

OFDMA 시스템 상향링크의 레인징 부호 검출 성능 향상 기법

정회원 김기남*, 김진호*, 종신회원 조성준**

The Scheme for Improving the Performance of Ranging Code Detection over OFDMA Systems in Uplink

Ki-nam Kim*, Jin-ho Kim* *Regular Members*, Sung-joon Cho** *Lifelong Member*

요약

Orthogonal Frequency Division Multiple Access(OFDMA) 시스템에서 사용자는 초기 레인징 과정을 통해서 상향링크의 시간 동기화를 획득한다. 기지국 수신기는 특정 사용자의 심볼에 시간 동기화하고 나머지 사용자들의 심볼들은 동기화된 시간과의 오차만큼 Symbol Timing Offset(STO)이 존재한다. 각 사용자의 STO에 의해서 한 OFDMA 심볼 내에 선형적인 위상 성분이 발생하고, 이 위상 성분들이 합성되어 다중 접속 간섭(Multiple Access Interference : MAI)으로 작용한다. 이런 MAI는 기지국 수신기의 레인징 부호 검출 성능을 열화 시키는 원인이 된다. 본 논문에서는 각 사용자의 STO에 의해 발생하는 위상 성분의 추정 및 보상을 위한 공통 레인징 부호를 사용하는 초기 레인징 심볼 구조를 제안한다. 공통 레인징 부호를 사용해서 각 사용자의 STO에 의해 발생한 위상 성분의 평균을 추정하고 보상한다. 이 방식은 MAI의 영향을 억제하여 기존 방식보다 더 향상된 레인징 부호 검출 성능을 제공한다.

Key Words : OFDMA, Uplink, Ranging Code, Detection Probability, STO

ABSTRACT

In Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) systems, timing synchronization in uplink is accomplished by an initial uplink synchronization called an initial ranging process. The Base Station's receiver synchronizes the symbol timing to specific 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. 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 propose an initial ranging symbol structure with common ranging code for phase shift estimation and compensation. We can estimate the average of phase shift that is generated by each user's STO and compensate this phase shift by using common ranging code. This scheme will suppress the MAI and provide better detection performance than conventional process.

I. 서론

3세대 이동통신 시스템의 개발 이후, 고속 이동

환경에서도 고속의 멀티미디어 서비스가 가능한 광대역 무선 접속 시스템에 대한 연구가 증가하고 있다. 3.5세대 및 4세대 광대역무선 접속 방식으로

※ 본 논문은 산업자원부 한국산업기술평가원 지정 경기도 지역협력연구센터(RRC)인 한국항공대학교 인터넷정보검색연구센터의 연구비 지원에 의해 수행된 것입니다.

* 한국항공대학교 대학원 정보통신공학과 (kevin@ktei.co.kr, blucaim@hau.ac.kr)

** 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수 (sjcho@hau.ac.kr)

논문번호: KICS2005-12-485, 접수일자: 2005년 12월 1일, 최종논문접수일자: 2006년 5월 12일

Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) 방식이 여러 표준안에서 주목 받고 있다. OFDMA 방식은 여러 사용자들에게 각기 다른 직교성을 가진 부반송파들을 할당해서 동시에 정보를 전송하는 무선 접속 방식이다. OFDMA 방식은 사용자들에게 각기 다른 부반송파를 할당함으로써 주파수축 상에서 사용자들을 분리할 수 있어서 한 셀 내에서의 다중 접속 간섭 (Multiple Access Interference : MAI)의 영향을 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한, 단일 반송파 무선 접속 방식에 비해서 협대역 간섭에 강인하며 사용자간의 효율적인 자원할당이 가능하다는 장점을 가지고 있다¹¹⁻¹³. 이런 OFDMA 방식의 시스템으로는 케이블 TV 네트워크¹⁴와 국내의 WiBro 시스템^{15, 6)}, 그리고 국외의 WiMAX 시스템¹⁷이 대표적이다.

OFDMA 시스템에서 하향링크 환경은 기존 IEEE 802.11a/g 등의 무선 랜 방식에서 사용되던 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) 방식과 유사한 환경으로 가정 할 수 있어서 기존의 OFDM 방식의 알고리즘들을 쉽게 적용하는 것이 가능하다. 상대적으로 상향링크 환경은 다수의 사용자들이 하나의 OFDMA 심볼에 동시에 정보를 전송하여야 하기 때문에 기존 OFDM 방식에서는 존재하지 않던 문제점들이 발생한다^{18, 9)}. OFDMA 방식은 기존 OFDM 방식처럼 심볼 내 부반송파들 사이의 직교성 유지와 동시에 한 OFDMA 심볼을 사용하는 다중 사용자들 사이의 엄격한 주파수와 심볼 동기가 필수적이다. 한 사용자의 OFDMA 심볼이 다른 사용자들의 OFDMA 심볼들과 동기가 맞지 않는다면 그 사용자의 OFDMA 심볼은 다른 사용자들에게 MAI로 작용하게 되며 전체 시스템의 성능을 열화시키는 주요한 원인이다¹⁸⁾.

OFDMA 시스템에 처음 접속하려는 사용자들은 상향링크 동기를 획득하지 않은 상태에서 초기 레인징 과정을 수행한다. 이런 초기 레인징 과정을 수행하는 사용자들의 OFDMA 심볼들은 이미 동기화되어 기지국과 통신을 하고 있는 사용자들의 심볼들보다 MAI 문제를 발생시킬 가능성이 크다. 이렇게 MAI가 존재하는 다중 사용자 환경에서 각 사용자가 초기 레인징 심볼을 전송할 때 기지국 수신기는 각 사용자가 송신한 레인징 부호를 정확히 찾아낼 수 있는 방법이 필요하다.

본 논문에서는 각 사용자의 각기 다른 심볼 타이밍 오프셋 (Symbol Timing Offset : STO)에 의해 발생하는 MAI가 존재하는 환경에서 기존에 제안되

어 있는 초기 레인징 심볼을 사용하는 경우의 레인징 부호의 검출 성능을 분석한다. 그리고 레인징 부호 검출 성능을 향상시키기 위해 모든 사용자가 동일하게 전송하는 공통 레인징 부호를 사용해서 MAI의 영향을 억제하는 초기 레인징 심볼 구조를 제안하고 시뮬레이션을 통해 레인징 부호 검출 성능을 분석한다.

II. OFDMA 시스템의 초기 레인징 과정

2.1 초기 레인징 과정

OFDMA 시스템에 처음 접속하려는 사용자들은 시스템 동기를 획득하기 위해서 다음과 같은 초기 레인징 과정을 수행하게 된다^{15, 6)}.

- Step 1) 시스템에 처음 접속한 사용자는 하향링크 프리앰블을 이용 하여 하향 무선링크 동기를 획득한다. 그리고 하향링크 제어 정보를 통해서 상향링크 전송 파라미터 (상향링크 전송시간, 기지국 레인징 부호 집합, 레인징 부채널 정보 등)를 획득한다.
- Step 2) 사용자는 기지국 레인징 부호 집합에서 임의의 한 레인징 부호를 선택하고 Binary Phase Shift Key (BPSK) 변조하여 초기 레인징 심볼을 생성한다. 생성된 초기 레인징 심볼은 임의로 선택된 레인징 부채널로 전송한다. 이 때, 사용자들은 임의로 선택한 레인징 부호와 레인징 부채널을 사용하기 때문에 상호 충돌이 가능하다.
- Step 3) 기지국 수신기는 레인징 부채널을 통해 수신된 사용자들의 초기 레인징 심볼들을 복조하여 전송된 레인징 부호들을 검출한다. 기지국 수신기는 다음 상향 무선링크 프레임에 검출된 레인징 부호를 전송한 사용자들을 위한 대역폭을 할당하고 다음 프레임의 하향링크 제어 정보에 검출된 레인징 부호, 시간 오차 정보, 전력제어 정보 그리고 할당된 대역폭 정보를 전송한다.
- Step 4) 사용자는 하향링크 제어 정보를 확인해서 자신이 전송한 레인징 부호에 대한 정보를 획득하여 시간 동기 및 전력 제어를 수행하고 자신에게 할당된 상향 무선링크의 대역폭을 이용하여 기지국과 협상과정을 진행한다.

레인징 부채널에 할당된 부반송파 수는 144개이며, 레인징 부호는 BPSK 변조되기 때문에 144 bits의 Pseudonoise (PN) 부호열이다. 초기 레인징 과정은

상향 무선링크 동기가 전혀 확보되지 않은 상태에서 시도되므로 동일한 레인징 부호를 2개의 연속된 OFDMA 심볼 구간 동안에 반복하여 전송한다. 그림 1은 초기 레인징 심볼의 구조를 시간 영역에서 표현한 것이며 Cyclic Prefix (CP)와 Cyclic Suffix (CS)를 사용하여 다른 심볼과의 간섭을 줄일 수 있다.

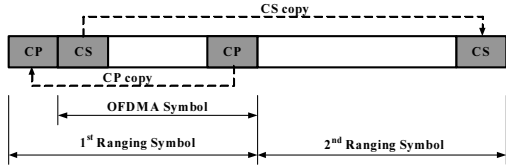


그림 1. 초기 레인징 심볼 구조
Fig 1. Initial Ranging Symbol Structure.

초기 레인징 과정은 상향 무선링크의 동기가 획득되지 않은 상태에서 수행된다. 사용자들은 초기 레인징 과정 중 하향링크 제어 정보를 통해서 상향 무선링크 프레임의 시작 시간을 알 수 있다. 그렇지만 각 사용자는 자기 다른 지연 시간을 가지기 때문에 실제 각 사용자가 송신한 초기 레인징 심볼은 기지국 수신기에 서로 다른 심볼 동기 오차를 가지고 합성되어 수신된다⁹⁾. 다음 그림 2는 다중 사용자 환경에서 기지국 수신기에 수신되는 수신 심볼을 표현한다.

그림 2는 4명의 사용자가 송신한 초기 레인징 심볼을 기지국 수신기에서 수신한 상황이다. 각 사용자의 다중 경로 환경은 2개의 자기 다른 지연 시간을 가진 경로로 구성되고 4명의 사용자들과 기지국 간의 거리차로 인하여 자기 다른 지연 시간을 가지고 수신된다. 기지국 수신기는 첫 번째 사용자의 첫 번째 경로로 수신된 심볼에 심볼 동기화 되어 있다. 따라서 다른 사용자들의 초기 레인징 심볼들은 첫 번째 사용자의 심볼과의 도착 시간 오차만큼 심볼 동기 오차가 발생한다. 상향 무선링크 동기가 획득

되지 않은 상태에서 수행되는 초기 레인징 과정은 필연적으로 다중 사용자 환경에서 각 사용자의 심볼 동기 오차가 발생하는 원인이 된다. 이러한 사용자마다 발생하는 심볼 동기 오차는 레인징 부호 검출시 MAI로 작용하여 검출 성능을 열화 시키는 주 원인이 된다.

2.2 초기 레인징 과정 분석

본 장에서는 다중 사용자 검출을 위한 상관 수신기를 고려하여 각 사용자의 STO에 따른 MAI와 다중 경로 환경이 레인징 부호 검출 확률에 미치는 영향을 분석한다. 그림 3은 초기 레인징 심볼을 사용하는 OFDMA 상향링크의 기저대역 등가모델이다.

총 K 명의 초기 레인징 과정을 수행하는 사용자 중에서 k 번째 사용자의 n 번째 부분송파에 대한 레인징 부호 C_n^k 는 선택된 레인징 부채널의 부분송파 인덱스 집합 I_k 에 의해 Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)에 입력되어 OFDMA 심볼로 구성된다. 이 OFDMA 심볼은 두 심볼 구간 동안 반복되고 CP와 CS가 삽입되어 전송된다. k 번째 사용자의 전송 심볼은 다음 식 (1)과 같다.

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

여기서 T_u 는 OFDMA 심볼의 유효심볼 길이이고, T_{cp} 는 CP의 길이이다. f_n 는 n 번째 부분송파 주파수로 $f_n = n/T_u = n/NT$ 로 정의되며 T 는 샘플링 간격이다. 기지국은 수신한 초기 레인징 심볼을 이용해서 각 사용자가 송신한 레인징 부호와 주파수 및 심볼 동기 오차를 추정할 수 있어야 한다. 기지국 수신기에 수신되는 K 명의 사용자가 전송한 초기 레인징 심볼은 다음 식 (2)와 같이 기저대역 심볼로 나타낼 수 있다.

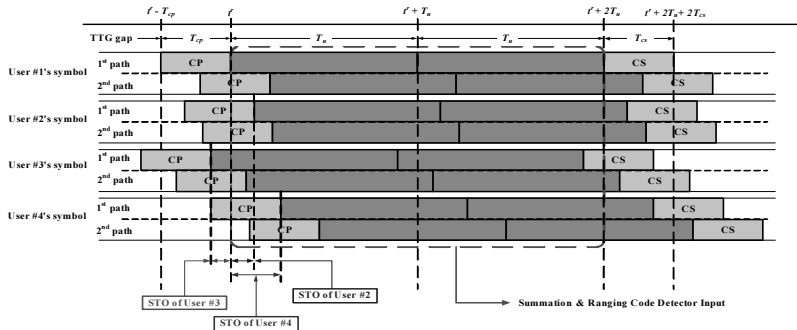


그림 2. 다중 사용자 환경에서 기지국 수신 심볼
Fig 2. Received Symbols at Base-Station over Multi-user Environments.

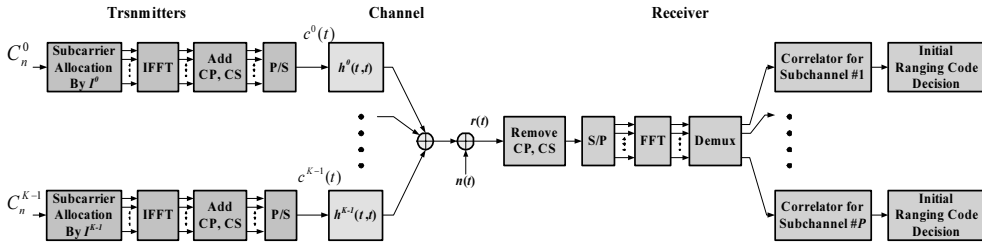


그림 3. 초기 레인징 심볼을 사용하는 OFDMA 상향링크의 기저대역 등가모델
Fig 3. Uplink Baseband Equivalent Model Using Initial Ranging Symbol over OFDMA System.

$$r(t) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{n \in I_k} e^{j2\pi\Delta f_k t} H_n^k C_n^k e^{j2\pi f_n(t-\tau_k)} + n(t) \quad (2)$$

$$Y(n) = \sum_{k=0}^{K-1} e^{j2\pi n \delta_k / N} H^k(n) C^k(n) + N(n) \quad (5)$$

식 (2)의 H_n^k 는 k 번째 사용자의 전송 심볼에 대한 n 번째 부반송파 주파수 f_n 에 대한 채널의 주파수 응답이다. 그리고 Δf_k 는 기저국 수신기와 각 사용자의 반송파 주파수 오프셋 (Carrier Frequency Offset : CFO)이고 τ_k 는 각 사용자의 각기 다른 시간지연이다. $n(t)$ 는 전력밀도합수가 $N_0/2$ 로 정의되는 복소 부가백색 가우시안잡음 (Additive White Gaussian Noise : AWGN)을 나타낸다. 기저국 수신기는 최초로 수신되는 사용자의 심볼에 정확히 심볼 동기화 하였다는 가정하고, 수신 심볼을 $t=mT$ 간격으로 샘플링하면 다음 식 (3)과 같은 샘플링된 기저대역 심볼로 표현할 수 있다.

$$r(m) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{n \in I_k} e^{j2\pi\epsilon_k(m+\delta_k)/N} H_n^k C_n^k e^{j2\pi n(m+\delta_k)/N} + n(m) \quad (3)$$

여기서, N 은 OFDMA 심볼의 부반송파 수이고, δ_k 는 기저국 수신기의 심볼 동기 시간과 k 번째 사용자의 시간 지연 오차를 정규화한 STO이다. ϵ_k 는 각 사용자의 정규화된 CFO이다. 본 논문에서는 각 사용자의 정규화된 STO가 레인징 부호 검출 성능에 미치는 영향을 분석한다. 이를 위해 식 (3)의 $\epsilon_k = 0$ 으로 가정하면 다음 식 (4)와 같이 간략화 된다.

$$r(m) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{n \in I_k} H_n^k C_n^k e^{j2\pi n(m+\delta_k)/N} + n(m) \quad (4)$$

식 (4)와 같이 단순화 된 수신 심볼이 Fast Fourier Transform (FFT)을 통과하게 되면 식 (5)와 같이 다중 경로 환경의 영향 이외에도 각 사용자의 정규화된 STO로 인한 각 부반송파의 데이터 신호에 선형적인 위상 성분이 발생함을 확인 할 수 있다.

기지국 수신기가 다중 사용자 검출을 위해서 식 (5)와 기저국 레인징 부호 집합 $C_R \{R = 1, \dots, M\}$ 의 상관도를 취하여 일정 임계값 이상 나오는 레인징 부호를 사용자가 송신한 레인징 부호로 선택할 수 있고 다음 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Ranging\ Codes = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{n \in I_k} e^{j2\pi n \delta_k / N} H^k(n) \times C^k(n) C_R^*(n) > threshold \quad (6)$$

식 (6)에 사용되는 레인징 부채널 상관 수신기의 상관값을 분석하기 위해 다음과 같이 가정한다. 레인징 부호로 사용되는 PN 부호가 식 (7)과 같이 이상적인 PN 부호의 상관 특성을 가지고, 레인징 부채널간의 상호 간섭은 고려하지 않는다. 하나의 레인징 부채널에 t_R 명의 사용자가 초기 레인징 심볼을 전송할 때 실제 전송한 l 번째 레인징 부호에 대한 기저국 상관 수신기의 출력과 전송하지 않은 레인징 부호에 대한 기저국 상관 수신기의 출력은 식 (8)과 같다.

$$\sum_{n \in I_k} C^k(n) C_R^*(n) = \begin{cases} 1, & k = R \\ 1/L, & k \neq R \end{cases} \quad (7)$$

$$Output = \begin{cases} \sum_{n \in I_k} e^{j2\pi n \delta_k / N} H^k(n) + \frac{1}{L} \sum_{k=0}^{t_R} \sum_{n \in I_k} e^{j2\pi n \delta_k / N} H^k(n) + N' & \text{for transmitted Ranging Code} \\ \frac{1}{L} \sum_{k=0}^{t_R} \sum_{n \in I_k} e^{j2\pi n \delta_k / N} H^k(n) + N' & \text{for other Ranging Codes} \end{cases} \quad (8)$$

레인징 부호 검출에 사용되는 임계값은 다음 식

(9)와 같이 수신 레인지 부호와 기지국 레인지 부호 집합의 상관도를 취한 상관값의 평균에 임의의 가중치 (th_level)를 곱하여 사용한다.

$$threshold = th_level \times \frac{1}{M} \left[\sum_{k=0}^{I_R} \sum_{n \in I_k} e^{j2\pi n \delta_k / N} H^k(n) + \frac{M-1}{L} \sum_{k=0}^{I_R} \sum_{n \in I_k} e^{j2\pi n \delta_k / N} H^k(n) + MN' \right] \quad (9)$$

식 (8)과 식 (9)를 통해서 동시에 같은 레인지 부채널로 전송된 사용자들의 초기 레인지 심볼들은 각 사용자의 STO에 따른 위상 성분이 실제 전송된 레인지 부호에 대한 상관기 출력값과 레인지 부호 검출을 위한 임계값에 많은 영향을 주는 것을 분석할 수 있다. 또한 다른 레인지 부채널을 사용하여 초기 레인지 과정을 수행하는 사용자들의 STO에 따른 추가적인 영향을 예상할 수 있다.

기지국이 식 (6)과 같은 방법으로 레인지 부호를 검출할 경우 각사용자의 STO에 의한 위상 성분이 레인지 부호 검출 성능에 영향을 주는 것을 식 (8)과 식 (9)를 통해 분석할 수 있었다. 레인지 부호 검출 성능을 향상하기 위해서는 각 사용자의 STO에 의한 위상 성분을 추정해서 보상해 주어야 한다. 그러나 각 사용자가 전송하는 레인지 부호는 기지국 레인지 부호 집합에서 임의로 선택되기 때문에 기지국은 각 사용자가 전송한 레인지 부호가 어떤 것인지 알 수 없어 위상성분의 추정 및 보상이 불가능하다. 본 논문은 III장에서 각 사용자의 STO에 따른 위상 성분을 보상하기 위해 사용자 각자가 임의로 선택한 레인지 부호 이외에 모든 사용자가 동일하게 전송하는 레인지 부호를 추가하여 위상 성분의 보상이 가능한 공통 레인지 부호를 사용하는

초기 레인지 심볼 구조를 제안하고 이를 분석한다.

III. 공통 레인지 부호 기법

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 공통 레인지 부호를 사용하는 초기 레인지 심볼 구조는 한 OFDMA 심볼 내에서 각 사용자의 정규화된 STO에 따라 선형적인 위상 성분의 변화가 나타나는 특징을 이용하여 위상 성분을 추정 및 보상한다. 공통 레인지 부호를 사용하는 방식은 위상 성분의 추정을 위해서 모든 사용자가 동일한 특정 레인지 부호 C^c 를 정해진 레인지 부채널의 부반송파 인덱스 집합 I^c 에 할당하여 각 사용자가 임의로 선택한 레인지 부호와 함께 전송하는 방식이다.

기지국 수신기는 공통 레인지 부호와 공통 레인지 부채널의 부반송파 인덱스 집합을 알고 있으므로 이를 이용하여 한 OFDMA 심볼 내에서 선형적으로 변하는 위상 성분을 추정하고 보상 할 수 있다. 그림 4는 본 논문에서 제안하는 공통 레인지 심볼을 사용하는 OFDMA 상향링크의 기저대역 등가모델을 나타내고 있다.

그림 4의 공통 레인지 부호를 사용하는 OFDMA 시스템은 기존 초기 레인지 심볼을 사용하는 OFDMA 시스템에 공통 레인지 부호 할당 부분과 공통 레인지 부호를 통한 추정 및 보상 부분이 추가된다. 공통 레인지 부호를 사용하는 사용자의 초기 레인지 심볼은 식 (10)과 같이 표현된다.

$$c^k(t) = \begin{cases} \sum_{n_1 \in I_c} C_{n_1}^{C^k} e^{j2\pi f_c (t-T_u)} + \sum_{n_2 \in I_k} X_{n_2}^k e^{j2\pi f_c (t-T_u)}, & T_{cp} \leq t \leq T_{cp} + T_u \\ c^k(t - T_u), & T_{cp} + T_u < t \leq T_{cp} + 2T_u \end{cases} \quad (10)$$

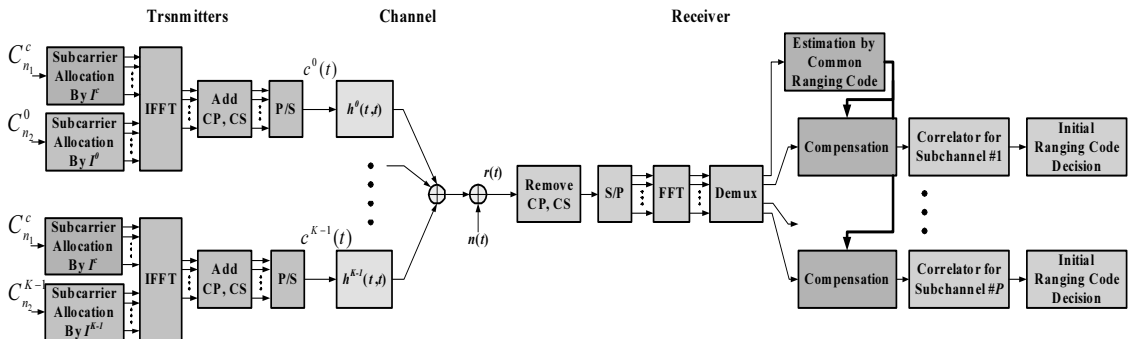


그림 4. 공통 레인지 부호를 사용하는 OFDMA 상향링크의 기저대역 등가모델
Fig 4. Uplink Baseband Equivalent Model Using Common Ranging Code over OFDMA System.

II장에서 분석한 기준 초기 레인징 심볼 방식과 동일한 환경으로 공통 레인징 부호를 사용한 경우 각 사용자의 정규화된 STO가 레인징 부호 검출 성능에 미치는 영향을 분석한다. 기지국 수신기에 수신되는 K 명의 사용자의 초기 레인징 심볼은 다음 식 (11)과 같이 $t=mT$ 간격으로 샘플링된 기저대역 심볼로 나타낼 수 있다.

$$r(m) = \sum_{k=0}^{K-1} \left[\sum_{n_1 \in I_C} H_{n_1}^{C^k} C_{n_1}^{C^k} e^{j2\pi n(m+\delta_k)/N} + \sum_{n_2 \in I_k} H_{n_2}^k C_{n_2}^k e^{j2\pi n(m+\delta_k)/N} \right] + n(m) \quad (11)$$

주파수축 상에서 위상 성분을 추정하기 위해 식 (11)을 FFT에 입력하면 공통 레인징 부채널과 각 사용자가 전송한 레인징 부호의 레인징 부채널에 대한 출력은 다음 식 (12)와 식 (13)을 얻을 수 있다.

$$Y(n_1) = \sum_{k=0}^{K-1} e^{j2\pi n_1 \delta_k / N} H^{C^k}(n_1) C^{C^k}(n_1) + N(n_1) \quad (12)$$

$$Y(n_2) = \sum_{k=0}^{K-1} e^{j2\pi n_2 \delta_k / N} H^k(n_2) C^k(n_2) + N(n_2) \quad (13)$$

식 (12)는 각 사용자의 STO에 의해 발생한 공통 레인징 부채널 내의 위상 변이 정보를 가지고 있다. 기지국 수신기는 공통 레인징 부채널의 부반송파 위치 (I^C)와 공통 레인징 부호 (C^C)를 알고 있기 때문에 식 (14)와 같이 공통 레인징 부채널에 발생한 위상 성분을 추정할 수 있다.

$$P_C(n_1) = \frac{Y(n_1)}{C^C(n_1)} = \sum_{k=0}^{K-1} e^{j2\pi n_1 \delta_k / N} H^{C^k}(n_1) \frac{C^{C^k}(n_1)}{C^C(n_1)} + \frac{N(n_1)}{C^C(n_1)} \quad (14)$$

한 OFDMA 심볼 내에서 다중 경로 환경과 잡음의 영향을 충분히 무시할 수 있다고 가정하면 식 (14)로 추정된 공통 레인징 부채널의 위상 성분은 다중 사용자의 정규화된 STO에 의해 선형적으로 변화하는 위상 성분의 평균이라 할 수 있다. 추정된 공통 레인징 부채널의 위상 성분으로 부반송파 간의 위상 성분의 평균을 구하면 정규화된 STO와 한 OFDMA 심볼 내에서 선형적으로 변화하는 위상 성분을 추정하여 각 사용자가 보낸 레인징 부채널

의 위상 성분을 보상해 줄 수 있다. 길이가 L 인 공통 레인징 부반송파를 이용해서 추정된 평균 위상 성분은 식 (15)와 같고 이를 이용한 레인징 부채널의 위상 성분의 추정치는 식 (16)과 같다.

$$\hat{\phi} = \frac{1}{L-1} \sum_{n_1=1}^L [\arg\{P_C(n_1)\} - \arg\{P_C(n_1-1)\}]_{2\pi} \quad (15)$$

$$\hat{P}(n_2) = e^{jn_2 \hat{\phi}} \quad (16)$$

식 (16)으로 추정된 레인징 부채널에 할당된 부반송파의 위상 성분 추정치로 각 레인징 부채널의 출력식 (13)을 보상하면 식 (17)과 같이 위상 성분이 보상된 레인징 부채널의 출력식을 얻을 수 있다.

$$\hat{Y}(n_2) = \frac{Y(n_2)}{\hat{P}(n_2)} = \sum_{k=0}^{K-1} \exp \left[j \left(\frac{2\pi n_2 \delta_k}{N} - n_2 \hat{\phi} \right) \right] H^k(n_2) C^k(n_2) + \frac{N(n_2)}{e^{jn_2 \hat{\phi}}} \quad (17)$$

기지국 수신기는 2장의 초기 레인징 심볼 방식과 동일한 상관 수신기를 이용한 방식으로 다중 사용자의 레인징 부호를 검출한다. 레인징 부채널의 상관 수신기는 식 (17)과 같이 위상 성분이 보상된 레인징 부채널의 레인징 부호와 기지국 레인징 부호 집합 C_R 의 상관도를 취하여 일정 임계값 이상 나오는 초기 레인징 부호를 사용자가 송신한 레인징 부호로 선택하고 다음 식 (18)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Ranging Codes} &= \sum_{n \in I_k} \hat{Y}(n) C_R^*(n) \\ &= \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{n \in I_k} \exp \left[j \left(\frac{2\pi n \delta_k}{N} - n \hat{\phi} \right) \right] H^k(n) C^k(n) C_R^*(n) \\ &> \text{threshold} \end{aligned} \quad (18)$$

식 (18)에 사용되는 레인징 부채널 상관 수신기의 상관값을 분석하기 위해 II장과 동일하게 가정한다. 하나의 레인징 부채널에 I_R 명의 사용자가 공통 레인징 부호를 사용한 초기 레인징 심볼을 전송할 때 실제 전송한 l 번째 레인징 부호에 대한 기지국 상관 수신기의 출력과 전송하지 않은 레인징 부호에 대한 기지국 상관 수신기의 출력은 식 (19)와 같다.

$$\text{Output} = \begin{cases} \sum_{n \in I_k} e^{j(2\pi n \delta_k / N - n \hat{\phi})} H^k(n) \\ + \frac{1}{L} \sum_{k=0}^{I_R} \sum_{n \in I_k, n \neq I_k} e^{j(2\pi n \delta_k / N - n \hat{\phi})} H^k(n) + N' \\ \text{for transmitted Ranging Code} \\ \\ \frac{1}{L} \sum_{k=0}^{I_R} \sum_{n \in I_k} e^{j(2\pi n \delta_k / N - n \hat{\phi})} H^k(n) + N' \\ \text{for other Ranging Codes} \end{cases} \quad (19)$$

레인징 부호 검출에 사용되는 임계값은 식 (20)과 같다. 식 (19)과 식 (20)에서 알 수 있듯이 공통 레인징 부호를 사용하여 위상 성분을 추정해서 각 사용자의 STO의 영향을 억제할 수 있다. 그래서 공통 레인징 부호를 사용하여 레인징 부채널에 존재하는 각 사용자의 STO에 의한 위상 성분을 정확히 추정해서 보상하면 MAI의 영향을 억제하여 레인징 부호 검출 성능을 효과적으로 향상할 수 있다.

본 장에서는 공통 레인징 부호를 사용하는 초기 레인징 심볼의 레인징 부호 검출 방식이 II장에서 분석한 기존 초기 레인징 심볼의 레인징 부호 검출 방식보다 효과적으로 MAI의 영향을 억제하여 레인징 부호 검출 성능이 우수함을 이론적인 분석을 통해서 확인할 수 있었다. 그렇지만 제안한 방식은 공통 레인징 부호를 위한 공통 레인징 부채널을 따로 할당해야하는 문제점이 존재한다. 이는 기존 방식의 일반 레인징 부호를 위한 하나의 레인징 부채널을 감소시켜서 상대적으로 제안한 방식의 대역폭 효율이 감소한다.

$$\text{threshold} = th_level \times$$

$$\frac{1}{M} \left[\sum_{k=0}^{I_R} \sum_{n \in I_k} e^{j(2\pi n \delta_k / N - n \hat{\phi})} H^k(n) + \frac{M-1}{L} \sum_{k=0}^{I_R} \sum_{n \in I_k} e^{j(2\pi n \delta_k / N - n \hat{\phi})} H^k(n) + MN' \right] \quad (20)$$

IV. 시뮬레이션 환경 및 성능 분석

본 장에서는 초기 레인징 심볼의 레인징 부호 검출 성능과 본 논문에서 제안한 공통 레인징 부호를 사용하는 초기 레인징 심볼의 레인징 부호 검출 성능을 시뮬레이션을 통해 검증한다. 시뮬레이션에 사용되는 OFDMA 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같

이 유사 시스템인 국내 WiBro 시스템을 기준으로 설정한다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation Parameters

Parameter	Value
Operation frequency (f_c)	2.3 GHz
Sampling frequency (f_s)	10 MHz
FFT size	1024 point
The number of used subcarrier	864 point
Effective symbol duration (T_u)	102.4 μ s
Cyclic prefix and Cyclic suffix duration (T_{cp})	12.8 μ s
The number of Base-Station ranging codes	32 sequence
The number of ranging code subcarrier	144 point
Modulation scheme of ranging code	BPSK modulation
Common ranging code number	#1
Subcarrier index set of common ranging subchannel	{81, 82, ..., 224}
Subcarrier index set of ranging subchannel #1	{225, 226, ..., 368}
...	...
Subcarrier index set of ranging subchannel #5	{801, 802, ..., 944}
Mobile speed in Pedestrian Channel	3 ~ 10 Km/h
Mobile speed in Vehicular Channel	60 ~ 100 Km/h
The number of users	5, 15, 25

본 시뮬레이션은 사용자 수와 다중 경로 채널 환경을 변화하며 각 사용자의 정규화된 STO에 따른 두 방식의 레인징 부호 검출 확률과 검출 오류 성능으로 성능을 확인한다. 기지국 수신기의 잡음 환경은 $E_b/N_0 = 15$ dB로 고정하고 다중 경로 채널 환경은 ITU-R M.1225^[10]에서 정의된 Pedestrian 환경과 Vehicular 환경을 사용한다. 시뮬레이션에서 각 사용자의 이동 속도는 Pedestrian 환경에서 3 ~ 10 Km/h 사이에서 그리고 Vehicular 환경에서 60 ~ 100 Km/h 사이에서 임의로 정해진다. 기지국에서 사용하는 레인징 부호 집합은 32개의 레인징 부호로 구성되어 있고 그 중 하나의 레인징 부호는 공통 레인징 부호로 사용되고 나머지 31개의 레인징 부호가 초기 레인징 과정에 사용된다.

본 시뮬레이션에서는 각 사용자의 STO에 따른 레인징 부호 검출 성능을 확인하기 위해서 하나의 OFDMA 심볼 전체를 초기 레인징용 부채널로 할

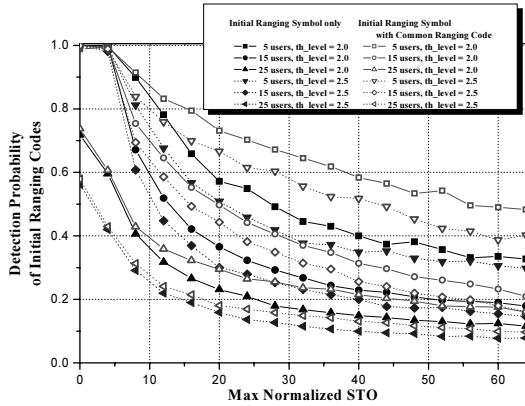


그림 5. Pedestrian Channel-B 환경에서 레인지 부호 검출 확률
Fig 5. Detection Probability of Ranging Code over Pedestrian Channel-B Environment.

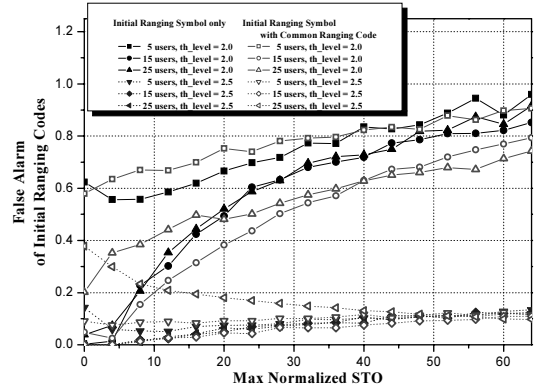


그림 6. Pedestrian Channel-B 환경에서 레인지 부호 검출 오류성능
Fig 6. False Alarm of Ranging Code over Pedestrian Channel-B Environment.

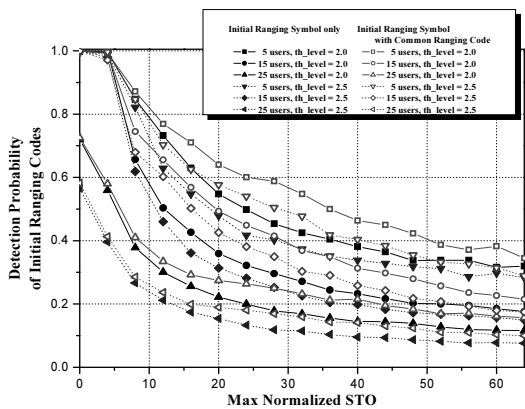


그림 7. Vehicular Channel-B 환경에서 레인지 부호 검출 확률
Fig 7. Detection Probability of Ranging Code over Vehicular Channel-B Environment.

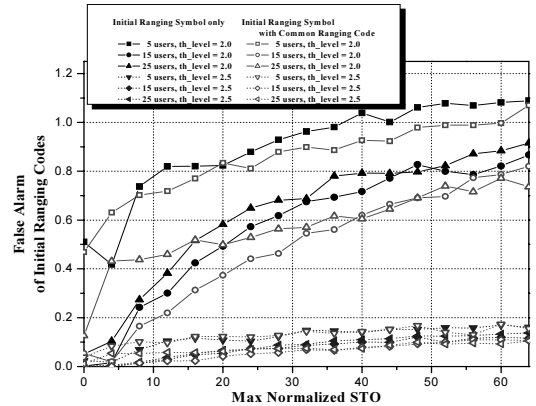


그림 8. Vehicular Channel-B 환경에서 레인지 부호 검출 오류성능
Fig 8. False Alarm of Ranging Code over Vehicular Channel-B Environment.

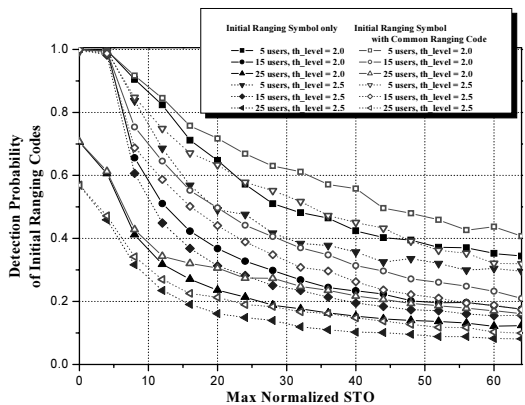


그림 9. 혼재된 Channel 환경에서 레인지 부호 검출 확률
Fig 9. Detection Probability of Ranging Code over Mixed Channel Environment.

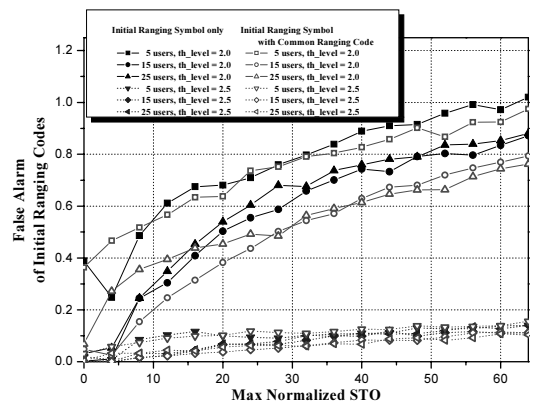


그림 10. 혼재된 Channel 환경에서 레인지 부호 검출 오류성능
Fig 10. False Alarm of Ranging Code over Mixed Channel Environment.

당한다. 그래서 레인징 부채널은 전체 6개의 채널이 생성되고 그 중 1개의 레인징 부채널은 공통 레인징 부호를 위한 공통 레인징 부채널로 할당하고 나머지 5개의 레인징 부채널을 사용하여 사용자들은 초기 레인징 심볼을 전송한다. 사용자는 각 레인징 부채널에 균등하게 분포하고 모든 사용자가 동시에 초기 레인징 심볼을 전송한다. 초기 레인징 과정을 수행하는 사용자의 수는 [5, 15, 25]로 10명씩 증가하며 성능을 확인한다. 기지국 수신기의 임계값을 위한 th_level 은 시뮬레이션을 수행하여 구한 실험치로서 [2, 2.5]로 두 가지의 경우를 기준으로 분석한다. 각 사용자의 정규화된 STO는 [0, Max Normalized STO]의 범위에서 임의적으로 발생한다. 기지국 수신기는 최초로 수신되는 사용자의 OFDMA 심볼에 심볼 동기화 되므로 나머지 사용자들은 동기화된 시간과의 오차만큼 정규화된 STO가 존재하는 환경이다.

레인징 부호 검출 확률은 각 사용자의 레인징 부호 검출 확률을 평균한 값으로 레인징 부호 검출 확률이 1인 경우는 기지국 수신기가 초기 레인징 심볼을 전송한 모든 사용자의 레인징 부호를 정확히 검출함을 뜻한다. 레인징 부호 검출 오류 성능은 기지국 수신기가 실제 사용자가 전송하지 않은 레인징 부호를 검출한 경우를 뜻하고 한 번의 초기 레인징 과정에 발생하는 각 부채널당 잘못 검출된 레인징 부호의 수를 평균한 값이다. 즉 레인징 부호 검출 오류 성능이 1인 경우는 한 번의 초기 레인징 과정에서 한 레인징 부채널당 하나의 실제 전송되지 않은 레인징 부호가 검출됨을 뜻한다. II장에서 설명한 바와 같이 기지국은 검출된 레인징 부호를 전송한 사용자들을 위한 대역폭을 다음 상향 무선링크 프레임에 할당하기 때문에 레인징 부호 검출 오류 성능이 높을수록 전체 시스템 대역폭 효율이 낮아지는 문제가 발생한다.

그림 5와 그림 6은 Pedestrian Channel-B 환경, 그림 7과 그림 8은 Vehicular Channel-B 환경, 그리고 그림 9와 그림 10은 Pedestrian Channel과 Vehicular Channel의 다중 경로 환경이 혼재되어 있는 환경에서 레인징 부호 검출 확률과 레인징 부호 검출 오류 성능의 시뮬레이션 결과이다.

레인징 부호 검출 확률은 모두 제안한 방식이 기존 방식보다 성능이 우수함을 확인할 수 있다. 모든 환경에서 15명의 사용자를 기준으로 비교시 제안한 방식이 기존 방식보다 최대 15 % 이상의 검출 성능을 향상시키고 이는 기존 방식의 레인징 부호 검

출 확률과 비교시 th_level 이 0.5 낮을 때의 성능과 유사하다. 이 결과는 제안한 방식이 기존 방식과 동일한 레인징 부호 검출 확률을 가지면서 낮은 레인징 부호 검출 오류 성능을 가지도록 th_level 의 조정이 가능함을 말한다. 전반적인 결과를 통해서 본 논문에서 제안한 방식이 각 사용자의 STO에 의한 MAI를 효율적으로 감소시켜서 레인징 부호 검출 성능을 향상시킴을 확인할 수 있다. 특히 각 사용자의 STO의 범위가 넓어져도 제안한 방식이 기존 방식에 비해 레인징 부호 검출 확률이 우수하다. 이런 레인징 부호를 검출 할 수 있는 STO 범위의 확장은 초기 레인징 과정이 상향링크 동기가 획득되지 않은 상태에서 이루어지는 것을 고려할 때 본 논문에서 제안한 방식을 사용한다면 기존 초기 레인징 심볼만을 사용한 경우보다 기지국에서 유연한 동기 검출이 가능함을 알 수 있다.

각 사용자의 다중 경로 환경의 변화에 따른 검출 성능의 변화는 25명의 사용자를 가정한 환경에서 확인할 수 있다. 동기 오차가 없는 경우에도 각 사용자의 다중 경로 환경에 의한 신호의 열화에 의해서 검출 성능이 점점 낮아짐을 확인할 수 있다.

레인징 부호 검출 오류 성능의 경우는 전반적으로 기존 방식과 제안한 방식에 큰 차이가 없는 것을 확인할 수 있고 th_level 에 따라서 전체적인 레인징 부호 검출 확률과 레인징 부호 검출 오류 성능이 반비례함을 알 수 있다. 이는 레인징 부호 검출 확률과 대역폭 효율이라는 관점에서 적절한 th_level 의 설정이 필요함을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 다중 사용자 환경의 OFDMA 시스템에서 처음 시스템에 접속하는 사용자들이 수행하는 초기 레인징 과정에 대해서 연구하였다. 사용자들은 OFDMA 시스템에 처음 접속하는 과정으로 상향무선링크 동기가 획득되지 않은 상태에서 초기 레인징 과정을 수행한다. 사용자들은 시스템 동기가 획득되지 않은 상태에서 초기 레인징 심볼을 전송하므로 각 사용자간의 시간 동기 오차가 발생할 확률이 크고 이런 각 사용자의 시간 동기 오차로 인하여 OFDMA 심볼 내 선형적인 위상 성분의 변화가 발생하고 각 사용자간의 MAI로 작용한다. 레인징 부호로 구성된 초기 레인징 심볼을 보내는 기존 방식의 경우는 기지국 수신기가 이런 위상 성분을 추정하고 보상할 수 있는 방법이 없기 때문에 레인

징 부호 검출 성능이 낮아진다. 따라서 본 논문에서는 기지국 수신기가 위상 성분의 추정 및 보상이 가능하도록 모든 사용자가 동일하게 전송하는 공통 레인징 부호를 사용하는 초기 레인징 심볼 구조를 제안하였다.

본 논문에서 제안한 방식이 기존 방식보다 다중 사용자 환경에서 효율적으로 MAI를 억제하여 레인징 부호 검출 성능을 최대 15 % 이상 향상시킴을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 그리고 각 사용자의 STO의 범위가 넓어져도 본 논문에서 제안한 방식이 기존 방식에 비해 레인징 부호 검출 성능이 우수함을 확인하였다. 이런 레인징 부호를 검출 할 수 있는 STO 범위의 확장은 초기 레인징 과정이 상향 링크 동기가 획득되지 않은 상태에서 이루어지는 것을 고려할 때 기지국에서 유연한 동기 검출이 가능함을 알 수 있다. 그러나 본 논문에서 제안한 방식은 추가적인 공통 레인징 부호의 삽입으로 인해 공통 레인징 부채널을 추가적으로 사용하게 되고 이는 시스템 전체 대역폭의 효율을 떨어지게 하는 단점으로 작용한다.

참 고 문 헌

[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] 황찬수, 정병장, 김기호, 김영균, "MC-CDMA 및 Frequency Hopping ofdma 방식의 성능 분석 및 비교," *Telecomm. Review*, vol. 12 pp. 479-489, 2004.

[3] D. Kivanc *et al.*, "Computationally efficient bandwidth allocation and power control for OFDMA," *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 2, pp. 1150-1158, Nov. 2003.

[4] H. Sari and G. Karam, "Orthogonal frequency-division multiple access and its application to CATV network," *Eur. Trans. elecomm.*, vol. 9, pp. 507 - 516, Nov./Dec. 1998.

[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] *IEEE Std. 802.16d/D4, Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems*, Mar. 2004.

[8] Myonghee Park *et al.*, "Performance analysis of OFDMA uplink systems with symbol timing misalignment," *IEEE Comm. Letters*, vol. 7, pp. 376-378, Aug. 2003.

[9] 박명희, 고균병, 박병준, 이영일, 홍대식, "주파수 선택적 페이딩 채널에서 시간오차에 의한 비동기 OFDMA 상향 시스템의 성능 분석," *한국통신학회 논문지*, 제30권, 제2A호, pp. 34-42, 2005년 2월.

[10] *Rec. ITU-R M.1225, Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000*, 1997.

김 기 남 (Ki-nam Kim)

정회원



1994년 2월 서울산업대학교 전자공학부(공학사)
 1987년~1991년 (주)범양상선 무선국 통신장
 1992년~1997년 한국기술연구소 책임연구원
 1997년 2월 고려대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1998년~현재 (주)네트웍텔레콤 대표이사
 2003년 3월~현재 한국항공대학교 대학원 정보통신공학과 박사과정
 <관심분야> 디지털 방송 시스템, UWB, OFDMA

김 진 호 (Jin-ho Kim)

정회원



2004년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과(공학사)
 2006년 2월 한국항공대학교 정보통신공학과 석사
 2005년 12월~현재 maxonCIC (주) 연구원

<관심분야> 디지털 방송 시스템, OFDMA

조 성 준 (Sung-joon Cho)

중신회원



1969년 2월 한국항공대학 항공
통신공학과 학사

1975년 2월 한양대학교 대학원
전자통신공학과 석사

1981년 3월 오사카대학 대학원
통신공학과 박사

1972년 8월~현재 한국항공대학

교 항공전자 및 정보통신공학부 교수

<관심분야> 무선통신, 이동통신, 환경전자공학