

SUI 채널 환경에서 FTN 신호를 적용한 DVB-T2 수신 성능 분석

박명철, 한동석
경북대학교

mcpark@knu.ac.kr, dshan@knu.ac.kr

Reception Performance of DVB-T2 system with Faster-than Nyquist Signaling in SUI Channel

Myung Chul Park, Dong Seog Han
Kyungpook National University

요 약

본 논문은 FTN(faster-than-Nyquist) 신호가 적용된 DVB-T2 시스템의 동기 알고리즘에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 파일럿 기반의 동기 알고리즘은 FTN 신호의 간섭 영향으로 인하여 동기 성능의 열화가 발생한다. 기존의 DVB-T2 시스템을 기반으로 하여 FTN 변수에 따른 성능의 변화를 실험으로 분석하고 SUI 채널 환경에서의 성능을 분석하였다.

1. 서론

차세대 방송 시스템에서는 고갈되고 있는 주파수 자원에 대비하여 대용량 전송을 필요로 하는 서비스에 대한 요구를 만족하기 위하여 스펙트럼 효율을 향상시키는 기술을 필요로 한다[1]. 기존 방송 시스템은 심볼 간 간섭이 존재하지 않는 Nyquist 조건을 만족하여 스펙트럼 효율 향상에 한계가 존재한다[2]. 이를 극복하기 위하여 Nyquist 심볼을보다 빠르게 전송하여 데이터를 전송하는 FTN(Faster Than Nyquist) 송신 신호가 제안되었다[2]. 그리고 시간 영역에서의 FTN 신호 기법을 주파수 영역으로 확장한 다중 반송파 전송 기법(MFTN, multi-carrier FTN)이 제안되었다. 그러나 MFTN 시스템은 부반송파 사이의 직교성을 유지하지 못하기 때문에 ICI(Inter-Carrier Interference)가 파일럿에 영향을 미쳐 동기 성능이 열화되는 문제점을 가진다.

본 논문에서는 MFTN 전송 기법에서 부반송파 간의 간섭으로 인하여 기존의 동기 알고리즘에 미치는 영향과 수신 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 본론

본 장에서는 주파수 영역에서 FTN 이 적용된 다중 반송파 시스템에 대하여 살펴보고 파일럿 신호에 미치는 간섭 영향에 대하여 살펴본다. 기존 다중 반송파 시스템은 부반송파 간 간격이 Nyquist 조건을 만족하여 ICI 가 발생되지 않는다. 그러나 부반송파 간 간격을 압축하는 FTN 이 적용된 다중 반송파 시스템은 다음과 같다.

$$s(t) = \sqrt{E_s \phi} \sum_k \left[\sum_n a_{k,n} h(t-nT) \right] e^{(-j2\pi k \phi t / T)} \quad (1)$$

여기에서 $a_{k,n}$ 은 n 번 째 다중 반송파 심볼에서 k 번 째 부반송파를 통해 전송되는 심볼을 나타낸다. $h(t)$ 는 펄스 성형 필터의 임펄스 응답을 나타내고, ϕ 는 주파수 영역에서의 FTN 변수로 0 과 1 사이의 값을 가진다. T 는 다중반송파 심볼 길이를 나타낸다. 그리고 K 는 FFT(fast Fourier transform) 크기이고 $\sqrt{E_s \phi}$ 는 심볼의 에너지를 나타낸다. FTN 변수가 1 일 때는 부반송파 간 간격이 Nyquist 조건을 만족하여 ICI 가 발생되지 않아서 기존의 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 신호와 동일하고 1 보다 작은 경우에는 부반송파 간 간격이 Nyquist 조건을 만족하지 못하여 ICI 가 발생되지만, 신호가 압축되는 효과를 가지기 때문에 스펙트럼 효율이 향상된다. 최대 압축 비율은 Mazo 에 의해 정의된 0.802 이고 이는 펄스 성형 필터로 RRC(root raised cosine)이 사용되었을 때를 가정한다[2]. 그러므로 스펙트럼 효율은 기존 대비 최대 28% 향상된다.

스펙트럼 효율을 향상하기 위하여 FTN 변수를 1 보다 작게 설정이 되면 부반송파 간 간섭이 발생하여 동기를 수행하기 위한 파일럿 신호가 다음과 같이 왜곡된다.

$$I_C(k_p) = \sum_{k=0}^{k_p-1} a_k h((k_p - (k_p - k))\phi / T) + \sum_{k=k_p+1}^{K-1} a_k h((k_p - (k_p - k))\phi / T) \quad (2)$$

여기에서 $I_c(k_p)$ 는 k_p 번 째 부반송파에 있는 파일럿 신호가 주변 부반송파에 있는 데이터 심볼에 의하여 왜곡되는 간섭 양을 나타낸다. 이로 인하여 그림 1 과 같이 동기에 사용되는 파일럿 신호가 왜곡되어 수신기에서의 동기 성능에 영향을 미친다.

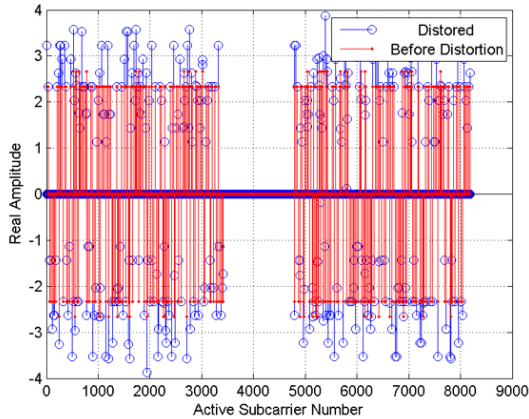


그림 1. 주파수 영역에서 FTN 신호를 적용하였을 때의 파일럿 신호 왜곡

왜곡된 파일럿 신호가 시간 동기에 미치는 영향을 분석하기 위하여 분산 파일럿의 위상 상관 값을 수신기에서 추정한다. FFT 시작점 및 샘플링 동기 옵셋으로 인하여 파일럿 신호의 상관값이 변화하여 다음과 같이 시간 옵셋을 추정한다[3].

$$\hat{\delta} = \frac{1}{2\pi \cdot \Delta k} \tan^{-1} \left\{ \frac{\sum_{k=1}^{M-1} \text{Im}(\varepsilon_{k+1} \varepsilon_k^*)}{\sum_{k=1}^{M-1} \text{Re}(\varepsilon_{k+1} \varepsilon_k^*)} \right\} \quad (3)$$

여기에서 ε_k 는 $P_{j,k} C_{j,k}^*$ 를 나타내고 $P_{j,k}$ 는 수신된 j 번 째 심볼에서 k 번 째 분산 파일럿을 나타낸다. 그리고 $C_{j,k}$ 는 알고 있는 j 번 째 심볼에서 k 번 째 분산 파일럿을 나타낸다. Δk 는 분산 파일럿 간의 간격을 나타낸다. 추정된 위상 상관값의 소수배는 샘플링 옵셋을 추정하고 정수배는 FFT 시작점을 추정한다.

파일럿 신호를 이용하여 동기 옵셋을 추정하는 기법은 알고 있는 파일럿 신호와 수신된 파일럿 신호의 상관값을 이용한다. 그러나 FTN에 의하여 파일럿 신호가 왜곡되어 수신기에서 심볼 타이밍 옵셋 추정 성능이 열화 된다. 이로 인하여 열화되는 수신 성능을 다음 장에서 실험을 통하여 분석하였다.

3. 실험

본 장에서는 유럽형 지상파 표준인 DVB-T2 시스템에 FTN을 적용하였고, SUI-1 채널 환경에서 심볼 타이밍 옵셋이

존재할 때의 수신 성능을 분석하였다[4]. 변조 레벨은 QPSK, FFT 크기는 8K, 보호구간 길이는 1/128, 그리고 파일럿 패턴은 PP7으로 OFDM 심볼을 구성하였다. 그리고 (64800, 1/2)의 LDPC 부호를 적용하였다. 그림 2는 주파수 FTN 변수를 0.802, 0.9, 1로 변화시켜 SNR에 따른 BER 수신 성능을 나타낸다. 샘플링 주파수 옵셋은 100 ppm(parts per million), 샘플링 위상 옵셋은 $\pi/4$ 으로 설정하였다.

그림 2에서 동기가 완벽한 상황에서 비트 오류율이 10^{-6} 일 때, 요구되는 SNR은 FTN 변수가 0.9에 대해서는 4.2 [dB]이고 0.802일 때는 7 [dB]이다. 그러나 동기 옵셋이 존재하고 심볼 타이밍 동기를 통해 추정하였을 때는 FTN 0.9에서 약 5 [dB]가 요구되고, 0.802에서 약 7.5 [dB]가 요구되어 동기가 완벽하였을 때보다 성능이 열화되는 것을 알 수 있다.

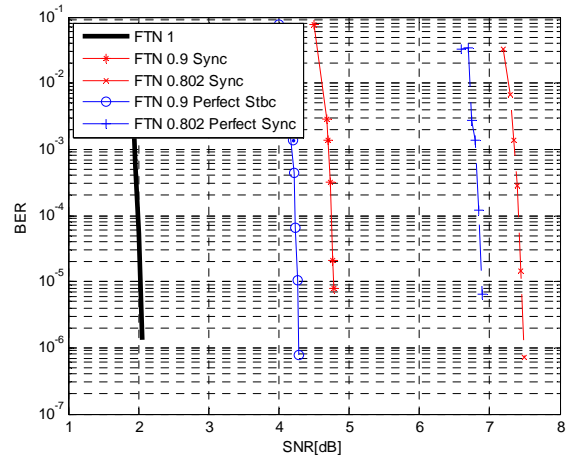


그림 2. FTN을 적용한 DVB-T2 시스템의 수신 성능

4. 결론

본 논문에서는 FTN이 적용된 DVB-T2 시스템에서 파일럿 신호가 왜곡되어 발생하는 동기 성능의 열화가 수신 성능에 미치는 영향에 대하여 SUI-1 채널 환경에서 모의 실험을 통해 분석하였다.

ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2016-H8601-16-1002)

참고 문헌

- [1] 모바일방송 활성화 방안 연구, 한국전파진흥원
- [2] F. Rusek and J. B. Anderson, "The two dimensional Mazo limit," in Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory, Adelaide, Australia, Sep. 2005, pp. 970- 974.
- [3] Timing phase estimator overcoming Rayleigh fading for OFDM systems, YJ Ryu & DS Han, Consumer Electronics, IEEE Transactions on 47 (3), 370-377
- [4] DVB-T2, ETSI EN 302 755 v1.1.1 (2009-09)