

# 액세스 타이밍 오차에 강한 위성 시스템 상향링크 OFDMA 기법

김 봉 석\*, 최 권 휴\* 정회원

## Access timing offsets-resilient uplink OFDMA for satellite systems

Bongseok Kim\* , Kwonhue Choi\* *Regular Member*

### 요 약

본 논문에서는 위성 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 시스템에서 사용자 간 큰 시간 동기 오차를 허용하는 랜덤 액세스 기법을 제안한다. 상향링크 시스템에서 기존의 OFDMA의 경우 사용자들 간의 시간 동기 오차로 인해 부반송파 간 직교성이 파괴되어 성능저하가 발생한다. 이를 위해 사용자들 간의 동기화를 위한 '레인징'기법이 요구된다. 하지만 위성 시스템의 경우 매우 긴 왕복지연시간으로 인해 레인징 기법을 제대로 적용할 수 없다. 제안하는 기법은  $\pm 1$  칩 준동기 상황에서도 '0'상관도를 갖는 부호의 특성을 OFDMA에 적용하여 레인징 적용이 어려운 위성 환경에서  $\pm 1$  OFDM 심벌 타이밍 오차이내에서는 MAI가 발생하지 않게 한다.

Key Words : 위성통신, 준동기 부호, OFDMA, 상향링크

### ABSTRACT

We propose a new satellite OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) scheme with greatly enhanced tolerance of timing offset among the users. In uplink OFDMA systems, timing misalignment among users destroys subcarrier orthogonality and thus, it degrades the performance. In order to avoid this performance degradation, the accurate processing, so called 'ranging', is required to synchronize among users. However, ranging scheme is not available in the satellite systems due to the very long round trip delay. Exploiting the property that PSW(Propoerly Scrambled Walsh-code) code has zero correlation despite  $\pm 1$  chip timing offset, the proposed OFDMA achieves MAI free performance with the timing offset up to  $\pm 1$  OFDM symbol duration for the satellite systems.

### I. 서론

과거에는 위성 통신이 국제 통신과 장거리 통신 서비스 분야에 절대적인 역할을 수행해왔다. 하지만 광통신이 국제 통신과 장거리 통신 분야에서 주된 역할을 수행하게 되고 위성 통신은 사용자와의 직접 접속 부문으로 변화되고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위해 위성 통신에서도 효율적인 통신 방식의 기술 적용이 필요한 가운데 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 방식이 차세대 무선 통신의 주요 기술로 채택되었다[1, 2]. 일반적으로 OFDM 시스템의 경우 기지국에서 여러 단말들에게 하나의 기준 타이밍으로 일괄 송신하는

하향링크 시스템과 달리 상향링크 시스템에서는 여러 단말들이 신호를 제 각각 송신하므로 그림. 1과 같이 각 신호의 도달 시간의 차이가 발생하게 된다. 이로 인해 각 신호 간의 동기 오차가 발생하여 부반송파 간의 직교성이 파괴되어 간섭이 발생하므로 성능 열화가 발생한다. 상향링크 시스템에서 신호 간의 동기를 일치시키기 위해 추가적인 타이밍 동기화 방법이 필요한데 이 기술을 레인징(ranging)이라고 한다[3]. 즉, 레인징은 각 단말들의 신호의 동기화를 위해 기지국에서 각 단말들에 대해 송신 스케줄을 조절하는 기술이다. 일반적으로 레인징 기술은 기지국에서 각 단말들로부터 받은 피드백 정보를 기반으로 각 단말과의 거리를 파악한다. 기지국은 파악된 거리 정보를 이용하여 각 단말의 송신 타이밍을 결정하여 각 심벌

\*영남대학교 정보통신공학과 광대역무선통신연구실 ([hishope21@ynu.ac.kr](mailto:hishope21@ynu.ac.kr), [gonew@ynu.ac.kr](mailto:gonew@ynu.ac.kr)) \* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터(NIPA-2010-C1090-1031-0009)와 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의(No 2010-0088286) 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. 접수일자 : 2010년 10월 15일, 수정완료일자 : 2010년 10월 29일, 최종게재확정일자 : 2010년 11월 8일

의 동기를 조절한다. 즉, 기지국에서 각 단말로부터 받은 거리 정보를 근거로, 송신 타이밍을 결정하여 각 단말로부터 신호를 받는 시간 동안 기지국과 각 단말과의 거리는 변하지 않는다고 가정하고 있다. 하지만, 그림. 2와 같이 위성 통신 환경에서는 매우 큰 왕복 지연 시간으로 인해 이러한 가정을 현실적으로 만족하기 어렵다. 긴 왕복 지연 시간 동안에 각 단말들의 위치가 변경되었음에도 불구하고, 변경되지 않았다고 가정한 레인징 절차를 적용하게 되면 오히려 더 큰 성능 저하를 야기할 수 있다.

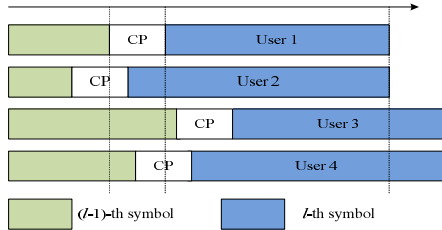


그림.1 OFDMA 기지국에서 수신된 다수의 단말 신호

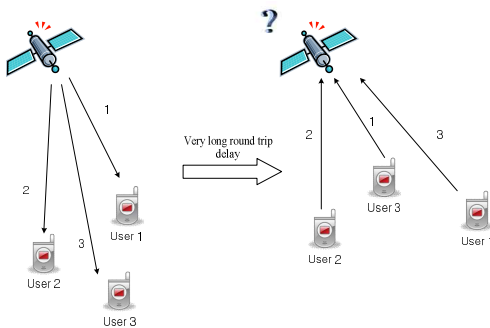


그림.2 위성시스템에서 긴 왕복 지연 시간으로 인한 레인징 기법 적용의 어려움의 예

이러한 단점을 보완하기 위해 참고문헌[4]~[7]에서는 심벌 동기화를 위한 레인징 절차가 제대로 수행되지 못하는 경우에 대해 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 심벌 내에 zero padding 구간을 삽입하거나 일반적인 경우보다 짧은 길이의 OFDMA 심벌을 생성하여 전송함으로써 심벌 간 오차가 존재하여도 직교성을 유지하게 하는 기법이 제안되었다. 하지만 이 기법에서 직교성이 유지되는 범위가 크지 않으므로 그 범위를 넘어서는 오차가 발생할 경우 성능이 저하되는 단점이 있다.

본 논문에서는 참고문헌[8]에서 제안한 방식인, 준동기 확산 부호 방식을 OFDMA 기법에 적용하여 심벌 간 타이밍 오차가 참고문헌 [4]~[7]에서 제안하는 방식에서 허용하는 두 배 이상의 오차가 발생하더라도 심벌 간 직교성을 유지하여 성능 열화를 방지하는 기법을 제안한다. 따라서, 제안하는 방식은 레인징 절차 가운데 심벌 간 타이밍 동기화를 위한 절차를 수행하지 않더라도 심벌 간 타이밍 동기 오차로 인해 발생하는 성능 열화를 방지할 수 있는 특성을 가진다.

## II. 제안하는 OFDMA 기법

### 1. PSW(Properly Scrambled Walsh) 부호

최근 [8]에서는 준동기 CDMA를 위한 스프레딩 부호로 PSW 부호가 제안되었다. 그림. 3에서와 같이 사용자 스프레딩 부호는 고정되어 있지 않고, 심벌 대 심벌로 변경된다. PSW 부호의 특성은 그림. 3에서 보인대로 다음과 같이 주어진다.

- 1) Code size(코드 시퀀스 개수)= $N/2$ , ( $N$ =시퀀스의 길이)
- 2)  $\pm 1$  칩 이내 영상판도 가진다. 즉,

$$R_{j,k}^{(m)} = \sum_{n=0}^{N-1} c_{(n+m)}^{(j)} c_n^{(k)} = 0 \quad (1)$$

이때  $m = \{-1, 0, 1\}$ 이며,  $\forall j \neq k$ 이다. 또한  $C_n^{(j)}$ 는  $k$  번째 사용자 스프레딩 시퀀스의  $n$  번째 칩으로 정의된다. 연산자 '+'는 modulo- $N$  합으로 정의된다.

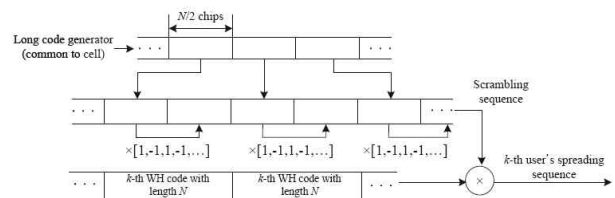


그림. 3 k 번째 사용자의 스프레딩 시퀀스를 위한 PSW 부호의 생성 과정

### 2. PSW 부호 스프레딩 OFDMA

그림. 4는 기존 방식과 제안하는 방식의 OFDM 프레임을 시간과 주파수 영역에서 표기하였다. 제안하는 OFDMA 방식에서는 각 사용자의 데이터 심벌들을 다수의 OFDM 심벌로 시간 확장한다. 그림. 4에서  $d_l^{(k)}$ 는  $k$  번째 사용자의  $l$  번째 데이터 심벌로 정의되며,  $d_l^{(k)} c_1^{(k)}$ 는  $k$  번째 사용자의 길이  $N$ 을 가지는 PSW 부호의 첫 번째 스프레딩 칩이다. 그리고,  $N$ 개의 스프레딩 칩들은  $l$  번째 부반송파에 연속으로 할당된다. 그러므로, 사용자의 부반송파 당 data rate은 원래 rate의  $1/N$ 이 된다. 각 부반송파는 최대  $N/2$  사용자로 다중접속이 가능하다. 결론적으로 제안하는 OFDMA의 전체 캐패시티는 기존 OFDMA의  $1/2$ 이 된다.

식 (2)의 PSW 부호의 cross correlation 특성을 사용하여 디스프레딩 후의 완벽한 영상관도를 만족하기 위해 간섭 사용자의 신호는 원하는 사용자의 상관지역 이내에 cyclic shifted 되어야 한다[9]. 오버헤드 된 전송시간은 추가적인 2칩 뿐 이므로 실제적인 프로세싱 이득의 영역에서는 수용 가능하다.

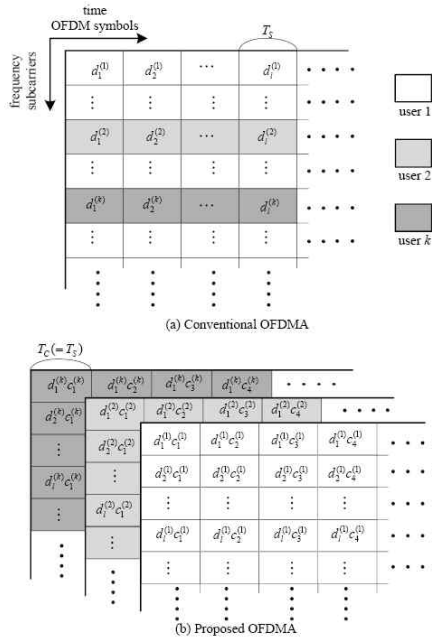


그림. 4 기존 방식과 제안하는 방식의 OFDM의 시간-주파수 프레임

그림. 5에서, 간섭이 발생하지 않는 최대 허용 시간 오차의 범위를 찾기 위해서  $k$ 번째 사용자와  $j$ 번째 사용자의 스프레드 칩을 시간 축에서 보인다. 이때  $T_c$ 와  $T_g$ ,  $\tau_{\max}^{(j)}$ 는 전체 칩 길이, 가드타임,  $j$ 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 칩 만이 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 점B 보다 먼저 존재해야 한다. 여기서 B는 D보다 늦은  $(n+2)$ 번째 심벌 경계이다. 따라서, 두 가지의 요구사항은 다음과 같이 표현된다.

$$\text{point A} < C \text{ and point D} < B \quad (2)$$

중요한 타이밍 포인트는 다음과 같이 주어진다.

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

$$C = t_k + T_g, D = t_k + T_c \quad (4)$$

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.

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

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

$$-T_M < \tau_{j,k} < T_c \quad (6)$$

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 사용자들에게 간섭이 존재하지 않는 조건은 다음과 같다.

$$-T_M < \tau_{j,k} < T_M, \forall j \neq k \quad (7)$$

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

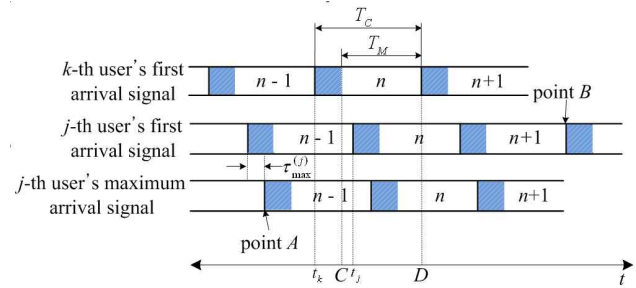


그림.5 제안하는 OFDM 방식의 시간축에서 바라본 특정 부반송파  $k$ 번째 사용자와  $j$ 번째 사용자의 스프레드 칩구조

### III. 실험결과

이번 절에서는 제안하는 기법의 성능을 기존의 OFDMA와 비교한다. 공통적으로 부반송파개수  $N_c = 64$ , 부호길이,  $N=16$ , 최대 사용자 수,  $K_{\max}=8$ ,  $N_F=16$ 으로 정의한다. 다중경로 환경은 8개의 패스들이 존재하며, 0.8의 지수로 감소하며, 최대 딜레이는  $[0 T_g]$ 안에 존재하며,  $T_g$ 는  $T_M/4$ 로 정하였다.

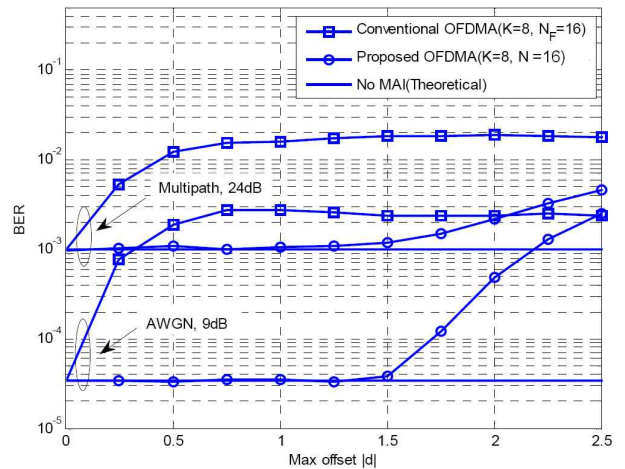


그림. 6 기존 방식과 제안하는 방식의 OFDM의 시간-주파수 프레임

그림. 6에서 각 OFDMA 기법에 대해 사용자들 간의 최대 시간 허용 범위에 따른 BER을 AWGN과 다중경로 환경에서 비교하였다. 최대 타이밍 오차,  $|d|$ 는 각 사용자의 액세스 타이밍이 독립적이며 균등분포로  $[-|d|/2 \quad |d|/2]$ 내에서 발생한다. 공정한 비교를 위해서, 두 가지 기법 모두 사용자의 수( $=K$ )는 8로 정하였다. 기존 OFDMA의 경우 AWGN 환경과 다중경로 환경에서 모두  $|d|=0.25 T_c$  부터 BER이 확연히 증가함을 알 수 있다. 이와는 대조적으로 제안하는 OFDMA 방식은 AWGN에서는  $|d|=1.25 T_c$  까지 다중경로 환경에서는  $|d|=1 T_c$  까지 이론치와 같은 성능을 유지함을 알 수 있다.

그림. 7에서는 SNR에 따른 각 기법에 대한 BER 성능을 비교하였다. 이때 최대 타이밍 오차,  $|d| = T_M$ 으로 설정하였다. 예상한대로, 제안하는 방식은 모든 SNR 영역에서 MAI-free 구간을 만족하였다. 다른 OFDMA의 경우 SNR이 증가하더라도 더 이상 성능 개선이 없음을 알 수 있다.

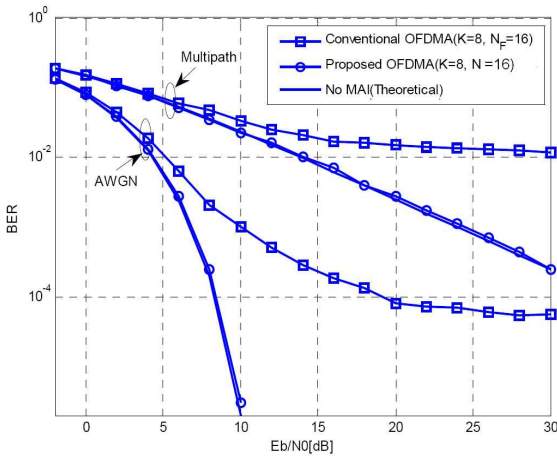


그림. 7 기존 방식과 제안하는 방식의 OFDM의 시간-주파수 프레임

#### IV. 결론

본 논문에서는 사용자 간 동기 오차 허용 범위를 개선한 위성 시스템에 적합한 업링크 OFDMA 방식에 대해 제안하였다. PSW 부호의 특성으로 인해  $\pm 1$  OFDM 심벌 시간 사이의 시간 오차 내에서는 사용자 간 간섭으로 인한 영향이 발생하지 않았다. 또한 천천히 변하는 시변 페이딩 채널에서, 제안하는 방식과 기존 기법들의 BER 차이는 더욱 심각해질 것으로 예상된다.

#### 참고 문헌

[1] K. Lee and D. Williams, "A space-time coded transmitter diversity technique for frequency selective fading channels," in Proc. IEEE Sensor

Array and Multichannel Signal Processing Workshop, 2000, pp. 149-152.

[2] IEEE LAN/MAN Standards Committee, Broadband Wireless Access: IEEE MAN standard, IEEE 802.16-2004, 2003.

[3] X. Fu, Y. Li, and H. Minn, "New Ranging Method for OFDMA Systems," IEEE Trans. on Wireless Commun., Vol. 6, No. 2, Feb. 2007.

[4] S. Tsai, Y. Lin, and C. J. Kuo, "Precoded Multiuser OFDM Transceiver in Time Asynchronous Environment," IEEE Trans. Vol. 55, No. 10, pp. 1863-1866, Oct. 2007.

[5] 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.

[6] H. Wei, L. Yang and L. Hanzo, "Time- and frequency-domain spreading assisted MC DS-SS using interference rejection spreading codes for quasi-synchronous communications," in proc. IEEE VTC 2004-Fall, Sep. 2004.

[7] H. Wei, L. Yang and L. Hanzo, "Interference-Free broadband single and multicarrier DS-SS," IEEE Commun. Magazine, pp. 68-73, Feb. 2005.

[8] K. Choi and H. Liu, "Quasi-Synchronous CDMA Using Properly Scrambled Walsh Codes as User Spreading Sequences," IEEE Trans. on Vehicular Tech. Accepted for Publication, 2010.

[9] X. Tang and W. H. Mow, "Design of spreading codes for quasisynchronous CDMA with inter-cell interference," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 24, no. 1, pp. 84-93, Jan. 2006.

#### 저자

김 봉 석(Bongseok Kim)

정회원



2006년 : 영남대학교 전자공학과  
학사

2009년 : 영남대학교 정보통신공학과  
석사

2009년~현재 : 영남대학교 정보통신  
공학과 박사과정

<관심분야> MIMO, OFDMA, 위성통신

최 권 휴(Kwonhue Choi)

정회원



1994년 2월 : 포항공과대학교 전자전  
기공학과

1996년 2월 : 포항공과대학교 전자전  
기공학과 석사

2000년 2월 : 포항공과대학교 전자전  
기공학과 박사

2000년 4월~2003년 2월 : 한국전자통신연구원 광대역  
무선전송 연구부 광대역 무선전송 연구팀 선임연  
구원

2003년 2월~현재 : 영남대학교 전자정보공학부 정보통신  
공학전공 부교수

<관심분야> OFDM 기반 다중반송파 전송방식, MIMO 검  
출 알고리즘, CDMA 시스템