

WiBro 상향링크를 위한 적응적 시간동기 추정 알고리즘

준희원 김정빈*, 정희원 진영환*, 김경수**, 안재민*

Adaptive Timing Synchronization Algorithm for WiBro Uplink

Jeongbeen Kim* Associate Members,

Younghwan Jin*, Kyungsoo Kim**, Jaemin Ahn* Regular Members

요약

OFDMA방식의 무선 다중 접속 시스템의 상향링크에서 기지국으로부터 서로 다른 거리에 있는 각각의 단말들의 시간동기를 위한 적응적 레인징 기법을 제안한다. 제안 기법은 Timing Phase Compensated Frequency Domain Cross-correlation(TPCFDC)와 Frequency Domain Differential Cross-correlation(FDDC)를 동시에 사용함으로써 TPCFDC의 단점인 Round Trip Delay(RTD)의 범위에 따라 증가되는 상관기의 개수를 줄이고 FDDC를 이용하여 반복적인 레인징을 시도함으로써 초기 레인징을 위한 하드웨어 복잡도를 크게 줄일 수 있다. 제안 기법의 성능을 레인징 성공확률과 시도회수 측면에서 모의실험 하였으며 복잡도가 기존에 비해 10배가량 감소하더라도 기존 방식과 유사한 레인징 성공 확률을 보임을 확인하였다.

Key Words : OFDMA, Initial ranging, Adaptive timing synchronization

ABSTRACT

An adaptive ranging technique for Orthogonal Frequency Division Multiple Access(OFDMA) uplink transmission is proposed for timing synchronization of multiple mobile stations located different distances from a base station. By combining the Timing Phase Compensated Frequency Domain Cross-correlation(TPCFDC) and Frequency Domain Differential Cross-correlation(FDDC), the proposed scheme reduces the number of correlators used in ordinary TPCFDC. Repeated initial ranging attempt with the FDDC in the proposed scheme greatly reduces the hardware implementation complexity. Simulation results for ranging success probability and average ranging attempts count show that the proposed algorithm performs similarly with the ordinary TPCFDC even with the 10 times reduced complexity.

I. 서론

OFDMA 방식의 무선 다중 접속 시스템의 하향 링크에서 단말은 기지국으로부터 받는 신호의 동기가 일치된 신호를 수신한다. 하지만 상향링크에서는 기지국으로부터 서로 다른 위치에 있는 단말신호가 기지국에 도달하는 시간이 다르기 때문에 심플한

간섭이 발생할 수 있다. 따라서 일반적인 무선 다중 접속 OFDMA 방식 시스템에서는 각각의 단말과 기지국간의 상향링크의 시간동기를 맞추기 위해 레인징 채널을 이용하여 단말의 시간동기를 맞추는 구조를 갖고 있다.^[1] TDD/OFDMA 방식을 채택하고 있는 WiBro 시스템에서는 초기 레인징 과정에서 이러한 Timing 동기를 수행한다. 레인징 채널을 이

※ 본 연구는 한국과학기술단 특정기초연구(No.R01-2006-000-10154-0(2006))지원으로 수행되었음.

* 충남대학교 전자전파정보통신공학부 이동멀티미디어통신 연구실 (jkbkim, yhj, jmahn)@cnu.ac.kr

** 전자통신연구원 (kksu@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2006-06-262, 접수일자 : 2006년 6월 5일, 최종논문접수일자 : 2006년 10월 26일

용한 시간동기 알고리즘에는 Time Domain Cross Correlation(TDCC)^[2], Timing Phase Compensated Frequency Domain Cross-correlation(TPCFDC), Frequency Domain Differential Cross-correlation(FDDC)기법이 있다. TDCC는 시간영역에서 레인징 코드와 상호상관을 거쳐 Round Trip Delay(RTD)를 추정하는 기법이다. TDCC는 추정성능이 우수한 반면 최대 RTD를 300이라 할 때 약 1024x300xN에 해당하는 계산복잡도를 갖는다. TPCFDC에서는 시간영역의 지연은 주파수영역의 선형적인 위상변화로 나타나게 되는 것을 이용하여 시간영역에서의 지연을 주파수 영역에서 보상한 후, 주파수 영역에서 레인징 코드와 상호상관을 거쳐 RTD를 추정하는 기법이며 추정성능은 매우 좋으나 144x300xN에 해당하는 계산복잡도를 보인다. TPCFDC는 RTD의 범위에 대응하는 상관기로 구성되며 범위와 비례하여 계산복잡도가 증가하게 된다. FDDC는 WiBro 레인징 구조상 4개의 부반송파에 연속되는 레인징 코드의 배열에서 인접한 부반송파와 차동상호상관(Differential Cross-Correlation)을 거쳐 상관 값 내에 포함된 위상 성분을 이용하여 RTD를 추정하는 기법이며 계산복잡도 면에서는 144x2xN로 매우 낮은 값을 가지나 차동상호상관의 특성상 성능이 다른 방식에 비하여 떨어지는 단점이 있다.

이상의 알고리즘을 비교하여 보았을 때 낮은 계산복잡도로 높은 성능을 발휘하는 알고리즘의 필요성이 대두된다. 이에 본 논문에서는 TPCFDC와 FDDC를 동시에 사용하여 시간동기를 추정할 수 있는 적응적 레인징 기법을 제안한다.

서론에 이어 II장에서는 WiBro 시스템의 상향링크 레인징 구조에 대해 신호모델과 함께 살펴보고, III장에서는 제안된 알고리즘의 구조를 살펴보았다. IV장에서는 모의실험을 통해 제안된 방법의 성능을 분석해 보고, V장에서 결론을 맺는다.

II. WiBro 레인징 구조와 시간동기 알고리즘

WiBro 시스템의 레인징 채널은 144bit의 레인징 코드를 36개의 4개씩 연속되는 부반송파 그룹단위로 할당되며, 부반송파 그룹의 인덱스는 PUSC 채널할당방식을 사용한다. 초기 레인징과 핸드오프 레인징은 상향링크 초기 접속을 위한 레인징으로 연속되는 상향링크 프레임의 처음 두 심볼에 동일한 코드를 반복한다. 이 때 Cyclic Prefix(CP)로 처음 레인징 코드의 마지막 128 chips를 처음 심볼의 전

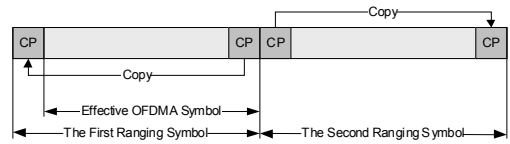


그림 1. 초기 레인징 또는 핸드오프 레인징 채널의 상향링크 프레임 할당구조

단에 추가하고, 두 번째 심볼의 처음 128 chips를 두 번째 심볼의 후단에 추가하여 두 심볼의 연속성을 유지시킨다. RTD를 추정하는데 있어 정확한 값을 추정하기는 어렵기 때문에 일반적으로 CP의 약 20~30%의 값을 오차 허용범위로 보고 있으며 이에 ± 20 샘플 범위의 40샘플을 오차 허용범위로 가정한다.

레인징 채널의 신호는 PUSC 부채널 할당방식을 사용하여 인접한 4개의 부반송파로 구성된 36개의 타일 구조를 갖는다.^[3] 이에 따라 초기 레인징 채널에 할당되는 부반송파들은 식(1)과 같이 구성한다.

$$k = index(m) \times 4 + n, m = 0, \dots, 35, n = 0, \dots, 3 \quad (1)$$

여기에서 m 은 레인징 신호를 구성하는 논리적 타일 인덱스이고, n 은 논리적 타일내의 부채널 인덱스이다. $index()$ 는 논리적 타일을 물리적 톤 그룹으로 사상하는 함수이고, k 는 물리적인 레인징 채널에 할당된 톤 인덱스이다.

P 명의 사용자 중 p 번째 사용자의 논리적 레인징 코드($c_p(l), l = 0, 1, \dots, 143$)는 물리적 톤 그룹($d_p(k)$)으로 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$d_p(k) = c_p(m \times 4 + n), m = 0, \dots, 35, n = 0, \dots, 3 \quad (2)$$

여기에서 k 는 식(1)에서 정의한 물리적 부반송파 인덱스이다.

레인징 채널의 신호는 Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)입력으로 인가되며 IFFT를 통과한 p 번째 사용자의 레인징 코드에 대한 레인징 채널 신호인 송신신호($s_p(t)$)는 식(3)과 같다.

$$s_p(t) = \frac{1}{N} \sum_k d_p(k) e^{j2\pi k \frac{t}{T}} \quad (3)$$

여기에서 N 은 IFFT길이가 되며, T 는 OFDM 심볼의 길이이다.

식(3)의 레인징 채널의 신호는 거리에 따른 시간 지연과 함께 Multipath fading 채널을 거쳐 수신되

며 채널을 통과한 p 번째 사용자의 초기 레인징 신호($r_p(t)$)는 식(4)와 같다.

$$r_p(t) = s_p(t - \Delta_p)h_p(t) = \int h_p(\tau)s_p(t - \Delta_p - \tau)d\tau \quad (4)$$

여기에서 Δ_p 는 거리에 따른 시간지연, $h_p(t)$ 는 p 번째 레인징 신호가 거처게 되는 Multipath fading 채널의 임펄스 응답으로써 레인징 신호가 수신되는 동안에는 일정한 값을 유지한다고 가정하였다.

기지국 수신기에는 P 개의 초기 레인징 신호가 식(5)와 같은 형태로 수신되고, 이를 Fast Fourier Transform(FFT)를 적용하여 주파수 영역으로 변환시키면 식(6)과 같은 결과를 얻는다.

$$r(t) = \sum_{p=0}^P r_p(t) + n(t) \quad (5)$$

$$y(k) = \sum_l r(l)e^{-\frac{j2\pi kl}{N}} \quad (6)$$

여기에서 $r(l)$ 은 $r(t)$ 를 $t = \frac{1}{T}$ 에서 샘플하여 얻은 값이다. 그리고 $n(t)$ 는 수신기 입력에서의 잡음으로 백색 가우시안 잡음의 특성을 갖는다고 가정한다.

III. 적응적 시간동기 알고리즘

3.1 TPCFDC의 개요

TPCFDC 알고리즘은 주파수영역에서 Known sequence를 이용한 상호상관 방식을 기반으로 한다. m 번째 사용자의 레인징 신호가 Δ_m 에 해당하는 RTD를 가지고 기지국에 수신된다고 가정하면 FFT 이후에는 Δ_p 에 비례하는 선형 위상성분이 곱해진 형태로 나타나게 된다. 따라서 가능한 모든 시간 지연에 대한 선형 위상 성분을 보상한 후 레인징 코드에 의한 상호상관을 수행할 경우 시간 지연이 일치하는 부분에서 큰 상호상관 값을 얻을 수 있다. 식(7)은 추정 시간지연 $\hat{\Delta}_q$ 에서의 상관 결과를 보인다.

$$\begin{aligned} R_{\hat{\Delta}_p} &= \left| \sum_k y(k)d_m^*(k)e^{j2\pi k \frac{\hat{\Delta}_p}{N}} \right| \\ &= \left| \sum_k \left[\sum_p H_p(k)d_p(k)e^{-\frac{j2\pi k \Delta_p}{N}} + w(k) \right] d_m^*(k)e^{\frac{j2\pi k \hat{\Delta}_p}{N}} \right| \\ &= \left| \sum_k \sum_p H_p(k)d_p(k)d_m^*(k)e^{-\frac{j2\pi k(\Delta_p - \hat{\Delta}_p)}{N}} + \sum_k w'(k) \right| \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} &= \left| \sum_k H_m(k)|d_m(k)|^2 e^{-\frac{j2\pi k(\Delta_m - \hat{\Delta}_q)}{N}} \right| \\ &+ \left| \sum_{p, p \neq m} \sum_k H_p(k)d_p(k)d_m^*(k)e^{-\frac{j2\pi k(\Delta_p - \hat{\Delta}_q)}{N}} + \sum_k w'(k) \right| \\ &= \left| \sum_k H_m(k)e^{-\frac{j2\pi k(\Delta_m - \hat{\Delta}_q)}{N}} + MAI + w''(k) \right| \end{aligned}$$

여기에서 $H_p(k)$ 는 p 번째 레인징 코드가 거치는 채널의 주파수 특성이고, $w(k)$, $w'(k)$, $w''(k)$ 는 주파수 영역의 잡음으로써 백색 가우시안으로 모델링된다. 식(7)로부터 m 번째 레인징 코드에 대하여 $\Delta_m = \hat{\Delta}_q$ 일 경우에 큰 상관 값을 얻을 수 있고, $\Delta_m \neq \hat{\Delta}_q$ 일 경우에는 선형 위상 성분에 의한 영향이 제거되지 않으므로 상호 상쇄되어 상관 값이 나타나지 않음을 알 수 있다. 이러한 방법으로 $\Delta_m = \hat{\Delta}_q$ 일 때 m 번째 사용자의 레인징 신호가 검출되고 m 번째 레인징 신호에 대한 RTD를 측정할 수 있다. 식(7)에서 볼 수 있듯이 RTD범위에 해당하는 $\hat{\Delta}_q$ 의 후보를 지정해야 하며, 이 범위를 넘을 경우 추정할 수 없다. 또한 RTD 범위가 늘어남에 따라 그만큼 계산복잡도가 늘어남을 알 수 있다.

계산 복잡도는 높지만 추정성능이 매우 우수한 TPCFDC 알고리즘의 추정성능은 다음과 같다.

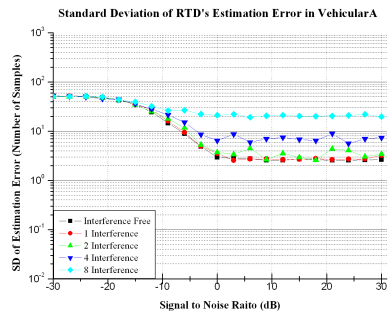
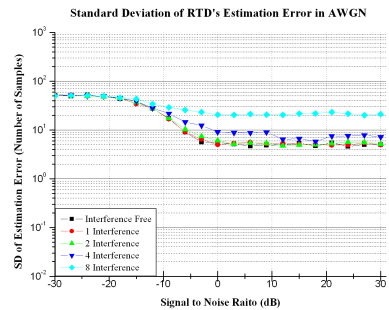


그림 2. AWGN, VehicularA 환경에서의 TPCFDC를 이용한 추정성능

3.2 FDCC의 개요

FDCC 알고리즘은 시간지연 오차에 대한 보상이 이루어지지 않은 상태에서도 큰 상관 값을 얻음으로써 보상으로 인해 발생하는 계산복잡도를 크게 낮춰줄 수 있다. WiBro 시스템의 레인징 채널 구조에서 볼 수 있듯이 연속된 4개의 부반송파로 구성되는 타일 내에서 차동상호상관(Differential Cross-correlation)을 수행함으로써 상관 값 내에 포함된 위상성분으로부터 RTD를 추정하게 된다. q 번째 레인징 코드에 대한 k 번째 부반송파의 위치에서의 차동 상관 계수를 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 R(k) &= y^*(k)y(k+1)\{d_q^*(k)d_q(k+1)\}^* \\
 &= \left\{ \sum_p H_p^*(k)d_p^*(k)e^{-\frac{j2\pi k\Delta_p}{N}} + w^*(k) \right\} \\
 &\times \left\{ \sum_p H_p^*(k+1)d_p^*(k+1)e^{-\frac{j2\pi (k+1)\Delta_p}{N}} + w^*(k+1) \right\} \quad (8) \\
 &\times \{d_q^*(k)d_q(k+1)\}^* \\
 &= |H_q(k)|^2|d_q(k)|^2|d_q(k+1)|^2e^{-\frac{j2\pi\Delta_q}{N}} + I_2 + I_1
 \end{aligned}$$

여기에서 $|H_q(k)|^2$ 는 채널 응답의 크기성분을 나타내고, $|d_q(k)|^2$ 는 k 번째 부반송파에 실린 q 번째 레인징 코드의 크기성분이다. I_1 과 I_2 는 간섭성분으로 FDCC 기법의 성능저하의 주요 요인이며, 기지국으로 레인징을 시도하는 단말의 수가 증가할수록 간섭의 양도 증가한다. 144bit로 구성된 레인징 채널을 구성하는 모든 부반송파에 대한 차동상호상관의 결과는 식(9)와 같다.

$$R = \sum_k R(k) = \sum_k |H_q(k)|^2 e^{-\frac{j2\pi\Delta_q}{N}} + Interference \quad (9)$$

여기에서 R 의 위상성분에는 RTD에 의해 발생하는 시간지연 오차정보를 포함하고 있으므로 R 값에 대해 \arctan 함수를 적용함으로써 시간지연 오차정보를 식(10)과 같이 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \angle R &= \frac{-2\pi\Delta_q}{N} \quad (10) \\
 \Delta_q &= -\frac{N}{2\pi} \angle R + Interference
 \end{aligned}$$

FDCC알고리즘의 추정성능은 다음과 같다.

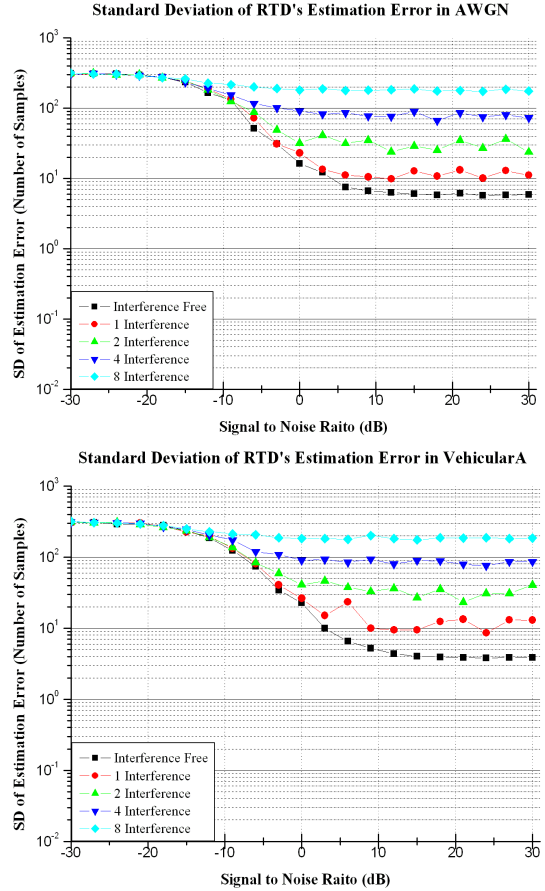


그림 3. AWGN, VehicularA 환경에서의 FDCC를 이용한 추정성능

3.3 적응적 레인징 기법

앞서 WiBro 시스템의 시간동기 추정 알고리즘에서 가장 계산복잡도가 낮은 알고리즘은 FDCC임을 알 수 있었다. 하지만 추정과정에 포함되는 간섭의 영향으로 추정성능이 매우 떨어지므로 FDCC의 정확한 추정 오차의 범위를 참고하여 활용여부를 결정하기 위한 모의실험을 시행하였다. 그림 4는 FDCC로 시간지연 값을 추정하였을 때의 추정오차의 분포를 AWGN 채널과 VehicularA 채널에 대하여 도시한 것이다. FDCC방식에 의하여 시간 지연을 추정할 경우 추정 값의 정밀도는 떨어지지만 시간지연의 경향은 상당히 정확하게 추정할 수 있음을 알 수 있다. 정량적인 분석을 위하여 표 1에서는 추정 오차 범위를 ± 20 이내로 추정할 수 있는 확률을 나타내었으며, 이 표의 결과로부터 FDCC기법에 의하여 시간지연의 경향을 정확히 추정할 수 있음을 확인할 수 있다.

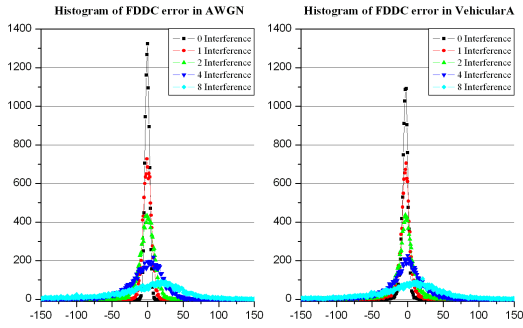


그림 4. AWGN, VehicularA 환경에서의 FDDC의 추정오차 히스토그램

표 1. 여러 환경에서 간섭의 증가에 따른 FDDC의 표본오차가 ±20보다 작은 확률

Interference	AWGN	PedestrianA	PedestrianB	VehicularA
0	100.00 %	98.36 %	99.48 %	99.56 %
1	99.92 %	91.78 %	95.07 %	95.34 %
2	94.74 %	80.32 %	85.55 %	85.15 %
4	64.47 %	57.16 %	60.00 %	60.16 %
8	26.88 %	28.94 %	29.90 %	29.01 %

위 결과를 토대로 FDDC는 정확한 추정 성능은 떨어지나 FDDC의 추정 값을 토대로 오차의 부호를 판별하는 기준으로 활용한다면 FDDC를 이용하여 TPCFDC의 RTD의 대상 범위를 줄여줄 수 있다고 생각할 수 있다. 이에 FDDC와 TPCFDC를 조합한 적응적인 시간동기추정 알고리즘을 제안한다.

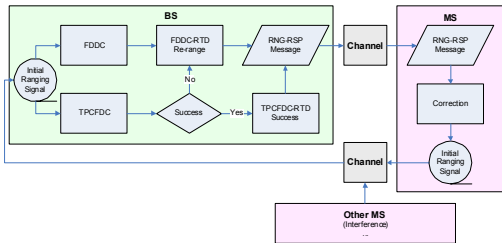


그림 5. 적응적 시간동기추정 알고리즘의 기지국과 단말구조

그림 5의 구조에서 볼 수 있듯이 적응적 알고리즘을 채용한 기지국은 초기 레인징 신호를 계산복잡도가 낮은 FDDC와 계산복잡도를 낮추기 위하여 좁은 추정범위를 갖는 TPCFDC를 함께 사용하여 추정하게 된다. 이 때 TPCFDC는 ±20 샘플 범위에 대해서만 추정을 시도하며, ±20 샘플 범위 내에서

추정되지 않을 경우 추정범위를 넘은 것으로 보고, FDDC에서 추정한 RTD 추정 값을 Re-range 메시지와 함께 RNG-RSP로 보내게 된다. 단말 측에서는 기지국으로부터 받은 RTD 추정 값의 부호를 파악한 후 반대방향으로 지정된 범위만큼 수정하여 레인징을 시도한다. 이러한 과정을 반복적으로 수행하다가 TPCFDC의 추정범위에 들어오면 TPCFDC가 추정한 RTD를 Success 메시지와 함께 RNG-RSP로 보내게 되고, 단말은 최종적으로 TPCFDC가 추정한 RTD만큼 수정한 후 추정을 완료하게 된다. 이 때 TPCFDC의 성능이 우수하므로 추정범위에 들어오는 경우에는 100% 성공하는 것으로 가정한다. 이 과정을 그림으로 보면 다음과 같다.

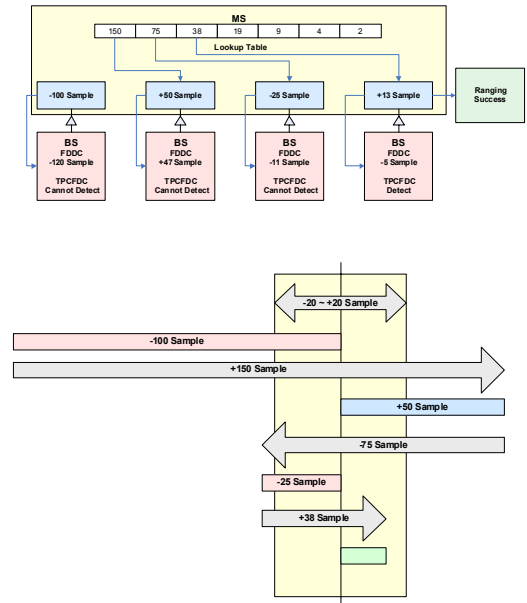


그림 6. 적응적 시간동기 추정 알고리즘의 동작 예

위에서 살펴볼 수 있는 단말 측에서 적응적으로 추정하는 과정을 수식으로 나타내면 식(11)과 같다.

$$\begin{cases}
 \{s_p(t + LT(i)), & \text{if } RTD_i < 0 \\
 \{s_p(t + LT(i)), & \text{if } RTD_i \geq 0
 \end{cases}
 \quad (11)$$

여기서 LT 는 Lookup Table을 나타내며 단말에서 조정하는 송신시간의 교정 값들을 원소로 갖는다. 교정 값을 조정하기 위한 비율인 r 은 0.5~1.0 사이의 값을 가지며 적응적으로 위치를 조절하기 위한 단계크기의 효과를 갖도록 한다. RTD_i 는 i 번째 레인징에 대하여 기지국이 FDDC로 추정한 시

간 지연 값으로써 RNG_RSP를 통해 단말 측에서는 RTD값의 부호에 따라 LT의 i 번째 원소 $LT(i)$ 만큼 송신시간을 수정하여 전송하게 된다.

이와 같이 동작하는 적응적 레인징 기법은 FDDC와 추정 범위를 ± 20 샘플 범위로 국한시켜 계산복잡도를 줄인 TPCFDC를 조합하여 낮은 계산 복잡도를 갖게 되며, 최종적으로 추정되는 RTD의 정확도는 TPCFDC를 사용하므로 높은 추정성능을 보유하게 된다. 각각의 장단점을 갖는 두 알고리즘의 조합으로서 우수한 성능을 가지며 계산복잡도가 낮은 시간동기 추정 알고리즘을 얻을 수 있다. 또한 이 적응적 방법에 사용되는 모든 메시지들은 현재 WiBro에서 사용하는 메시지를 그대로 사용할 수 있다는 장점이 있다.

IV. 모의실험 결과 및 성능분석

RTD가 [-100, +100] 사이에서 균일하게 분포한다고 가정하고 AWGN 및 VehicularA 채널 환경에서 레인징의 시간지연 추정 성공 확률을 모의실험 하였다. 교정 값의 비율(r)에 따른 단계크기에 따라 성공확률이 달라질 수 있으므로 몇 가지의 단계크기에 대한 모의실험 결과를 비교하였다. 모의실험 결과 각 환경 별로 간섭의 수에 따른 성공확률과 성공한 경우 수행한 평균 레인징 횟수가 단계크기에 따라 달라짐을 확인할 수 있었다. 교정 값의 단계크기를 이전단계의 50%로 정했을 때 실제 동작 환경 이라고 할 수 있는 신호 대 잡음 비 10dB에서 4개까지의 간섭 레인징 코드가 존재하더라도 약 85% 이상의 성공 확률을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 또한 적응적 기법을 통해 레인징에 성공하기까지 약 3회 정도의 평균 레인징 횟수를 보이고 있다는 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 Lookup Table의 교정 값을 확립함에 있어 RTD의 최대값의 50%인 150부터 50%씩 감소시켜가며 배정했을 때의 결과이다. 교정 값 단계크기가 50%일 때 레인징 시도 횟수의 측면에서는 최적이지만 FDDC의 낮은 정밀도를 고려했을 때 2회 정도 방향성 추정 오차가 생기는 경우 적응적으로 오차를 복구하지 못하는 경우가 생긴다. 이에 교정 값의 단계크기를 키워 변화 폭을 줄여 추정오차가 생기더라도 적응적으로 복구할 수 있도록 하여 레인징 성공확률을 증가시키기 위해 교정 값 단계크기를 변화시켜가며 모의실험을 수행하였다.

그림 8과 그림 9는 교정 값의 단계크기를 각각

60%, 70%로 하였을 때의 결과를 보이고 있다. 교정 값의 단계크기를 높임에 따라 레인징 성공확률이 높아짐을 알 수 있다. 하지만 그에 따라 레인징 시도횟수도 커지는 것 또한 확인할 수 있다.

그림 10은 간섭 코드의 개수가 4일 때 교정 값 단계크기를 변화시키면서 레인징 성공확률과 레인징

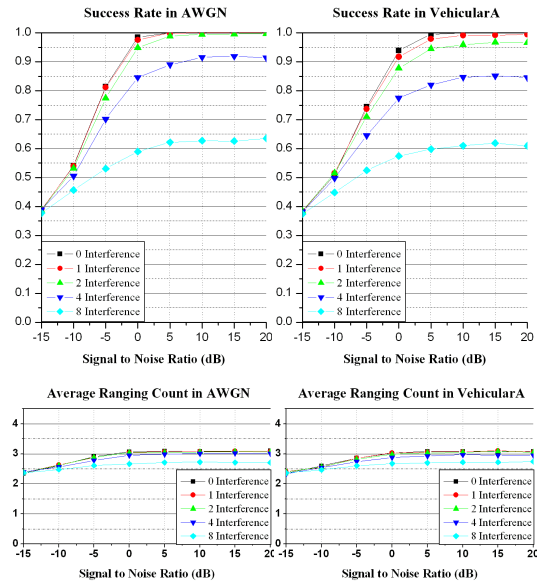


그림 7. WGN, VehicularA 환경에서의 적응적 알고리즘을 이용한 레인징 성공확률과 평균 레인징 시도횟수. (Step size 50%)

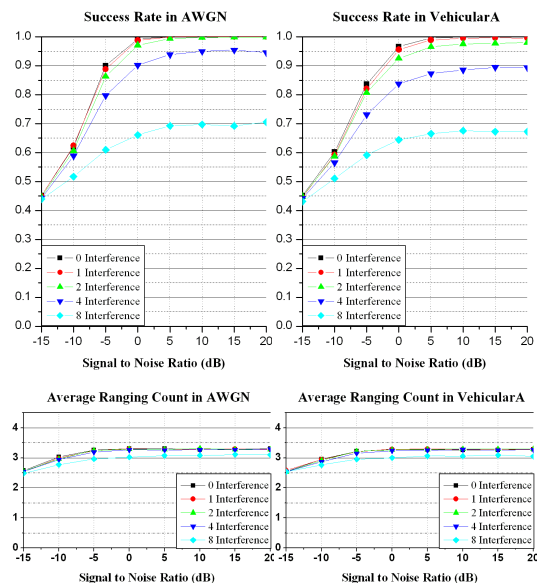


그림 8. AWGN, VehicularA 환경에서의 적응적 알고리즘을 이용한 성공확률과 평균 레인징 시도횟수. (Step size 60%)

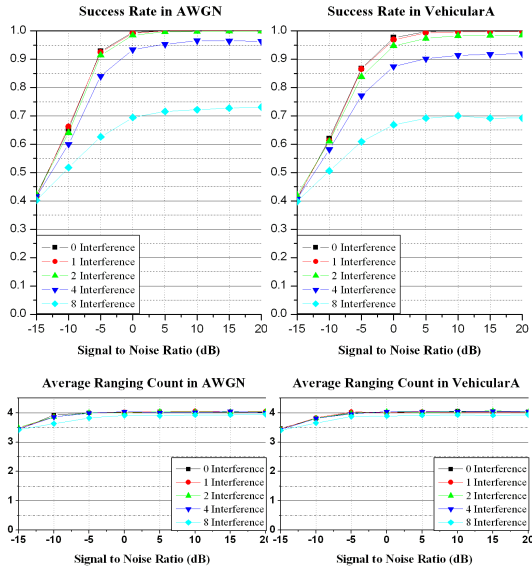


그림 9. AWGN, VehicularA 환경에서의 적응적 알고리즘을 이용한 성공확률과 평균 레인징 시도횟수. (Step size 70%)

시도횟수 성능을 비교해본 결과를 보이고 있다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 교정 값 단계크기가 클수록 레인징 성공확률이 증가함을 확인할 수 있다. 하지만 그에 따라서 레인징 시도횟수가 증가하므로 적절한 교정 값 단계크기를 채택해야 한다. 모의실험을 통해 본 결과로는 교정 값 단계크기를 70%를 적용한 모의실험의 결과는 교정 값 단계크기 50%의 결과에 비해 실제 동작 환경이라고 볼 수 있는 신호 대 잡음 비 10dB에서 여러 채널 환경에 따라 약 5~10% 가량의 레인징 성공확률 향상 효과가 있음을 확인할 수 있다. 교정 값의 단계크기를 크게 하였을 때의 향상효과를 통하여 4개의 간섭 레인징 코드가 존재할 경우에도 실제 동작 환경에서 약 90% 이상의 성공확률을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 하지만 레인징 시도횟수를 비교했을 때 교정 값 단계크기를 70%로 한 모의실험의 결과가 50%에 비해 약 1회 늘어나는 것을 볼 수 있다. 성공시의 평균 레인징 시도횟수가 늘어나는 것은 교정 값의 단계크기가 크기 때문에 적응적인 동작과정에서 여러 번 반복하는 원인과 함께 FDDC에 의한 방향성 추정 오류로 인해 잘못된 방향으로 움직일 경우에 복구과정에서 레인징 횟수가 늘어나는 것을 모의실험의 운용기록화일의 검토를 통해 확인할 수 있다. 교정 값 단계크기를 70%보다 크게 할 경우 레인징 성공확률이 더 높아질 수 있음을 예상할 수 있지만 레인징 시도횟수의 증가량이 교정 값 단계

크기 50%와 60%에 비해 60%와 70%에서 약 2배 가량 증가함을 보아 교정 값 단계크기를 70% 이상 증가시킬 경우에는 레인징 시도횟수가 현재에 비해 더 크게 증가할 수 있다. 이는 레인징 시도횟수가 증가함에 따라 초기 레인징에 걸리는 시간이 길어지기 때문에 적응적 알고리즘의 특성상 교정 값 단계크기 70%가 레인징 성공확률과 레인징 시도횟수 면에서 가장 뛰어난 비율로 생각할 수 있다.

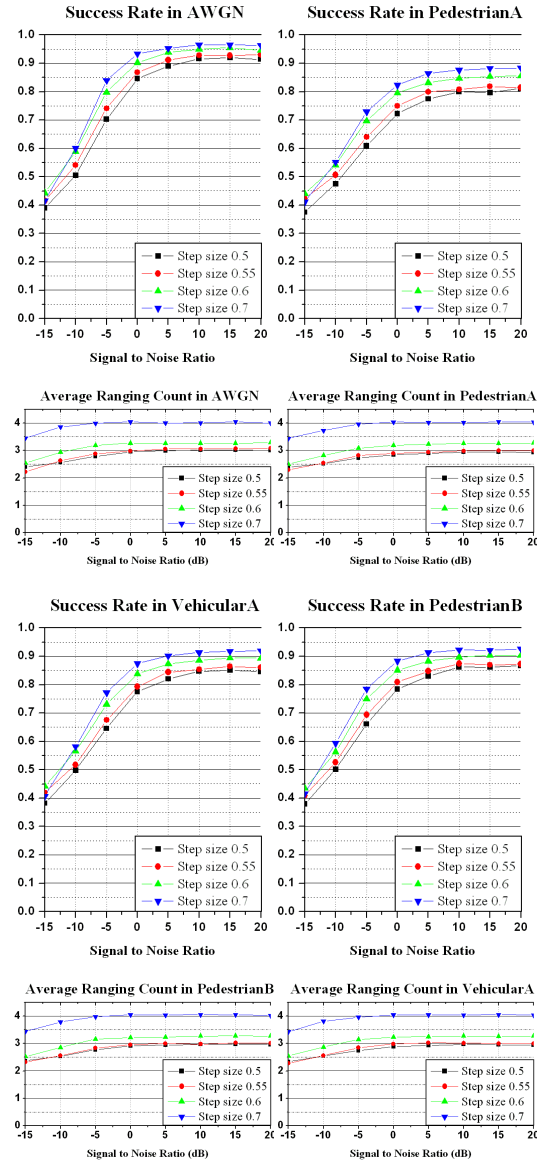


그림 10. 교정 값 단계크기에 따른 AWGN, PedestrianA, PedestrianB, VehicularA 환경에서의 적응적 알고리즘을 이용한 레인징 성공확률과 레인징 시도횟수. (간섭의 개수: 4)

V. 결론

본 논문에서는 WiBro 시스템의 레인징 채널을 이용한 시간동기 추정 알고리즘의 단점이었던 높은 계산복잡도를 개선하기 위하여 계산복잡도가 낮으면서 높은 성능을 갖는 알고리즘인 적응적 시간동기 추정 알고리즘을 제안하였다. 또한 모의실험을 통해 적응적 알고리즘에서 사용하는 교정 값의 Lookup Table 단계크기가 70%일 때 최적의 레인징 성공확률과 레인징 시도횟수를 보임을 확인할 수 있었다. 모의실험을 통한 성능분석결과 적응적 알고리즘은 기존 TPCFDC 알고리즘과 유사한 높은 성공확률을 보이며 계산복잡도 면에서는 약 10배의 개선이 이루어 질 수 있음을 확인하였다. 기존 알고리즘의 경우 성공할 경우 한 번의 레인징을 통해 시간동기를 추정하였으나 본 논문에서 제안하는 적응적 시간동기 추정 알고리즘은 평균 약 4회의 레인징 과정을 거치게 되지만 WiBro 시스템의 순서계획방침에 따라 사용자가 거의 느낄 수 없는 시간지연을 갖게 될 것이며, 신호의 전송속도를 고려해 보았을 때 고속으로 이동하는 물체에서도 적응적 알고리즘을 사용하여 레인징을 수행하는데 큰 영향을 끼치지 않음을 생각할 수 있다. 적응적 알고리즘은 WiBro 시스템의 실제 동작환경으로 생각할 수 있는 신호 대 잡음 비10dB에서 약 90% 이상의 성공률을 보이고 있다. 본 알고리즘은 현재 정의되어있는 WiBro 시스템의 MAC계층 메시지를 그대로 사용할 수 있는 장점이 있으며, 이를 WiBro 시스템에 적용할 경우 계산복잡도 면에서 많은 향상을 보일 것을 기대할 수 있다. 이에 따라 WiBro 기지국 시스템의 구현 복잡도를 개선할 수 있게 될 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Slawomir Pietrzyk, "OFDMA for Broadband Wireless Access" Artech House Publishers; 1st edition, April 30, 2006
- [2] X. Fu and H. Minn, "Initial uplink synchronization and power control (ranging process) for OFDMA systems," *IEEE Globecom*' 2004, pp.3999-4003
- [3] IEEE LAN/MAN Standard Committee, "Broadband Wireless Access: IEEE MAN standard," *IEEE 802.16e-D11*, 2005

김 정 빈 (Jeongbeen Kim)

준회원



2005년 2월 충남대학교 정보통신공학부(학사)
2005년 3월~현재 충남대학교 정보통신공학과(석사과정)
<관심분야> 차세대 이동통신, OFDM 이동통신

진 영 환 (Younghwan Jin)

정회원



2002년 2월 충남대학교 정보통신공학과(학사)
2004년 8월 충남대학교 정보통신공학과(석사)
2006년 2월~현재 충남대학교 정보통신공학과(박사과정)
<관심분야> 차세대 이동통신, OFDM 이동통신, MIMO 시스템

김 경 수 (Kyungsoo Kim)

정회원



1980년 2월 충남대학교 전자공학과(학사)
2006년 2월 충남대학교 정보통신공학과(석사)
1985년~현재 한국전자통신연구원 액세스제어연구팀장
<관심분야> WiBro 기지국 SW 분야, 패킷 트래픽 스케줄링 분야, MIMO 안테나 기술 분야

안 재 민 (Jaemin Ahn)

정회원



1987년 2월 서울대학교 전자공학과(학사)
1989년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(석사)
1994년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(박사)
1994년~1999년 삼성전자

선임연구원

1999년~현재 충남대학교 전자전자정보통신공학부 부교수

<관심분야> 차세대 이동통신 물리계층 및 Radio Resource management