

대역 제한 필터를 이용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템을 위한 클럭 복조기의 성능 분석

안준배* · 양희진* · 강희곡** · 오창현*** · 조성준****

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

Jun-Bae Ahn* · Hee-Jin Yang* · Hee-Gok Kang** · Chang-Heon Oh*** · Sung-Joon Cho****

요약

본 논문에서는 대역제한필터(BL-PSF)를 이용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템에 적합한 클럭 복원 알고리즘을 제안하고 OFDM/QPSK-DMR 시스템과 단일 주파수방식의 DMR 시스템의 클럭 위상에러분산을 비교분석하였다. 기존 Windowing을 적용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템은 수신 클럭의 위상을 동기 시키기 위해 훈련심볼 또는 CP(Cyclic Prefix)등의 잉여 데이터를 사용하나 본 논문의 DMR 시스템은 전송효율을 향상시키기 위해 잉여 데이터를 삽입하지 않고 단일 주파수방식의 클럭복조방식을 채택하였다. 이 방식은 간단하게 구현할 수 있는 장점을 갖는다. 제안한 클럭 복원 알고리즘은 AWGN 환경에서 단일 주파수방식의 DMR 시스템과 성능 열화 없이 동일한 클럭 위상 에러 분산값을 갖는 것을 시뮬레이션 결과로 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we have proposed a clock recovery algorithm of Orthogonal Frequency Division Multiplexing/Quadrature Phase Shift Keying Modulation-Digital Microwave Radio(OFDM/QPSK-DMR) system using Band Limited-Pulse Shaping Filter(BL-PSF) and compared the clock phase error variance of OFDM/QPSK-DMR system with that of single carrier DMR system. The OFDM/QPSK-DMR system using windowing method requires training sequence or Cyclic Prefix (CP) to synchronize the clock phase of received signal. But transmit efficient is increased in our proposed DMR system because of no using redundant data such as training sequence or CP. The proposed clock recovery algorithm is simply realized in 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 Additive White Gaussian Noise(AWGN) environment.

키워드

Clock Recovery, DMR System, OFDM System, Band-limited Pulse Shaping Filter

1. 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 DMR 시스템은 장거리 및 단거리용 전송링크 장비로 사용되고 있다. 기존 DMR 시스템은 단일 반송파방식을 사용하였으나 최근 들어

* (주)솔리테크

접수일자 : 2004. 2. 4

** (주)휴메이트

*** 한국기술교육대학교 정보기술공학부

**** 한국항공대학교 전자·정보·통신컴퓨터공학부

OFDM 방식의 장점을 접목하기 위한 방안이 꾸준히 연구되고 있다.

그리고 기존 DMR 시스템에 OFDM 방식을 적용할 경우, 펄스성형필터로 windowing 방식을 사용한다[2]. 이러한 windowing 방식을 적용한 OFDM 시스템의 클럭 복원을 위해서는 영삽입(ZI)이나 파일럿 심볼(PS)을 이용한 방식[6], 훈련 심볼(TS)를 이용한 방식[3][4] 그리고 cyclic prefix(CP)를 이용한 방식[5]등을 이용하기 때문에 많은 부가적인 데이터가 사용된다. 그러나 이러한 잉여 데이터의 사용은 수~수십 GHz의 반송파를 이용하는 DMR 시스템의 특성상 전송대역이 극히 제한되어 있기 때문에 전송효율을 감소시키는 문제점이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위한 방안으로 대역제한필터(BL-PSF)를 사용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템에 적합한 클럭 복원알고리즘을 연구하였다. 이에 기존 단일 반송파 방식에서 대역제한필터로 사용되는 raised cosine filter의 특성을 이용한 non-decision directed 방식[7]의 클럭 복원알고리즘을 OFDM/QPSK-DMR 시스템에 그대로 적용하여 성능을 분석하였다.

본 논문의 구성은, 2장에서 대역제한필터를 사용한 DMR 시스템의 특징을 살펴보고 3장에서는 클럭 복원에 대한 알고리즘에 대해 설명한다. 그리고 AWGN 환경에서 단일 반송파방식의 DMR 시스템과 OFDM/QPSK-DMR 시스템에 제안하는 클럭 복원 알고리즘을 적용하여 성능을 비교 분석한다. 마지막으로 성능분석결과를 토대로 결론을 맺는다.

II. OFDM/QPSK-DMR 시스템

그림 1은 대역제한필터와 제안하는 클럭 복원 블록을 적용한 OFDM/QPSK-DMR 시스템의 기저대역 블록도를 나타낸 것이다.

입력으로 들어가는 Tx 데이터는 QPSK 방식으로 변조된 심볼이다. 이 데이터는 IFFT를 거쳐 OFDM 신호로 변조된다. 이렇게 OFDM/QPSK로

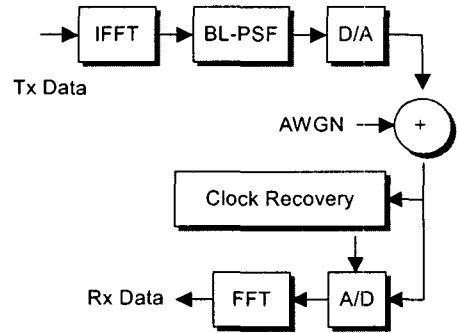


그림 1. 제안하는 클럭 복원알고리즘을 적용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템 블록도
Fig. 1 Block Diagram of OFDM/QPSK-DMR System Using the Proposed Clock Recovery Algorithm

변조된 신호는 대역제한필터를 통과해 전송대역이 제한되고 D/A(Digital to Analog) 변환과정을 통해 무선채널로 전송된다. 수신은 송신의 역과정으로 진행되며, 클럭 복원블록을 통하여 수신된 신호에서 클럭 정보를 추출한다. 이렇게 추출된 클럭을 이용하여 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꿔주는 A/D 변환과정을 수행한다. 이러한 디지털 신호는 FFT 과정과 QPSK demapping 과정을 통해 원 신호로 복원된다.

위 그림을 살펴보면 기존 OFDM 방식에서 사용된 TS나 CP 그리고 PS 등의 별도의 잉여 데이터는 사용하지 않았다. 따라서 시스템의 전송효율을 향상시킬 수 있는 장점을 갖는다. 그리고 위 블록에 사용된 대역제한필터로는 단일 반송파방식에서 사용된 Band-limited Raised Cosine Filter를 이용하였다. 아래의 수식 (1)은 대역제한필터의 시간 응답함수를 정의한 것이다.

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

여기서 T_s 는 QPSK 변조된 심볼 시간을 나타내고 α 는 [0-1]사이의 값을 갖는 roll-off factor를 나타낸다. 그림 2는 8개의 부 반송파를 사용하는 OFDM 방식에 대해서 IFFT 블록을 통과한 신호의 주파수 스펙트럼과 대역제한필터를 통과한 신호의 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이다.

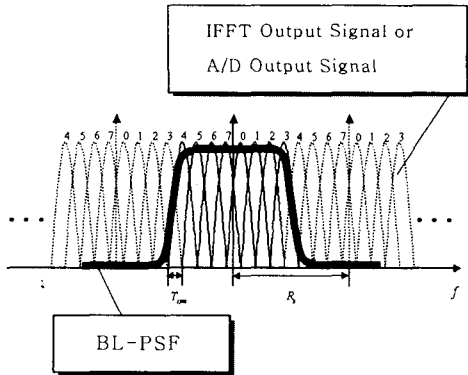


그림 2. 대역제한필터를 사용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템의 주파수 스펙트럼
Fig. 2 Frequency Spectrum of OFDM/QPSK-DMR System Using BL-PSF

기존 windowing 방식에서는 주파수의 보호 대역 (GB)을 위해 ZI를 필요로 한다. 그러나 대역제한필터를 사용할 경우 이러한 windowing 방식과는 달리 별도의 GB를 위한 영 삽입을 수행하지 않기 때문에 부반송파들이 연속적으로 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 스펙트럼이 연속적으로 나타나더라도 대역제한필터의 특성으로 인해 GB가 형성된다. 특히 전송 대역의 끝 부분은 복조 시 aliasing으로 인해 A/D 출력에서는 동일한 주파수 스펙트럼으로 합쳐서 전체적인 스펙트럼 분포가 일양하게 된다.

III. Clock Recovery 구조 및 Simulation

그림 3은 단일 반송파방식의 QPSK 시스템에서 사용된 클럭 복원블록 구조를 나타낸 것으로 그림 1과 비교할 때 송신단의 IFFT와 수신단의 FFT를 제외하고 서로 동일한 구조를 갖는다.

그림 4는 non-decision directed 방식의 클럭 복원 알고리즘 구조를 나타낸다[5]. 비선형특성을 이용한 이 방식은 대역제한필터를 적용하는 시스템에 매우 유용하다. 입력되어진 베이스밴드 신호 $i(t)$ 와 $q(t)$ 는 미분 및 자승연산 과정을 통해 합성되고 BPF를 통하게 되면 샘플링에 해당하는 주파수 성분을 얻을 수 있다. 기존 단일 반송파 방식의 DMR 시스템은 이와 같은 클럭 복원 알고리즘 방

식을 사용해왔다. 그 이유는 대역제한필터의 샘플링 주파수 마다 주기적으로 존재하는 리플 특성을 이용하여 샘플링에 해당하는 주파수 성분을 얻어 낼 수 있기 때문이다.

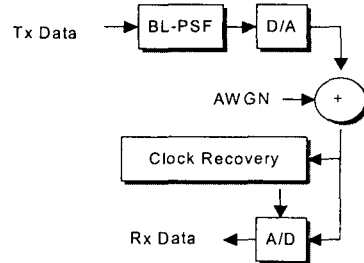


그림 3. 단일 주파수방식의 DMR 시스템에서 사용된 클럭 복조
Fig. 3 Clock Recovery of Single Carrier DMR System

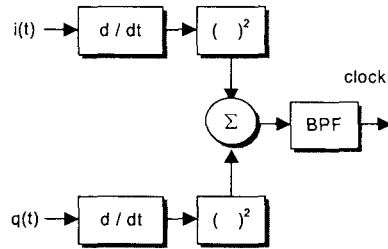


그림 4. Non-Decision Directed 방식의 클럭 복원 구조
Fig. 4 Block Diagram of Clock Recovery Using Non-Decision Directed

본 논문에서 사용되는 OFDM/QPSK-DMR 시스템도 단일 반송파 방식의 DMR 시스템과 동일한 대역제한필터를 사용하였기 때문에 동일한 클럭 복원 알고리즘을 적용할 수 있다. 그러나 기존 OFDM 방식은 펄스형필터를 대역제한필터로 쓰지 않고 windowing을 사용하기 때문에 이와 같은 클럭 복원 알고리즘을 적용할 수 없다.

표 1에서는 기존 windowing 방식과 대역제한필터의 차이점을 시간영역과 주파수영역에서 각각 나타내었다. 표 1에서 보는 바와 같이 windowing은 시간영역에서 펄스를 제한하는 방식이다. 따라서 시간 영역에서는 일양하지만 주파수 영역에서는 리플 성분이 존재하는 특징을 가지고 있다. 그리고 windowing방식에서는 시간 영역에서 샘플링의 주파수 성분이 존재하지 않기 때문에

샘플링에 해당하는 주파수 성분을 얻는 것은 불가능하다. 하지만 대역제한필터는 샘플 때마다 raised cosine filter의 특성이 있어 그림 4의 구조를 사용하면 샘플링의 주파수 성분을 얻어낼 수 있는 장점이 있다.

표1. Windowing와 BL-PSF의 특성 비교

Table. 1 Characteristic comparison between Windowing and BL-PSF

	T-Domain	F-Domain
Windowing		
BL-PSF		

본 논문은 단일 반송파방식의 DMR 시스템과 OFDM/QPSK-DMR 시스템의 부 반송파의 크기를 4FFT와 16FFT로 가변시키면서 클럭 복원 성능을 비교분석하였다. 그림 5에서 보는바와 같이 시뮬레이션 결과로 Eb/No를 0~20 dB까지 변경할 경우, 단일 반송파방식의 DMR시스템과 OFDM/QPSK-DMR 시스템은 거의 같은 에러 분산 특성을 갖는 것을 알 수 있다. 이 알고리즘은 OFDM 수신단에서 FFT를 수행하기 전에 사용되어 OFDM의 특징과 무관한 것을 알 수 있다.

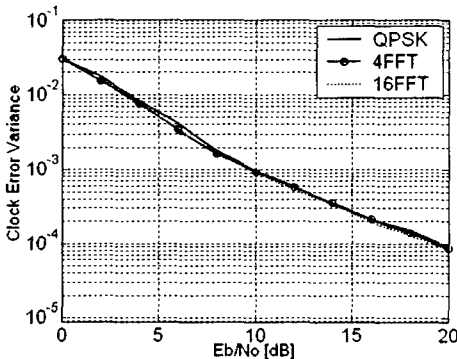


그림 5. 클럭 위상에러분산 비교

Fig. 5 Comparison of Clock Phase Error Variance

따라서 OFDM 시스템에 windowing 방식 대신 대역제한필터를 사용할 경우 단일 반송파방식에

서 사용되는 non-decision directed 방식의 클럭 복원 알고리즘을 그대로 사용할 수 있어 기존 단일 반송파방식의 DMR 시스템 보다 클럭 주파수 오프셋 특성에 민감한 OFDM/QPSK-DMR 시스템에도 성능의 열화 없이 단일 반송파방식의 DMR 시스템과 동일한 성능을 갖는다는 것을 알 수 있다.

IV. 결론

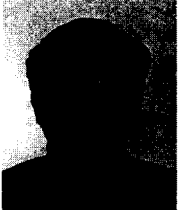
본 논문에서는 windowing 대신에 대역제한필터를 사용한 OFDM/QPSK-DMR 시스템의 클럭 복원 방식을 제안하였다. 기존 windowing 방식에서는 클럭을 시간축 상에서 곧 바로 추출하기 어려워 대부분 CP 또는 PS 를 이용한 심볼 클럭 알고리즘을 이용하기 때문에 동기구조가 매우 복잡하였다. 그러나 본 논문에서는 기존 단일 반송파방식의 DMR 시스템에서 사용되었던 non-decision directed 방식의 클럭 복원 알고리즘을 이용하여 대역제한필터를 적용하는 OFDM/QPSK-DMR 시스템에 적용함으로써 클럭 복원의 동기구조를 간단하게 구현할 수 있는 장점이 있다. 일반적으로 OFDM 시스템은 단일 반송파방식 시스템보다 클럭 주파수 오프셋에 민감하다고 알려졌으나 제안한 클럭 복원 알고리즘을 사용함으로써 단일 반송파방식과 성능의 열화 없이 동일한 성능을 갖는다는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

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, and 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.

저자 소개



안준배(Jun-Bae Ahn)

1991년 2월 : 한국항공대학 항공 전자공학(공학사)
 1993년 2월 : 한국항공대학 대학원 항공전자공학(공학석사)

2002년 2월 : 한국항공대학 대학원 항공통신정보공학 (박사 수료)
 1993년 1월 - 1999년 5월 : (주)성미전자 연구원
 1999년 5월 - 2002년 8월 : (주)아미텔 선임연구원
 2002년 8월 - 현재 : (주)솔리테크 개발팀장
 ※ 관심분야 : 무선통신, 이동통신, Microwave



양희진(Hee-Jin Yang)

2002년 2월 : 한국항공대학 항공 통신정보공학과(공학사)
 2004년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)

2003년 12월 - 현재 : (주)솔리테크 개발팀 연구원
 ※ 관심분야 : 무선통신, OFDM, Microwave



강희곡(Hee-Gok Kang)

1998년 2월 : 충북대학교 전자공학과 (공학사)
 1999년 8월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과(공학석사)

2002년 8월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신 정보 공학과 (공학박사)
 2002년 7월 - 현재 : (주) 휴메이트/과장
 ※ 관심분야 : 이동통신, 무선 LAN, 무선멀티미디어 통신



오창헌(Chang-Heon Oh)

1988년 2월 : 한국항공대학 항공 통신공학(공학사)
 1990년 2월 : 한국항공대학 대학원 항공통신정보공학(공학석사)

1996년 2월 : 한국항공대학 대학원 항공전자공학(공학박사)
 1990년 2월 - 1993년 9월 : 한진전자(주) 기술연구소 근무
 1993년 10월 - 1999년 2월 : 삼성전자(주) CDMA 개발팀 근무
 1999년 3월 - 현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 조교수
 ※ 관심분야 : 이동통신, 무선통신, 무선 멀티미디어 통신



조성준(Sung-Joon Cho)

1969년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과(공학사)
 1975년 2월 : 한양대학교 대학원 (공학석사)

1981년 3월 : 오사카대학 대학원(공학박사)
 1972년 8월~현재 : 한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터공학부 교수
 ※ 관심분야 : 이동통신, 무선통신, 환경전자공학, 이동무선인터넷.