
반송파간섭을 이용한 CI/OFDM 시스템 성능분석

박민규*, 이정재**

*,** 동의대학교 정보통신공학과

Performance Evaluation of CI/OFDM using Carrier Interferometry

Min Gyu Park*, Jeong Jae LEE**

*,** Dept. of Information & Communication Eng., Dongeui University

E-mail: jjlee@hyomin.dongueui.ac.kr

요 약

본 논문에서는 다중반송파간섭을 이용한 새로운 OFDM 방식인 CI/OFDM 통신시스템을 소개한다. CI/OFDM은 주파수영역에서 균일하게 나누어지는 N개의 반송파를 이용하지만 각각의 정보비트는 모든 반송파로 동시에 변조되는 시스템이다. 대표적인 주파수 선택성 페이딩 채널환경에서 CI/OFDM의 특성을 분석한다. 이 시스템의 주파수 다이버시티 효과는 통상적인 OFDM에 비하여 대역폭의 증가 없이 성능개선 효과가 뛰어남을 보인다.

Abstract

A new OFDM scheme, CI/OFDM using the interference of multiple carriers, is introduced. CI/OFDM system uses the N orthogonal carriers equally spaced in frequency, but each information bit is simultaneously modulated onto all carriers. The performance of CI/OFDM systems in a typical frequency selective fading channel environment, are analyzed. And it is shown that the frequency diversity benefits of this system result in significant performance enhancements relative to traditional OFDM system without causing bandwidth expansion.

키워드

OFDM, CI/OFDM, Frequency diversity, Frequency selective fading.

I. 서론

OFDM은 1950년과 1960년 사이에 개발되었으나 그동안 실용적이지 못하였다. DSP의 발달은 OFDM의 이용범위를 이동무선 데이터 통신, 디지털 방송 및 무선 ATM까지 그 이용범위를 확장시켰다[1-3]. 그러나 OFDM에서는 N비트가 직렬 변환기를 통과하며 이 비트들은 N개의 직교반송파를 통하여 동시에 변조되는 시스템으로 반송파에 대한 데이터율이 본래 데이터율 보다 N배 적어지게 된다. 따라서 반송파당 대역폭은 전 시스템 대역의 1/N이 되며 결과적으로 각 송신된 비트는 평탄한 페이딩의 영향을 받게된다. 따라서 OFDM은 깊은 페이딩의 영향하에서는 데이터 심볼을 완전하게 손실할 수 있다. 이것을 방지하기 위하여 부호화 OFDM이 소개되었으며 채널 부호화를 1/n 부호기에서 각 비트는 n개의 페이딩 효과를 줄일 수 있고 주파수 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 주파수반송파에 의하여 효과적으로 송신되지만 낮은 처리량에 따른 단점을 갖는다.

한편 R.Nassar, B.Natarajan 그리고 S.Shattil 등은 반송파 간섭(carrier interferometry: CI)을 이용하여 대역폭 확장 또는 데이터율의 감소 없이 OFDM의 성능을 증가할 수 있고 주파수 다이버시티 효과를 얻을 수 있는 CI/OFDM을 제안하였다[4-6].

본 논문에서는 새로운 OFDM 시스템인 CI/OFDM 시스템을 소개하고 그 성능을 분석하기 위하여 제 II장에서는 CI(carrier interferometry) 신호를 분석한다. 그리고 제 III장에서는 CI/OFDM의 송신기 구조를 OFDM과 비교 검토하고 채널모델에서 제안된 CI/OFDM 송신기 구성에 대하여 고려한다. 제 IV장에서는 시뮬레이션을 통한 성능분석을 수행하고 마지막으로 제 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 반송파 간섭신호(CI)

주파수 간격 $\Delta f = \frac{1}{T_s}$ 을 동일하게 갖는 N개의 반송파의 합으로 표현되는 확산 부호의 CI 필터 $h(t)$ 는 아래 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned}
 h(t) &= \sum_{i=0}^{N-1} A \cos(2\pi(i\Delta f)t) \\
 &= \left[A \frac{\sin(2\pi N/2\Delta f t)}{\sin(2\pi\Delta f/2 t)} \right] \cdot \cos[2\pi((N-1)/2\Delta f)t] \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서 A는 심볼에너지가 1이 되도록 하는 상수다. 이 신호는 주파수 $(N-1)/2\Delta f$ 를 갖는 정현파에 대응되며 진폭은 다음 식 (2)와 같다.

$$E(t) = \left| A \frac{\sin(2\pi N/2\Delta f t)}{\sin(2\pi\Delta f/2 t)} \right| \quad (2)$$

따라서 이 신호는 주기 $1/\Delta f$, 주엽의 구간은 $2/(N\Delta f)$ 그리고 (N-1)개의 부엽은 $1/(N\Delta f)$ 구간을 갖는다.

III. CI/OFDM 송신기 구조

그림 1은 대표적인 OFDM 송신기를 보여주며 N개의 병렬비트의 각각은 N 개의 반송파로 변조된다. 그리고 그림 2는 CI/OFDM의 송신기의 구조를 보여준다. 그림에서 알 수 있는바와 같이 OFDM과 달리 CI/OFDM에서는 각 비트가 N 반송파 전체로 구성되는 CI 필터에 의하여 동시에 변조된다. 그리고 동일한 반송파에 위치한 비트를 분리하기 위하여 비트 k의 반송파의 각각에 위상 오프셋을 넣는다.

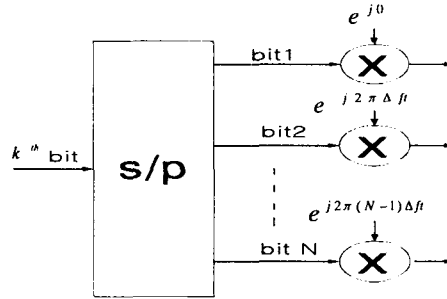


그림 1. OFDM 송신기.
Fig.1. OFDM transmitter.

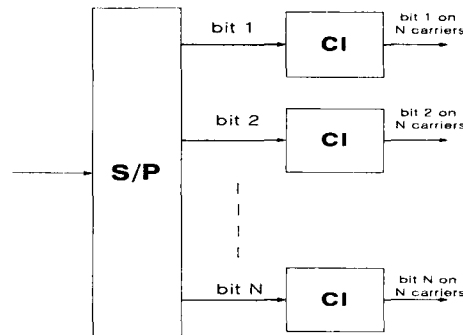


그림 2. CI/OFDM 송신기.
Fig.2. CI/OFDM transmitter.

그림 3은 CI 필터를 상세하게 세부적으로 표현한 것이며 $n\Delta\theta_k$ 는 비트 k에 대하여 n번째 반송파에 해당되는 위상 오프셋이다. 비트 k의 반송파에 적용되는 위상의 집합 ($e^{j0}, e^{j\Delta\theta_k}, \dots, e^{jn\Delta\theta_k}, e^{j(N-1)\Delta\theta_k}$)은 비트 k에 대한 고유부호로 이용되며 $\Delta\theta_k$ 의 선택은 N개의 송신된 비트의 직교성을 갖도록 설정되어야만 한다. CI/OFDM에서 위상 오프셋은 $\Delta\theta_k = (2\pi/N)k$ 로 직교성을 생성하는데 이용된다.

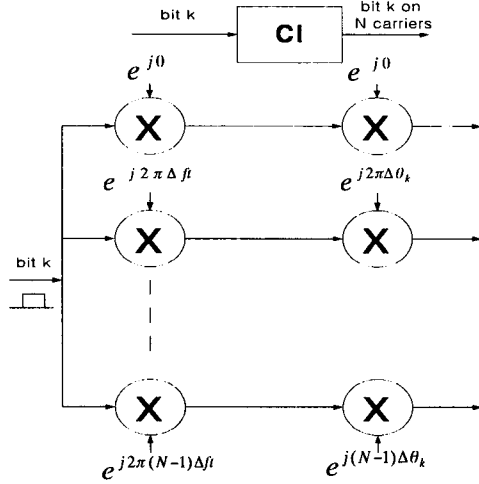


그림 3. CI 블록의 상세도.
Fig.3. The detail of CI block.

따라서 CI/OFDM 시스템에서 k번째 비트에 대한 송신된 신호는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$s_k(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} a_k \cos(2\pi f_c t + 2\pi f_i t + i\Delta\theta_k) \quad (3)$$

여기서 $a_k \in \{+1, -1\}$ 는 k번째 비트로서 동일한 확률을 갖는다. $f_i = i\Delta f$, 그리고 $\Delta f = 1/T_b$ (T_b 는 비트 간격)로서 반송파간 직교성을 갖게 한다. 그리고 $1/\sqrt{N}$ 은 단위 비트 에너지를 갖도록 한다. N 비트의 완전한 OFDM 블록에서 CI/OFDM 안의 송신된 신호는 아래 식 (4)로 표현된다.

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} a_k \cos(2\pi f_c t + 2\pi f_i t + i\Delta\theta_k) \quad (4)$$

이 송신된 신호는 AWGN과 다중경로 페이딩의 영향을 받는 채널을 통과하게 되며 수신신호 $r(t)$ 는 N개의 직교 반송파에 의하여 분리되고 k번째 비트의 위상 오프셋은 각 반송파로부터 제거되어 $\underline{r} = (r_0, r_1, \dots, r_{N-1})$ 로 된다. 여기서

$$r_i = \frac{1}{\sqrt{N}} a_i a_k + \sum_{j=0, j \neq k}^{N-1} \frac{1}{\sqrt{N}} a_j a_k \cos(i(\Delta\theta_k - \Delta\theta_j)) + n_i \quad (5)$$

이며 식 (5)에서 두 번째 항은 k번째 비트에서 다른 (N-1)비트에 의한 비트간 간섭(inter-bit-interference)을 나타낸다.

그림 4는 k번째 비트를 검출하기 위한 CI/OFDM의 수신기 구조를 보여 준다.

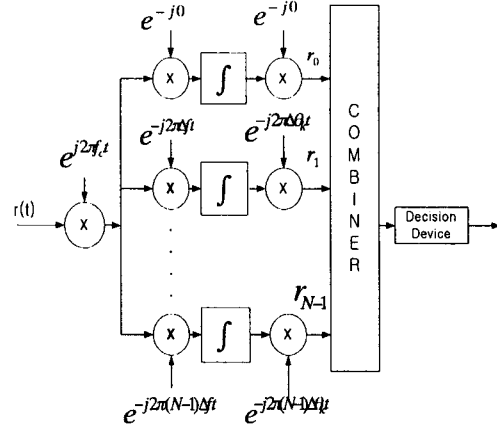


그림 4. CI/OFDM 수신기 구조.
Fig.4. The structure of CI/OFDM receiver.

AWGN 채널에서는 $\Delta\theta_k$ 의 적절한 선택에 의하여 생성되는 비트간의 직교성에 기인하여 합을 0으로 할 수 있다. 그러나 주파수선택성 채널에서는 r_i 로부터 비트를 재 생성할 수 있는 결합방식이 적용되어야 한다. 이를 위하여 MMSEC (minimum mean square error combining)가 내부 비트간 간섭을 최소화하며 좋은 주파수다이버시티 이득을 얻을 수 있다고 알려져 있으며 이로부터 얻어지는 결정변수는 추정정보비트를 출력하는 결정장치로 들어가게 된다.

IV. 시뮬레이션

시뮬레이션은 SystemView ver.5.0 프로그램을 이용하여 수행하였다. 그림 5는 시뮬레이션을 위한 블록 도를 보여준다. 시뮬레이션에서 CI의 반송파의 수 $N=16$ 으로 하고 다중 경로 채널의 수는 8개로 채택하였으며 최대 지연 시간은 가변 할 수 있도록 하였다. 채널 잡음은 AWGN으로 설정하였다. 그리고 이용자의 수는 6명으로 한정하였다. 이 시뮬레이션에서 주 반송파에 따른 송수신은 완전한 동기를 가정하여 수행하였다. 그림 6은 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림 6에서 CI/OFDM의 경우 동일한 10^{-3} 의 BER에서 OFDM에 비하여 대략 SNR 6dB 이상의 성능 개선효과가 있음을 알 수 있다.

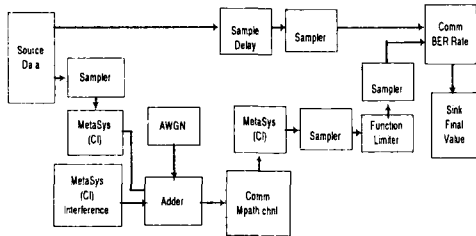


그림 5 시뮬레이션을 위한 블록도.
Fig.5. The block diagram for simulation.

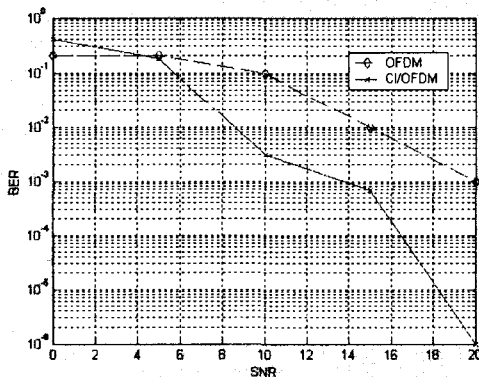


그림 6. CI/OFDM과 OFDM의 BER.
Fig.6. BER of CI/OFDM and OFDM.

V. 결론

본 논문에서는 반송파 간섭을 이용한 새로운 OFDM 방식인 CI/OFDM 통신방식을 소개하고 송수신기의 구성과 그 특성을 검토하였다. 그리고 SystemView에 의한 실시간 시뮬레이션을 통하여 CI/OFDM 시스템의 성능개선효과를 분석하였다. 그 결과 한 지로 반송파에 하나의 정보 비트가 변조되는 통상적인 OFDM에 비하여 한 비트가 CI(Carrier Interferometry) 필터에 의하여 변조되는 CI/OFDM 시스템의 성능개선 효과가 우수함을 보였다.

참고 문헌

- [1] Ahmad R.S.Bahai and Burton R.Saltzberg, Theory and Application of OFDM, Kluwer Academic, New York,1999.
- [2] B.R.Saltzberg,"Performance of an efficient parallel data transmission system," IEEE Trans. Comm., Vol.COM-15,pp.805-813,Dec.1967.
- [3] P.S.Chow, J.C.Tu and J.M.Cioffi, "Performance evaluation of a multichannel transiver system for ADSL and VHDLS services,"IEEE J. Slected Area, Vol., SAC-9,No.6,pp.909-919,Aug.1991.
- [4] D.A.Wiegandt and C.R.Nassar,"High performance OFDM via carrier interferometry", E&CE dept. Colorado State University.
- [5] C.R.Nassar. B.Natarajan, and S.Shattil, "Application of Interferometry to MC-CDMA," submitted to IEEE Trans. on VTC.
- [6] C.R.Nassar. B.Natarajan, and S.Shattil, "Introduction of Carrier Interference to Spread Spectrum Multi[ple Access," Proceeding of IEEE Emerging Technologies Symposium on Wireless Communications and Systems, Richardson, Texas. pp.II.2.1-4, April 12-13, 1999.