

주파수 영역 케환 간섭 신호 제거기를 갖는 OFDM 기반 전이중 릴레이를 위한 동기화 기법

정회원 유현일*, 우경수*, 박창환*, 종신회원 김재권**,
정회원 정성윤***, 종신회원 조용수*

A Synchronization Technique for OFDM-based Full Duplex Relays with Frequency-domain Feedback Interference Canceller

Hyun Il Yoo*, Kyung Soo Woo*, Chang Hwan Park* *Regular Members*, Jaekwon Kim**
Lifelong Member, Sungyoon Jung*** *Regular Member*, Yong Soo Cho* *Lifelong Member*

요 약

Decode and Forward (DF) 방식을 사용하는 OFDM 기반 Full Duplex Relay (FDR)에서는 주파수 영역에서의 케환 간섭 제거 방식이 더욱 효율적이다. 그러나 OFDM 기반의 FDR에서 케환 간섭 신호 제거 및 복조를 주파수 영역에서 수행하는 경우 케환 간섭 신호와 기지국으로부터 전송된 신호의 시간동기 불일치에 의한 인접 심볼간 간섭 및 인접 부반송파 간섭이 발생한다. 본 논문에서는 Synchronous 타입과 Asynchronous 타입의 OFDM 기반 FDR에서 시간 동기 불일치에 의한 영향을 하향링크와 상향링크에 대하여 분석한다. 주파수 영역 케환 간섭 제거기를 갖는 FDR에서 간섭의 영향을 감소시킬 수 있는 동기화 절차와 기법을 제안하고, 모의실험을 통하여 그 성능을 확인한다.

Key Words : OFDM, Full Duplex Relay (FDR), Synchronization, Feedback Interference Cancellation

ABSTRACT

In OFDM-based Full Duplex Relays (FDR) with Decode and Forward (DF) scheme, an interference cancellation technique in the frequency domain is more efficient than the one in the time domain. However, an Inter-Symbol Interference (ISI) and Inter-Carrier Interference (ICI) may occur due to the timing mismatch between the feedback interference signal and the desired signal from Base Station (BS) when the feedback interference cancellation and demodulation are performed in the frequency domain. In this paper, the effects of timing mismatch on the synchronous type and asynchronous type of OFDM-based FDR are analyzed for uplink and downlink cases. Then, synchronization procedure and methods for reducing ISI and ICI in OFDM-based FDR with frequency-domain feedback interference canceller are proposed and verified by computer simulation.

I. 서 론

릴레이는 송신단과 수신단 사이에 분산적으로 존재하는 한 개 또는 다수 개의 노드를 이용하여 전송신

뢰도를 높이거나 다중화 이득을 확보함으로써 대역 효율성을 극대화하기 위한 무선 통신시스템의 한 유형이다¹⁾. 릴레이의 종류는 데이터 전달 방식에 따라 Amplify and Forward(AF) 방식과 Decoding and

※ 본 연구는 삼성전자의 지원과 지식경제 프론티어기술개발사업의 일환으로 추진되고 있는 지식경제부의 유비쿼터스컴퓨팅 및 네트워크 기반기술개발사업의 09C1-C2-11T 과제의 지원으로 이루어졌습니다.

* 중앙대학교 디지털통신 연구실(yscho@cau.ac.kr), ** 연세대학교 원주캠퍼스 컴퓨터정보통신공학부, *** 영남대학교 전자정보공학부
논문번호 : KICS2009-03-092, 접수일자 : 2009년 3월 4일, 최종논문접수일자 : 2009년 5월 12일

Forward(DF)방식으로 나뉜다. AF 방식은 수신 신호를 단순히 증폭하여 전송하며 DF 방식은 수신 신호를 복조한 후 Relay System(RS)에서 송신할 신호를 만들어 전송한다. AF 방식에서는 잡음이 전파되는 반면에 DF 방식에서는 복조에 의한 오류가 전파될 수 있다. 또한 duplex 방식에 따라 Half Duplex Relay(HDR)과 Full Duplex Relay(FDR)로 나뉜다. FDR은 HDR에 비해 전송효율이 우수하지만 전송한 신호가 케환되어 수신단에 간섭으로 작용하기 때문에 현재까지 대부분의 릴레이에서는 duplex 방식으로 HDR을 고려한다. HDR에서 상·하향링크 구간은 Access Zone과 Relay Zone으로 나뉜다. Access Zone은 기지국과 릴레이가 단말에 신호를 전송하는 구간이며, Relay Zone은 릴레이가 기지국으로부터 신호를 수신하는 구간을 의미한다. 또한 Access Zone과 Relay Zone 사이에 Transition Gap이 필요하며 릴레이가 기지국과의 동기를 위해 추가적으로 R-amble이 전송되어야 한다. 이와 같이 Access Zone과 Relay Zone이 구분됨에 따라 HDR은 FDR에 비해 전송효율이 감소된다. 반면에 FDR은 하향링크 프레임 구간에서 Access Zone 과 Relay Zone를 구분하지 않기 때문에 HDR에 비해 전송효율이 증가된다²⁾. 하지만 기지국과 릴레이가 동일한 자원을 사용하므로 인접 채널간 간섭이 HDR에 비해 증가하는 단점이 있다. 또한 릴레이가 전송한 신호가 수신단에 케환되어 간섭으로 작용한다. 최근 더욱 높은 전송율을 지원하기 위하여 FDR 및 FDR을 위한 케환 간섭 신호 제거기의 개발에 대한 연구가 활발히 진행중이다³⁻⁴⁾.

중계기(Repeater)에서 케환 간섭 신호 제거 방식은 시간 영역 방식과 주파수 영역 방식으로 나뉜다. 시간 영역 방식에서의 케환 간섭 신호의 생성은 케환 채널과 전송한 신호의 컨벌루션을 통해 이루어진다. 주파수 영역 방식에서의 케환 간섭 신호의 생성은 케환 채널과 전송한 신호의 곱을 통해 생성되므로 간섭 제거의 복잡도는 시간 영역 방식에 비해 감소되지만, 수신 신호를 주파수 영역 신호로 변환하는 시간과 케환 간섭이 제거된 신호를 다시 시간 영역 신호로 변환하는 시간이 추가적으로 필요한 단점이 있다. 중계기에서 재전송되는 신호는 단말에게 최소의 지연을 갖고 전송되어야 한다. 따라서 중계기에서의 케환 간섭 제거 방식은 복잡도는 높지만 처리시간이 적은 시간 영역 방식이 주로 사용된다.

본 논문에서는 OFDM 기반 DF 방식의 FDR을 고려한다. DF 방식의 릴레이에서는 기지국으로부터 전송된 신호를 복조한 후, 다음 프레임에 단말에게 재전

송한다. 따라서 기존 중계기에서 케환 간섭 신호의 제거를 위하여 실시간으로 요구되는 처리시간은 DF 방식의 FDR에서는 필요하지 않다. 또한 OFDM에서는 직렬로 입력되는 심볼열을 N개의 심볼로 구성된 블록 단위의 병렬형태로 변환하며, 각 부채널을 통해 전송되는 신호는 주파수 비선형적 채널 특성 때문에 수신단에서 각 부채널 별로 복잡도가 낮은 단일탭 곱셈을 통해 케환 간섭 신호의 생성이 가능하다. 그러므로 OFDM 기반 DF 방식의 FDR 에서의 케환 간섭 신호 제거 방식은 주파수 영역에서 처리하는 것이 효율적이다. 하지만 OFDM 기반의 FDR에서 케환 간섭 신호 제거 및 Decoding 을 주파수 영역에서 수행하는 경우, 케환 간섭 신호와 기지국으로부터 전송된 신호의 시간 동기 불일치에 의하여 인접 심볼간 간섭(Inter-Symbol Interference: ISI) 및 인접 부반송파 간섭(Inter-Carrier Interference: ICI)이 발생한다⁵⁻⁶⁾. 이러한 간섭을 최소화하기 위해서 본 논문에서는 OFDM 기반의 FDR에 적합한 동기화 절차 및 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 FDR의 송신단에서 수신단으로 케환되는 간섭 신호와 기지국으로부터 전송된 신호의 시간 동기 불일치에 의하여 발생하는 ISI 및 ICI의 영향에 대해 살펴본다. III장에서는 케환 간섭 신호 제거시 발생하는 ISI과 ICI를 감소하기 위한 동기화 절차 및 기법에 대해 기술하며, IV장에서는 모의 실험을 통해 제안된 동기화 절차 및 기법의 성능을 확인하고, V장에서는 결론을 맺는다.

II. FDR에서 시간 동기 불일치에 의한 영향

FDR은 신호를 전송하는 시각에 따라 Synchronous 타입과 Asynchronous 타입으로 나뉜다⁷⁻⁸⁾. 그림 1은 FDR의 송·수신 타이밍도를 보여준다. 여기서, 그림 1(a)에서와 같이 FDR이 기지국과 동일한 시간에 신호를 전송하는 타입을 Synchronous, 그림 1(b)와 (c)에 나타난 바와 같이 기지국과의 전파 지연을 고려하여 신호를 전송하는 타입을 Asynchronous 로 정의한다. 그림 1(a)에 주어진 Synchronous 타입에서는 케환 간섭 신호가 기지국으로부터 전송된 신호보다 앞서 수신되므로 릴레이가 기지국과 동기를 획득한 상태임에도 불구하고 FFT를 수행하면 케환 간섭 신호에 의해 ISI 및 ICI가 발생한다. 그림 1(b)에 나타난 바와 같이 Asynchronous 타입에서는 일반적으로 케환 간섭 신호가 기지국으로부터 전송된 신호에 비해 늦게 수신되므로 FFT 구간에서 신호의 직교성이 파괴되지 않아 케환 간섭 신호에 의한 ISI 및 ICI가 발생하지

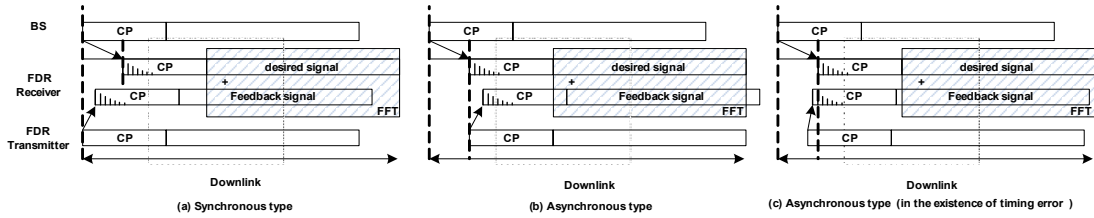


그림 1. FDR의 송·수신 타이밍도

않는다. 그림 1(c)은 Asynchronous 타입의 FDR에서 기지국으로부터 전송된 신호의 시간 동기를 잘못 추정할 경우 케환 신호에 의하여 ISI 및 ICI가 발생하는 경우를 보여준다. 그림 1(c)에 나타난 바와 같이 시간 동기 오차에 의해 케환 간섭 신호가 기지국으로부터 전송된 신호에 비해 한 샘플 이상 앞서 수신되는 경우가 발생할 수 있다.

그림 2는 FDR에서 상향링크 전송시 송·수신 타이밍을 보여주는 그림이다. 즉, 단말들이 전송하는 상향링크 신호들은 FDR 수신단에 모두 동일한 시각에 수신되지만, FDR은 기지국 수신단에서 시간 동기 불일치가 발생하지 않도록 Timing Advance하여 상향링크 신호를 전송하기 때문에 케환 간섭 신호는 단말들로부터 전송된 신호에 비해 앞서 수신된다. 따라서 하향링크 Synchronous 타입과 동일하게 케환 간섭 신호에 의한 ISI 및 ICI가 발생한다.

다음은 기지국과 Synchronous 타입의 FDR간의 하향링크에서 케환 간섭 신호에 의한 영향을 설명한다. 초기 동기화 과정에서 기지국으로부터 Synchronous 타입 FDR의 수신단에 수신되는 신호는 케환 간섭 신호가 없는 경우 다음과 같이 주어진다.

$$y_l = h^d x_l^d + w \quad (1)$$

여기서, 심볼 길이 n 개의 원소를 갖는 $y_l = [y_l(1), \dots, y_l(n)]^T$ 는 l -번째 OFDM 심볼의 시간영역 수신신호 벡터를 나타낸다. 또한 n 개의 원소를 갖는 $x_l^d = [x_l^d(1), \dots, x_l^d(n)]^T$, $w = [w(1), \dots, w(n)]^T$ 는 기

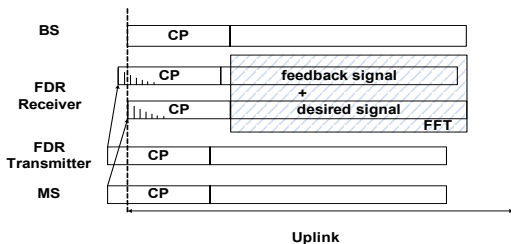


그림 2. FDR에서 상향링크 전송시 송·수신 타이밍도

지국으로부터 전송된 신호의 벡터, 잡음 벡터를 각각 나타낸다. h^d 는 n 개의 열과 행으로 이루어진 기지국과 FDR 간의 채널 행렬을 의미한다. 기지국과 FDR 간의 전파 지연은 IEEE 802.16e 시스템의 경우에 프리앰블의 반복패턴을 이용하여 다음과 같이 추정될 수 있다.

$$x(n) = \sum_{i=0}^{S-1} y_i^*(n+i) y_l(n+i+d) \quad (2)$$

$$\hat{\delta}_{b,r} = \underset{n}{\operatorname{argmax}} (|c(n)|)$$

여기서, $S, d, \hat{\delta}_{b,r}$ 는 자기상관 연산을 수행하는 윈도우의 크기, 윈도우간의 거리, 추정된 기지국과 FDR 간의 전파 지연을 나타낸다. $\hat{\delta}_{b,r}$ 로부터 CP를 제거한 후, ISI와 ICI가 발생하지 않도록 다음과 같은 범위내에서 FFT를 수행한다.

$$\left[\frac{\tau_{m,b}}{T} \right] - N_g \leq \tau_{FFT,d} \leq 0 \quad (3)$$

여기서, $\frac{\tau_{m,b}}{T}$, N_g 와 $\tau_{FFT,d}$ 는 샘플 단위로 표시된 기지국과 FDR 간 채널의 최대 지연, OFDM 심볼의 CP 길이와 하향링크 FFT의 수행 범위를 나타낸다. 주파수 영역 신호로 변환된 수신신호에 대해 셀 탐색을 수행하여 기지국과의 FDR간의 하향링크 동기를 완료한다.

케환 간섭 신호가 수신되면 상기 그림 1와 2에 나타난 바와 같이 Synchronous 타입과 Asynchronous 타입의 릴레이에서 FFT 수행 구간에 따라 케환 신호에 의한 ISI와 ICI가 발생할 수 있다. 다음은 Synchronous 타입에서 FFT 수행 구간에 따라 케환 신호에 의한 ISI 또는 ICI가 발생하는 경우를 설명한다. 케환 간섭 신호가 존재할 때, FFT의 수행구간을 식 (3)과 같이 설정하였을 경우 FDR의 케환 신호에 의한 ISI와 ICI가 발생하여 케환 간섭 신호의 채널 추정 및 제거를 수행할 수 없다. 케환 간섭 신호로 인한 ISI 또는 ICI

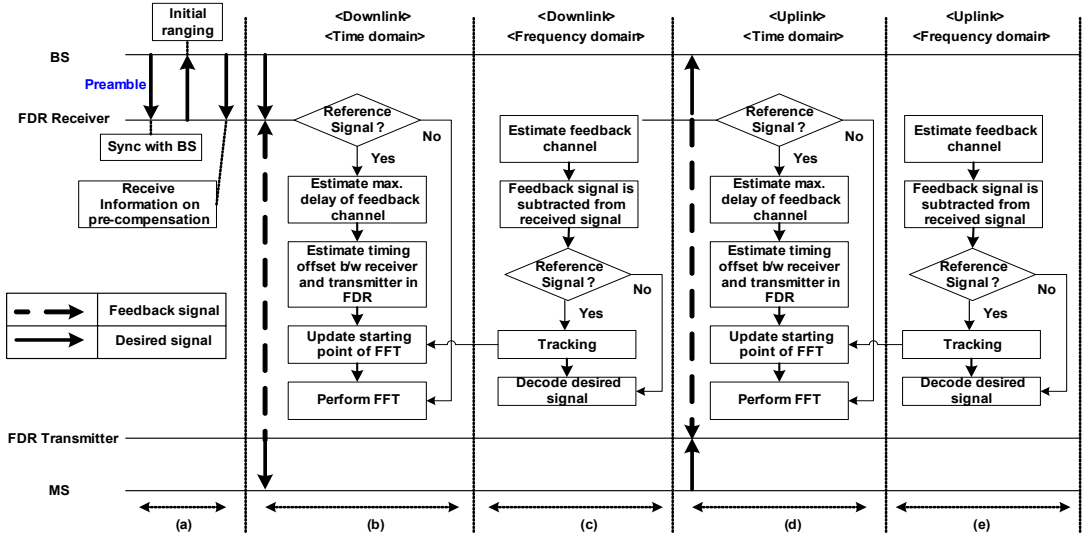


그림 3. 주파수 영역 케환 간섭 제거기를 갖는 FDR에서의 동기화 절차

가 발생한 경우, 수신신호는 다음과 같이 주어진다.

$$y_i = h^d x_i^d + h^f x_i^f - Ax_i^f + Bx_{i+1}^f + w \quad (4)$$

여기서, 심볼 길이 n 개의 원소를 갖는 $x_i^f = [x_i^f(1), \dots, x_i^f(n)]^T$ 는 케환 간섭 신호, h^f 는 n 개의 열과 행을 갖는 FDR의 송신단과 수신단사이의 케환 간섭 채널 행렬을 나타낸다. n 개의 열과 행을 갖는 A, B 는 케환 간섭 신호에 의한 ICI 를 나타내는 채널 행렬과 ISI를 나타내는 채널 행렬을 나타내며 $x_{i+1}^f = [x_{i+1}^f(1) \dots x_{i+1}^f(n)]^T$ 는 n 개의 원소를 갖는 $i+1$ 번째 케환 간섭 신호를 나타낸다. 또한 h^f, A, B 는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 h^f &= \begin{bmatrix} h^f(0) & 0 & \dots & 0 & h^f(1) \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ h^f(M-1) & \ddots & h^f(0) & 0 & h^f(M-1) \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots \\ \vdots & \dots & h^f(M-1) & \dots & h^f(0) \end{bmatrix} \\
 A &= \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h^f(0) & \dots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots \\ h^f(L-1) & \dots & h^f(0) & \dots & 0 \end{bmatrix} \\
 B &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & h^f(0) & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots \\ 0 & \dots & h^f(L-1) & \dots & h^f(0) & 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, h, L, M 은 다중경로 케환 채널 이득, OFDM 심볼의 CP 길이, 케환 간섭 채널의 최대 지연을 나타낸다. 상기 식 (4)에 나타난 수신신호를 주파수 영역 신호로 표현하면 다음과 같이 주어진다.

$$FFT(y_i) = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 \quad (6)$$

여기서, $Y_1 = FFT(h^d x_i^d)$, $Y_2 = FFT(h^f x_i^f)$, $Y_3 = FFT(Ax_i^f)$, $Y_4 = FFT(Bx_{i+1}^f)$ 로 주어진다. ISI 및 ICI가 발생하면 채널 h^f 의 추정 불가능하지만, 본 장에서는 케환 간섭 신호에 의한 ISI 및 ICI의 영향을 살펴보기 위해 h^f 가 추정되었음을 가정한다. 케환 간섭 신호가 제거된 수신신호는 다음과 같이 주어진다.

$$\tilde{Y}_i = Y_1 + FFT((h^f - \hat{h}^f)x_i^f) + Y_3 + Y_4 \quad (7)$$

여기서, 케환 채널이 올바르게 추정되었다고 가정하여 $(h^f - \hat{h}^f)x_i^f \approx 0$ 으로 근사화하면 식 (7)은 다음과 같이 간략화된다.

$$Y \approx Y_1 + Y_3 + Y_4 \quad (8)$$

Y_3, Y_4 는 FDR 수신단에서 케환 간섭 신호와 기저국으로부터 전송된 신호의 시간 동기의 불일치에 의해 발생하는 간섭이다. 신호대 시간 동기의 불일치로 인

해 발생하는 간섭의 비 (SISR; Signal-to- Interference due to Synchronization error Ratio; 다음과 같이 정의된다.

$$SISR = \frac{E\left(|\mathbf{Y}_1|^2\right)}{E\left(|\mathbf{Y}_3|^2\right)+E\left(|\mathbf{Y}_4|^2\right)} \quad (9)$$

III. FDR에서 동기화 절차 및 기법

본 장에서는 FDR에서 주파수 영역 케환 간섭 제거기를 사용하는 경우에 시간 동기 불일치에 의해서 발생하는 ISI와 ICI를 최소화하기 위한 동기화 절차와 기법을 제안한다.

그림 3은 FDR의 수신단에서 초기 동기화 과정, 하향링크에서 케환 간섭 신호 제거 과정, 상향링크에서 케환 간섭 신호를 제거하는 과정의 절차를 보여준다.

그림 3(a)는 FDR에 전원이 인가된 후 초기 동기화 과정을 보여준다. FDR은 기지국이 전송하는 하향링크 동기 신호를 이용하여 기지국과 FDR간의 시간 동기, 주파수 동기, 셀 탐색을 수행한다. 초기 동기가 완료되면, FFT 수행범위는 식 (3)과 같이 설정된다.

셀 탐색이 완료되면 FDR은 기지국에 초기 레인징 신호를 전송한다. 기지국은 FDR로부터 전송된 초기 레인징 신호를 이용하여 상향링크 전송을 위한 시간 동기, 전력 등을 추정하여 FDR에게 알려준다. 이 때부터 FDR의 수신단은 케환 간섭 신호와 기지국으로부터 전송된 신호를 동시에 수신한다. 케환 간섭 신호가 수신되기 시작하면, 낮은 신호대 케환 간섭 신호비(Signal-to-Feedback-Interference-Ratio; SFIR) 환경에 존재하는 FDR은 기지국과 FDR간의 전파 지연을 Tracking 할 수 없다. 따라서 FDR이 Tracking 과정을 수행하기 위해서는 케환 간섭 신호의 제거가 선행되어야 한다.

그림 3(b)는 하향링크에서 FFT를 수행하기 전인 시간영역 단계로서, FDR의 수신기에 수신된 케환 간섭 신호와 기지국으로부터 전송된 신호의 시간 동기의 불일치에 의한 간섭을 최소화하기 위해 FFT 수행구간을 재설정해야한다. 즉, OFDM 심볼의 직교성이 파괴되지 않도록 FFT 수행구간을 재설정해야한다. FDR은 하향링크 동기 신호를 이용하여 케환 간섭 신호 채널의 최대 지연 및 케환 간섭 신호의 전파 지연을 추정한다. 추정된 정보를 바탕으로

FFT 수행구간을 재설정된 후 FFT를 수행한다.

그림 3(c)는 하향링크 케환 간섭 신호 제거 과정을 보여준다. FDR의 케환 간섭 제거기에서 케환 간섭 채널을 추정된 후, 이를 이용하여 케환 간섭 신호를 생성한다. 생성된 케환 간섭 신호는 수신신호로부터 제거된다. 케환 간섭 신호가 제거된 수신신호는 하향링크 동기화를 위한 프리앰블 또는 데이터 신호로 구분되어 처리된다. FDR은 수신신호가 하향링크 동기 신호이면 이를 이용하여 심볼 타이밍 옵셋을 추정하고, 데이터 신호이면 복조화 과정을 수행한다. Tracking 과정을 통해 추정된 심볼 타이밍 옵셋은 FFT 수행범위 갱신부에 입력되어, FFT 수행구간이 재설정된다. 그림 3(b)와 (c)에 나타난 과정은 하향링크에서 매 프레임마다 반복적으로 이루어진다.

그림 3(d)는 상향링크에서 FFT를 수행하기 전인 시간영역 단계로서, FDR의 수신기에 수신된 케환 간섭 신호와 단말로부터 전송된 신호의 시간 동기의 불일치에 의한 간섭을 최소화하기 위해 FFT 수행구간을 재설정하는 과정을 보여준다. FDR은 상향링크 동기화를 위한 신호를 이용하여 케환 간섭 신호 채널의 최대 지연 및 전파 지연을 추정한다. 추정된 정보를 바탕으로 FFT 수행구간을 재설정하여 FFT를 수행한다.

그림 3(e)는 상향링크 케환 간섭 신호 제거 과정을 보여준다. FDR의 케환 간섭 제거기에서 케환 간섭 채널을 추정된 후, 이를 이용하여 케환 간섭 신호를 생성한다. 생성된 케환 간섭 신호는 수신신호로부터 제거된다. 케환 간섭 신호가 제거된 수신신호는 상향링크 동기화를 위한 신호(레인징, 파일럿) 또는 데이터 신호로 구분되어 처리된다. FDR은 수신신호가 상향링크 동기화를 위한 신호이면 Tracking을 수행하고, 데이터 신호이면 복조화 과정을 수행한다. Tracking 과정을 통해 추정된 심볼 타이밍 옵셋은 FFT 수행범위 갱신부에 입력되어, FFT 수행구간이 재설정된다.

FFT는 케환 신호에 의한 ISI와 ICI가 최소화되도록 수행되어야 한다. 즉, 다음과 같이 SISR이 최소화되는 구간에서 FFT를 수행한다.

$$\begin{aligned} & \underset{\tau_{FFT,d}}{\text{minimize}} (SISR) \\ & \text{subject to } \left[\frac{\tau_{m,b}}{T} \right] - N_g \leq \tau_{FFT,d} \leq 0 \end{aligned} \quad (10)$$

여기서, 제약조건은 복조해야하는 신호가 ISI이 발생하지 않도록 FFT가 수행될 수 있는 범위를 의미한다. FDR의 송신단과 수신단간 채널의 최대 지연은 다음과 같이 수신신호와 프리앰블의 상호상관 연산을 통해 추정할 수 있다.

$$q(n) = \left| \sum_{j=0}^{p-1} y_l[n+j] \cdot p_{RS}^*[j] \right|, \quad n = -\hat{\delta}_{b,r} - N_g, \dots, \leq 0 \quad (11)$$

$$\hat{\delta}_{r,r} = \arg \max_n (q(n))$$

여기서, p_{RS} , D , q , $\hat{\delta}_{r,r}$ 는 시간영역의 FDR 프리앰블 시퀀스, 상호상관 수행 윈도우의 크기, 연산된 상호상관 결과, FDR의 송신단과 수신단 사이의 전파 지연을 나타낸다.

상기 기술한 과정을 통해 획득한 $\frac{\tau_{m,b}}{T}$, $\frac{\tau_{m,r}}{T}$, $\hat{\delta}_{b,r}$, $\hat{\delta}_{r,r}$ 을 이용하여 SISR을 최소화 하기 위한 FFT의 수행 구간은 Synchronous 타입의 경우에 다음과 같은 범위를 갖는다.

$$\left[\frac{\tau_{m,b}}{T} - N_g + \tau_d \leq \hat{\tau}_{FFT,d} \leq -\left(\hat{\delta}_{b,r} - \hat{\delta}_{r,r} \right) \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} \tau_d = 0 \\ \tau_d = \left[\frac{\tau_{m,b} - \tau_{m,r}}{T} \right] + \hat{\delta}_{b,r} - \hat{\delta}_{r,r} \end{array} \right\} \text{if } \left[\frac{\tau_{m,b}}{T} \right] + \hat{\delta}_{b,r} \geq \left[\frac{\tau_{m,r}}{T} \right] + \hat{\delta}_{r,r}$$

$$\text{otherwise } \tau_d = \left[\frac{\tau_{m,b} - \tau_{m,r}}{T} \right] + \hat{\delta}_{b,r} - \hat{\delta}_{r,r} \quad (12)$$

여기서 $\hat{\tau}_{FFT,d}$ 는 SISR을 최소화하는 하향링크 FFT의 시작점을 나타낸다. 또한 Asynchronous 타입의 경우에 FFT 수행 구간은 다음과 같은 범위를 갖는다.

$$\left[\frac{\tau_{m,b}}{T} - N_g + \tau_d \leq \hat{\tau}_{FFT,d} \leq -(\tau_p) \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} \tau_d = 0, \tau_p = \left| \hat{\delta}_{b,r} - \hat{\delta}_{r,r} \right| \\ \tau_d = \left[\frac{\tau_{m,b} - \tau_{m,r}}{T} \right] + \hat{\delta}_{b,r} - \hat{\delta}_{r,r}, \tau_p = 0 \end{array} \right\} \text{if } \left[\frac{\tau_{m,b}}{T} \right] + \hat{\delta}_{b,r} \geq \left[\frac{\tau_{m,r}}{T} \right] + \hat{\delta}_{r,r}$$

$$\text{otherwise } \tau_d = \left[\frac{\tau_{m,b} - \tau_{m,r}}{T} \right] + \hat{\delta}_{b,r} - \hat{\delta}_{r,r}, \tau_p = 0 \quad (13)$$

식 (12)와 (13)에 주어진 $\hat{\delta}_{b,r}$ 는 Tracking 과정을 통해 갱신된다.

하향링크와 마찬가지로 상향링크 구간에서도 케환 간섭 신호에 의한 ISI와 ICI가 발생할 수 있다. 상향링크 구간동안 FDR 수신단에서는 단말이 전송하는 상향링크 신호가 모두 동일한 시각에 수신된다. 하지만, FDR은 기지국 수신단에서 시간 동기 불일치가 발생

하지 않도록 기지국으로부터 전송된 상향링크 제어 채널의 정보를 바탕으로 상향링크 신호를 전송한다. 이러한 경우 케환 간섭 신호는 단말들로부터 전송된 신호에 비해 앞서 FDR 수신단에 수신된다. 따라서 상향링크에서 발생하는 케환 간섭 신호의 제거 및 FFT 수행구간의 재설정 과정은 상기 설명한 하향링크 Synchronous에서의 과정과 동일하게 수행되며 다음과 같이 주어진다.

$$\left[\frac{\tau_{m,r}}{T} - N_g + \tau_u \leq \hat{\tau}_{FFT,u} \leq -\left(\hat{\delta}_{r,r} - \hat{\delta}_{m,r} \right) \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} \tau_u = 0 \\ \tau_u = \left[\frac{\tau_{m,r} - \tau_{m,m}}{T} \right] + \hat{\delta}_{r,r} - \hat{\delta}_{m,r} \end{array} \right\} \text{if } \left[\frac{\tau_{m,r}}{T} \right] + \hat{\delta}_{r,r} \geq \left[\frac{\tau_{m,m}}{T} \right] + \hat{\delta}_{m,r}$$

$$\text{otherwise } \tau_u = \left[\frac{\tau_{m,r} - \tau_{m,m}}{T} \right] + \hat{\delta}_{r,r} - \hat{\delta}_{m,r} \quad (14)$$

여기서, $\hat{\tau}_{FFT,u}$ 는 SISR을 최소화하는 상향링크 FFT의 시작점을 나타낸다.

IV. 모의 실험

본 장에서는 OFDM 기반 FDR을 위하여 제안된 동기화 기법의 BER 성능을 평가한다. 그림 4는 Synchronous 타입의 FDR에서 제안된 동기화 기법을 통해 케환 간섭 신호에 의한 ISI와 ICI를 최소화한 경우와 제안된 동기화 기법을 수행하지 않은 경우의 BER 성능을 보여준다. 모의 실험 환경으로 기지국과 FDR 수신단 사이는 ITU-R Ped A 채널, FDR의 송신단과 수신단 사이는 ITU-Ped B 채널, SFIR = -40-0dB, 잡음은 -20-10dB를 사용하였다. 반송파 주파수, FFT 사이즈, CP 사이즈, 부반송파 간격, 샘플링 주파수는 2GHz, 128 샘플, 1024 샘플, 9.77kHz, 10MHz를 사용하였다. 여기서, FDR 수신단에서 케환 간섭 신호가 기지국으로부터 전송된 신호에 비해 5 샘플 앞서 수신되는 상황을 가정하였다. 그림 4에 나타난 바와 같이 Synchronous 타입에서는 제안된 동기화 기법을 수행하지 않은 경우, (1+1) 번째 케환 간섭 심볼에 의한 ISI 및 ICI가 1 번째 심볼에 미치는 영향이 매우 커서 BER 성능이 크게 열화됨을 확인할 수 있다.

그림 5는 Asynchronous 타입의 FDR에서 제안된 동기화 기법을 통해 케환 간섭 신호에 의한 ISI와 ICI를 최소화한 경우와 제안된 동기화 기법을 수행하지 않은 경우의 BER 성능을 보여준다. 그림 5(a)는 채널 지연에 의해 (1-1) 번째 케환 간섭 심볼에 의한

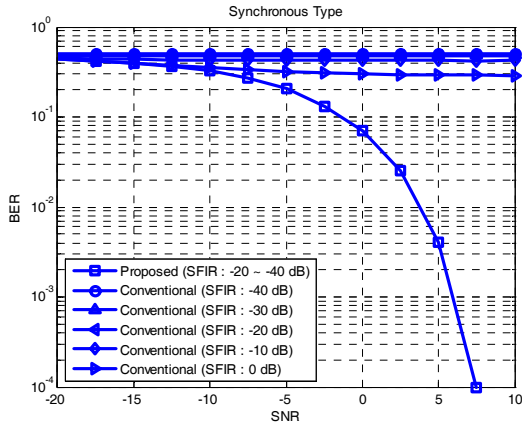
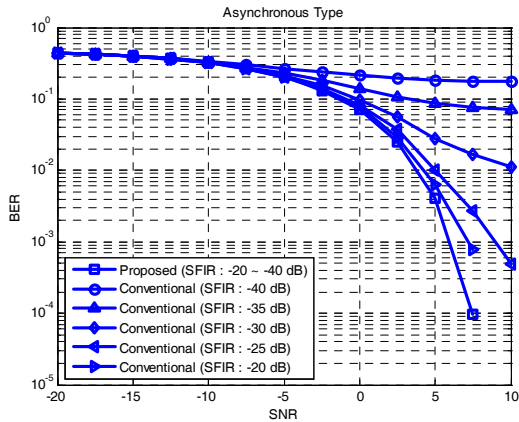
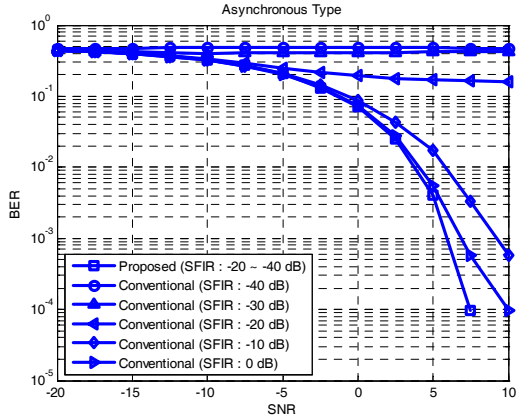


그림 4. Synchronous 타입의 FDR 성능



(a) 전 심볼에 의한 영향 (5 samples)



(b) 다음 심볼에 의한 영향 (1 sample)

그림 5. Asynchronous 타입의 FDR 성능

ISI 및 ICI가 1 번째 심볼에 미치는 간섭의 영향을 보여주고, 그림 5(b)는 (l+1) 번째 케환 간섭 심볼에 의한 간섭의 영향을 보여준다. 그림 5(a)에 나타난 바와

같이 FFT가 보호구간 내에서 시작하는 경우에도 불구하고 채널 지연의 영향에 따라 ISI 및 ICI가 발생하여 케환 신호의 제거가 원활히 이루어지지 않음을 확인할 수 있다. 그림 5(b)에 나타난 바와 같이 시간 동기 오차로 인해 (l+1) 번째 심볼에 의한 간섭이 존재하는 경우 그 간섭의 영향이 더욱 큰 것을 확인할 수 있다. 그림 4와 5를 비교하면, Synchronous 타입의 경우에는 Asynchronous 타입에 비해 케환 간섭 신호에 의한 ISI과 ICI가 더욱 크게 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 OFDM 기반의 FDR에서 케환 간섭 신호 제거 및 복조를 주파수 영역에서 수행하는 경우, 케환 간섭 신호와 기지국으로부터 전송된 신호의 시간동기 불일치로 인하여 발생하는 간섭의 영향을 분석하였다. 또한 시간동기 불일치 존재시 ISI 및 ICI가 발생하여 케환 간섭 신호의 채널 추정 성능이 열화되고 수신 신호에서 케환 간섭 신호가 원활히 제거되지 않음을 확인하였다. 이를 극복하기 위하여 본 논문에서는 OFDM 기반의 FDR에서 케환 간섭 신호를 고려한 동기화 절차 및 기법을 제안하였으며 모의 실험을 통해 성능을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] R. Pabst, et. al., "A Relay-Based Deployment Concepts for Wireless and Mobile Broadband Radio," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 42, pp. 80-89, Sept. 2004.
- [2] D.W. Bliss, P.A. Parker, and A.R. Margetts, "Simultaneous Transmission and Reception for Improved Wireless Network Performance," *IEEE Statistical Signal Processing'07*, pp. 478-482, Aug. 2007.
- [3] R1-081722, "LTE Advanced Technology," *3GPP TSG RAN WG1 #53*, Kansas, USA, May. 2008.
- [4] IEEE 802.16m-08/1274, "Support of STR Relaying in 802.16m," Oct. 2008.
- [5] W.-S. Hou and B.-S. Chen, "ICI Cancellation for OFDM Communication Systems in Time-varying Multipath Fading Channels," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 4, no. 5,

pp. 2100-2110, Sept. 2005.

- [6] J. M. Cioffi and A. C. Bingham, "A Data-driven Multitone Echo Canceller," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 42, pp. 2853 - 2869, Oct. 1994.
- [7] Shaoping Chen and Cuitao Zhu, "ICI and ISI Analysis and Mitigation for OFDM Systems with Insufficient Cyclic Prefix in Time-varying Channels," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 50, no. 1, pp. 78-83, Feb. 2004.
- [8] Y.-T. Lee, S. I. Park, H. M. Eum, J. H. Seo, and H. M. Kim, "A Design of Equalization Digital On-Channel Repeater for Single Frequency Network ATSC System," *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 53, no. 1, pp. 23-37, Mar. 2007.

유 현 일 (Hyun Il Yoo)

정회원



2005년 2월 중앙대학교 전자전 기공학부 졸업(학사)
2007년 2월 중앙대학교 전자전 기공학부 졸업(석사)
2007년 3월~현재 중앙대학교 전자전기공학부 박사과정
<관심분야> 디지털통신, 무선모

템, OFDM, Relay

우 경 수 (Kyung Soo Woo)

정회원



2004년 2월 중앙대학교 전자전 기공학부 졸업(학사)
2006년 2월 중앙대학교 전자전 기공학부 졸업(석사)
2006년 3월~현재 중앙대학교 전자전기공학부 박사과정
<관심분야> 디지털통신, 무선모

템, OFDM, Relay

박 창 환 (Chang Hwan Park)

정회원

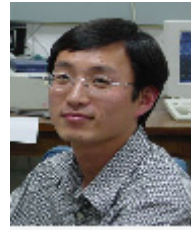


2005년 2월 중앙대학교 전자전 기공학부 졸업(학사)
2007년 2월 중앙대학교 전자전 기공학부 졸업(석사)
2007년 3월~현재 중앙대학교 전자전기공학부 박사과정
<관심분야> 디지털통신, 무선모

템, OFDM, MIMO

김 재 권 (Jae Kwon Kim)

중신회원



1995년 8월 중앙대학교 전기공학과 졸업
2000년 2월 중앙대학교 전기공학과 석사
2004년 5월 The University of Texas at Austin 공학박사
2004년 8월~2005년 8월 삼성중합기술연구원 4G 시스템 Lab

2005년 9월~현재 연세대학교 원주캠퍼스 컴퓨터 정보통신 공학부 교수
<관심분야> 디지털 통신, OFDM, MIMO, 실용적인 신호검출 기법

정 성 윤 (Sungyoon Jung)

정회원



2000년 2월 고려대학교 학사
2002년 8월 한국과학기술원 석사
2006년 8월 한국과학기술원 박사
2006년 3월~2009년 2월 삼성전자 DMC연구소 책임연구원
2009년 3월~현재 영남대학교 전자정보공학부 전임강사

<관심분야> OFDM, MIMO, Relay, Cooperative Communication, W-PAN (UWB, VLC)

조 용 수 (Yong Soo Cho)

중신회원



1984년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(학사)
1987년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(석사)
1991년 2월 The University of Texas at Austin 공학박사
1992년 3월~현재 중앙대학교 전자전기공학과 교수

2003년 8월~2007년 12월 TTA 휴대인터넷(와이브로) 프로젝트그룹 (PG302) 무선접속 실무반 의장
<관심분야> 4G 이동통신, OFDM/DMT 모뎀 설계, MIMO-OFDM 모뎀 설계