

# 광범위 고정형 무선 통신 시스템을 위한 상향 링크 초기 레인징 기법 설계

이 경 훈\*, 황 원 준\*, 최 형 진\*

## Design of Uplink Initial Ranging Algorithm for Large-Cell Coverage Fixed Wireless Communication System

Kyung-Hoon Lee\*, Won-Jun Hwang\*, Hyung-Jin Choi\*

### 요 약

본 논문에서는 광범위 고정형 무선 통신 시스템을 위한 개선된 초기 레인징 알고리즘을 제안한다. WiBro 및 통상적인 무선 통신 시스템에서는 송수신단 간 왕복 지연이 1개의 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 심벌 주기 내이므로, 초기 레인징 수행 시 주파수 영역 차동 상관 방식이 일반적으로 사용된다. 그러나, 넓은 셀 범위에서는 최대 시간 지연이 증가하여 기존 기법의 적용이 불가능하며, 성능 개선을 위한 누적 차동 상관 기법의 경우 큰 시간 오프셋 발생 시 추정치의 빈번한 부호 천이로 인해 추정 오차가 발생할 여지가 있다. 따라서, 본 논문에서는 15 km 셀 범위를 고려한 레인징 채널 구조에서 전체 시간 오프셋을 정확히 추정하는 알고리즘을 제안한다. 제안 기법은 추정치 간 부호 비교를 통해 부호 오류를 정정하고, 채널 상관도, 누적횟수 및 정규화 과정의 잡음 감소 효과를 고려하는 가중치를 적용함으로써 추정 정확도를 향상시키며, 심벌 주기의 소수 배 시간 오프셋을 보상한 후 첨두치 전력을 비교함으로써 정수 배 시간 오프셋의 추정이 가능하다.

**Key Words** : Fixed environment, initial ranging, large-cell coverage, timing offset, WiBro.

### ABSTRACT

In this paper, an enhanced initial ranging algorithm for large-cell coverage fixed wireless communication system is proposed. In typical wireless communication system such as WiBro, because a round-trip delay between a transmitter and a receiver is within one OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) symbol duration, a frequency-domain differential correlation method is generally used. However, the conventional method cannot be applied due to an increase of a maximum time delay in large-cell system. In case of an accumulative differential method, estimation errors can occur because of frequent sign transitions. In this paper, therefore, we propose an algorithm which can estimate a total timing offset in a ranging channel structure for 15 km cell. The proposed method can improve performance by sign comparison based sign error correction rule between the estimated values and using a weighting scheme based on channel correlation, the number of accumulations, and the noise reduction effect in normalization process. Also, it can estimate the integer timing offset of symbol duration by comparing peak-powers after compensating for the fractional timing offset of symbol duration.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2012-(H0301-12-1005))

◆ 주저자 : 성균관대학교 정보통신대학 통신시스템 연구실, lyky77@ece.skku.ac.kr, 학생회원

\* 성균관대학교 정보통신대학 통신시스템 연구실, hms4253@ece.skku.ac.kr, 준회원, hjchoi@ece.skku.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2012-04-168, 접수일자 : 2012년 4월 4일, 최종논문접수일자 : 2012년 6월 25일

## I. 서 론

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반 무선 이동 통신 시스템에서는 셀 내에 존재하는 단말들의 다양한 위치로 인해 각 단말들의 상향 링크 송신 신호에 서로 다른 시간 오프셋이 발생할 수 있다. 상향 링크 신호 간의 직교성 유지 및 간섭 방지를 위해서는 시간 오프셋 보상 과정이 필수적으로 수행되어야 하며, 이는 초기 레인징이라 불리는 상향링크 동기 과정을 통해 이루어질 수 있다. 시스템은 이러한 초기 레인징 과정을 통해 서로 다른 시간 지연 및 수신 전력으로 인해 발생하는 near/far 문제에 대한 보상이 가능해진다<sup>[1]</sup>.

대표적인 OFDM 기반 상용 무선 이동 통신 시스템인 WiBro (Wireless Broadband) 시스템은 1 km의 셀 반경을 고려하며, 상향 링크 동기를 위해 2주기의 OFDM 심벌 구간을 초기 레인징 채널로 할당하고 있다. 이 경우, 발생 가능한 최대 지연이 1개 OFDM 심벌 주기를 초과하지 않아 레인징 채널 구간에는 최소 한 주기의 레인징 신호가 수신된다. 이러한 조건 하에서 셀 내의 단말들은 레인징 채널 구간에 각기 다른 PN (Pseudo Noise) 시퀀스로 생성된 레인징 신호를 전송하며, 기지국은 수신된 각 단말의 레인징 신호를 PN 시퀀스의 직교성을 이용한 상관 연산을 통해 독립적으로 검출하는 한편 각 신호의 전력 및 시간 오프셋을 측정한다<sup>[2]</sup>.

초기 레인징 과정에서 적용 가능한 상관 검출 기법으로서 시간 영역 상관 기법인 자기 상관 방식과 상호 상관 방식이 존재한다<sup>[3]</sup>. 그러나, 자기 상관 방식은 상관도의 on-time 지점의 침두치 검출을 방해하는 side 침두치 성분으로 인하여 검출 성능이 상대적으로 열화 되는 한편, 상호 상관 방식은 레인징 신호의 길이가 충분히 긴 경우 우수한 검출 성능을 보이지만, 최대 지연 시간까지 모든 레인징 코드에 대해 수신 신호와 참조 신호 간 상관 연산을 수행해야 하므로 시스템이 고려하는 복잡도가 매우 크다는 문제점이 있다<sup>[4]</sup>. 이에 따라, WiBro를 비롯한 일반적인 상용 무선 통신 시스템의 레인징 과정에서는 주파수 영역 기반의 차동 검출 방식이 일반적으로 사용된다<sup>[5]</sup>. 차동 검출 방식은 시간 영역 상호 상관 방식 대비 침두치 검출의 정확도는 다소 낮으나, 상대적으로 복잡도가 낮으며 차동 상관 간격을 확장하여 반복적으로 추정된 값을 누적함으로써 검출 성능 개선이 가능하다는 장점을 가진다.

이와 같이, WiBro 시스템을 비롯한 통상적인

OFDM 기반 상용 무선 통신 시스템에서는 송·수신 단 간 거리 차로 인한 최대 왕복 지연 (round-trip delay) 이 1개 OFDM 심벌 주기를 초과하지 않아 두 번째 레인징 채널 구간에서는 항상 직교성이 유지되는 레인징 신호가 수신되며, 이를 가정하여 레인징 채널 및 알고리즘이 설계되어 있다. 그러나, 넓은 셀 범위를 고려하는 시스템의 경우 발생할 수 있는 최대 시간 지연이 1개 OFDM 심벌 주기를 초과할 수 있으며, 이에 따라 기존의 레인징 채널 구조 적용 시 단말의 레인징 신호가 기지국의 초기 레인징 채널 구간을 벗어나 데이터 구간으로 간섭을 발생시킬 가능성이 있다. 이러한 문제를 개선하기 위해서는 레인징 채널 후반부에 적절한 길이의 보호 구간을 삽입하는 방안을 고려하는 등 레인징 채널의 구조를 적절히 변형할 필요가 있다.

한편, 넓은 셀 반경 고려 시 이러한 레인징 채널 구조의 변형만으로는 개선할 수 없는 다음과 같은 문제점들이 있다. 첫째, 차동 상관 간격 확장을 통한 누적 방식을 고려하는 경우, 시간 오프셋의 크기가 증가함에 따라 각 차동 상관 추정치의 부호 천이가 빈번히 발생하게 된다. 이는 차동 상관 과정에서 수행되는 arc-tan 연산의 특성에 의한 것으로서, 차동 상관 결과의 누적 시 이러한 부호 천이를 고려해 각 추정치를 정규화해야만 정확한 추정 값을 계산 가능하다. 이때, 각 추정치의 부호 오류가 발생하는 경우 누적 과정에서 잘못된 정규화가 수행됨에 따라 큰 추정 오차가 발생할 여지가 있다. 둘째, 차동 상관 기법은 레인징 신호가 수신된 한 주기 내의 FFT 연산 결과를 바탕으로 해당 심벌 주기 내에서의 시간 오프셋을 추정하는 구조이므로, 심벌 주기의 정수 배에 해당하는 시간 오프셋을 추정하지 못하는 문제점이 있다. 이에 따라 1개 심벌 주기 이상의 시간 지연이 발생하는 환경에서는 기존의 차동 상관 기법을 통해 정확한 시간 지연을 추정하지 못한다. 이를 개선하기 위해 시간 영역 상관 방식이 적용 가능하지만, 앞서 언급한 바와 같이 추정 성능 및 연산 복잡도의 문제로 인해 적용이 어려울 때 차동 상관 연산 기법에 대한 개선 방안이 요구된다.

따라서, 본 논문에서는 15 km의 셀 범위를 고려하여 설계된 레인징 채널 구조 하에서, 앞서 언급된 차동 검출 기법의 문제점을 개선하기 위한 방안을 제안한다. 제안 기법은 차동 연산 추정치 간의 간단한 부호 비교 연산을 통한 부호 정정을 수행함으로써 부호 오류를 보정하며, 이를 통해 큰 시간 오프

셋 발생 시의 누적으로 인한 성능 열화를 개선 가능하다. 한편, 제안 기법은 부호 정정이 수행된 각 추정치에 채널 상관도, 누적 횟수 및 추정치 정규화 과정에 따른 잡음 감소 효과를 고려한 가중치 적용 방안을 통해 추정 정확도를 더욱 향상시키며, 심벌 주기의 소수 배 시간 오프셋 추정치를 일차적으로 보상한 이후 간단한 침두치 전력 비교를 통해 심벌 주기의 정수 배 시간 오프셋을 추가적으로 추정함으로써 전체 시간 오프셋을 추정 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 일반적으로 사용되는 WiBro 시스템의 초기 레인징 채널 구조 및 동작 과정에 대하여 서술하고, III장에서는 광범위 무선 통신 시스템의 초기 레인징 시 고려해야 하는 시스템 구조 및 문제점들에 대해 분석한다. IV장에서는 III장에서 분석한 문제점들을 개선하기 위한 새로운 초기 레인징 알고리즘을 제시하며, V장에서는 모의실험 결과 분석을 통해 새로운 초기 레인징 알고리즘에 대한 성능 평가를 수행한다. 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

## II. WiBro 시스템의 초기 레인징

### 2.1. WiBro의 프레임 및 초기 레인징 채널 구조

그림 1은 WiBro 시스템의 프레임 구조를 나타낸다. 상향 링크 동기를 위한 제어 채널은 3개 OFDM 심벌 구간으로 정의되며, 이 중 2개의 심벌 구간은 상향 링크 동기가 전혀 확보되지 않은 상태에서 시도되는 초기 레인징을 위해 정의된다. 그림 2.(a)는 주파수 영역 초기 레인징 채널 구조로서 총 6개의 부채널이 존재하며, 144개의 부반송파가 하나의 부채널을 구성한다<sup>6)</sup>. 또한, 각 부반송파 PN 시퀀스는 BPSK (Binary Phase Shift Keying) 변조된 형태를 갖는다<sup>5)</sup>. 한편, 그림 2.(b)와 같이 시간 영역 초기 레인징 신호는 위상의 불연속성이 존재하지 않도록 2개의 연속된 OFDM 심벌로 전송한다. 1 km의 셀 반경을 고려하는 WiBro 시스템 상에서 발생 가능한 시간 지연은 한 OFDM 심벌 주기를 초과하지 않으며, 기지국은 항상 직교성이 유지되는 2번째 심벌 구간을 통해 레인징 코드 검출, 전력 추정, 시간 오프셋 검출 등을 수행한다<sup>6-9)</sup>.

### 2.2. 레인징 코드 검출 및 전력 추정

기지국은 상향링크 신호의 레인징 코드 검출, 전력 추정, 시간 오프셋 검출을 위하여 주파수 영역에서 차동 연산을 수행한다. 2번째 레인징 심벌 구간

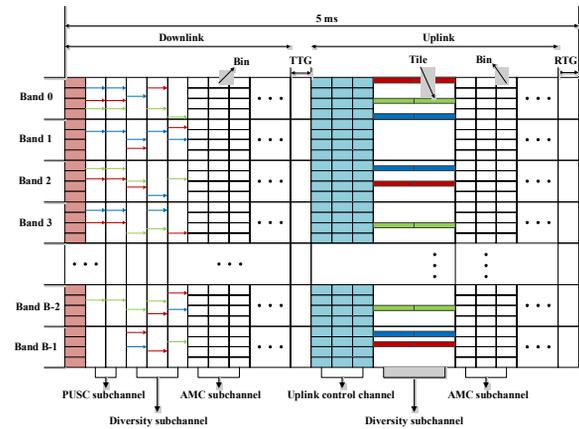
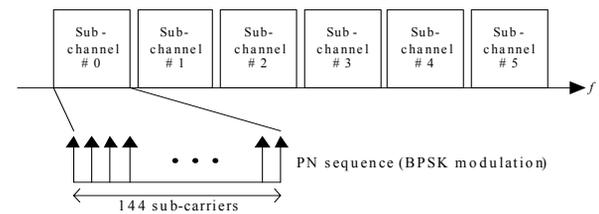
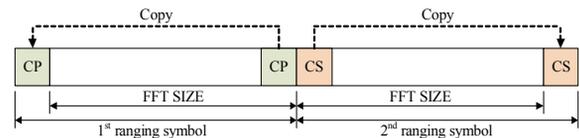


그림 1. WiBro 시스템의 프레임 구조<sup>[10]</sup>  
Fig. 1. A frame structure of WiBro system<sup>[10]</sup>



(a) 주파수 영역 채널 구조



(b) 시간 영역 채널 구조

그림 2. WiBro 시스템의 초기 레인징 채널 구조  
Fig. 2. An initial ranging channel structure of WiBro system

수신 신호에 대하여 FFT 연산을 수행한 후, 주파수 영역 상의 수신 레인징 신호  $Y(k)$ 를 임의의 레인징 코드들로 나눈다<sup>[11]</sup>. 이러한 과정들은 다음과 같이 표현 가능하다.

$$Y(k) = \sum_{n=0}^{N_{FFT}-1} y[n] e^{-j \frac{2\pi nk}{N_{FFT}}} \quad (1)$$

$$R_i(k) = \frac{Y(k)}{X_i(k)} = H(k) e^{-j \frac{2\pi \tau k}{N_{FFT}}} \quad (2)$$

여기서  $n$ 은 시간 영역 샘플 인덱스,  $k$ 는 주파수 영역 부반송파 인덱스를 나타내며,  $i$ 는 임의의 레인징 코드 인덱스를 나타낸다. 또한,  $\tau$ 는 수신 신호에 발생한 시간 오프셋,  $N_{FFT}$ 는 FFT 크기,  $X_i(k)$ 는 전송된 레인징 코드,  $H(k)$ 는 채널 주파수 응답 (CFR: Channel Frequency Response) 을 의미하며,  $y[n]$ 은

시간 영역에서의 수신된 레인징 신호를 의미한다. 시간 오프셋은 식 (2)와 같이 주파수 영역에서 선형적인 위상 회전을 발생시킨다. 이러한 선형 위상 회전을 고정적인 위상 회전으로 변환하는 한편, CFR의 영향을 제거하기 위하여 기지국은 다음과 같이 인접 부반송파 간 차동 연산을 수행한다.

$$R^*(k) \cdot R(k+1) = |H(k)|^2 e^{-j\frac{2\pi\tau}{N_{FFT}}} \quad (3)$$

여기서 (\*)는 공액 복소 곱 연산을 의미한다. 식 (3)에서는 인접 부반송파 간 CFR이 정확히 동일하다고 가정한다. 식 (3)과 같은 차동 연산을 모든 레인징 코드에 대하여 수행한 후, 차동 검출 결과의 최대값과 임계값  $\gamma$  간 크기 비교를 통해 레인징 코드를 검출하며, 이 때 검출된 코드 상관도  $\hat{P}$ 는 레인징 신호의 채널 전력에 동일하다.

$$\hat{P}_i = \frac{1}{(L_{code} - 1)} \left| \sum_{k=0}^{L_{code}-2} R_i^*(k) \cdot R_i(k+1) \right|, \quad i = 0, \dots, N_{code} - 1 \quad (4)$$

$$if \begin{cases} \hat{P}_i > \gamma, & \text{ith code detection and } \hat{P} = \hat{P}_i \\ \hat{P}_i < \gamma, & \text{no detection} \end{cases} \quad (5)$$

여기서  $L_{code}$ 는 레인징 코드의 길이를 나타내며,  $N_{code}$ 는 레인징 코드의 개수를 나타낸다.

### 2.3. 시간 오프셋 추정

식 (6)과 같이 차동 연산을 수행한 결과에 arc-tan 연산을 적용함으로써 시간 오프셋  $\hat{\tau}$ 의 검출이 가능하다.

$$\hat{\tau} = \left[ \frac{N_{FFT}}{2\pi} \tan^{-1} \left( \sum_{k=0}^{L_{code}-2} R_i^*(k) \cdot R_i(k+1) \right) \right] \quad (6)$$

Arc-tan 연산의 특성으로 인하여, 추정 시간 오프셋  $\hat{\tau}$ 의 부호는  $\hat{\tau}$ 의 크기와 FFT 크기의 절반인  $N_{FFT}/2$  간 대소 관계에 따라 결정된다. 그림 4는  $\hat{\tau}$  값의 크기에 의해 결정되는  $\hat{\tau}$ 의 부호를 나타낸다.  $\hat{\tau}$ 가  $N_{FFT}/2$  보다 작을 경우  $\hat{\tau}$ 은 음의 부호를 나타내며,  $N_{FFT}/2$  보다 클 경우에는 양의 부호를 갖는다. 또한,  $\pm 0$  샘플 위치 및  $N_{FFT}/2$  샘플 위치는  $\hat{\tau}$ 의 부호 천이가 발생하는 경계 지점에 해당한다.

한편, 초기 레인징 과정에서의 시간 오프셋 검출

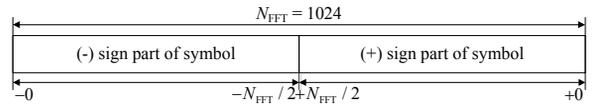


그림 3. 추정 시간 오프셋  $\hat{\tau}$ 의 크기에 따른  $\hat{\tau}$ 의 부호  
Fig. 3. DA sign of  $\hat{\tau}$  according to the size of the estimated timing offset  $\hat{\tau}$

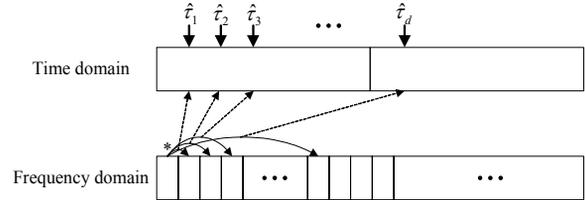


그림 4. 누적 차동 검출 방식  
Fig. 4. An accumulative differential detection method

성능 개선을 위하여, 차동 연산 범위를 확장하여 시간 오프셋 값을 반복적으로 추정할 이후 추정치의 부호를 고려해 적절히 누적하는 방안을 적용할 수 있다. 이러한 누적 차동 검출 방식은 차동 연산을 수행하는 두 부반송파 간 CFR이 동일하다고 가정하는 검출 방식이므로, 넓은 상관 대역폭을 갖는 고정형 무선 통신 시스템에서 적용이 용이한 검출 방식이다.  $d$ 개 부반송파 간격을 갖는 두 부반송파 간 차동 연산 수행 과정은 다음과 같이 표현된다.

$$R^*(k) \cdot R(k+d) = |H(k)|^2 e^{-j\frac{2\pi\tau d}{N_{FFT}}} \quad (7)$$

$$\hat{\tau}_d = \left[ \frac{N_{FFT}}{2\pi} \tan^{-1} \left( \sum_{k=0}^{L_{code}-(d+1)} R^*(k) \cdot R(k+d) \right) \right], \quad 1 \leq d \leq N_{range} \quad (8)$$

식 (8)과 같이,  $d$ 개 부반송파 간격을 갖는 부반송파들 간 차동 연산 수행 시  $d$ 배의 위상 회전 값을 얻을 수 있다. 누적 차동 검출 방식을 나타내는 그림 4에서 추정된 시간 오프셋 값  $\hat{\tau}_d$ 는  $d$ 에 비례하여 증가함을 확인할 수 있다. 또한,  $N_{FFT}/2$ 보다 큰  $\hat{\tau}_d$ 는 arc-tan 연산 특성에 의하여 부호가 전환되므로, 부반송파 간격  $d$ 와 부호 천이 지점을 고려한 아래와 같은 정규화 과정이 요구된다.

$$\hat{\tau}'_d = - \left( \frac{y_{\text{sign}} \cdot N_{FFT} - \hat{\tau}_d}{d} \right), \quad (y_{\text{sign}} = 0, 1, \dots) \quad (9)$$

여기서  $y_{\text{sign}}$ 은 양의 부호로 천이되는 횟수를 나타내며, 이는 추정된 시간 오프셋 값들의 부호가 음의 부호에서 양의 부호로 변화되는 횟수를 의미한다. 이후, 다음과 같이 정규화된 시간 오프셋 값들을 누적해 추정 정확도를 개선한다.

$$\hat{\tau} = \frac{1}{N_{\text{range}}} \sum_{d=1}^{N_{\text{range}}} \hat{\tau}'_d \quad (10)$$

기지국은 초기 레인징 과정에서 위와 같은 레인징 코드 검출, 전력 추정, 시간 오프셋 검출 등을 수행한 후, 단말에게 대역폭을 할당하고 하향 링크 제어 채널을 통해 단말에게 상향링크 신호의 송신 시간 조정 및 전력 제어를 수행할 것을 지시한다<sup>[12]</sup>.

### III. 광범위 무선 통신 시스템 고려 시 초기 레인징 기법의 문제점 분석

본 장에서는 넓은 셀 범위를 고려하는 무선 통신 시스템을 고려하여 레인징 채널 구조 및 초기 레인징 알고리즘의 문제점을 분석한다. 본 논문에서 고려하는 시스템은 WiBro 시스템과 기본적인 시스템 구조가 동일하되, 28 MHz의 대역폭 및 최대 셀 반경 15 km를 고려함에 따라 WiBro 시스템 대비 큰 시간 지연이 발생 한다. 따라서, 1개 심벌 주기 이상의 시간 지연을 고려해 레인징 채널 구조를 변경할 필요가 있다. 이에 본 논문에서는 기존 레인징 채널 구조에 Null 구간을 삽입한 형태의 간단한 레인징 채널 구조를 고려하며, 해당 구조 적용을 통해서도 여전히 개선되지 않는 레인징 알고리즘 상의 문제점을 분석한다.

#### 3.1. 데이터 구간 간섭 문제를 고려한 초기 레인징 채널 구조

기존의 WiBro 시스템은 최대 1 km의 통달 거리를 고려하며, 8.75 MHz의 대역폭을 기준으로 할 때 최대 1 km의 거리 차로 인해 발생하는 초기 레인징 신호의 시간 지연은 약 67 샘플에 해당한다. 이는 OFDM 심벌의 보호 구간 이내로 수신되는 시간 지연으로, 타 채널 구간에 영향을 주지 않는다. 그러나, 28 MHz의 대역폭 및 최대 셀 반경 15 km를 갖는 광대역·광범위 무선 통신 시스템을 가정하는 경우, 15 km 거리 차로 인해 발생하는 시간 지연은 약 3,200 샘플에 달한다. 이는 OFDM 심벌 주기의 2배가 넘는 큰 시간 지연으로서, 이러한 크

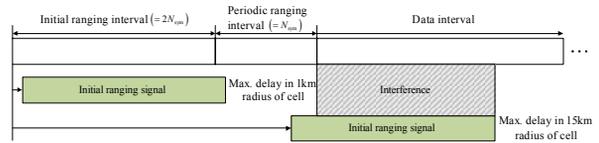


그림 5. 광범위 무선 통신 시스템의 데이터 구간 간섭 문제  
Fig. 5. A data interval interference problem of large-cell wireless communication system

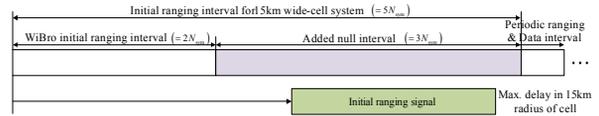


그림 6. 광범위 무선 통신 시스템을 위한 초기 레인징 채널 구조  
Fig. 6. An initial ranging channel structure for large-cell wireless communication system

기의 시간 지연이 발생하는 경우 그림 5에 표현된 바와 같이 큰 시간 지연이 발생한 레인징 신호가 데이터 구간으로 간섭을 일으켜, 레인징 신호 및 데이터 채널 수신 성능의 상당한 열화를 유발한다.

레인징 신호의 큰 시간 지연으로 인한 데이터 구간 간섭을 방지하기 위한 간단한 방법으로서, 그림 6과 같은 초기 레인징 채널 구조를 고려할 수 있다. 그림 5의 레인징 채널 구조 레인징 구간을 5개 심벌 구간으로 확장한 구조로서, 단말은 기존과 동일하게 2개의 OFDM 심벌로 구성된 레인징 신호를 전송하되 이후 3개의 OFDM 심벌 보호 구간을 통해 데이터 구간으로의 간섭을 방지할 수 있다.

그림 6과 같은 형태의 레인징 채널 구조 고려 시, 5개 FFT 구간에 대해 각각 첨두치 검출을 수행한 이후, 각 코드 인덱스 별 최대 첨두치를 선택하여 적용하는 형태로 레인징 코드 검출 및 전력 추정 과정을 변형할 수 있다. 즉, 식 (11)과 같이 코드 인덱스  $i$ 에 대한 5개 FFT 구간의 최대 첨두치를 기반으로 임계값 설정 후, 레인징 코드 검출 및 전력 추정을 수행한다.

$$\text{if } \begin{cases} \hat{P}_{i(\text{max})} > \gamma, & \text{ith code detection and } \hat{P} = \hat{P}_{i(\text{max})} \\ \hat{P}_{i(\text{max})} < \gamma, & \text{no detection} \end{cases} \quad (11.a)$$

$$\gamma = \text{Weight} \times \frac{1}{N_{\text{code}}} \sum_{i=0}^{N_{\text{code}}-1} \hat{P}_{i(\text{max})} \quad (11.b)$$

#### 3.2. 차동 상관 연산 누적 시의 부호 오류 문제

II.3절에서 언급한 바와 같이 누적 차동 검출 방식을 적용하기 위해서는 부호의 변화를 고려한 정

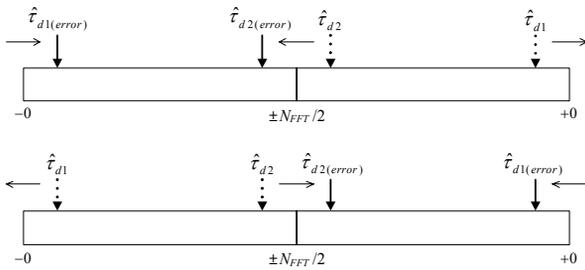


그림 7. 부호 오류의 유형  
Fig. 7. Case of sign error

규화 과정이 요구된다. 이때, 그림 7에 나타낸 바와 같이 추정된 시간 오프셋 값  $\hat{\tau}_d$ 가 부호 천이 경계인  $\pm 0$  샘플 또는  $\pm N_{FFT}/2$  샘플 근처에 위치할 경우, 잡음 및 CFR 특성 차의 영향으로  $\hat{\tau}_d$ 에 근소한 오차가 나타나더라도 부호 오류가 발생할 가능성이 상당히 높다. 이러한 부호 오류 발생 시,  $\hat{\tau}_d$ 의 부호를 고려하는 식 (9)의 정규화 과정에서 잘못된 정규화 수행으로 인해 큰 추정 오류가 발생할 수 있다.

특히, 큰 시간 지연이 발생함에 따라 추정치의 부호 천이가 빈번해지므로, 부호 오류로 인한 추정 오류가 발생할 가능성이 크게 높아진다. 따라서, 큰 시간 지연이 발생 가능한 넓은 셀 환경에서 누적 차동 연산을 통한 성능 개선 효과를 얻기 위해서는 이러한 부호 오류 문제가 반드시 개선되어야 한다.

### 3.3. 심벌 주기의 정수 배 시간 오프셋 추정 문제

차동 상관 알고리즘의 경우, 직교성이 유지되는 하나의 FFT 구간 내의 신호를 이용하여 검출을 수행하므로 OFDM 심벌 주기의 소수 배에 해당하는 시간 오프셋만 추정이 가능하다. 따라서, OFDM 심벌 주기의 정수 배 이상의 시간 지연이 발생할 광범위 무선 통신 시스템에서는 정확한 시간 오프셋 추정을 위해 심벌 주기의 정수 배 시간 오프셋을 추정하기 위한 방안이 요구된다.

간단한 정수 배 시간 오프셋 추정 방안으로서, 첨두치 검출 기반의 FFT 기준점 설정이 고려될 수 있다. 이 경우, 그림 8과 같이 5개의 FFT 구간에서 관찰되는 임계값 이상의 첨두치 중 첫 번째 첨두치의 FFT 구간 시작점을 기준점으로 설정할 수 있다. 즉, 5개의 FFT 구간 중  $M$ 번째 FFT 구간에서 최대 첨두치가 검출된 경우, 차동 검출 기법을 통해 추정된 값과 그 부호를 참조하여 최종적인 시간 오프셋 추정치를 다음과 같이 결정할 수 있다.

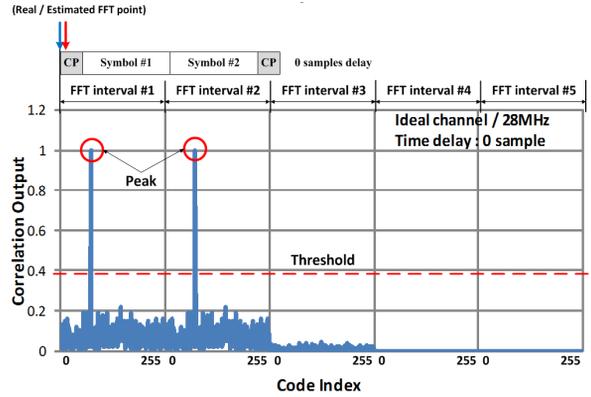


그림 8. 기존의 FFT 기준점 설정 방안  
Fig. 8. The conventional FFT point decision method

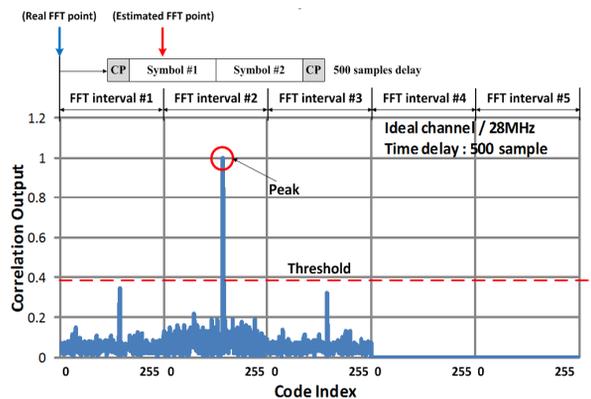


그림 9. 기존 FFT 기준점 설정 방안의 문제점  
Fig. 9. A problem of the conventional FFT point decision method

$$\hat{\tau}_{total} = \begin{cases} (M-1)N_{FFT} - \hat{\tau}, & \text{if } \text{sgn}(\hat{\tau}) = -1 \\ MN_{FFT} - \hat{\tau}, & \text{else} \end{cases} \quad (12)$$

그러나, 이러한 첨두치 검출 기반의 FFT 기준점 설정 방안은 수신 신호의 시간 지연값에 따라 첨두치 검출이 정확히 수행되지 않는 경우 추정 오차가 발생할 가능성이 있다. 그림 9와 같이 수신 신호가 3개의 FFT 구간에 수신되는 경우, 실제 FFT 기준점인 첫 번째 첨두치가 임계값을 초과하지 않아 잘못된 FFT 기준점이 설정되며, 식 (12)의 방법으로는 정확한 전체 시간 오프셋 추정이 불가능하다. 결론적으로, 단순 임계값을 통한 첨두치 검출 방식으로는 정확한 FFT 기준점 설정에 무리가 따른다.

## IV. 제안하는 초기 레인징 알고리즘

본 장에서는 III장에서 분석한 바와 같은 넓은 셀 범위를 고려하는 무선 통신 시스템 환경에서 초기 레인징 알고리즘의 문제점에 대한 개선 방안을 제

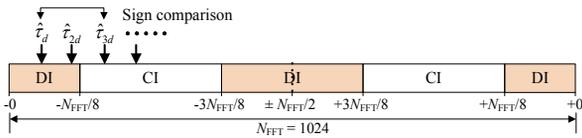


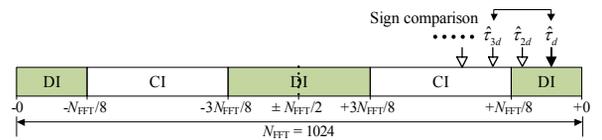
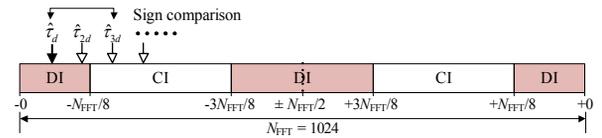
그림 10. DI와 CI 추정값 간 부호 비교  
Fig. 10. A sign comparison between the estimated values DI and CI

안한다. 본 논문에서 제안하는 초기 레인징 알고리즘은 먼저 주파수 영역 누적 차동 연산 기반의 시간 오프셋 추정 시 정확도 개선을 위한 간단한 부호 비교 기반의 부호 오류 정정 기법을 고려하며, 채널 상관도, 누적 횟수 및 추정치 정규화 과정에 따른 잡음 분산 효과를 고려한 가중 평균화 (weighted normalization) 를 통해 추정 성능을 향상시키는 방안을 제안한다. 이후, FFT 기준점 설정을 위해 OFDM 심벌 주기의 소수 배에 해당하는 시간 오프셋을 사전 보상한 이후 침두치 검출을 수행하는 새로운 시간 오프셋 추정 구조를 제안한다.

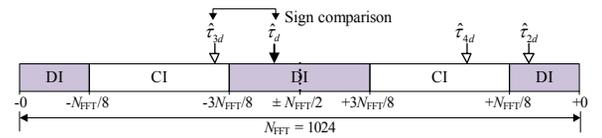
4.1. 추정 시간 오프셋의 부호 오류 정정 기법

본 절에서는 III.2절에서 분석한 누적 차동 연산 검출 기법 적용 시의 부호 오류 문제에 대한 개선 방안으로서, 부호 천이 경계 근처에 위치하는 추정 시간 오프셋 값과 그렇지 않은 추정 시간 오프셋 값 간의 부호 비교를 통해 부호 오류를 검출하고 정정하는 기법을 제안한다.

먼저, 그림 10과 같이 시간 오프셋의 추정 구간을 5개로 구분한다. 이때, 부호 천이 지점에 해당하는 ±0 샘플 위치 및 N\_FFT/2 샘플 위치에 인접한 3개의 추정 구간은 비신뢰구간 (DI, Distrust Interval) 이라 칭한다. 이때, DI 내로 추정되는 시간 오프셋 추정치는 부호 천이 지점과의 거리 차가 짧음으로 인해 상대적으로 작은 잡음 마진 (noise margin) 을 가지며, 따라서 이들 추정치는 부호 오류가 발생할 가능성이 높다. 반면, 부호 천이 지점과 떨어진 나머지 두 개의 추정 구간은 신뢰구간 (CI, Confidence Interval) 으로 명명하며, 이들 구간에 해당하는 시간 오프셋 추정치는 큰 잡음 마진으로 인해 부호 오류 발생 가능성이 매우 낮다. 따라서, 본 논문의 제안 기법에서는 CI 내로 추정된 시간 오프셋 추정치에는 부호 오류가 없다고 가정하며, CI 내로 추정된 시간 오프셋 추정치와 DI 내로 추정된 시간 오프셋 추정치 간의 부호 비교를 통해 DI 내로 추정된 시간 오프셋의 부호 오류 발생 여부를 판단한다.



(a)  $|\hat{t}_d| < N_{FFT}/8$



(b)  $|\hat{t}_d| > 3N_{FFT}/8$

그림 11. 추정 시간 오프셋 위치에 따른 부호 오류 정정  
Fig. 11. A sign error correction according to the position of the estimated timing offset

d개 부반송파 간격으로 떨어진 부반송파 간의 차동 연산을 통해 추정된 시간 오프셋  $\hat{t}_d$  이 DI 내의 값일 경우, 제안 기법은 해당 값의 부호 오류 판단을 위하여 d개 부반송파 간격의 정수 배로 부반송파 간격을 확장시키며 시간 오프셋 값을 추정한다. 이러한 과정을 통해 정수 배로 확장된 부반송파 간격에 의해 추정된 시간 오프셋 값 가운데 최초로 CI 내로 추정되는 시간 오프셋 값  $\hat{t}_{nd}$  를 결정할 수 있다.  $\hat{t}_{nd}$  는 CI 이 내의 값이므로,  $\hat{t}_{nd}$  의 부호를 통해  $\hat{t}_d$  의 부호 오류 발생 여부를 판단 가능하다.

그림 11은  $\hat{t}_d$  의 위치에 따른  $\hat{t}_{nd}$  와의 부호 관계를 나타낸 것이다. 그림 11.(a)와 같이  $\hat{t}_d$  가 N\_FFT/8 보다 작은 크기를 가지는 경우, 부호 오류가 발생하지 않았을 때  $\hat{t}_d$  는  $\hat{t}_{nd}$  와 항상 동일한 부호를 갖게 된다. 반면, 그림 11.(b)에 나타낸 바와 같이  $\hat{t}_d$  가 3N\_FFT/8보다 큰 크기를 가지는 경우, n이 홀수인 경우에 대하여  $\hat{t}_d$  와  $\hat{t}_{nd}$  가 동일한 부호를 가지며, 짝수인 n에 대하여 두 값은 다른 부호를 가지게 된다. 이러한  $\hat{t}_d$  와  $\hat{t}_{nd}$  의 부호에 대한 규칙성에 근거하여, 다음의 식 (13)과 같은 조건을 만족하는 경우

$\hat{\tau}_d$ 에 부호 오류가 없음을 판단할 수 있다.

$$\text{sgn}(\hat{\tau}_d \cdot \hat{\tau}_{nd}) = \begin{cases} 1, & \text{if } |\hat{\tau}_d| < \frac{1}{8}N_{\text{FFT}} \\ (-1)^{n-1}, & \text{if } |\hat{\tau}_d| > \frac{3}{8}N_{\text{FFT}} \end{cases} \quad (13)$$

그러나,  $\hat{\tau}_d$ 와  $\hat{\tau}_{nd}$ 가 식 (13)의 조건을 만족하지 않을 경우  $\hat{\tau}_d$ 에 부호 오류가 발생한 것으로 판단하고, 간단히  $\hat{\tau}_d$ 의 부호를 전환하여 부호 오류를 정정한다.

#### 4.2. 가중 평균화를 통한 추정 성능 개선 방안

추정 성능의 개선을 위한 누적 시 적절한 가중치 설정을 통해 잡음의 영향을 감소시키는 방안이 일반적으로 활용되며, 가중치 설정 방법에 따라 다양한 기법들이 제안되어 있다. 본 논문에서는 누적 과정에서 주파수 영역의 채널 상관도, 추정치에 적용된 누적 횟수, 정규화 상수에 의한 잡음 완화 효과 등을 고려하는 가중치 설정 방안을 제안한다.

먼저,  $\hat{\tau}_d$ 의 신뢰도는  $d$ 개 간격으로 떨어진 두 부분 송파 간의 주파수 영역 채널 상관도에 비례한다.

$$R_f(d) = \sum_{i=0}^{L-1} \sigma_i^2 e^{-j2\pi d\tau_i/N_{\text{FFT}}} \quad (14)$$

여기서  $L$ 은 다중 경로의 수,  $\sigma_i^2$ 는  $i$ 번째 경로의 전력,  $\tau_i$ 는  $i$ 번째 경로의 샘플 지연을 나타낸다.

다음으로,  $\hat{\tau}_d$ 의 신뢰도는 추정값 누적 횟수 ( $L_{\text{code}}-d$ )에 비례한다. 누적 횟수가 증가할수록 잡음이 감쇄되는 효과가 나타나므로, 해당  $\hat{\tau}_d$ 값의 신뢰도는 누적 횟수에 비례하여 향상된다. 또한, 식 (9)과 같은 정규화 과정에서 잡음 분산이  $1/d^2$ 만큼 감소하게 되며, 감소되는 잡음 분산의 크기를 고려하여  $d^2$ 의 가중치를 적용한다.

결과적으로, 채널 상관도와 누적 횟수, 정규화 과정에서의 정규화 상수를 동시에 고려하여 다음과 같은 가중치를 적용한 평균화 과정을 수행함으로써 시간 오프셋 추정 성능을 개선 가능하다.

$$\hat{\tau} = \frac{\sum_{d=1}^{N_{\text{range}}} ((L_{\text{code}} - d)d^2 \cdot R_f(d)) \hat{\tau}'_d}{\sum_{d=1}^{N_{\text{range}}} (L_{\text{code}} - d)d^2 \cdot R_f(d)} \quad (15)$$

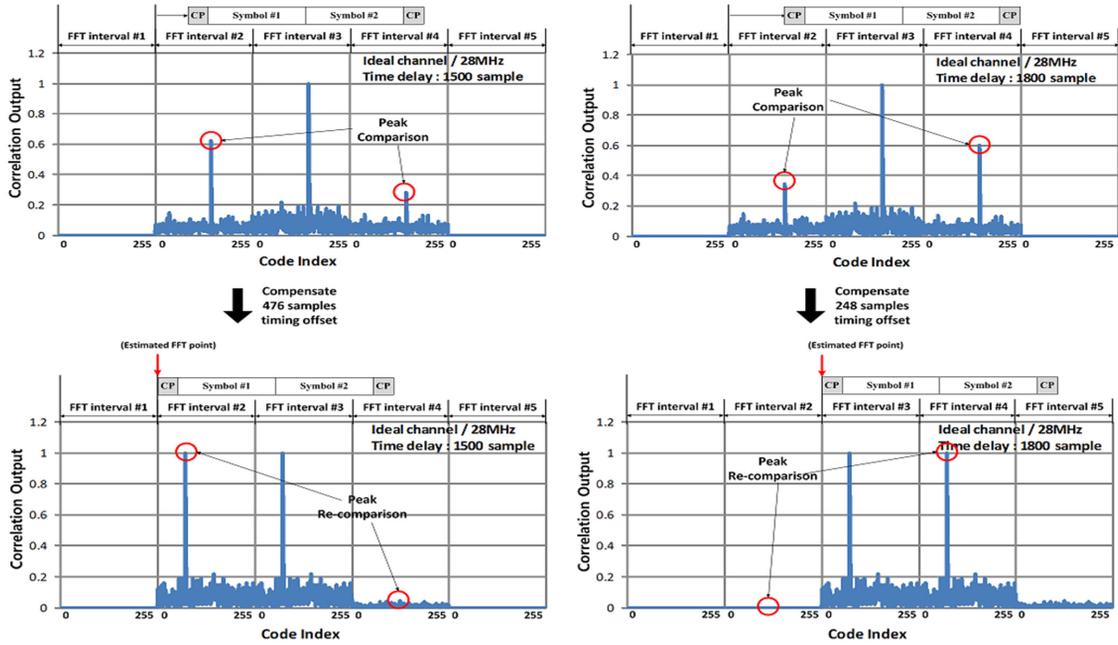
#### 4.3. 시간 오프셋의 사전 보상을 통한 FFT 기준점 설정 방안

본 절에서는 III.3절에서 제시된 기존 기법의 문제점 해결을 위한 새로운 FFT 기준점 설정 방안을 제안한다. 제안 방식은 최대 침투치가 발생하는 FFT 구간을 이용하여 OFDM 심벌 길이의 소수 배 시간 오프셋을 추정하고, 이를 시간 영역 수신 신호에 대하여 일차적으로 보상한 이후 FFT 기준점을 재설정하는 방식이다.

차동 검출 기법을 통해 추정된 OFDM 심벌의 소수 배 시간 오프셋 값으로 수신 신호를 보상하면, 수신 신호에는 정수 배의 시간 오프셋만 잔여하게 되어 가장 근접한 2개의 FFT 구간으로 이동하므로, 레인징 코드 검출 재수행 시 2개의 최대 침투치를 검출할 수 있다. 이후, 시간 오프셋 추정에 사용한 FFT 구간을 기준으로, 이전 및 이후 FFT 구간의 최대 침투치 간 비교를 통해 수신 신호에 발생한 정수 배 시간 오프셋 값을 판단할 수 있다. 즉, 제안 기법은  $M$ 번째 FFT 구간에서 최대 침투치가 검출된 경우, 소수 배 시간 오프셋의 보상 이후  $M-1$ 번째 FFT 구간의 침투치와  $M+1$ 번째 FFT 구간의 침투치를 비교함으로써 정수배 시간 오프셋 추정을 위한 FFT 기준점을 설정한다.

그림 12.(a)는 최대 침투치가 검출되는 3번째 FFT 구간을 기준으로 수신 신호가 2번째 FFT 구간에 보다 근접하게 수신된 경우이며, 이 경우에는 2번째 FFT 구간의 시작 지점으로 FFT 기준점이 설정될 필요가 있다. 이러한 조건에서 소수 배 시간 오프셋을 보상하는 경우, 보상 이후의 수신 신호는 2번째 및 3번째 FFT 구간으로 이동하며, 2번째 FFT 구간의 침투치와 4번째 FFT 구간의 침투치 비교 시 2번째 FFT 구간의 침투치가 확연히 크게 나타나므로 FFT 기준점이 2번째 FFT 구간의 시작 지점임을 판단할 수 있다. 한편, 그림 12.(b)는 동일하게 3번째 FFT 구간에서 최대 침투치가 검출되는 가운데 3번째 FFT 구간에 보다 근접한 시간 오프셋이 발생한 경우로서, 이 경우에는 앞서 고려한 예와 달리 3번째 FFT 구간의 시작지점으로 FFT 기준점이 설정될 필요가 있다. 이러한 조건에서 소수 배 시간 오프셋을 보상하는 경우, 이번에는 3번째 및 4번째 FFT 구간으로 보상된 수신 신호가 이동하므로, 2번째 FFT 구간의 침투치와 4번째 FFT 구간의 침투치 비교 시 4번째 FFT 구간의 침투치가 확연히 크게 나타남을 통해 적절한 FFT 기준점이 4번째 FFT 구간의 시작 지점임을 판단할 수 있다.

이러한 관계를 일반화하면,  $M$ 번째 FFT 구간에서 최대 침투치가 검출되는 경우 제안하는 FFT 기준점



(a) 전 FFT 침두치 > 후 FFT 침두치 유형  
 그림 12. 제안하는 FFT 기준점 설정 방안  
 Fig. 12. The proposed FFT point decision method

(b) 전 FFT 침두치 < 후 FFT 침두치 유형

설정 방안 적용에 따른 전체 시간 오프셋 추정치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{\tau}_{total} = \begin{cases} (M-2)N_{FFT} - \hat{\tau}, & \text{if } \bar{P}_{M-1} < \bar{P}_{M+1} \\ (M-1)N_{FFT} - \hat{\tau}, & \text{else} \end{cases} \quad (16)$$

여기서  $\bar{P}_M$  은 소수 배 시간 오프셋이 보상된 이후  $M$  번째 FFT 구간의 레인징 코드 침두치를 의미한다.

#### 4.4. 제안 기법의 복잡도 분석

표 1은 기존의 누적 차동 기법과 제안하는 부호 오류 정정 기반의 누적 차동 기법 간의 복잡도를 차동 연산수 및 부호 비교 연산수를 기준으로 비교한 것이다. 제안 기법은 CI 내에 존재하는 정수배 시간 오프셋  $\hat{\tau}_{nd}$ 의 추정을 위해 추가적인 차동 연산을 수행하며, 부호 비교 연산은 누적 횟수  $N_{range}$  회 만큼 수행된다. 결론적으로, 제안 기법은 정수배 시간 오프셋 추정을 위한 추가적인 차동 연산이 요구되며, 이는 정수배 시간 오프셋이 CI 내로 추정될 때까지 반복되므로 시간 오프셋 양에 따라 복잡도가 크게 증가할 여지가 있다. 그러나, 레인징 과정이 반복적으로 수행됨에 따라 각 단말의 송신 시점이 조정됨으로 인해 발생할 수 있는 시간 오프셋은 점차 줄어들게 되므로, 큰 시간 오프셋이 발생 가능한 링크 형성 초반에는 제안 기법을 적용하는 한편, 시간 오프셋이 일정량 이하로 수렴된

이후에는 기존의 일반적인 기법을 적용함으로써 복잡도 증가 문제를 최소화한다.

## V. 컴퓨터 모의실험

본 장에서는 컴퓨터 모의실험을 통해 본 논문에서 제안한 알고리즘에 대한 성능 분석을 수행하고, 제안한 기법의 성능 개선 정도를 평가하였다. 각 모의실험은 WiBro 시스템 환경을 기반으로, 셀 반경 15 km, 대역폭 28 MHz를 고려하여 진행되었다. 표 2는 모의 실험에 적용된 주요 파라미터들을 나타낸 것이다.

그림 13 및 그림 14는 300 샘플에 해당하는 시간 오프셋이 발생한 경우의 기존 기법과 제안 기법간 시간 오프셋 추정 RMSE (Root Mean Square Error) 성능 비교를 나타낸다. 시간 오프셋이 비교적 작은 300 샘플인 경우, 누적 차동 연산 적용 시 각 추정치에

표 1. 기존 기법과 제안 기법 간 복잡도 비교  
 Table. 1. Computational complexity comparison between the conventional method and the proposed method

Calculation	Conventional	Proposed
Differential correlation	$\sum_{d=1}^{N_{range}} (L_{code} - d)$	$\sum_{d=1}^{N_{range}} \left( \sum_{k=1}^n (L_{code} - kd) \right)$
Sign comparison	-	$N_{range}$

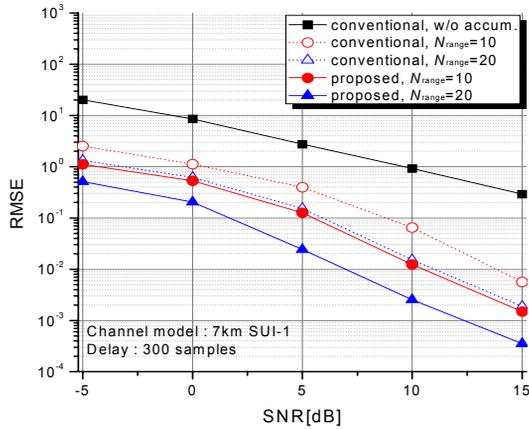


그림 13. 7 km SUI-1 채널에서의 시간 오프셋 추정 RMSE 성능 비교 ( $\tau=300$ )  
 Fig. 13. RMSE performance comparison of timing offset estimation in 7km SUI-1 channel ( $\tau=300$ )

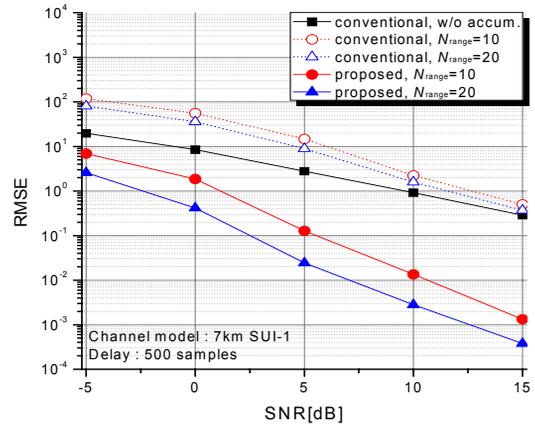


그림 15. 7 km SUI-1 채널에서의 시간 오프셋 추정 RMSE 성능 비교 ( $\tau=500$ )  
 Fig. 15. RMSE performance comparison of timing offset estimation in 7km SUI-1 channel ( $\tau=500$ )

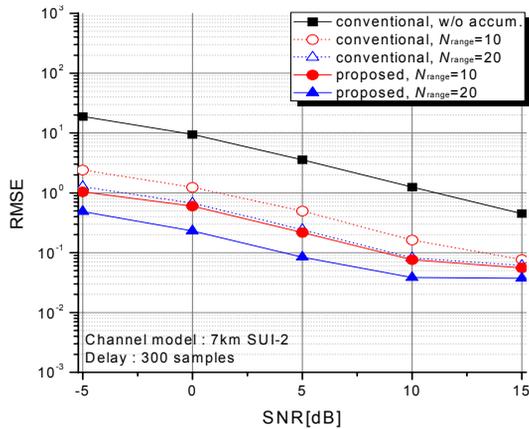


그림 14. 7 km SUI-2 채널에서의 시간 오프셋 추정 RMSE 성능 비교 ( $\tau=300$ )  
 Fig. 14. RMSE performance comparison of timing offset estimation in 7km SUI-2 channel ( $\tau=300$ )

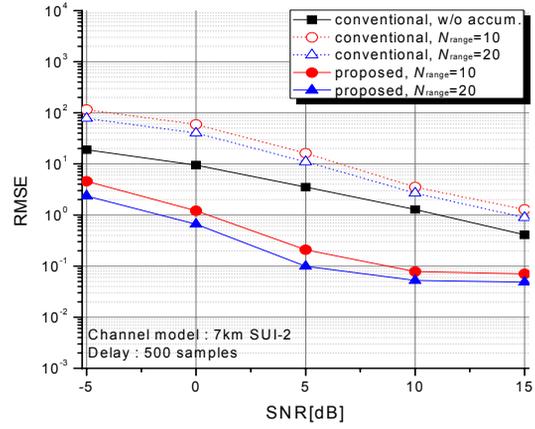


그림 16. 7 km SUI-2 채널에서의 시간 오프셋 추정 RMSE 성능 비교 ( $\tau=500$ )  
 Fig. 16. RMSE performance comparison of timing offset estimation in 7km SUI-2 channel ( $\tau=500$ )

발생하는 부호 천이의 발생 빈도가 낮으므로 기존의 단순 누적 차동 연산 시에도 누적에 따른 성능 개선 효과를 얻을 수 있다. 한편, 본 논문에서 제안된 부호 정정 기법이 적용되는 경우 부호 오류로 인한 누적 시의 오차가 보정되는 한편 가중치 적용으로 인한 잡음 완화 효과로 인하여 기존의 단순 누적 방식 대비 성능이득이 발생함을 확인할 수 있다.

그림 15 및 그림 16은 500 샘플의 시간 오프셋을 갖는 경우의 시간 오프셋 추정 RMSE 성능 비교를 나타낸 것이다. 500 샘플은 부호 천이 경계인 512 샘플에 매우 근접한 시간 오프셋 값으로, 시간 오프셋 추정 시 부호 천이가 빈번하게 발생하며 이에 따라 부호 오류로 인한 추정 오차가 발생할 가능성이 매우 높은 유형이다. 이에 따라, 부호 정정 과정 없이 기존의 단순 누적 차동 연산을 적용하는 경우, 누적을 수행하지 않는 단순 차동 검출 기법 대비 오히려 성능 열화가

발생함을 확인할 수 있다. 반면, 제안 기법은 부호 정정 효과로 인해 누적 연산 횟수가 증가할수록 여전히

표 2. 주요 시스템 파라미터  
 Table 2. Key system parameter

Parameter	Value
Carrier frequency	2.35 GHz
Bandwidth	28 MHz
Sampling frequency	32 MHz
FFT size ( $N_{FFT}$ )	1024
The number of used subcarriers	864 subcarriers
The number of data subcarriers	768 subcarriers
The number of ranging codes ( $N_{code}$ )	256 codes
The length of ranging code ( $L_{code}$ )	144 bits
The number of subchannels	6 subchannels
Cell radius	15 km
Channel model	7 km SUI-1, SUI-2 <sup>[13]</sup>
Timing offset value ( $\tau$ )	300, 500 samples
Max. subcarrier spacing ( $N_{range}$ )	10, 20 subcarriers

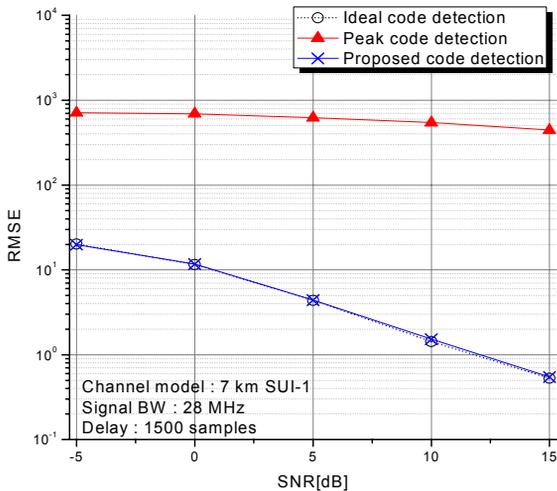


그림 17. 제안하는 FFT 기준점 설정 방안을 통한 추정 RMSE 성능 개선  
 Fig. 17. RMSE estimation performance improvement by the proposed FFT point decision method

성능 개선이 이루어짐을 알 수 있다. 이러한 결과로부터, 제안 기법은 부호 오류의 발생 빈도가 높은 시간 오프셋 환경에서도 높은 정확도로 부호 오류를 정정함을 확인할 수 있다. 또한, 그림 13 및 그림 14의 300 샘플 시간 오프셋이 고려된 경우와 비교할 때, 시간 오프셋이 큰 경우에도 추정 성능 열화 없이 거의 유사한 추정 성능을 가짐을 확인할 수 있다.

그림 17은 정수 배 시간 오프셋이 존재하는 환경에서 본 논문에서 제안된 FFT 기준점 설정 방안을 적용한 경우의 추정 RMSE 성능을 나타낸다. 여기서 이상적 검출 기법은 정수 배 시간 오프셋을 가정한 경우 대한 성능을 나타내며, 첨두치 검출 기법은 앞서 식 (13)에 나타낸 바와 같은 최대 첨두치가 발생하는 FFT 구간을 기준으로 기준점을 설정하는 경우의 성능을 나타낸다. 그림 17의 결과로부터, 기존의 단순 최대 첨두치 기반의 FFT 구간 설정 시에는 첨두치 검출 오류로 인해 FFT 기준점 설정에 오류가 발생함에 따라 성능이 열화됨을 알 수 있다. 한편, 제안 기법 적용을 통해 정수 배 시간 오프셋이 발생하는 경우에도 적절한 FFT 기준점설정을 통해 해당하는 정수 배 시간 오프셋을 추정 가능하며, 이로 인해 이상적인 정수배 시간 오프셋 추정이 가능한 경우와 동일한 추정 성능을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 넓은 셀 범위를 갖는 고정형 무선 통신 시스템을 위한 새로운 초기 레인징 알고리즘을 제

안하였다. 넓은 셀 범위를 갖는 고정형 무선 통신 시스템의 경우 발생 가능한 시간 지연이 1개 OFDM 심별 길이를 초과함에 따라, 1개 OFDM 심별 길이의 시간 지연을 고려하여 설계된 통상적인 레인징 구조를 적용하는 경우 다양한 문제점들이 발생할 수 있다. 이 가운데, 레인징 신호와 데이터 구간 수신 신호 간의 간섭으로 인한 성능 열화 문제를 개선하기 위해 본 논문에서는 레인징 채널 후반부에 적절한 길이의 보호 구간을 삽입하는 방안을 고려하였다. 그러나, 이와 같은 레인징 채널 구조의 변형만으로는 개선할 수 없는 다음과 같은 문제점들이 있다. 첫째, 시간 오프셋의 크기가 증가함에 따라 누적 차동 연산 기법 적용 시 추정치들의 부호 천이가 빈번하게 발생하며, 이에 따라 정규화 과정에서 부호 오류로 인한 큰 오차가 발생할 가능성이 있다. 둘째, OFDM 심별 주기의 정수 배 시간 오프셋을 추정하지 못하는 기존 차동 상관 기법의 특성을 고려해, 정수 배 시간 오프셋을 포함한 전체 시간 오프셋을 정확히 추정하기 위한 방안이 요구된다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여, 본 논문에서는 부호 오류 발생 가능성이 높은 추정치와 상대적으로 부호 오류 발생 가능성이 낮은 추정치를 구분한 후, 두 추정치 간의 부호 간 규칙성을 이용해 간단히 부호 오류 발생 여부를 판별 및 정정할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 또한, 최대 첨두치가 발생한 FFT 구간의 수신 신호를 이용해 소수 배 시간 오프셋을 추정할 이후, 이를 수신 신호에 일차적으로 보상한 뒤 첨두치 재검출 및 비교를 수행함으로써 정수 배 시간 오프셋을 추정하기 위한 FFT 기준점을 정확히 결정하는 방안을 제안하였다. 컴퓨터 모의실험을 통해 제안 기법들이 기존의 문제점들을 효과적으로 개선 가능함을 확인하였으며, 넓은 셀 반경을 고려하는 고정형 무선 통신 환경에서 안정적인 초기 레인징 성능을 보장함을 검증하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] X. Fu, Y. Li, and H. Minn, "A new ranging method for OFDMA systems," *IEEE Trans. Wirel. Comm.*, vol. 6, no. 2, pp. 659-669, Feb. 2007.
- [2] D. H. Lee and H. Morikawa, "Performance analysis of ranging process in IEEE 802.16e OFDMA Systems," in *Proc. IEEE WiMob*, Oct. 2007.
- [3] Y. Zhou, Z. Zhang, and X. Zhou, "OFDMA

initial ranging for IEEE 802.16e based on time domain and frequency domain approaches," in *Proc. IEEE ICCT*, Nov. 2006, pp. 1-5.

[4] H. Pang, B. Li, and G. Liu, "Novel OFDMA uplink initial ranging scheme for IEEE 802.16e," in *Proc. ICIE WASE*, vol. 1, July 2009, pp. 306-309.

[5] D. H. Lee, H. W. Je, and K. B. Lee, "Differential detection scheme with combining multiple FFT blocks for OFDMA ranging of IEEE 802.16e," in *Proc. IEEE 10th International OFDM-Workshop*, Aug. 2005.

[6] Y.-K. Song and D. W. Kim, "Performance of ranging channel accesses in WiBro systems," in *Proc. IEEE ICACT*, vol. 1, Feb. 2008, pp. 391-395.

[7] TTA standard, *Specifications for 2.3GHz band portable internet service-physical & medium access control layer*, June 2005.

[8] IEEE standard 802.16-2004, *IEEE standard for local and metropolitan area networks part 16: Air interface for fixed broadband wireless access systems*, Oct. 2004.

[9] IEEE P802.16e/D6, *IEEE standard for local and metropolitan area networks part 16: Air interface for fixed broadband wireless access systems - amendment for physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed bands*, Feb. 2005.

[10] W. G. Jeon, K. W. Park, J. W. Seo, and J. W. Wi, "Multiple access method of WiBro," *Microsoft*, no. 3, 2005.  
전원기, 박경원, 서정욱, 위정욱, "와이브로의 핵심 '다중접속 방식' 대해부," *마이크로소프트웨어*, 3월호, 2005.

[11] Altera corporation application note 430, *WiMAX OFDMA ranging*, pp. 7-9, Aug. 2006.

[12] K.-N. Kim, J.-H. Kim, and S.-J. Cho, "The scheme for improving the performance of ranging code detection over OFDMA systems in uplink," *J. KICS*, vol. 31, no.

6A, pp. 575-585, June 2006.

김기남, 김진호, 조성준, "OFDMA 시스템 상향링크의 레인징 부호 검출 성능 향상 기법," *한국통신학회 논문지*, vol. 31, no. 6A, pp. 575-585, June 2006.

[13] IEEE 802.16 broadband wireless access working group, *Channel models for fixed wireless applications*, pp. 14-19, June 2003.

이 경 훈 (Kyung-Hoon Lee)



2011년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업  
2011년 3월~현재 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사 과정  
<관심분야> 무선통신, 이동통신, D2D, 협력 통신 기술

황 원 준 (Won-Jun Hwang)



2009년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업  
2011년 2월 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사  
2011년 3월~현재 성균관대학교 IT융합학과 박사 과정  
<관심분야> 무선통신, 이동통신, MIMO, 협력 통신 기술

최 형 진 (Hyung-Jin Choi)



1974년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업  
1976년 2월 한국과학기술원 전기전자공학과 석사  
1976년 3월~1979년 7월 (주) 금성사 중앙연구소 연구원  
1979년 9월~1982년 12월 미국 Univ. of Southern California 전기공학과 (공학박사)

1982년 10월~1989년 2월 미국 Lincom Corp. 연구원  
1989년 3월~현재 성균관대학교 정보통신대학 교수  
<관심분야> 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화 기술을 포함한 MODEM 기술