

논문 2006-43TC-4-5

디스퍼시브 다중경로 페이딩 채널에서 동기식 직교 다중반송파 DS-CDMA 시스템의 분석

(Analysis of Synchronous Orthogonal Multicarrier DS-CDMA Systems
in Dispersive Multipath Fading Channels)

황 승 훈*, 라오쉬 한조**

(Seung-Hoon Hwang and Lajos Hanzo)

요 약

본 논문에서는 동기식 업링크 전송을 채용하는 직교 다중반송파 DS-CDMA 시스템의 성취가능한 성능을 고찰해보았다. 디스퍼시브 레일레이 다중경로 페이딩 조건에서 비트오류확률 (BER)로 성능을 보였으며, 그 성능은 E_b/N_0 및 사용자수의 함수로 표현하였다.

Abstract

In this contribution, the achievable performance of orthogonal multicarrier DS-CDMA systems employing synchronous uplink transmissions is investigated. The bit error ratio (BER) performance is analyzed under dispersive Rayleigh multipath fading conditions as a function of the number of users.

Keywords : Synchronous DS-CDMA, Orthogonal multicarrier transmission, Dispersive multipath fading channel

I. 서 론

시간영역 확산의 직교 다중반송파 DS-CDMA는 높은 침울의 신호처리의 높은 복잡도를 우회하면서 디스퍼시브 채널의 영향을 줄이는 효율적인 기술이다. 그리하여, 이 기술은 유비쿼터스 광대역 무선 통신을 지원해줄 수 있는 높은 가능성을 가지고 있다^[1]. 직교 다중반송파 DS-CDMA 시스템의 군들은 참고문헌 [2], [3]의 예에서 연구되어왔는데, 여기서 송신기는 직/병렬 변환된 데이터열을 시간영역의 확산코드를 사용하여 확산한다. 그리하여 각 서브반송파의 결과 스펙트럼은 최소 요구 주파수 이격을 가지면서 직교로 남게된다. 본 기

법은 최초로 업링크 통신시스템을 위해 제안되었는데, 이유는 준동기식 방식을 구축하는 목적으로 이러한 특성이 장점을 가지기 때문이다^[2].

동기식 DS-CDMA 업링크 전송은 다중사용자간섭 (MAI)을 줄이기 위해 제안되었었는데^{[2], [4]}, 3세대 시스템^[5]과 미래 광대역 무선접속^[6]에서도 그 예를 찾아볼 수 있다. 참고문헌 [2]에서는, 다중반송파 직교 CDMA 시그널링 방식이 준동기식 다중 점대점 CDMA 네트워크에서 동기 편차의 영향을 줄이는 용도로 소개되었다. 그러나, 참고문헌 [2]에서 부가 백색 가우시안 잡음 (AWGN) 채널이 가정되었으며 디스퍼시브 다중경로 페이딩 채널에서의 성능 연구결과는 제시되지 않았다. 그리하여 본 논문에서는 동기식 업링크 전송에서 충분히 정확히 적응형 타이밍 제어가 유지된다면, 직교 다중반송파 DS-CDMA는 다양한 레일레이 다중경로 페이딩과 MAI가 존재하는 조건에서 비동기식의 경우보

* 정회원, 동국대학교 전자공학과
(Dongguk University, Seoul, Korea)

** 사우스햄튼대학교 전자컴퓨터공학부
(University of Southampton, United Kingdom)
접수일자: 2005년11월29일, 수정완료일: 2006년4월11일

다 나은 성능을 가져옴을 보인다.

II. 채널 모델

그림 1에서 보듯이 동기식 직교 다중반송파 DS-CDMA 시스템의 송신기 다이어그램은 참고문헌 [3]에서 사용된 것과 유사하다. 본 방식에서는 최초 데이터열은 직/병렬 변환되어 다수의 낮은 전송율의 서브열로 바뀐다. 각각의 낮은 전송율의 서브열은 직교 서브반송파를 변조하는데 각각은 겹치는 대역폭을 가지게 된다. 직교 다중반송파 신호는 그림 1의 Σ 블록에서 각기 다른 서브반송파들 신호를 결합하여 얻어지게 되며 뒤이어 확산시퀀스 $W_k(t)$, $k=1, 2, \dots, K$ 로 신호를 곱해주는 사용자별 확산이 수행된다.

채널은 디스퍼시브 레일레이 페이딩이라고 가정하는데 전송신호가 L 개의 독립적인 느린 플랫폼 페이딩 채널을 통과하여 수신된다^[7]. 사용자 k 의 서브 반송파 u 가 경험하는 임펄스 응답의 복소 기저대역 표현은 다음과 같다.

$$h_{ku}(t) = \sum_{l=1}^L \alpha_{ul}^{(k)} \delta(t - \tau_{kl}) \exp(j\varphi_{ul}^{(k)}) \quad (1)$$

만약 $\tau_{kl} = (l-1)T_c + \tau_k$ 라고 두면, 식 (1)은 널리 사용되는 주파수 선택적 채널의 탭지연선 모델로 나타낼 수 있다^[8]. 다중경로 레일레이 페이딩 채널에서 페이딩 크기 $\{\alpha_{ul}^{(k)}\}_{l=1}^L$ 는 통계적으로 독립적인 랜덤변수로 가정하며 참고문헌 [7]에서 표현된 확률 밀도 함수(PDF)를 가진다고 한다. 각기 다른 경로와 다른 서브

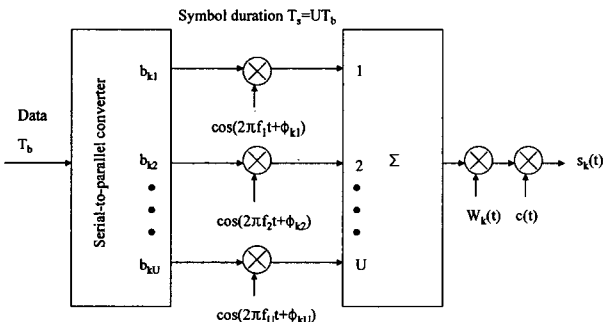


그림 1. 고려된 동기식 직교 다중 반송파 DS-CDMA 시스템의 송신기 다이어그램

Fig. 1. Transmitter diagram of the synchronous orthogonal multicarrier DS-CDMA system considered.

반송파의 위상 $\{\varphi_{ul}^{(k)}\}_{l=1}^L$ 은 구간 $[0, 2\pi)$ 에서 균일분포의 랜덤변수라고 가정하며, 사용자 k 의 경로지연 $\{\tau_{kl}^{(k)}\}_{l=1}^L$ 은 구간 $[0, T_s)$ 에서 균일분포하다고 한다.

III. 레일레이 페이딩 시나리오

L_1 를 단일 반송파 DS-CDMA 시스템의 구분가능한 경로의 수라고 한다. 그리하면, 서브반송파와 관련된 구분가능한 경로의 수는 $L \approx \lfloor 2L_1/2 + (U-1) \rfloor$ 와 같이 간략화될 수 있다^[2]. 시스템이 동기식 CDMA 사용자 K 명을 지원해줄 수 있다고 가정하고 모든 사용자가 동일한 파라미터 U 와 N_e 를 가진다고 한다. 완벽한 전력 제어를 가정하면 기지국에서 각 사용자로부터 수신되는 평균 전력이 모두 동일하다고 생각할 수 있다. 그리하면, 기지국에 의해 수신되는 신호는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{u=1}^U \sum_{l=1}^L \sqrt{2P} \alpha_{ul}^{(k)} b_{ku}(t - \tau_{kl}) c(t - \tau_{kl}) W_k(t - \tau_{kl}) \cdot \cos(2\pi f_u t + \varphi_{ul}^{(k)}) + n(t) \quad (2)$$

여기서 $\varphi_{ul}^{(k)} = \varphi_{ku} + \varphi_{ul} - 2\pi f_u \tau_{kl}$ 이고 $\varphi_{ul}^{(k)}$ 는 채널에 의해 영향받는 항이다. 동기식 업링크에서 최초 RAKE 브랜치의 수신시간은 동기라고 가정하고 나머지 브랜치에서는 비동기라고 한다^[4]. 레퍼런스 사용자와 간섭사용자에 의해 발생하는 다중경로 간섭이 가우시안 간략화할 수 있다고 가정한다^[9]. 그리하면 이는 추가적인 독립 잡음이 될 수 있다. 겹치는 서브반송파를 사용하는 동기식 직교 다중반송파 DS-CDMA 시스템의 BER 표현식을 유도하기 위해서 모든 간섭항들은 독립적인 부가 가우시안 변수라고 가정한다^{[4], [10]}. 결과적으로, 특정 서브반송파 페이딩 감쇄 $\{\alpha_{mv}\}$ 를 조건부로서의 비트 오류확률(BER) 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$P_b(\gamma) = Q(\sqrt{2\gamma}) \quad (3)$$

여기서 $\gamma = \bar{\gamma}_c / \Omega_0 \sum_{v=1}^L \alpha_{mv}^2$ 는 SNR을 표현하며 아래 식을 참조한다.

$$\bar{\gamma}_c = \left\{ \frac{(2N_e - 3)(K - 1)[q(L_p, \eta) - 1]}{3(N_e - 1)N_e} \frac{\alpha_{m1}^2}{\alpha_{m1}^2 + \sum_{v=2}^L \alpha_{mv}^2} + \frac{2(N_e - 1)(K - 1)q(L_p, \eta)}{3N_e^2} \frac{\sum_{v=2}^L \alpha_{mv}^2}{\alpha_{m1}^2 + \sum_{v=2}^L \alpha_{mv}^2} + \left(\frac{\Omega_1 E_b}{N_0} \right)^{-1} + \frac{2(N_e - 1)q(L_p, \eta)(L_p - 1)}{3N_e^2 L_p} + \frac{2(N_e - 1)(U - 1)\bar{I}_M q(L_p, \eta)(L_p - 1)}{N_e L_p} + \frac{(2N_e - 3)(K - 1)(U - 1)\bar{I}_M [q(L_p, \eta) - 1]}{N_e - 1} \frac{\alpha_{m1}^2}{\alpha_{m1}^2 + \sum_{v=2}^L \alpha_{mv}^2} + \frac{2(N_e - 1)(K - 1)(U - 1)\bar{I}_M q(L_p, \eta)}{N_e} \frac{\sum_{v=2}^L \alpha_{mv}^2}{\alpha_{m1}^2 + \sum_{v=2}^L \alpha_{mv}^2} \right\}^{-1} \quad (4)$$

평균 BER, P_b 는 $P_b(\gamma)$ 을 SNR γ 의 구간에 대해 웨이팅이 된 평균을 구함으로써 유도될 수 있다. 이와 같은 수식들을 이용하여 MRC를 채용하는 RAKE 수신기를 사용하는 동기식 직교 다중반송파 DS-CDMA 시스템의 평균 BER은 $P_b = \int_0^\infty \int_0^\infty Q(\sqrt{2\gamma})p(x)p(y)dx dy$ 와 같다.

여기서, $Y = \{\beta_1^{(1)}\}^2$ 일 때 $p(y) = \exp(-y/\Omega_1)/\Omega_1$, $y \geq 0$ 이고, $X = \sum_{k=2}^L \{\beta_k^{(1)}\}^2$ 일 때 $p(x) = \sum_{k=2}^L \pi_k / \Omega_k$ $\exp(-x/\Omega_k)$ 인 여기서 $\pi_k = \prod_{i=2, i \neq k}^L \Omega_i / (\Omega_k - \Omega_i)$ 이다.

IV. 수치 결과

본 절에서는 디스퍼시브 레일레이 다중경로 페이딩 채널에서 동기식 직교 다중반송파 DS-CDMA 시스템의 성취 가능한 성능을 고려해보고자 한다. 우리는 다양한 시스템 파라미터이 성취 가능한 성능에 미치는 영향을 평균 BER과 지원 가능한 사용자 수로 지수적 MIP 환경 하에서 고찰해보고자 한다. 그림 2는 MIP에 대한 감쇄지수 $\eta = 1.0$ 일 때, 평균 BER 성능차이를 E_b/N_0 의 함수로 보여준다. 처리 이득 $N_1=128$ 와 시스템 부하 $K=10$ 를 선택하고, 단일 반송파 DS-CDMA 시스템의 구분 가능한 경로의 수는 $L_1=32$ 와 같다^[3]. 또한, 본 절 전체에서 서브 반송파 수는 $U=32$ 이다. 그림으로부터 동기식 시스템은 비동기 시스템보다 훨씬 나은 BER 성능을 보임을 알 수 있다. 그림 3에서 $\eta = 1.0$ 이고 $E_b/N_0=15\text{dB}$ 일 때, BER을 계산하였는데 동기식과 비동기식 직교 다중반송파 DS-CDMA 방식에서 지원 가

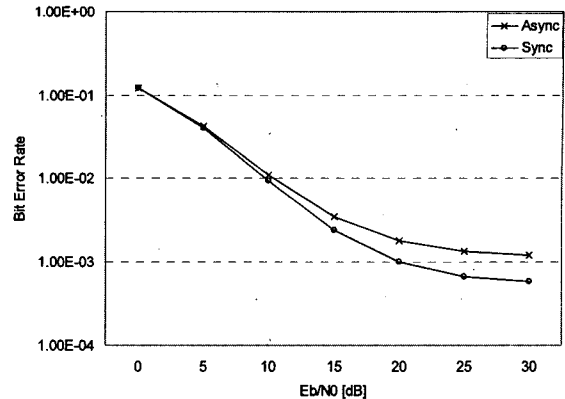


그림 2. 레일레이 다중경로 페이딩 채널에서 동기식과 비동기식 직교 다중 반송파 DS-CDMA 시스템의 BER 대 E_b/N_0 성능 ($L_1=32$, $N_1=128$, $K=10$, $\eta = 1.0$)

Fig. 2. BER versus E_b/N_0 performance of both the synchronous and asynchronous orthogonal multicarrier DS-CDMA system communicating over Rayleigh multipath fading channels. ($L_1=32$, $N_1=128$, $K=10$ and $\eta=1.0$.)

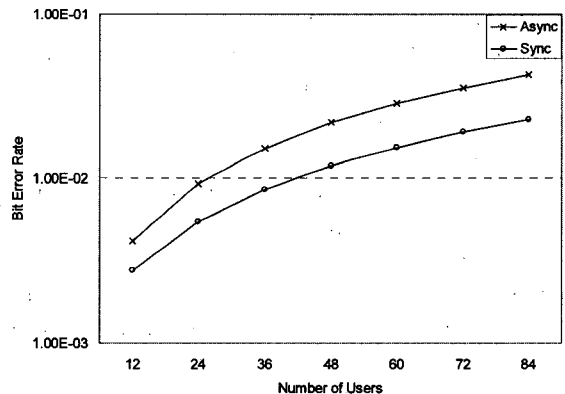


그림 3. 레일레이 다중경로 페이딩 채널에서 동기식과 비동기식 직교 다중 반송파 DS-CDMA 시스템의 BER 대 사용자수 ($L_1=32$, $N_1=128$, $E_b/N_0=15\text{dB}$, $\eta=1.0$)

Fig. 3. BER versus the number of users, for both the synchronous and asynchronous orthogonal multicarrier DS-CDMA system communicating over Rayleigh multipath fading channels. ($L_1=32$, $N_1=128$, $E_b/N_0=15\text{dB}$ and $\eta=1.0$.)

능한 사용자의 수를 변수로 결과를 보였다. 결과에서 보듯이, 동기식 전송이 채용되었을 때 $\eta = 1.0$ 을 가지는 채널은 동일한 BER을 목표로 하는 경우 보다 높은 사용자 용량을 보인다. 요약컨대 이러한 결과는 직교 다중 반송파 DS-CDMA 시스템의 수용용량이 동기식 업링크 전송을 채용함으로써 보다 개선될 수 있음을 보여준다.

V. 결 론

본 논문에서, 동기식 업링크 전송이 채용되었을 때 직교 다중 반송파 DS-CDMA 시스템의 성취가능한 성능이 고찰되었다. BER 성능은 디스퍼시브 레일레이 다중경로 페이딩 환경하에서 다른 사용자의 수와 관련하여 분석되었다. 수치 결과로부터 디스퍼시브 레일레이 페이딩 채널의 영향을 줄여줌에 있어서 본 시스템은 잘 동작함을 알수 있다. 게다가, 직교 다중반송파 DS-CDMA 전송의 성능상의 장점은 동기식 전송을 채용함으로써 더욱 늘어남을 보여주었다.

참 고 문 헌

- [1] L. Hanzo, L.-L. Yang, E.-L. Kuan and K. Yen, Single- and multi-carrier DS-CDMA, John Wiley & IEEE press, 2003.
- [2] V. Dasilva and E. Sousa, "Multicarrier orthogonal CDMA signals for quasi-synchronous communication systems," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.12, pp.842-852, June 1994.
- [3] L.-L. Yang and L. Hanzo, "Performance of generalized multicarrier DS-CDMA over Nakagami-m fading channels," IEEE Transactions on Communication, vol.50, pp.956-966, June 2002.
- [4] E.K. Hong, S.H. Hwang, K.J. Kim and K.C. Whang, "Synchronous transmission technique for the reverse link in DS-CDMA terrestrial mobile systems," IEEE Transactions on Communication, vol.47, pp.1632-1635, Nov. 1999.
- [5] 3GPP TR25.928 1.28Mcps functionality for UTRA-TDD physical layer
- [6] D. Li, "The perspectives of large area synchronous CDMA technology for the fourth-generation mobile radio," IEEE Communication Magazine, pp. 114-118, Mar. 2003
- [7] J. G. Proakis, Digital communications, McGraw-Hill, New York, 1983.
- [8] T. Eng and L.B. Milstein, "Coherent DS-CDMA performance in Nakagami multipath fading," IEEE Transactions on Communication, vol.44, no.9, pp.1117-1129, Sept. 1996.
- [9] M. B. Pursely, "Performance evaluation for phase-coded spread spectrum multiple access communications-Part I: system analysis," IEEE Transactions on Communication, vol.25, no.8, pp.795-799, Aug. 1977.
- [10] L.-L. Yang and L. Hanzo, "Overlapping M-ary frequency shift keying spread spectrum multiple access systems using random signature sequences," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol.48, no.6, pp.1984-1995, Nov. 1999.

저 자 소 개

황 승 훈(정회원)
대한전자공학회 논문지,
제42권, TC편, 제11호 참조

Lajos Hanzo
Fellow of the Royal Academy of Engineering (FREng), received his Master degree in electronics in 1976 and his doctorate in 1983. In 2004 he was awarded the Doctor of Sciences(DSc) degree by the University of Southampton, UK. During his 28-year career in telecommunications he has held various research and academic posts in Hungary, Germany and the UK. Since 1986 he has been a member of academic staff in the School of Electronics and Computer Science, University of Southampton, UK, where he currently holds the Chair in Telecommunications. He has co-authored 10 John Wiley/IEEE Press books totalling about 8000 pages on mobile radio communications, published in excess of 500 research papers, organised and chaired conference sessions, presented overview lectures and been awarded a number of distinctions. He is an enthusiastic supporter of industrial and academic liaison and he offers a range of industrial courses. Lajos is also an IEEE Distinguished Lecturer of both the Communication Society and the Vehicular Society as well as a Fellow of both the IEEE and the IEE.