

---

# OFDMA/TDD 시스템의 초기 동기 성능 분석

승영민\* · 김기남\* · 조성준\*

\*한국항공대학교 대학원 정보통신공학과

## Analysis of Initial Synchronization Performance in OFDMA/TDD Systems

Young-min Seung\* · Ki-nam Kim\* · Sung-joon Cho\*

\*Dept. of Inform. & Telecom. Eng., Graduate School of Hankuk Aviation Univ.

E-mail : getbacker20@hau.ac.kr

### 요 약

현재 이동 통신 시장에서는 고속의 데이터 전송에 적합한 무선 접속 기술로 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)가 많은 주목을 받고 있고, 이를 기반으로 하여 Time Division Duplex (TDD) 기술이 결합된 OFDMA/TDD 방식이 앞으로 많이 사용될 전망이다.

OFDMA/TDD 방식은 다중 사용자의 레인징 심볼들이 기지국에 수신될 때 기지국은 특정 사용자의 심볼에 시간 동기를 맞추기 때문에 나머지 사용자의 심볼은 각각의 Symbol Timing Offset (STO)을 갖게 된다. 각 사용자의 STO는 선형적인 위상 성분을 야기하고 이러한 위상 성분이 합성되어 Multiple Access Interference (MAI)로 작용하는데 이는 레인징 부호 검출 확률을 저하 시킨다. 따라서 STO에 따른 레인징 부호 검출 확률의 열화 정도를 정확히 파악하여 적절한 보정을 해주는 것이 필요하다.

본 논문에서는 OFDMA/TDD 방식을 사용하는 시스템에서 각 사용자의 STO에 따른 레인징 부호 검출 성능을 분석한다. 시뮬레이션결과 접속자의 수가 많을수록, 단말의 이동속도가 빠를수록 레인징 부호 검출 성능이 저하됨을 알 수 있다.

### ABSTRACT

In the present, Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) that wireless access scheme for high speed data transmission is noticed in mobile communication market and OFDMA/TDD scheme will be used combining Time Division Duplex (TDD) scheme based on OFDMA

The Base Station's receiver synchronizes the symbol timing to anyone user's symbol and the other user's symbols have some Symbol Timing Offset (STO). Linear phase shift is occurred by each user's STO in an OFDMA symbol and the Multiple Access Interference (MAI) caused by the summation of each user's linear phase shift degrades the performance of ranging code detection

In this paper, we analyze the ranging code detection performance for each users STO in OFDMA/TDD system. Simulation results show that the more users access and mobile speed increase, the more ranging code detection performance degrades.

### 키워드

OFDMA, STO, Synchronization, Ranging Code

### 1. 서 론

최근 단말이 고속으로 이동하는 환경에서 고속의 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해 광대역 무선 접속 시스템과 대역폭을 유연하게 할당할

수 있는 TDD 방식에 대한 연구가 활발히 진행중이다. OFDMA 방식은 여러 사용자들에게 직교성을 가진 부반송파들을 할당해서 동시에 정보를 전송하는 무선 접속 방식으로 하향 링크는 기존의 OFDM 방식의 알고리즘을 적용하는 것이 가

능하지만 상향링크의 경우 하나의 OFDMA 심볼에 다수의 사용자가 정보를 동시에 전송하기 때문에 엄격한 동기 유지가 필요하다 [1]-[4]. OFDMA 방식의 시스템에 처음 접속하는 사용자들은 상향링크 동기 획득을 위해 초기 레인징 과정을 수행하는데 이때 특정 사용자의 심볼에 동기를 맞추기 때문에 나머지 사용자의 STO는 시스템 열화의 원인이 된다.

다중 접속자가 존재하는 상황에서 각 사용자의 STO가 레인징 부호 검출 성능을 얼마나 저하시키는지 정확한 파악을 해야 향후 동기 성능을 향상시킬 수 있는 알고리즘 개발에 기반을 만들 수 있다. 본 논문에서는 OFDMA/TDD 방식을 사용하는 시스템에서 사용자들의 STO에 따른 레인징 부호 검출 성능을 분석한다.

## II. OFDMA/TDD 시스템의 프레임 구조

OFDMA/TDD 방식을 사용하는 시스템은 각기 다른 부반송파를 사용자에게 할당하고 시간 영역에서도 사용자에게 각기 다른 전송 시간을 할당하는 형태이다.

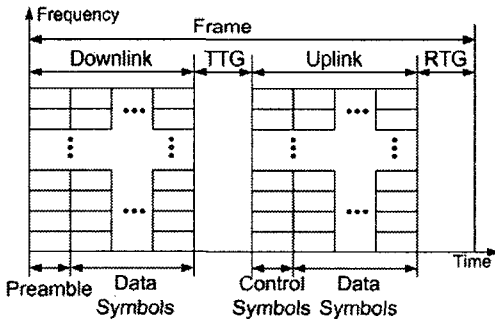


그림 1. OFDMA/TDD 방식의 프레임 구조

그림 1은 OFDMA/TDD 방식의 프레임 구조를 나타내고 있다. 시간축의 한 칸은 OFDMA의 심볼 구간이고 주파수 축의 한 칸은 하나의 부채널을 나타낸다. 하향 무선 링크에서는 하향 링크의 동기 획득을 위한 프리엠블과 기지국에서 사용자에게 전송하는 다수의 데이터 심볼을 전송하고, 상향 링크의 구분을 위한 보호시간인 Transmit/receive Transition Gap (TTG)이 존재한다.

이후 상향 무선 링크가 시작되는데 이때 상향 링크의 동기 획득과 제어 정보를 제공하는 제어 심볼이 사용자가 기지국에 전송하는 데이터와 함께 전송된다. 그리고 TTG와 같은 개념의 보호시간으로서 Receive/transmit Transition Gap (RTG)이 존재하고 동일한 프레임 구조가 반복된다.

## III. 초기 레인징 과정

대다수의 통신 시스템은 초기 접속시에 동기 획득 과정을 거치게 되는데 OFDMA/TDD 시스템에 처음 접속하려는 사용자들 역시 시스템의 동기 획득을 위하여 다음과 같은 초기 레인징 과정을 거치게 된다.

1단계 : 하향 링크 프리엠블과 제어 정보를 통해 하향 링크의 동기를 획득하고 상향 링크의 전송 파라미터 (상향링크 전송시간, 기지국 레인징 부호집합, 레인징 부채널 정보 등)를 획득한다.

2단계 : 사용자는 기지국에서 전송되는 기지국 레인징 부호 집합에서 임의로 하나의 레인징 부호를 선택하고 초기 레인징 부호를 생성하여 임의로 선택된 레인징 부채널로 전송을 하는데 레인징 부호와 부채널은 상호 충돌이 가능하다.

3단계 : 수신기는 사용자가 전송한 레인징 심볼들을 복조하여 사용자에게 대역폭을 할당한다. 또한 다음 프레임의 하향링크 제어 정보에 검출한 레인징 부호, 시간 오차 정보, 할당된 대역폭 정보, 전력제어 정보 등을 전송한다.

4단계 : 기지국에서 전송한 제어 정보를 통하여 시간 동기 획득 및 전력 제어를 수행하며 기지국과 통신을 위한 여러 가지 협상 과정을 진행한다 [5][6].

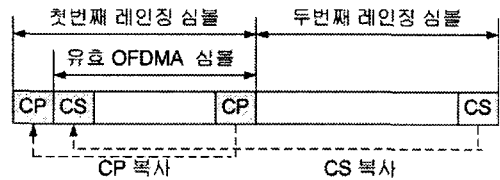


그림 2. 초기 레인징 심볼 구조

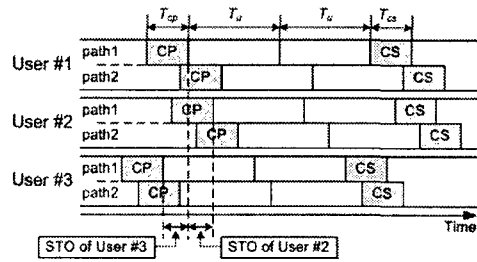


그림 3. 다중 사용자 환경의 기지국 수신 심볼

Binary Phase Shift Keying (BPSK) 방식으로 부채널에 할당되는 부반송파의 개수와 동일한 144bit의 레인징 부호가 생성되는데 초기 레인징 과정에서는 동일한 레인징 부호를 2개의 연속된 OFDMA 심볼 구간동안 반복 전송한다. 그림 2는 시간 영역상에서 초기 레인징 심볼 구조를 나타낸 것이며 Cyclic Prefix (CP)와 Cyclic Suffix (CS)를 삽입하여 다른 심볼과의 간섭에 적절한 대처를 할 수 있다.

OFDMA/TDD 방식의 시스템에서 무선 상향링크의 경우 각 사용자는 각기 다른 지연 시간을 갖기 때문에 수신되는 레인징 심볼들은 서로 다른 심볼 동기 오차를 갖고 합성되어 수신된다 [7]. 그림 3은 다중 사용자 환경에서 기지국에 수신되는 수신 심볼을 나타내고 있는데, 각 사용자의 수신 경로는 2개의 각기 다른 지연 시간을 갖고 수신된다. 첫 번째 사용자의 첫 번째 경로로 수신된 심볼을 기준으로 동기를 맞출 경우 다른 사용자들의 레인징 심볼은 기준 심볼과 비교하여 동기 오차를 갖게 된다. 사용자마다 발생하는 이러한 심볼 동기 오차는 MAI로 작용하여 레인징 부호 검출 성능을 저하시키는 원인이 된다.

K명의 사용자가 존재한다고 가정할 때, k번째 사용자의 n번째 부반송파에 대한 레인징 부호를  $\hat{c}^k$ 라 한다면 k번째 사용자에 대한 초기 레인징 심볼은 다음과 같이 표기된다.

$$c^k(t) = \begin{cases} \sum_{n \in I_k} C_n^k e^{j2\pi f_n(t-T_u)}, & T_p < t \leq T_p + T_u \\ c^k(t-T_u), & T_p + T_u < t \leq T_p + 2T_u \end{cases} \quad (1)$$

여기서,  $T_u$ 는 OFDMA 심볼의 유효 심볼 길이이고  $T_p$ 는 CP의 길이이다.  $f_n$ 은 n번째 부반송파 주파수이고  $T$ 는 샘플링 간격이다.

k번째 사용자의 전송 심볼에 대한 n번째 부반송파 주파수의 주파수 응답을  $\hat{c}^k$ 라 하고 기지국 수신기가 최초로 수신되는 사용자의 심볼에 정확히 동기화 했다고 가정하면  $t=mT_u$  간격으로 샘플링한 심볼은 식 (2)와 같이 표기된다.

$$r(m) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{n \in I_k} e^{j2\pi \alpha_k(m+\delta_k)/N} H_n^k C_n^k e^{j2\pi n(m+\delta_k)/N} + n(m) \quad (2)$$

여기서,  $N$ 은 OFDMA 심볼의 부반송파 수이고,  $\delta_k$ 와  $\alpha_k$ 는 k번째 사용자의 정규화된 STO와 Carrier Frequency Offset (CFO) 이다. 또한  $n(m)$ 은 전력밀도합수가  $N_0/2$ 로 정의되는 복소 부가백색 가우시안 잡음 (Additive White Gaussian Noise : AWGN)을 나타낸다.

본 논문에서는 정규화된 STO에 따른 레인징 부호 검출 성능을 분석하기 때문에  $\alpha_k=0$ 으로 가정하고 심볼이 Fast Fourier Transform (FFT)를 통과하게 되면 식 (3)과 같이 선형적인 위상성분이 발생하는 것을 알 수 있다.

$$Y(n) = \sum_{k=0}^{K-1} e^{j2\pi n \delta_k / N} H^k(n) C^k(n) + N(n) \quad (3)$$

기지국에서 이러한 각 사용자의 선형적인 위상성분이 합성되어 MAI로 작용하기 때문에 레인징 부호 검출 성능이 저하되고 이는 시스템 전체

의 성능 저하를 일으킨다 [3]. 본 논문은 4장에서 다중사용자의 STO 발생으로 저하되는 레인징 부호 검출 확률을 분석한다.

#### IV. 시뮬레이션

OFDMA/TDD 방식을 사용하는 시스템에서 다중사용자의 STO가 레인징 부호 검출에 미치는 영향을 시뮬레이션으로 검증하기 위하여 그림 4와 같은 시뮬레이션 모델을 구성하였다.

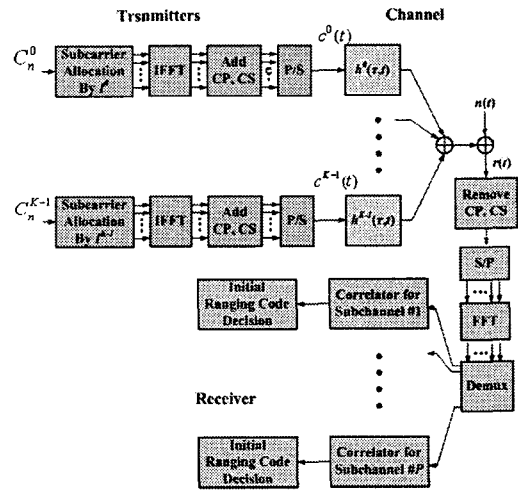


그림 4. 초기 레인징 심볼을 사용하는 OFDMA 상향링크의 시뮬레이션 모델

시뮬레이션 모델은 K명의 초기 레인징 과정을 수행하는 사용자 중에서 k번째 사용자의 n번째 부반송파에 대한 레인징 부호  $\hat{c}^k$ 는 선택된 레인징 부채널의 부반송파 인덱스 집합  $I_k$ 에 의해 Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)에 입력되어 OFDMA 심볼로 구성된다. 이 심볼은 두 심볼 구간 동안 반복되고 CP와 CS가 삽입되어 전송된다. 수신단에서는 수신 신호를 FFT에 입력하여 각 부채널의 상관도를 측정해 레인징 부호를 검출한다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

파라미터	변수값
운영주파수 ( $f_c$ )	2.3GHz
샘플링 주파수 ( $f_s$ )	10MHz
FFT 크기	1028
사용되는 부반송파수	864
유효 심볼 시간 ( $T_u$ )	102.4 $\mu$ s
CP와 CS 시간 ( $T_p$ )	12.8 $\mu$ s
기지국 레인징 부호 개수	32개
레인징 부호 변조 방식	BPSK
사용자수	5,15,25

시뮬레이션에 사용하는 파라미터는 표 1과 같이 OFDMA/TDD 방식을 사용하는 국내 WiBro 시스템과 유사하게 파라미터를 설정한다. 또한 다중 경로 채널 환경은 ITU-R M.1225에서 정의한 Pedestrian 환경과 Vehicular 환경을 사용한다. Pedestrian 환경은 작은 셀에서 전송 전력이 낮으며 단말기의 이동속도가 3~10km/h인 환경으로 정의하고, Vehicular 환경은 큰 셀과 전송 전력이 크며 단말기의 이동속도가 60~100km/h인 환경으로 정의한다.

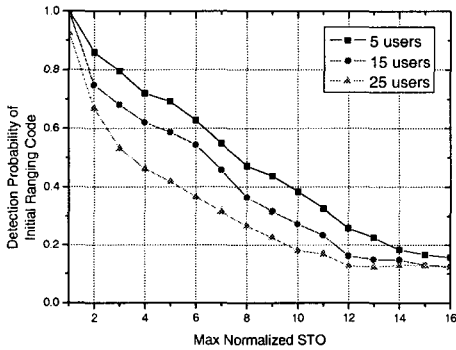


그림 5. AWGN 환경에서의 레인징 부호 검출 확률

본 시뮬레이션은 각 사용자의 STO에 따른 레인징 부호 검출 성능을 확인하기 위해 하나의 OFDMA 심볼 전체를 초기 레인징용 부채널로 할당한다. 또한 각 사용자의 정규화된 STO는 임의적으로 발생하는데 최초로 수신되는 사용자의 심볼에 동기화 되므로 나머지 사용자들은 동기화된 시간과의 오차만큼 정규화된 STO가 존재한다.

그림 5는 AWGN 환경에서 정규화된 STO에 따른 레인징 부호 검출 확률을 나타낸다. 레인징 부호 검출 확률이 1인 경우는 기지국 수신기가 모든 사용자의 레인징 부호를 정확히 검출함을 뜻한다. 사용자가 적으면 레인징 부호 검출 확률은 높아지지만 접속자가 많아질 경우 여러 사용자의 STO가 합성되기 때문에 레인징 부호의 검출 확률은 더 저하되는 것을 보여준다. 기지국은 검출된 레인징 부호를 전송한 사용자의 대역폭을 위한 다음 상향 무선링크의 프레임에 할당하기 때문에 레인징 부호 검출 오류가 클수록 시스템의 대역폭 효율이 낮아진다.

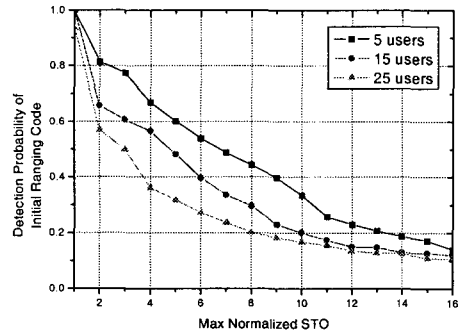


그림 6. Pedestrian 환경에서의 레인징 부호 검출 확률

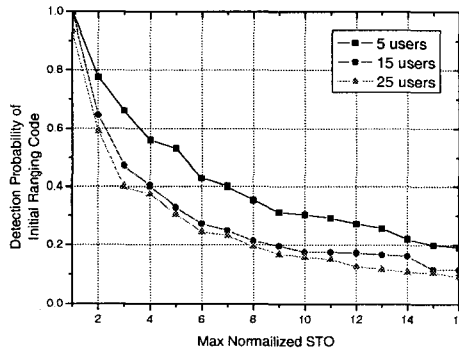


그림 7. Vehicular 환경에서의 레인징 부호 검출 확률

그림 6과 그림 7은 각각 Pedestrian 환경과 Vehicular 환경에서 레인징 부호의 검출 확률을 보여준다. 전체적인 레인징 부호의 검출 확률은 AWGN 환경에 비하여 저하 되는 것을 알 수 있고, 역시 사용자가 많아질수록 기지국에서 합성되는 STO가 증가하기 때문에 MAI의 영향으로 레인징 부호 검출 성능이 저하 되는 것을 알 수 있다. 단말의 이동속도가 빠른 Vehicular 환경보다 Pedestrian 환경에서의 레인징 부호검출 확률이 조금 더 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 단말의 속도가 빠르면 다중경로로 들어오는 신호의 지연 시간이 길어지기 때문이다. 어떠한 환경이든 STO가 0에 가까울수록 레인징 부호 검출 확률은 1에 가까워지기 때문에 각 사용자의 STO를 추정하여 보상해주는 알고리즘의 개발이 필요하다.

V. 결 론

본 논문에서는 OFDMA/TDD 시스템에서 시스

템에 처음 접속하는 다중 사용자들이 수행하는 초기 레인징 과정에 대해서 연구하였다. 시스템의 동기가 획득되지 않은 상태에서 레인징 심볼이 전송되기 때문에 사용자간의 시간동기 오차가 발생할 확률이 크고 이런 오차는 단말기의 이동 속도가 빠를수록 더 크다. 각 사용자의 시간 동기 오차가 합성되어 기지국에 수신될 때 MAI로 작용해 레인징 부호의 검출 확률을 저하시킨다.

레인징 부호의 검출 확률은 사용자의 수가 많을수록, 단말의 이동 속도가 빠를수록 더 저하되는 것을 알 수 있다. 현재 이동통신 시스템은 빠른 속도로 이동하면서 고속의 데이터 전송을 제공하는 것을 목적으로 하기 때문에 적절한 알고리즘을 개발하여 시스템의 동기 오차를 줄이는 것이 필요하다.

능 분석," 한국통신학회 논문지, 제30권, 제 2A호, pp. 34-42, 2005년 2월.

### 감사의 글

본 논문은 산업자원부 한국산업기술평가원 지정 한국항공대학교 부설 인터넷정보검색 연구센터의 지원에 의함

### 참고문헌

- [1] C. Y. Wong *et al.*, "Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit and power allocation," *IEEE J. Select. Areas Comm.*, vol. 17, pp. 1747 - 1757, Oct. 1999.
- [2] D. Kivanc *et al.*, "Computationally efficient bandwidth allocation and power control for OFDMA," *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 2, pp. 1150-1158, Nov. 2003.
- [3] 김 진 호, "OFDMA/TDD 시스템의 초기 동기 성능에 관한 연구," 한국항공대학교 석사 학위논문, Feb. 2006
- [4] Myonghee Park *et al.*, "Performance analysis of OFDMA uplink systems with symbol timing misalignment," *IEEE Comm. Letters*, vol. 7, pp. 376-378, Aug. 2003.
- [5] Telecommunications Technology Association, *Specifications for 2.3GHz band Portable Internet Service -Physical Layer-*, Dec. 2004
- [6] Telecommunications Technology Association, *Specifications for 2.3GHz band Portable Internet Service -Medium Access Control Layer-*, Dec. 2004.
- [7] 박명희, 고균병, 박병준, 이영일, 홍대식, "주파수 선택적 페이딩 채널에서 시간오차에 의한 비동기 OFDMA 상향 시스템의 성