DBpia

논문 12-37A-12-15

한국통신학회논문지 '12-12 Vol.37A No.12
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2012.37A.12.1140

IEEE 802.16e 초기 레인징을 위한 상호 상관 누적 기반 타이밍 옵셋 추정 기법

이 재 우•, 윤 석 호°

A Timing Offset Estimation Scheme Based on Cross-Correlation Accumulation for Initial Ranging of IEEE 802.16e Systems

Jaewoo Lee•, Seokho Yoon°

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.16e 초기 레인징을 위한 타이밍 옵셋 추정 기법을 제안한다. 기존의 연구에서는 수신 신호와 국부 (local) 신호의 상호 상관값만을 이용하여 타이밍 옵셋을 추정하였으나, 본 논문에서는 레인징 신호가 반복하여 전송된다는 특성을 이용하여 추가적인 상호 상관을 구하여 누적함으로써 상호 상관 함수의 main peak과 side peak의 전력 차이를 증가시킨다. 또한 모의실험을 통해 제안한 기법이 기존의 기법에 비해 우수한 타이밍 옵셋 추정 성능을 보임을 확인하였다.

Key Words : Initial ranging, IEEE 802.16e, timing offset, cross-correlation

ABSTRACT

In this paper, we propose a timing offset estimation scheme for initial ranging of IEEE 802.16e systems. The conventional scheme estimates the timing offset by using the cross-correlation between the local and received signals only. On the other hand, this paper proposes a timing offset estimation scheme with additional cross-correlations accumulated on the conventional cross-correlation. The additional cross-correlations are obtained by using the ranging signal with a repetitive structure. Numerical results show that the proposed scheme provides the better timing offset estimation performance compared with that of the conventional scheme.

Ⅰ. 서 론

높은 데이터 전송률과 이동성을 함께 보장하는 휴대 인터넷 기술 IEEE 802.16e는 향상된 무선 인터페이스를 기반으로 넓은 영역을 커버하는 장점이 있어 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 이러한 IEEE 802.16e 시스템에서는 여러 사용자가 비대칭 상하향 데이터 전송 수행하며, orthogonal frequency division multiple access/time division duplexing (OFDMA/TDD) 방식을 사용한다. 여기서 TDD는 상향, 하향 링크에서 동일한 주파수 대역을 사용하나 시간 축에서 교대로 양방향 전송을 하는 duplexing 방식이기 때문에 정확한 시간 동기가 필요하다. 하향 링크에서는 기지국에서 (base station: BS) 각 이동 단말에 (mobile station: MS) 하향링크 제어 신호를 일괄 송신하기 때문에 시간 동기가 어렵지 않으나, 상향 링크에서는 여러 MS의 지리적 위치가 다르기 때문에, 각 MS에서 BS로 전파 지연이 다르게 나타나 시간 동기

※ 본 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2012R1A2A2A01045887), 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업(NIPA-2012-H0301-12-1005) 과제의 일환으로 수행하였음.
• 주저자 : 성균관대학교 정보통신대학, lllp3743@skku.edu, 학생회원
° 교신저자 : 성균관대학교 정보통신대학, syoon@skku.edu, 종신회원
논문번호 : KICS2012-10-486, 접수일자 : 2012년 10월 9일, 최종논문접수일자 : 2012년 12월 20일

www.dbpia.co.kr

가 어려운 문제가 있다[2].

IEEE 802.16e에서는 상향 링크 동기를 위한 초기 레인징 단계에서 BS가 MS로부터 수신한 레인징 코드를 통해 타이밍 옵셋을 검출하는 과정을 수행한다. 타이밍 옵셋은 BS와 MS의 기준 시간 차이로 정의되며, MS의 내부 타이밍을 BS의 내부 타이밍과 맞추는 과정인 초기 레인징에 의해 추정된다[3]. 기존에는 상향 링크의 초기 레인징을 위해 시간 영역에서 상호 상관 (cross-correlation) 연산을 수행하여 타이밍 옵셋을 추정하는 기법이 제안되어 왔으며[4,5], 시스템의 셀 반경을 고려한 최대 시간 지연까지의 상호 상관 연산 수행을 통해 최대 전력 지점을 검출하여 타이밍 옵셋을 추정한다.

IEEE 802.16e 시스템의 레인징 신호는 임의의 pseudo noise (PN) 수열을 2주기의 OFDM 심볼 구간 동안 반복 전송하는 구조를 가지며, 이러한 특성 상 상호 상관 함수에서 최대 전력을 갖는 main peak와 상대적으로 낮은 전력을 갖는 side peak가 발생한다. 따라서 상호 상관 함수를 그대로 이용하는 기존의 연구에서는 채널 및 잡음의 영향으로 main peak가 아닌 side peak를 최대 전력 지점으로 검출하여 타이밍 옵셋 추정 성능이 나빠지는 문제점이 있다.

본 논문에서는 이러한 기존 기법의 문제점 개선을 위해 레인징 신호가 반복된다는 특성을 이용하여 추가적인 상호 상관 함수를 구하고, 이를 기존의 상호 상관 함수에 누적함으로써 최종 상관 함수를 생성하는 기법을 제안한다. 이러한 누적 과정을 통해 main peak와 side peak 간 전력 차이를 증가시키며, 기존 기법에 비해 보다 정확하게 main peak를 검출하여 타이밍 옵셋을 추정할 수 있다.

Ⅱ. 신호 모델

IEEE 802.16e의 표준에서는 MS가 전송하는 레인징 신호는 아래와 같으며[5], 그 형태를 그림 1에서 나타내었다.

$$x[n]=\begin{cases}\sum_{k=0}^{N_{\mathrm{FFT}}-1} X[k]e^{j2\pi k(n-N_{\mathrm{CP}})/N_{\mathrm{FFT}}} \\ \qquad \text{for } N_{\mathrm{CP}} \le n < N_{\mathrm{FFT}}+N_{\mathrm{CP}}, \\ x\left[n+N_{\mathrm{FFT}}\right] \\ \qquad \text{for } 0 \le n < N_{\mathrm{CP}}, \\ \sum_{k=0}^{N_{\mathrm{FFT}}-1} X[k]e^{j2\pi k(n-N_{\mathrm{FFT}}-N_{\mathrm{CP}})/N_{\mathrm{FFT}}} \\ \qquad \text{for } N_{\mathrm{FFT}}+N_{\mathrm{CP}} \le n < 2N_{\mathrm{FFT}}+N_{\mathrm{CP}}, \\ x\left[n-N_{\mathrm{FFT}}\right] \\ \qquad \text{for } 2N_{\mathrm{FFT}}+N_{\mathrm{CP}} \le n < 2N_{\mathrm{FFT}}+2N_{\mathrm{CP}}\end{cases} \tag{1}$$

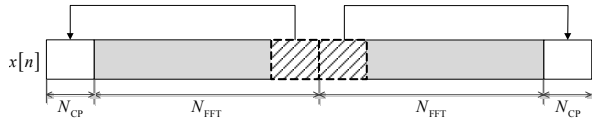

그림 1. IEEE 802.16e 초기 레인징 신호의 구조
Fig. 1. The structure of IEEE 802.16e initial ranging signal

여기서 $\{X[k]\}_{k=0}^{N_{\mathrm{FFT}}-1}$은 레인징 심볼이다. $x[n]$은 두 개의 동일한 $\{X[k]\}_{k=0}^{N_{\mathrm{FFT}}-1}$를 나란히 반복하고, 첫 번째 레인징 심볼에 cyclic prefix (CP), 두 번째 레인징 심볼에 cyclic suffix를 (CS) 취한다. CP는 심볼의 뒷부분을 심볼의 앞부분에 삽입하여 보호구간으로 사용하고, CS는 심볼의 앞부분을 심볼의 뒷부분에 삽입하여 보호구간으로 사용한다.

Ⅲ. 기존의 타이밍 옵셋 추정 기법

초기 레인징 시 BS는 서로 다른 시간 지연을 갖고 수신되는 MS들의 초기 레인징 코드 탐색을 위하여 아래와 같이 시간 영역에서 상호 상관 연산을 수행한다.

$$r[\tau]=\sum_{n=0}^{2N_{\mathrm{FFT}}+2N_{\mathrm{CP}}-1} x^{*}[n]y[\tau+n], \tag{2}$$

이후, 상관 결과의 최대 전력 지점을 검출하여 타이밍 옵셋을 추정한다[5].

$$\hat{\tau}=\mathrm{Max}_{0\le\tau\le\tau_{\max}}|r[\tau]|^2 \tag{3}$$

여기서 $x[n]$은 단말이 전송한 레인징 신호, $y[n]$은 기지국에 수신된 레인징 신호를 나타내며, $(\bullet)^{*}$ 기호는 공액 복소 연산을 의미한다. 또한, N_{FFT}는 fast Fourier transform (FFT) 크기를 나타내며, N_{CP}는 CP 및 CS의 길이를 나타낸다. n은 레인징 신호의 샘플 인덱스, $\tau_{\max}$는 최대 시간 지연을 나타낸다.

그러나 이러한 상호 상관 방식은 반복 전송되는 레인징 신호의 구조에 의하여 main peak를 기준으로 FFT 크기인 위치에 2개의 side peak가 나타나는 상관 특성을 갖는다. 그에 따라 채널 및 잡음에 의해 main peak와 side peak의 구분이 불가능해져 main peak가 아닌 side peak를 최대 전력 지점으로 검출할 가능성이 존재하며, 이때 N_{FFT}만큼의 추정 오차가 발생하여 타이밍 옵셋 추정 성능이 나빠진다.

www.dbpia.co.kr

Ⅳ. 제안한 타이밍 옵셋 추정 기법

본 논문에서는 기존 타이밍 옵셋 추정 기법의 문제점인 side peak에 의한 성능 열화를 개선하기 위해 새로운 상호 상관 기반 연산 타이밍 옵셋 추정 기법을 제안한다. 그림 2에서는 $\tau=0$인 경우에 대한 제안한 기법의 연산 과정의 예시를 나타낸다. 먼저 기존의 상호 상관 기법과 동일하게 레인징 신호의 전체 구간인 $2N_{\mathrm{FFT}}+2N_{\mathrm{CP}}$ 구간에 대해 상호 상관 연산을 수행하여 $r[\tau]$를 얻는다. 이후, 동일한 OFDM 심볼이 전후로 반복 전송되는 레인징 신호의 특성을 이용하여, 반복 전송 구간에 대한 상호 상관 연산을 추가적으로 수행한다. 구체적으로는 공액 복소 연산된 국부 신호 $x^*[n]$에서 main peak와 side peak의 위치 차이인 $\pm N_{\mathrm{FFT}}$만큼 떨어진 $x^*[n+N_{\mathrm{FFT}}]$, $x^*[n-N_{\mathrm{FFT}}]$와 수신 신호와의 상관값을 $N_{\mathrm{FFT}}+2N_{\mathrm{CP}}$ 구간에 대해 연산하여 아래와 같이 $r_1[\tau]$와 $r_2[\tau]$를 구한다.

$$r_1[\tau]=\sum_{n=0}^{N_{\mathrm{FFT}}+2N_{\mathrm{CP}}-1} x^*[n+N_{\mathrm{FFT}}]\,y[\tau+n] \tag{4}$$

$$r_2[\tau]=\sum_{n=N_{\mathrm{FFT}}}^{2N_{\mathrm{FFT}}+2N_{\mathrm{CP}}-1} x^*[n-N_{\mathrm{FFT}}]\,y[\tau+n] \tag{5}$$

이후 main peak의 크기를 키우기 위해 $r[\tau]$, $r_1[\tau]$, $r_2[\tau]$를 누적하여 최종 상관함수 $r_p[\tau]$를 식 (6)과 같이 생성한다.

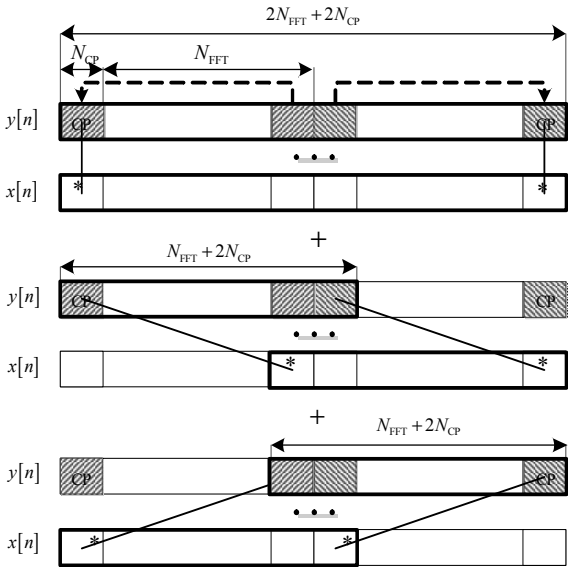

그림 2. 제안하는 상호 상관 연산 기법
Fig. 2. The proposed cross-correlation operation

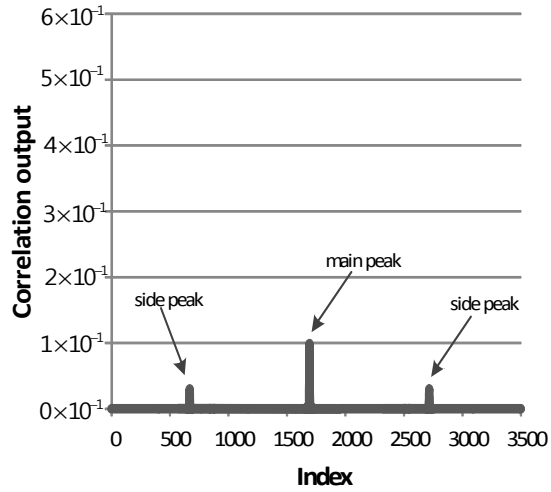

그림 3. 기존 기법의 상관함수
Fig. 3. Correlation function of the conventional scheme

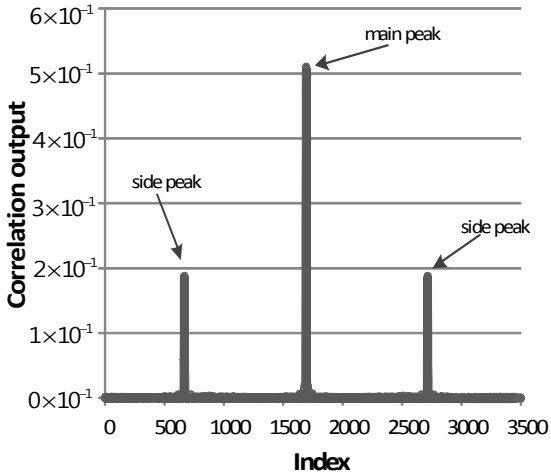

그림 4. 제안한 기법의 상관함수
Fig. 4. Correlation function of the proposed scheme

$$r_p[\tau]=r[\tau]+r_1[\tau]+r_2[\tau] \tag{6}$$

그림 3과 4는 채널 및 잡음이 없는 환경에서 각각 기존 기법과 제안한 기법의 상관 함수를 나타낸다. $r_1[\tau]$와 $r_2[\tau]$는 각각 하나의 main peak와 하나의 side peak를 가지며, 두 상관함수의 side peak의 위치가 서로 대칭되는 형태이기 때문에 (6)의 연산을 수행하면 양쪽 side peak 지점에는 상호 상관 연산 값이 한 번씩 누적되지만 main peak 지점에서는 상호 상관 연산 값이 두 번 누적된다. 따라서 제안한 기법에서는 side peak 위치에서 누적된 상호 상관 연산 값의 전력만큼 main peak와 side peak의 전력 차이를 증대시키는 효과를 얻을 수 있으며, side peak 전력 지점을 최대 전력 지점으로 검출하기 때문에 발생하는 성능 열화에 대한개선이 가능하다. 식 (6)을 통해 획득한 누적된

www.dbpia.co.kr

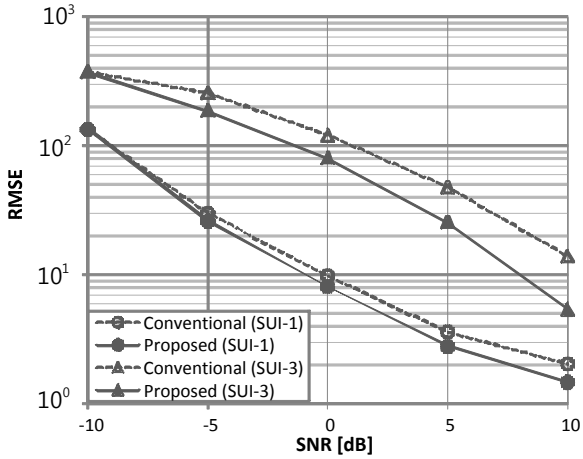

그림 5. 기존 기법과 제안한 기법의 RMSE 성능
Fig. 5. RMSE performances of the proposed and conventional schemes

상호 상관 연산 값들의 최대 전력 지점을 검출하여 식 (7)과 같이 타이밍 옵셋을 추정한다.

$$\hat{\tau} = \mathrm{Max}_{0 \le \tau \le \tau_{\max}} |r_p[\tau]|^2. \quad (7)$$

Ⅴ. 모의실험 결과

모의실험을 통해 기존 기법과 제안한 기법의 root mean square error (RMSE) 성능을 비교하였다. 표 1은 모의실험에 적용된 주요 파라미터를 정리한 것이다. 또한 채널 모델로는 다중경로 채널인 stanford university interim-1 (SUI-1), SUI-3 채널을 고려한다. 두 채널 모두 3개의 다중 경로를 가지고, SUI-1 채널에서 첫 번째 경로와 두 번째 경로의 시간차는 11.9 샘플, 첫 번째 경로와 세 번째 경로의 시간차는 26.8 샘플이고, 두 번째와 세 번째 경로의 전력은 첫 번째 경로에 비해 평균적으로 각각 15 dB, 20 dB 작다. SUI-3 채널에서는 첫 번째 경로와 두 번째 경로의 시간차는 12 샘플, 첫 번째 경로와 세 번째 경로의 시간차는 27 샘플이고, 두 번째와 세 번째 경로의 전력은 첫 번째 경로에 비해 평균적으로 각각 5 dB, 10 dB 작다[6]. 또한 기존의 연구 [4], [5]에서와 같이 각 기법에 대한 상관값의 최대 전력 지점을 타이밍 오프셋으로 추정하였다.

그림 5는 셀 반경이 15 km인 SUI-1, SUI-3 채널 모델에서, 기존 기법 및 제안한 기법의 RMSE 성능을 나타낸다. 제안한 기법을 적용하여 타이밍 옵셋을 추정하는 경우, 기존 기법을 적용한 경우에 비하여 RMSE = 10^1일때를 기준으로, SUI-1 채널 환경에서는 약 1.5 dB, SUI-3 채널 환경에서는 약 3 dB의 신호 대 잡음비 (signal-to-noise ratio: SNR) 이득을 얻을 수 있음을 확인하였다. 또한, SUI-1 채널 환경은 SUI-3에 비해 채널 환경이 좋은 편이기 때문에 SUI-3 채널 환경에서에 비해 제안한 기법과 기존 기법의 성능 차이가 적게 나타나고, SUI-3 채널에서는 제안한 기법이 main peak과 side peak의 전력 차이를 증대시켜 RMSE 성능의 이득을 얻기 때문에 성능 차이가 크게 나타난다.

표 1. 모의실험 파라미터
Table 1. Simulation Parameters

Parameter	Value
Bandwidth	28 Mhz
Cell radius	15 km
Channel model	15km SUI-1, SUI-3 channel [6]
Number of ranging codes	256
Subcarrier of ranging code	144
Time Delay	1700 samples

그림 5에서 SNR이 작을수록 SNR에 따른 기존 기법과 제안 기법의 RMSE 성능 차이가 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 SNR이 작아짐에 따라 main peak와 side peak의 전력 차이에 상관없이 잡음의 전력이 매우 커져서 유사한 RMSE 성능을 나타내는 것이다.

제안한 기법은 기존의 기법에 비해 약 2배의 연산 복잡도를 요구하며, 연산 복잡도가 증가하는 단점이 있다. 이는 $r_1[\tau]$과 $r_2[\tau]$를 구하기 위한 식 (4), (5)가 추가적으로 계산되어야 하는 것으로부터 기인하며, 제안한 기법은 기존 기법과 비교했을 때, 연산 복잡도와 RMSE 성능의 tradeoff 관계를 가짐을 알 수 있다.

Ⅵ. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 IEEE 802.16e 시스템의 초기 레인징을 위한 개선된 상호 상관 연산 기반의 타이밍 옵셋 추정 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 동일한 OFDM 심볼을 반복 전송하는 레인징 신호의 특성을 이용하여 추가적인 상호 상관 연산을 구하고 이를 누적함으로써 main peak와 side peak의 전력 차를 증가시켰다. 또한 모의실험을 통해 제안 기법이 기존 기법에 비해 향상된 타이밍 옵셋 추정 성능을 보임을 확인하였다.

www.dbpia.co.kr

제안한 기법은 단일 경로 환경만을 고려하여 제안되었으며, 향후에는 본 연구를 발전시켜, 다중 경로 및 페이딩에 의한 효과를 극복할 수 있는 다중 경로 환경에 알맞은 차동 결합 기반 타이밍 옵셋 추정 기법을 개발하고자 한다.

References

[1] J.-K. Choi and S.-J. Yoo, "Fast group scanning scheme in IEEE 802.16e networks," *J. Korean Inst. Commun. Sciences*, vol. 33, no. 6, pp. 624-634, June 2008.

[2] X. Fu, Y. Li, and H. Minn, "A new ranging method for OFDMA systems," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 6, no. 2, pp. 659-669, Feb. 2007.

[3] D. H. Lee and H. Morikawa, "Performance analysis of ranging process in IEEE 802.16e OFDMA systems," in *Proc. IEEE Inter. Conf. Wireless and Mobile Computing, Networking and Commun.*, p. 16, White Plains, NY, Oct. 2007.

[4] H. A. Mahmoud, H. Arslan, and M. K. Ozdemir, "Initial ranging for WiMAX (802.16e) OFDMA," in *Proc. IEEE Military Commun. Conf.*, pp. 1-6, Washington DC, USA, Oct., 2006.

[5] Y. Zhou, Z. Zhang, and X. Zhou, "OFDMA initial ranging for IEEE 802.16e based on time-domain and frequency-domain approaches," in *Proc. Inter. Conf. Commun. Technol.*, pp. 1-5, Guilin, China, Nov. 2006.

[6] A. Freedman et al., "Channel models for 30 km and 50 km range," IEEE 802.16 work group technical report, 2001.

이 재 우 (Jaewoo Lee)

2012년 8월 성균관대학교 정보통신대학 전자전기공학부 공학사

2012년 9월~현재 성균관대학교 정보통신대학 IT 융합학과 석사과정

<관심분야> 통신이론, 무선 통신, 추정 및 검파

윤 석 호 (Seokho Yoon)

1997년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학사 (최우등)

1999년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학석사

2002년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 공학박사

2002년 3월~2002년 6월 MIT 박사후 연구원

2002년 7월~2003년 2월 Harvard University 박사후 연구원

2003년 3월~현재 성균관대학교 정보통신대학 전자전기공학부 전임강사, 조교수, 부교수

2007년 IEEE 준석학회원

2009년 한국통신학회 LG 학술상 수상

2011년 교육과학기술부 우수연구 인증패 수상

2012년 한국통신학회 우수논문상 수상

www.dbpia.co.kr