

## OFDM 심벌 타이밍 오프셋에 의한 Uncoded-BER 측정 결과

이재호, \*라상중, \*\*최동준, \*\*\*허남호

한국전자통신연구원, \*한국전자통신연구원, \*\*한국전자통신연구원, \*\*\*한국전자통신연구원  
jaeholee@etri.re.kr, \*sjna@etri.re.kr, \*\*djchoi@etri.re.kr, \*\*\*namho@etri.re.krMeasurement Results of Uncoded-BER  
with respect to OFDM Symbol Timing OffsetJae-Ho Lee, \*Sang-Jung Ra, \*\*Dong-Joon Choi, \*\*\*Nam-Ho Hur  
ETRI, \*ETRI, \*\*ETRI, \*\*\*ETRI

## 요 약

본 논문에서는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)시스템에서 OFDM 심벌 타이밍 오프셋에 따른 4096QAM 의 uncoded-BER(Bit Error Rate) 및 성상도를 측정하였다. uncoded-BER 은 수신기의 FEC(Forward Error Correction) 복호기 이전에서 측정된 BER 을 의미한다. 측정을 위해, OFDM 을 사용하는 DVB-C2(Digital Video Broadcasting for Cable Systems 2) 송수신기를 FPGA(Field Programmable Gate Array)를 이용하여 구현하였으며, OFDM 심벌의 CP(Cyclic Prefix)를 이용하여 OFDM 심벌 동기를 수행하였다. 일반적으로, OFDM 심벌 동기는 OFDM 심벌에서 CP 가 반복된다는 특성을 이용한 상관기를 사용한다. 또한, ISI(Inter Symbol Interference) 및 ICI(Inter Channel Interference)를 최소화하기 위해, 채널의 최대 지연시간을 고려하여 CP 내에서 OFDM 심벌 동기가 획득된다. 이럴 경우 수신기에서는 각 부반송파에 할당된 QAM 심벌들의 위상 회전이 발생하지만, 등화기에서 이러한 위상 회전이 보상된다. 부반송파에 할당된 파일럿 심벌들을 이용하여 채널 추정 및 보상을 하는 등화기에서, 파일럿 심벌들도 OFDM 심벌 타이밍 오프셋에 의해 위상회전이 발생하기 때문에 채널 추정 값에 영향을 미친다. 따라서, 본 논문에서는 4096QAM 과 ZF-LE(Zero Forcing Linear Equalizer)를 사용한 경우, OFDM 심벌 타이밍 오프셋에 따른 uncoded-BER 및 성상도의 측정 결과를 제시하였다.

## 1. 서론

최근 들어 통신 및 방송분야에서 데이터 속도가 증가함에 따라 데이터 심벌 주기가 줄어들었으며, 채널의 최대 지연 시간에 의한 ISI 가 문제가 되었다. 이러한 ISI 의 영향을 최소화 하기 위해, OFDM 을 사용하는 변복조방식이 널리 사용되었으며, OFDM 심벌에 CP 를 삽입함으로써 이러한 ISI 문제를 해결하였다 [1], [2].

OFDM 심벌에서 CP 가 반복되는 특성을 이용하여 수신기에서는 상관기를 이용하여 CP 내에서 OFDM 심벌 동기를 획득한다. 이러한 심벌 동기 방식은 부반송파에 할당된 QAM 심벌들의 위상회전을 발생시키며, 파일럿 심벌을 이용한 채널 추정에도 영향을 미치게 된다. 따라서, 본 논문에서는 OFDM 심벌 타이밍 오프셋에 의한 수신기의 성능인 uncoded-BER 및 성상도를 측정하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 OFDM 심벌 동기에서, OFDM 심벌 타이밍 오프셋에 의한 수신된 QAM 심벌의 위상 회전에 대해 살펴본 후, 3 절에서는 구현된 DVB-C2 의 uncoded-BER 및 성상도의 측정 결과에 대해 설명한다. 마지막으로, 4 절에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

## 2. OFDM 심벌 동기

OFDM 심벌 동기는 수신기에서 FFT 를 수행하기 위해서 필요하며, 상관기를 이용하여 OFDM 심벌 동기를 획득한다 [3], [4]. 그림 1 은 FFT 를 수행하기 위해 OFDM 심벌 동기에 따른 4 가지 종류의 FFT window 를 나타내고 있다.

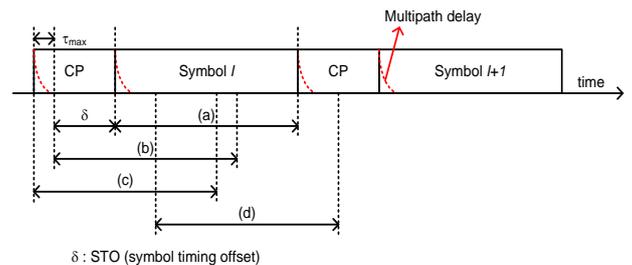


그림 1. OFDM 심벌 동기에 따른 FFT 윈도우

그림 1 에서  $\tau_{max}$  는 채널의 다중경로에 의한 최대 지연 시간이며,  $\delta$ 는 OFDM 심벌 타이밍 오프셋이다.

그림 1 의 (c)와 (d)와 같이 OFDM 심벌 동기를 획득하여 FFT 를 수행할 경우, 이전 심벌과 다음 심벌에 의한 ISI 및 ICI 가 발생하므로 수신기는 정상적으로 데이터를 수신하지 못하게 된다. 반면, 그림 1 의 (a)와 (b) 같이 OFDM 심벌 동기를 획득하여 FFT 를 수행할 경우에는 수신기는 정상적으로 데이터를 복조할 수 있다. 특히, 그림 1 의 (a)의 경우에는 완벽한 OFDM 심벌 동기가 이루어진 경우이다. 그림 1 의 (b)의 경우, 8만큼 OFDM 심벌 타이밍 옵셋이 발생하면 그림 2 와 같이 부분송파에 할당된 QAM 심벌들의 위상 회전이 발생한다.

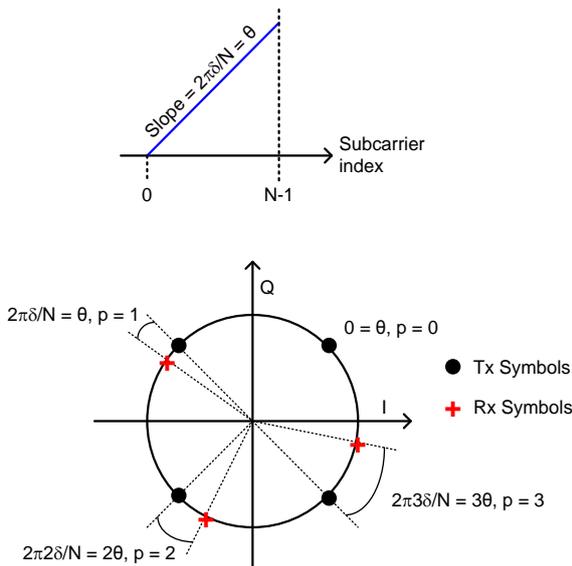


그림 2. OFDM 심벌 타이밍 옵셋에 의한 QAM 심벌의 위상 회전

그림 2 에서 N 은 N-point IFFT/FFT 를 의미하여, p 는 부분송파 index 이며, 까만 점은 송신 QAM 심벌이며, 빨간 십자모양은 수신된 QAM 심벌이다.

그림 2 에서 보면 OFDM 심벌 타이밍 옵셋에 비례하여 위상의 기울기가 변하며, 정상도에서 보면 수신된 QAM 심벌은 송신된 QAM 심벌에 비해 위상이 부분송파 index 와 OFDM 심벌 타이밍 옵셋에 비례하여 회전하게 된다. 이러한 위상 회전은 등화기에서 보상이 가능하다. 하지만, 이러한 OFDM 심벌 타이밍 옵셋에 의한 파일럿 심벌의 위상 회전은 등화기의 채널 추정에 영향을 미치며 수신기의 성능에도 영향이 미친다. 다음 절에서는 OFDM 심벌 타이밍 옵셋에 의한 uncoded-BER 및 정상도의 측정 결과에 대해 설명한다.

### 3. 측정결과

그림 3 은 측정을 위해 FPGA 로 구현된 DVB-C2 송수신기이다.

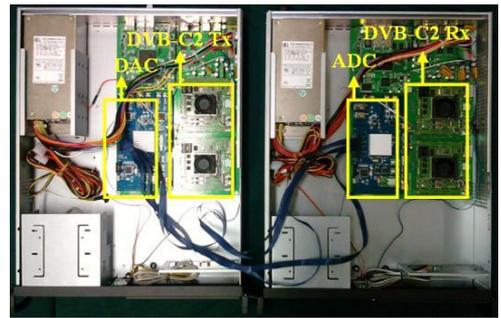


그림 3. 측정을 위해 구현된 DVB-C2 송수신기 보드

측정을 위해 4096QAM 과 4096 IFFT/FFT 그리고 64 개의 샘플로 구성된 CP 를 사용하였다. 송신기의 DAC 보드에서 44MHz IF 중심 주파수로 up-conversion 했으며, 수신기의 ADC 보드에서 기저대역 신호로 down-conversion 했다. 이 때 채널 파워는 -15dBm/6MHz 였다. 또한 수신기에서 등화기는 ZF-LE 를 사용하였다 [5].

그림 4 는 OFDM 심벌 타이밍 옵셋에 의한 uncoded-BER 이다.

OFDM 심벌 타이밍 옵셋	Uncoded-BER
32 샘플	3.761*E-4
4 샘플	2.837*E-4

그림 4. OFDM 심벌 타이밍 옵셋에 따른 Uncoded-BER

그림 4 에서 보면, 심벌 타이밍 옵셋이 줄어들수록 uncoded-BER 이 향상됨을 알 수 있다.

그림 5 와 그림 6 은 4096QAM 에 대해서, OFDM 심벌 타이밍 옵셋이 32 샘플인 경우와 4 샘플인 경우의 정상도를 확대한 그림이다.

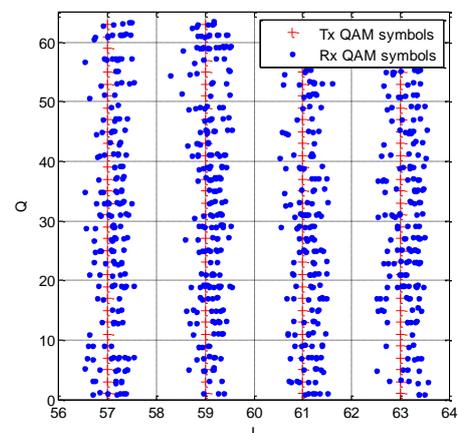


그림 5. OFDM 심벌 타이밍 옵셋이 32 샘플인 경우 수신된 4096QAM 의 정상도

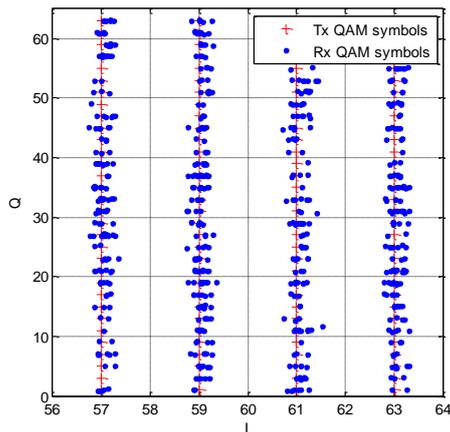


그림 6. OFDM 심벌 타이밍 옵셋이 4 샘플인 경우 수신된 4096QAM의 성상도

그림 5 와 그림 6 에서 빨간 색은 송신 QAM 심벌이고 파란 색은 수신 QAM 심벌이다. 그림 5 와 그림 6 을 비교해 보면, 심벌 타이밍 옵셋이 적을수록 수신된 QAM 심벌의 퍼진 정도가 적어짐을 알 수 있다. 따라서, uncoded-BER 도 감소하게 된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 4096QAM 을 사용하고 수신기에서 ZF-LE 를 사용할 경우, 심벌 타이밍 옵셋에 의한 uncoded-BER 및 성상도를 측정 한 결과를 제시하였다. 측정 결과, 심벌 타이밍 옵셋이 줄어들수록 uncoded-BER 도 향상됨을 확인하였으므로, OFDM 시스템에서 ISI 가 발생하지 않는 범위 내에서 가능한 더 적은 OFDM 심벌 타이밍 옵셋을 가지도록 OFDM 심벌 동기를 획득하는 것이 중요하다.

#### Acknowledgment

본 논문은 미래창조과학부 정보통신·방송기술개발사업 (과제번호 : 2014-044-053-001, Development of the Advanced Broadcasting System based on FTN)의 지원하에 이루어졌음.

#### References

- [1] Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital transmission system for cable systems (DVB-C2), DVB Document A138, April 2009.
- [2] Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation Guidelines for a second generation digital cable transmission system (DVB-C2), DVB Document A147, March 2010.
- [3] J. J. van de Beek, M. Sandell, M. Isaksson and P. O. Borjesson, "Low Complex Frame Synchronization in OFDM Systems," in Proc. IEEE Int. Conf. Universal Personal Commun., Nov. 1995, pp. 982-986.
- [4] Ming Lei, Minjian Zhao, Jie Zhong and Yunlong Cai, "ML Estimation of Time and Frequency Offset in OFDM Systems," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 45, no. 7, July 1997, pp. 1800-1805.
- [5] Sung Ik Park, Homin Eum, So Ra Park, Geon Kim, Yong-Tae Lee, Heung Mook Kim, and Wangrok Oh, "Novel Equalization On-Channel Repeater with Feedback Interference Canceller in Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting System," ETRI Journal, vol. 31, no. 4, August 2009, pp. 357-364.