

Microwave 채널 환경에서 One-Tap 적응 등화기를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템의 성능 분석

°양희진^{*}, 안준배^{**}, 오창현^{***}, 조성준^{****}

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

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

Performance Analysis of OFDM/QPSK-DMR System Using One-Tap Adaptive Equalizer over the Microwave Channel

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

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

^{**}R&D Team. SOLiD Technologies, Inc.

^{***}School of Inform. Tech., Korea Univ. of Tech. and Edu.

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

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

Abstract

In this paper, we have analyzed the performance enhancement 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) over the microwave channel. For performance enhancement, we apply the one-tap adaptive equalizer for OFDM/QPSK-DMR system and compare with the BER performance of single carrier DMR system. Computer simulations confirm that the OFDM/QPSK-DMR system using one-tap adaptive equalizer has the same BER performance for the single carrier DMR system.

Key words : DMR system, OFDM, One-Tap Equalizer, Microwave channel

I. 서론

오늘날 다양한 정보매체의 발전으로 인해 무선 전송 시스템은 대용량에 적합한 디지털 시스템으로 진화하게 되었으며 고속의 대용량 전송 서비스에 적합한 OFDM방식이 발전하게 되었다^[1]. OFDM방식은 무선 채널 환경에서 고속 데이터 전송 시 발생할 수 있는 주파수 선택적 페이딩에 대한 심각한 간섭 영

향(ISI : Inter Symbol Interference)을 줄이기 위해 전송 대역폭을 여러 개의 부 채널로 분할하여 동시에 전송하는 시스템이다^[2]. 또한 Base-band 단에서 IFFT/FFT 사용으로 변·복조를 수행할 수 있으며, 수신단에 사용되는 등화기의 구조를 간단하게 구현 할 수 있는 구조적인 장점을 가지고 있다^[3]. 이러한 OFDM방식을 이용하는 DMR시스템은 대부분 Waveform Shaping기법으로 Windowing방식을 사용한다^[4]. 그러나 잉여 데이터 등

의 사용으로 전송효율이 떨어지는 문제점이 존재하므로 Microwave 장비에 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 BL-PSF를 사용하는 DMR시스템에 대한 성능을 분석하였다. 그리고 시스템의 성능을 개선하기 위해 OFDM특성을 이용한 One-Tap 적응 등화기를 수신단에 적용하여 Single Carrier DMR시스템의 성능과 비교하였다. 본 논문의 구성은, 2장에서 BL-PSF를 적용한 OFDM/QPSK-DMR시스템을 설명하고 3장에서는 One-Tap 적응 등화기 알고리즘을 살펴본다. 그리고 4장에서는 One -Tap 적응 등화기를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR시스템과 Single Carrier방식의 DMR시스템의 성능을 비교하였으며 마지막 5장에서는 성능분석결과를 바탕으로 결론을 맺는다.

II. OFDM/QPSK DMR시스템 모델

아래의 그림 1은 One-Tap 적응 등화기와 BL-PSF를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR시스템의 블록도를 나타낸다. 각 블록 처리 과정을 살펴보면, DMR시스템으로 입력되는 2진 비트열 A는 QPSK Mapping과정을 통해 변조된 후 직·병렬 변환기로 N개(IFFT 크기)의 심볼 열을 병렬로 변환시킨다. IFFT블록을 통해서 각 병렬 심볼에 부 반송파가 곱해지고 주파수 축 상에서는 스펙트럼 사이에 간섭이 발생하지 않도록 중첩하여 배치시킨다. 단, 전송효율과 대역효율을 향상시키기 위해 별도의 GI(Guard Interval)와 Cyclic Extension을 삽입하지 않았으며, ACI(Adjacent Channel Interference)를 감소시키기 위한 영 삽입(Zero Insertion)을 하지 않았기 때문에 시스템의 이용 효율을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 위와 같은 처리과정을 거친 디지털 신호는 D/A과정을 통해 무선 채널로 전송된다.

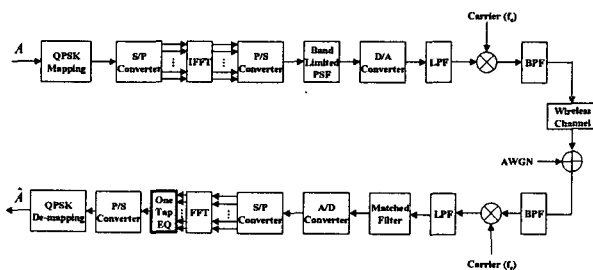


그림 1. One-Tap 적응 등화기를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템 블록도

위 시스템에서 사용된 BL-PSF는 스펙트럼 확산을

막아 전송대역을 제한하고 부호 간 간섭(ISI)을 경감시킬 수 있는 Raised Cosine Filter를 사용하였다.

아래의 그림 2는 8-Point IFFT출력신호에 대한 주파수 스펙트럼과 BL-PSF를 통과한 OFDM신호에 대한 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이다.

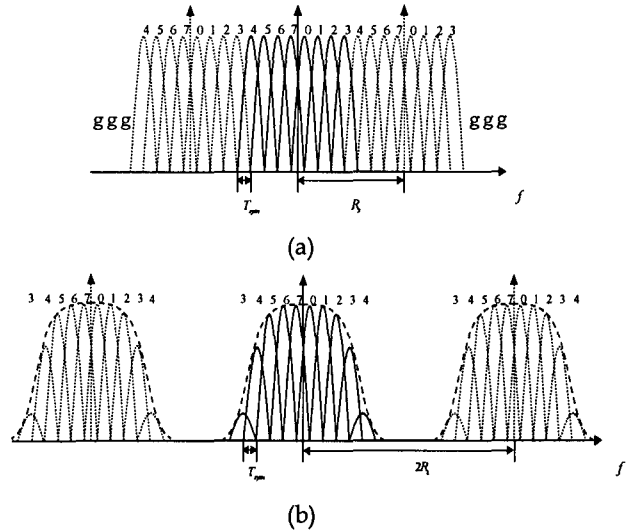


그림 2. BL-PSF를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템의 주파수 스펙트럼 (2 over sample)

- (a) IFFT 출력 신호의 주파수 스펙트럼
- (b) BL-PSF 출력 신호의 주파수 스펙트럼

수신은 송신의 역 과정으로 진행되며, 수신단에 적용된 One-Tap 적응 등화기는 FFT 출력의 각 Sub-carrier마다 할당되어 채널의 페이딩 왜곡 특성을 보상시켜준다. 이와 같은 OFDM/QPSK-DMR시스템 구조는 Single Carrier DMR시스템 구조와 유사하고 기존 Windowing기법을 사용하는 시스템보다 간단한 구조를 가지고 있다.

III. One-Tap 적응 등화기

그림 3은 LMS(Least Mean Square)기법을 적용하는 적응 등화 알고리즘을 나타낸다^[5]. 등화기의 최적계수벡터(w : optimum weight vector)를 구하기 위해서 반복적인(iterative procedure)기법을 주로 사용하며 아래의 그림과 같이 검파기를 통과한 데이터를 이용하여 결정 순환(decision feedback)과정을 통해 최적 계수벡터를 구한다^[6]. 그림 3에 대한 알고리즘 구성을 간략히 설명하면, y 는 입력 신호를 나타내고 y' 는 초기 weight가 곱해진 신호이다.

검파기를 통과한 신호 벡터 z 와 y' 차에 대한 에러 값(e)을 이용하여 weight를 가변 시킨다.

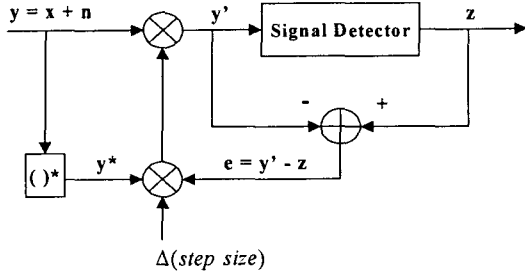


그림 3. LMS 알고리즘을 적용하는 적응 선형 등화기

위 블록 과정에 대한 자승 에러는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$e^2(t) = [y'(t) - z(t)]^2 = \left[y'(t) - \sum_{k=-M}^M w_k y(t - kT_s) \right]^2 \quad (1)$$

여기서 T_s 는 수신 심볼 time을 나타 k 는 수신 데이터의 심볼 수를 의미한다. 식 (1)에서 자승 에러의 최소 값을 구하기 위해 양변을 최적 계수 w_{opt} 에 대해 미분을 취하면 식 (2)와 같다.

$$\frac{de^2(t)}{dw_{opt}} = -2[y'(t) - \sum_k w_k y(t - kT_s)]y(t - nT) = -2e(t) \cdot y(t - nT) \quad (2)$$

최적 계수를 얻기 위한 알고리즘은 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

$$\frac{dw_n(t)}{dt} = -\Delta \frac{de^2(t)}{dw_n} \quad (3)$$

따라서, 다음과 같은 조건식을 통해 최적 계수를 산출할 수 있다.

$$\frac{dw_n(t)}{dt} = 2\Delta e(t)y(t - nT_s) \quad (4)$$

여기서, Δ 는 반복적 수행을 위한 step size로 최적 계수 벡터를 찾아가는 단위벡터이며 0보다 작은 값을 선택하여 사용한다. 반복 수행기법에서 Δ 의 값

이 클수록 기울기 벡터는 영(zero)으로 빠르게 수렴한다.

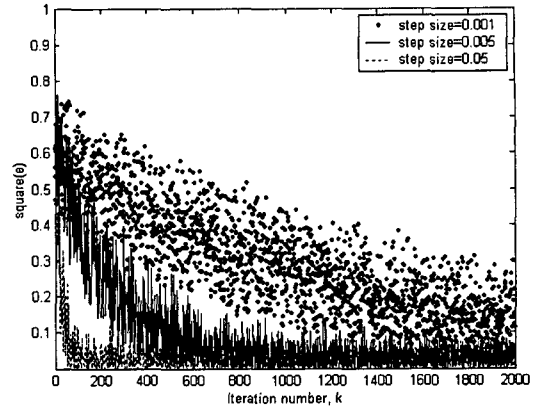


그림 4. Step Size에 따른 LMS의 수렴 특성

주파수 선택성 페이딩 환경에서 OFDM신호의 각 Sub-carrier들은 서로 다른 페이딩 영향을 받기 때문에 진폭과 위상의 변화가 각각 다른 특성이 존재한다. 따라서 각 Sub-carrier에 One-Tap 적응 등화기를 적용하여 채널 왜곡을 보상해야 한다. 아래의 그림 5는 Single Carrier DMR시스템에 One-Tap 적응 등화기를 적용한 경우의 성과도를 나타낸 것으로 결정 순환과정을 통해 페이딩에 대한 위상과 진폭 왜곡이 보상된다.

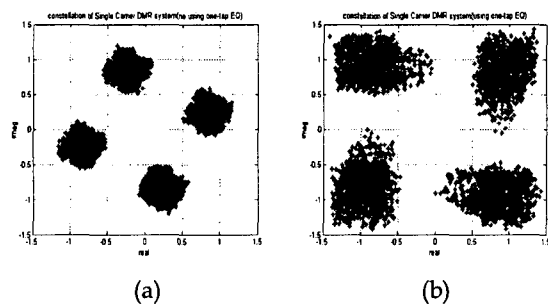


그림 5. One-Tap 적응 등화기를 적용하는 Single Carrier DMR시스템의 성과도 (a) 등화기 사용 전, (b) 등화기 사용 후

위 성과도에서 알 수 있듯이 One-Tap 적응 등화기는 초기 수렴 시간이 필요하며 step size의 가변으로 이 시간을 조절 할 수 있다. 아래의 그림 6은 One-Tap 적응 등화기를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR시스템 중 4 Sub-carrier에 대한 성과도이며 Notch fading이 진송 대역의 중심(center)에 발생한 경우이다.

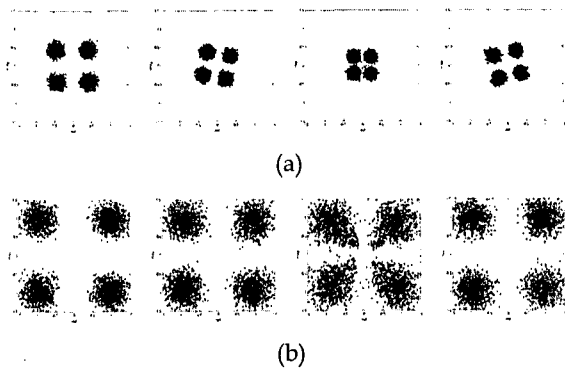


그림 6. One-Tap 적응 등화기를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR시스템의 성과점
(a) 등화기 사용 전, (b) 등화기 사용 후

IV. 실험 결과

본 논문에서는 Microwave 채널 환경으로 Two-ray 채널 모델을 이용하여 One-Tap 적응 등화기를 적용하는 Single Carrier 방식의 DMR시스템과 One-Tap 적응 등화기와 BL-PSF를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR시스템의 성능을 비교분석하였다.

OFDM/QPSK-DMR시스템은 STS-1급(51.84 Mbps)의 전송속도에 대해 QPSK변조를 하므로 대략 30 MHz의 전송대역폭을 갖는다. 아래의 그림 7은 Microwave 채널 특성을 나타낸 것이며, 주파수에 대한 진폭 특성과 Path delay time에 대한 군 지연(group delay)특성을 나타낸다¹⁷⁾.

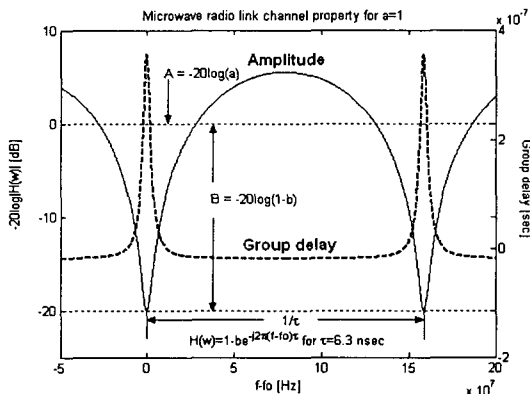


그림 7. Two-path 채널 모델의 주파수 응답 특성과 군 지연 특성

본 논문에서는 Microwave 채널의 페이딩 영향으로 인한 Clock offset에 대한 보상은 완벽하다고 가정한다. 또한 OFDM/QPSK-DMR 시스템에 One-Tap 적응

등화기를 적용하기 위해 전송 스펙트럼의 전체적인 Carrier offset에 대한 보상도 완벽하다고 가정한다.

아래의 그림 8은 BL-PSF를 사용하는 OFDM/QPSK-DMR시스템에 One-Tap 적응 등화기를 적용하지 않았을 경우에 대한 성능 곡선을 나타낸다.

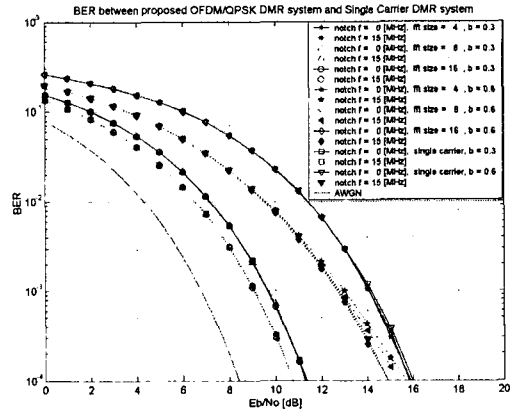


그림 8. OFDM/QPSK-DMR시스템과 Single Carrier DMR 시스템의 BER 성능 곡선의 비교

위 그림을 통해 알 수 있듯이 Fade Depth가 큰 경우 (b=0.6), Target BER이 10^{-4} 일 때 OFDM/QPSK-DMR시스템의 Sub-carrier 수가 많을수록 Single Carrier DMR시스템의 성능에 근접해진다. 이에 대해 OFDM/QPSK-DMR시스템의 성능을 개선하기 위해서 OFDM특성을 이용한 One-Tap 적응 등화기를 Single Carrier DMR시스템과 OFDM/QPSK-DMR시스템에 동일하게 적용하여 성능을 비교하였다.

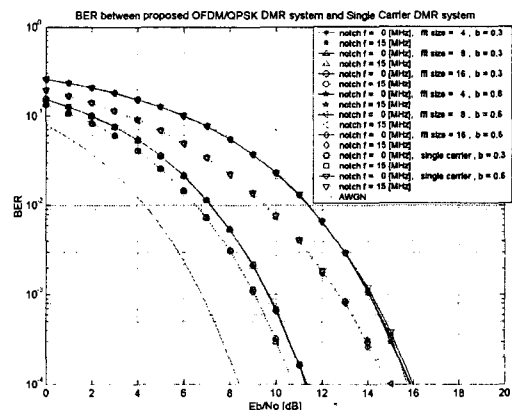


그림 9. One-Tap 적응 등화기를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR시스템과 Single Carrier DMR 시스템의 BER 성능 곡선의 비교

그림 9에서 Fade Depth가 클 경우 더 이상 Sub-carrier에 따른 성능 열화가 발생하는 않고 Single Carrier DMR시스템의 성능과 동일해 지는 것을 알 수 있다. 위 시뮬레이션 결과를 살펴보면, Single Carrier DMR시스템의 성능은 등화기를 적용하여도 성능이 개선되지 않는다. 이는 정확한 Carrier recovery에 의해 Carrier offset의 영향이 없을 경우, 페이딩은 진폭왜곡만 발생시키게 된다. 따라서 등화기를 적용하여 진폭 왜곡을 보상할 때, 보상하는 과정에서 잡음의 영향도 같이 커지기 때문에 Eb/No에 대한 시스템 성능의 개선 효과가 나타나지 않는다. 그러나 OFDM방식의 DMR시스템은 전송 대역에 대해 전체적인 Carrier offset을 보상하더라도 각 Sub-carrier의 페이딩 영향이 서로 다르기 때문에 위상과 진폭 왜곡이 그대로 존재하므로 OFDM/QPSK-DMR시스템에 One-Tap 적용 등화기를 적용하면 성능이 향상된다.

V. 결론

본 논문에서는 Microwave 채널 환경에서 BL-PSF를 사용하는 OFDM/QPSK DMR시스템에 One-Tap 적용 등화기를 적용하여 Single Carrier DMR시스템과 BER 성능을 비교 분석하였다. One-Tap 적용 등화기를 사용하지 않았을 경우에는 OFDM/QPSK DMR시스템의 Sub-carrier의 수가 많을수록 Single Carrier DMR시스템의 성능에 근접해 갔지만 등화기를 적용하였을 경우에는 Sub-carrier 수와 무관하게 Single Carrier DMR시스템과 동일한 성능을 갖는다. 따라서 BL-PSF를 사용하는 OFDM/QPSK-DMR시스템은 기존 Windowing 기법을 사용하는 DMR시스템보다 구현이 간단하고 전송효율이 좋으며 OFDM 특징을 이용한 One-Tap 적용 등화기를 적용하여 성능을 개선시킬 수 있는 구조적인 장점을 가지고 있다. 또한 Microwave 채널 환경에서 주파수 선택적 페이딩의 영향은 일정 Sub-carrier에만 영향을 주는 Notch 페이딩의 특징을 나타내므로 이러한 페이딩의 영향을 경감시키기 위해서 블록 코딩 등을 이용한다면 더욱 성능을 향상시킬 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] N. Morinaga, M. Nakagawa and R. Kohno, "New concepts and technologies for achieving highly reliable and high capacity multimedia wireless communications systems", *IEEE Comm. Mag.*, vol. 35, no. 1, pp. 34~40, Jan. 1997.
- [2] B. Hirosaki, "An orthogonally multiplexed QAM system using the discrete fourier transform", *IEEE Trans. Comm.*, vol. 29, pp. 982~989, Jul. 1981.
- [3] R. V. Lee, R. Prasad, *OFDM for Wireless Multimedia Communications*, Artech House, pp. 33~51, 2000.
- [4] R. Li, G. Stette, "Waveform shaped MCM for digital microwave radio", *IEEE Conf.*, vol. 3, pp. 1695~1699, Jun. 1995.
- [5] B. Widrow, S. D. Stearns, *Adaptive Signal Processing*, Prentice-Hall, pp. 99~114, 1985.
- [6] Y. Sun, L. Tong, "Channel equalization using one-tap DFE for wireless OFDM system with ICI and ISI", *Signal Processing Advances in Wireless Comm.*, SPAWC '99. 1999 2nd IEEE Workshop on, pp. 146~149, May 1999.
- [7] W. D. Rumlmer, "More on the multipath fading channel model", *IEEE Trans. Comm.*, vol. COM-29, no. 3, pp. 346~352, Mar. 1
- [1] N. Morinaga, M. Nakagawa and R. Kohno, "New concepts and technologies for achieving highly reliable and high capacity multimedia wireless communications systems", *IEEE Comm. Mag.*, vol.