

접속동기 오차에 강한 SC-FDMA 기법

김봉석* 학생회원, 최권휴* 종신회원

Access timing offsets-resilient SC-FDMA

Bong-seok Kim* *student member*, Kwonhue Choi* *Lifelong Member*

요약

본 논문에서는 상향링크에서 낮은 PAPR(Peak to Average Power Ratio)을 가지면서 사용자 간 동기 오차 범위를 크게 확장한 MC DS CDMA(Multiple Carrier Direct Spread Code Division Multiple Access) 형태의 SC-FDMA(Single Carrier Frequency Division Multiple Access) 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 상향링크 준동기 환경에 강한 특성을 가진 MC DS CDMA 기법의 높은 PAPR을 갖는 단점을 보완하기 위해 부분 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 연산 이전에 부분 DFT(Discrete Fourier Transform) 연산을 수행한다. 제안하는 기법은 ±1 칩 준동기 상황에서 '0'상관도를 갖는 PSW(Properly Scrambled Walsh) 부호를 시간 도메인으로 스프레딩하여 레인징 절차를 수행하지 않고서도 사용자 간 최대 ±1 OFDM 심벌 길이 이내의 시간 오차이내에서는 MAI(Multiple Access Interference)가 발생하지 않게 한다. 실험결과에서는 준동기 상황을 개선하기 위해 제안된 기존의 SC-FDMA 방식에 비해 사용자 간 동기 오차에 강한 특성이 있음을 보인다.

Key Words : SC-FDMA, uplink, ZCZ code, access timing, timing offset

ABSTRACT

In this paper, we propose a Single Carrier Frequency Division Multiple Access(SC-FDMA) scheme with greatly enhanced tolerance of timing offset among the users. The type of the proposed scheme is similar to code spread Multiple Carrier Direct Spread Code Division Multiple Access(MC DS CDMA). The proposed scheme performs partial Discrete Fourier Transform(DFT) in order to solve high Peak to Average Power Ratio(PAPR) of the MC DS CDMA before Inverse Fast Fourier Transform(FFT). Exploiting the property Properly Scrambled Walsh-Hadamard(PSW) code has zero correlation despite ± 1 chip timing offset, the proposed scheme achieves Multiple Access Interference free performance with the timing offset up to ± 1 OFDM symbol duration with low PAPR. In contrast, the other existing schemes in comparison undergo severe performance degradation even with small timing offset in multipath fading channel.

1. 서론

SC-FDMA(Properly Scrambled Walsh)는 LTE(Long Term Evolution) 상향링크에서 사용되는 방식으로 다중 반송파 신호를 DFT 연산에 의해 주파수 축으로 확산시키므로 단일 반송파 형태로 다중 접속을 가능하게 하므로, 낮은 PAPR(Peak to Average Power Ratio) 특성을 가진다. 기지국에서 여러 단말들에게 하나의 기준 타이밍으로 일괄송신하는 하향링크 시스템과 달리 상향링크 시스템에서는 여러 단말들이 제 각각 송신하므로 각 신호가 기지국에 도달하는 시간 차이가 발생한다. 이로 인해 각 신호 간의 동기 오차가

발생하여 반송파 간의 직교성이 파괴되어 각 사용자의 간섭으로 인한 성능저하가 발생한다. 상향링크 시스템에서 사용자 간의 동기화를 위해 추가적인 타이밍 동기화 방법이 요구되는 데, 이 기술을 레인징(ranging)이라 한다[1].

데이터 전송이 이루어지지 않는 경우의 빈번한 주기적인 레인징 동작은 무선자원의 낭비를 초래할 수 있으며 매 데이터 전송시마다 레인징 동작을 통하여 타이밍을 맞추는 동작을 하는 것은 데이터 전송의 지연을 초래하여 실시간 서비스를 지원하기 어렵게 한다. 빈번한 레인징 동작을 줄이고 상향링크 데이터 전송의 지연을 줄이기 위해서는 타이밍 오차가 존재하는 환경에서도 별도의 레인징 동작없이도 사용

*이 논문은 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업(NIPA-2012-H0301-12-3002)과 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음(2012R1A1A4A01015628)

*영남대학교 정보통신공학과 광대역무선통신연구실 (hishope21@ynu.ac.kr, gonew@yu.ac.kr), 교신저자 : 최권휴
접수일자 : 2012년 10월 30일, 수정완료일자 : 2012년 11월 5일, 최종 게재확정일자 : 2012년 12월 3일

자 간 직교성이 유지되어야 한다[2]. 이를 위해 [2, 3]에서는 사용자 간 영구간(zero-padding)을 삽입하여 사용자 간 타이밍 오차에 강한 SC-FDMA 기법을 제안하였다.

하지만, 이 기법 역시 사용자 간 타이밍 동기 오차 정도가 특정 범위를 넘어서게 되면 성능저하가 급격하게 발생하는 단점이 있다. 참고문헌 [4]에서 제안한 방식은 MC DS CDMA(Multiple Carrier Direct Spread Code Division Multiple Access) 방식을 기반으로 준동기 환경에서 강한 특성을 가지지만, 한 명의 사용자가 전체 부반송파를 사용하므로 매우 높은 PAPR 특성을 가지는 단점이 있다.

본 논문에서는 [3]에서 제안한 방식에 비해 타이밍 동기 오차 허용 범위를 더욱 확장하고, [4]에서 제안한 방식에 비해 낮은 PAPR 특성을 갖는 PSW (Properly Scrambled Walsh) 부호[5] 기반 SC-FDMA 기법을 제안한다. 실험결과에서는 제안하는 방식의 성능이 기존의 방식에 비해 개선된 성능을 가짐을 보인다.

II. 제안하는 PSW 부호 기반 SC-FDMA 기법

제안하는 방식은 [4]의 높은 PAPR 특성을 갖는 단점을 보완하기 위해 그림 1에서와 같이 부분 DFT 블록을 삽입하였다. 접속 동기 오차에 강한 이유는 [4]에서 보인 과정과 유사하다. 그림 1은 제안하는 PSW 부호 시간 스프레딩 SC-FDMA 방식에서, k 번째 사용자의 송신단 구조를 보인다. 그림과 같이, 각 사용자들은 N_C 개의 전체 부반송파를 사용하며, 전체 더해진 각 사용자들의 신호는 각 사용자에게 할당된 길이 N 의 PSW 부호에 의해 각 사용자의 신호를 구분한다. N_C 개의 데이터들은 길이 총 m 개의 n -point 부분 DFT 연산을 통과한다. 여기서 k 번째 부분 DFT 연산은 입력된 데이터에 대해 $(k-1)(n+1)$ 번째 $\sim kn$ 번째 부반송파에 대한 DFT 연산을 수행함을 의미한다. DFT 연산된 신호는 각 사용자에게 할당된 PSW 부호에 의해 시간 스프레딩된 후 N_C -point IFFT 연산 후 송신된다.

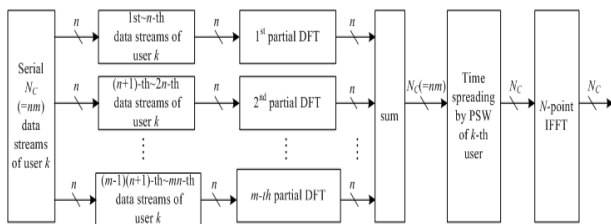


그림 1. 제안하는 PSW 부호 시간 스프레딩 SC FDMA 방식에서 k 번째 사용자의 송신단 구조

그림 2에서, 간섭이 발생하지 않는 최대 허용 시간 오차의 범위를 찾기 위해서 k 번째 사용자와 j 번째 사용자의 스프레

드 칩을 시간 축에서 보인다. 이때 T_c 와 $T_g, \tau_{\max}^{(j)}$ 는 전체 칩 길이, 보호시간구간, j 번째 사용자의 최대 다중경로 지연 길이로 각각 정의된다. 또한 t_j 와 t_k 는 j 번째 사용자와 k 번째 사용자의 n 번째 칩 타이밍으로 정의한다. 그림 5에서, k 번째 사용자의 n 번째 칩의 FFT 지역은 $[C D]$ 구간이다. 즉, j 번째 사용자의 $(n-1)$ 번째와 n 번째, $(n+1)$ 번째 칩만이 식 (1)에 의해 j 번째 사용자에서 k 사용자에게 간섭이 발생하지 않는다. 이것을 만족하기 위해, j 번째 사용자의 마지막 다중경로의 $(n-2)$ 번째 심벌 경계인 점A는 점C와 점B보다 먼저 존재해야 한다. 여기서 B는 D보다 늦은 $(n+2)$ 번째 심벌 경계이다. 따라서, 두 가지의 요구사항은 다음과 같이 표현된다.

$$\text{point } A < C \text{ and point } D < B \tag{2}$$

중요한 타이밍 포인트는 다음과 같이 주어진다.

$$\text{point } A = t_j - T_c + \tau_{\max}^{(j)}, \text{ point } B = t_j + 2T_c \tag{3}$$

$$C = t_k + T_g, D = t_k + T_c \tag{4}$$

식 (3)과 식 (4)를 식 (2)에 대입하면, j 번째 사용자와 k 번째 사용자 사이의 타이밍 차이의 요건인, $\tau_{j,k}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$-(T_c - \tau_{\max}^{(j)}) < \tau_{j,k} (\equiv \tau_j - \tau_k) < T_c \tag{5}$$

자기 간섭이 없는 경우에 대해 최대 다중경로 지연을 고려하면, 식 (5)는 다음과 같이 주어진다.

$$-T_M < \tau_{j,k} < T_c \tag{6}$$

여기서, $T_M = T_c - T_g$ 로 정의된다. 유사하게, k 번째 사용자가 j 번째 사용자에게 미치는 간섭이 없는 구간인, $\tau_{k,j} (= -\tau_{j,k})$ 는 식 (6)을 만족한다. 결론적으로 한 셀 내에서 모든 사용자에게 간섭이 존재하지 않는 조건은 다음과 같다.

$$-T_M < \tau_{j,k} < T_M, \forall j \neq k \tag{7}$$

이 조건은 여전히 사용자들 간의 부반송파 간 간섭 역시 0으로 만든다.

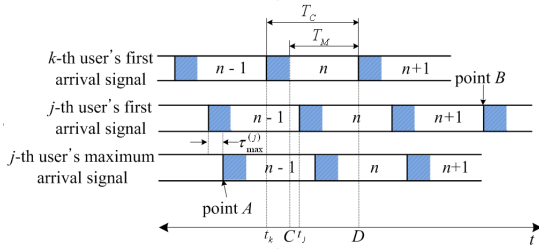


그림 2. 제안하는 OFDM 방식의 시간축에서 바라본 특정 부반송파 k번째 사용자와 j번째 사용자의 스프레드 칩구조

III. 실험결과

이번 절에서는 제안하는 방식의 PSW 부호 기반 SC FDMA 방식과 [3]에서 제안한 SC-FDMA 기법의 성능을 비교한다. 공통적으로 부반송파 개수, $N_c = 64$, 부호길이, $N = 16$, 최대 사용자 수, $K_{max} = 8$ 로 설정하였다. 다중경로 환경에서는 8개의 패스들이 존재하며, 각 패스들은 0.8의 맥승으로 감소하며, 최대 딜레이는 $[0, T_g]$ 안에 균등분포로 존재하며, T_g 는 $T_M/4$ 로 정하였다. 특히 제안하는 방식의 부분블록 DFT 개수 $m=8$ 로 설정하였다.

그림 3에서 각 기법들에 대해 사용자들 간의 최대 시간 허용 범위에 따른 BER을 AWGN과 다중경로 환경에서 비교하였다. 최대 타이밍 오차, Δ_{max} 는 각 사용자의 액세스 타이밍이 독립적이며 균등분포로 $[-\Delta_{max}/2, \Delta_{max}/2]$ 내에서 발생한다. 공정한 비교를 위해서, 두 가지 기법 모두 사용자의 수(=K)는 8로 정하였다. 기존 SC-FDMA의 경우 AWGN 환경과 다중경로 환경에서 모두 $\Delta_{max} = 0.25 T_c$ 부터 BER이 확연히 증가함을 알 수 있다. 이와는 대조적으로 제안하는 SC-FDMA 방식은 AWGN에서는 $\Delta_{max} = 1.25 T_c$ 까지 다중경로 환경에서는 $\Delta_{max} = 1 T_c$ 까지 이론치와 같은 성능을 유지함을 알 수 있다.

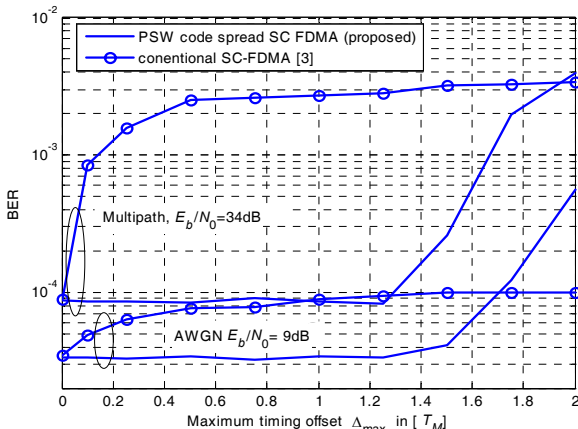


그림 3. 최대 시간 오차 범위에 따른 성능 비교

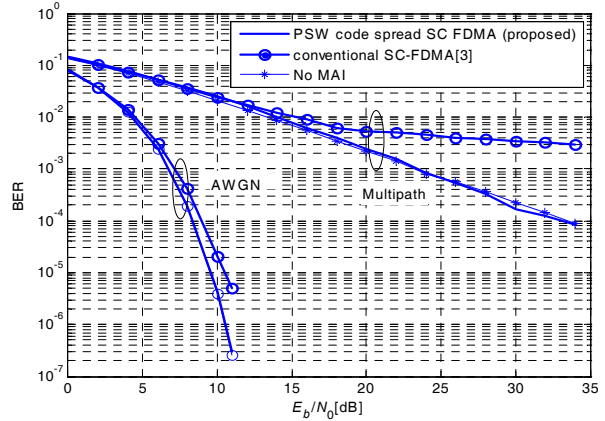


그림 4. E_b/N_0 에 따른 성능 비교

그림 4에서는 E_b/N_0 에 따른 성능을 비교하였다. 이때 최대 타이밍 오차, $\Delta_{max} = T_M$ 으로 설정하였다. 예상한바와 같이, 제안하는 방식은 모든 E_b/N_0 영역에서 No-MAI 성능과 일치한 성능을 유지하였다. 기존 기법의 경우 E_b/N_0 이 증가하더라도 더 이상 성능 개선이 없음을 알 수 있다.

그림 5에서는 사용자 수, K에 따른 성능을 비교하였다. 기존 기법의 경우 K=2일 때부터 성능저하가 발생하기 시작하며, 사용자 수가 증가할수록 성능저하의 정도가 커짐을 알 수 있다. 특히 다중경로 환경의 경우 성능 저하는 더욱 심해진다. 하지만 제안한 방식의 경우 사용자 수가 증가하여도 성능저하가 발생하지 않음을 알 수 있다.

그림 6에서는 [4]에서 제안한 방식과의 PAPR을 비교한다. 앞에서 언급한 대로 [4]는 접속동기 오차에 강한 특성을 가지고 있지만 전체 부반송파를 사용하기 때문에 높은 PAPR 특성이 있음을 알 수 있다. 반면에 제안하는 방식은 [4]의 방식에 비해 PAPR이 약 3dB 감소되었음을 알 수 있다.

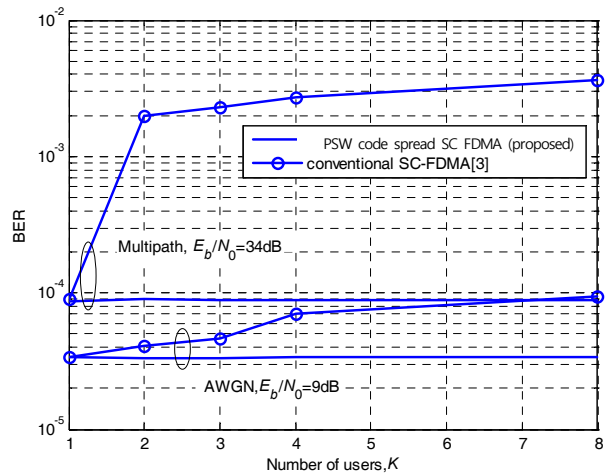


그림 5. 사용자 수에 따른 성능 비교

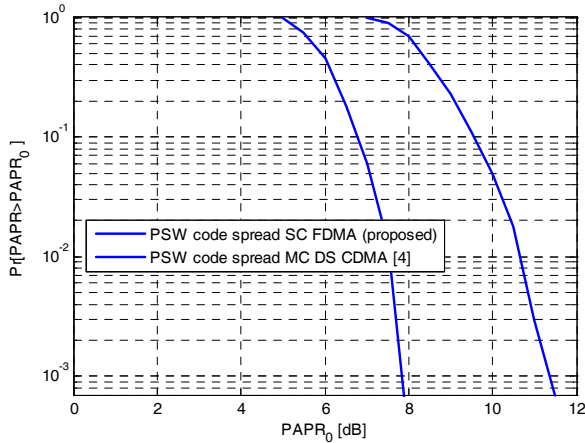


그림 6. PAPR 비교

4. 결론

본 논문에서는 상향링크 환경에서 사용자 간 ±1 OFDM 십벌 이내의 동기 오차가 존재하는 환경에서도 낮은 PAPR을 가지면서 성능을 유지하는 SC-FDMA 기법을 제안하였다. 제안하는 SC-FDMA 기법은 상향링크 환경에서 발생하는 사용자 간 시간 동기오차 문제 뿐 아니라 PAPR 문제점까지 해결하였다. 제안하는 방식은 기존에 제안된 SC-FDMA 기법에 비해 향상된 성능을 가졌으며 같은 성능을 갖는 준동기 부호기반 MC DS CDMA 방식에 비해 낮은 PAPR을 가짐을 보였다.

참고 문헌

[1] IEEE LAN/MAN Standards Committee, Broadband Wireless Access: IEEE MAN standard, IEEE 802.16-2004, 2003.
 [2] 송현주, 임대운, 정병장, 노태균, 임민중, “타이밍 오차에 강한 상향링크 OFDMA 시스템의 랜덤 액세스 기법,” 한국통신학회논문지 33권 6호, 2008년 6월
 [3] M. Rim, “Random Access Scheme Robust to Timing Offsets for Uplink OFDMA Systems,” IEICE Trans. Commun., vol. E92-B, no. 10, pp.3274-3276, Oct. 2009.
 [4] 김봉석, 강군석, 안도섭, 최권휴 “액세스 타이밍 오차에 강한 위성 시스템 상향링크 OFDMA 기법,” 통신위성우주산업연구회논문지 5권 1호 2010년 12월
 [5] K. Choi and H. Liu, “Quasi-Synchronous CDMA Using Properly Scrambled Walsh Codes as User Spreading Sequences,” IEEE Trans. on Vehicular. Tech. vol. 59, no. 7, pp. 3609-3617, Sep. 2010.

저자

김 봉 석(Bong-seok Kim)

학생회원



- 2005년 2월 : 영남대학교 전자공학과
- 2009년 2월 : 영남대학교 정보통신공학과 석사
- 2009년 3월 ~ 현재 : 영남대학교 정보통신공학과 박사과정

<관심분야> : 위성통신, MIMO, OFDM

최 권 휴(Kwonhue Choi)

정회원



- 1994년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과
- 1996년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 석사
- 2000년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 박사

- 2000년 4월 ~ 2003년 2월 : 한국전자통신연구원 광대역 무선전송 연구부 광대역 무선전송 연구팀 선임연구원
- 2003년 2월 ~ 현재 : 영남대학교 전자정보공학부 정보통신공학전공 부교수

<관심분야> : 위성통신, OFDM 기반 다중반송과 전송방식, MIMO detection 알고리즘, CDMA 시스템