

3GPP LTE-Advanced 시스템에서 Type 1 relay의 셀 ID 검출을 위한 부분 전이중 relay 기법

준회원 민 영 일*, 정회원 장 준 희*, 종신회원 최 형 진*

The Partial Full Duplex Relay Scheme for Cell ID Detection of Type 1 Relay in 3GPP LTE-Advanced System

Young Il Min* *Associate Member*, Jun Hee Jang* *Regular Member*,
Hyung-Jin Choi* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 Type 1 relay를 이용하는 3GPP (3rd Generation Partnership Project) LTE (Long Term Evolution)-Advanced 시스템을 위한 부분 전이중 (partial full duplex) relay 기법을 제안한다. Type 1 relay는 백홀 링크 (backhaul link)와 액세스 링크 (access link)가 같은 대역을 이용하는 inband relay로 동시에 백홀 링크와 액세스 링크에서 송수신 하는 경우에 self-interference가 발생하여 수신 성능이 크게 열화되기 때문에 동시에 송수신할 수 없다. 이와 같은 특징 때문에 Type 1 relay는 eNB (evolved NodeB)가 동기 신호를 송신할 때, 자신에게 접속하고 있는 R-UE (Relay-User Equipment)에게 동기 신호를 송신해야 하는 특징에 의해서 eNB가 송신하는 동기 신호를 수신할 수 없어 셀 ID (Identity)를 검출할 수 없는 문제점을 갖는다. 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 eNB와 Type 1 relay가 동기 신호를 송신하는 subframe에서만 Type 1 relay가 동시에 송수신하는 부분 전이중 relay 기법을 제안한다. 또한, 동시에 Type 1 relay가 백홀 링크와 액세스 링크에서 송수신하여 발생하는 self-interference를 제거하기 위하여 Type 1 relay의 송수신 안테나 사이의 공간적 분리 (geometric isolation)와 SIC (Self-Interference Cancellation) 방식을 적용하고, SIC의 성능을 높이기 위한 정확한 채널 추정 방안으로 부분 채널 추정 (partial channel estimation) 기법을 제안하며, 다양한 환경에서의 성능 평가를 통해 제안된 방식이 Type 1 relay를 이용하는 3GPP LTE-Advanced 시스템에서 매우 유용한 것을 입증하였다.

Key Words : 3GPP LTE-Advanced, Relay, Type 1 relay, Partial full duplex, Self-interference cancellation

ABSTRACT

In this paper, we propose a partial full duplex relay scheme for 3GPP (3rd Generation Partnership Project) LTE (Long Term Evolution)-Advanced system using a Type 1 relay. The Type 1 relay as inband relay is prohibited to transmit and receive simultaneously because of self-interference. Therefore, the Type 1 relay cannot receive synchronization signals which are transmitted to eNB. To overcoming this problem, we propose the partial full duplex relay scheme which transmits to R-UE (Relay-User Equipment) and receives from eNB (evolved NodeB) simultaneously when eNB and the Type 1 relay transmit subframes which have synchronization signals. Additionally, for solving self-interference, the Type 1 relay transmitter and receiver antennas are sufficiently sufficiently isolated and self-interference cancellation is applied for the self-interference signal from

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-(C1090-1111-0005))

* 성균관대학교 정보통신공학부 통신시스템 연구실 ([bashaba, hellojih, hjchoi]@ece.skku.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-01-033, 접수일자 : 2011년 1월 12일, 최종논문접수일자 : 2011년 5월 31일

the relay transmitter. Thus, the partial full duplex relay scheme can receive synchronization signals from eNB and solve the problems of conventional solutions and we propose the partial channel estimation scheme for partial full duplex relay scheme using SCI. By extensive computer simulation, we verify that the partial full duplex relay scheme is attractive and suitable for the Type 1 relay system.

I. 서 론

최근에 높은 데이터 처리량을 요구하는 스마트폰과 태블릿 PC 등의 모바일 기기 보급이 급속하게 확산됨으로 인해 기하급수적으로 증가하고 있는 모바일 트래픽 (traffic)을 수용하기 위한 새로운 기술들의 필요성이 부각되고 있으며, 스펙트럼 효율을 높이는 기술, 더 많은 스펙트럼을 사용하는 기술, 그리고 단위 가입자 당 더 많은 셀을 설치하는 방법 등이 고려되고 있다. 그러나 셀을 증가시키는 방법은 초기 설치 비용 및 유지 비용이 많은 문제점을 가지고 있어 셀 설치 비용을 줄이기 위하여 무선으로 백홀 링크를 형성하는 relay가 해결 방안으로 3GPP LTE-Advanced 시스템에서 제안되었다. 이와 같은 relay는 높은 data rate을 갖는 커버리지 (coverage)를 확대시키고, 셀 전체의 throughput을 향상시키거나 셀 가장자리의 throughput을 향상시키며, 셀 커버리지를 확대시킬 수 있는 장점을 가지고 있다^[1,2].

3GPP LTE-Advanced 시스템에서 relay는 UE의 relay 존재 인식 여부에 따라 relay를 eNB처럼 인식하는 Type 1 relay와 인식할 수 없는 Type 2 relay로 구분하고 있다. 이 중 Type 1 relay는 eNB와 동일하게 독립적인 셀 ID를 갖고 자신의 기준 신호 (RS: Reference Signal)와 동기 신호 및 제어 (control) 신호를 R-UE에게 송신하며, R-UE의 스케줄링을 수행하고, HARQ (Hybrid Automatic Retransmission reQuest)를 R-UE와 직접 주고 받는 특징을 갖는다. 또한, Type 1 relay는 UE와 동일하게 eNB가 전송하는 동기 신호를 수신하여 eNB와 동기를 수행함으로써 백홀 링크를 이용한 정보의 교환이 가능해진다.

그러나 Type 1 relay는 백홀 링크와 액세스 링크가 같은 대역을 이용하는 inband relay로 동시에 백홀 링크와 액세스 링크에서 송수신 하는 경우에 self-interference가 발생하여 수신 성능이 크게 열화되기 때문에 동시에 송수신할 수 없는 제약이 있다. 이와 같은 특징 때문에 Type 1 relay는 eNB가 동기 신호를 할당된 subframe을 송신하는 타이밍에 자신에게 접속하고 있는 R-UE에게 동기 신호를 송신해야 하므로, eNB가 송신하는 동기 신호를 수신하지 못하는 문제점이 발생한다^[1,2]. 이 경우, Type 1 relay가 eNB에서

송신하는 동기 신호를 수신하지 못하면 Type 1 relay는 초기 셀 탐색을 수행하지 못하여 셀 ID를 검출할 수 없고, RS의 위치와 정보를 알 수 없어 이후 수행되는 데이터 복조를 위한 각종 동기 및 채널 추정등의 과정을 수행할 수 없는 문제점이 발생한다^[3,4].

Type 1 relay의 동기 신호 미수신 문제를 해결하기 위하여 3GPP RAN (Radio Access Network) 1에서 많은 연구가 이루어졌으며, 그 결과로 새로운 동기 신호를 이용하는 방식과 프레임 타이밍 오프셋을 이용하는 방식 등이 제안되었다. 새로운 동기 신호를 이용하는 방식은 백홀 subframe에 기존의 PSS (Primary Synchronization Signal) / SSS (Secondary Synchronization Signal)와 유사한 기능을 하는 Type 1 relay를 위한 새로운 동기 신호인 R-PSS (Relay-PSS) / R-SSS (Relay-SSS)를 송신하는 방식으로 가장 간단하게 생각할 수 있는 방안이지만 새로운 동기 신호의 정의가 필요하고, 새로운 동기 신호의 신호 처리 과정 및 새로운 동기 신호의 스케줄링 등에 의한 시스템 복잡도가 증가하며, 새로운 동기 신호 전송에 의한 데이터 전송률 감소 등의 문제점을 가지고 있다.

이런 문제점을 해결하기 위하여 제안된 프레임 타이밍 오프셋을 이용하는 방식은 eNB와 Type 1 relay의 프레임 타이밍에 subframe 단위의 오프셋을 적용하여 Type 1 relay가 백홀 subframe을 할당할 수 있는 타이밍에 eNB가 동기 신호를 송신하는 subframe과 타이밍을 맞추는 방식으로 Type 1 relay가 동기 신호를 수신하지 못하는 문제점을 해결할 수 있다. 그러나 프레임 타이밍 오프셋을 이용하는 방식은 TDD (Time Division Duplex) 모드에서 요구하는 global 동기를 지원하지 않기 때문에 TDD 모드에서 사용될 수 없고, FDD (Frequency Division Duplex) 모드에서도 global 동기를 지원하여 이용할 수 있는 CoMP (Coordinated Multi-Point transmission/reception)와 OTDOA (Observed Time Difference Of Arrival)를 이용할 수 없는 등 여전히 많은 문제점을 갖는다^[5,6].

따라서 본 논문에서는 Type 1 relay가 동기 신호를 수신할 수 없는 문제점과 기존 해결 방식들의 문제점을 해결할 수 있는 부분 전이중 relay 방식을 제안한다. 제안하는 부분 전이중 relay 방식은 eNB와 Type 1 relay가 동기 신호를 송신하는 subframe에서만

Type 1 relay가 송수신을 동시에 수행하여 eNB가 송신하는 동기 신호를 수신한다. 이와 같은 방법으로 부분 전이중 relay 방식은 Type 1 relay가 동기 신호를 수신할 수 없는 문제점을 해결할 수 있으며, 기존 해결 방안들의 문제점을 해결할 수 있다. 그러나 제안하는 부분 전이중 relay 방식은 동기 신호를 수신하기 위하여 백홀 링크와 액세스 링크를 동시에 송수신하므로 inband relay의 특징에 의해서 발생하는 self-interference로 인하여 수신 복조 성능이 열화되어 동기 신호를 정확하게 검출할 수 없는 문제점이 발생한다. 이 문제점을 해결하기 위해 부분 전이중 relay 방식은 송수신 안테나의 공간적 이격을 이용하여 self-interference의 발생을 최소화하고 SIC를 이용하여 해결할 수 있으며, SIC는 채널 추정이 정확할수록 성능이 우수하므로 필요한 채널 정보는 정확한 채널 추정을 위해 제안하는 부분 채널 추정 방식을 이용하여 수행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 3GPP LTE-Advanced 시스템의 프레임 구조 및 초기 셀 탐색 과정, 그리고 Type 1 relay 시스템에 대하여 기술하였으며, III장에서는 Type 1 relay가 동기 신호를 수신하지 못하는 문제점을 해결하기 위한 기존 해결방안에 대한 설명과 기존 해결 방안의 문제점을 서술한다. IV장에서는 제안하는 방식에 대한 설명을 통해 제안된 방식의 우수성을 보이고, V장에서 컴퓨터 시뮬레이션 결과로 제안하는 방식의 우수성을 입증하며, 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

2.1 3GPP LTE-Advanced 시스템의 프레임 구조

3GPP LTE-Advanced 시스템은 10ms의 무선 프레임으로 구성되고, 하나의 프레임은 10개의 1ms subframe으로 구성되며, 하나의 subframe은 두 개의 0.5ms slot으로 구성된다. 프레임 구조는 FDD 모드와

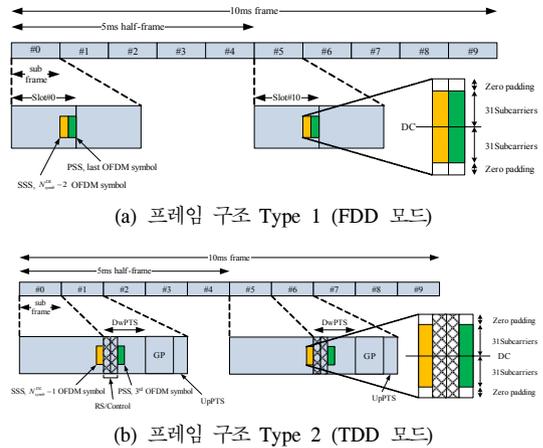


그림 1. 3GPP LTE-Advanced 시스템의 프레임 구조

TDD 모드를 지원한다. FDD 모드의 프레임 구조는 아래 그림 1 (a)와 같으며, PSS는 #0, #10 slot의 마지막 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 심볼에 할당되고, SSS는 PSS가 할당된 이전의 인접한 OFDM 심볼에 할당된다. TDD 모드의 프레임 구조는 아래 그림 1 (b)와 같으며, SSS는 #1, #11 slot의 마지막 OFDM 심볼에 할당되며 PSS는 #2, #12 slot의 3번째 OFDM 심볼에 할당된다³⁾.

TDD 모드에서는 상향링크 (uplink)와 하향링크 (downlink)의 데이터 양을 고려하여 표 1과 같은 7 가지 경우의 uplink-downlink configuration을 설정하였다³⁾. 여기서 “D”는 하향링크 subframe을 의미하고, “U”는 상향링크 subframe을 의미하며, “S”는 special subframe을 의미한다.

2.2 초기 셀 탐색 과정

3GPP LTE-Advanced 시스템에서 초기 셀 탐색은 UE가 셀에 접속하기 위한 초기 프레임 및 주파수 동기, 셀 ID 검출, CP type 검출 등의 단계를 포함하며, UE가 가장 먼저 수행하는 과정이다. 그 중에서 셀 ID를 검출하는 과정은 RS가 배치되어 있는 위치 정보와

표 1. Uplink-downlink configuration

Uplink-downlink configuration	Downlink-to-Uplink Switch-point periodicity	Subframe number									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

RS 값을 파악하여 채널 추정을 수행 가능하게 하며, 마스킹 정보를 파악하여 마스킹을 제거하는 과정을 위해 반드시 필요한 과정이다. 3GPP LTE-Advanced 시스템에서는 504 개의 physical-layer cell ID N_{ID}^{cell} 를 가지고 있고, 식 (1)과 같이 168 개의 physical-layer cell ID group $N_{ID}^{(1)}$ 과 3개의 physical-layer ID $N_{ID}^{(2)}$ 로 구성된다^{3,4)}.

$$N_{ID}^{cell} = 3N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)} \begin{cases} 0 \leq N_{ID}^{(1)} \leq 167 \\ 0 \leq N_{ID}^{(2)} \leq 2 \end{cases} \quad (1)$$

초기 셀 탐색은 기본적으로 PSS와 SSS를 이용하여 수행되며, 초기 셀 탐색 과정은 그림 2에 나타났다. 먼저, 1단계에서는 PSS를 이용한 초기 프레임 동기화를 통해 5ms 타이밍 정보를 획득하며, 이와 동시에 3종류의 PSS로부터 현재 UE가 위치하고 있는가 결정된다. 2단계에서는 SSS 검출을 통해 168종류의 $N_{ID}^{(1)}$ 와 CP type을 검출한다. 프레임 내에서 PSS는 5ms를 주기로 동일한 신호가 반복적으로 전송되지만 SSS는 10ms를 주기를 가지며, 5ms마다 2개의 binary sequence를 서로 교환하여 전송한다. 이와 같은 초기 셀 탐색 과정을 통하여 PSS와 SSS 검출이 이루어지며, PSS와 SSS 검출을 통해서 N_{ID}^{cell} 를 검출할 수 있다^[7-10].

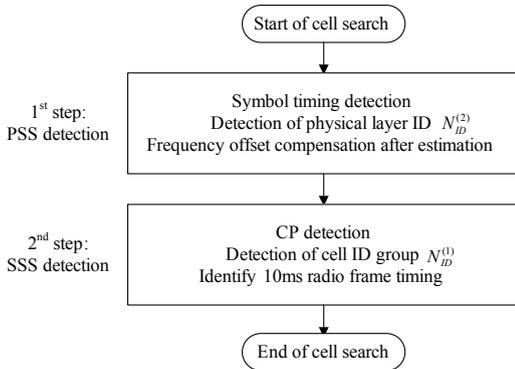


그림 2. 초기 셀 탐색 과정

2.3 Type 1 relay 시스템

3GPP LTE-Advanced에서는 높은 data rate을 갖는 커버리지를 확대시키고, 셀 전체의 throughput을 향상시키거나 셀 가장자리의 throughput을 향상시키며, 셀 커버리지를 확대시키기 위해 Type 1 relay를 사용하며, Type 1 relay를 사용하는 시스템은 그림 3에 나타

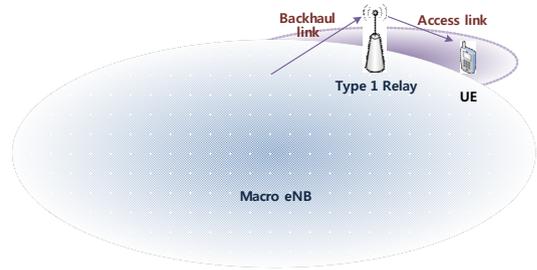


그림 3. Type 1 relay 시스템

났다^{1,2)}.

Type 1 relay는 inband relay로 백홀 링크와 액세스 링크에 같은 대역을 이용한다. 따라서, 그림 4와 같이 Type 1 relay가 백홀 링크와 액세스 링크를 동시에 송수신하는 경우에 self-interference에 대한 영향으로 수신 신호가 열화되는 문제점이 발생하며, 동시에 백홀 링크와 액세스 링크를 송수신하는 경우의 Type 1 relay에 수신 신호는 식 (2)와 같다.

$$Y_{RN}^{N_s}[k] = H_{eNB-RN}^{N_s}[k]X_{eNB}^{N_s}[k] + H_{RN-RN}^{N_s}[k]X_{RN}^{N_s}[k] + W[k] \quad (2)$$

여기서 N_s 는 subframe index를 의미하고, k 는 주파수 영역 부반송파 index를 의미하며, $H_{eNB-RN}^{N_s}[k]$ 는 eNB와 RN 사이 채널의 채널 주파수 응답 (CFR: Channel Frequency Response)을 의미하고, $X_{eNB}^{N_s}[k]$ 는 eNB의 송신 신호를 의미한다. 또한, $H_{RN-RN}^{N_s}[k]X_{RN}^{N_s}[k]$ 는 self-interference 성분으로 $H_{RN-RN}^{N_s}[k]$ 는 RN의 송수신 안테나 사이 채널의 CFR을 의미하고, $X_{RN}^{N_s}[k]$ 는 Type 1 relay의 송신 신호를 의미하며, $W[k]$ 는 가산 백색 가우시안 잡음 (AWGN: Additive White Gaussian Noise)을 의미한다. 식 (2)의 수신 신호를 보면 원하는 신호와 잡음 성분뿐만 아니라 간섭 성분이 존재하는 것을 확인할 수 있으며, 특히 이 간섭 성분은 Type 1 relay가 동시에 백홀 링크와 액세스 링크를 송수신하여 발생하는 self-interference 성분으로 높

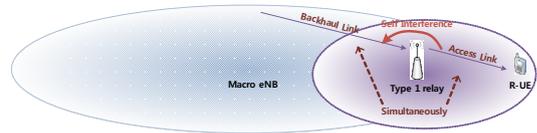


그림 4. Type 1 relay의 동시 송수신에 따른 self-interference 발생 문제

은 전력으로 인해서 수신 신호 복조 성능에 심각한 열화가 발생한다. 따라서 self-interference에 의한 수신 신호의 복조 성능 열화의 발생을 방지하기 위하여 Type 1 relay는 동시에 백홀 링크와 액세스 링크를 송수신하는 것이 허용되지 않는다.

또한, Type 1 relay는 UE와 동일하게 eNB와 백홀 링크를 이용한 정보의 교환을 위하여 eNB에서 송신하는 동기 신호를 수신하여 동기를 수행해야 하며, Type 1 relay도 자신에게 접속하고 있는 R-UE에게 반드시 동기 신호를 전송해야 한다. 그러나 Type 1 relay가 동시에 백홀 링크와 액세스 링크를 송수신할 수 없는 특징으로 인해 Type 1 relay는 eNB에서 송신되는 동기 신호를 수신하며 동시에 R-UE에게 동기 신호를 송신할 수 없다. 따라서 Type 1 relay는 eNB에서 송신되는 동기 신호를 수신할 수 없어 셀 탐색 과정을 수행하지 못하여 셀 ID를 검출할 수 없는 문제점이 발생하며, 그림 5는 Type 1 relay가 동기 신호를 수신할 수 없는 문제점이 나타난다.

따라서 Type 1 relay를 사용하기 위해 eNB가 송신하는 동기 신호를 수신할 수 없는 문제점의 해결이 요구된다.

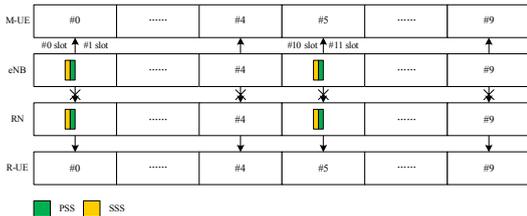


그림 5. Type 1 relay의 동기 신호 미수신 문제

III. 기존 해결 방안

Type 1 relay가 동기 신호를 수신할 수 없는 문제점을 해결하기 위해서 3GPP RAN 1에서 많은 연구가 이루어지고 있으며, 그 결과로 새로운 동기 신호를 이용하는 기법과 프레임 타이밍 오프셋을 이용하는 기법이 제안되었다. 이 장에서는 기존 제안 방식인 새로운 동기 신호를 이용하는 기법과 프레임 타이밍 오프셋을 이용하는 기법의 특징과 문제점에 대해서 알아 본다.

3.1 새로운 동기 신호 이용 기법

새로운 동기 신호를 이용하는 방식은 기존 제안 방식 중에 가장 먼저 제안되었으며, 백홀 링크 subframe

에 relay를 위한 동기 신호인 R-PSS와 R-SSS를 송신하여 Type 1 relay가 동기 신호를 수신할 수 없는 문제점을 해결한다. 이와 같이 백홀 링크에 R-PSS와 R-SSS를 전송하여 Type 1 relay가 동기 신호를 수신할 수 있는 새로운 동기 신호 이용 기법은 그림 6에 나타냈다^{5,6)}.

새로운 동기 신호 이용 기법의 가장 큰 장점은 가장 간단하게 Type 1 relay가 동기 신호를 수신하지 못하는 문제점을 해결할 수 있는 것이지만, 새로운 동기 신호의 정의가 필요한 것과 새로운 동기 신호를 이용한 추가적인 동기 과정 및 새로운 동기 신호의 전송과 관련된 스케줄링이 필요해 시스템 복잡도가 증가하고 추가적인 동기 신호 전송으로 인하여 데이터 전송 효율이 감소하는 단점이 있다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결할 수 있는 새로운 기법이 요구된다^{5,6)}.

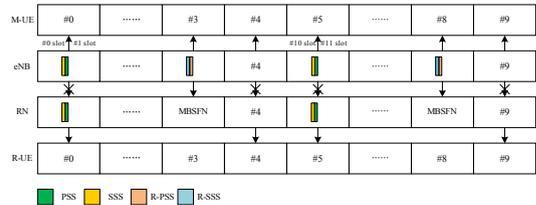


그림 6. 새로운 동기 신호를 이용하는 기존 해결 방안

3.2 프레임 타이밍 오프셋 기법

프레임 타이밍 오프셋을 이용하는 방식은 새로운 동기 신호 이용 기법이 새로운 동기 신호의 정의가 필요하고, 새로운 동기 신호를 이용한 추가적인 동기 과정 및 새로운 동기 신호의 전송과 관련된 스케줄링으로 인한 시스템 복잡도가 증가하는 문제점을 해결하고, Type 1 relay가 동기 신호를 수신할 수 있도록 RN과 R-UE의 프레임 타이밍을 eNB의 프레임 타이밍과 어긋나게 하여 relay의 백홀 subframe과 eNB가 동기 신호를 송신하는 subframe의 타이밍을 동일하게 하여 Type 1 relay가 동기 신호를 수신할 수 있도록 하는 방안이다. 이와 같이 프레임 타이밍 오프셋을 이용하는 기법은 그림 7에 나타냈다⁵⁾.

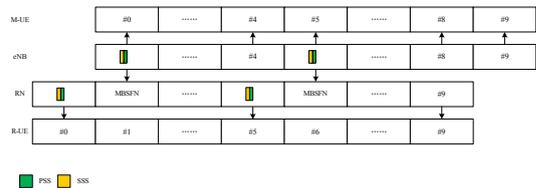


그림 7. 프레임 타이밍 오프셋을 이용하는 기존 해결 방안

이 방식의 가장 큰 장점은 새로운 동기 신호의 정
의가 필요하지 않고 추가적인 시스템 복잡도가 증가
하지 않는 것이지만, eNB와 relay의 프레임 타이밍이
일치하는 global 동기를 지원하지 않는 문제점이 있
다. Global 동기는 TDD 모드에서는 기본적으로 지원
해야 할 조건으로 결정되었으며, FDD 모드에서도
CoMP, OTDOA와 같은 기술을 이용하기 위하여 필
요하다. 또한, global 동기를 맞추지 않을 경우에 다른
relay들 간의 추가적인 간섭이 발생하게 된다. 따라서
Type 1 relay가 동기 신호를 수신하지 못하는 문제점
을 해결함과 동시에 기존의 해결 방안들이 가지고 있
는 여러 가지 문제점들을 해결할 수 있는 새로운 방안
이 요구된다^[5].

IV. 제안하는 부분 전이중 relay 기법

Type 1 relay가 동기 신호를 수신할 수 없는 문제
점을 해결하기 위한 기존의 해결 방안들은 시스템의
복잡도가 증가하고 데이터 전송 효율이 감소하거나
global 동기를 지원할 수 없어 CoMP 및 OTDOA와
같은 기법을 이용할 수 없는 문제점을 가지고 있다.
따라서 본 논문에서는 Type 1 relay가 동기 신호를 수
신할 수 없는 문제점과 기존의 해결 방안들이 가지고
있는 문제점을 해결할 수 있는 부분 전이중 relay 기
법 및 부분 전이중 relay 기법을 위한 채널 추정 방안
을 제안한다.

4.1 부분 전이중 relay 기법

제안하는 부분 전이중 relay 기법은 동기 신호가 할
당되어있는 subframe을 eNB와 Type 1 relay가 전송
할 때, Type 1 relay는 동시에 백홀 링크와 액세스 링
크의 송수신을 수행하여, R-UE에게 동기 신호를 송신
하고 eNB로부터 송신되는 동기 신호를 수신한다. 이
와 같은 방법을 이용하여 Type 1 relay는 eNB가 송신
하는 동기 신호를 수신할 수 있으며, 그림 8은 부분
전이중 relay 기법을 이용하여 동기 신호를 수신하는

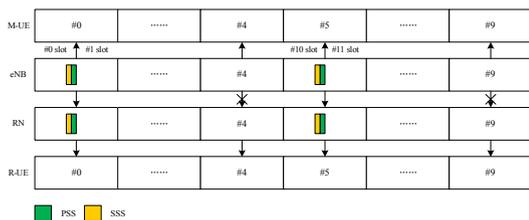


그림 8. 부분 전이중 relay 방식의 동기 신호 수신 과정 (FDD모드)

과정을 나타낸다.

그러나 Type 1 relay는 inband relay로 백홀 링크와
액세스 링크가 같은 대역을 사용하기 때문에 부분 전
이중 relay 기법은 self-interference에 의해서 셀 ID
검출 성능이 크게 열화되는 문제점을 갖는다. 이와 같은
문제점을 해결하기 위해서 부분 전이중 relay 기법은 송
수신 안테나를 공간적으로 분리시켜 self-interference의
발생을 최소화하고, 다음으로 SIC를 이용하여 발생한
self-interference를 제거한다.

이와 같은 SIC 과정은 식 (3)과 같으며, 간섭 신호
의 $X_{RN}^{Ns}[k]$ 는 알고 있는 값이므로 모든 subframe에서
채널을 정확하게 추정할 수 있다면 SIC를 통하여
self-interference를 완전하게 제거할 수 있기 때문에
SIC를 수행한 신호에는 self-interference 성분이 남아
있지 않은 것을 확인할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Y_{RN}^{Ns}[k] &= H_{eNB-RN}^{Ns}[k]X_{eNB}^{Ns}[k] + H_{RN-RN}^{Ns}[k]X_{RN}^{Ns}[k] + M[k] \\
 &\quad - \hat{H}_{RN-RN}^{Ns}[k]X_{RN}^{Ns}[k] \\
 &= H_{eNB-RN}^{Ns}[k]X_{eNB}^{Ns}[k] + M[k], \text{ if } H_{RN-RN}^{Ns}[k] = \hat{H}_{RN-RN}^{Ns}[k]
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

여기서 $\hat{H}_{RN-RN}^{Ns}[k]$ 는 Type 1 relay의 송수신 안테
나 사이에 CFR을 의미한다. 이와 같이 식 (3)을 통하
여 채널 추정 성능에 따라 SIC의 성능이 결정되는 것
을 확인할 수 있다.

그림 9는 모든 subframe에서 이상적인 채널 추정을
고려하여 SIC를 수행하지 않은 경우와 SIC를 수행한
경우의 SIR (Signal-to- Interference Ratio)에 따른
DER (Detection Error Rate) 성능의 그래프이다.

위의 그림을 보면 알 수 있듯이 채널 추정이 모든
subframe에서 정확하게 이루어지는 경우에는 SIC를
이용하여 완벽하게 self-interference 성분을 제거할 수

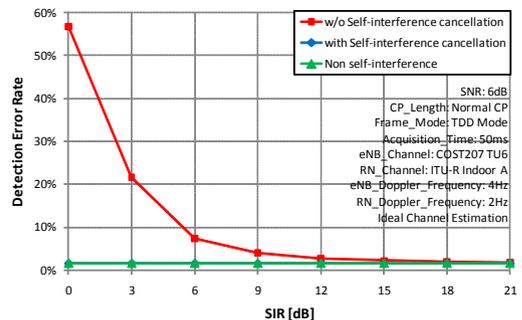


그림 9. SIR에 따른 부분 전이중 relay 방식의 DER (Ideal 채널 추정 고려)

있어서 SIR에 관계없이 self-interference가 없는 환경과 동일한 DER 성능을 갖는 것을 확인할 수 있고, SIC를 적용하지 않은 경우에는 약 SIR=21dB에서 self-interference가 없는 환경과 동일한 DER 성능을 갖는 것을 확인할 수 있다.

그러나 Type 1 relay를 이용하는 LTE-Advanced 시스템에서는 SIC의 수행이 요구되는 subframe에서 eNB에서 송신하는 동기 신호의 수신으로 인하여 송신 안테나와 수신 안테나 사이의 채널을 정확하게 추정할 수 없다. 또한, FDD 모드인 경우에는 {#0, #4, #5, #9} subframe에서, TDD 모드인 경우에는 {#0, #1, #5, #6} subframe에서 동기 신호, PBCH (Physical Broadcast CHannel) 및 PCH (Paging CHannel)를 수신해야 하며, 백홀 하향링크 subframe도 백홀 링크 신호의 수신으로 인하여 정확한 채널 추정이 불가능하다. 이와 같이 제안하는 부분 전이중 relay 기법은 SIC가 수행되는 subframe에서 채널 추정의 문제점으로 인하여 SIC 성능 열화로 인한 셀 ID 검출 성능이 열화되는 문제점을 해결하기 위해, 본 논문에서는 채널 추정의 정확성을 높일 수 있는 부분 전이중 relay를 위한 채널 추정 기법을 제안한다.

4.2 부분 채널 추정

4.2.1 FDD 모드

FDD 모드에서는 {#0, #4, #5, #9} subframe에서 Type 1 relay는 자신에게 접속하고 있는 R-UE에게 동기 신호, PBCH 및 PCH를 송신해야 하며, eNB로부터 동기 신호, PBCH, PCH를 수신해야 한다. 따라서 Type 1 relay의 송수신 안테나 채널에 채널 추정을 위하여 자신이 송신하는 신호를 수신하는 경우에 eNB에서 송신하는 신호의 영향으로 정확한 채널 추정을 수행할 수 없으며, 백홀 하향링크 subframe에서도 eNB로부터 신호를 수신하기 때문에 정확한 채널 추정을 수행할 수 없다. 곧, 정확한 채널 추정을 수행하기 위해서는 위의 두 가지 조건에 속하지 않는 subframe에서 채널 추정을 수행해야 하며 그림 10은

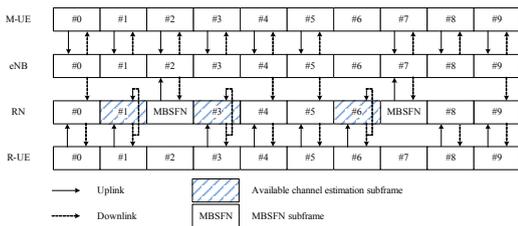


그림 10. FDD 모드에서 채널 추정이 가능한 subframe

FDD 모드인 경우에 채널 추정이 가능한 subframe을 나타낸다.

위와 같이 채널 추정이 가능한 subframe에서 Type 1 relay는 자신이 송신하는 신호를 수신하여 채널 추정을 수행하고, 이 과정에서 얻은 채널 정보를 이용하여 동기 신호를 수신하는 subframe에서 SIC를 수행하며, 그 과정은 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned}
 Y_{RN}^{N_s}[k] &= H_{eNB-RN}^{N_s}[k]X_{eNB}^{N_s}[k] + H_{RN-RN}^{N_s}[k]X_{RN}^{N_s}[k] + W[k] \\
 &\quad - \hat{H}_{RN-RN}^{N_s}[k]X_{RN}^{N_s}[k] \\
 &= H_{eNB-RN}^{N_s}[k]X_{eNB}^{N_s}[k] + W[k] + \Delta_{FDD}
 \end{aligned}$$

(4)

여기서 N'_s 는 채널 추정이 수행되는 subframe index를 의미하고, Δ_{FDD} 는 FDD 모드에서 SIC 과정 후에 남아있는 잔류 self-interference를 의미한다. 따라서, Δ_{FDD} 에 의존한 셀 ID 검출 성능의 열화를 줄이기 위해, SIC가 수행되는 subframe에서 가장 근접한 subframe의 채널 추정 정보를 이용하는 제안하는 부분 채널 추정 방식을 통해 정확한 채널 추정을 수행하여 Δ_{FDD} 를 줄일 수 있다.

4.2.2 TDD 모드

TDD 모드에서는 {#0, #1, #5, #6} subframe에서 Type 1 relay는 자신에게 접속하고 있는 R-UE에게 동기 신호를 송신해야만 하고 eNB로부터 송신되는 동기 신호, PBCH 및 PCH를 수신해야 하기 때문에 eNB에서 송신되는 신호의 영향으로 정확한 채널 추정을 수행할 수 없으며, 백홀 하향링크 subframe에서도 Type 1 relay는 eNB로부터 신호를 수신하기 때문에 정확한 채널 추정을 수행할 수 없다. 또한, eNB가 하향 링크 subframe이라면 Type 1 relay가 채널 추정을 위하여 자신이 송신한 신호를 수신할 때 간섭 신호로 영향을 주므로 곧, 정확한 채널 추정을 수행하기 위해서는 위의 세 가지 조건에 속하지 않는, eNB는 상향링크 subframe으로 할당되고 Type 1 relay는 하향링크 subframe으로 할당되는 subframe에서만 채널 추정이 가능하며, 그림 11은 TDD 모드인 경우에 채널 추정이 가능한 subframe을 나타낸다.

위와 같이 채널 추정이 가능한 subframe에서 Type 1 relay는 자신이 송신하는 신호를 수신하여 채널 추정을 수행하고, 이 과정에서 얻은 채널 정보를 이용하

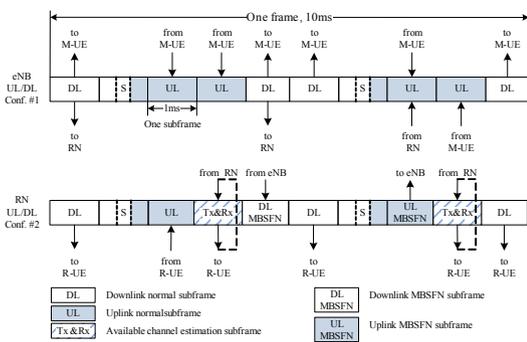


그림 11. TDD 모드에서 채널 추정이 가능한 subframe

여 동기 신호를 수신하는 subframe에서 SIC를 수행하며, 그 과정은 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned}
 Y_{RN}^{N_s}[k] &= H_{eNB-RN}^{N_s}[k]X_{eNB}^{N_s}[k] + H_{RN-RN'}^{N_s}[k]X_{RN}^{N_s}[k] + W[k] \\
 &\quad - \hat{H}_{RN-RN'}^{N_s}[k]X_{RN}^{N_s}[k] \\
 &= H_{eNB-RN'}^{N_s}[k]X_{eNB}^{N_s}[k] + W[k] + \Delta_{TDD}
 \end{aligned}$$

where $\begin{cases} N_s' = 3, & \text{if } N_s = 0, 1 \\ N_s' = 8, & \text{if } N_s = 5, 6 \end{cases}$

(5)

여기서 Δ_{TDD} 는 TDD 모드에서 SIC 과정 후에 남아있는 잔류 self-interference를 의미한다. 따라서, Δ_{TDD} 에 의해서 셀 ID 검출 성능은 열화되는 것을 줄이기 위하여, SIC가 수행되는 subframe에서 가장 근접한 subframe의 채널 추정 정보를 이용하는 제안하는 부분 채널 추정 방식을 통해 정확한 채널 추정을 수행하여 Δ_{TDD} 를 줄일 수 있다.

V. 컴퓨터 모의실험 및 결과

본 장에서는 제안하는 부분 전이중 relay 기법의 셀 ID 검출 오류 확률의 성능 결과를 분석하였으며, SIC 기법을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우, 그리고 self-interference가 없는 경우의 셀 ID 검출 성능 비교를 위해 적용된 파라미터를 표 2에 정리하였다. 다중 경로 페이딩 채널과 각각의 링크에 특성을 적용하기 위하여 eNB-RN 링크에는 COST (European Cooperation in the field Of Scientific and Technical research) 207 TU (Typical Urban) 6 채널을 사용하고, RN-RN' 링크에는 ITU-R (International Telecommunication Union-Radio communication sector) Indoor A 채널을 사용하였으며, 준 정적

표 2. 주요 시스템 파라미터

Parameter	Values
Carrier frequency	2.6 GHz
Bandwidth	10 MHz
Sampling frequency	15.36 MHz
Number of subcarriers	1024
Number of occupied subcarrier	601
eNB Uplink-downlink configuration	#1
RN Uplink-downlink configuration	#2
Guard interval type	Normal cyclic prefix
Subcarrier spacing	15 KHz
SNR	6dB
eNB-RN' link channel environment	COST 207 TU6
RN-RN' link channel environment	ITU-R Indoor A
eNB-RN' link Doppler frequency	4 Hz
RN-RN' link Doppler frequency	2 Hz

(quasi-static) 채널 환경을 구현하기 위하여 eNB-RN 링크에는 4Hz의 도플러 주파수를 고려하고, RN-RN' 링크에는 2Hz의 도플러 주파수를 고려하였다. 또한, 프레임 구조는 제안하는 부분 전이중 relay 기법이 열악한 환경에서도 좋은 성능을 갖는 것을 입증하기 위하여 FDD 모드 대신에 채널 추정 구조상 채널 추정 성능 열화가 큰 TDD 모드를 고려하였다. 적용된 주요 시스템 파라미터는 3GPP LTE-Advanced 규격 및 관련 기고문들을 참조하였다.

그림 12는 SNR (Signal-to-Noise Ratio)=6dB이고 포착 시간이 100ms일 때, SIC 기법을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우, 그리고 self-interference가 없는 경우의 SIR에 따른 셀 ID 검출 성능을 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 SIC를 사용하지 않는 경우에는 SIR=21dB에서 self-interference가 없는 경우와 유사한 셀 ID 검출 DER 성능을 갖지만, 제안하는 SIC를 적용한 경우에는 SIR=6dB에서 self-interference가 없는 경우와 유사한 셀 ID 검출 DER 성능을 갖는 것

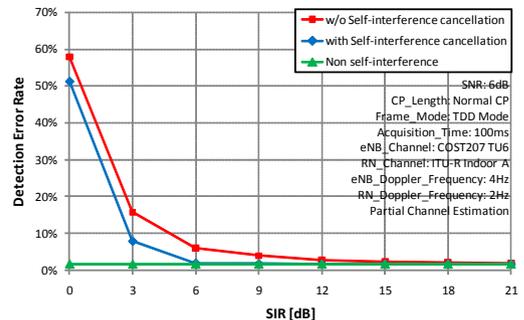


그림 12. SIR에 따른 부분 전이중 relay 방식의 DER (부분 채널 추정 고려)

을 확인할 수 있다. 곧, 제안하는 부분 전이중 relay 기법과 제안하는 부분 채널 추정 방식을 이용하여 실제 LTE-Advanced 시스템에서 Type 1 relay가 동기 신호를 수신하지 못하는 문제점을 해결하기 위한 기법으로 사용하기에 우수한 것을 확인할 수 있다.

그림 13은 SNR=6dB이고 SIR=10dB 일 때, SIC 기법을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우, 그리고 self-interference가 없는 경우의 포착 시간에 따른 셀 ID 검출 성능을 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 SIC를 사용하지 않는 경우에는 포착 시간이 길어져도 self-interference가 없는 경우와 유사한 셀 ID 검출 DER 성능을 얻을 수 없지만 제안하는 SIC를 적용한 경우에는 포착 시간 100ms에서 self-interference가 없는 경우와 유사한 셀 ID 검출 DER 성능을 갖는 것을 확인할 수 있다. 곧, 제안하는 부분 전이중 relay 기법과 제안하는 부분 채널 추정 방식을 이용하여 실제 LTE-Advanced 시스템에서 Type 1 relay가 동기 신호를 수신하지 못하는 문제점을 해결하기 위한 기법으로 사용하기에 우수한 것을 확인할 수 있다.

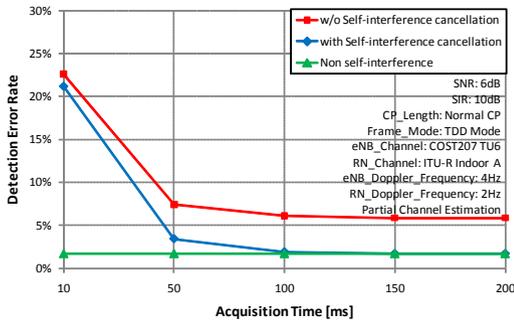


그림 13. 포착 시간에 따른 부분 전이중 relay 방식의 DER (부분 채널 추정 고려)

VI. 결 론

본 논문에서는 3GPP LTE-Advanced 시스템에서 Type 1 relay가 동기 신호를 수신할 수 없는 문제점을 해결하기 위한 부분 전이중 relay 기법 및 부분 전이중 relay 기법을 위한 부분 채널 추정 방식을 제안하였다. 제안된 방식은 Type 1 relay가 동기 신호가 송신되는 subframe에서 동시에 송수신하고 여기서 발생하는 self-interference는 SIC를 이용해 제거하여 eNB가 송신하는 동기 신호를 수신할 수 있을 뿐만 아니라, 새로운 동기 신호의 사용이 필요하지 않으며, global synchronization을 지원할 수 있는 기존의 해결

방안의 문제점까지 해결할 수 있는 방식으로, 다양한 환경에서의 성능 비교 분석을 바탕으로 제안된 방식을 통해 Type 1 relay가 동기 신호를 수신할 수 없는 문제점을 해결할 수 있음을 입증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 3GPP TS 36.814 V9.0.0, "Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects," www.3gpp.org, Mar. 2010.
- [2] 3GPP TS 36.912 V9.3.0, "Feasibility study for further advancements for E-UTRA (LTE-Advanced)," www.3gpp.org, Jun. 2010.
- [3] 3GPP TS 36.211 V10.0.0, "Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); physical channels and modulation," www.3gpp.org, Dec. 2010.
- [4] 3GPP TS 36.212 V10.0.0, "Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); physical channels and modulation," www.3gpp.org, Dec. 2010.
- [5] R1-100976, ZTE, "Synchronization in back haul link," TSG-RAN WG1 #60, Feb. 2010.
- [6] R1-094040, CMCC, "Consideration on the synchronization of relay nodes," TSG-RAN WG1 #58bis, Oct. 2009.
- [7] K. Manolakis, M. G. Estevez, V. Jungnickel, W. Xu, and C. Drewes, "A close concept for synchronization and cell search in 3GPP LTE systems," WCNC, Apr. 2009.
- [8] 김정인, 장준희, 최형진, "3GPP LTE FDD/ TDD 듀얼 모드 하향링크 수신기에서 초기 셀 탐색을 위한 CP 검출 기반의 SSS 검출 기법," 한국통신학회 논문지, Vol.35, No.1, Jan. 2010.
- [9] J. I. Kim, J. S. Han, H. J. Roh and H. J. Choi, "SSS detection method for initial cell search in 3GPP LTE FDD/TDD dual mode receiver," IEEE ISIT, Sep. 2009.
- [10] M. J. Chung, J. H. Jang, J. S. Han, H. J. Roh, and H. J. Choi, "Enhanced P-SCH detection for 3GPP LTE TDD/FDD dual mode system in Rayleigh fading channel environment," ITC-CSCC, Jul. 5-8, 2009.

민 영 일 (Young-Il Min)

준회원



2009년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업
2011년 2월 성균관대학교 휴대폰학과 석사
<관심분야> 무선 및 이동 통신, 모뎀 동기 기술, OFDM, LTE

최 형 진 (Hyung-Jin Choi)

중신회원



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 정보통신공학부 교수
<관심분야> 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화 기술을 포함한 MODEM 기술

장 준 희 (Jun-Hee Jang)

정회원



2007년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업
2009년 2월 성균관대학교 휴대폰학과 석사
2009년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 박사 과정
<관심분야> 무선통신, 이동통신, 모뎀 동기 기술