Golay 시퀀스를 이용한 OFDM 시스템 채널 추정 기법

*박해용 **조봉균 ***한동석

경북대학교

*phy8455@gmail.com **jbggg1@gmail.com ***dshan@knu.ac.kr

A Channel Estimation Method for OFDM Systems using Golay Sequences

*Park, Hae Yong **Jo, Bong Gyun ***Han, Dong Seog

Kyungpook National University

요약

본 논문에서는 시간영역에서 Golay 시퀀스를 이용한 직교 주파수 분할 다중화 (orthogonal frequency division multiplexing; OFDM) 시스템의 채널 추정 기법을 제안하였다. 두 개의 시퀀스를 하나의 쌍으로 하는 Golay 시퀀스 쌍은 이상적인 비주기 자기상관 특성을 가지며, 다중경로 채널 환경에서 직교성이 유지되는 강인한 특성을 가진다. 이러한 Golay 시퀀스 기반의 시간영역 채널 추정 기법은 시변 채널에서의 시간동기에 용이하며, Golay 시퀀스의 이상적인 자기상관 특성으로 인하여 채널 추정 시 수신단의 복잡도를 낮출 수 있는 장점을 갖는다. 그리고 OFDM 기반 시스템에서의 PAPR (peak to average power ratio) 문제를 해결할 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 Golay 시퀀스의 특성을 이용한 전송 구조 제안 및 채널 추정 성능을 시뮬레이션을 통하여 분석하였다.

1)1. 서론

직교 주파수 분할 다중화 (orthogonal frequency division multiplexing; OFDM) 전송 방식은 전송될 데이터를 N 개의 직교하는 부반송파에 실어 동시에 전송함으로써 본래에 전송될 데이터의 주기보다 N배의 긴 심볼 주기를 가지게 되며, 보호구간을 통하여 OFDM은 다중경로 페이딩 채널에 강인한 장점을 가진다. 이러한 장점으로 인하여 OFDM 전송방식은 IEEE 802.11a/g/n 무선랜, LTE-A(long-term evolution-advanced) 등의 차세대 이동 통신 시스템 및 디지털 방송 등의 방송 시스템 표준 전송방식으로 채택되었다.

OFDM 시스템의 수신 성능은 채널 추정의 정확도에 많이 의존하기 때문에 채널 추정이 매우 중요하다. 전송되는 데이터는 채널을 통과하면서 왜곡되므로 수신단에서는 이러한 왜곡된 신호들을 적절히 보상하기 위하여 정확한 채널을 추정이 필요하다.

OFDM 시스템에서의 채널 추정 기법은 크게 블라인드(blind) 채널 추정 기법과 훈련열 기반의 채널 추정 기법으로 구분될 수 있다. 블라인드 채널 추정 기법은 채널 추정을 위한 훈련열이나 파일럿 신호를 사용하지 않고 수신된 신호를 이용하여 채널을 추정하므로 추가적인 오버헤드가 필요하지 않는 장점이 있다. 그러나 신호의 상관 등 2차 특성을 이용하기 때문에 일반적으로 많은 수의 수신 신호가 필요하며, 훈련열 기반 기법에 비하여 추정 성능이 열화되는 경향을 보인다. 훈련열 기반의 채널 추정 기법은 훈련열이나 파일럿과 같이 송·수신단에서 모두 알고 있는 약속된 훈련 신호를 사용하여 채널을 추정하는 기법이다. 훈련 신호를 사용하기 때문에 훈련열 또는 파일럿 심볼의 추가에 따른 전송 효율이 감소되는 단점이 있다. 그러나 채널 추정 성능이 우수하여 대부분의 시스템에 적용되고 있다. 그리고 훈련열이나 파일럿을 이용한 채널 추정 기법은 채널 추정이 시행되는 영역에 따라 시간영역 채널 추정 기법과 주파수 영역 채널 추정 기법으로 나누어진다[1]. 최근 지상파 디지털 TV 국제표준에 포함된 중국 디지털 방송 표준 시스템인 DTMB (digital terrestrial multimedia broadcasting)에서는 TDS (time-domain synchrnous)-OFDM 전송 방식을 사용하며, 의사잡음 (pseudo noise; PN) 시퀀스의 자기상관특성을 이용한 시간영역 채널 추정 기법을 채택하고 있다[2]. 시간영역에서 상관특성을 이용한 채널 추정은 수신단에 이미 알려진 시퀀스와 수신된 신호사이의 상관특성을 이용하여 채널을 추정하는 기법이다. 기존 DTMB 시스템에서 채널 추정에 사용되는 의사잡음 코드는 뛰어난 주기 자기상관특성을 보이지만, 채널 추정시 의사잡음 코드의 고유 특성으로 인한 사이드로브(sidelobe)의 영향을 많이 받게 되기 때문에, 수신단에서 추정된 신호를 재형성해주는 과정이 반드시 필요하다. 그러나 상보코드 (complementary code; CC) 의 하나인 Golay 시퀀스는 이진값을 가지며, 하나의 Golay 시퀀스 쌍은 사이드로브가 없는 이상적인 비주기 자기상관 특성을 가진다[3]. 그리고 Golay 시퀀스의 이진 특성으로 인하여 PAPR(peak-to-average power ratio)을 낮출 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 Golay 시퀀스를 훈련열로 이용하는 채널 추정기법에 대하여 소개하고, 채널 추정 성능을 분석하고 평가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 제안하는 채널 추정 기법에 대하여 설명하고, 3장에서는 결론을 맺는다.

1) '본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2013-H0401-13-1005)'

2. Golay 시퀀스를 이용한 제안 채널 추정 기법

이번 장에서는 Golay 시퀀스를 이용한 채널 추정 기법에 대하여 소개한다. 그림 1은 본 논문에서 제안된 시스템의 블록도를 나타낸다. 채널 추정을 위한 Golay 시퀀스 훈련열이 위치하는 부분은 그림 1의 보호구간이다.

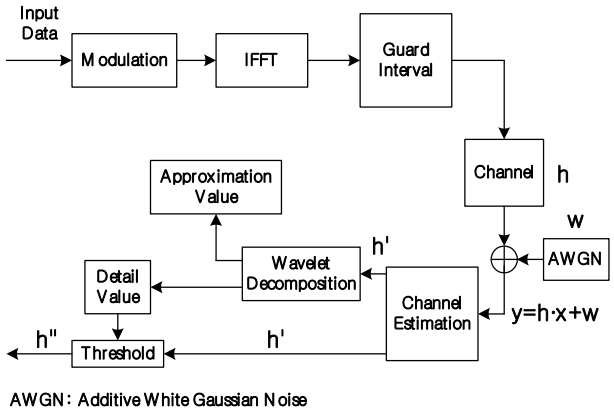

그림 1. 직교 주파수 분할 다중화 전송 기반의 제안된 채널 추정 기법 블록도

Fig 1. Block diagram of the proposed OFDM channel estimation method.

보호구간은 그림 2와 같이 구성된다. 그림 2에서 시퀀스 1과 시퀀스 2는 한 쌍의 Golay 시퀀스를 나타내며, 빈 구간 1과 2는 다중경로에 의한 데이터와 시퀀스와의 간섭 및 시퀀스간의 간섭을 막기 위하여 각각 256개의 0으로 채워진다. 본 논문에서 채널 추정을 위하여 Golay-paired Hadamard 행렬에서의 길이 M인 한 쌍의 Golay 시퀀스를 이용하였다.

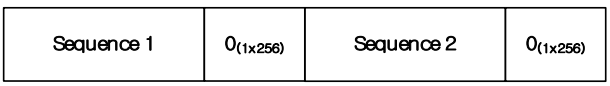

그림 2. 제안된 시스템의 보호구간의 구조

Fig 2. Structure of guard interval for the proposed system.

한 쌍의 Golay 시퀀스를 사용하여 채널 추정은 수신된 신호 y와 수신단에서 알고 있는 Golay 시퀀스 간의 상관을 통하여 이뤄진다. 추정된 채널 h'은 식 (1)과 같다.

$$h'(n) = \sum_{i=0}^{M-n-1} g(i)y(n+i) \qquad (1)$$

여기서 $y = h \cdot x + w$ 이며, h는 송신단과 수신단 사이의 시간영역 채널을 나타내고, x는 보호구간, w는 가우시안 잡음을 나타낸다. 그리고 g는 Golay 시퀀스를 나타낸다. 그림 3은 TU-6 채널에서 길이 $(M=256)$인 Golay 시퀀스 쌍을 이용하여 채널 추정한 실험 결과를 나타낸다. 실험에서 SNR(signal-to-noise)은 15dB이다. 그림 3에서는 낮은 SNR에서도 추정된 채널이 실제 채널에 근접하는 것을 알 수 있다.

그러나 추정된 채널은 실제 채널의 값뿐만 아니라 잡음에 의한 실제 채널 외의 값 또한 함께 갖게 된다. 그러므로 본 논문에서는 초기 추정된 채널 h'로부터 채널과 잡음을 분리해내기 위하여 웨이블릿 분해(wavelet decomposition)를 고려하였다.

그림 1의 수신단에서는 초기 채널 추정값 h'을 웨이블릿 분해한다. h'는 웨이블릿 분해를 통하여 신호의 저주파 성분(근사값)과 고주파 성분(세부값)으로 나누어진다. 이때 세부값은 고주파 잡음값에 해당하며, 이를 통하여 채널과 잡음을 분리해내기 위한 문턱값을 계산할 수 있다. 그러므로 문턱값에 의해 실제 채널 h에 근접한 h''을 추정할 수 있다. 일반적인 Haar 웨이블릿의 저주파와 고주파 응답은 다음과 같다[4].

$$L(n) = \frac{1}{2}(\delta[n] + \delta[n-1])$$
$$H(n) = \frac{1}{2}(\delta[n] - \delta[n-1]) \qquad (2)$$

여기서 $L(n)$은 근사값을 찾아내기 위한 저주파 시간 영역 응답, $H(n)$은 세부값을 찾아내기 위한 고주파 시간 영역 응답을 나타낸다.

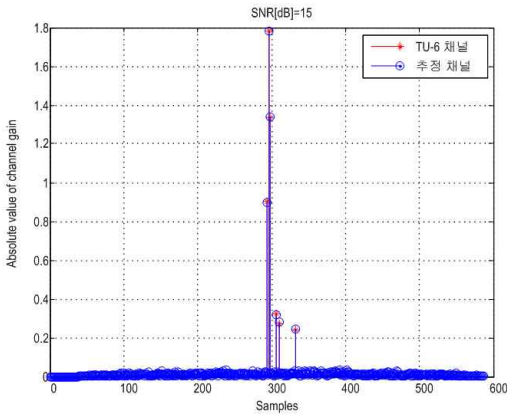

그림 3. 실제 채널과 추정 채널 비교

Fig 3. Comparison between the real channel and estimated channel

3. 결론

본 논문에서는 Golay 시퀀스를 이용한 시간영역 채널 추정 기법에 대하여 제안하였다. 이상적인 자기 상관 특성을 갖는 Golay 시퀀스를 이용한 시간영역 채널 추정 기법은 낮은 SNR에서도 높은 채널 추정 성능을 보이며, 채널 추정 시 수신단의 복잡도를 낮출 수 있다는 장점을 갖는다.

참 고 문 헌

[1] 라택수, 전용일, 이왕주, 박태준, "OFDM 시스템에서 채널 추정 기법", 전자통신동향분석 제 21권 제 6호 2006년 12월.

[2] C. Pan, L. Dai, and Z. Yang, "TDS-OFDM based HDTV transmission over fast fading channels," *IEEE Trans. Consumer Electron.*, vol. 59, no. 1, pp. 16 - 23, Feb. 2013.

[3] C. -C. Tseng and C. Liu. "Complementary Sets of Sequences," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT-18, no. 5, pp. 644 - 652, Sep. 1972.

[4] S. G. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 2, no. 7, Jul. 1989.