

## DOCSIS 3.0 상향 케이블 모뎀에서 주파수 오프셋 보상

이재호, \*최동준, \*\*허남호, \*\*\*김환우

한국전자통신연구원, \*한국전자통신연구원, \*\*한국전자통신연구원, \*\*\*충남대학교  
jaeholee@etri.re.kr, \*djchoi@etri.re.kr, \*\*namho@etri.re.kr, \*\*\*wwkim@cnu.ac.kr

## A Frequency Offset Compensation in DOCSIS 3.0 Upstream Cable Modem

Jaeho Lee, \*Dongjoon Choi, \*\*Namho Hur, \*\*\*Whanwoo Kim  
ETRI, \*ETRI, \*\*ETRI, \*\*\*Chungnam University

## 요 약

본 논문에서는 data over cable service interface specifications (DOCSIS) 3.0 상향 케이블 모뎀에서 프리앰블을 이용하여 주파수 오프셋을 추정하고 보상하는 알고리즘에 대해 설명한다. 또한 본 논문에서 설명한 알고리즘을 적용한 컴퓨터 모의실험 결과를 보여준다. 송수신기에서 사용하는 오실레이터의 주파수 차이에 의해 주파수 오프셋이 발생하며 이를 얼마나 정확히 추정하여 보상하는가에 의해 수신기의 성능이 좌우된다. DOCSIS 3.0 상향 케이블 모뎀의 패킷 구조는 수신기에서 타이밍 동기나 주파수 오프셋 보상 그리고 채널 등화를 용이하게 하기 위해 송수신기간에 알고 있는 시퀀스를 보내는 프리앰블과 사용자 데이터를 보내는 페이로드로 구성된다. 본 논문에서는 여러 개의 constant amplitude zero autocorrelation (CAZAC) 시퀀스를 프리앰블로 사용하였으며 이 CAZAC 시퀀스를 이용하여 주파수 오프셋을 추정하고 보상하였다.

## 1. 서론

케이블 모뎀 가입자들은 hybrid fiber coax (HFC)망을 통해 고속의 데이터를 송수신할 수 있도록 요구해 왔으며, DOCSIS 3.0 에서는 가입자들의 이러한 요구를 수용하기 위해 한 명의 케이블 가입자가 여러 개의 상향 채널을 결합하여 사용할 수 있도록 하였다 [1]. 즉, 한 명의 케이블 가입자는 고속으로 대용량의 데이터를 보낼 수 있게 되었다. DOCSIS 3.0 은 단일 주파수 변조 방식을 사용하며, 패킷 구조는 프리앰블과 페이로드로 구성된다. 프리앰블은 송수신기간의 알고 있는 시퀀스가 사용되며, 이 시퀀스는 케이블 모뎀을 구현하는 업체들에 의해서 설정되며, QPSK 로 매핑된다. 따라서 본 논문에서는 여러 개의 CAZAC 시퀀스를 이용하여 프리앰블을 구성하였다 [2]. 하나의 CAZAC 시퀀스는 32 비트로 이루어져 있기 때문에 16 개의 QPSK 심볼로 매핑된다. 사용자의 실제 데이터를 전송하는 페이로드는 QPSK, 16QAM 그리고 64QAM 중에 하나로 변조된다.

케이블 모뎀에서 사용되는 오실레이터의 주파수 차에 의해 주파수 오프셋이 발생한다. 이러한 주파수 오프셋 때문에, 전송되는 심벌들은 주파수 오프셋만큼 회전하게 된다. 따라서, 본 논문에서는 QPSK 로 매핑된 프리앰블을 이용하여 주파수 오프셋을 추정하고 보상한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 프리앰블을 이용하여 주파수 오프셋을 추정하고 보상하는 알고리즘과 그 알고리즘을 이용하여 컴퓨터 모의 실험한 결과에 대해 살펴본 후, 3 절에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

## 2. 주파수 오프셋 보상

그림 1 은 주파수 오프셋을 추정하고 보상하기 위한 전체 케이블 모뎀의 블록도이다.

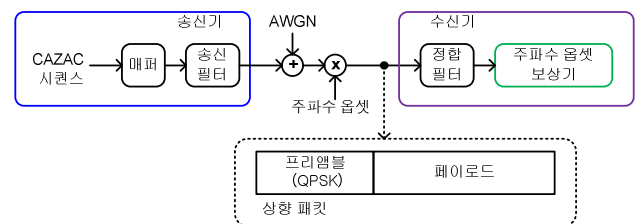


그림 1. 케이블 모뎀 블록도

그림 1 에서 송신필터와 정합필터는 roll-off factor 가 0.25 인 SRRC 필터를 사용하였으며, 주파수 오프셋 보상을 위해 프리앰블은 16 개의 QPSK 심볼의 4 배수인 80 개의 QPSK 심벌을 사용하였다. 즉, 프리앰블은 16 심벌의 주기성을 갖는다. 또한 페이로드는 800 개의 64QAM 심벌을 사용하였으며 심벌 속도는 5.12M symbols per sec 이다.

그림 2 는 주파수 오프셋을 추정하고 보상하는 블록도이다 [3].

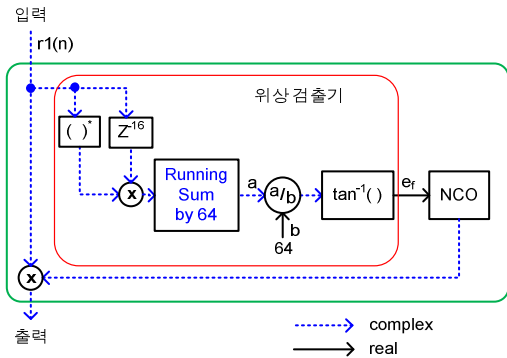


그림 2. 주파수 오프셋 보상기

그림 2 에서 보면 주파수 오프셋 보상기는 위상 검출기와 numerically-controlled oscillator (NCO)로 구성된다. 위상 검출기에서 사용된  $Z^{-16}$  은 16 개 심벌의 지연을 의미하며, 16 은 프리앰블의 주기에 해당한다. 위상 검출기에서 출력되는 추정된 주파수 오프셋( $e_f$ )은 식 (1)과 같다.

$$e_f = \tan^{-1} \left( \frac{(1/64) \times \text{imag} \left\{ \sum_{n=16}^{80} r1^*(n) \bullet r1(n-16) \right\}}{(1/64) \times \text{real} \left\{ \sum_{n=16}^{80} r1^*(n) \bullet r1(n-16) \right\}} \right) \quad (1)$$

주파수 오프셋을 심벌 속도의 1%인 51.2 kHz 를 인가했을 때,  $E_b/N_0$  에 따라 추정된 주파수 오프셋에 대한 에러 값은 그림 3 과 같다.

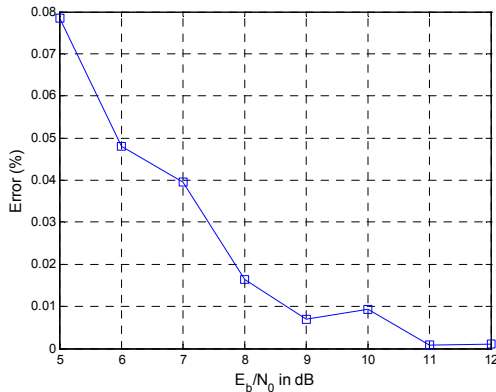


그림 3. 추정된 주파수 오프셋 오차

그림 3 에서 세로축은 인가된 주파수 오프셋과 추정된 주파수 오프셋에 대한 오차이며,  $E_b/N_0$  가 커질수록 그 오차는 작아짐을 알 수 있다.

그림 4 는 주파수 오프셋이 보상된 페이로드에 대한 각각의 변조 방식에 따른 bit error rate (BER) 곡선이다.

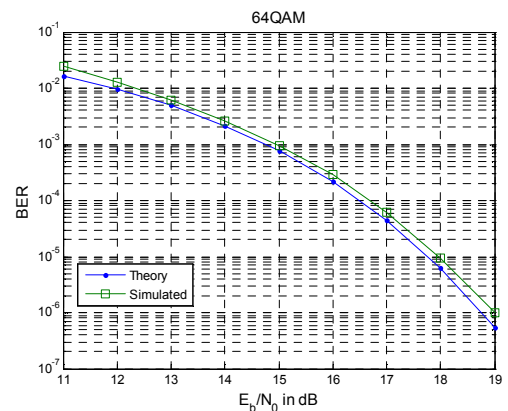
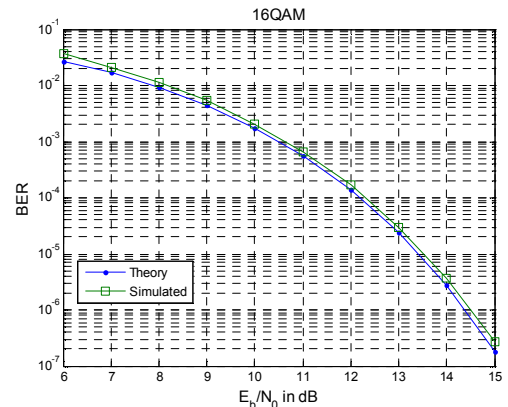
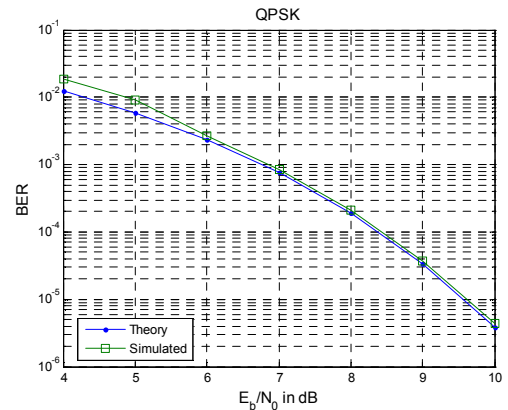


그림 4. 주파수 오프셋 보상에 따른 BER 성능

그림 4 에서 파란색 점은 AWGN 환경에서의 이론적인 BER 곡선이며 초록색 사각형은 컴퓨터 모의실험 결과이다. 그림 4 에서 보면 64QAM 인 경우가 BER 성능이 가장 안 좋으며, 64QAM 의 BER 이  $10^{-5}$  일 때 이론적인 값을 기준으로 대략 0.2dB 정도  $E_b/N_0$  손실이 발생함을 알 수 있다.

### 3. 결론

본 논문에서는 DOCSIS 3.0 상향 케이블 모델에서 CAZAC 시퀀스를 사용하는 프리앰블을 이용하여 주파수 오프셋을 추정하고 보상하는 알고리즘을 설명하였다. 또한 그 알고리즘을 이용하여 추정된 주파수 오프셋에 대한 컴퓨터 모의실험을 하였다. 컴퓨터 모의 실험결과  $E_b/N_0$  가 커질수록 추정된 주파수 오프셋 오차는 줄어들음을 확인하였으며 QAM 차수가 증가할수록 BER 성능은 저하됨을 확인하였다. 본

논문에서 제안한 주파수 옵셋을 보상하는 방식은 주기성을 갖는 프리앰블을 사용하는 다른 시스템에도 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

## References

- [1] Data Over Cable Service Interface Specifications  
DOCSIS 3.0 Physical Layer Specification, CableLabs,  
CM-SP-PHYv3.0-105-070803, Aug. 2007.
- [2] Youngje Kim, Yongtae Kim, Yongwook Lee, Wangrok  
Oh and Whanwoo Kim “ Synchronization and channel  
equalization for upstream cable modem” , IEEE  
International Symposium on Consumer Electronics  
2008, April 2008, pp. 1-4.
- [3] Timothy M. Schmidl and Donald C. Cox. , “ Robust  
Frequency and Timing Synchronization for OFDM” ,  
IEEE Trans. On Comm., Dec. 1997, Vol. 45, No. 12, pp.  
1613-1621