

# 다중 사용자 M-WiMAX 시스템에서 직렬 간섭 제거를 이용한 레인징 성능 향상 기법

준희원 김 중 훈\*, 종신회원 장 경 희\*

## Ranging Performance Enhancement by Successive Interference Cancellation in Multiuser M-WiMAX System

JongHun Kim\* Associate Member, KyungHi Chang\* Lifelong Member

### 요 약

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 방식을 기반으로 하는 M-WiMAX (Mobile-Worldwide Interoperability for Microwave Access) 시스템의 상향링크에서는 여러 사용자들이 전송하는 각각의 신호가 서로 다른 지연시간으로 인해 한 OFDMA 심볼 내에 선형적인 위상 성분이 발생하고, 이 위상 성분들이 합성되어 다중 접속 간섭 (Multiple Access Interference : MAI) 으로 기지국에서의 레인징 코드 검출 및 지연시간 추정 성능을 열화 시키는 원인이 된다. 따라서, 본 논문에서는 각 사용자에게 의해 발생하는 MAI 를 최소화하고, 레인징 코드 검출 및 지연시간 추정 성능을 향상시키기 위해 기존의 방법에 직렬 간섭 제거 (Successive Interference Cancellation : SIC) 를 적용한 레인징 기법을 제안한다. 모의 실험을 통해 기존의 방법보다 향상된 성능을 보였으며, 3GPP LTE 의 랜덤 액세스와의 비교를 통해 M-WiMAX 의 레인징 성능 한계를 확인하였다.

**Key Words** : M-WiMAX, OFDMA, Ranging, MAI, SIC

### ABSTRACT

In the uplink of OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) based M-WiMAX (Mobile-Worldwide Interoperability for Microwave Access) system, linear phase shift is caused by signals transmitted from multiuser with different delay time and thus, MAI (Multiple Access Interference) occurs. MAI degrades the performance of ranging code detection and delay time estimation in the uplink. Therefore, in this paper, we propose ranging algorithm, applying SIC (Successive Interference Cancellation) to the conventional ranging algorithm, to minimize MAI and to improve ranging performance. The proposed ranging algorithm is verified through the Monte Carlo simulation, which shows the improved performance of ranging code detection and delay time estimation compared to the conventional algorithms. Through compared with random access of the 3GPP LTE, we can know limit of ranging performance.

### I. 서 론

IEEE 802.16e 표준에 기반한 M-WiMAX 통신

망은 넓은 전송 범위에서 낮은 가격으로 높은 전송 속도와 이동성을 보장한다<sup>[1]</sup>. 이는 인터넷 접속환경의 다양화를 가능케 하여 사용자는 자신에게 가장

\* “이 논문은 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임”(KRF-2007-331-D00296)

\* 인하대학교 정보통신대학원 이동통신연구실(t0ma24u@nate.com, khchang@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-07-287, 접수일자 : 2009년 7월 08일, 최종논문접수일자 : 2009년 12월 10일

익숙하고 편리하게 언제, 어디서든지 인터넷을 사용할 수 있는 Post-PC 통신 환경을 경험하고 정보 서비스 욕구의 다양화로 이어져 Post-PC를 통한 지식 정보 서비스, 멀티미디어 서비스와 지능형 서비스의 요구가 증대된다. 따라서, 이러한 요구에 따른 시스템 구현에 있어 OFDMA 방식은 여러 표준안에서 주목 받고 있다. 이는 각기 다른 부반송파를 각각의 사용자에게 할당함으로써 MAI 영향을 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한, 단일 반송파 무선 접속 방식에 비해서 협대역 간섭에 강인하며 각 사용자들간의 효율적인 자원할당이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 상향링크 환경은 다수의 사용자들이 하나의 OFDMA 심볼에 동시에 정보를 전송하여야 하기 때문에 기존 OFDM 방식에서는 존재하지 않던 문제점들이 발생한다.

OFDMA 방식은 기존 OFDM 방식처럼 심볼 내 부반송파들 사이의 직교성 유지와 동시에 한 OFDMA 심볼을 사용하는 다중 사용자들 사이의 엄격한 주파수와 심볼 동기화가 필수적이다. 한 사용자의 OFDMA 심볼이 다른 사용자들의 OFDMA 심볼들과 동기가 맞지 않는다면 그 사용자의 OFDMA 심볼은 다른 사용자들에게 MAI로 작용하게 되며 전체 시스템의 성능 열화를 가져오는 주요한 원인이다. 상향링크 동기를 획득하지 않은 상태에서 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 사용자의 초기 레인징 신호에 대해 기지국은 사용자마다 송신한 레인징 코드 검출 및 지연시간 추정을 정확히 수행하여 시스템의 성능 열화를 방지할 수 있는 기법이 필요하다.

따라서, 본 논문은 II 장에서 각 사용자의 각기 다른 지연시간에 의해 발생하는 MAI가 존재하는 환경에서 기존의 기법들에 대한 레인징 코드 검출 및 지연시간 추정에 대해 분석하고, III 장에서 레인징 코드 검출 및 지연시간 추정 성능을 향상시키기 위해 SIC 를 적용하여 MAI의 영향을 감소시키는 레인징 기법을 설명한다. 그리고 IV, V 장에서는 모의실험을 통해 레인징 코드 검출 성능을 분석에 대해 논의하며, 3GPP LTE 의 랜덤 액세스와의 비교를 통해 본 논문의 결론을 도출한다.

## II. M-WiMAX 시스템의 레인징 과정

M-WiMAX 시스템의 레인징은 4 가지 모드로 초기 레인징 (Initial Ranging), 주기적 레인징 (Periodic Ranging), 핸드오버 레인징 (Handover Ranging), 그리고 대역폭 요구 레인징 (Bandwidth Request Ranging)으로 정의하고 있다. 초기 레인징과 핸드오버 레인징은 상향링크 동기가 전혀 확보되지 않은 상태에서 시도되는 과정으로서 그림 1 과 같이 2 개의 연속된OFDMA 심볼로 구성된다. 주기적 레인징과 대역폭 요구 레인징은 이미 상향링크 동기화가 이루어진 상태이므로 1 개의 OFDMA 심볼만을 이용한다.

사용자는 레인징 코드 중 하나를 랜덤하게 선택한 후 BPSK 변조하여 송신하게 되며, 이때 레인징 채널은 그림 2의 PUSC (Partial Usage of Subchannels) 심볼 구조를 사용하는 6개의 인접한 부채널 그룹으로 구성될 수 있으며, 그림 3의 OPUSC (Optional PUSC) 또는 Band AMC (Adaptive Modulation and Coding) 심볼 구조를 사용하는 8개의 인접한 부채널 그룹으로 구성될 수 있다.

레인징 코드는 그림 3 의 코드 생성기를 통해 만들어진다. 이 코드 생성기를 통해 길이 144 인 레인징 코드들이 생성된다<sup>[1]</sup>.

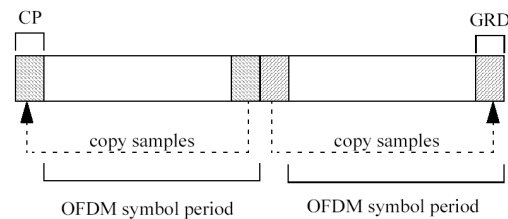


그림 1. 초기 및 핸드오버 레인징을 위한 OFDMA 심볼  
Fig. 1. OFDMA symbol for initial ranging and handover ranging

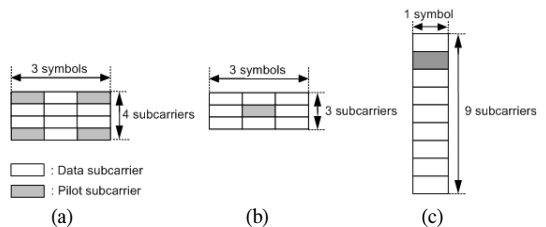


그림 2. 할당방식에 따른 심볼구조. (a) PUSC (b) OPUSC (c) Band AMC  
Fig. 2. Symbol structures according to the allocation method. (a) PUSC (b) OPUSC (c) Band AMC

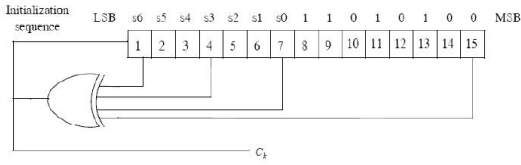


그림 3. 레인징 코드 생성기  
Fig. 3. Ranging code generator

2.1 시스템 모델

총 M 명의 초기 레인징 과정을 수행하는 사용자 중에서 m 번째 사용자는 레인징 코드뱅크에 있는 코드 중 i 번째 코드를 선택하여 레인징 채널에 할당하고, IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) 를 거쳐 식 (1) 의 송신 신호를 전송하게 된다.

$$S_m = \frac{1}{N_{FFT}} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} C_i[k] \cdot e^{j2\pi kt/T} \quad (1)$$

여기서  $N_{FFT}$  는 FFT 크기이며, T 는 OFDM 심볼 길이를 나타낸다. 총 M 명의 사용자가 전송하여 기지국으로 수신되는 초기 레인징 신호는 다음 식 (2) 와 같이 나타낼 수 있다.

$$r(t) = \sum_{m=0}^{M-1} r_m(t) + w(t) \quad (2)$$

where  $r_m(t) = S_m(t - \tau_m)h_m(t)$

식 (2) 의  $\tau_m, h_m(t)$  는 m 번째 사용자의 거리에 따른 지연시간과 Multipath Fading 채널의 임펄스 응답을 나타내며, w(t) 는 전력밀도합수가  $Nq/2$  로 정의되는 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 을 나타낸다.

2.2 기존의 레인징 기법

여러 사용자에 의해 전송되는 초기 레인징 신호는 그림 4 와 같이 주파수영역에서의 상호상관 방식을 기반으로 각 사용자의 레인징 코드와 지연시간을 검출 및 추정하게 된다. 시간 영역에서 m 번째 사용자의 거리에 따른 지연시간은 주파수 영역에서 선형적인 위상성분으로 나타나기에 가능한 모든 지연시간에 대한 선형 위상 성분을 보정한 후 레인징 코드와의 상호상관을 수행하여 지연시간이 일치하는 부분에서 큰 상호상관 값을 얻게 된다.

따라서, 기존의 검출 기법은 식 (2) 의 수신된 신호 r(t) 가 FFT 와 Subchannel Dealocator 를 거쳐

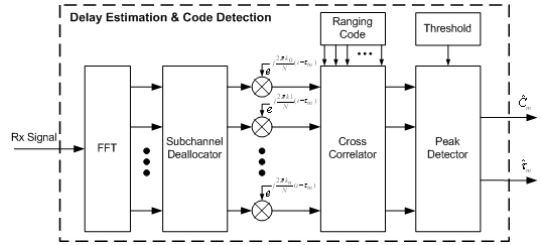


그림 4. 기존의 레인징 코드 검출 및 지연시간 추정 구조.  
Fig. 4. Structure of conventional ranging algorithm

식 (3) 과 같이 모든 지연시간에 대한 선형적인 위상성분을 보정한 후 레인징 코드와의 상호상관으로 수행된다.

$$R_m = \frac{1}{144} \cdot \sum_{k=0}^{143} r[k] \cdot e^{-j2\pi k(t - \tau_m)/T} \cdot C_i^*[k] \quad (3)$$

where  $i = 0 \sim 254$

식 (4) 와 같이 각 레인징 코드에 대한 상호상관 결과 중 가장 큰 값을 설정된 절대 임계값과 비교하여 레인징 신호의 존재 여부와 지연시간을 결정한다[2].

$$(\hat{C}_i, \hat{\tau}_m) = \arg \max_m (R_m > Threshold) \quad (4)$$

그러나 이러한 방법은 고정된 절대 임계값과의 비교 우위를 통하여 신호를 검출하므로 전송 채널, 잡음 및 MAI 의 영향으로 수신 신호가 변화될 경우 성능 열화가 야기될 수 있다. 이에 참고문헌 [3] 에서는 수신 신호에 따른 적응적 임계값을 사용하여 기존의 레인징 기법에 비해 향상된 성능을 보였다. 식 (5) 와 같이 시간 영역에서 IFFT 를 거친 레인징 코드  $\tilde{S}_m(t)$  와의 상호상관을 이용하여 지연시간을 추정한다.

$$\hat{\tau}_m = \arg \max_{\tau} \{ |\tilde{r}_m(\tau_m)| : \tau = 0, \dots, \tau_{max} \} \quad (5)$$

where  $\tilde{r}_m(\tau) = \tilde{S}_m(t)r(t)$

이 후 레인징 코드 검출은 식 (6) 의 추정된 지연시간에서 각 레인징 코드의 상호상관값이 식 (7) 의 적응적 임계값과의 비교로 검출된다 [3].

$$|\tilde{r}_m(\hat{\tau}_m)| = \begin{cases} \tilde{S}_m + I + W & m \in \{\hat{C}_i\} \\ |I + W| & otherwise \end{cases} \quad (6)$$

$$\hat{C}_i = |\tilde{r}_m(\hat{\tau}_m)| > \eta \quad (7)$$

where  $\eta = \frac{|I+W|+|\tilde{S}_m+I+W|}{2}$ ,  $|I+W| \approx \frac{\sum_{\tau=0}^{\tau_{max}-1} |\tilde{r}_q(\tau)|}{\tau_{max}}$

여기서,  $I$  는 다른 사용자에게 의한 간섭이며,  $W$  는 AWGN 을 나타낸다.  $q$  는 식 (6) 의 결과 중 가장 작은 상호상관값을 갖는 레인지 코드 인덱스이다. 하지만 이 또한 다른 사용자에게 의한 MAI 가 가중될 수록 임계값 또한 증가하게 되어 레인지 코드 검출 및 지연시간 추정의 오류가 높아진다. 따라서, 본 논문에서는 참고문헌 [3]에 SIC 를 적용하여 사용자의 증가에 따른 MAI 를 감소시켜 레인지 코드 검출 및 지연시간 추정 성능을 향상시킬 수 있는 레인지 기법을 제안한다.

### III. 제안하는 SIC 레인지 기법

본 논문에서 제안하는 레인지 기법은 그림 5 와 같은 구조를 갖는다.

총  $M$  명의 초기 레인지를 시도하는 사용자에게 제안하는 레인지 코드 검출 및 지연시간 추정은 수신된 신호로부터 참고문헌 [3]의 과정에 따라  $m$  번째 사용자의 지연시간을 추정하고 이 때, 가장 큰 상호상관 값을 갖는 레인지 코드를 검출한다. 식 (8) 과 같이 검출된 레인지 코드는 IFFT 를 거쳐 추정된 지연시간만큼 지연시킨 뒤 Weighting Factor 인  $\alpha$  를 곱한다. 이 후 수신 신호에서 이를 제거하는 것으로 그 과정은 그림 6 과 같이 임계값보다 작은 상호상관 결과가 검출될 때까지 반복적으로 수행된다.

$$r_M(t) = r_{M-1}(t) - \alpha \tilde{S}_m(t - \hat{\tau}_m) \quad (8)$$

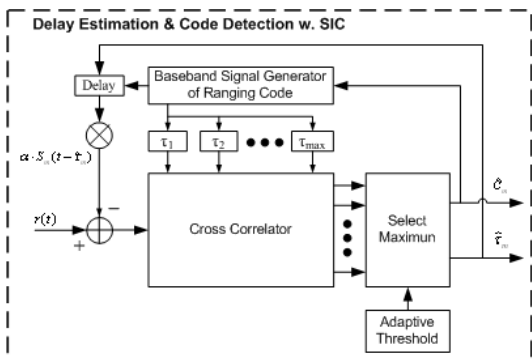


그림 5. 제안하는 레인지 코드 검출 및 지연시간 추정 구조.  
Fig. 5. Structure of the proposed ranging algorithm

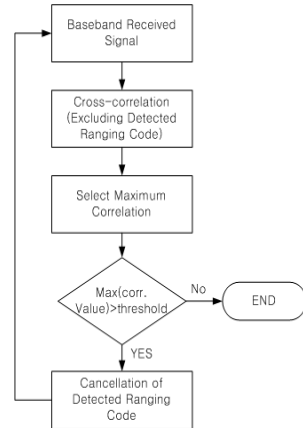


그림 6. 제안하는 레인지 기법 과정  
Fig. 6. Procedure of the proposed ranging algorithm

이에 따라, 다른 사용자의 레인지 코드 검출 및 지연시간 추정 시 간섭에 의한 성능 열화를 감소시킬 수 있다.

### IV. 모의 실험을 통한 성능분석

표 1 은 본 논문에서 모의실험에 사용된 변수를 나타낸 것이며, 모의실험에서의 Rayleigh 페이딩 환경 구현을 위한 채널 모델은 JTC 모델을 적용한다. 또한, 사용자는 255 개의 레인지 코드 집합 및 지연시간은 최대 200 Sample 내에 랜덤하게 선택된다. 다중 셀의 경우, 사용자의 위치는 셀간 중첩 지역내에 랜덤하게 위치한다.

셀 내의 간섭 및 인접 셀의 간섭에 대한 영향을

표 1. 모의 실험 파라미터.  
Table 1. Simulation Parameters

Parameters	Value
중심 주파수	2.3 GHz
시스템 대역폭	10 MHz
FFT 크기	1024
부채널 할당 방식	PUSC
셀 반경	1 Km
셀 중첩 지역	100 m
사용자 수	8 명
Fading channel	ITU-R M.1225 Veh-A 60km/h
Path loss 모델	ITU-R M.1225 - Path loss model (Vehicular test environment)
안테나 이득	$g(\theta) = -\min \left[ 12 \left( \frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_m \right]$ $A_m : 20 \text{ dB}, \theta_{3dB} : 60^\circ$ BS : Directional Ant., MS : Omni Ant.

확인하기 위해 단일 셀과 다중 셀을 고려하고, 이를 Detection, False Alarm 및 Miss 확률로 확인한다. 각 확률에 대한 정의는 다음과 같다.

- **Detection** : 셀 내의 모든 사용자의 레인징 코드 검출 및 지연시간을 추정한 경우
- **False Alarm** : 셀 내의 모든 사용자의 레인징 코드를 검출하였으나, 하나 이상의 지연시간 추정 오류가 발생한 경우
- **Miss** : 하나 이상의 레인징 코드 검출 오류가 발생한 경우

4.1 단일 셀에서의 레인징 성능 분석

그림 7 은 기지국으로 초기 레인징을 시도하는 사용자가 8 명일 때, SNR 변화에 따른 기존 레인징 기법, 참고문헌 [3] 및 제안한 기법에 대한 성능 그래프이다.

기존의 레인징 기법 및 참고문헌 [3] 의 기법 모두 채널과 잡음으로 인한 영향보다 다중 사용자에 의한 MAI 에 의한 영향이 성능 열화를 가져오는 주된 요인임을 알 수 있으며, 제안한 기법을 통해 MAI 영향을 감소시켜 SNR 6 dB 에서 기존의 기법들보다 약 0.6 % 이상 성능이 향상됨을 알 수 있다.

그림 8 은 추정된 지연시간의 Mean Timing Estimation Error 로 제안한 기법이 기존의 기법들보다 우수함을 알 수 있다.

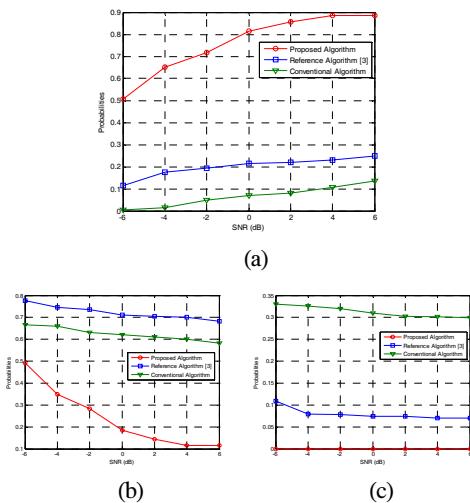


그림 7. 단일 셀에서의 레인징 성능. (a) Detection 확률 (b) False Alarm 확률 (c) Miss 확률  
Fig. 7. Ranging performance in single-cell. (a) Detection prob. (b) False Alarm prob. (c) Miss prob

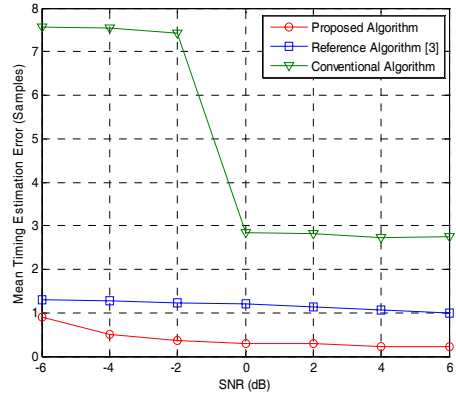


그림 8. 단일 셀에서의 지연시간 추정에 대한 MTE error  
Fig. 8. MTE error of the estimated delay time in single-cell

4.2 다중 셀에서의 레인징 성능 분석

그림 9 와 같이 사용자는 두 셀간의 중첩된 지역에 랜덤하게 존재하며, 그에 따른 Path Loss 모델 및 안테나 이득은 표 1 을 따른다. 사용자의 수는 2, 4, 8 명으로 사용자 수의 증가에 따라 사용자 수의 절반은 셀 ID 0, 그 외 사용자는 셀 ID 1 을 갖는 것으로 셀 내의 MAI 와 인접 셀의 간섭을 고려한다. 또한, 인접 셀의 간섭을 제거하기 위해 셀 ID 0 의 기지국은 인접 셀의 셀 ID 에 의한 레인징 코드를 알고 있다고 가정한다.

그림 10 과 11 은 초기 레인징을 시도하는 사용자가 2, 4, 8 명으로 증가함에 따른 기존 레인징 기법, 참고문헌 [3] 및 제안한 기법에 대한 성능 그래프이다. 다중 셀에서도 단일 셀과 마찬가지로 그림 9 와 10 을 통해 제안한 기법이 기존의 기법들보다 우수함을 알 수 있다.

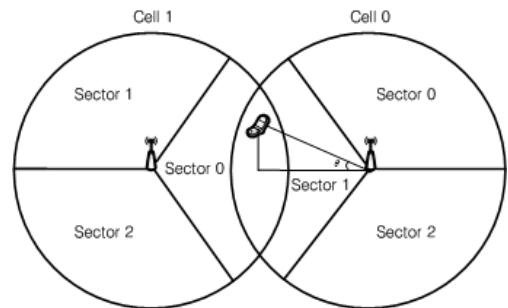


그림 9. 다중 셀에서의 레인징 성능 분석을 위한 모의실험 환경  
Fig. 9. Simulation environment to analyze ranging performance in multi-cell

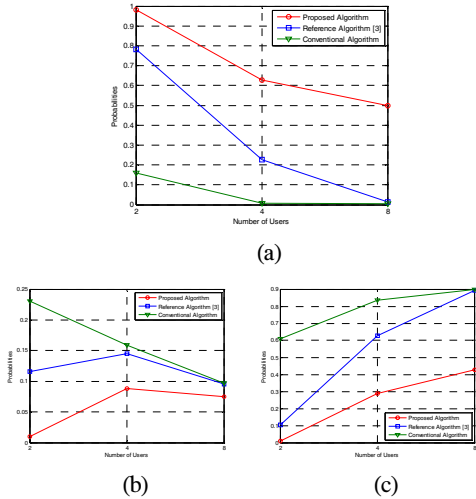


그림 10. 다중 셀에서의 레인징 성능. (a) Detection 확률 (b) False Alarm 확률 (c) Miss 확률  
 Fig. 10. Ranging performance in multi-cell. (a) Detection prob. (b) False Alarm prob. (c) Miss prob

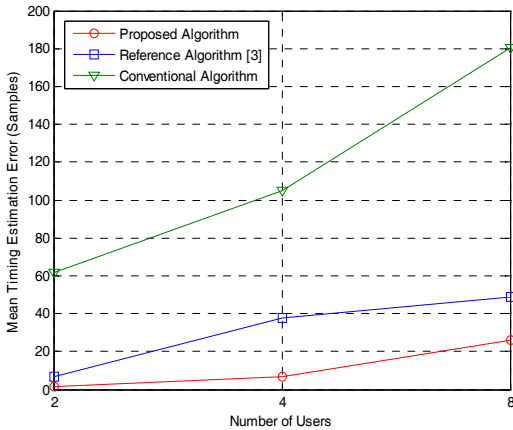


그림 11. 다중 셀에서의 지연시간 추정에 대한 MTE error  
 Fig. 11. MTE error of the estimated delay time in multi-cell

### 4.3 M-WiMAX 와 3GPP LTE 에서의 성능비교

단말은 기지국으로 초기 접속을 수행하기 위해 상관을 취하는 과정에서 상관값은 단말의 송신 전력 과 코드 특성에 의존할 수 밖에 없다. 하지만 다중 사용자 환경에서는 송신 전력을 증가시키는 것은 MAI 를 증가시킬 수 있으며, M-WiMAX 시스템의 레인징 코드 역시 PRBS (Pseudo-Random Binary Sequence) 를 기반으로 하기에 채널 및 MAI 의 영향에 의한 상관 특성 저하로 성능 열화를 가져 온다.

따라서, 3GPP LTE 에서는 상관 특성이 우수한 Zadoff-chu 시퀀스를 사용함으로 채널에 의한 성능

열화를 감소시킬 수 있으며, cyclic shift 에 의한 사용자간 직교성으로 MAI 에 의한 영향을 받지 않는다. 그림 12 는 M-WiMAX 와 3GPP LTE 에서 각 시퀀스의 자기상관 및 상호상관 특성을 비교한 것으로 3GPP LTE 에서의 Zadoff-chu 시퀀스의 상관 특성이 우수함을 알 수 있다. 이에 따라 단일 셀에서의 M-WiMAX 의 레인징 성능과 3GPP LTE 의 랜덤 액세스 성능을 그림 13 과 14 로 비교하였다. 3GPP LTE 에서 랜덤 액세스의 모의 실험을 위한 파라미터는 표 2 와 같고 그 외 사용자 수 및 채널은 표 1과 동일하며, 그 과정은 참고 문헌 [4] 에 따라 수행하였다.

3GPP LTE에서 랜덤 액세스의 프리엠블 검출과 지연시간 추정은 M-WiMAX에서 기존의 레인징 기법과 동일하다. 그림 13 와 14 를 통해 제안된 레인징 기법이 기존의 레인징 기법보다 성능 향상을 보이나 Zadoff-chu 시퀀스 및 cyclic shift 에 의해 채널

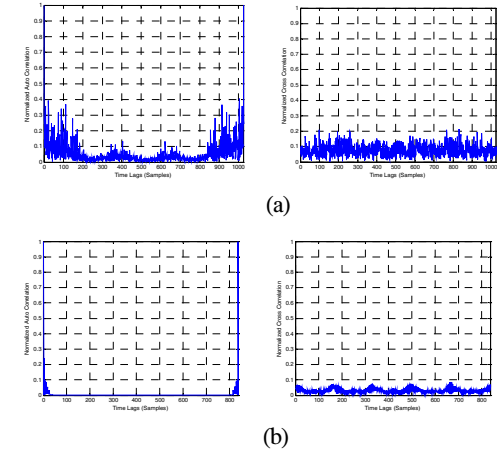


그림 12. PRBS 와 Zadoff-chu 시퀀스의 자기상관 (우측) 및 상호상관 (좌측) 특성. (a) M-WiMAX (b) 3GPP LTE  
 Fig. 12. Auto-correlation (right) and cross-correlation (left) characteristics of PRBS and Zadoff-chu sequence. (a) M-WiMAX (b) 3GPP LTE

표 2. 3GPP LTE 에서 랜덤 액세스의 모의 실험 파라미터.  
 Table 2. Simulation Parameters of random access in 3GPP LTE

Parameters	Value
PRACH slot duration	1.0 ms
Preamble format	0
Preamble 길이	839 samples
FFT 크기	1024
Subcarrier spacing	1.25 kHz
$N_{cs}$ configuration	Unrestricted set : 1

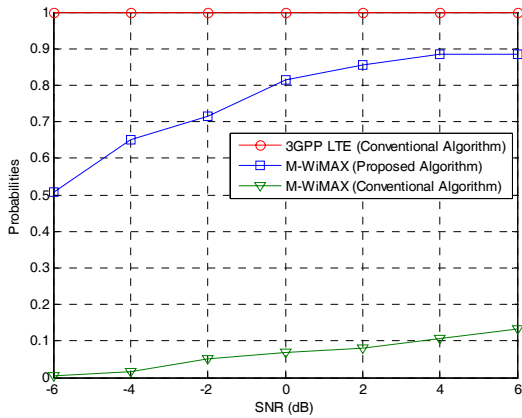


그림 13 단일 셀에서의 detection 확률을 통한 M-WiMAX 레인징과 3GPP LTE 랜덤 액세스의 성능비교  
 Fig. 13. Performance comparison between ranging of M-WiMAX and random access of 3GPP LTE by detection probability in single-cell

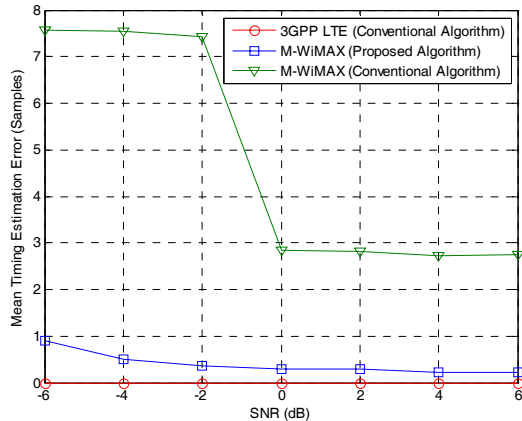


그림 14. 단일 셀에서의 MTE error 를 통한 M-WiMAX 레인징과 3GPP LTE 랜덤 액세스의 성능비교.  
 Fig. 14. Performance comparison between ranging of M-WiMAX and random access of 3GPP LTE by MTE error in single-cell.

및 MAI 영향을 받지 않는 3GPP LTE의 랜덤 액세스의 성능에는 못 미치는 것을 알 수 있다.

### V. 결론

다중 사용자 환경의 M-WiMAX 시스템에서 사용자들은 초기 레인징 시 상향링크 동기가 획득되지 않은 상태에서 레인징 신호를 전송하므로 각 사용자는 단일 셀 및 다중 셀에서의 MAI 영향으로 레인징 코드 검출 및 지연시간 추정 성능이 낮아진다. 따라서, 본 논문은 효율적으로 MAI 영향을 감소시키기 위해 기존의 레인징 기법에 SIC 를 적용하여 기존

방식들보다 다중 사용자 환경에서 레인징 코드 검출 및 지연시간 추정 성능을 향상시킬 수 있으며, 이를 모의실험을 통해 확인하였다. 또한, Zadoff-chu 시퀀스와 cyclic shift 를 도입한 3GPP LTE 의 랜덤 액세스와의 비교를 통해 PRBS 를 사용하는 M-WiMAX 의 레인징 성능 한계를 알 수 있다.

### 참고 문헌

- [1] IEEE Std. 802.16.e, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16. Feb. 2006.
- [2] Motorola, "Ranging Improvement for 802.16e OFDMA PHY," IEEE C802.16e-04/143r1, July 7, 2004.
- [3] X. Fu and H. Minn, "Initial uplink synchronization and power control (ranging process) for OFDMA system," in *Proc. IEEE GLOBECOM'04*, vol.6, Dec.2004, pp.3999-4003.
- [4] 3GPP TS 36.211 v8.4.0 "Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA); Physical Channels and Modulation," Sept. 2008.
- [5] Hisham A. Mahmoud, Huseyin Arslan, and Mehmet Kemal Ozdemir, "Initial ranging for WiMAX (802.16e) OFDMA," in *Proc. IEEE MILCOM2006*, pp.1-7, Oct. 2006.
- [6] D.H. Lee, H. Morikawa, "OFDMA Ranging Performance Enhancement at the Cell Boundary in IEEE 802.16e system," in *Proc. IEICE General Conference'06*, pp.469, Sep. 2006.
- [7] D.H. Lee, H. Morikawa, "Performance Analysis of Ranging Process in IEEE 802.16e OFDMA Systems," *IEEE WiMob'07*, pp.16-25, Oct. 2007.
- [8] P. Patel, J. Holtzman, "Analysis of a simple successive interference cancellation scheme in DS/CDMA system," *IEEEJ Select Areas Commun.*, Vol.12, pp.796-807, June1994.

김 중 훈 (JongHum Kim)

준회원



2007년 8월 남서울대학교 정보통신공학과(공학사)  
2007년 9월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정  
<관심분야> 4세대 이동통신 시스템, M-WiMAX 및 3GPP LTE 시스템 무선전송 규격

장 경 희 (KyungHi Chang)

중신회원



1985년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사)  
1987년 2월 연세대학교 전자공학과(공학석사)  
1992년 8월 Texas A & M Univ., EE Dept.(Ph.D.)  
1989년~1990년 삼성종합기술원 주임연구원  
1992년~2003년 한국전자통신연구원, 이동통신연구소 무선전송방식연구팀장(책임연구원)  
2003년~현재 인하대학교 정보통신대학원 교수  
<관심분야> 4세대 이동통신 및 3GPP LTE 무선전송방식, WMAN 및 DMB 시스템 무선전송기술, Cognitive Radio, Cross-layer Design, Cooperative Relaying System, RFID / USN Systems