

이기종 통신 시스템을 위한 EMD 기반 노이즈 완화 기법의 성능

심이삭*, 황유민*, 양병문**, 김진영*

Performance of Noise Mitigation scheme based on EMD for Heterogeneous Networks

Isaac Sim*, Yu Min Hwang*, Byong Moon Yang**, Jin Young Kim*

요 약

본 논문에서는 이기종 통신 시스템에서 Empirical Mode Decomposition(EMD) 기법을 활용하여 통신 신호의 잡음을 완화시키는 방안을 제시하였다. EMD는 노이즈가 인가된 신호를 여러 개의 Intrinsic Mode Function(IMF)로 분할하여 노이즈가 포함된 IMF를 제거하는 방법으로 노이즈를 줄이는 방법이다. 본 논문에서는 EMD의 연산량을 줄이기 위해 새로운 반복 중지 규칙을 제시하였다. EMD의 적용 방법을 수식 및 알고리즘으로 구현하였다. 3종류의 잡음이 인가된 신호를 시뮬레이션을 통해 효과적으로 잡음이 완화되는 것을 확인하였다.

Key Words : EMD, IMF, Noise mitigation, AWGN, Impulsive noise, Burst noise

ABSTRACT

In this paper, we proposed a scheme to mitigate noises based on the EMD scheme for heterogeneous communication systems. Noise-corrupted data can be decomposed into a finite number of IMF components. Using the EMD method, we can mitigate noise with eliminate noise-corrupted IMF components. We proposed iteration stop rule for reduce EMD computation time. Simulation results show that proposed EMD scheme based on proposed algorithm for iteration stop rule efficiently mitigates 3 types of noise and reduces its computational time.

I. 서 론

최근 세계 전력소비에서 조명은 19%를 차지하고 있으며, 경제적으로 에너지 절감 효과가 큰 동시에 환경 친화적인 장점이 있는 스마트 조명 보급에 관심이 높아지고 있다. 이에 따른 이기종 통신 방식 지원의 원격제어가 가능한 효율적인 에너지 절감형 스마트 조명 제어 기술의 개발이 필요하게 되었다. 백열등 사용의 규제 정책과 LED 조명 가격 하락으로 인해 LED 조명 시장은 전 세계적으로 급격한 성장세로 LED 조명 보급이 확산되고 응용 영역이 다양해짐에 따라 LED 조명을 기반으로 한 스마트 조명기술 개발에 대해 경쟁이 가속화되고 있으며, 국내에서도 관련 기술 개발이 시급한 상황이다.

대부분의 통신 시스템은 Non Line-Of-Sight(NLOS)나 환경에 의해 통신이 원활하지 않은 한계를 가진다. 어떠한

상황에서도 통신이 가능하며 더불어 에너지 절감효과를 얻을 수 있는 통신 시스템의 개발이 필요하다. 기존의 잡음 완화 기법에는 무기억 비선형 완화 기법과 윈도우 비선형 완화 기법이 있다. 두 방법 모두 수신신호 표본이 미리 정해진 수치보다 큰 경우 충격성 잡음에 오염된 것으로 판단하여 잡음을 처리하는 방식이다[1].

본 논문에서는 EMD 기법을 통해 이기종 통신방식의 무선통신 간에 생기는 잡음을 완화시켜 통신 효율을 높이는 방안을 연구한다. EMD 기법은 기존의 잡음 완화 기법과 달리 별도의 수치가 아닌 입력 신호 안에서의 처리만을 사용하게 된다[2].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 본 논문에서 주로 다룰 EMD 기법의 적용 방법 및 연산량 감소를 위한 변형된 중지 규칙을 기술한다. 제 III 장에서는 EMD 기법을 적용하여 노이즈 종류별 파형 및 신호 대 잡음비(Signal-to-

* 본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2015년 중소기업 이천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [S2336045, 이기종 통신시스템 기반 친환경 스마트 조명 제어 기술 개발]

*광운대학교 전자융합공학과 유비쿼터스 통신 연구실 (dltkr34@naver.com), (yoomin2046@naver.com), (jinyoung@kw.ac.kr)

** (주)선일일렉콤 조명기술연구소 (kgs6180@naver.com)

접수일자 : 2016년 02월 18일, 수정완료일자 : 2016년 03월 30일, 최종 게재 확정일자 : 2016년 03월 31일

Noise Ratio, SNR) 개선 정도를 시뮬레이션 하였다. 마지막으로 본 논문의 결론을 제 IV 장에서 맺도록 한다.

II. EMD 기법

EMD 기법은 비정상성(nonstationary)이나 비선형 과정(nonlinear process)의 특성을 가지는 신호를 분석할 때 용이한 기법이다[2]. EMD 기법을 이용하여 잡음이 인가된 신호를 진동(oscillatory)하는 여러 개의 IMF로 분할할 수 있다. IMF의 합은 분할 전 기존 신호와 같게 되며, IMF1은 마지막 IMF보다 잡음 성분이 많이 포함되게 된다. 이를 이용하여 기존 신호를 IMF로 분리한 후, 잡음 성분이 포함된 앞부분의 IMF(1,2,3..)들을 제거 한 후, 나머지 IMF를 합하여 잡음이 완화된 출력 신호를 얻을 수 있게 된다[3]. EMD 기법을 적용하는 법은 다음과 같다.

먼저 주어진 신호 X에 대하여, 극댓값(maxima)과 극솟값(minima)을 표시한 후, 극댓값을 잇는 Spline 함수와 극솟값을 잇는 Spline 함수를 그린다. Spline은 점과 점 사이를 잇는 방법 중 하나로, 유선형의 모양을 만들기 위하여 점들을 지정하고 이들을 잇는 곡선을 그리는 보간법 중 하나이다[4].

그 후, 극댓값과 극솟값의 평균값을 가지는 Spline을 그린다. 그림 1은 지금까지 진행된 EMD 처리 기법의 형태를 나타낸다.

이때, 수신신호를 $Y(t)$ 라 하고, 첫 번째로 구한 평균값 Spline을 m_1 이라 하면, 다음의 식을 만족하는 h_1 을 구할 수 있다.

$$h_1(t) = Y(t) - m_1(t). \quad (1)$$

h_1 은 $Y(t)$ 보다 극댓값과 극솟값의 개수가 같거나 하나 적은 함수가 되며, 만약 h_1 이 t축에 대해 대칭이 아니라면, 식 3의 신호를 반복하게 된다.

$$h_{11}(t) = h_1(t) - m_{11}(t), \quad (2)$$

$$h_{1k}(t) = h_{1(k-1)}(t) - m_{1k}(t). \quad (3)$$

k번을 반복하는 기준은 Standard Deviation(SD) 공식을 따르게 되는데, SD 공식은 다음과 같다.

$$SD = \sum_{t=0}^T \left[\frac{|h_{1(k-1)}(t) - h_{1k}(t)|^2}{h_{1(k-1)}^2(t)} \right]. \quad (4)$$

h_{1k} (k=정수)의 함수를 구한 뒤, 해당 신호의 SD를 계산해 해당 값이 일정 상수 이하가 되면 그때의 h_{1k} 의 값을 IMF1

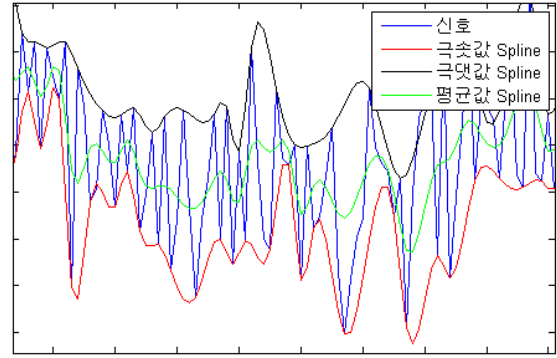


그림 1. EMD 기법의 Spline 적용 후 상태.

로 명명한다. 본 논문에서는 해당 과정을 $SD \leq 0.3$ 을 만족할 때까지 k번 반복하게 된다.

IMF1을 구하고 난 뒤, $Y(t)$ 에서 IMF1을 뺀 신호인 $r_1 = Y(t) - h_{1k}$ 을 이용하여 다시 처음부터 극댓값 Spline, 극솟값 Spline, 평균값 Spline을 구하는 기법을 반복하면 최종적으로 원래 신호인 $Y(t)$ 를 다음과 같이 분할할 수 있게 된다.

$$Y(t) = \sum_{i=1}^n h_{ik}(t) + r_n(t). \quad (5)$$

기존의 EMD는 $r_n(t)$ 에 포함된 극댓값 및 극솟값의 합이 2 미만이 되도록 해당 과정을 반복하게 된다. 하지만 초반에 생성된 IMF들이 대부분의 노이즈를 포함하고 있기 때문에, 특정 값 이후의 연산은 연산량 대비 효과적인 노이즈 완화를 보이지 못한다.

본 논문에서는 기존 EMD의 연산량을 줄이기 위해 다음의 식을 만족할 때 반복을 중지하도록 하였다.

$$r_n(t) \leq \text{extrema}(Y(t)) \times C_s. \quad (6)$$

위 식에서 $\text{extrema}()$ 는 극값의 개수를 구하는 함수이고, C_s 는 중지계수를 나타낸다. C_s 는 0에서 1 사이의 값을 가진다.

기존의 EMD와 달리 IMF를 수신신호의 극값에 비례하여 연산을 중지하게 되므로, 신호의 노이즈 상태에 따라 연산량이 유동적으로 줄어들게 된다. 본 논문에서는 C_s 의 값을 0.5로 설정하였다.

다수의 IMF 중, 초반에 생성된 IMF들은 잡음성분을 많이 내포하게 되는데, 이를 제거하고, 후반부에 생성된 IMF들을 합하는 방법으로 원래 신호에서 잡음이 완화된 신호를 복원할 수 있게 된다.

그림 2는 다음 일련의 과정을 AWGN이 인가된 사인함수에 적용하여 잡음을 완화시키는 EMD 과정을 제시하고 있다.

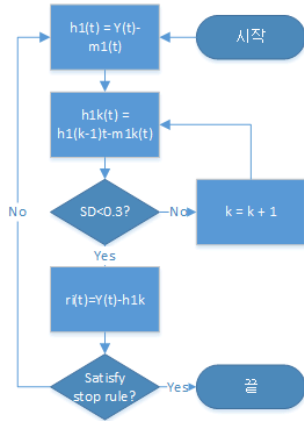


그림 2. EMD 기법 구조도.

수신신호의 평균전력을 P_I , 인가된 잡음의 평균전력을 P_N , EMD기법을 적용한 출력 신호에서 수신신호를 뺀 신호의 평균 전력을 P_{EMD} 라 하면, SNR 계산은 다음의 식을 따른다.

$$SNR_{before}|_{dB} = P_I|_{dB} - P_N|_{dB}, \quad (7)$$

$$SNR_{after}|_{dB} = P_I|_{dB} - P_{EMD}|_{dB}. \quad (8)$$

위 식에서 SNR_{before} 는 EMD 기법을 적용하기 전의 SNR 값이고, SNR_{after} 는 EMD 기법을 적용 한 후 계산한 SNR 값이다.

III. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서는 Matlab을 이용하여 EMD 기법을 적용한 잡음 완화 방안을 제시한다. 시뮬레이션의 입력신호는 500 sample을 가진 3개의 Symbol로 구성된 16-QAM으로 구성하였다. 해당 신호에 3종류의 잡음을 인가하고, 이를 완화시키기 위해 EMD 기법을 적용하게 된다.

입력 정보 신호의 잡음을 완화시키기 위한 EMD 기법의 절차는 그림 4와 같다.

먼저 정보 신호를 EMD 잡음 완화 Matlab 함수에 입력한다. 그 다음 Matlab에서 각 종류의 잡음을 생성하고, 이를 입력 함수에 더한다. 이 단계에서 입력 신호와 잡음을 이용하여 SNR_{before} 를 계산한다.

그 후, EMD 기법을 이용하여 입력 신호를 IMF로 분할한다. IMF 중 잡음성분이 포함된 함수를 제외한 나머지 IMF를 더하여 잡음이 완화된 신호를 출력한다. 최종적으로 SNR_{after} 를 계산하고, SNR_{before} 과 비교한다.

본 논문에서는 3종류의 잡음 (AWGN, Impulsive, AWGN + Burst)에 대해 시뮬레이션을 실시한다.

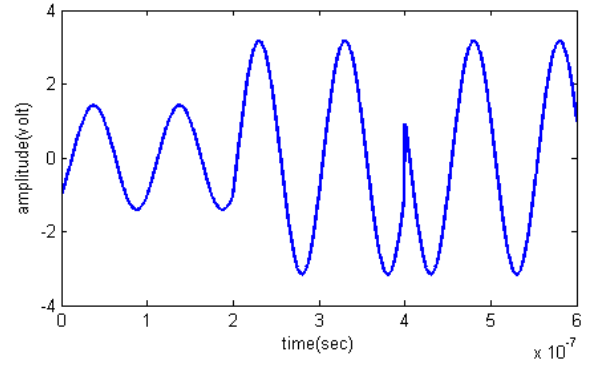


그림 3. 3-Symbol 16-QAM 입력 신호.

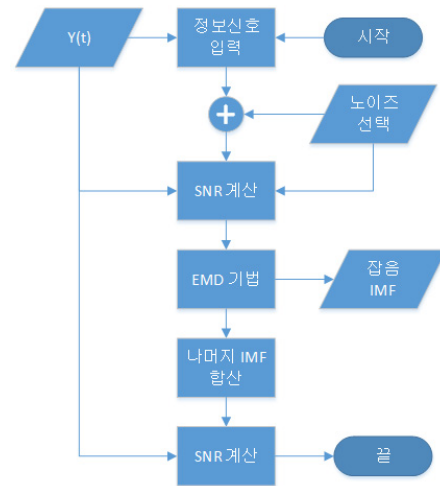


그림 4. 시뮬레이션 구조도.

1. Additive White Gaussian Noise(AWGN)

기존의 입력 신호에 AWGN을 SNR이 10이 되도록 인가하였다(그림 5(a)). 그 후 EMD 기법을 적용하여 입력 신호를 15개의 IMF로 나눈 후(그림 5(b)), 잡음이 섞여있는 IMF1~IMF5 함수를 제거한 나머지 IMF6~IMF16를 합산하여 잡음이 완화된 출력 신호를 만들었다(그림 5(c)). EMD 기법을 이용하여 AWGN 인가 신호의 잡음을 효과적으로 완화시키는 것을 그래프를 통해 알 수 있다.

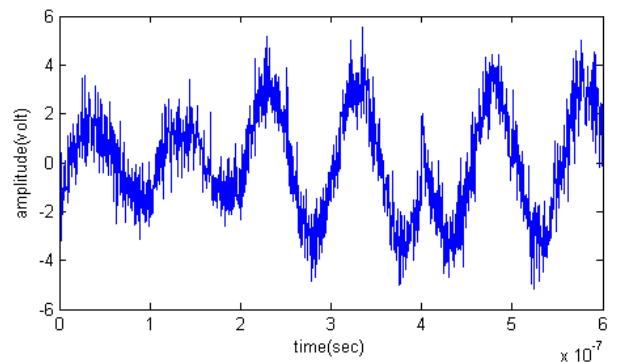


그림 5(a). AWGN이 인가된 입력 신호.

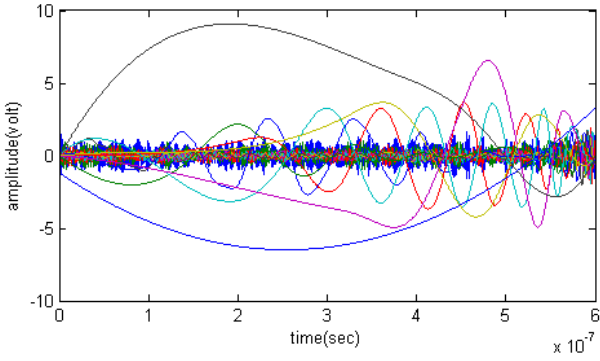


그림 5(b). AWGN 인가 신호의 IMF 분할. (IMF1 ~ IMF15)

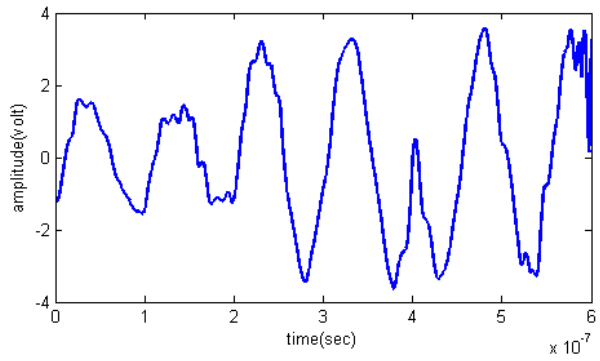


그림 5(c). AWGN이 완화된 출력 신호. (IMF6~IMF15)

2. Impulsive 잡음

기존의 입력 신호에 Impulsive 잡음을 인가하였다(그림 6(a)). 그 후 EMD 기법을 적용하여 입력 신호를 16개의 IMF로 나누는 후(그림 6(b)), 잡음이 섞여있는 IMF1~IMF5 함수를 제거한 나머지 IMF6~IMF16를 합산하여 잡음이 완화된 출력 신호를 만들었다(그림 6(c)). EMD 기법을 이용하여 Impulsive 잡음 인가 신호의 잡음을 완화시키는 것을 그래프를 통해 알 수 있다. AWGN 인가 신호와는 달리 큰 Impulsive 잡음이 발생한 부분(그림 6(c)의 1.7×10^{-7} 및 3.9×10^{-7} sec 부근)의 잡음은 아직 잡음이 남아있는 것을 확인할 수 있다.

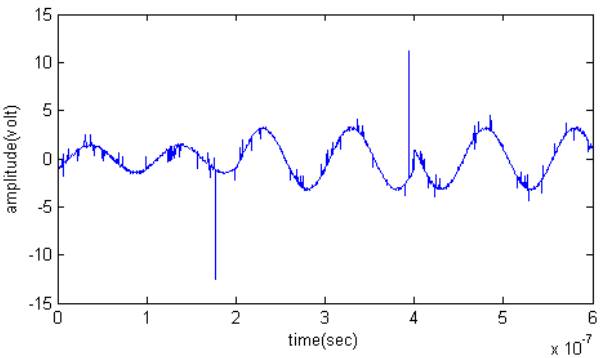


그림 6(a). Impulsive 잡음이 인가된 입력 신호.

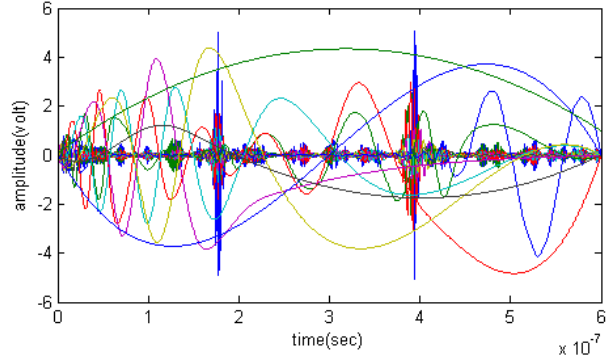


그림 6(b). Impulsive 잡음 인가 신호의 IMF 분할. (IMF1 ~ IMF16)

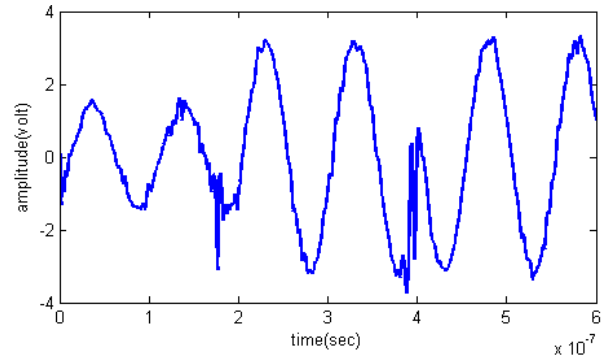


그림 6(c). Impulsive 잡음이 완화된 출력 신호. (IMF5~IMF16)

3. AWGN + Burst 잡음

기존의 입력 신호에 Burst 잡음을 인가하였다(그림 7(a)). 그 후 EMD 기법을 적용하여 입력 신호를 6개의 IMF로 나누었다(그림 7(b)). IMF의 Y축이 다른 잡음보다 큰 값(그림 7(b)의 amplitude축)을 가지는 것을 알 수 있다. 이를 통해 Burst 잡음을 완화시키기 위해선 다른 잡음보다 많은 자원이 필요하다는 것을 알 수 있다.

잡음이 섞여있는 IMF1~IMF5 함수를 제거한 나머지 IMF6~IMF13을 합산하여 잡음이 완화된 출력 신호를 만들었다(그림 7(c)). Impulsive 잡음 인가 신호와 비슷하게 Burst 잡음이 발생한 부분(그림 7(c)의 2×10^{-7} sec 부근)의 잡음이 남아있는 것을 확인할 수 있다.

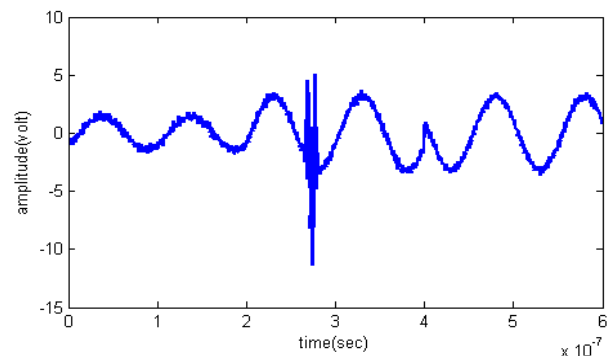


그림 7(a). AWGN + Burst 잡음이 인가된 입력 신호.

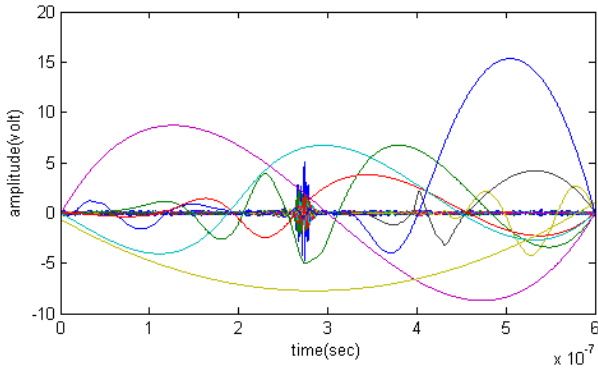


그림 7(b). AWGN + Burst 잡음 인가 신호의 IMF 분할. (IMF1 ~ IMF13)

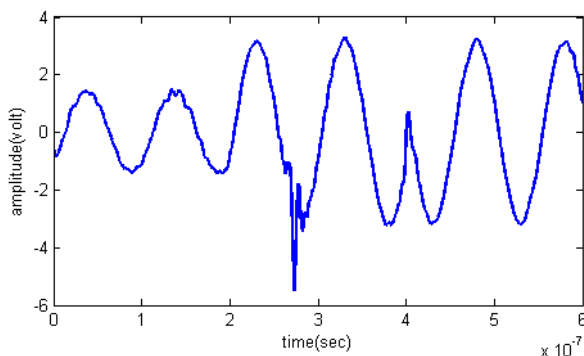


그림 7(c). AWGN + Burst 잡음이 완화된 출력 신호. (IMF5~IMF13)

본 시뮬레이션을 통해 구한 SNR 및 IMF의 개수, 기법 적용 가능 여부를 표 1에 정리하였다. 기존 IMF의 개수는 식6에서 제시한 식을 적용하지 않고 구한 개수이고, 개선된 IMF의 개수는 식을 적용한 후 구한 개수이다. IMF의 개수는 EMD 기법을 적용할 때 필요한 연산량과 비례한다. EMD 기법의 연산량은 구하는 IMF의 개수에 정비례하기 때문에 개선된 식을 이용하면 연산량을 효과적으로 줄일 수 있다.

EMD 기법을 적용하기 전/후의 SNR 대비 Bit Error Rate(BER) 그래프를 그림 8에 표시하였다. EMD 기법을 적용하면 10^{-3} 의 BER을 달성하기 위해 필요한 SNR이 약 1.2dB정도 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

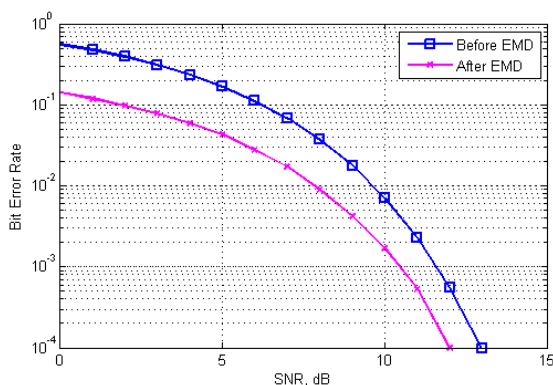


그림 8. EMD 기법 적용 전/후 BER 대 SNR 그래프

표 1. 입력 잡음 신호별 EMD기법 적용 특성.

입력 잡음 신호	AWGN	Impulsive	AWGN + Burst
입력 신호의 SNR	9.9931	11.5976	7.9728
출력 신호의 SNR	17.8089	16.8442	15.4646
기존 IMF의 개수	15	16	13
개선된 IMF의 개수	6	5	5

IV. 결론

본 논문에서는 EMD 기법을 활용하여 이기종 시스템에서의 통신 신호에 인가된 잡음의 영향을 완화시키는 방안을 제시하였다.

신호의 일부분에 집중적으로 발생하는 Burst 잡음을 효과적으로 완화하기 위해선 신호 전체 영역이 아닌 Burst 잡음이 발생한 부분만 부분적으로 적용하는 등의 추가적인 EMD 기법 적용 기술이 필요할 것이다.

AWGN과 Impulsive 잡음, Burst 잡음 모두 EMD 기법을 통해 효과적인 노이즈 완화를 보였다. 또한 EMD 기법을 적용할 때 구하는 IMF의 개수를 제한하여 EMD 기법 처리 속도를 높일 수 있게 되었다.

현재 운용되고 있는 노이즈 완화 기술에 EMD 기술이 추가적으로 적용되면 보다 효과적인 통신이 가능할 것이다.

참고 문헌

- [1] Shuang Ma, 강석근, “직교 주파수분할다중화 시스템을 위한 충격성 잡음 완화 알고리즘에 대한 비교 연구,” JKIICE, 2014.
- [2] N.E. Huang et al, “The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis,” Proc. Royal Soc. London A, vol. 454, pp. 904-995, 1998.
- [3] N.E. Huang, Samuel S P Shen, “Hilbert-Huang Transform and its Applications,” World Scientific, 2014
- [4] Henrici. P, “Essential of Numerical Analysis,” John Wiley & Sons, Now York, 1982.

저자

심 이 삭(Isaac Sim)

학생회원



- 2016년 2월 : 광운대학교 전자융합공학과 졸업
- 2016년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전과 공학과 석박사통합과정

<관심분야> : 에너지 하베스팅, 항재밍

황 유 민(Yu Min Hwang)

학생회원



- 2012년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
- 2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 석박통합과정

<관심분야> : 5G, 재난 통신, WPAN, LBS, 무선 에너지 하베스팅

양 병 문(Byong Moon Yang)

준회원



- 1985년 2월 : 인천대학교 전자공학과 졸업
- 2003년 2월 : 서울과학기술대학교 전기공학과 석사졸업
- 2015년 2월 : 서울과학기술대학교 방송통신융합공학과 박사졸업

· 2003년 ~ 현재 : 선일일렉콤 조명기술연구소 부사장

<관심분야> : 스마트 조명, 가시광 통신

김 진 영(Jin Young Kim)

종신회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지무선통신, 5G 이동통신