

논문 2009-46TC-2-6

OFDMA 상향 링크 시스템에서 부반송파간 위상 회전 정보를 이용한 개선된 시간 동기 추정 알고리즘

(Improved Timing Synchronization Using Phase Difference between Subcarriers in OFDMA Uplink Systems)

이성은*, 홍대식**

(Sungeun Lee and Daesik Hong)

요약

본 논문에서는 직교 주파수 분할 다중 접속 방식(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 상향 링크 시스템에서 best linear unbiased estimator (BLUE)의 원리에 기반한 시간 동기 추정 알고리즘을 소개하며, 이 알고리즘을 기반으로 하여, 추정범위 제한 문제를 해결하기 위한 개선된 시간추정 기법을 추가적으로 제안한다. 새로운 추정 알고리즘은 인접한 부반송파간의 차등 상관관계를 이용하여 주파수 축에서 시간 오차를 추정한다. 차등 상관관계는 시간 오차를 포함한 위상 정보를 나타내고, 채널의 주파수 선택적 특성에 의한 신호 왜곡을 완화시킨다. 기존의 추정 방법과 비교하여 제안된 추정 알고리즘은 비교적 정확한 추정 성능을 보인다. 실험 결과는 제안된 추정기가 상대적으로 작은 오차의 평균과 분산을 가지는 것을 확인하여 준다. 또한 실험은 신호 대 잡음비의 크기가 0 에서 20 dB 사이일 때, 시간 추정 오차에 의한 제안된 추정기의 신호 대 잡음비 열화 정도가 0.4 dB 이하인 것을 보여준다. 따라서 제안된 동기 알고리즘은 OFDMA 상향 링크 시스템에서 다중 사용자의 시간동기추정에 적합하다.

Abstract

In this paper, the timing estimator based on the principle of the best linear unbiased estimator (BLUE) is proposed in OFDMA uplink systems. The proposed timing estimator exploits the phase information of the differential correlation between adjacent subcarriers. The differential correlation can extract the information about timing offset and mitigate the distortion of the signal caused by the frequency selectivity of channel. Compared with conventional methods, the proposed estimator shows more accurate capability in estimation. In addition, the estimator is hardly affected by the distortion caused by the frequency selectivity of channel. Simulation results confirm that the proposed estimator shows a small error mean and a relatively small error variance. In addition, the performance of the estimator is evaluated by means of SNR loss. It is shown by simulations that the SNR loss of the proposed estimator by estimation errors is less than 0.4 dB for the SNR values between 0 and 20 dB. This might indicate that the proposed estimator is suitable for the timing synchronization of multiple users in OFDMA uplink systems.

Keywords : OFDMA, Timing, Synchronization, Uplink, BLUE

I. 서론

직교 주파수 분할 다중 접속 방식 (OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기법

은 다중 사용자가 서로 다른 부반송파를 통해 동시에 신호를 전송하는 방식으로서, 주파수 선택적 페이딩 현상과 협대역 간섭에 강한 특성으로 인해 차세대 광대역 무선 다중 접속 방식으로 제안되고 있다^[1~2].

그러나 OFDMA 시스템은 직교 주파수 분할 접속 방식 (OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 시스템과 마찬가지로 시간 동기에도 매우 민감한 특성을 가지고 있다. OFDMA 상향 링크 시스템에서 사용자들의 서로 다른 시간 동기오차는 인접 심볼 간 간섭 (ISI : Inter-symbol Interference) 뿐만 아니라,

* 정회원 ** 종신회원, 연세대학교 전기전자공학부 (Yonsei University)

※ 이 논문은 한국과학재단이 주관하는 국가지정연구실사업의 지원을 받아 연구되었음 (NRL:R0A-2007-000-20043-0).

※ 본 논문의 일부 내용은 학술대회에서 발표되었음
접수일자: 2008년10월6일, 수정완료일: 2009년2월17일

다중 접속 간섭 (MAI : Multiple Access Interference) 을 발생시키고 전체적인 시스템 성능을 열화시키게 된다^[3~4].

이러한 간섭을 완화시키기 위해 OFDMA 상향 링크 시스템에서 동기를 추정하기 위한 많은 연구가 필요하지만, 시간 축에서 각 사용자의 신호를 구분할 수 없기 때문에 현재 몇몇 알고리즘만이 제안되어 있다. Van de Beek는 BPF를 이용하여 사용자를 구분하고 시간 오차를 추정하는 알고리즘을 제안하였다^[5]. 그러나 이 알고리즘은 주파수 선택적 채널 환경에서 심각한 성능 열화를 발생시킨다. Laroia는 주파수축에서 상관기를 통해서 시간 오차를 추정하는 알고리즘을 제안하였다^[6]. 그러나 모든 시간 오차에 대해 상관관계를 조사하여야 하기 때문에 복잡도가 매우 큰 단점이 있다. Morelli는 interleaved 부반송파 할당 기법을 이용하여 채널 임펄스 응답을 통해 시간 오차를 추정하는 알고리즘을 제안하였다^[7]. 그러나 부반송파 할당 기법에 따른 신호의 주기성에 의해 시간 오차를 추정할 수 있는 범위가 매우 작고 각 사용자의 주파수 오차에 의해 큰 추정 성능 열화가 발생한다. 또한 가상 부반송파를 사용하는 실제 시스템에 적용할 수 없다.

이를 해결하기 위해 주파수 축에서 인접한 부반송파 간의 위상 회전의 차이를 이용하여 시간 동기를 추정하는 알고리즘을 제안하였다^[3]. 제안되었던 알고리즘은 인접한 부반송파간의 상관관계를 이용하여 시간 오차를 추정하였고, 주파수 선택적 채널에 의한 혼란 심볼 신호의 왜곡을 줄일 수 있었다.

하지만, 위상 회전량을 측정하는 부반송파 간의 거리에 따라 추정할 수 있는 시간 오차 범위가 제한되는 문제점이 있어 시간오차가 크게 발생하는 시스템에서는 성능 열화가 발생하게 된다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 BLUE 기반의 시간동기 추정 알고리즘에서 추정범위 제한 문제를 해결하기 위한 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 기존의 BLUE 기법을 그대로 이용할 수 있을 뿐만 아니라 시간 오차 범위에 대한 제약도 없어 발생 가능한 전범위의 시간오차에 대해서 추정이 가능하다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 OFDMA 상향 링크 시스템 모델과 시간 동기 오차의 영향을 설명한다. III장에서는 BLUE에 기반한 기존의 시간 동기 추정방법을 소개한다. IV장에서는 BLUE 기반의 추정기 문제점을 해결하기 위해 개선된 BLUE 동기 추정기들을 제안한다. V장에서는 모의 실험 결과를

통해 제안된 추정기의 성능을 비교, 분석하며, 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. OFDMA 상향 링크 시스템 모델

서로 다른 P 명의 사용자가 동시에 하나의 기지국에 접속을 시도하려는 OFDMA 상향 링크 시스템을 고려하도록 하자. 송수신 오실레이터 간에 주파수 오차가 존재하지 않을 때, P 명의 사용자가 전송한 신호는 서로 다른 다중 경로 채널과 시간 지연을 겪고 기지국으로 동시에 수신되게 되며, 이는 다음과 같이 표현된다.

$$r[n] = \sum_{p=0}^{P-1} e^{j\phi_p} \sum_{m=0}^{L-1} h_p[m] x_p[n-m-\theta_p] + w[n].$$

여기서 $h_p[m]$, θ_p , ϕ_p 는 각각 p 번째 사용자의 채널 임펄스 응답, 시간 오차, 그리고 초기 위상오차를 나타내고, L 은 채널의 최대 길이를 의미하며, $w[n]$ 은 백색 복소 가우시안 잡음이다.

편의상, p 번째 사용자의 시간 오차는 ISI가 발생하지 않는 구간 내에 존재한다고 가정하자. 전체 N 개의 부반파가 있다고 할 때, N point FFT (Fast Fourier Transform) 연산을 통과한 후에 p 번째 사용자의 k 번째 부반송파에 대한 복원 신호는 다음과 같다^[3].

$$Y_p(k) = H_p(k) X_p(k) e^{-j\frac{2\pi\theta_p k}{N}} e^{j\phi_p} + I(k) + W(k). \quad (1)$$

여기서 $H_p(k) = \sum_{m=0}^{L-1} h_p[m] e^{j2\pi km/N}$ 는 p 번째 사용자의 k 번째 부반송파에 대한 채널 주파수 응답을 나타낸다. $I(k)$ 는 다른 사용자의 시간 오차에 의해 발생한 MAI를 의미하며, $W(k)$ 는 주파수축에서의 백색 복소 가우시안 잡음이다. 여러 사용자가 서로 다른 시간 오차를 가지고 기지국에 수신되기 때문에, p 번째 기준 사용자가 적절하게 동기를 맞추어 수신되더라도, 만약 다른 사용자들이 동기를 맞추지 못한다면 부반송파 간에 직교성을 상실하게 되어 MAI가 발생하게 된다^[3]. 따라서 만약 모든 사용자가 적절하게 동기를 맞추어 수신되지 않는다면 사용자 간의 직교성이 상실되어 전체적인 시스템 성능 열화를 초래하게 된다.

III. BLUE에 기반한 기존 시간 동기 추정 기법

OFDMA 상향 링크 시스템에서는 각 사용자를 주파

수 축에서 부반송파를 통해 구분하기 때문에 시간 축에서는 사용자의 신호를 구분할 수 없다. 따라서 각 사용자의 시간 오차 추정은 주파수 축에서 사용자를 구분한 이후에 이루어져야 한다. 시간 축에서 시간지연은 주파수 축에서 위상 회전의 형태로 나타나게 된다. 이 특성을 이용하여 시간 오차를 추정할 수 있다^[3]. 여기서는 BLUE에 기반한 시간 동기 추정 기법을 소개하고, 동작 원리를 설명한다.

1. 시간 오차를 추정하기 위한 훈련 심볼

OFDMA 상향 링크 시스템에서 동기를 추정하기 위한 p 번째 사용자의 훈련 심볼 $c_p[n]$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$c_p[n] = \sum_{k \in \mathbb{T}_p} C_p(k) e^{j2\pi nk/N}, -N_{p_s} \leq n < N + N_{p_s}.$$

여기서 $C_p(k)$ 는 송수신단이 서로 미리 알고 있는 훈련 심볼을 나타내고, N_{p_s} 와 N_{p_e} 는 각각 훈련 심볼의 전치 보호구간과 후치 보호구간을 나타낸다. 모든 사용자는 서로 다른 시간 오차를 가지고 기지국에 수신되기 때문에, 사용자의 시간 동기가 맞지 않더라도 MAI를 발생시키지 않기 위해서 훈련 심볼의 전·후치 보호구간은 매우 길게 설정된다. 인접 부반송파간의 위상 회전 정보를 이용하기 위해 p 번째 사용자의 훈련 심볼은 인접한 M_p 개의 부반송파로 이루어진 부채널 \mathbb{T}_p 을 다음과 같이 할당받는다.

$$\mathbb{T}_p = \{K_p, K_{p+1}, \dots, K_p + M_p - 1\}.$$

여기서 K_p 는 p 번째 사용자의 부채널의 시작 위치를 지칭한다. 주파수축에서 p 번째 사용자의 훈련 심볼은 그림 1과 같이 표현된다.

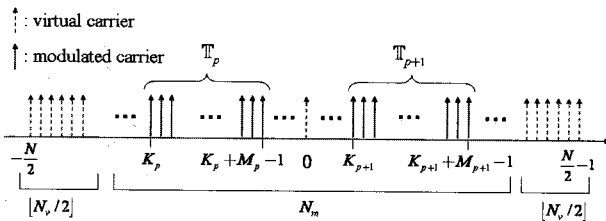


그림 1. 주파수축에서의 훈련 심볼 구조

Fig. 1. Training symbol in frequency domain.

2. 부반송파 간의 위상 차이의 상관관계

OFDMA 시스템에서 시간 축에서 시간 지연은 주파

수 축에서의 선형적인 위상 회전의 형태로 나타난다.

만약 p 번째 사용자에게 시간 오차 θ_p , 초기 위상 오차 ϕ_p 가 발생하였다면, FFT 연산 후 k 번째 부반송파에 대한 훈련 심볼 복원 신호는 다음과 같다.

$$Z_p(k) = H_p(k) C_p(k) e^{-j2\pi\theta_p k/N} e^{j\phi_p} + W(k). \quad (2)$$

식 (2)에서 관찰되는 바와 같이, 시간 오차에 의한 위상 회전 정도는 시간 오차와 부반송파 색인의 곱으로 표현된다.

BLUE 기반 추정 알고리즘은 이러한 부반송파 간의 위상회전의 차이를 이용하여 시간 오차를 추정한다.

p 번째 사용자에 대해서 m 개만큼 떨어진 부반송파간의 위상 차이에 대한 상관관계는 다음과 같다

$$R_p(m) = \frac{1}{M_p - m} \sum_{k=K_p}^{L_p(m)} \Gamma_p(k) \Gamma_p^*(k+m). \quad (3)$$

여기서, $\Gamma_p(k) = Z_p(k) C_p^*(k)$ 이고, x^* 는 x 의 공액값을 의미하며, $L_p(m) = K_p + M_p - m - 1$ 이다. 식 (2)를 식 (3)에 대입하면, $R_p(m)$ 은 다음과 같이 정리된다^[3].

$$R_p(m) = e^{j\frac{2\pi}{N}m\theta_p} S(m) \{1 + D(m) + N(m)\}. \quad (4)$$

식 (4)에서 살펴볼 수 있는 것과 같이, 위상 회전 차이 $R_p(m)$ 을 측정함으로써, 시간 오차에 의한 위상 회전 값 $e^{j\frac{2\pi}{N}m\theta_p}$ 을 추출하고, 추정 오차를 유발하는 초기 위상 회전 값 $e^{j\phi_p}$ 을 제거하게 된다. 식 (4)에서 채널의 통계적 특성이 WSSUS 일 때, M_p 가 매우 크다면 $S(m)$ 은 통계적으로 다음과 같이 표현될 수 있다^[8].

$$S(m) \approx \Phi_p^*(m) = \left(\sum_{l=0}^{L-1} \rho_p(l) e^{-j2\pi lm/N} \right)^*. \quad (5)$$

여기서 $\rho_p(l)$ 은 채널 지연 프로파일의 l 번째 성분을 나타낸다. 따라서 채널의 지연 프로파일에 대한 정보를 미리 알고 있다면 $S(m)$ 에 의해 추가적으로 발생하는 위상 회전에 관한 정보도 보상할 수 있게 된다.

3. BLUE에 기반을 둔 시간 동기 추정 알고리즘

앞서 표현한 $R_p(m)$ 와 $\Phi_p(m)$ 을 통하여서 시간 오차를 관찰하면, 부반송파 간의 거리가 m 일 때의 추정된 시간오차는 $1 \leq m \leq M$ 범위에서 다음과 같다.

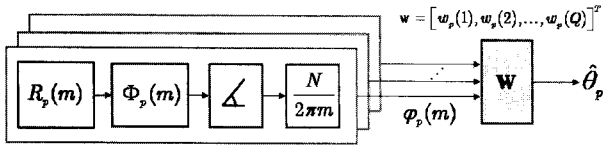


그림 2. BLUE 기반의 주파수축 시간 추정기의 블록도
Fig. 2. BLUE based Timing Estimator Block Diagram.

$$\varphi_p(m) = \frac{N}{2\pi m} \arg\{R_p(m)\Phi_p(m)\}. \quad (6)$$

여기서 M 은 추정기에 사용되는 부반송파 간의 최대 거리를 정하는 설계 매개 변수이다. 식 (3)과 (5)를 식 (6)에 대입하면, 부반송파 간의 거리가 m 일 때 계산되는 시간 오차는 다음과 같이 간략화 된다^[3].

$$\varphi_p(m) \approx \theta_p + \frac{N}{2\pi m} \{D_I(m) + N_I(m)\}. \quad (7)$$

여기서 X_I 는 X 의 허수 성분을 의미한다. 식 (7)에서 관찰할 수 있듯이 m 개의 추정된 시간오차는 서로 다른 잡음 분산을 가지게 된다. 따라서 서로 다른 분포를 가지는 여러 개의 관찰 결과를 최적화 하는 BLUE(best linear unbiased estimator) 원리를 적용하면 최적의 시간 동기 값이 추정되게 된다.

BLUE에 기반한 시간동기 추정 알고리즘은 그림 2에 표현되어 있듯이, 식 (7)을 통해 구하게 된 M 개의 추정된 시간오차 값들에 가중치를 주어서 최적의 시간오차 추정값을 도출하게 된다. 구체적으로, BLUE를 적용한 시간오차 추정기법은 다음과 같이 표현이 된다.

$$\hat{\theta}_p = \sum_{m=1}^M w_p(m) \varphi_p(m). \quad (8)$$

여기서 가중치 $w_p(m)$ 는 다음과 같이 유도되게 된다.

$$w_p(m) = \left[\frac{C_{\varphi_p}^{-1} \mathbf{1}}{\mathbf{1}^T C_{\varphi_p}^{-1} \mathbf{1}} \right]_m.$$

여기서 $[\mathbf{x}]_m$ 는 벡터 \mathbf{x} 의 m 번째 원소를 뜻하며, C_{φ_p} 는 Covariance 행렬을 의미한다. C_{φ_p} 는 수학적으로 [3]에 유도되어 있다.

IV. 추정 범위를 개선한 제안한 시간 동기 추정기

식 (8)에 의해 표현된 시간동기 추정기는 일반적으로 시간오차가 크게 발생하지 않는 시스템에서 매우 정확

한 성능을 보인다. 하지만, 식 (4)에서 관찰되는 위상 회전 항목이 $\frac{N}{2\pi m}$ 을 주기로 반복되기 때문에, 부반송파 간의 거리가 m 일 때의 추정된 시간오차 $\varphi_p(m)$ 는 다음과 같은 제한된 추정 범위를 가질 수밖에 없다.

$$|\varphi_p(m)| < \frac{N}{2m}. \quad (9)$$

따라서 시간 오차가 크게 발생하는 시스템에서, 앞서 소개된 기법을 $m \in \{1, M\}$ 인 경우에 대해 적용할 경우, $|\theta_p| \leq \frac{N}{2M}$ 사이의 시간오차만을 추정할 수 있는 추정 범위 한계를 드러내게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 BLUE 기반의 개선된 시간동기 추정기법을 제안한다.

1. 위상 전후 보상 기법을 이용한 BLUE 기반의 시간 동기 추정 알고리즘

일반적으로 $m = 1$ 일 때, 시간 동기 추정기는 식 (9)에 의해서 전 범위의 시간오차를 추정할 수 있다. 하지만, m 이 증가함에 따라 시간오차를 추정할 수 있는 범위가 줄어들게 되는데, 이 현상을 방지하기 위해서 우리는 다음과 같이 추정 기법 단계를 3단계로 나누어 이 문제를 해결한다.

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 시간오차 선왜곡 단계 (pre-distortion) 2. 시간오차 추정 단계 (estimation) 3. 시간오차 후보상 단계 (post-compensation) |
|---|

우선 시간오차 선왜곡 단계에서는 $m = 1$ 일 때의 시간오차를 추정한 이후, 추정된 시간 오차값 $\varphi_p(1)$ 을 수신신호에 임의적으로 위상회전을 시켜 반영하게 된다. 따라서 이를 통해 왜곡된 수신신호는 거의 시간오차를 가지고 있지 않은 신호열로 변형이 되며, m 이 커져도 큰 영향을 받지 않게 된다. 이를 수식적으로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{Y}_p(k) = Y_p(k) e^{j2\pi k \varphi_p(1)/N}.$$

다음으로, 매우 작은 시간동기 오차를 가지도록 왜곡된 수신 신호열 $\hat{Y}_p(k)$ 에, BLUE 기반의 시간동기 추정 알고리즘을 적용하면, 부반송파 간의 거리가 m 일 때, 추정된 새로운 시간오차 $\hat{\varphi}_p(m)$ 은 다음과 같다.

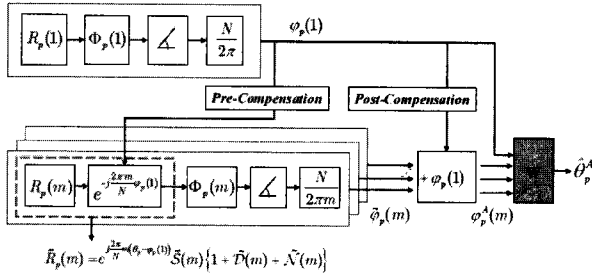


그림 3. 추정범위가 개선된 시간오차 추정기의 블록도
Fig. 3. Improved Timing Estimator Block Diagram.

$$\hat{\varphi}_p(m) \approx (\theta_p - \varphi_p(1)) + \frac{N}{2\pi m} \{D_I(m) + N_I(m)\}, \quad 2 \leq m \leq M. \quad (10)$$

$m = 1$ 일 때 시간오차 $\varphi_p(1)$ 이 정확히 추정이 되었다면 $\theta_p - \varphi_p(1)$ 의 값은 매우 작을 것이기 때문에, m 이 증가함에 따라 추정범위가 제한이 되어도 개선된 시간 동기 추정 알고리즘에서는 큰 문제가 발생하지 않게 된다. 따라서 위와 같이 선왜곡 단계 (pre-distortion) 이후에 시간동기를 추정하게 되면 추정범위 제한문제를 해결할 수 있다.

마지막으로, 왜곡되었던 시간오차를 원래로 보상하여야 하며, 부반송파간의 거리가 m 일 때 구해지는 최종 시간오차값은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\vartheta_p(m) \approx \hat{\varphi}_p(m) + \varphi_p(1). \quad (11)$$

위의 식 (11)를 식 (8)에 대입하게 되면, m 을 키워감에 따라 기존의 BLUE 기반의 제안된 추정기가 얻었던 시간동기 추정 성능개선효과들을 동일하게 얻을 뿐만 아니라, 위상회전 측정을 위한 부반송파 거리에 따른 시간오차 추정범위 제약 문제를 해결할 수 있게 된다.

이러한 3단계로 이루어진 시간동기 추정기법 블록 다이어그램은 그림 3을 통해서도 확인할 수 있다.

2. 위상 회전 차이 변화율 시간 동기 추정 알고리즘

앞서 제안된 선왜곡/후보상 시간추정 알고리즘과 더불어, BLUE 추정기를 이용한 위상 회전정보의 차이를 이용하여 시간오차를 추정할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 위상 회전 차이 변화율을 이용한 시간동기 추정 알고리즘은 식 (3),(4)로부터 각각 부반송파가 m 개 만큼 떨어져 있을 경우의 위상회전차이에 의한 시간오차 성분 $R_p(m)$ 을 추출해 낸 이후에, 이 추출된 시간오차 성분들의 위상회전 차이를 재이용하여 시간 오차를 추정한다.

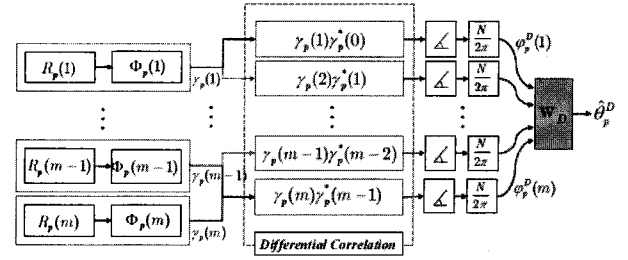


그림 4. 위상차이의 차이를 이용한 추정기의 블록도
Fig. 4. Differential Timing Estimator Block Diagram.

구체적으로 이 방법은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\varphi_p^D(m) = \frac{N}{2\pi} \arg\{\gamma_p(m) \gamma_p^*(m-1)\}. \quad (12)$$

여기서, $\gamma_p(m) = R_p(m)\Phi_p(m)$ 이고, $\gamma_p(0) = 1$ 이다. 식 (6)과 비교하였을 때, 식 (12)는 추정된 값을 평균화하는 성분이 $N/2\pi$ 이기 때문에, BLUE 기반의 일반적인 시간동기 추정 알고리즘과 달리 부반송파간의 거리에 따른 추정범위 제약이 일어나지 않는다. 최종적으로 BLUE 개념을 적용해 구해지는 시간동기 추정기는 다음과 같다.

$$\hat{\theta}_p^D = \sum_{m=1}^M w_p^D(m) \varphi_p^D(m). \quad (13)$$

여기서 가중치 $w_p^D(m)$ 를 계산하기 위한 covariance matrix $C_{\varphi_p^D}$ 는 수학적 연산을 통해 아래처럼 계산된다.

$$C_{\varphi_p^D}(m, n) = \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 (-1)^{i+j} (m-i)(n-j) C_{\varphi_p}(m-i, n-j)$$

위상 회전차이 변화율을 이용한 시간동기 추정기법에 대한 블록도는 그림 4에 잘 표현되어 있다.

V. 모의 실험 결과 및 분석

표 1은 모의실험 환경을 나타낸 것이다. 모의 실험 환경에서는 좀더 현실적인 환경을 위해 가상 부반송파가 사용되었다. 훈련 심볼의 전·후치 보호구간은 여러 사용자의 신호가 임의의 시간오차를 가지고 기지국에 수신될 때에도 MAI를 발생시키지 않기 위해 $N_{p_p} = 288$, $N_{p_s} = 256$ 으로 설정되었다. 이는 시스템 대역폭이 20MHz일 때 셀 반경 4km 이내에서 모든 사용자의 신호가 간섭 없이 수신될 수 있는 길이이다. 데이터 심볼의 순환보호구간은 전체 OFDMA 심볼 길이의 1/8인 $N_{cp} = 64$ 으로 설정하였다. 제안된 추정기의 성능을 평

표 1. 모의 실험 환경

Table 1. Simulation Parameters.

전체 부반송파 (N)	512
가상 부반송파 (N_p)	96
전송 부반송파 (N_m)	416
실제 사용자 수 (P)	8
사용자 당 부반송파 (M_p)	52

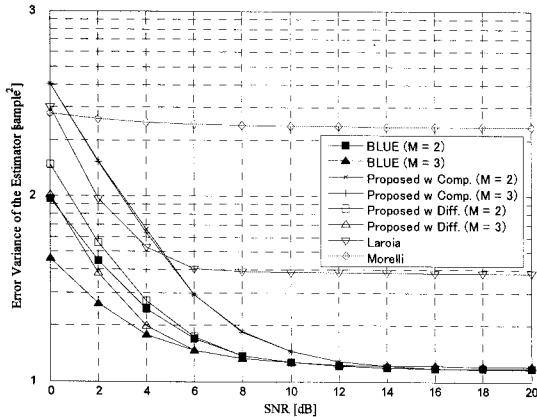


그림 5. SNR에 따른 추정기의 오차 평균분산
Fig. 5. SNR vs MSE performance for estimators

가하기 위해 모의 실험 환경에서는 exponential 채널 지연 프로파일($E\{|h_p[i]|^2\} = \exp(-i/L_{rms})$)을 가진 주파수 선택적인 채널을 사용하였다. 채널의 최대 채널 지연 길이가 L 은 32이고, 채널의 주파수 선택 특성을 결정하는 L_{rms} 는 10으로 설정되었다. 이는 프로파일의 처음 tap과 마지막 tap의 비율이 약 13.5dB 정도 되는 값이다. 각 사용자의 시간 오차는 최대 발생 가능한 시간오차를 θ_{max} 라 할 때, $[-\theta_{max}, \theta_{max}]$ 내에서 균일하게 발생한다고 가정한다.

$\theta_{max} = 32$ 일 때, 신호 대 잡음비 (SNR : Signal to Noise Ratio)에 따른 시간 동기 추정기의 오차 평균 분산 성능이 그림 5에 나타나 있다. 그림 5에서 확인할 수 있듯이, BLUE 계열의 제안된 추정기들은 기존의 추정기들에 비해 더 좋은 분산 성능을 나타내고 있다. 이는 differential 상관관계를 통해 신호와 직교하는 잡음 성분이 많이 제거되어 위상 오차가 크게 발생하지 않기 때문이다. 또한 부반송파 간의 거리에 따른 위상 정보를 BLUE를 통해서 최적화시키기 때문에 낮은 SNR에서 M 이 증가함에 따라 분산이 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

그림 5에서 확인할 수 있듯이, BLUE 계열의 추정기는 기존의 기법과 제안된 기법들이 분산 관점에서 큰 차이를 보이지 않고 SNR에 따라 감소하는 비슷한 분산 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다.

추정되는 시간 동기는 정확한 동기 지점이 아니라

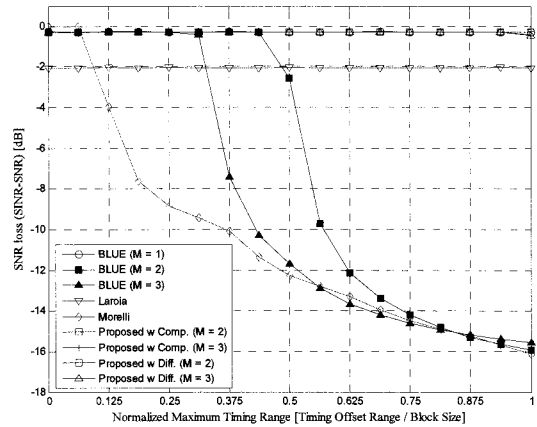


그림 6. 최대 시간오차 범위에 따른 추정기의 평균 SINR
Fig. 6. relative timing offset vs average SINR.

도 만약 추정 동기 오차가 보호구간 내에 존재한다면 시스템 성능은 열화되지 않는다. 따라서 추정기의 성능을 좀 더 현실적으로 평가하기 위해 추정된 시간 동기를 가지고 전송되는 데이터 심볼의 신호 대 간섭비 (SINR : Signal to Interference Noise Ratio)를 측정하도록 한다. 그림 6은 SNR이 20dB로 고정되어 있을 때 발생 가능한 시간오차에 따른 추정기의 평균 SINR 손실을 나타내고 있다. 발생 가능한 시간오차는 OFDMA 심볼 전체 $[-256, 256]$ 에 대해 정규화 되어 표현된다.

기존의 BLUE 기반의 추정기가 시간오차가 크게 발생하지 않는 구간에서 Morelli / Laroia 추정기들보다 성능이 우월하지만, BLUE 기반의 추정기도 M 이 증가함에 따라 추정범위 제한 때문에 성능이 급격하게 떨어지게 된다. 따라서 M 이 클 경우, 기존의 BLUE 기반 추정기는 성능 열화가 발생하게 된다. 하지만, 새롭게 제안된 선택곡/후보상을 적용한 추정기와 위상회전 변화율을 적용한 추정기는 M 이 증가하여도 시스템의 최대 발생 가능한 시간 오차와 상관없이 동일한 성능을 유지하는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 제안된 추정기들은 기존의 BLUE 기반의 추정기가 가지고 있었던 추정범위에 대한 문제를 해결하게 된다.

개선된 추정기들은 모두 M 에 상관없이 Laroia가 제안한 추정기에 비해 약 2dB 성능 이득을 항상 얻는 것을 확인할 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 OFDMA 상향 링크 시스템에서 BLUE의 원리에 기반하여 시간 동기를 추정하는 방법

을 개선하고자 하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 추정 알고리즘은 인접한 부반송파간의 위상 회전의 차이를 이용하여 시간 동기를 추정하게 된다. 이 때, 제안된 알고리즘들은 기존의 BLUE 기반의 추정 알고리즘이 가지고 있던 추정범위 제한 문제를 해결하기 위해, 선험적/후보상 또는 위상회전 변화율 추정의 신호처리 기법을 적용하여 어떠한 환경에서도 모호성 없이 시간 동기를 추정할 수 있도록 설계되었다.

모의실험 결과는 제안된 추정기의 분산 성능이 기존 추정기들의 성능보다 뛰어나며 상대적으로 더 정확한 추정 성능을 보이는 것을 확인시켜 준다. 또한 제안된 추정 알고리즘은 추정 오차에 의한 성능 열화가 거의 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface," IEEE Std. 802.16-2001, 2001.
- [2] "(2004) IEEE 802.20 Working Group [Online] Available: <http://www.ieee802.org/20/>,"
- [3] 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," Proc. in *IEEE VTC 2005spring*, Volume 2, 30 May-1 June 2005 Page(s):1258 - 1262 Vol. 2
- [4] M. Park, K. Ko, H. Yoo, and D. Hong, "Performance Analysis of OFDMA Uplink Systems with Symbol Timing Misalignment," in *IEEE Comm. Letter*, vol. 7, pp. 376-378, Aug. 2003.
- [5] J.-J. vande Beek, et al., "A time and frequency synchronization scheme for multiuser OFDM," *IEEE JSAC*, vol. 17, pp. 1900-1914, Nov. 1999.
- [6] R. Laroia, et al., "Uplink timing synchronization and access control," patent filed, Jan. 29 2001
- [7] M. Morelli, "Timing and Frequency Synchronization for the Uplink of an OFDMA System," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 52, pp. 296-306, Feb. 2004.
- [8] P. Hoeher, "A statistical discrete-time model for the WSSUS multipath channel," *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, vol. 41, pp. 461-468, Nov. 1992.

저 자 소 개



이 성 은(정회원)

2002년 연세대학교
전기전자공학과 학사졸업
2004년 연세대학교
전기전자공학과 석사졸업
2009년 연세대학교
전기전자공학과 박사졸업

<주관심분야 : 이동통신시스템, MIMO, 다중 반송파 시스템, 멀티홉 시스템>



홍 대 식(중신회원)

1990년 Purdue University
Electrical Engineering
박사 졸업
1991년~현재 연세대학교
전기전자공학과 교수

<주관심분야 : 디지털통신, 통신신호처리, 4G시스템, OFDM 시스템>