

대역 제한 필터를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템에 대한 Carrier 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.hankong.ac.kr

Performance Analysis of Carrier 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.hankong.ac.kr

Abstract

In this paper, we have proposed a carrier 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 carrier phase MSE(Mean Square Error) performance of OFDM/QPSK and single carrier DMR systems. The existing OFDM/QPSK-DMR system using windowing requires training sequence or CP(Cyclic Prefix) to synchronize a receiver carrier frequency. Because in the OFDM/QPSK-DMR system using BL-PSF there is no training sequence or CP(Cyclic Prefix), we also propose a carrier recovery useful to the system. The simulation results confirm that the proposed carrier recovery algorithm has the same carrier phase MSE(Mean Square Error) performance for the single carrier DMR system under AWGN(Additive White Gaussian Noise) environment.

Key words : Carrier 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 추가적인 데이터가 필요하다. 그러나 DMR시스템은 사용할 수 있는 전송 대역이 극히 제한되어져 있기 때문에 많은 추가적인 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 Carrier Recovery를 수행하기 위하여 Training Sequence를 이용하거나^[3], CP(Cyclic Prefix)를 사용한 것이 대부분이었으나^[4], 본 논문에서 사용되는 시스템은 이런 잉여 데이터가 없기 때문에 기존 OFDM방식의 Carrier Recovery 알고리즘을 그대로 적용하는 것은 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 BL-PSF를 사용하는 OFDM/QPSK-DMR에 적합한 Blind Carrier Recovery 방법을 사용하였다^[5]. 이 방식은 Single Carrier DMR시스템에서 사용되었던 방법과 동일한 Decision-directed carrier phase 추정방식을 사용하기 때문에 구조가 간단한 특징이 있다^[6]. 논문의 구성은, 2장에서 대역제한필터를 사용한 DMR시스템의 특징을 살펴보고 3장에서는 Carrier recovery에 대한 알고리즘을 설명하고 AWGN환경에서 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 Single Carrier와 OFDM/QPSK에 적용하여 성능을 비교분석하였다.

II. OFDM/QPSK-DMR SYSTEM

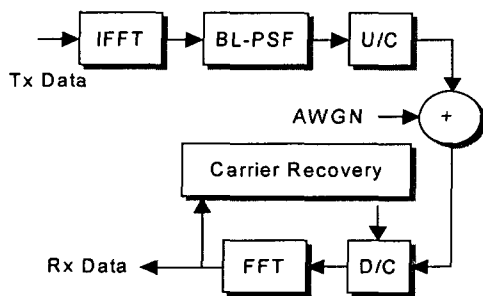


그림 1. 제안하는 Carrier Recovery 를 사용한 OFDM/QPSK-DMR시스템 블록도

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

입력으로 들어가는 Tx Data는 QPSK방식으로 변조된 심볼 데이터이다. 이 신호는 IFFT를 거쳐 OFDM 신호로 변조되어 지고 이렇게 OFDM변조되어 BL-PSF를 통과한 신호는 U/C(Up Converter)통해 RF신호로 변환되어 전송 되어진다. 수신은 송신의 역 과정으로 진행되며 수신 안테나를 통해 수신된 신호는 Carrier Recovery에 의해 생성된 Carrier를 사용하여 D/C(Down Converter)를 수행하여 base-band 대역으로 전송 대역을 낮춘 후 FFT를 통해 OFDM복조를 수행하고 QPSK 복조 과정을 통해 원 신호로 복원된다.

위 그림과 같이 기존 OFDM에서 사용된 Zero Insertion, Pilot 삽입, Training Sequence, Cyclic Prefix 등은 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 심볼율이고 α 는 [0~1]사이의 값을 갖는 roll-off factor를 나타낸다.

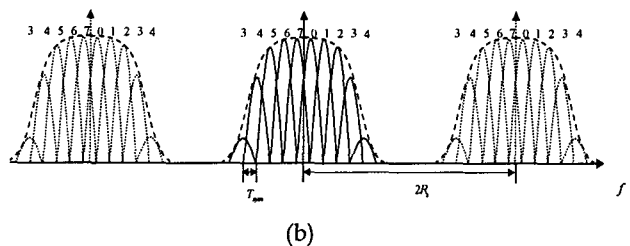
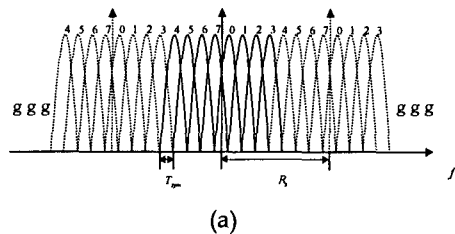


그림 2. BL-PSF를 사용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템의 주파수 스펙트럼

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

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. Carrier Recovery 구조 및 Simulation

그림 3은 Single Carrier방식의 QPSK시스템에서 사용된 Carrier Recovery 블록 구조와 BL-PSF를 사용하는 OFDM/QPSK-DMR시스템에 대한 Carrier Recovery 블록 구조를 나타낸다. 이러한 구조는 일반적으로 QPSK와 같은 위상 변조된 신호에 대해 사용되는 방식이다^[6].

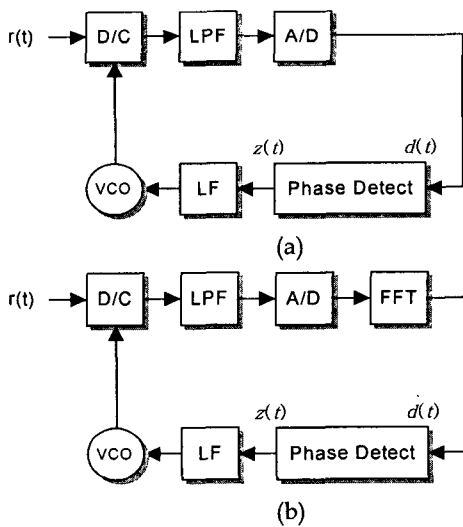


그림 3. Carrier Recovery 블록 구조 비교

- (a) 기존 QPSK에서 사용된 Carrier Recovery 구조
- (b) BL-PSF를 사용하는 OFDM/QPSK-DMR시스템의 Carrier Recovery 구조

위 그림에서도 알 수 있듯이 제안하는 Carrier Recovery 방식과 일반적인 QPSK에서 사용된 Carrier Recovery 방식의 구성 차이는 거의 없으며 단지 FFT블

록만 추가되었다. 기존의 Windowing을 사용하는 OFDM/QPSK 시스템은 Carrier Recovery를 수행하기 위해 Training Sequence를 사용하지만 본 논문에서 사용하는 DMR시스템은 Training Sequence가 없기 때문에 기존 OFDM방식의 Carrier Recovery 방식은 사용할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 Single Carrier에서 사용된 Carrier Recovery 방식을 그대로 적용하였다. 그림 4는 이러한 시스템에서 사용된 Carrier Recovery의 Phase Detector 구조를 나타내며, Phase Detector의 출력은 아래 수식과 같다.

$$z(t) = \text{sign}\{e_i(t) * d_i(t)\} - \text{sign}\{e_q(t) * d_q(t)\} \quad (2)$$

$$\text{단, } \text{sign}(x) = \frac{x}{|x|}$$

여기서 $d_i(t)$ 는 Phase Detector 입력으로 들어오는 복조된 I축 데이터를 나타내고 $d_q(t)$ 는 Q축 데이터를 나타낸다. $e_i(t)$ 는 복조할 때 수신된 값과 Decision된 값의 차이에 대한 I축 데이터를 의미하고 $e_q(t)$ 는 복조할 때 수신된 값과 Decision된 값의 차이에 대한 Q축 데이터를 의미한다.

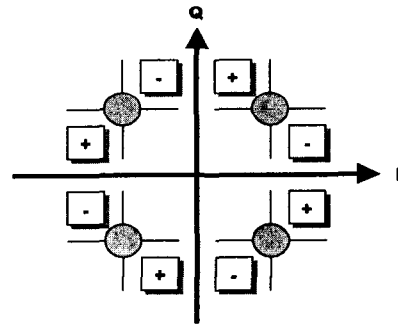


그림 4. Carrier Recovery의 Phase Detector 구조

Simulation에 의해 AWGN 채널 환경에서 Single Carrier DMR시스템의 Carrier Recovery MSE특성과 OFDM/QPSK시스템의 Carrier Recovery MSE특성을 비교하였다. 그림 5는 SNR에 대한 Carrier Phase Jitter에 대한 MSE로써 낮은 SNR에서는 성능이 Simulation 길이에 따라 조금씩 차이가 있지만 높은 SNR에 대해서는 Single Carrier와 OFDM/QPSK의 Carrier Recovery 특성은 거의 동일한 분포를 갖게 되는 것을 볼 수 있다. 따라서 Training Sequence가 없는 OFDM/QPSK-DMR시스템의 경우, Single Carrier DMR 시스템에서 사용되어 왔던 Decision - directed carrier phase 추정방식을 사용하여도 Single Carrier

때와 동일한 성능을 갖는 것을 알 수 있다.

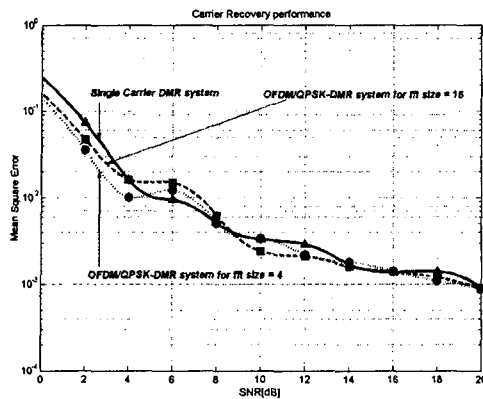


그림 5. Single Carrier와 BL-PSF를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR시스템의 Carrier Recovery 성능

IV. 결론

본 논문에서는 BL-PSF를 사용하는 OFDM / QPSK - DMR시스템에 대해서 Training Sequence 없이 Carrier Recovery를 수행할 수 있는 방안에 대해서 연구하였다.

기존의 OFDM방식에서는 Training Sequence 또는 CP를 사용하여 Carrier Recovery를 수행할 수 있지만 본 논문에서 사용한 BL-PSF를 사용하는 OFDM / QPSK - DMR시스템은 대역제한 때문에 이러한 추가적인 요소가 없다. 따라서 Single Carrier방식의 Carrier Recovery 알고리즘을 OFDM/QPSK방식에 적용함으로써 동일한 성능으로 사용 가능하다는 것을 시뮬레이션을 통해 증명하였다.

Single Carrier 방식의 DMR 시스템을 OFDM / QPSK - DMR시스템으로 확장하고자 할 때에도 기존 Carrier recovery방법을 계속 사용할 수 있고 Carrier Recovery의 성능도 Single Carrier와 유사하기 때문에 시스템 확장성에 있어서 용이한 장점이 있다.

참고 문헌

[1] L. M. Correia, 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] J. Li, G. Liu and G. B. Giannakis, "Carrier frequency offset estimation for OFDM-Based WLANs", *IEEE letter*, vol. 8, pp. 80~82, Mar. 2001.
 [4] N. Lashkarian, S. Kiaei, "Class of cyclic-based estimators for frequency-offset estimation of OFDM system", *IEEE Trans. Comm.*, vol. 48, no. 12, pp. 2139~2149, Dec. 2000.
 [5] K. Matheus, G. Frank, and P. Schramm, "Parameter optimization for decision directed frequency tracking for coherent OFDM", *Global Telecomm. Conf., 2000. GLOBECOM '00. IEEE*, vol. 3,27, no. 1, Dec. 2000.
 [6] Proakis, *Digital Communications*, McGraw Hill, pp. 347~352, 2001.