

# OFDM 기반 무선통신 시스템의 상향링크에서 향상된 레인징 기법

윤지택, 이진우<sup>o</sup>, 이용환

서울대학교 전기컴퓨터공학부

## Improved Ranging in the Uplink of OFDM-based Wireless System

Ji-Taek Yoon, Jin-Woo Lee<sup>o</sup> and Yong-Hwan Lee

School of Electrical Engineering and INMC, Seoul National University

{c13754, jinu}@ttl.snu.ac.kr, ylee@snu.ac.kr

### 요 약

직교 주파수 분할 다중(OFDM; Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템의 상향링크에서 코드(code) 및 슬롯(slot), 시간 동기의 검출과 수신 전력 및 주파수 편이 추정 과정을 위해 레인징(ranging) 과정이 필요하다. 최대 우도(ML; Maximum Likelihood) 기법은 최적의 검출 성능을 가지지만 연산 복잡도가 큰 단점이 있는 반면에, 낮은 연산 복잡도를 장점으로 가지는 차등상호상관(partial cross-correlation) 기법은 다중 사용자 접속 환경에서 성능 열화가 심하다는 단점이 있다. 또한 두 기법 모두 다중 사용자 접속 환경에서 수신 전력 및 주파수 편이 추정 성능 열화가 심하다는 문제가 있다. 본 논문에서는 기존 기법들의 장점만을 이용해 연산 복잡도를 크게 줄이는 동시에 다중 사용자 접속 환경에서 ML 기법의 성능에 근접하는 코드 및 슬롯, 시간 동기 검출 기법을 제안하며, 또한 미리 검출된 사용자 및 슬롯, 시간 동기 정보를 이용해 수신 전력 및 주파수 편이 추정 성능을 향상시키는 레인징 기법을 제안한다. 이를 모의실험을 통해 제안 기법의 성능을 확인한다.

### 1. 소개

직교 주파수 분할 다중 (OFDM; Orthogonal Frequency Division Multiple) 기법은 다중경로 페이딩 환경에서 고속의 무선 통신을 가능하게 하는 차세대 전송 기술로 각광받고 있다 [1]. 하지만 기지국과 사용자 간에 동기가 맞지 않을 경우 인접 심볼 간 간섭(ISI; Inter-Symbol Interference) 및 인접 부반송파 간 간섭(ICI; Inter-Carrier Interference) 문제로 인해 성능 열화가 심하다는 단점이 있다 [1].

OFDM 시스템의 상향링크에서는 사용자가 기지국으로 전송한 코드를 이용해 기지국이 사용자 및 슬롯을 검출한 후 시간 동기를 획득하고, 주파수 편이 및 수신 전력을 추정한다. 이러한 과정을 레인징이라고 하며 이를 위해 크게 두 가지 기법이 제안되었다 [2]. 먼저 최대 우도 기법(ML; Maximum Likelihood)은 모든 코드 및 슬롯 집합, 시간 지연의 불확실성에 대해 ML 상관함수를 조사하여 코드 및 슬롯, 시간 지연을 검출하므로 뛰어난 레인징 성능을 가지지만 기지국에서의 연산 복잡도가 크다는 단점이 있다 [3]. 이에 반해 차등상호상관(partial cross-correlation) 기법은 차등상호상관함수를 이용하여 코드 및 슬롯 번호를 검출한 후 시간 지연을 추

정하므로 ML 기법에 비해 연산 복잡도를 크게 줄일 수 있으나 시간 지연의 추정 성능이 떨어져 전체 레인징 성능 열화가 심하다 [4]. 또한, 두 기법 모두 다중 사용자 접속 환경에서 수신 전력 및 주파수 편이 추정 성능이 떨어지므로 향상된 레인징 기법이 요구된다. 본 논문에서는 기존 기법의 문제점을 해결하기 위해 코드 및 슬롯 검출, 시간 동기를 검출하는 데 있어 ML 기법과 차등상호상관 기법의 장점을 취하여 다중 사용자 접속 환경에서 ML 기법에 근접하는 코드 및 슬롯 검출, 시간 동기 검출 성능을 가지면서도 연산 복잡도를 크게 줄이는 향상된 레인징 기법을 제안한다. 또한 코드 및 슬롯 검출, 시간 동기의 검출 후 기지국이 사용자에게 코드 및 슬롯을 할당하여 사용자가 레인징 신호를 전송하게 함으로써 다중 사용자 접속 환경에 강한 수신 전력 및 주파수 편이 추정 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 기존 레인징 기법의 문제점에 대해 분석하고, 제 3 장에서는 기존 기법의 문제점을 해결한 향상된 레인징 기법을 제안한다. 제 4 장에서는 모의 실험 결과를 통해 제안 기법의 성능을 알아본다. 마지막으로 제 5 장에서 결론을 맺는다.

## 2. 기존 레인징 기법

부반송파(subcarrier)의 수가  $N$  개인 OFDM 시스템의 상향링크를 고려하자. 각 사용자는 레인징을 위해  $N_c$  길이를 가지는  $M$  개의 레인징 코드 중 하나를 임의로 선택하고,  $L$  (i.e.,  $N/N_c$ )개의 레인징 슬롯 중 하나를 임의로 선택하여 이를 전송한다. 만약 사용자가  $m$  번째 레인징 코드를 선택하여  $l$  번째 레인징 슬롯으로 전송한다고 가정하면, 이 레인징 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$C_{m,l}[n] = \sum_{k=IN_c}^{(l+1)N_c-1} C_m[k] e^{j\frac{2\pi}{N}nk} \quad (1)$$

여기서  $C_m[k]$  은  $m$  번째 레인징 코드를 나타내며,  $k$  와  $n$  은 각각 주파수와 시간 영역의 지수를 나타낸다. 이 사용자가 겪는 채널을  $H_m[k]$ , 시간 지연을  $n_l$ , 동일 슬롯에 접속하는 다른 사용자에게 의한 간섭을  $MAI_m[k]$ , 잡음 간섭을  $w_m[k]$  이라고 하면 기지국에 수신되는 레인징 코드는 다음과 같이 표현된다.

$$Y_m[k] = H_m[k]C_m[k]e^{-j\frac{2\pi}{N}n_l k} + MAI_m[k] + w_m[k] \quad (2)$$

위 식에서 살펴볼 수 있듯이 수신 신호는 채널 및 시간 지연으로 인해 왜곡되며, 특히 동일 슬롯에 접속하는 다른 사용자에게 의한 간섭(MAI; Multiple Access Interference)으로 인해 큰 성능 열화를 가짐을 알 수 있다.

기존의 ML 기법은 모든 코드 집합  $\Phi_c$ , 모든 슬롯 집합  $\Phi_l$  및 모든 시간 지연의 불확실성  $\Phi_n$ 에 대해서 다음과 같은 상관함수를 조사한다 [3].

$$R_{m,l,n_l} = \sum_{k=IN_c}^{(l+1)N_c-1} C_m^*[k]Y_m[k]e^{j\frac{2\pi}{N}n_l k}, m \in \Phi_c, l \in \Phi_l, n_l \in \Phi_n \quad (3)$$

여기서  $x^*$  는  $x$  의 공액복소값(complex conjugate)을 의미한다. 위의 상관함수를 이용해 다음과 같이 상관함수의 크기가 최대가 되게 하는 코드 번호 및 슬롯 번호, 시간 동기를 검출한다.

$$(\hat{m}, \hat{l}, \hat{n}_l) = \arg \max_{\substack{m \in \Phi_c \\ l \in \Phi_l \\ n_l \in \Phi_n}} |R_{m,l,n_l}| \quad (4)$$

ML 기법은 모든 코드 및 슬롯 번호와 모든 시간 지연의 불확실성에 대해 상관함수를 계산하여 최적의 결과를 얻어내므로 낮은 신호대간섭잡음비(SINR; Signal to Interference and Noise Ratio)을 가지는 다중 사용자 접속 환경에서도 성능이 뛰어나지만 기지국에서의 연산 복잡도가 매우 큰 단점이 있다. 수신 전력의 크기는 다음과 같이 상관함수의 최대값을 제공함으로써 추정할 수 있다.

$$\hat{P} = |R_{\hat{m}, \hat{l}, \hat{n}_l}|^2 \quad (5)$$

또한, 주파수 편이는 시간 영역에서 반복된 OFDM 심볼의 추가적인 전송을 통해 추정이 가능하며 다

음의 상관함수를 이용한다 [5].

$$R_{f_o} = \sum_{n=0}^{N/2-1} Y_{\hat{m}, \hat{l}, \hat{n}_l}[n] Y_{\hat{m}, \hat{l}, \hat{n}_l}^*[n+N/2] \quad (6)$$

주파수 편이  $\hat{f}_o$  는 상관함수의 위상  $\hat{\theta}_o$  와 다음과 같은 관계를 가지므로,

$$\hat{\theta}_o = \tan^{-1}(R_{f_o}) = \pi N \hat{f}_o \quad (7)$$

다음과 같이 주파수 편이를 추정할 수 있다.

$$\hat{f}_o = \left\lfloor \frac{\hat{\theta}_o}{\pi N} \right\rfloor \quad (8)$$

여기서  $\lfloor x \rfloor$  는  $x$  보다 작거나 같은 최대 정수를 나타낸다. 이와 같은 전력 및 주파수 편이의 추정은 상관함수의 위상만을 이용하기 때문에 코드 및 슬롯, 시간 동기 검출 과정에 비해 낮은 SINR 환경에서의 성능 열화가 심하므로 다중 사용자 접속 환경에는 바람직하지 않다는 단점이 있다.

한편, 기존의 차등상호상관 기법은 코드 및 슬롯 번호를 검출하는데 있어 다음과 같은 차등상호상관함수를 사용한다 [4].

$$R_{u,l} = \sum_{k=IN_c}^{(l+1)N_c-2} (C_m^*[k+1]Y_m[k+1])(C_m^*[k]Y_m[k])^*, m \in \Phi_c, l \in \Phi_l \quad (9)$$

위의 차등상호상관함수를 이용해 다음과 같이 차등상관함수가 최대가 되는 레인징 코드 번호 및 슬롯 번호를 검출한다.

$$(\hat{m}, \hat{l}) = \arg \max_{\substack{m \in \Phi_c \\ l \in \Phi_l}} |R_{m,l}| \quad (10)$$

위 수식에서 시간 지연의 불확실성과 상관없이 코드 번호 및 슬롯 번호가 검출 가능함을 알 수 있다. 코드 및 슬롯 번호를 검출한 이후 시간 지연  $n_l$  은 차등상호상관함수의 위상을 이용해 추정할 수 있다. 즉 시간 지연과 차등상호상관함수의 위상이

$$\hat{\theta}_l = \tan^{-1}(R_{\hat{m}, \hat{l}}) = \frac{2\pi}{N} \hat{n}_l \quad (11)$$

과 같은 관계를 가지므로, 시간 지연은 다음과 같이 추정된다.

$$\hat{n}_l = \left\lfloor \frac{N \hat{\theta}_l}{2\pi} \right\rfloor \quad (12)$$

이 기법은 차등상호상관함수의 크기를 이용해 시간 지연의 불확실성과 관계없이 레인징 코드 번호 및 슬롯 번호를 검출하고, 차등상호상관함수의 위상을 이용해 시간 동기를 추정하기 때문에 기지국에서 적은 연산 복잡도를 가진다는 장점이 있다. 하지만, 차등상호상관함수의 위상을 통한 시간 동기의 추정은 역시 낮은 SINR 환경에서의 성능 열화가 심하므로 다중 사용자 접속 환경에는 그대로 적용하기 어렵다는 단점이 있다. 그리고 수신 전력의 크기는 다음과 같이 차등상호상관함수의 최대값으로 표시되며,

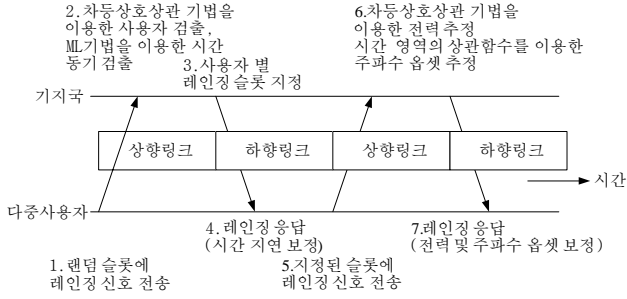


그림 1. 제안 레인징 기법의 절차.

$$\hat{P} = \left| R_{\hat{m}, \hat{l}, \hat{n}_l} \right| \quad (13)$$

역시 다중 사용자 접속 환경에서는 성능 열화가 심하여 바람직하지 않다.

### 3. 제안 레인징 기법

본 논문에서는 OFDM 시스템의 상향링크에서 코드 및 슬롯 검출, 시간 동기를 검출하는데 있어 ML 기법과 차등상호상관 기법의 장점을 조합함으로써 ML 기법에 비해 연산 복잡도를 줄이면서도 다중 사용자 접속 환경에서 ML 기법과 성능이 유사한 레인징 기법을 제안한다. 또한 수신 전력 및 주파수 편이 추정 성능을 높이기 위해 코드 및 슬롯 검출, 시간 동기의 검출 후 기지국이 사용자에게 코드 및 슬롯을 할당하여 사용자가 레인징 신호를 전송하게 함으로써 다중 사용자 접속 환경에 강인하게 수신 전력 및 주파수 편이를 추정하는 기법을 고려한다.

그림 1 은 제안 기법의 코드 및 슬롯 검출, 수신 전력 및 주파수 편이 추정 과정을 나타낸다. 우선 각 사용자가 임의의  $m$  번째 레인징 코드와 임의의  $l$  번째 주파수 슬롯을 선택하여 전송하면 기지국은 다음과 같은 차등상호상관함수를 이용하여 코드 및 슬롯을 먼저 검출한다.

$$R_{m,l} = \sum_{k=lN_c}^{(i+1)N_c-2} (C_m^*[k+1]Y_m[k+1])(C_m^*[k]Y_m[k])^*, m \in \Phi_c, l \in \Phi_f \quad (14)$$

$$(\hat{m}, \hat{l}) = \arg \max_{\substack{m \in \Phi_c \\ l \in \Phi_f}} |R_{m,l}| \quad (15)$$

한편 시간 동기 획득의 정확도를 높이기 위해 ML 기법을 이용하여 다음과 같이 시간 동기를 검출한다.

$$R_{n_t} = \sum_{k=lN_c}^{(i+1)N_c-1} C_m^*[k]Y_m[k]e^{j\frac{2\pi}{N}n_t k}, n_t \in \Phi_n \quad (16)$$

$$\hat{n}_t = \arg \max_{n_t \in \Phi_n} |R_{n_t}|$$

다음으로 다중 사용자 접속 환경에서 동일 슬롯에 할당되는 다른 사용자의 간섭을 회피하기 위해 기지국은 하향링크를 통해 미리 획득한 코드 및 슬롯 번호를 지정하여 알려준다. 각 사용자가 지정된 슬

롯에 지정된 코드를 전송하면 기지국에서는 차등상호상관 기법을 이용하여 다음과 같이 전력을 추정할 수 있다.

$$R_{\hat{m}, \hat{l}, \hat{n}_t} = \sum_{k=lN_c}^{(\hat{i}+1)N_c-2} (C_m^*[k+1]Y_m[k+1])(C_m^*[k]Y_m[k])^* \quad (17)$$

$$\hat{P} = \arg \max_{\substack{m \in \Phi_c \\ l \in \Phi_f}} |R_{m,l}| \quad (18)$$

이후 다음과 같이 시간 영역에서의 상관도를 이용하여 주파수 편이를 추정한다.

$$R_{f_o} = \sum_{n=0}^{N/2-1} Y_{\hat{m}, \hat{l}, \hat{n}_t}[n]Y_{\hat{m}, \hat{l}, \hat{n}_t}^*[n+N/2] \quad (19)$$

$$\hat{f}_o = \left[ \frac{\hat{\theta}_o}{\pi N} \right] \quad (20)$$

이후 검출된 코드 및 슬롯 번호를 가지는 사용자에 게만 ML 기법을 적용하여 시간 동기를 검출하므로 연산 복잡도를 크게 줄이면서 ML 기법과 동일한 시간 동기 검출 성능을 얻을 수 있다. 수신 전력 및 주파수 편이 추정을 위해 기지국이 지정한 슬롯에 레인징 신호를 전송함으로써 다중 사용자 접속으로 인한 간섭을 회피하여 성능을 개선할 수 있다.

본 논문에서는 기존 기법과 제안 기법의 성능을 평균 레인징 시간을 이용하여 비교한다 [6]. 그림 2 는 제안된 레인징 기법의 평균 레인징 시간을 구하기 위한 흐름도(flow graph)를 나타낸다. 여기서  $T_f$  는 한 프레임(frame)의 길이를 나타내며,  $T_p$  는 벌칙 시간(penalty time)을 나타낸다.  $P_{D_1}$  과  $P_{D_2}$  는 각각 코드 및 슬롯의 검출 확률과 시간 동기의 검출 확률,  $P_{M_1}$  과  $P_{M_2}$  는 각각 코드 및 슬롯의 미검출 확률과 시간 동기의 미검출 확률,  $P_{F_1}$  과  $P_{F_2}$  는 각각 코드 및 슬롯의 오검출 확률과 시간 동기의 오검출 확률을 나타낸다. 또한 제안 기법은 오검출 확률을 줄이기 위해  $v$  번의 확인과정을 거치게 된다 [2].

제안된 기법의 흐름도의 전달 함수(transfer function)는 다음과 같다.

$$H(z) = H_D(z) + H_M(z)H(z) + H_F(z)H(z) = \frac{H_D(z)}{1 - H_M(z) - H_F(z)} \quad (21)$$

여기서  $H_D(z)$  는 검출 전달함수로

$$H_D(z) = \left\{ (1 - P_{M_1})(1 - P_{M_2})z^{T_f} \right\}^v (P_{D_1}P_{D_2}z^{T_f}) \quad (22)$$

과 같이 표현되며,  $H_M(z)$  는 미검출 전달함수로

$$H_M(z) = \sum_{i=0}^{v-1} \left\{ (1 - P_{M_1})(1 - P_{M_2}) \right\}^i \left\{ P_{M_1} + (1 - P_{M_1})P_{M_2} \right\} z^{(i+1)T_f} \quad (23)$$

과 같이 표현되며,  $H_F(z)$  는 오검출 전달함수로

$$H_F(z) = \left\{ (1 - P_{M_1})(1 - P_{M_2})z^{T_f} \right\}^v \left\{ (P_{F_1}P_{F_2} + P_{F_1}P_{D_2} + P_{F_2}P_{D_1})z^{T_f} \right\} \quad (24)$$

과 같이 표현된다. 따라서 평균 레인징 시간은 다음

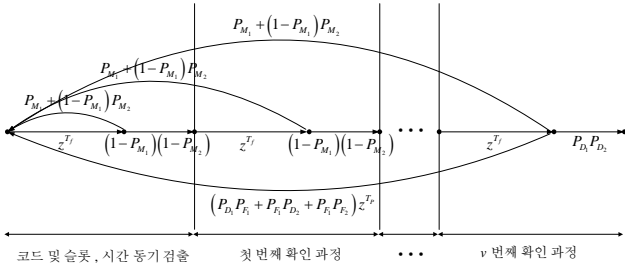


그림 2. 레인징 과정의 흐름도.

과 같이 나타낼 수 있다.

$$E\{T_r\} = \frac{d}{dz} H(z) \Big|_{z=1} \quad (25)$$

$$= \frac{\frac{d}{dz} H_D(1) + \frac{d}{dz} H_M(1) + \frac{d}{dz} H_F(1)}{1 - H_M(1) - H_F(1)}$$

여기서 각 세부 식은 다음과 같이 표현된다.

$$H_D(1) = \left\{ (1 - P_{M_1})(1 - P_{M_2}) \right\}^v (P_{D_1} P_{D_2}) \quad (26)$$

$$H_F(1) = \left\{ (1 - P_{M_1})(1 - P_{M_2}) \right\}^v (P_{D_1} P_{F_2} + P_{F_1} P_{D_2} + P_{F_1} P_{F_2}) \quad (27)$$

$$H_M(1) = \frac{\left\{ P_{M_1} + (1 - P_{M_1}) P_{M_2} \right\} \left[ 1 - \left\{ (1 - P_{M_1})(1 - P_{M_2}) \right\}^{v+1} \right]}{1 - (1 - P_{M_1})(1 - P_{M_2})} \quad (28)$$

$$\frac{d}{dz} H_D(1) = (v+1) T_f \left\{ (1 - P_{M_1})(1 - P_{M_2}) \right\}^v (P_{D_1} P_{D_2}) \quad (29)$$

$$\frac{d}{dz} H_F(1) = (v+1) T_f \left\{ (1 - P_{M_1})(1 - P_{M_2}) \right\}^v (P_{D_1} P_{F_2} + P_{F_1} P_{D_2} + P_{F_1} P_{F_2}) \quad (30)$$

$$\frac{d}{dz} H_M(1) = \frac{T_f \left\{ P_{M_1} + (1 - P_{M_1}) P_{M_2} \right\} \left[ 1 - \left\{ (1 - P_{M_1})(1 - P_{M_2}) \right\}^{v+1} \right]}{\left\{ 1 - (1 - P_{M_1})(1 - P_{M_2}) \right\}^2} \quad (31)$$

$$\frac{(v+1) T_f \left\{ P_{M_1} + (1 - P_{M_1}) P_{M_2} \right\} \left\{ (1 - P_{M_1})(1 - P_{M_2}) \right\}^{v+1}}{1 - (1 - P_{M_1})(1 - P_{M_2})}$$

#### 4. 모의 실험 결과

표 1은 제안 기법의 성능을 검증하기 위한 실험 변수를 나타낸다 [2].

그림 3은 동시 접속자 수에 따른 코드 검출 확률을 나타낸다. 제안 기법의 성능은 차등상호상관 기법과 동일하고 ML 기법에 비해 성능이 떨어진다. 그러나 제안 기법의 코드 검출 확률은 AWGN 채널과 비교적 성능 열화가 큰 차량-A 채널을 비교했을 때 0.1 정도 밖에 차이가 나지 않음을 알 수 있다.

그림 4는 동시 접속자 수에 따른 시간 동기 성능을 나타낸다. 차등상호상관 기법의 경우는 동시 접속자 수가 증가함에 따라 큰 성능 열화를 보이며, 특히 차량 A 채널에서는 심한 성능 열화를 가진다.

표 1. 실험 변수

변수	값
부반송파의 수 ( $N$ )	1024
코드 길이 ( $N_c$ )	144
코드 수 ( $M$ )	56
슬롯 수 ( $L$ )	6
최대 동시 접속 사용자 수 ( $N_{user}$ )	10명
최대 시간 지연 ( $n_{l,max}$ )	30us (300 samples)
프레임 길이 ( $T_f$ )	5 ms
벌칙 시간 ( $T_p$ )	1000 ms
채널 환경	AWGN 및 ITU-R M. 1225 Vehicular A 채널

하지만 ML 기법 및 제안 기법은 차량 A 채널에서도 동시 접속자 수에 크게 상관없이 항상 30 샘플 제곱(sample<sup>2</sup>)이하의 시간 동기 오차를 가짐을 알 수 있다.

그림 5는 동시 접속자 수에 따른 평균 레인징 시간을 나타낸다. 차등 상호 상관 기법의 경우 동시 접속자 수가 증가함에 따라 시간 동기 추정 성능이 크게 떨어지므로 평균 레인징 시간이 급격히 증가함을 알 수 있다. 그러나 제안 기법의 경우 시간 동기 검출 성능이 ML 기법과 같으므로 동시 접속자 수가 증가함에도 불구하고 평균 레인징 시간이 크게 떨어지지 않는다. 여기서 ML 기법에 비해 제안

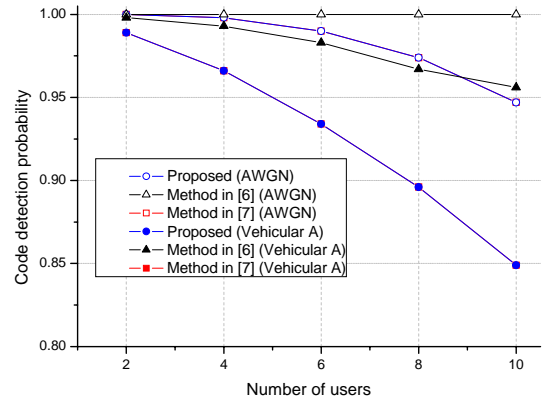


그림 3. 동시 접속자 수에 따른 코드 검출 확률.

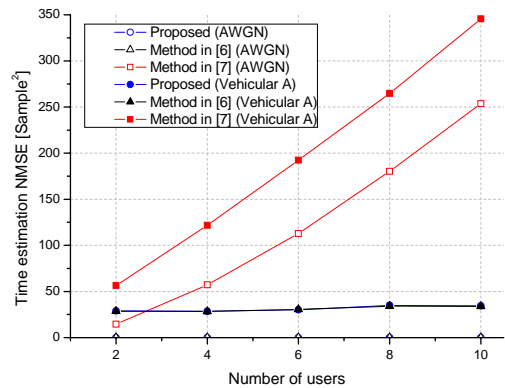


그림 4. 동시 접속자 수에 시간 동기 오차.

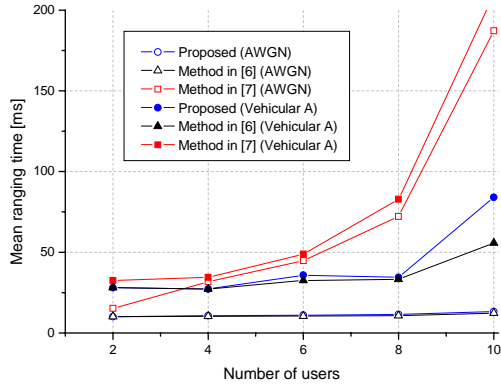


그림 5. 동시 접속자 수에 따른 평균 레인징 시간.

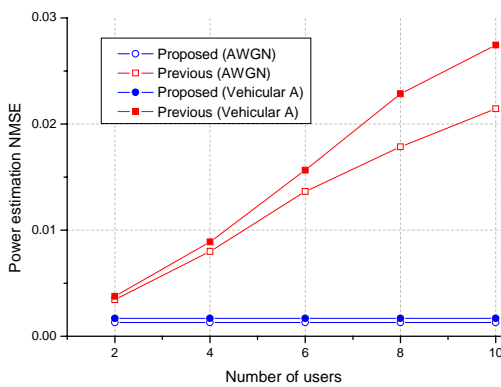


그림 6. 동시 접속자 수에 따른 전력 추정 오차.

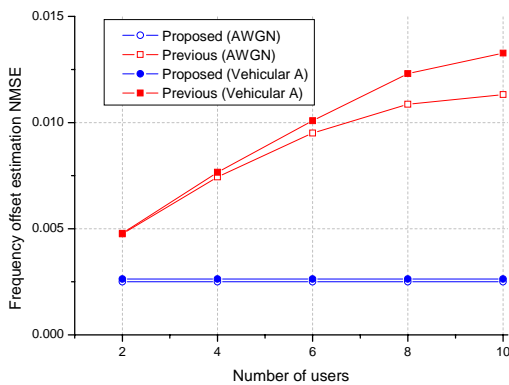


그림 7. 동시 접속자 수에 따른 주파수 편이 추정 오차.

기법의 레인징 성능이 약간 떨어지는 이유는 그림 3에서 살펴본 것과 같이 제안 기법의 코드 검출 성능이 약간 떨어지기 때문이다.

표. 2는 기존 기법들과 제안 기법의 연산 복잡도를 복잡도의 크기로 비교한다. 차등상호상관 기법의 경우는 코드 수 및 슬롯 수의 불확실성에 대해서만 상관도를 계산하면 되므로 연산 복잡도가 가장 작다. 제안 기법의 경우 코드 수 및 슬롯 수의 불확실성에 대해 상관도를 조사하고 난 후 획득된 사용자의 시간 동기 불확실성에 대해서만 상관도를 조

표 2. 연산 복잡도 비교

	ML 기법	차등상호상관기법	제안 기법
복소곱	$N_c L M n_{t\_max}$ =14,515,200	$3(N_c - 1)LM$ =144,144	$3(N_c - 1)LM + N_c n_{t\_max} N_{user}$ =576,144

사하므로 차등상호상관 기법에 비해 연산 복잡도가 크게 증가하지는 않는다. 하지만 ML 기법의 경우 모든 코드 및 슬롯과 모든 시간 동기의 불확실성에 대해 상관도를 모두 계산해야 하므로 연산 복잡도가 매우 큼을 알 수 있다.

그림 6과 그림 7은 각각 동시 접속자 수에 따른 수신 전력 추정 성능과 주파수 편이 추정 성능을 나타낸다. 기존 기법에 비해 제안 기법은 기지국이 사용자 및 시간 동기를 검출한 이후에 각 사용자에게 코드 번호와 슬롯 번호를 미리 지정해주기 때문에 동시 사용자 접속 환경에서도 강인한 수신 전력 추정 성능 및 주파수 편이 추정 성능을 가진다.

## 5. 결론

본 논문에서는 기존의 ML 기법과 차등상호상관 기법의 장점을 취하여 동시 사용자 접속 환경에서 코드 및 슬롯 검출, 시간 동기 검출 성능이 향상된 레인징 기법을 제안하였다. 또 기지국이 검출된 코드 및 슬롯 번호, 시간 동기 정보를 사용자에게 알려줌으로써 다중 사용자 접속으로 인한 간섭을 회피시켜 수신 전력 및 주파수 편이 추정 성능이 우수한 레인징 기법을 제안하였다. 모의 실험 결과 제안 기법이 ML 기법에 비해 코드 및 슬롯 검출, 시간 동기 검출 성능이 유사함에도 불구하고 연산 복잡도를 크게 줄일 수 있음을 알 수 있었으며, 수신 전력 및 주파수 편이 추정 성능과 함께 동시 사용자 접속 환경에서 강인한 성능을 얻음을 확인할 수 있었다.

## 6. 참고 문헌

- [1] R. van Nee and R. Prasad, *OFDM Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000.
- [2] IEEE P802.16e, "Draft IEEE standard for local and metropolitan area networks," Std., Sept. 2004.
- [3] H. Minn and X. Fu, "A new ranging method of OFDMA systems," in *Proc. IEEE Global Communications Conf.*, pp. 1435-1439, Nov. 2005.
- [4] S. Lee, H. Yoo, M. Park, B. Park and D. Hong, "Timing synchronization using phase difference between subcarriers for OFDMA uplink systems over frequency selective fading channels," in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conf.*, pp. 1258-1262, June 2005.
- [5] P. Moose, "A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correction," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 42, pp. 2908-2914, Oct. 1994.
- [6] A. Polydoros and C. Weber, "A unified approach to serial search spread-spectrum acquisition-Part I: General theory," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 32, pp. 542-549, May 1984.