

대역 제한 필터를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템에 대한 Clock Recovery의 성능 분석

°안준배*, 양희진**, 오창현***, 조성준****

* (주)솔리테크 R&D팀, ** 한국항공대학교 대학원 정보통신공학과

*** 한국기술교육대학교 정보기술 공학부, **** 한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터 공학부
jbahn@st.co.kr, 74yhjin@mail.hangkong.ac.kr

Performance Analysis of Clock Recovery for OFDM/QPSK-DMR System Using Band Limited-Pulse Shaping Filter

°Jun-Bae Ahn*, Hee-Jin Yang**, Chang-Heon Oh***, Sung-Joon Cho****

* R&D Team. SOLiD Technologies, Inc.,

** Dept. of Inform. & Telecomm. Eng., Graduate School of Hankuk Aviation Univ.

*** School of Inform. Tech., Korea Univ. of Tech. and Edu.

**** School of Electronics, Telecomm. and Computer Eng. of Hankuk Aviation Univ.

E-mail : jbahn@st.co.kr, 74yhjin@mail.hangkong.ac.kr

Abstract

In this paper, we have proposed a clock recovery algorithm of OFDM/QPSK-DMR(Orthogonal Frequency Division Multiplexing/Quadrature Phase Shift Keying Modulation-Digital Microwave Radio)system using BL-PSF(Band Limited-Pulse Shaping Filter) and have analyzed the clock phase error variance performance of OFDM/QPSK and single carrier DMR systems. The existing OFDM/QPSK-DMR system using the windowing requires training sequence or CP(Cyclic Prefix) to synchronize a receiver clock frequency. Because there is no training sequence or CP(Cyclic Prefix) in our proposed DMR system, the proposed clock recovery algorithm is useful to the OFDM/QPSK-DMR system using BL-PSF. The simulation results confirm that the proposed clock recovery algorithm has the same clock phase error variance performance in a single carrier DMR system under AWGN(Additive White Gaussian Noise) environment.

Key words : Clock Recovery, DMR system, OFDM system, Band-limited Pulse Shaping Filter

I. 서론

급증하는 무선통신 서비스의 수요와 다양한 멀티미디어 서비스의 이용이 늘어남에 따라 무선통신 시스템은 대용량 고속 전송 서비스로 발전하게 되었다^[1]. 이에

따라 STS-1의 전송속도인 51.84 Mbps급의 DMR시스템이 장거리 및 단거리용으로 사용되고 있다. 기존의 DMR시스템은 Single Carrier방식을 사용하고 있으며 최근 들어 OFDM의 장점을 접목하기 방안이 꾸준히 연구되고 있다. 그리고 대부분 DMR시스템에 OFDM을

적용할 때 Waveform Shaping Filter로 Windowing을 사용하고 있다^[2]. 이러한 Windowing을 OFDM에 적용하기 위해서는 Zero Insertion, Pilot 삽입, Training Sequence, Cyclic Prefix등의 많은 부가적인 데이터가 필요하다. 그러나 DMR시스템은 사용할 수 있는 전송 대역이 극히 제한되어져 있기 때문에 많은 부가적인 데이터의 삽입은 전송효율을 감소시킨다. 따라서 이를 극복하기 위한 방안으로 BL-PSF를 사용한 OFDM/QPSK-DMR시스템이 연구되고 있다. 이러한 시스템은 부가되는 데이터가 전혀 존재하지 않는다는 것이 특징이며 Waveform Shaping Filter도 Windowing방식이 아닌 기존 Single Carrier에서 사용되는 대역제한 Raised Cosine Filter를 사용한다. 기존 OFDM방식에서는 Clock Recovery를 수행하기 위하여 Training Sequence를 이용하거나^{[3][4]}, CP(Cyclic Prefix)를 사용하거나^[5] 한Pilot을 이용한 것이 대부분이었으나^[6], 본 논문에서 사용되는 시스템은 이런 잉여 데이터가 없기 때문에 기존 OFDM방식의 Clock Recovery 알고리즘을 그대로 적용하는 것은 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 BL - PSF를 사용하는 OFDM/QPSK-DMR에 적합한 Non-decision directed 방식의 Clock Recovery 방법^[7]을 사용한다. 이 방식은 Single Carrier DMR시스템에서 사용되는 방법과 동일한 방식을 사용하기 때문에 구조가 간단하다. 논문의 구성은, 2장에서 대역제한필터를 사용한 DMR시스템의 특징을 살펴보고 3장에서는 Clock recovery에 대한 알고리즘을 설명하고 AWGN환경에서 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 Single Carrier와 OFDM/QPSK에 적용하여 성능을 비교 분석한다.

II. OFDM/QPSK-DMR SYSTEM

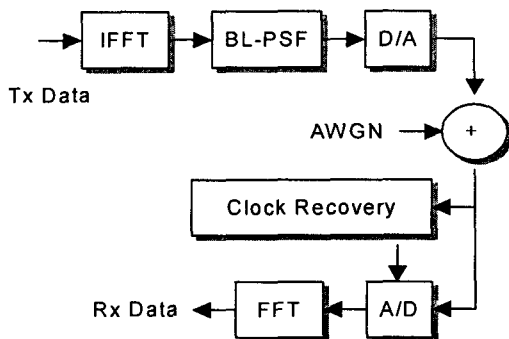


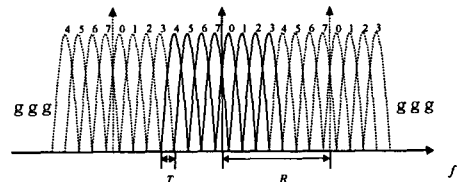
그림 1. 제안하는 Carrier Recovery 를 사용한 OFDM/QPSK-DMR시스템 블록도

그림 1은 BL-PSF와 제안된 Clock Recovery를 사용하는 OFDM/QPSK-DMR시스템의 블록도를 나타내었다.

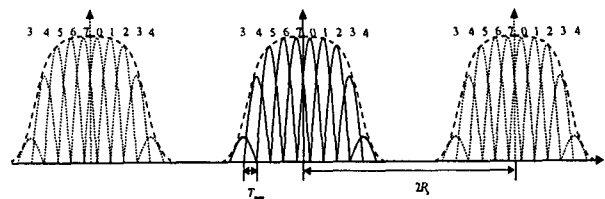
입력으로 들어가는 Tx Data는 QPSK방식으로 변조된 심볼 데이터이다. 이 데이터는 IFFT를 거쳐 OFDM으로 변조되어 진다. 이렇게 OFDM/QPSK로 변조되어진 신호는 BL-PSF를 통과해 대역제한 되어지고 D/A(Digital to Analog Converter)통해 Analog로 변환되어 전송 되어진다. 수신은 송신의 역 과정으로 진행되며 수신 안테나를 통해 수신된 Analog신호는 Clock Recovery에서 추출된 Clock을 사용하여 A/D변환되어 디지털 신호로 바뀐다. 이 디지털 신호는 FFT를 통과해 QPSK 신호로 복조되어 원 신호로 복원된다. 위 그림과 같이 기존 OFDM에서 사용된 Zero Insertion, Pilot 삽입, Training Sequence, Cyclic Prefix등은 사용하지 않았다. BL-PSF는 Single Carrier에서 사용된 Band-limited Raised Cosine Filter로 아래의 수식으로 정의된다.

$$h(t) = \frac{\sin(\pi t/T_s)}{\pi t/T_s} \frac{\cos(\alpha \pi t/T_s)}{1-4(\alpha t/T_s)^2} \quad (1)$$

여기서 T_s 는 25.92 Msps로 QPSK 변조된 심볼을이고 α 는 [0~1]사이의 값을 갖는 roll-off factor를 나타낸다.



(a)



(b)

그림 2. BL-PSF를 사용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템의 주파수 스펙트럼

- (a) IFFT 출력 신호에 대한 주파수 스펙트럼
- (b) BL-PSF 출력 신호에 대한 주파수 스펙트럼

아래의 그림 2는 8개의 Sub-carrier를 사용하는 OFDM방식에 대해서 IFFT만 통과한 데이터의 주파수 스펙트럼과 IFFT에서 BL-PSF 통과한 데이터의 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이다. Windowing 방식에서는 Shaping을 위해 Zero Insertion용도의 Sub Carrier를 필요로 한다. 하지만 BL-PSF를 사용할 경우 Windowing과는 달리 Shaping을 하기위해 Zero Insertion Sub Carrier를 사용하지 않아 Sub Carrier가 계속 이어짐을 볼 수 있다.

III. Clock Recovery 구조 및 Simulation

그림 3은 Single Carrier방식의 QPSK시스템에서 사용된 Clock Recovery 블록 구조로 그림 1과 비교할 때 송신단의 IFFT와 수신단의 FFT를 제외하곤 같은 구조임을 알 수 있다.

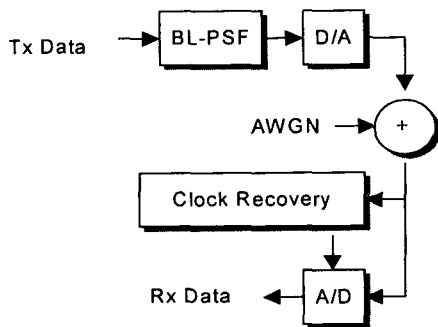


그림 3. 기존 QPSK에서 사용된 Clock Recovery 구조

그림4는 이 시스템에서 사용된 Clock Recovery 구조를 나타낸다⁵⁾. Non-Linear의 특성을 이용한 이 방식은 매우 유용하다. 입력되어진 Base Band 신호 $i(t)$ 와 $q(t)$ 는 미분과 자승과 BPF를 통하게 되면 Sample Rate의 주파수를 얻을 수 있다. 기존의 Single Carrier방식의 DMR 시스템은 이 방식을 사용하여 왔다. 그 이유는 대역제한 필터의 특성을 이용하여 Sample Rate의 주파수 성분을 얻어낼 수 있기 때문이다.

본 논문에서 사용되는 OFDM/QPSK - DMR 시스템도 Single Carrier - DMR시스템과 똑 같은 대역제한필터를 사용하였기 때문에 Clock Recovery가 가능하다. 기존의 OFDM에서는 Pulse Shaping Filter를 대역제한필터로 쓰지 않고 Windowing을 사용함으로써 이 Clock Recovery를 사용할 수 없다.

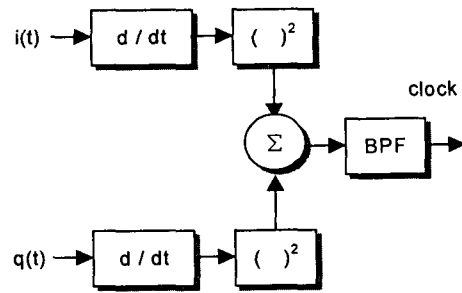


그림 4. Non-decision directed clock recovery

표 1에서는 기존 Windowing과 대역제한필터의 차이점을 T-domain과 F-Domain에서 나타내었다. 표1에서 보는 바와 같이 Windowing은 Time Limited Pulse Shaping 방식이다. 따라서 T-Domain에서는 Flat하지만 F-Domain에서는 Ripple성분이 존재하는 특징을 가지고 있다. 또한 Windowing방식에서는 T-Domain에서 Sample Rate의 주파수 성분이 존재하지 않기 때문에 Sample Rate의 주파수 성분을 얻는 것은 불가능하다. 하지만 BL-PSF는 Sample Rate마다 Raised Cosine Filter의 특성이 있어 그림4의 구조를 사용하면 Sample Rate의 주파수 성분을 얻어낼 수 있는 장점이 있다.

	T-Domain	F-Domain
Windowing		
BL-PSF		

표1. Windowing와 BL-PSF의 차이점

Simulation은 AWGN환경에서 Single Carrier QPSK - DMR시스템과 OFDM/QPSK - DMR 시스템과의 Clock Recovery의 clock phase error variance 특성을 비교하였다. Simulation 결과 SNR이 0에서 20dB 까지 변할 경우 QPSK - DMR시스템과 OFDM/QPSK - DMR 시스템은 거의 같은 Error Variance 분포를 갖게 되는 것을 볼 수 있다. 이로써 Windowing 대신 BL-PSF를 사용할 경우 Single Carrier에서 사용되어왔던 Non-decision directed 방식의 Clock Recovery를 그대로 사용할 수 있음을 보여준다.

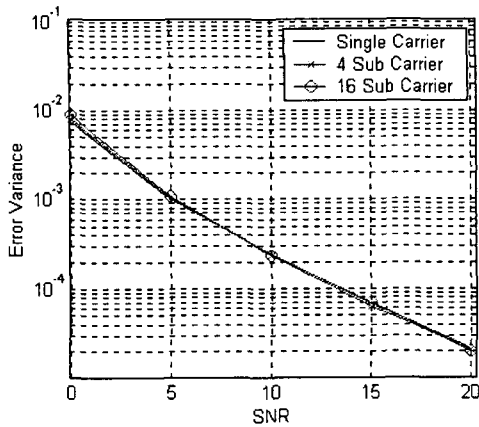


그림4. Clock Phase Error Variance 비교

IV. 결론

본 논문에서는 Windowing 대신에 BL-PSF를 사용한 OFDM/QPSK DMR 시스템의 Clock Recovery 방식을 제안 하였다. Windowing 방식에서는 Windowing 특성 상 Clock을 바로 추출 하기는 어려워 대부분 CP(Cyclic Prefix) 또는 Pilot을 이용한 Symbol Clock을 이용해 추출하기 때문에 구조가 복잡하였다. 본 논문에서는 기존의 Single Carrier QPSK - DMR 시스템에서 사용되어 왔던 Non-decision directed Clock Recovery 방식을 BL-PSF OFDM/QPSK - DMR 시스템에 사용함으로써 Single Carrier와 동일한 성능으로 사용 가능함을 시뮬레이션으로 증명하였다. DMR 시스템은 주파수대역폭이 제한되어 있고 채널의 특성상 전파 지연 특성이 심볼 전송속도보다 매우 작기 때문에 Guard Interval을 삽입하는 Windowing 방식은 적합하지 않다. 따라서 Single Carrier QPSK - DMR 시스템을 OFDM/QPSK - DMR 시스템으로 변경하고자 할 때 BL-PSF를 사용하는 것이 유용한 방법이다. 제안하는 Clock Recovery는 이 시스템에 Single Carrier와 같은 성능으로 적용됨을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

[1] L. M. Correia, and R. Prasad, "An overview of wireless broadband communications", *IEEE Comm. Mag.*, vol. 35, no. 1, pp. 56~61, Jan. 1997.
 [2] R. Li, G. Stette, "Waveform shaped MCM for digital microwave radio", *IEEE Conf.*, vol. 3,

pp. 1695~1699, Jun. 1995.

[3] T. M. Schmidl and D. C. Cox, "Robust frequency and timing synchronization for OFDM", *IEEE Trans. Comm.*, vol. 45, pp. 1613~1621, Dec. 1997.
 [4] H. Minn, M. Zeng, and V. K. Bhargava, "On Timing Offset Estimation for OFDM Systems", *IEEE Comm. letters*, vol. 4, no. 7, July 2000.
 [5] D. Matic, T. A. J. R. M. Coenen, F. C. Schoute, and R. Prasad, "OFDM timing synchronization : Possibilities and Limits to the usage of the Cyclic Prefix for Maximum Likelihood Estimation", *VTC'99*, pp. 668~672, 1999.
 [6] D. Landstrom, S.K. Wilson, J. J. van de Beek, P. Odling, and P. O. Borjesson, "Symbol time offset estimation in coherent OFDM systems", in *Proc. Int. Conf. on Communications*, Vancouver BC, Canada, pp. 500~505, June 1999.
 [7] Proakis, *Digital Communications*, McGraw Hill, pp. 347~352, 2001.