

단파 대역에서 Kurtosis를 활용한 블라인드 등화 성능 분석

*권순영, 김호재, 김형남[©]

부산대학교 전기전자공학부

e-mail : *ysk1680@pusan.ac.kr, hnkim@pusan.ac.kr[©]

Performance Analysis of Blind Equalization Based on Kurtosis in High-Frequency Channel

*Soon-Young Kwon, Ho Jae Kim, Hyoung-Nam Kim[©]

Pusan National University

Abstract

In a digital communication system, inter-symbol interference (ISI) occurs by frequency selective fading or multi-path fading. ISI can be removed through channel equalization, and the channel equalization method generally uses an adaptive equalization algorithm. Since the transmission rate decreases when the training sequence promised between the transceivers is used, a lot of blind equalization algorithms that do not use the training sequence are being studied recently. Blind equalization is an algorithm that uses the statistical characteristics of a signal, and can utilize kurtosis, a fourth order statistic of the signal. In this paper, by setting the objective function for equalization to kurtosis, the performance of a blind equalization in a high-frequency (HF) channel is analyzed. As a result of the analysis, if the difference between the

path gain of the HF channel is small and the distinction between the main path and the sub path becomes ambiguous, the residual ISI becomes 0 dB or more, and channel equalization is not performed properly. However, when the path gain difference of the HF channel is large, the residual ISI is reduced to -20 dB or less, and the channel equalization performance is excellent.

I. 서론

단파(high frequency, HF) 대역 채널을 통해 전송되는 신호는 심볼 간 간섭(inter-symbol interference, ISI) 현상에 의해 수신 성능이 저하되며, 이는 채널 등화(channel equalization)를 통해 해결할 수 있다[1].

채널 등화는 훈련 열(training sequence)을 사용하는 방법과 신호의 통계적 특성을 사용하는 블라인드 등화(blind equalization) 방법으로 분류할

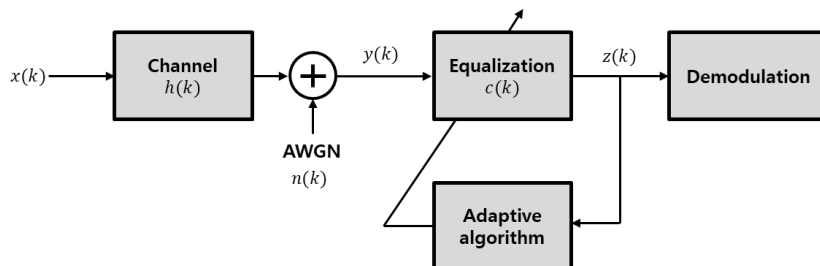


그림 1. 신호의 송수신 및 채널 등화 블록도.

수 있다. 훈련 열을 사용하는 채널 등화에서는 LMS(least mean square), RLS(recursive least square) 등의 적응 등화 알고리즘이 많이 사용되는데, 전송 데이터에서 일정한 양을 훈련 열로 대체해야 하기 때문에, 데이터 전송률이 감소한다는 단점이 있다. 블라인드 등화 알고리즘에는 CMA(constant modulus algorithm), MMA(multi-modulus algorithm) 등이 있으며, 훈련 열을 사용하지 않기 때문에 전송률이 감소하지 않는다는 장점이 있다[2].

블라인드 등화를 수행하기 위해 신호의 일반적인 통계적 특성을 이용하여 채널 등화를 수행할 수 있지만, 신호의 통계적 특성 중 고차 통계(higher-order statistics, HOS)를 이용하는 경우 채널 등화의 성능이 우수하다고 알려져 있다[3].

본 논문은 신호의 여러 가지 고차 통계 특성 중, 4차 통계 특성인 kurtosis를 이용하여 채널 등화를 수행한 후, HF 채널에서 등화 알고리즘의 ISI 제거 성능을 분석한다.

II. 본론

그림 1은 신호의 송수신과 채널 등화 과정을 나타낸 블록도이다. 수신 신호는 채널 영향을 받은 송신 신호에 AWGN(additive white Gaussian noise)이 더해지며, 식 (1)과 같이 표현된다.

$$y(k) = x(k) * h(k) + n(k). \quad (1)$$

여기서 $y(k)$ 는 수신 신호, $x(k)$ 는 송신 신호, $h(k)$ 는 채널 응답 계수, $n(k)$ 는 AWGN, * 연산은 컨볼루션을 의미한다. 채널에 의해 왜곡된 수신 신호 $y(k)$ 는 kurtosis를 활용하는 채널 등화를 통해 복구될 수 있다[4].

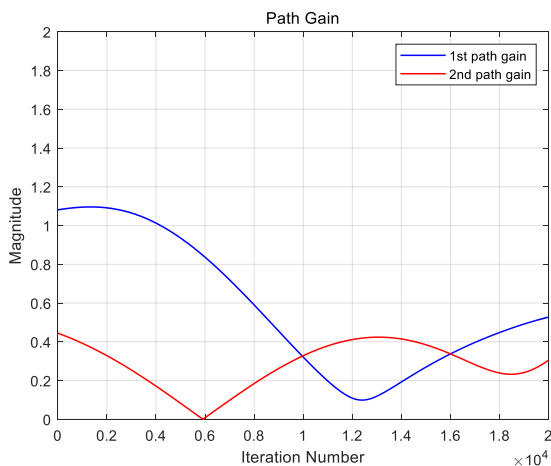


그림 2. HF 채널의 다중 경로 이득 변화.

Kurtosis는 신호의 통계적 특성 중 4차 통계 특성으로, 정의는 식 (2)와 같다.

$$K = \frac{E[x(k)^4]}{E[x(k)^2]^2} - 3. \quad (2)$$

여기서 K 는 kurtosis를 의미한다.

본 논문에서는 송신 신호는 독립 항등 분포(independent and identically distributed)이고 균등 분포(uniform distribution) 신호라고 가정한다. 따라서 HF 채널을 통과한 신호는 kurtosis 값이 증가하게 된다[4]. 비용 함수를 kurtosis로 정의한 후 비용 함수를 최소화하는 방향으로 채널 등화를 수행한다.

HF 채널은 주파수 대역 3 ~ 30 MHz를 사용하는 채널이며, 비교적 간단한 회로와 낮은 전력으로 장거리 통신을 수행할 수 있기 때문에 통신 채널이 좋지 않다는 단점에도 불구하고 많이 이용되고 있다[5]. HF 채널은 각 다중 경로가 레일리 분포를 따르고, 전리층 이온의 떨림으로 인한 도플러 확산을 가지는 레일리 채널로 모델링하였다.

III. 모의실험

채널 등화 성능을 잔류 ISI를 통해 분석하며, 잔류 ISI 수식은 다음과 같다.

$$ISI = 10 \log_{10} \frac{\sum_{k=0}^{l+q-1} |s(k)|^2 - \max |s(k)|^2}{\max |s(k)|^2}. \quad (3)$$

여기서 $s(k) = h(k) * c(k)$ 를 의미하고, l 은 등화기 필터 계수 $c(k)$ 의 탭 길이, q 는 채널 응답 계수 $h(k)$ 의 길이를 의미한다.

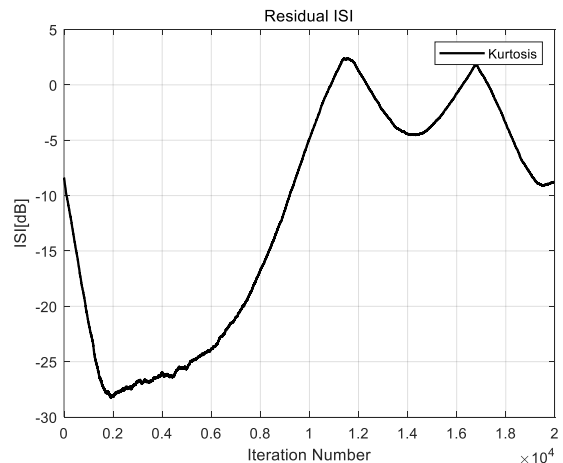


그림 3. Kurtosis 채널 등화의 잔류 ISI 성능.

모의실험에 사용된 송신 신호는 QPSK (Quadrature phase shift keying) 신호를 사용하였고, SNR (signal to noise ratio)은 20 dB로 설정하였다. HF 채널의 다중 경로 신호의 지연 시간은 1 ms 로 설정하였고, 등화기 필터 탭 길이는 51로 설정하였다. 다중 경로 채널의 평균 이득은 각각 0 dB로 설정하였고, 최대 도플러 주파수는 0.1 Hz로 설정하였다. 등화 알고리즘의 스텝 크기는 $5 \cdot 10^{-4}$ 으로 설정하였다.

그림 2는 채널 등화기 필터 업데이트 반복 횟수에 따른 HF 채널의 경로 이득 변화를 나타낸 그림이다. 업데이트 횟수가 약 10000회와 16000회에서 경로 이득 교차가 발생하였다.

그림 3은 kurtosis를 활용하여 채널 등화를 수행한 잔류 ISI 결과이다. 업데이트 횟수가 2000회와 6000회 사이에서는 두 경로 이득 차이가 많이 발생했기 때문에 잔류 ISI가 -20 dB 이하였지만, 경로 이득 차이가 적은 10000회와 16000회 근처에서는 잔류 ISI가 0 dB 이상으로 열화되었다.

IV. 결론

본 논문은 HF 채널에서 kurtosis를 비용 함수로 하는 적응형 블라인드 등화 알고리즘의 ISI 성능을 분석하였다. HF 채널의 경로 이득 차이가 작아 주 경로와 부 경로의 구분이 모호해지는 경우, 잔류 ISI 값이 0 dB 이상이 되어 채널 등화가 제대로 이루어지지 않았다. 그러나, HF 채널의 경로 이득 차이가 큰 경우, 잔류 ISI 값이 -20 dB 이하로 감소하였으며, 채널 등화의 성능이 우수함을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2017R1D1A1B04035230)

참고문헌

- [1] N. Miroshnikova, "Adaptive blind equalizer for HF channels," 2017 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SINKHROINFO), Kazan, Russia, 2017, pp. 1-5.
- [2] D. N. Godard, "Self-recovering equalization and carrier tracking in two dimensional data communication systems," IEEE Trans. Commun., vol. COM-28, no. 11, pp. 1867-1875, Nov. 1980.
- [3] M. Pinchas and B. Z. Bobrovsky, "A Novel HOS Approach for Blind Channel Equalization," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 6, no. 3, pp. 875-886, March 2007.
- [4] D. Pereg and D. Ben-Zvi, "Blind deconvolution via maximum kurtosis adaptive filtering," 2016 IEEE International Conference on the Science of Electrical Engineering (ICSEE), 2016, pp. 1-5.
- [5] Recommendation ITU-R F.1487 (05/2000).