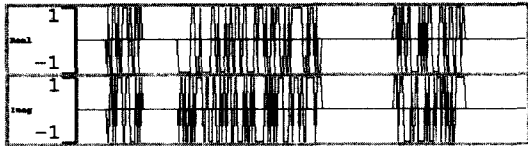
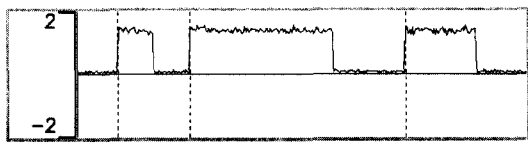


그림 1. TEO 알고리즘의 블록도

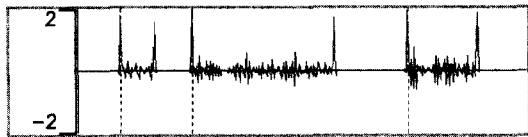
TEO 블록에 입력된다면 TEO 블록의 출력은 그림 2(c)와 같이 버스트 신호가 시작되는 시점과 끝나는 시점에서 1심벨 지연되어 증가한다. 이 결과에서 송신 데이터의 변조방식은 QPSK이며, Eb/No는 20dB(AWGN), 펄스성형필터의 롤오프 인자는 0.2, 정규화된 주파수 오프셋은 0.1, 위상 오프셋은 45° 그리고 버스트 신호는 임의의 시점에서 임의의 구간동안 발생한다고 가정하였다.



(a) 송신데이터 (QPSK)



(b) TEO 블록 입력 (Magnitude)



(c) TEO 블록 출력

그림 2. TEO 알고리즘 출력 특성

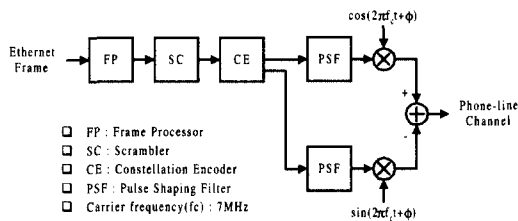


그림 3. 10Mbps HomePNA 송신기 구조

HomePNA는 유선 Home Network 기술로서 기존의 전화선을 기반으로 한 Home Network 기술이다. 그림 3은 10Mbps 전송속도를 목표로 하는 HomePNA v2.0시스템의 송신기 구조이다. Ethernet 프레임이 입력되고 HomePNA 프로토콜에 맞추어 프레임이 재구성된 뒤에 스크램블러를 통과하며 논리 계층(Link Layer)에서 제공하는 채널 상태 정보에 따라 Payload 변조방식이 QPSK~25QAM까지 가변적으로 결정된다. 이렇게 구성된 프레임은 펄스

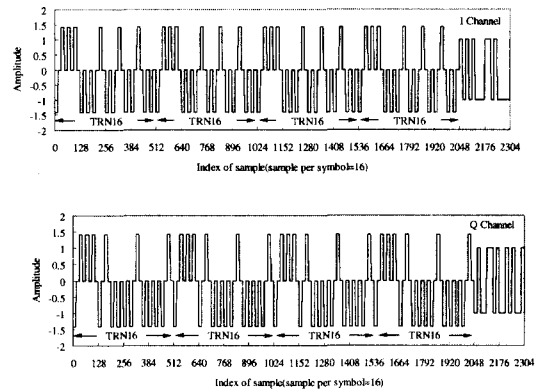


그림 4. PREAMBLE64 패턴

성형 필터를 통과한 뒤 중심 주파수가 7MHz인 반송파에 의해 변조되어 대내의 전화선을 통해 송신된다.

그림 4는 HomePNA v2.0 PHY Layer의 송신기 Frame 형식 중 PREAMBLE64 패턴이다. PHY Frame format은 Header, payload, Trailer로 구성되며, Header와 Trailer에서는 2Mbaud의 저속 전송을, Payload에서는 2~4Mbaud의 속도로 QPSK~256QAM까지의 가변 전송을 하여 4~32Mbps까지 가변전송이 가능하다. 그림 4의 PREAMBLE64는 16심벨의 QPSK 시퀀스(TRN16)가 4번 반복되는 구조로 TRN16은 0xfc483084이며 2Mbaud, 2bits/ baud 전송을 하고 스크램블러를 통과하지 않는다. 또한 각 심벨 사이에 "0"을 삽입하는 FDQAM 방식으로 PREAMBLE64 데이터를 전송하는데 이 방식을 사용하면 주파수 영역에서 두 개의 동일한 스펙트럼이 존재하게 되므로 주파수 선택성 페이딩에 의한 영향을 줄일 수 있다.

2. TEO 알고리즘의 변형

2.1 버스트 검출을 위한 TEO 알고리즘 변형

2.1.1 ETEO(Extended TEO) 알고리즘

기존의 TEO 알고리즘에서 채널 환경이 열악할 경우 버스트 신호가 존재하지 않는 부분에서도 TEO 출력이 임계치 이상으로 증가하는 현상이 발생한다. ETEO 알고리즘은 채널 환경이 열악할 경우 TEO 출력이 증가하는 현상을 최소화 하기 위해 제안한 알고리즘으로 식 (2)와 같다.

$$T[m(n)] = m^{2M}(n) - \prod_{k=1}^M m(n-k)m(n+k) \quad (2)$$

여기서, M은 현재 심벌과 비교하는 과거와 미래 각각의 심벌수이다. 현재 심벌의 누승과 과거, 미래 M심벌 크기의 곱과의 차가 ETEO 출력인데 ETEO 알고리즘을 단순히 확장한 구조로 볼 수 있다. 그림 5는 M=3일 때 ETEO 알고리즘의 블록도로 2M개 만큼의 지연소자를 필요로 한다. 그림 6은 송신 데이터의 변조방식이 QPSK이며, Eb/No는 5dB (AWGN), 펄스성형필터의 롤오프 인자는 0.2, 정규화된 주파수 오프셋은 0.1, 그리고 위상 오프셋은 45° 일 때 TEO 및 M=3인 ETEO 블록의 출력이다. 그림 6의 (b)에서 버스트 신호가 시작되기 이전 TEO 출력은 (c)의 ETEO 출력보다 상대적인 분산이 심하다. 즉, 잡음(AWGN)으로 인해 버스트 신호가 존재하기 이전에 증가했던 TEO 출력을 더 많은 과거와 미래 심벌 정보를 이용하여 ETEO(M=3) 알고리즘에서는 상대적으로 감소시켰다.

2.1.2 MTEO(Modified TEO) 알고리즘

ETEО 알고리즘은 현재 심벌과 비교하는 과거와 미래 심벌 수를 늘려서 잡음에 의한 영향을 최대한 배제하기 위한 TEO 알고리즘의 확장 형태이다. 그러나 이 방식은 잡음에 의한 상대적인 분산을 어느 정도는 감소시킬 수 있지만, 버스트가 존재하기 이전이나 매우 큰 잡음으로 인해 ETEO 출력이 증가하는 현상은 여전히 남아 있게 된다. 그 이유는 식 (2)의 누승 항에서 알 수 있듯이 갑작스럽게 큰 잡음이 유입될 경우, 곧바로 누승 과정을 거쳐 더 큰 ETEO 출력이 발생되기 때문이다. MTEO 알고리즘은 이런 현상을 최소화하기 위해 제안한 알고리즘으로 식 (3)과 같이 현재 심벌 크기의 M승에 M개의 미래 심벌의 곱을 반영하여 갑작스럽게 큰 잡음이 유입되더라도 그 영향을 최소화시킬 수 있다.

$$T[m(n)] = m^M(n) \times \prod_{k=1}^M m(n+k) - \prod_{k=1}^M m(n-k) m(n+k) = \left(m^M(n) - \prod_{k=1}^M m(n-k) \right) \times \prod_{k=1}^M m(n+k) \quad (3)$$

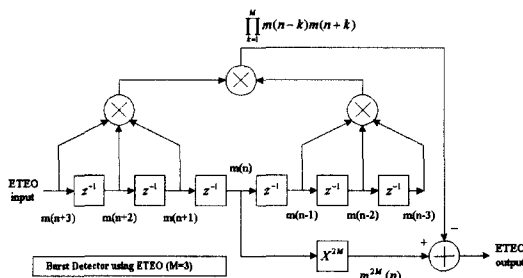
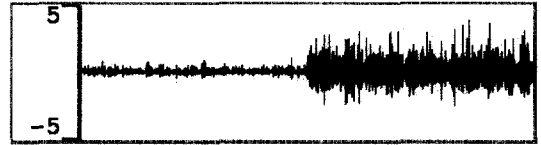


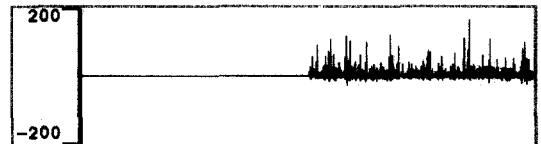
그림 5. ETEO(M=3) 알고리즘의 블록도



(a) TEO 및 ETEO(M=3) 블록 입력



(b) TEO 알고리즘 출력 특성



(c) ETEO(M=3) 알고리즘 출력 특성

그림 6. TEO와 ETEO(M=3) 알고리즘의 출력 특성 비교

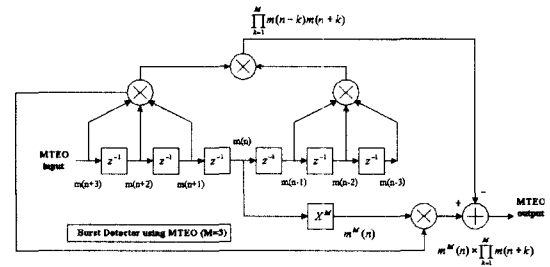
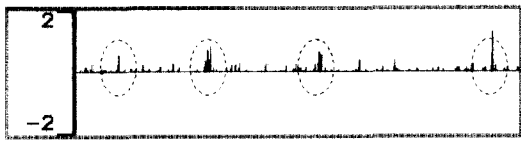


그림 7. MTEO(M=3) 알고리즘의 블록도

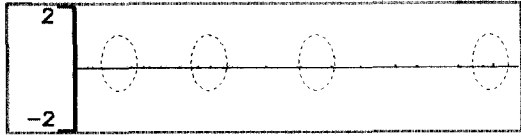
그림 7은 M=3일 때 MTEO 알고리즘의 블록도로 ETEO(M=3)과 마찬가지로 2M개 만큼의 지연소자를 필요로 하며, 1개의 곱셈기를 더 필요로 한다. 그림 8은 그림 6과 동일한 환경에서 송신 데이터가 그림 6(a)와 동일할 때 버스트 신호 시작 전의 TEO, ETEO(M=3), 그리고 MTEO(M=3) 블록의 출력들을 비교한 것이다. 버스트 신호가 없을 때, 즉 AWGN만이 존재할 때 그림 6(a)의 TEO 출력보다 그림 6(b)의 ETEO 출력이 상대적인 분산이 작았으며, 그림 6 (c)의 MTEO 출력 특성에서 그림



(a) TEO 알고리즘 출력 특성



(b) ETEO(M=3) 알고리즘 출력 특성



(c) MTEO(M=3) 알고리즘 출력 특성

그림 8. TEO, ETEO(M=3), 그리고 MTEO(M=3) 알고리즘의 출력 특성 비교

6(a)의 ETEO 출력이 갑작스럽게 증가했던 부분은 모두 감소하였다.

2.2 HomePNA v2.0 버스트 검출을 위한 TEO 알고리즘 변형

HomePNA v2.0은 Ethernet 통신 프로토콜을 완벽하게 지원한다. 따라서, 전송방식이 버스트 모드이며, CSMA/CD를 사용한다. Header, Payload, 그리고 Trailer로 구성되는 프레임 단위 전송이므로 Header 처음 부분인 PREAMBLE64를 검출해야 수신기가 제대로 작동할 수 있다. 특히, Data-Aided (DA) 방식의 동기 알고리즘들은 PREAMBLE64가 언제 시작하는지 정확히 알아야만 올바르게 작동하며 성능을 보장할 수 있다. 따라서, 2Mbaud 속도와 FDQAM 방식으로 "0"을 삽입하여 QPSK 전송을 하는 PREAMBLE64의 특성에 맞게 기존 구조를 변경해야 한다. 이런 사실에 입각하여 이 논문에서는 식 (4), (5)와 같은 ETEO와 MTEO 알고리즘을 제안한다.

$$T[m(n)] = m^{2M}(n) - \prod_{k=1}^M m(n-2k)m(n+2k) \quad (4)$$

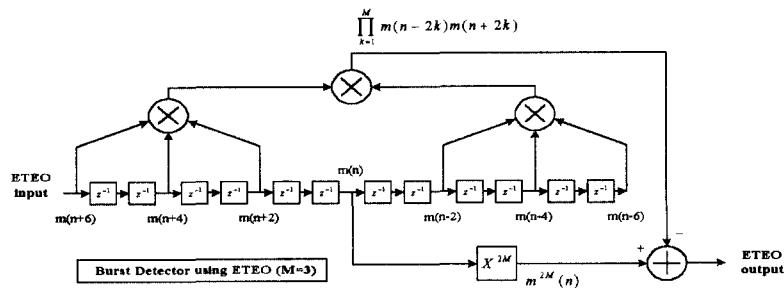


그림 9. HomePNA PREAMBLE64검출에 적합한 ETEO(M=3) 알고리즘

$$\begin{aligned} T[m(n)] &= m^{2M}(n) \times \prod_{k=1}^M m(n+2k) - \prod_{k=1}^M m(n-2k)m(n+2k) \\ &= \left\{ m^{2M}(n) - \prod_{k=1}^M m(n-2k) \right\} \times \prod_{k=1}^M m(n+2k) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, M은 현재 심벌과 비교하는 과거와 미래 각각의 심벌수이다. 식 (4), (3)가 식 (2), (3)의 알고리즘과 다른 점은 두 심벌 단위로 과거와 미래의 M 심벌을 비교대상으로 한다는 점이다. 두 심벌 간격으로 ETEO와 MTEO 연산을 수행하는 이유는 FDQAM 방식의 PREAMBLE64는 "0"이 삽입된 구조이기 때문에 "0"에 의한 영향을 최소화하기 위함이다. "0"이 삽입된 신호가 식 (2)와 같은 ETEO와 MTEO 알고리즘에 입력되면 순수한 "0"이 아니라 AWGN의 크기가 버스트 검출기로 유입되므로 잘못된 ETEO와 MTEO 출력이 생성된다. 따라서, "0" 삽입된 부분끼리, PREAMBLE64 심벌끼리만 ETEO와 MTEO 연산을 수행하기 위해 식 (4), (5)의 알고리즘에서는 두 심벌 간격으로 연산을 수행하는 것이다. 그림 9와 10은 HomePNA v2.0 버스트 검출을 위한 ETEO(M=3)와 MTEO(M=3) 알고리즘의 블록도이다.

그림 11은 2Mbaud FDQAM 방식의 PREAMBLE64가 전송되었을 때, Eb/No는 5dB(AWGN), 펄스형 필터의 롤오프 인자는 0.2, 정규화된 주파수 오프셋은 0.1, 그리고 위상 오프셋은 45° 일때 식 (2)와 (4)의 ETEO(M=3) 출력과 식 (3)과 (5)의 MTEO(M=3) 출력이다. 그림 11(a)는 그림 4와 동일한 PREAMBLE64의 입력을 도기한 그림이고, 그림 11(b)는 각 버스트 검출기의 입력인 수신 복소 신호의 크기 정보이다. 그림 11(c)와 (e)는 각각 식 (2)와 (4)인 ETEO(M=3) 알고리즘의 출력이며, 그림 11(d)와 (f)는 각각 식 (3)과 (5)인 MTEO(M=3) 알고리즘의 출력이다. 그림 11 (d)의 결과에서는 MTEO(M=3) 출력이 PREAMBLE64가 시작되는 시점과 이전 시점이 차이가 없었던 반면에, 그림 11

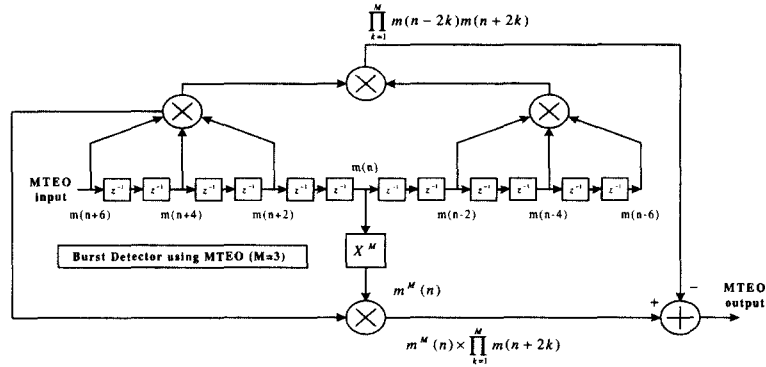


그림 10. HomePNA PREAMBLE64검출에 적합한 MTEO(M=3) 알고리즘

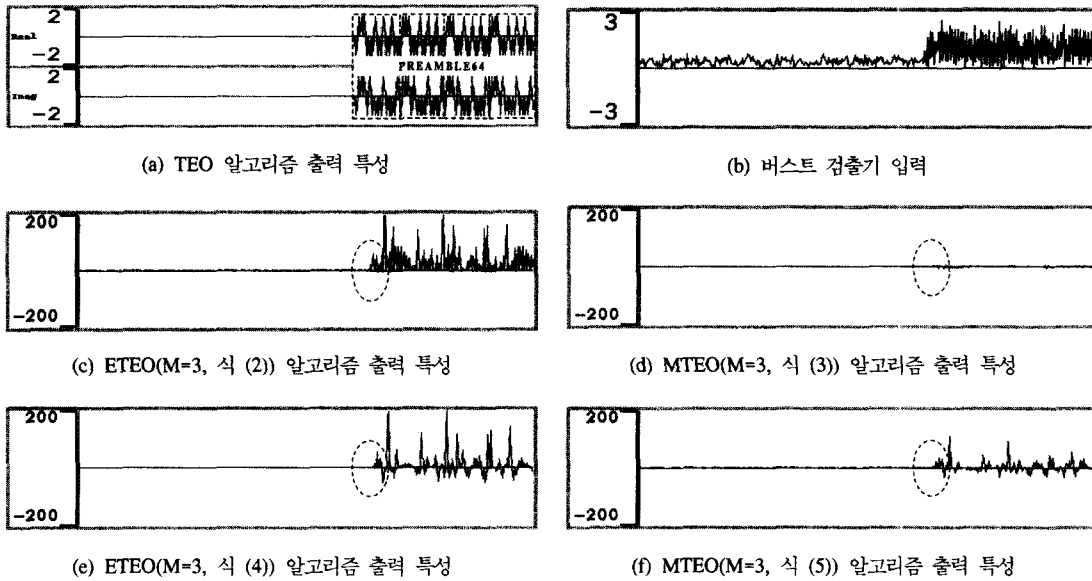


그림 11. PREAMBLE64 패턴에 대한 버스트 검출기 출력 특성

(f)의 결과에서는 차이가 눈에 띄게 증가하였다. 그러나, 그림 11 (b)와 (c)의 ETEO(M=3) 출력 특성에서는 두 방식간에 성능의 우위를 확인하기 힘들었다.

3. 제안된 버스트 검출 알고리즘의 성능분석

3.1 CDF(Cumulative Density Function) 특성

ETEO 및 MTEO 알고리즘의 입력은 수신신호의 크기 정보이다. 확률적으로, 이 입력의 PDF (Probability Density Function) 특성은 Rayleigh 분포를 따른다^[7]. 이 신호에 대한 ETEO와 MTEO 알고리즘의 출력은 M값에 식 (2) ~ (5)에 따라 달라

진다. 또한 ETEO와 MTEO 알고리즘 출력의 PDF도 달라지게 되는데 PDF를 구하는 방법은 수학적 유도와 모의 시뮬레이션에 의한 두 가지 방법이 가능하다. 이 절에서는 일단 모의 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 ETEO와 MTEO 출력의 PDF로부터 CDF를 추출하고, 버스트 입력, 즉 PREAMBLE64가 입력되는 시점과 이전 시점에 대한 CDF와 (1-CDF) 특성을 분석한다.

버스트 입력, 즉 PREAMBLE64가 입력되는 시점의 시간 가설을 H_1 라 하고, 입력되기 이전 시점의 가설을 H_0 라 가정하자. 이 가정에서 PREAMBLE64가 입력된 이후의 시점은 시간가설 H_1 에 포함되지

않았는데, 그 이유는 일단 버스트가 입력되는 시점에서 버스트의 입력을 제대로 검출하지 못하면 그 시점 이후에 검출되더라도 결국 실패했다고 판단하기 때문이다. 즉, 만약 버스트가 존재하는 시점에서 검출이 성공했다면 그 시점 이후는 버스트 검출을 수행하지 않을 것이고, 만약 버스트가 존재하는 시점에서 검출이 실패했다면 그 시점 이후에서 검출이 되더라도 결국 정확한 버스트 입력 시점 검출에는 실패했다는 의미이다.

그림 12는 이러한 가설하에 컴퓨터 모의 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 이 결과는 Eb/No는 5dB (AWGN), 펄스성형필터의 롤오프 인자는 0.2, 정규화된 주파수 오프셋은 0.1, 그리고 위상 오프셋은 45° 일 때 각 가설 시점에 따른 CDF와 (1-CDF) 특성이다. 그림 12(a)는 ETEO(M=3) 알고리즘의 출력의 CDF와 (1-CDF) 출력 특성이다. 그림에서 숫자는 각 곡선의 번호를 나타내며, PREAMBLE64 start와 PREAMBLE64 start - 2는 PREAMBLE64 패턴의 첫 심벌로부터 2심벌 이전의 값, 즉 아무 입력도 없

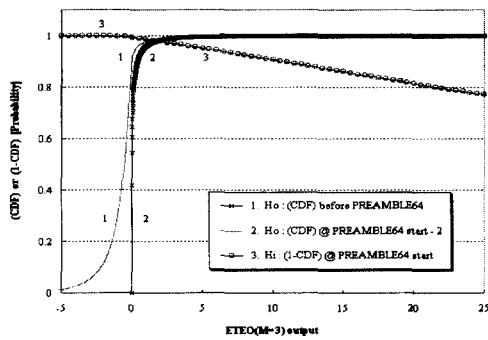
는 시점을 의미한다. 곡선 1, 2와 3이 만나는 ETEO 출력값이 최적의 임계치가 된다. 그림 12(b)는 MTEO(M=3) 알고리즘 출력의 CDF와 (1-CDF) 특성이다. 1곡선에서 4곡선으로 갈수록 가설 지점 H₁와의 교점이 커지는데 이 현상은 식 (3)과 (5)의 MTEO 알고리즘의 식에서 현재 심벌 크기의 누성 정보에 미래 심벌 크기의 곱을 반영하기 때문이다. PREAMBLE64 start - 2심벌의 크기는 채널 환경이 열악할수록 "0" 으로부터 멀어지는 정도가 커지므로 미래 심벌인 PREAMBLE64 심벌 크기가 곱해지면서 MTEO 출력이 증가하게 된다. 결국, MTEO 알고리즘의 최적 임계치는 곡선 4와 5의 교점이 된다.

3.2 PM(Miss Detection Probability), PF(False Alarm Probability) 특성

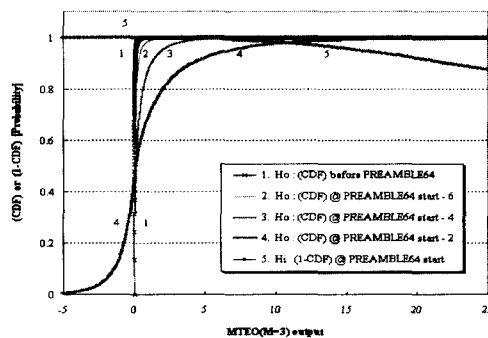
놓칠 확률, P_M(Miss Detection Probability)은 버스트 입력 시점 즉, 가설 H₁일 때 버스트 검출기 출력이 임계치보다 적을 확률을 의미한다. 일반적으로 검출 확률, PD(Detection Probability)와는 P_M=1-P_D인 관계를 갖는다. 그리고, 오보 확률, P_F(False Alarm Probability)는 버스트 검출 이전 즉, 가설 H₀ 일 때 버스트 검출기 출력이 임계치보다 클 확률을 의미한다. 그림 13은 임의로 설정한 임계치 변화에 따른 ETEO(M=3) 및 MTEO(M=3) 알고리즘 출력의 P_M과 P_F 성능을 도시한 것이다. 시뮬레이션 환경은 그림 12의 경우와 동일하게 설정하였다. 그림 13(a)로부터 ETEO(M=3) 알고리즘의 최적 임계치는 Eb/No가 5dB일 때 9, 6dB일 때 6.3, 7dB일 때 4.8임을 실험적으로 정할 수 있다. 마찬가지로 그림 13(b)로부터 MTEO(M=3) 알고리즘의 최적 임계치는 Eb/No가 5dB일 때 12, 6dB일 때 11, 7dB일 때 10.5임을 실험적으로 정할 수 있다. 그림 13의 결과에서 채널 환경이 개선될수록 P_M과 P_F 성능이 감소하며, 임계치가 감소할수록 P_M 성능은 감소하는 반면 P_F 성능은 악화된다. 이런 방식으로 M이 1~5일 때 ETEO 및 MTEO 알고리즘 출력의 P_M과 P_F 성능을 토대로 임계치를 실험적으로 정할 수 있다.

3.3 최적 임계치 결정

최적 임계치는 그림 13에서 보듯이 P_M과 P_F 성능이 일치하는 곳으로 정할 수 있다. 그 이유는 임계치에 따라 P_M과 P_F 성능간에 손익(trade-off) 현상이 발생하기 때문이다. 즉, 임계치가 증가하면 P_M

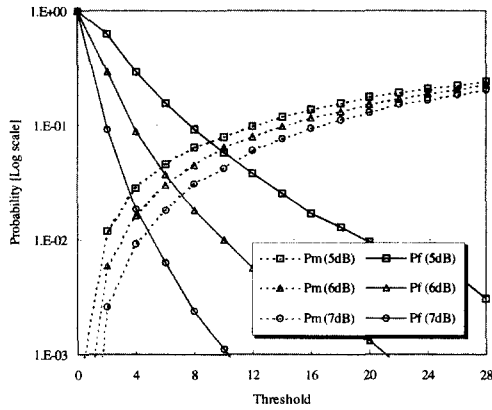


(a) ETEO(M=3) 버스트 검출기 출력의 CDF 특성

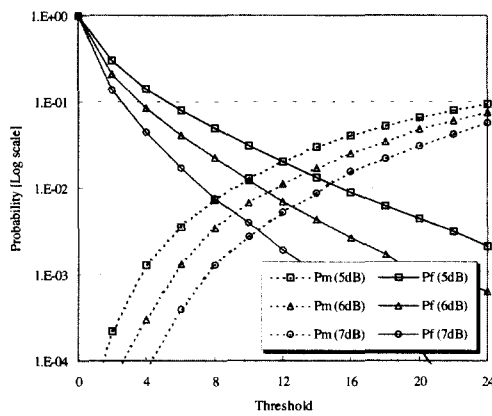


(b) MTEO(M=3) 버스트 검출기 출력의 CDF 특성

그림 12. 각 버스트 검출기 출력의 CDF 특성



(a) ETEO(M=3) 알고리즘 출력의 P_M 과 P_F 성능



(b) MTEO(M=3) 알고리즘 출력의 P_M 과 P_F 성능

그림 13. 임계치에 따른 버스트 검출기 출력의 P_M 과 P_F 성능

성능은 악화되는 반면, P_F 성능은 개선되고, 임계치가 감소하면 P_M 성능은 개선되는 반면, P_F 성능은 악화된다. 따라서, P_M 과 P_F 성능이 동일한 지점이 최적의 임계치 지점이 되며 FER(Frame Error Rate) 성능이 최소인 지점이 된다. 표 1과 그림 14에 파라미터 M과 E_b/N_0 에 따른 각 알고리즘 최적 임계치와의 관계를 도시하였다. M이 증가할수록 최적 임계치는 증가하지만, E_b/N_0 가 증가할수록 최적 임계치는 감소한다. 그 이유는 M이 증가할수록 식 (2)~(5)에서와 같이 누승수에 따라 버스트 검출기 출력이 증가하기 때문이며, E_b/N_0 가 증가할수록 AWGN의 분산이 감소하기 때문이다.

표 1. M과 E_b/N_0 에 따른 최적 임계치와의 관계

| M | Threshold(Optimum, $P_M=P_F$) | | | | | |
|---|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | ETEO (5dB) | MTEO (5dB) | ETEO (6dB) | MTEO (6dB) | ETEO (7dB) | MTEO (7dB) |
| 1 | 1.6 | 1.3 | 1.4 | 1.35 | 1.2 | 1.4 |
| 2 | 4 | 4.2 | 3.1 | 4.1 | 2.6 | 4 |
| 3 | 9 | 12 | 6.3 | 11 | 4.8 | 10.5 |
| 4 | 19 | 29 | 12 | 26 | 8 | 24 |
| 5 | 39 | 64 | 22 | 58 | 14 | 50 |

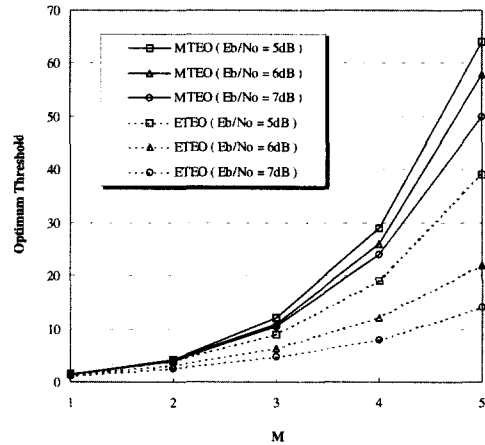


그림 14. M과 E_b/N_0 에 따른 최적 임계치와의 관계

3.4 최적 임계치 결정에 따른 P_M 과 P_F 성능 및 FER 성능

HomePNA v2.0 규격에 의하면 $FER=10^{-2}$ 일 때, Link Layer의 LARQ(Limited Automatic Repeat reQuest)를 사용하면 $FER=10^{-4}$ 이하의 성능을 얻을 수 있다. 따라서, 최소 $FER=10^{-2}$ 을 만족하기 위해서는 P_M 과 P_F 성능은 10^{-2} 이하를 만족해야 한다. 그림 13(a)와 (b)에서 P_M 과 P_F 성능이 10^{-2} 이하일 조건은 $E_b/N_0=7dB$ 일 때 P_M 과 P_F 성능이 일치되는 것이다. 따라서 이 임계치를 사용하여 제안된 알고리즘들의 P_M , P_F 성능과 FER 성능을 분석한다. 시뮬레이션 환경은 그림 12의 경우와 동일할 때, 그림 14는 $E_b/N_0=7dB$ 일 때 최적 임계치에 대한 농철 확률 P_M 성능이고, 그림 15는 오보 확률 P_F 성능이며, 그리고 그림 16은 FER 성능을 도시한 것이다. 그림 15에서 농철 확률 P_M 은 MTEO 알고리즘의 경우가 성능이 우수하며, M값이 증가할수록 성능이 개선되었다. 그러나, M이 3이상인 경우 뚜렷한 성능 개선이 일어나지 않고 성능이 거의 유사하였다. 그림 16에서 오보 확률 P_F 는 MTEO 알고리즘의 경

우가 성능이 우수하지만 E_b/N_0 가 증가할수록 M 이 3이상인 경우 두 알고리즘간의 성능이 거의 유사하였다. 오보 확률의 경우 낮은 E_b/N_0 에서 MTEO 알고리즘의 성능이 ETEO보다 우수하였는데, 이는 ETEO 알고리즘에 대한 MTEO 알고리즘의 효과를 증명해 주는 좋은 예이다.

그림 17에서 FER 성능 역시 MTEO 알고리즘의 경우가 성능이 우수하지만 M 이 3이상인 경우 더 이상의 성능 개선이 일어나지 않았다. 결과적으로, M 이 3이상인 MTEO 알고리즘에 대해 $E_b/N_0=6.5$ dB일 때 $FER=10^{-2}$ 을 만족한다. 이상의 결과에서,

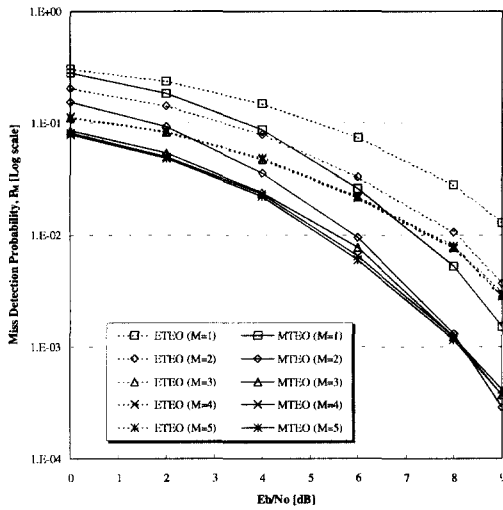


그림 15. 최적임계치에 대한 놓칠 확률, P_M

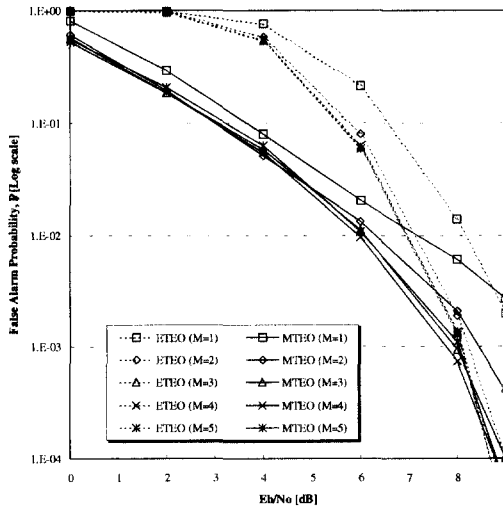


그림 16. 최적임계치에 대한 오보 확률, P_F

$M=3$ 인 MTEO 알고리즘을 표 1의 임계치 ($E_b/N_0=7$ dB)와 함께 사용하는 경우가 최적의 FER 성능을 갖는 버스트 신호 검출기라 결론지을 수 있다. 향후 Link Layer의 LARQ를 사용할 경우 최고 $FER=10^{-4}$ 의 성능을 만족할 수 있다.

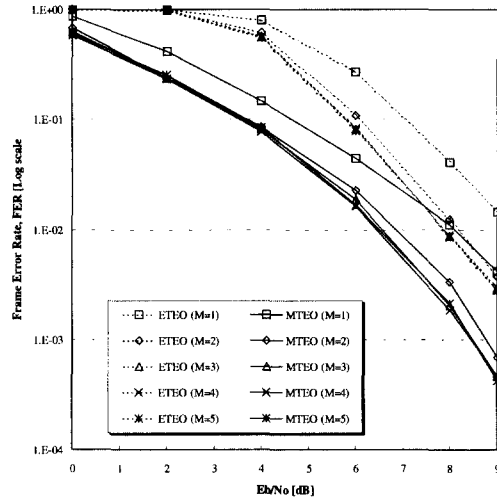


그림 17. 최적임계치에 대한 FER 성능

III. 결론

지금까지 HomePNA v2.0 PREAMBLE64를 검출하기 위한 버스트 검출 알고리즘으로서 TEO 알고리즘에 기반한 ETEO와 MTEO 버스트 검출 알고리즘에 대해 살펴보았다. ETEO 알고리즘은 기존의 TEO 알고리즘에서 현재 심벌과 비교하는 과거와 미래 심벌 수를 M 값을 적용해 확장한 개념이며, MTEO 알고리즘은 열악한 AWGN 채널 환경에서 갑작스럽게 큰 입력이 유입되었을 때 ETEO 출력 특성을 개선시키고자 제안된 알고리즘이다. ETEO와 MTEO 알고리즘 모두 2Mbaud FDQAM 방식의 PREAMBLE64를 검출하기 위해 지연소자를 2배로 증가하였다. 모의 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 CDF 특성으로부터 MTEO 알고리즘은 PREAMBLE64가 입력되기 직전의 MTEO 출력 값에 의해 가설 H_0 와 H_1 의 교점이 형성됨을 보였다. 임의로 설정한 임계치에 따른 P_M 과 P_F 성능 특성으로부터 10^{-2} 이하의 FER 성능을 갖는 최적의 임계치를 설정하였으며, 각 알고리즘별로 M 에 따른 최적 임계치를 도출하였다. 마지막으로, 최적 임계치에 대한 P_M 과 P_F 성능과 FER 성능을 모의 컴퓨터 시뮬레이션에 의해

도시하였고 M=3인 MTEO 버스트 검출기가 최적의 FER 성능을 보장한다고 결론 맺었다.

이상의 논의에서 검토한 버스트 검출 알고리즘은 수신기의 최적 샘플링 지점을 복구하고, 이득 제어 가 완료된 다음에 최적의 성능을 보장할 수 있지만 주파수와 위상 옵셋에 무관하다는 장점을 지닌다. 차후, 실제 전화선(phone-line) 채널 상에서의 적용 문제가 논의되어야 하며, 성능평가에서 논의된 부분에 대해서는 수학적 분석을 통한 최적 임계치 설정 과정이 일반화 되어야 한다. 또한, Link Layer의 LARQ와의 연동을 통해 FER 성능이 10^{-4} 이하를 만족하는지 확인되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] J. F. Kaiser, "On a simple algorithm to calculate the 'energy' of a signal", in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Processing*, Albuquerque, NM, pp. 381-384, Apr. 1990.

[2] S. S. Hwang, and Y. H. Lee, "Detection of tone signals using a nonlinear energy tracker", *ELECTRONICS LETTERS*, Vol. 33, No. 11, pp. 928-929, May 1997.

[3] P. Maragos, J. F. Kaiser, and T. F. Quatieri, "On amplitude and frequency demodulation using energy operators", *IEEE Trans. Signal Processing*, Vol. 41, No. 4, pp. 1532-1550, Apr. 1993.

[4] D. L. Sherman, A. M. Brambrink, D. Walterspercher, V. K. Dasika, R. Ichord, and N. V. Thakor, "Detecting EEG bursts after hypoxic-ischemic injury using energy operators", in *Proc. IEEE 19th Annual Int. Conf.*, Vol. 3, pp. 1188-1190, Nov. 1997.

[5] N. Jittiwarakul, S. Jitapunkul, S. Luksaneeyanavin, V. Ahkuputra, and C. Wutiwivatchai, "Thai syllable segmentation for connected speech based on energy", *IEEE Asia-Pacific Conf.*, pp. 169-172, 1998.

[6] HomePNA, "Interface Specification for HomePNATM 2.0 10M8 Technology", Dec., 1999.

[7] A. Papoulis, *Probability, Random Variables, and Stochastic Process*, McGraw-Hill, 1991.

김 경 덕(Kyoung-duck Kim) 정회원



1999년 2월: 성균관대학교
전자공학과 졸업
2001년 2월: 성균관대학교
전기전자컴퓨터공학부
석사
2001년~현재:
(주)애니데이터넷 연구원

<주관심 분야> 위성통신, 이동통신, Home Networking 및 동기화 기술을 포함한 모뎀 기술과 부호화 기술 등

황 성 현(Sung-Hyun Hwang) 정회원



1996년 2월: 성균관대학교
전자공학과 졸업
1998년 2월: 성균관대학교
전자공학과 석사
2001년 2월: 성균관대학교
전기전자컴퓨터공학부 박사

2001년~현재: 삼성종합기술원 i-Networking Lab. 전문연구원

<주관심 분야> 위성통신, 이동통신, 디지털통신 및 동기화 기술을 포함한 Modem 기술 등

최 형 진(Hyung-jin Choi) 정회원



1974년 2월: 서울대학교
전자공학과 졸업
1976년 2월: 한국과학기술원
전기전자공학과 석사
1976년 3월~1979년 7월:
(주) 금성사 중앙연구소
연구원

1979년 9월~1982년 12월: 미국 University of Southern California 전기공학과(공학박사)
1982년 10월~1989년 2월: 미국 Lincom Corp. 연구원

1989년 3월~현재: 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학부 교수

<주관심 분야> 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화 기술을 포함한 MODEM 기술