

OFDM 시스템의 시간 동기 오차를 극복하기 위한 Frequency Offset 추정 기법

곽기영*, 양태원, 김근후
(주)솔리드윈텍 연구소

*kykwak76@solidwt.co.kr

A Performance Analysis of Frequency Offset Estimation for OFDM System

Kwak Ki Young*, Yang Tae Won, Kim Geun Hoo
SOLiDWiNTECH R&D Center

요 약

본 논문은 Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM) 시스템에서 Cyclic Prefix(CP)를 이용하여 frequency offset(FO)을 추정 시 시간 동기 오차를 극복하기 위한 기법을 제안한다. 그리고 제안한 기법의 적합성을 타진하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 제시한다.

I. 서론

Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM) 시스템은 송수신기간 oscillator 오차 및 Doppler shift 에 의해 발생하는 frequency offset(FO)에 매우 민감하다. FO 는 Inter-Carrier Interference(ICI)를 유발하여 시스템의 성능을 열화시키는 요인이 된다. 그러므로 OFDM 시스템에서는 부반송파간의 직교성을 유지하기 위해서 frequency offset 에 대한 추정 및 보상이 반드시 필요하다.

본 논문에서는 CP 를 이용하여 FO 를 추정 시 시간 동기 오차를 극복하여 accuracy 를 유지하기 위한 기법을 제시하고 성능 분석을 수행한다.

II. 본론

A. OFDM 시스템 모델 및 FO 에 따른 SNR 열화

그림 1 은 OFDM 시스템 모델을 나타낸다. 송신기에서는 inverse discrete Fourier transform(IDFT) 수행 후 시간 영역의 신호에 CP 를 삽입하여 전송한다. 수신기에서는 무선채널을 통과하고 잡음 및 FO 가 포함된 신호가 수신된다. CP 제거 후 discrete Fourier transform(DFT)를 수행하면 주파수 영역에서의 신호를 얻을 수 있다[1].

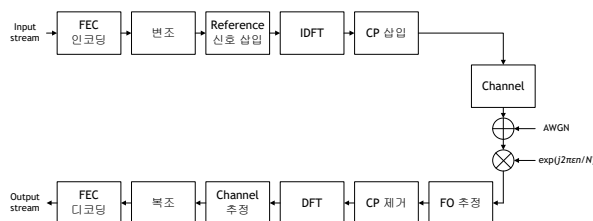


그림 1. OFDM 시스템 모델

[2]에 따르면, FO 의 영향으로 인한 Signal to Noise Ratio(SNR) 열화, D_{Freq} , 는 다음과 같이 근사화할 수 있다.

$$D_{Freq} \cong \frac{10}{3 \ln 10} (\pi \Delta f T)^2 \frac{E_b}{N_0}$$

여기서, Δf 는 FO, T 는 symbol 길이를 나타낸다.

B. 제안 FO 추정 기법

제안하는 FO 추정은 time domain 에서 OFDM symbol 의 CP 를 이용함에 있어서 시간 동기 오차를 극복하기 위한 기법이다. 그림 2 는 OFDM 시스템에서 임의의 OFDM symbol 에 대한 time domain 구조를 도식화 한다. 단, k 는 frame 내 임의의 OFDM symbol 인덱스, N 은 FFT 크기, L 은 CP 길이이다.

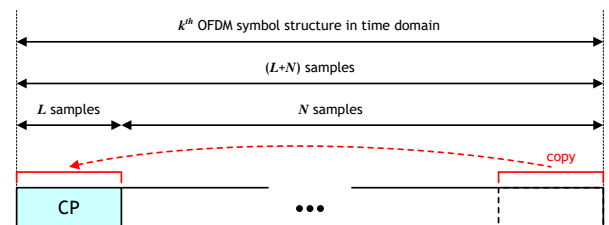


그림 2. Time domain 의 OFDM symbol 구조

그림 1 의 OFDM 시스템 모델에 따라 FO 가 포함된 수신 OFDM symbol 은 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$y_{k^{th_OFDMA_symbol}} = [y_{(k,-L)}, y_{(k,-L+1)}, \dots, y_{(k,-1)}, y_{(k,0)}, y_{(k,1)}, \dots, y_{(k,N-2)}, y_{(k,N-1)}]$$

그림 2 와 상기 식으로부터 CP 와 OFDM symbol 중 copy 구간과의 phase difference 를 구할 수 있고, k 번째 OFDM symbol 에서 추정된 FO 는 다음과 같다.

이때 CP 와 OFDM symbol 중 copy 구간과의 무선채널 특성이 유사함을 가정한다[3].

$$\Delta f_{k^{th_OFDM_symbol}} = \frac{1}{2\pi} \tan^{-1} \left\{ \sum_{l=0}^{L-1} y_{(k,N-l)} \cdot y_{(k,-l)}^* \right\}$$

이상적인 상황을 가정하면 수신기는 CP 의 시작을 시간 동기 위치로 판단하기 때문에 상기 수식과 같이 CP 구간의 모든 신호를 FO 추정 에 사용할 수 있다. 하지만, 실제 시스템에서는 무선채널 경로 상의 시간 delay 변경 등으로 인하여 앞서 기술한 가정이 유지되기 어렵고, 이로 인하여 시간 동기 오차가 발생하게 된다. 때로는 다양한 구현 이슈로 인하여 시간 동기 위치를 임의로 CP 구간 내의 설정하기도 한다. 이 때는 CP 구간의 모든 신호를 적용할 경우 FO 추정 성능에 열화가 발생한다. 이와 같은 시간 동기 오차를 극복하기 위하여 CP 구간과 OFDM symbol 내 copy 구간에서 특정 길이의 guard 를 지정하고, guard 이외의 수신 신호만을 사용하여 FO 를 추정하는데 사용한다. 그림 3 은 특정 길이의 guard, $L_{used,l}$ 와 $L_{used,r}$ 를 포함한 time domain 에서의 OFDM symbol 구조를 나타낸다. Guard 는 시간 delay 와 advance 모두를 고려할 수 있도록 CP 구간과 OFDM symbol 내 copy 구간의 측면에 각각 별도로 정의한다. 필요에 따라서는 두 guard 의 길이가 동일할 수도 있으며, 시간 delay 와 advance 중 하나만 고려할 시 하나의 guard 만을 정의할 수 있다.

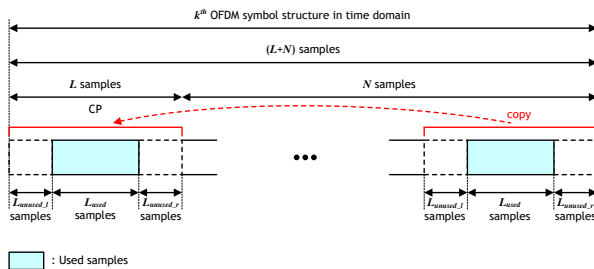


그림 3. Guard 를 정의한 time domain 의 OFDM symbol 구조

이때 k 번째 OFDM symbol 에서 추정된 FO 는 다음 수식에 의거하여 계산된다.

$$\Delta f_{k^{th_OFDM_symbol}} = \frac{1}{2\pi} \tan^{-1} \left\{ \sum_{l=L_{unused,r}}^{L_{unused,r}+L_{used}} y_{(k,N-l)} \cdot y_{(k,-l)}^* \right\}$$

잡음의 영향을 줄이기 위하여 frame 내 OFDM symbol 에 대한 average 를 수행할 수 있으며, 다음 수식과 같이 표현된다.

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi} \tan^{-1} \left\{ \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=L_{unused,r}}^{L_{unused,r}+L_{used}} y_{(k,N-l)} \cdot y_{(k,-l)}^* \right\}$$

단, K 는 frame 내 OFDM symbol 수이다.

C. 성능 분석

표 1 은 본 논문에서 제안하는 FO 추정 기법의 성능 분석을 위한 성능 분석 변수를 정리하였다.

표 1. 성능 분석 변수

Parameters	Description
Carrier Frequency	2.3GHz
Bandwidth	10MHz

DFT Size	1024
Number of CP	128
Number of $L_{unused,r}$	32
Number of $L_{unused,r}$	32
Propagation Condition	AWGN

그림 4 는 제안 FO 추정 기법을 적용 시 AWGN 환경에서 추정 오차를 1 개 OFDM symbol 과 10 개 OFDM symbol 에 따라 비교한다. 1 개 OFDM symbol 시에도 CNR 이 0dB 에서 최대 ± 1 Hz 로 안정적이며, 10 개 OFDM symbol 에 대한 average 수행 시 보다 안정적인 성능을 나타낸다.

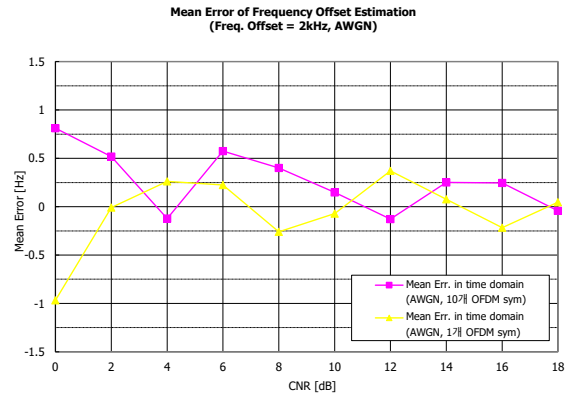


그림 4. AWGN 환경에서의 FO 추정 성능 비교

III. 결론

본 논문에서는 OFDM 시스템에서 CP 를 이용하여 FO 를 추정 시 시간 동기 오차를 극복하기 위한 기법을 제시하고 성능 분석을 수행하였다. 본 논문에서 분석한 결과를 기반으로 실제 시스템에서 시간 delay 와 advance 를 고려한 guard 구간 정의에 관한 연구를 추후 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] A. R. Khedkar, Prachi Admane, "Estimation And Reduction of CFO in OFDM System", 2015 ICIP, Dec 16-19, 2015.
- [2] Richard van Nee and Ramjee Prasad, "OFDM for wireless multimedia communication," Norwood, MA, USA: Artech House, 1st edition, 2000.
- [3] Abdul Gani Abshir, M.N. Abdullahi, Md. Abdus Samad, "A Comparative Study of Carrier Frequency Offset Estimation Techniques for OFDM Systems", IOSR-JECE, pp01-06, vol. 9, Issue 4, Ver. IV, Jul.-Aug. 2014.