

주파수 영역에서 DOCSIS3.1 FDX 시스템의 상하향 신호간 심볼 타이밍 오프셋으로 인한 성능 열화 개선 방법에 관한 연구

*류관웅 *정준영 **임한재

*한국전자통신연구원, **(주) 휴톤

*kwryu0730@etri.re.kr

A Study on the Improvement Method of Performance Degradation due to Symbol Timing Offset Between Transceiver Symbols in DOCSIS3.1 FDX System in Frequency Domain

*Ryu, Kwanwoong *Jung, Joon-Young **Im, Han-Jae

*Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), **Huton Co. Ltd

요약

최근 DOCSIS 3.1 시스템에서 주파수 이용효율향상을 위해 상향과 하향 신호를 동일대역으로 동시전송하는 DOCSIS3.1 FDX 시스템이 연구되고 있다. 동일대역을 사용할 경우 DOCSIS 3.1 FDX시스템의 하향 송신신호는 높은 전력을 가진 신호로 feedback되어 상향송신기로부터 전송된 낮은 전력의 상향 수신신호와 결합하여 상향수신기에 수신되어진다. 이러한 결합신호는 상향신호와 하향신호간의 심볼타이밍 오프셋이 정확하게 일치하지 않으면 상향신호 성능을 열화시키는 원인이 된다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 주파수영역에서 DOCSIS 3.1 FDX시스템의 상하향신호간 심볼 타이밍 오프셋으로 인한 성능 열화 개선 알고리즘을 제시하고 모의실험을 통해 성능열화를 개선할 수 있음을 보인다.

1. 서론

최근 무선시스템에 FDX(full duplex)기술을 적용한 연구가 활발히 이루어지고 있다 [1]-[2]. 또한 디지털 케이블 방송기술로 대표되는 DOCSIS 3.1 시스템에서도 FDX 기술 적용에 대한 연구가 진행되고 있다[3]-[4]. DOCSIS 3.1 시스템은 하이브리드 광섬유 동축 (HFC) 네트워크를 통해 10Gb/s 하향 스트림과 1Gb/s 상향 스트림 속도로 대화 형 네트워크를 지원할 수 있게 설계되었다. DOCSIS 3.1은 직교 주파수 분할 멀티플렉싱 (OFDM) 전송 방식과 최대 16,384 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)의 고차 변조방식을 사용한다. 또한 저밀도 패리티 검사 (LDPC)코드는 또한 시스템 성능을 향상시키는 데 사용된다. CMTS는 하향 192MHz 대역폭, CM은 상향 96MHz 대역폭을 활용하여 HFC 네트워크를 통해 멀티미디어 콘텐츠를 전송한다[3].

최근 스펙트럼 효율성을 향상시키기 위해 DOCSIS 3.1에서도 CMTS와 CM 간의 상호 작용 방법으로 전이중 기술을 채택하고 있다. 동일대역을 사용할 경우 DOCSIS 3.1 FDX시스템의 하향 송신신호는 높은 전력을 가진 신호로 feedback되어 상향송신기로부터 전송된 낮은 전력의 상향 수신신호와 결합하여 상향수신기에 수신되어진다. 이러한 결합신호는 상향신호와 하향신호간의 심볼 타이밍 오프셋이 정확하게 일치하지 않으면 상향신호의 성능이 열화된다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 주파수영역에서 DOCSIS 3.1 FDX시스템의 상하향신호간 심볼 타이밍 오프셋으로 인한 성

능 열화 개선 알고리즘을 제시하고 모의실험을 통해 성능열화를 개선할 수 있음을 보인다.

2. 시스템 모델

그림 2는 FDX방식의 DOCSIS 3.1 시스템의 블록다이어그램을 보여준다. CMTS 송신기의 하향 스트림 신호는 HPA를 통과 한 후 CM 수신기로 전송되고 CM의 송신기의 상향스트림 신호는 CMTS 수신기로 동시에 전송된다. 이 과정에서 고전력 피드백된 하향 스트림 신호와 상향스트림이 동시에 CMTS 수신기에 도달한다. CMTS 송신기의 분배기는 HPA 출력을 자기 간섭 추정기 기준 신호로 전송하고 수신된 SI 신호와 기준 신호의 차이 값을 이용하여 SI 신호의 왜곡 요소를 추정한다.

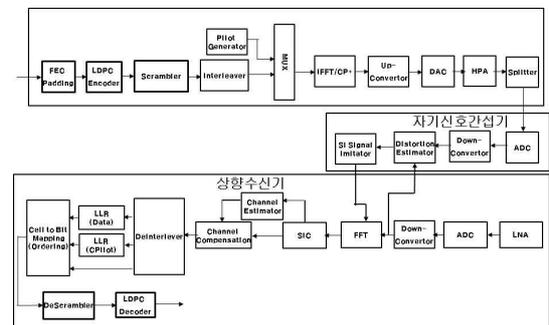


그림 1. FDX DOCSIS 3.1 블록다이어그램

SI 신호의 추정 된 왜곡 요소에 기초하여 자기 간섭 추정기는 추정 된 왜곡 요소 및 기준 신호를 사용하여 자기간섭 신호를 생성한다. 그리고 CMTS 수신기의 수신 신호에 대해 이를 기준으로 자기간섭제거가 수행한다.

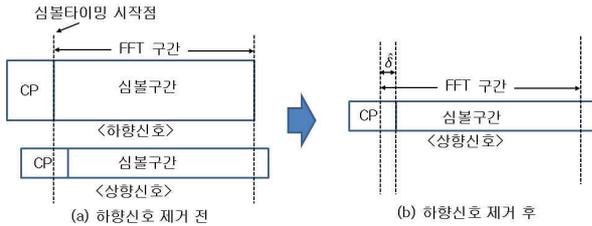


그림 2. 수신기의 하향신호 제거 후 FFT구간

CMTS 수신기에서 고출력 피드백된 하향신호를 기준으로 심볼 타이밍 시작점을 설정하게 되고 고출력 하향신호를 기준으로 설정된 심볼 타이밍 시작점은 그림 2와 같이 수신된 상향신호의 FFT구간의 심볼 타이밍 시작점에 적용되면 성능열화가 발생하게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 그림 2(b)의 하향신호 제거 후 볼 타이밍 옵셋 δ 추정하고 보완하는 방법을 제시 한다. 우선 FFT이후 송신심볼과 수신심볼 간의 평균 심볼각도 추정치 $\hat{\theta}$ 은 식(1)과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{\theta} = \text{mean} \left[\arg \left(\sum_{k=1}^{N-1} (X(k) Y(k))^* (X(k+1) Y(k+1)) \right) \right] \quad (1)$$

여기서 X(k)는 송신기의 IFFT 이전 k번째 OFDM 파일럿 심볼, Y(k)는 수신기의 FFT 이후 k번째 OFDM 파일럿 심볼을 의미한다.

상하향 신호간 심볼 타이밍 옵셋 추정치 $\hat{\delta}$ 는 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$\hat{\delta} = (\hat{\theta} \times 180 / \pi \times 4096) / 360 \quad (2)$$

식(2)로부터 구해진 추정치 $\hat{\delta}$ 을 기반으로 FFT 구간의 시작점을 변경하여 FFT함으로써 FDX DOCSIS 3.1시스템에 적용한다.

3. 모의 실험 결과

표 1은 모의실험을 위해 사용한 DOCSIS 3.1 파라미터를 보여준다.

표 1. DOCSIS3.1 상향시스템 시뮬레이션파라미터

Parameters	Value
Sampling Rate	102.4 MHz
# of Minislots	# of Body Minislots:236 # of Edge Minislot:1
# of OFDM Symbols	8
Channel Bandwidth	95MHz
IFFT/FFT Size	2048
Subcarrier Spacing	50kHz
FFT duration(Useful symbol duration)	20us
Maximum number of Active Subcarriers in Signal(96MHz channel)	1900
Number of Cyclic Prefix Samples	256(2.5us)
OFDM Symbol duration	22.5us
Modulation Method	1024QAM

본 논문에서는 모의실험을 위해 OFDM 심볼수는 8, 샘플링 속도는

102.4 MHz 부반송파 간격은 50kHz인 2K OFDM을 사용하였다.

그림 3은 송신 심볼과 수신 심볼간의 샘플링 지연에 따른 FFT이후 부반송들의 위상 차이를 보여준다. 샘플 지연이 증가함에 따라 FFT이후 부반송파 인덱스단의 위상회전이 증가함을 알 수 있다.

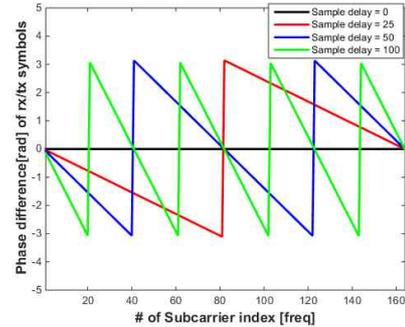
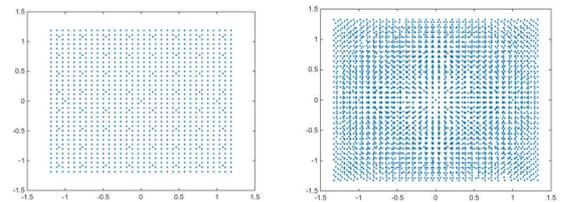


그림 3. FFT이후 샘플링 지연에 따른 송수신 부반송파간의 위상회전

그림 4는 1024 QAM을 사용했을 때 샘플지연이 없을 때와 샘플지연이 150일 때의 정상도를 보여 준다. 샘플지연이 없을 때에 비해 150일 때의 정상도의 위상회전에 의한 노이즈가 발생함을 알 수 있다.



(a) Sample delay=0 (b) Sample delay=150

그림 4. FFT이후 샘플링 지연에 따른 정상도

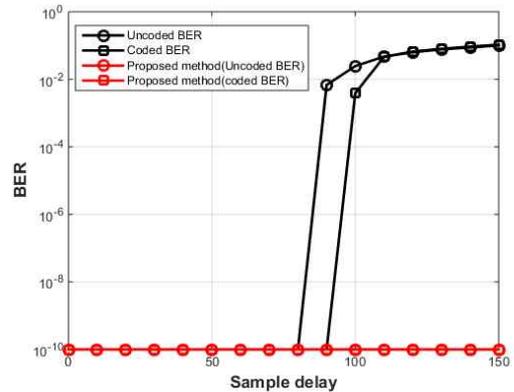


그림 5. 샘플링 지연을 추정 및 보완후 제안 알고리즘 성능

그림 5에서 FDX DOCSIS 3.1시스템 중 FFT후 하향신호를 제거한 후 샘플 지연에 따른 uncoded와 coded BER을 보여준다. 샘플지연은 증가시켜 성능 테스트를 하면 Uncoded는 80 샘플지연부터 성능 열화가 발생하고 coded는 90샘플 이후부터 성능열화가 나타난다. 그러나 제안된 알고리즘을 사용하여 샘플링 지연을 추정 및 보완하면 FDX DOCSIS 3.1 시스템의 uncoded와 coded의 BER 에러가 발생하지 않음을 알수있다. 그 이유는 제안된 알고리즘이 FFT이후 식(1)과 (2)를 사

용하여 샘플링 지연을 추정하고 FFT 구간의 심볼타이밍 시작점을 지연 샘플만큼 보완하였기 때문이다.

4. 결 론

본 논문에서는 FDX DOCSIS 3.1 수신기에서 FFT이후 하향신호 제거 후 상향신호와 하향신호간의 심볼타이밍 오프셋으로 인한 성능이 열화에 관한 문제를 연구하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 주파수영역에서 심볼 지연 오프셋을 추정하는 방법을 제시하고 제시된 방법이 이러한 문제를 효과적으로 해결할 수 있음을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 ICT R&D 우수처지원사업의 일환으로 수행하였음. [2019-0-01849, Edge Cloud 기반 가입자 근접형 원격 융합 전송 플랫폼 기술개발]

참 고 문 헌

- [1] X. Huang, K. Yang, F. Wu, and S. Leng, "Power control for full-duplex relay-enhanced cellular networks with QoS guarantees," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 4859-4869, 2017.
- [2] M. O. Al-Kadri, Y. Deng, A. Aijaz, and A. Nallanathan, "Full-duplex small cells for next generation heterogeneous cellular networks: A case study of outage and rate coverage analysis," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 8025-8038, 2017.
- [3] "Data-over-cable service interface specifications DOCSIS 3.1-physical layer specification," Cable Televis. Lab. (CableLabs), Louisville, CO, USA, Tech. Rep. CM-SP-PHYv3.1-I09-160602, Jun. 2016.
- [4] B. Hamzeh, M. Toy, Y. Fu, and J. Martin, "DOCSIS 3.1: Scaling broadband cable to gigabit speeds," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 3, pp. 108-113, Mar. 2015.