

3GPP LTE-Advanced을 위한 Relay 개선 방안

정희원 박병성*, 김상하**, 장일두*, 이희봉*, 권경인***

The Improvements for 3GPP LTE-Advanced Relay

Byoungseong Park*, Sangha Kim**, Ildoo Chang*, Heebong Lee*,
Kyoungin Kwon*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 3GPP LTE-Advanced에서 지원하고 있는 Relay Node의 FDD 모드에서 무선 백홀 링크 성능 향상을 위한 방안을 제안한다. 백홀 링크에서 Carrier Aggregation을 적용하기 위한 고려 사항을 살펴보고 이를 위한 RRC (Radio Resource Control) 메시지와 Relay startup 절차를 제안한다. 또한 Type 1 Relay에서 백홀과 액세스 링크사이의 full-duplexing 가능한 reference signal를 설계하여 자원 활용을 극대화 할 수 있는 방안을 제시한다. 마지막으로 본 논문에서는 LTE Release 10 Relay의 백홀 자원 할당 방법내에서 주기적으로 전송되는 상향 제어 정보 및 무선 채널 정보의 효율적인 전송 방법을 제안한다. 이후의 3GPP RAN(Radio Access Network) 표준화는 LTE-Advanced 요소 기술들을 개선시키는 방향으로 진행될 것으로 예상되기 때문에 본 논문에서 제안된 기술들에 대한 표준 채택 논의가 활발히 진행될 것으로 기대된다.

Key Words : LTE-Advanced, Relay, Backhaul subframe, Carrier Aggregation, Self-interference

ABSTRACT

This paper suggests the methods to improve the wireless backhaul link of the Relay FDD mode that 3GPP LTE-Advanced supports. New RRC message and Relay startup procedure are introduced to apply Carrier Aggregation in the Relay wireless backhaul. Also, we design new reference signal that makes Type 1 Relay operated in full-duplexing, expecting to maximize the radio resource utilization. And, we propose the efficient configuration for the periodic uplink control information under the backhaul subframe allocation method in LTE-Advanced Relay. Hereafter, the standard activities in the 3GPP RAN is supposed to focus on the improvement of the LTE-Advanced features. Therefore, the suggestions in this paper are expected to be actively discussed in the LTE-Advanced future releases.

I. 서 론

과거 음성 통화 위주의 이동통신 서비스가 최근의 스마트폰 사용자의 폭발적인 증가와 넷북, 티블렛 PC(Personal Computer) 등의 무선 인터넷 접속이 가능한 멀티미디어 기기의 다양화, 이를 활용한

SNS(Social Network Service), 모바일 오피스등으로 인해 모바일 데이터 수요가 급속도로 증가되었다. 이에 따라 제한된 주파수 자원하에서 이동통신 사용자들의 데이터 수요와 품질을 만족시키기 위한 방향으로 무선 접속 기술 표준이 제정되고 있다.

UMTS(Universal Mobile Telecommunications System)

※ 본 논문은 방송통신위원회 방송통신기술개발사업의 일환으로 진행되었음 [과제번호 10913-04002, 과제명 Multi-hop Relay 기술 개발]

* LG-Ericsson, Advanced Technology 팀 ({byoungseong.park, ildoo.chang, heebong.lee}@lgericsson.com), (° : 교신저자)

** LG-Ericsson, Mobile Technology 1 팀 (sangha.kim@lgericsson.com),

*** LG-Ericsson, 최고기술경영자 (CTO) (kyoungin.kwon@lgericsson.com)

논문번호 : KICS2011-07-308, 접수일자 : 2011년 7월 18일, 최종논문접수일자 : 2011년 12월 2일

계열의 WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access)와 HSPA(High Speed Packet Access)등 3세대 이동통신 표준 기술을 담당하는 3GPP(Third Generation Partnership Project)에서는 패킷망 중심의 또다른 진화 형태로서 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)의 무선접속 기술을 사용한 표준 기술을 제정하여 LTE(Long-Term Evolution)라는 이름으로 공표한 바 있다. 현재 까지 LTE는 공식 버전으로 Release-8/9를 배포하여 국내에서도 이동통신 사업자들을 통해 상용화 서비스가 시작되었다.

ITU-R(International Telecommunication Union Radio Communication Sector)에서는 미래의 무선 데이터 수요와 양질의 서비스를 제공하기 위해 제 3세대 이동통신 기술보다 주파수 효율을 대폭 늘려 고속의 무선 데이터 트래픽을 공급할 수 있는 제 4세대 이동통신 기술로서 IMT-Advanced(International Mobile Telecommunications -)에 대한 기술 요건을 제시한 바 있다¹⁾. 3GPP에서는 IMT-Advanced에 대한 후보 기술로서 LTE-Advanced라는 이름으로 표준 제정을 진행해 왔으며 LTE Release 10으로 공식 승인하여 ITU-R 제출을 앞두고 있다. 표 1은 ITU-R의 제 4세대 이동통신 표준인 IMT-Advanced 요구 사항과 현재 LTE Release 8의 규격, 그리고 LTE-Advanced의 설계 규격을 나타낸다.

LTE-Advanced는 IMT-Advanced 요구사항을 충분히 만족하도록 하향 30 bps/Hz, 상향 15 bps/Hz의 최대 주파수 효율을 지원하도록 설계되어 있다²⁾. 이를 위해 LTE-Advanced는 기존 Release 8/9의 스펙트럼을 하나의 CC (Component Carrier)로 구성하여 최대 100 MHz까지의 시스템 대역폭을 확보하는 CA(Carrier Aggregation)을 지원하고 있다. 또한 하향 링크에서 8개의 안테나를 지원하기 위한 CSI-RS

(Channel Status Information - Reference Signal)을 도입하여 8x8 MIMO를 구현함으로써 하향링크 성능이 대폭 향상되었다. 상향링크에서는 다중 안테나 전송을 지원하여 4x4 MIMO 및 제어 채널에 대한 Tx diversity를 도입하여 향상된 상향링크 성능을 확보하였다. LTE-Advanced에서의 Relay는 eNode-B와 Relay간 백홀 링크와 Relay와 단말 사이의 액세스 링크를 동일한 주파수 대역에서 구현함으로써 커버리지를 확장하거나 도심지역에서의 음영지역을 보완하는 용도로 사용할 수 있으며 유선 백홀 망을 구축하기 어려운 지역에서 무선망을 용이하게 구축할 수 있는 수단이 될 수 있다. 또한 LTE-Advanced에서는 이중 셀간 간섭제어를 위한 enhanced ICIC (Inter-Cell Interference Cancellation)등의 핵심 기능을 제공하고 있다. 이러한 LTE-Advanced에 대한 초기 표준은 3GPP RAN 총회에서 LTE Release 10으로 승인되어 제 4세대 이동통신 IMT-Advanced의 후보 기술로서 제안될 예정이다. 현재 LTE Release 10 Relay에 대한 물리 계층 규격은 완료되었으며 송수신부 RF 규격과 성능 기준에 대한 규격이 LTE Release 11 Work Item으로 진행되고 있다. Release 11에서는 LTE-Advanced 규격의 여러 개선 방안에 대한 논의가 진행될 예정이며 Release 11 Work Item 후보로서 Relay 백홀 개선 방안이 제안된 바 있다.

LTE Release 10에서 제공하는 Relay 규격은 DeNB(Donor eNode-B)와 Relay간의 백홀 링크와 Relay와 단말간 액세스 링크 사이에 동일한 주파수를 사용하는 Type 1 Relay로서 백홀 링크의 무선 자원 할당 방법, Relay의 프레임 타이밍, Relay를 위한 하향 링크 제어 채널 할당, 그리고 백홀 링크에서의 HARQ(Hybrid Automatic Repeat reQuest) 동작등을 규정하고 있다⁴⁾.

eNode-B와 단말사이에 Relay를 사용하여 신호를 전달할 경우, LTE Release 10에서 규정하는 Type 1 Relay의 특성상 DeNB와 Relay사이의 백홀 링크 성능은 전체 무선 링크 성능에 크게 영향을 미칠 수 있다. 따라서 Relay 도입에 따른 성능 열화 요인을 개선하기 위해서는 백홀 링크와 액세스 링크 사이의 효율적인 무선 자원 활용이 요구된다. 본 논문에서는 LTE Release 10 Relay FDD 모드를 개선하기 위한 방안으로서 백홀 링크에서의 CA 도입 방법과 동일 주파수에서의 Full-Duplex 활용 방안, 그리고 상향 제어 채널의 효율적인 할당 방법을 제시한다.

표 1. IMT-Advanced 요구 사항 및 LTE 규격

	IMT-Advanced 요구사항	LTE Release 8	LTE Release 10 (LTE-Advanced)
전송 대역폭	40MHz 이상	최대 20MHz	최대 100MHz
주파수 효율 (peak)	15bps/Hz (DL) 6.75bps/Hz (UL)	15bps/Hz (DL) 3.75bps/Hz (UL)	30bps/Hz (DL) 15bps/Hz (UL)
Latency 제어 plane 사용자 plane	100ms 이하 10ms 이하	50ms 4.9ms	50ms 4.9ms

II. 3GPP LTE Release 10에서의 Relay FDD 모드 동작

Relay는 그림 1과 같이 기지국(eNB)과 단말(UE) 사이에 위치하여 기지국에서 단말, 또는 단말에서 기지국으로 데이터를 중계하는 역할을 한다. 3GPP에서는 기지국과 Relay 사이의 통신은 Un 링크로, Relay와 단말 사이는 Uu 링크로 정의된다. 여기서 RN(Relay Node)과 연결된 기지국을 DeNB(donor eNB)라고 한다.

Relay는 Un과 Uu 링크에 사용되는 주파수에 따라 inband 또는 outband Relay로 구분할 수 있다. Inband Relay는 Un과 Uu 링크가 같은 주파수를 사용하여 송수신기 사이에 자기 간섭 현상(self-interference)이 발생하기 때문에 Un과 Uu 링크가 서로 다른 시간 자원(서브프레임)을 사용하여 half-duplex 방식으로 동작한다. Relay가 단말들에게 제어 신호 및 데이터 전송을 하는 경우 Relay는 그림 2의 왼쪽 서브프레임과 같이 기지국으로부터 어떠한 신호도 수신하지 않는다. 그렇지 않은 경우 서브프레임의 앞 시간구간은 Relay가 단말들에게 제어 신호만을 송신하기 위해 사용되고 나머지 시간구간에서는 Relay가 기지국으로부터 제어 신호 및 데이터 수신하기 위해 사용된다. Un과 Uu 링크 사이의 시간 자원 구분을 위해 기지국에서는 오른쪽 서브프레임을 백홀 서브프레임으로 할당하고 Relay에서는 백홀 서브프레임에 해당하는 서브프레임들을 MBSFN(Multimedia Broadcast over Single Frequency Network) 서브프레임으로 할당한다. Relay는 MBSFN 서브프레임으로 할당된 서브프레임들을 제외한 나머지 서브프레임들을 사용할 수 있다.

반면 Un과 Uu 링크에서 서로 다른 주파수 대역을 사용하는 outband Relay는 Un과 Uu 링크 사이에 full-duplex로 동작이 가능하며 동시에 같은 서브프레임들을 할당할 수 있다. 3GPP에서는 inband Relay를 Type 1 Relay로, outband Relay는 Type 1a Relay로 정의하고 있다.

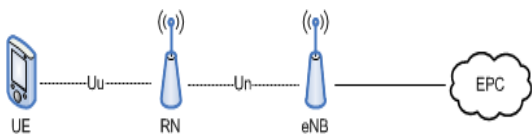


그림 1. Relay 망 구조^[3]

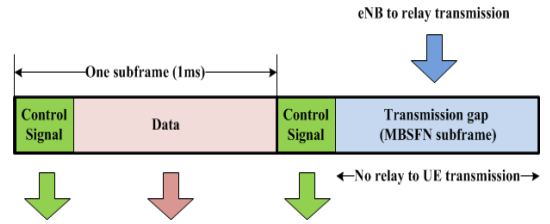


그림 2. Type 1 Relay 동작 방식

3.1 백홀 서브프레임 할당

하향 백홀 서브프레임의 할당 주기는 40개의 서브프레임들(40ms)로 구성이 되며 서브프레임들 중 Relay에게 할당된 하향 백홀 서브프레임은 8비트 길이로 된 서브프레임 구성 정보로 결정이 된다. 이 패턴들은 서로 조합이 가능하여 총 255개의 패턴이 가능하다^[4]. 서브프레임 구성 정보의 각 비트는 하나의 서브프레임에 대응되고 40ms의 하향 백홀 서브프레임 할당 주기 내에서 반복이 된다. 40개의 서브프레임들 중에서 각 서브프레임에 대응되는 비트가 1이고 MBSFN 서브프레임이면 그 서브프레임은 하향 백홀 서브프레임으로 할당이 된다. 그림 3과 같이 백홀 서브프레임 할당 패턴으로 {00001101}이 설정된 경우, Relay는 3개의 하향 백홀 서브프레임 할당 패턴과 MBSFN 서브프레임 위치를 통해 하향 백홀 서브프레임을 결정한다.

상향 백홀 서브프레임의 경우 n번째 하향 백홀 서브프레임에 대해 n+4번째 서브프레임으로 결정된다. Relay에서는 백홀 서브프레임으로 할당된 서브프레임들은 MBSFN 서브프레임으로 지정하여 단말은 그 서브프레임내 앞의 시간구간에서만 Relay로부터 제어 신호만을 수신하게 된다.

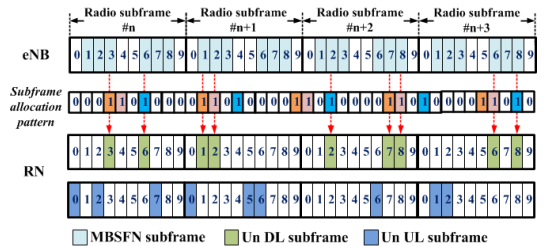


그림 3. 백홀 서브프레임 할당 방법

3.2 Relay frame timing

LTE 시스템의 경우, 하나의 서브프레임(1ms)은 0.5ms의 길이를 갖는 두 개의 슬롯(slot)으로 구성된다. Normal CP(Cyclic Prefix)의 경우, 각 슬롯에는 7

개의 OFDM 심볼 전송이 가능하다. 하향 백홀 서브프레임으로 할당된 서브프레임 내에서는 송수신간 스위칭 시간 및 전파지연 시간에 따라 가용할 수 있는 OFDM 심볼 수가 제한이 된다. 기지국은 Relay에게 첫 번째 슬롯 내 몇 번째 OFDM 심볼부터 수신해야 하는지 상위 메시지를 통해 알려 준다⁴⁾. 기지국과 Relay의 프레임 동기가 맞추어져 있는 경우는 두 번째 슬롯의 마지막 OFDM 심볼을 사용할 수 없다. 그림 4에서처럼 하향 백홀 서브프레임 내 첫 번째 슬롯의 3번째 OFDM 심볼 앞과 두 번째 슬롯의 6번째 심볼 뒤에는 송수신 스위칭 시간이 필요하다. 따라서 이때 가용할 수 있는 OFDM 심볼 수는 11이 된다.

반면 상향 백홀 서브프레임은 그림 5과 같이 모든 OFDM 심볼들이 사용되어야 하며, 이를 위해서 Relay는 서브프레임 시작 전 Uu 링크의 마지막 심볼을 스위칭 시간으로 활용하게 된다.

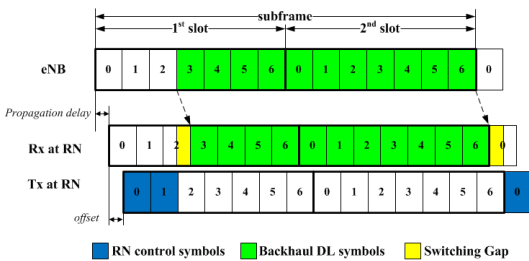


그림 4. 하향 링크 타이밍의 예(FDD)

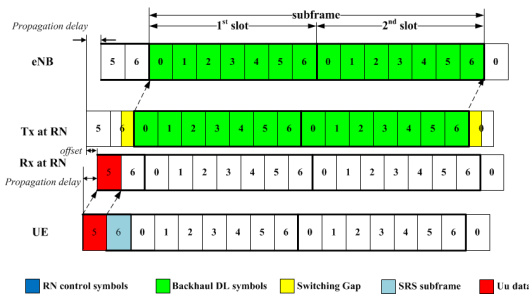


그림 5. 상향 링크 타이밍 (FDD)

3.3 R-PDCCH

LTE 시스템에서 하향 제어 채널인 PDCCH(Physical Downlink Control Channel)는 무선 자원에 대한 스케줄링 및 L1/L2 정보를 단말에게 전달하는 역할을 한다. PDCCH는 첫 번째 슬롯의 0, 1, 2번째 OFDM 심볼들을 사용하여 전송이 된다. Un 하향 링크에서 기지국과 Relay의 프레임 타이밍을 고려하면 Relay들을 위해 PDCCH는 사용할 수 없다. 따라서

3GPP에서는 R-PDCCH (Relay-PDCCH)이라는 새로운 물리 채널을 정의하였다.

R-PDCCH는 무선 자원의 맵핑 방법과 복조방법에서 PDCCH와 다르며 상위 signalling을 통해 지정된 R-PDCCH 영역내에만 맵핑이 된다. R-PDCCH 복조 방법은 CRS(Common Reference Signal)를 사용하는 경우와 DM-RS(Demodulation-RS)를 사용하는 경우로 나뉜다. 또한 하향 링크 스케줄링 정보는 항상 첫 번째 슬롯에서만 전송되며, 상향 링크 스케줄링 정보는 두 번째 슬롯에 할당된다.

3.4 HARQ

Un링크에서 HARQ 타이밍은 LTE Rel-8과 마찬가지로 하향 링크 데이터 및 상향 링크 할당 정보를 k-번째 서브프레임에서 수신한 Relay는 HARQ-ACK을 (k+4)번째 서브프레임에서 송신한다. 하향 링크에서의 재전송은 비동기식이 사용되며, 상향 링크에서의 재전송은 동기식 방식을 사용한다. Un 링크상에는 PHICH(Physical HARQ Indicator Channel)가 전송되지 않기 때문에 상향 링크 데이터에 대한 ACK/NACK 정보는 R-PDCCH를 통해서 전송되며 하향 링크 데이터에 대한 ACK/NACK은 LTE Rel-8과 같이 PUCCH/PUSCH (Physical Uplink Control Channel/Physical Uplink Shared Channel)를 통해 전송된다.

III. 백홀 링크에서의 Carrier Aggregation 적용

본 절에서는 Un 링크에서 CA를 적용하기 위한 상위 신호 방안을 제안한다. 본 논문에서는 Un 링크에서 백홀 캐리어에 대한 패턴의 효율적인 설정 방법, Un 링크에서 CCS (Cross Carrier Scheduling)를 위한 자원 할당 방법, SIB (System Information Block) 정보 전송 방법등을 포함하며 이를 위한 RRC (Radio Resource Control) 메시지와 Relay startup 절차를 제안한다.

3.1 SCell (Secondary Cell)에 대한 백홀 패턴 재설정 방법

Un 링크에 CA를 적용하더라도 백홀 용량에 따라 필요시 백홀 캐리어를 제거할 수 있을 경우 Uu 링크에 더 많은 전송 기회를 제공하여 Uu 링크의 용량을 개선할 수 있다. 즉, 특정 백홀 캐리어에 Relay를 위한 R-PDCCH나 R-PDSCH와 같은 자원이 할당되지 않은 경우 DeNB가 해당 Relay 셀의 MBSFN 설정 정

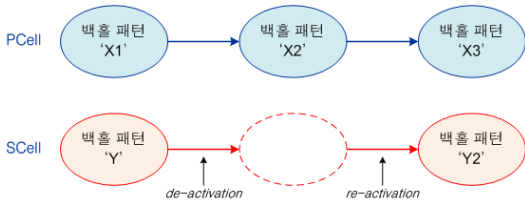


그림 6. 백홀 서브프레임 재설정 방안

보를 변경하여 단말에게 신호 전송이 가능하다면 백홀 링크에서 CA 적용에 따른 Uu 링크의 용량 감소를 개선할 수 있다. 이를 위해 본 논문에서는 SCell이 Un 링크에서 사용되지 않음을 Relay에게 지시하기 위한 방법으로 SCell에 대한 (de)activation MAC CE (Medium Access Control - Control Elements)^[5] 사용을 제안한다. 이 방법은 RNRReconfiguration 절차 요구와 해당 메시지의 ASN 변경이 요구되는 RRC 절차^[6] 없이 MAC 관점에서 변경되며, DeNB는 자신의 스케줄링 알고리즘에 따라 RRC RNRReconfiguration으로 백홀 서브프레임 패턴의 변경과 MAC CE를 통해 SCell에서의 패턴의 전체 삭제 및 복구가 가능하여 좀더 신속하고 융통성 있는 패턴 관리가 가능해진다.

여기서, SCell에 대한 re-activation시에 SCell의 백홀 서브프레임 패턴을 규정할 필요가 있다. 이에 대한 구현 방법으로 명확한 패턴을 신호하는 방법과 암시적으로 이전 백홀 패턴을 사용하는 방법이 가능하다. 전자의 경우 RRC RNRReconfiguration을 통한 명확한 패턴의 설정 신호와 re-activation MAC CE를 동시에 전송하여야 하며, 후자의 경우 RRC 신호 없이 MAC CE만을 신호하고 이전 패턴 정보를 활용하게 된다.

이와 같이 Un 링크상에서 피드백없는 MAC CE를 활용하여 SCell에 대한 de(re)-activation을 수행하기 위해 본 논문에서는 그림 7과 같이 이에 대한 절차를 정의한다. 이는 Un 링크의 SCell (re-)activation을 위한 MAC CE의 activation time에 대해 Un 링크상에 DeNB와 Relay Node 사이의 activation timing이 일치하지 않을 경우 Un 링크상의 자원 사용 면에서 빈번한 재전송과 불필요한 R-PDSCH 할당과 같은 문제가 발생할 수 있기 때문이다. 그림 7의 step 1은 일반적인 경우의 RRC 전송 절차로서 Relay의 경우 백홀 패턴에 의해 제한된 Un 링크상의 하향링크 전송기회에 따라 RRC 재설정 절차 종료 시점이 결정된다. 이후 MAC CE에 의한 SCell de-activation 절차는 피드백에 의한 추가 지연 없이 적용된다. 백홀 링크상에서 해당 MAC CE를 포함한 MAC PDU (Packet Data Unit)에 대한 ACK은 4 ms 이후에 가능하며, 백홀 서브프레임 복구 통보를 위한 DeNB내의

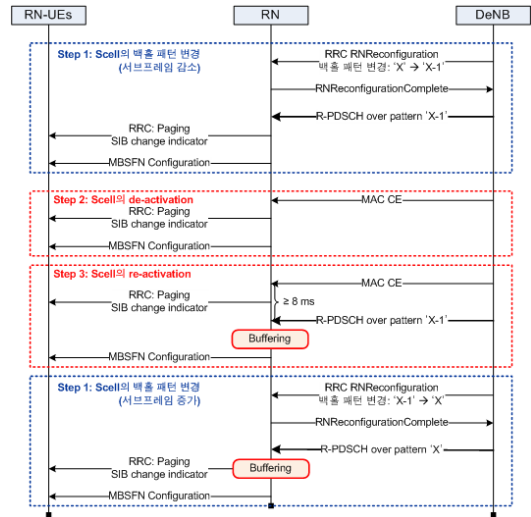


그림 7. MAC CE를 이용한 백홀 패턴 변경 절차

RRC layer 처리시간과 8 ms의 재전송을 위한 RTT (Round Trip Time)를 고려할 때 MAC CE 전송 시점 이후 8 ms에 이전 하향 백홀 패턴으로 복구하는 것이 가능하다. 이는 상향 피드백 메시지 수신 후에 적용되는 RRC 절차에 비해 Un 링크 자원 관리를 가능하게 한다. 또한 MAC CE를 사용할 경우 Uu의 SIB 변경을 위한 페이징 시점이 빨라져서 Relay에서 버퍼링된 데이터양을 감소시킬 수 있다.

3.2 Un 링크에서 CCS의 적용

Un 링크상에서 CA를 위한 CCS를 적용할 때는 스케줄링 SCell과 PCell에 대해서만 R-PDCCH 자원 할당 설정이 필요하며, CCS가 적용되지 않는(Non-CCS) SCell에 대해서는 그 자체에 대한 R-PDCCH 자원 할당 설정이 요구된다. 따라서 Un 링크상에서 CA를 위한 CCS 적용 시 스케줄링 SCell이나 PCell이 아닌 SCell에 이미 설정된 R-PDCCH 자원 할당 설정 정보를 DeNB에 의해 삭제할 필요가 있다. 본 절에서는 일반적인 절차(normal allocation)를 적용한 경우와 처리 지연을 개선하기 위해 본 논문에서 제안하는 할당 기법(pre-allocation)를 소개한다.

현재 Release 10에서의 R-PDCCH 자원은 각각의 Relay 전용이거나 다수 Relay에 대한 공통 자원으로 DeNB에 의해 설정될 수 있으며, 설정된 R-PDCCH 자원 중 R-PDCCH를 위해 사용되지 않은 PRB (Physical Resource Block)은 단말의 PDSCH 또는 Relay의 R-PDSCH로 할당할 수 있게 정의되어 있다. 그림 8은 일반적인 설정 방법에 따라 CCS 설정을 위

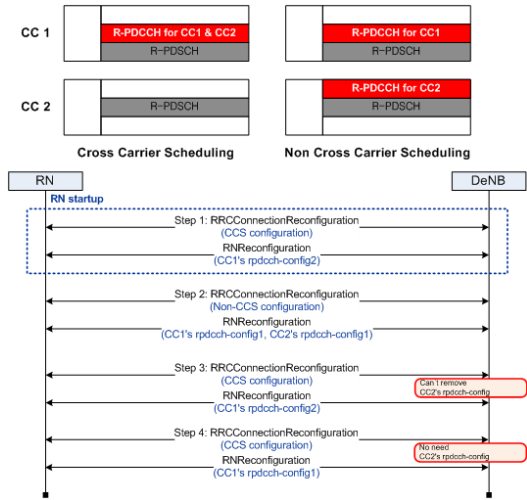


그림 8. Normal allocation에 의한 R-PDCCH 할당

한 RRCConnectionReconfiguration 과 R-PDCCH 자원을 할당하는 RNReconfiguration을 논리적으로 일치시키는 과정을 나타낸 것이다. 스케줄된 SCell에서는 R-PDCCH 자원을 할당할 필요가 없기 때문에 PCell에 최소 2개의 R-PDCCH를 수용할 수 있는 자원을 설정하고 (Step 1), Non-CCS로의 변경이 필요한 경우 RRCConnectionReconfiguration를 통해 CCS를 설정 변경하며 (Step 2), SCell을 위한 R-PDCCH 자원 할당과 PCell에 대한 R-PDCCH 자원 축소를 위한 RNReconfiguration이 연속적으로 신호(Step 3, 4)되어야 한다. 따라서 CCS 설정 변경을 위한 다수의 RRC 절차에 의해 상당한 지연이 발생할 수 있다. 다시 CCS로 변경이 필요한 경우 PCell에 대한 R-PDCCH 자원 증가와 SCell의 R-PDCCH 자원을 제거해야 하기 때문에 RRC에 의한 처리 지연은 피하기 어렵다.

그림 9는 PCell과 SCell에 대해 R-PDCCH 자원을 미리 할당하여 CCS를 적용한 경우이다. 이 경우 SCell을 위해 R-PDCCH 영역이 지정되었어도 PDSCH나 R-PDSCH의 할당이 가능하기 때문에 자원 활용 효율성은 일반적인 방법과 동일하다고 할 수 있다. 이후에 Non-CCS 변경 시에는 RRCConnectionReconfiguration만으로 CCS 설정 변경을 동시에 수행할 수 있다 (Step 2). 따라서 Un 링크에서 CCS 사용을 위해 그림 9와 같은 pre-allocation 방법을 사용한다면 연속된 RRC 절차에 의한 지연을 피할 수 있어 DeNB 스케줄러에 의해 보다 신속한 백홀 자원 관리가 가능할 것이다.

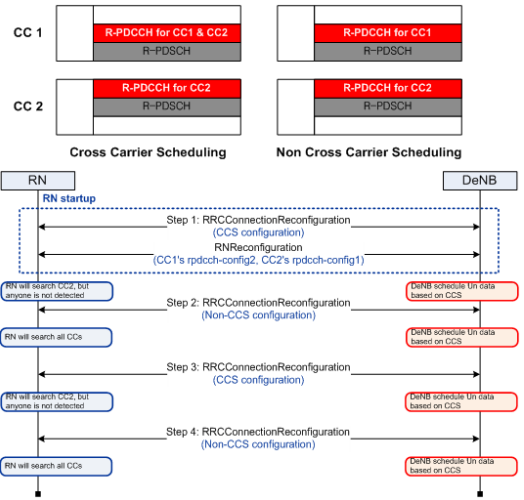


그림 9. Pre-allocation에 의한 R-PDCCH 할당

3.3 PCell과 SCell의 SIB 변경

본 절에서는 RRC RNReconfiguration 메시지를 통해 PCell 및 SCell의 SIB 정보를 Relay에게 신호하기 위한 방안을 설명한다. SCell의 SIB 변경을 신호하기 위해 Release 10 RNReconfiguration에 존재하는 RN-SystemInfo-r10를 사용하는 경우 SCell별로 RRC 메시지가 증가하며 RRC ASN 변경이 요구된다. 따라서 이런 문제점을 개선하기 위해 SCell의 SIB 변경 신호 시에는 단말을 위한 CA의 경우에서처럼 RRCConnectionReconfiguration를 통한 SCell Deletion/addition 방식을 적용하여 RRC RNReconfiguration 메시지의 변경을 피하며, PCell의 SIB변경 신호 시에는 기존의 Release 10에 정의된 방안을 재사용할 수 있다. 따라서 SCell에 SIB변경을 신호하기 위해서는 RNReconfiguration 메시지를 사용하지 않으며 RRCConnectionReconfiguration를 통해 상기 기능을 지원할 필요가 있다. 그림 10은 이에 대한 신호 방안을 도시한 것이다.

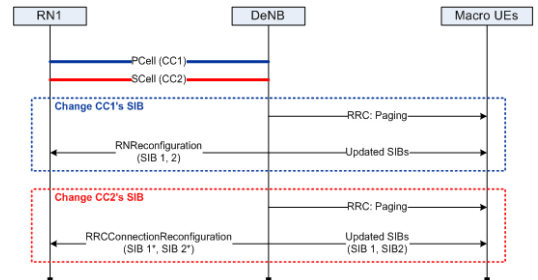


그림 10. PCell 및 SCell의 SIB 신호 방안

3.4 Un 링크에서 CC별 Un configuration 허용

Release 10에서의 Relay는 DeNB 입장에서 하나의 단말처럼 동작되기 때문에 Un 링크상에서의 CA도 Uu 링크에서와 같이 서로 다른 대역폭의 캐리어를 지원할 필요가 있다. 현재 Release 10에서는 R-PDCCH 자원 할당을 캐리어의 대역폭에 따라 다른 크기의 비트 열로 명시되어 있기 때문에 서로 다른 대역폭을 지원하는 CA를 위해서는 SCell별로 각각의 Release 10 RRC RNReconfiguration 절차를 수행해야 한다. 이는 동일한 목적으로 RRC 절차를 SCell마다 수행하여 처리 지연 및 비효율성이 예상되므로 Release 10 해당 메시지에 이미 정의되어 있는 extension IE를 사용하여 이런 문제점을 최소화할 필요가 있다.

3.5 Relay에 대한 RRM 측정 지원

현재 고정형으로 되어있는 Release 10 Relay에서는 Un 링크에서 무선 자원에 대한 측정은 필요하지 않다. 그러나 Un 링크에서 CA를 적용할 경우 효과적인 SCell의 설정/해제를 위해서는 Un 링크에서의 무선 자원에 대한 측정이 필요하다. 이를 위해 Relay capability에 따라 DeNB에서 RRM 측정을 구동하기 위해 Relay startup 절차에서 Relay의 release 버전과 CA 가능 여부에 대한 정보가 포함되어야 한다.

3.6 Un 링크 CA를 위한 RRC 메시지 및 Relay startup 절차

본 절에서는 Un 링크에서 CA를 지원하기 위한 RRC 메시지와 이에 대한 Relay startup 절차를 정의한다. 그림 11은 본 절에서 설명한 Un 링크상에서 다수의 캐리어를 지원하기 위해 본 논문에서 정의한 RRC RNReconfiguration 메시지이며, 단말의 CA 설정을 위한 RRConnection

```

RNReconfiguration-r10 ::= SEQUENCE {
    rrc-TransactionIdentifier RRC-TransactionIdentifier,
    criticalExtensions CHOICE {
        c1 CHOICE {
            mReconfiguration-r10 RNReconfiguration-r10-IEs,
            spare3 NULL, spare2 NULL, spare1 NULL },
        criticalExtensionsFuture SEQUENCE {} } }
RNReconfiguration-r10-IEs ::= SEQUENCE {
    m-SystemInfo-r10 RRC-SystemInfo-r10 OPTIONAL, -- Need ON
    m-SubframeConfig-r10 RN-SubframeConfig-r10 OPTIONAL, -- Need ON
    lateNonCriticalExtension CTET STRING OPTIONAL, -- Need OP
    nonCriticalExtension RNReconfiguration-v11xy-ies OPTIONAL }
RNReconfiguration-v11xy-ies ::= SEQUENCE {
    sCellToRN-SubframeConfigList-r11 SCCellToRN-SubframeConfigList-r11 OPTIONAL, -- Need ON
    nonCriticalExtension SEQUENCE {} OPTIONAL }
SCCellToRN-SubframeConfigList-r11 ::= SEQUENCE
(SIZE (1..maxSCell-r10)) OF SCCellToRN-SubframeConfig-r11
SCCellToRN-SubframeConfig-r11 ::= SEQUENCE {
    sCellIndex-r10 SCCellIndex-r10,
    m-SubframeConfig-r10 RN-SubframeConfig-r10 OPTIONAL, -- Need ON }
RN-SystemInfo-r10 ::= SEQUENCE {
    systemInformationBlockType1-r10
    OCTET STRING (CONTAINING SystemInformationBlockType1) OPTIONAL, -- Need ON
    systemInformationBlockType2-r10 SystemInformationBlockType2 OPTIONAL, -- Need ON }
    
```

그림 11. RNReconfiguration 메시지

Reconfiguration에 영향이 없이 Un 링크상에 CA를 도입할 수 있도록 설계되었다.

다수의 SCell에 대한 동시 백홀 설정이 가능하도록 새로 정의한 RNReconfiguration-v11xy-IEs는 sCellToRN-SubframeConfigList-r11를 통해 최대 SCell 만큼 한번에 설정할 수 있으며, SCellToRN-SubframeConfig-r11은 PCell의 Un 링크 설정과는 상이할 수 있는 SCell의 Un 링크 설정을 위해 m-SubframeConfig-r10를 재사용하며, SCell activation/deactivation을 위한 MAC CE의 사용을 Un 링크에서도 가능하도록 하기 위해 sCellIndex-r10를 포함하였다.

Un 링크에서의 CA 지원을 위해 제안된 RNReconfiguration 메시지를 이용한 Relay startup 절차에서의 변경은 그림 12에서와 같다. Relay는 백홀 서버 프레임 필요성 여부를 DeNB에 신호하며 (step 1), DeNB는 Relay의 release 버전 및 CA 지원 여부를 인지한 후 (step 2), CA 지원 가능이면 Release 10 Relay와 달리 RRConnectionReconfiguration에 무선자원 측정을 요구하는 measConfig IE를 포함하여 Relay로 전송, 이를 수신한 Relay의 SCell 설정 가능한 캐리어들에 대한 무선자원 측정결과를 DeNB로 전송한다 (step 3). DeNB는 RRConnectionReconfiguration을 통해 SCell에 대한 addition 를 신호하고 (step 5), 이때 SCell에 대한 SIB 및 scellIndex 등등의 정보를 Relay에게 전송하며, 이때 Relay는 SCell에 대한 설정정보를 가지며 SCell의 상태는 Deactivate 상태이다. Release 10에서처럼 S1과 X2 설정 이후 Release 11 RNReconfiguration으로 PCell과

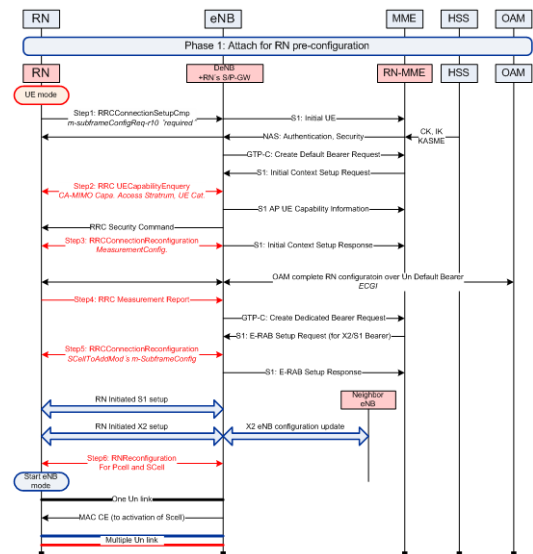


그림 12. Un 링크 CA 적용을 위한 Relay Startup 절차

표 2. 백홀 CA 적용 방법의 개선 효과

백홀 CA 적용 방법	개선 효과
MAC CE를 이용한 SCell 백홀 패턴 설정	백홀 캐리어의 Uu 링크 활용성 증가 백홀 패턴 설정을 위한 처리 지연 개선
R-PDCCH pre-allocation	백홀에서의 CCS 지원 CCS 속성 변경시 처리 지연 개선
RRCConnectinReconfig.를 이용한 SCell SIB 전송	SCell SIB 전송 처리 지연 개선
RNReconfiguration extension IE 변경	CC 별 Un configuration
DeNB 의 RRM 측정	효율적인 SCell 설정/해제

SCell에 대한 백홀 설정을 전송하며(step 6), 이때부터 Relay의 Relay Cell 의 SIB 전송과 함께 PCell 만으로 Relay 서비스를 시작한다. 마지막으로 추가적인 Un 용량의 확대가 필요하면 Un SCell의 activation을 위해 DeNB가 MAC CE를 전송한다.

표 2는 본 절에서 제안한 Un 링크에서의 CA 지원을 위해 필요한 상위 신호 전송 방안과 이에 대한 개선 효과를 정리한 것이다. 본 논문에서 제안한 상위 신호 전송에 대한 RRC 메시지 overhead와 시간 지연 개선등은 현재 half-duplex 형태의 type 1 Relay에서는 Relay 성능에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 또한 향후 mobile 형태로 Relay가 진화될 경우 개선 효과는 더욱 커질 것으로 예상된다.

IV. Relay의 자체 간섭 제어 방안

그림 13에서 처럼 Relay에서 송신한 신호가 무선 채널을 거쳐 자신의 수신기로 수신되어 간섭을 일으키는 자기 간섭 신호는 수신 성능을 심각하게 저하시

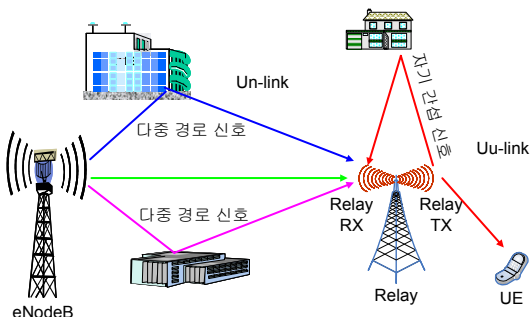


그림 13. 자기 신호 간섭에 의한 Relay 성능 저하

키기 때문에 반드시 제거되어야 한다^[7].

Type 1a의 out-band Relay는 자기 간섭 현상을 Un/Uu 링크간에 서로 다른 주파수를 사용함으로써 극복이 가능하지만, Type 1 Relay와 같은 in-band Relay에서는 자기 간섭 현상이 발생하게 된다. Release 10 Type 1 Relay에서는 이러한 자기 간섭 현상을 제거하기 위하여 Un 링크와 Uu 링크의 송수신 구간을 시간적으로 다르게 하여 half-duplex Relay 형태를 채용하여 자기 간섭 현상을 해결하고 있다. 이를 위해 Type 1 Relay는 송수신 구간을 바꾸어 주기 위한 스위치 시간이 필요하며 최소 1심볼 구간에서 데이터 전송을 사용하지 못하게 되었다. 따라서 Release 10 Type 1 Relay는 자원 사용 효율성이 저하되고 latency가 크게 나타나며, 스위치 시간이 필요하여 데이터 송 효율이 떨어지게 되며, Type 1a relay는 추가적인 스펙트럼이 요구된다.

따라서 Release 10 이후의 Relay에서 Un/Uu 링크에서의 자원 사용 효율성 증대와 latency의 최소화 등의 개선을 이루기 위해 in-band 스펙트럼을 사용하면 서도 full-duplex mode를 지원할 필요가 있다. In-band full duplex Relay는 in-band Relay에서 문제가 되었던 자기 간섭 현상을 Relay 자체적으로 제거할 수 있다면 실현이 가능할 것이다. 본 절에서는 in-band Relay에서 자기 간섭 현상을 제거할 수 있는 방안에 대하여 살펴본다.

4.1 In-band full duplex Relay

In-band Relay에서 문제가 되는 자기 간섭 현상 문제를 해결하기 위해서는 Relay가 자기 간섭 현상을 일으키는 무선 채널 구간의 정보를 알아내고 제거할 수 있어야 할 것으로 보인다.

Relay가 자기 간섭을 일으키는 무선 구간 채널 정보를 얻기 위해서는 측정을 위한 기준신호가 필요하다. 본 논문에서는 이 기준신호를 R-RS(Relay Reference Signal)라고 부르기로 한다. R-RS가 전송되는 자원 공간은 DeNB와 단말의 동작에 영향을 미치지 않도록 할당되어야 할 것이다. 이를 위해서, R-RS를 전송하는 무선 자원은 기지국에 의해서 할당되어야 한다. 또한 DeNB와 단말의 동작을 위해서 할당되는 제어 채널 영역, cell specific reference signal(CRS), 동기 채널(PSS/SSS), PBCH의 자원 공간에는 할당되어서는 안 된다. R-RS가 전송될 수 있는 공간은 DeNB에 의해 할당된 무선자원 중 데이터 채널 영역이 될 것이다. 이러한 조건을 고려할 때, 전송 가능한 R-RS의 구조의 예를 그림 14에 나타내었다.

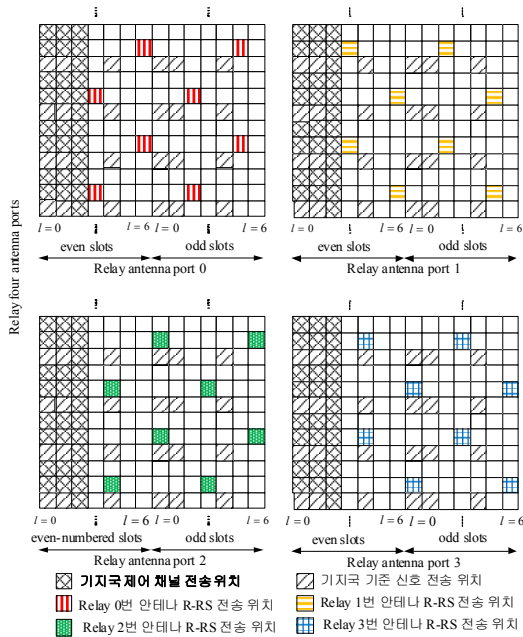


그림 14. Relay-RS 구조

그림 14는 DeNB와 Relay의 전송 안테나 수가 4개인 경우에 대하여 R-RS가 전송 될 수 있는 예를 보여 준다. 기지국의 스케줄링만으로 기존 표준의 변화를 최소화하기 위해 DeNB에 의해 R-RS 전송이 허가된 resource block내의 데이터 공간에서 전송이 되도록 설계되었다.

Relay가 전송하는 R-RS는 그림 14와 같이 기지국이 전송에 사용하는 resource가 아닌 부분에서 전송되기 때문에 기존의 표준에 영향을 최소화 할 수 있도록 설계가 가능할 것으로 보인다. 또한 기지국의 하향 링크 프레임 구조에서 cell specific으로 미리 정해진 자원인 제어 채널들, cell specific reference signal(CRS), 동기 채널(PSS/SSS), PBCH의 자원 공간을 사용하지 않음으로써, 기지국에 의해 서비스 되는 단말에 영향을 미치지 않게 된다.

그림 14의 R-RS의 전송 구조는 기지국의 전송 안테나 수와 제어 채널 영역 심볼 수 및 기지국 제어 신호들의 위치와 겹치지 않게 할당되기 때문에 여러 가지 할당 가능한 패턴의 조합이 가능하다. 패턴의 조합은 자기 간섭 채널의 시변 상태나 다중 경로 신호의 지연 값을 고려하여 설계할 수 있을 것으로 보인다.

Relay가 이동성이 없는 고정형인 경우, 자기 간섭 채널의 시변 정도는 매우 작기 때문에, 이로 인해 전체 대역에 대한 R-RS의 전송을 그림 15처럼 여러 서브프레임 구간으로 분산하여 측정하는 것도 가능하다.

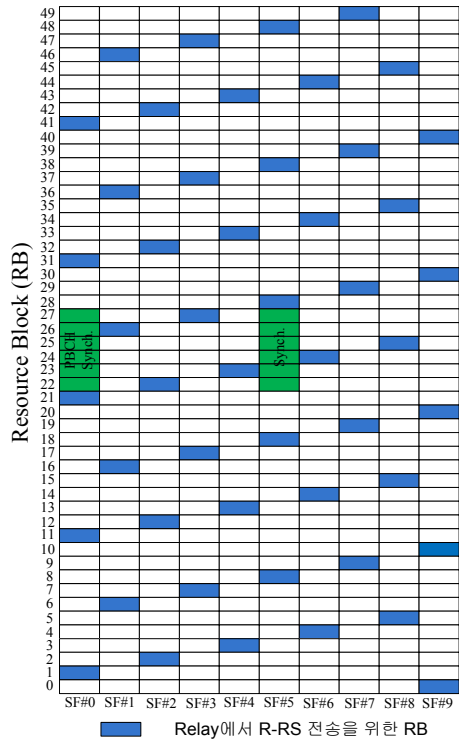


그림 15. Relay-RS 전송

그림은 50개의 resource block을 사용하는 경우의 예로 하나의 서브프레임당 5개의 resource block들을 R-RS의 전송에 사용하는 예이다. 그림에서 PBCH와 동기 채널 부분에는 R-RS의 할당이 이루어지지 않는 것을 볼 수 있다.

그림 15의 빈 공간이 다른 Relay가 R-RS를 전송할 수 있는 공간이 되며, Relay간에 서로 겹치지 않는 자원 공간을 사용하여 하나의 기지국에 다수개의 Relay들이 같은 resource block을 사용하여 R-RS의 전송이 가능하다.

4.2 모의 시험 결과

본 절에서는 위에서 살펴본 R-RS의 전송 구조를 사용하여 in-band Relay에서의 자기 간섭 현상이 제거될 수 있다는 것을 모의 실험 결과를 통해 확인한다. 모의 실험의 환경은 표 3에 나타내었다.

모의 실험에서 자기 간섭 채널의 추정에는 R-RS와 MMSE(Minimum Mean Squared Error) 채널 추정 기법을 사용하였으며, 성능의 평가를 위하여 자기 간섭 현상이 없는 상황에서의 결과와 비교하였다. Relay의 이동성이 없는 상황을 가정하여 도플러 주파수 1 Hz로 가정하였다.

표 3. 시뮬레이션 파라미터

파라미터	설정값
기지국 전송 안테나 수	4
Relay 전송 안테나 수	4
Relay 수신 안테나 수	2
Channel model	Rayleigh
MIMO 전송 방법	LTE Transmit diversity
Doppler frequency	1 Hz

그림 16에 데이터 채널에 64 QAM을 전송 하였을 경우의 모의 실험 결과를 도시하였다. 자기 간섭이 존재하는 경우에 1개의 송수신 안테나를 사용하는 경우에는 자기 간섭 채널의 채널 추정 오차와 잡음 성분에 의해 성능의 감소가 발생하지만, 2개 혹은 4개의 전송 안테나를 사용하는 경우에는 자기 간섭이 없는 경우와 비교하여 약간의 성능 감소가 발생하는 것을 볼 수 있다. 이것은 자기 간섭 채널의 오차로 인한 성능 감소로 보인다.

모의 실험을 통하여 자기 간섭 채널의 시변 정도가 적은 경우 제안된 방안을 이용하여 MIMO 환경에서 자기 간섭 현상의 제거가 이루어질 수 있다는 것을 확인 할 수 있었다. 이를 통하여, in-band Relay에서도 자기 간섭 현상을 제거하여 full-duplex Relay의 실현이 가능할 것으로 생각 된다.

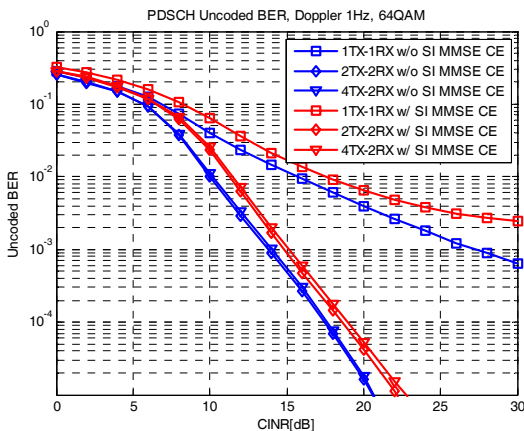


그림 16. 모의 실험 결과

4.3 In-band full duplex Relay의 효과

In-band full duplex Relay는 in-band half duplex Relay의 단점인 송수신 구간을 위한 스위치 시간이 필요가 없으며, 송신과 수신을 동시에 수행할 수 있으

므로 자원 사용의 효율성과 전송 효율을 개선시킬 수 있으며, 동시 송수신으로 인해 latency면에서도 개선을 이룰 수 있다. 또한 기존의 표준의 변화를 최소화 시키면서 Relay를 이용한 커버리지 확장과 전송률도 개선시킬 수 있다. 또한 out-band Relay에서는 추가적인 대역폭이 요구 되지만, in-band full duplex Relay에서는 동일한 대역을 재사용하기 때문에 전송 효율면에서 상당한 이득을 얻을 수 있다.

Release 10 이후의 Relay에서는 자원 사용의 효율성 증대와 latency 문제 극복, 표준의 복잡도 축소 등을 위하여 in-band full-duplex Relay의 적용이 검토되어야 할 것이다.

V. 백홀 링크에서의 SRS 및 상향 제어 정보의 설정 방법

LTE Release 8에서 상향 링크로 전송되는 물리 계층 신호는 PUCCH, PUSCH, SRS 등이 있다. PUCCH는 상향링크 제어신호를 전송하기 위한 물리 계층으로 이 채널을 통하여 상향링크 스케줄링 요청 정보 (SR), 하향링크 데이터 전송에 따른 응답 정보 (HARQ ACK/NACK) 및 채널 품질 정보 (CQI/PMI/RI) 등이 전송이 된다. PUSCH는 주로 단말 데이터를 전송하기 위한 물리채널로 하나의 단말이 데이터 및 제어신호를 동시에 보낼 필요가 있을 경우에는 이 채널을 통하여 다중화 되어 전송이 된다. SRS는 기지국에서 상향링크의 채널품질을 측정하거나 기지국과 단말 간 시간 동기를 맞추기 위한 타이밍 정보 측정에 사용이 된다.

PUCCH를 통하여 전송되는 제어정보 중 SR과 CQI/PMI/RI는 특정 주기로 전송이 되며 SRS 신호 역시 일정한 시간 간격으로 전송이 된다. SR, CQI/PMI/RI, SRS의 각 전송주기는 1/2/5/10/20/40/80 ms, 2/5/10/20/40/80/32/64/128 ms, 2/5/10/20/40/80/160/320 ms 이다. 각 신호의 전송 서브프레임 및 전송 주기는 상위 신호 전송을 통해 기지국에서 단말로 전송이 된다.

하지만 상향 백홀 서브프레임에 SRS 및 상향 제어 정보 전송할 때는 할당된 상향 백홀 서브프레임에 맞추어 신호들의 주기를 설정해야 할 필요가 있다⁸⁾. 상향 백홀 서브프레임으로 할당될 수 있는 서브프레임들은 각 radio 프레임의 MBSFN 서브프레임으로 설정이 가능한 0/1/2/5/6/7번째 서브프레임들만 될 수 있다. 따라서 상향 제어 신호들도 상향 백홀 서브프레임에 전송이 될 수 있도록 주기를 설정할 필요가 있다.

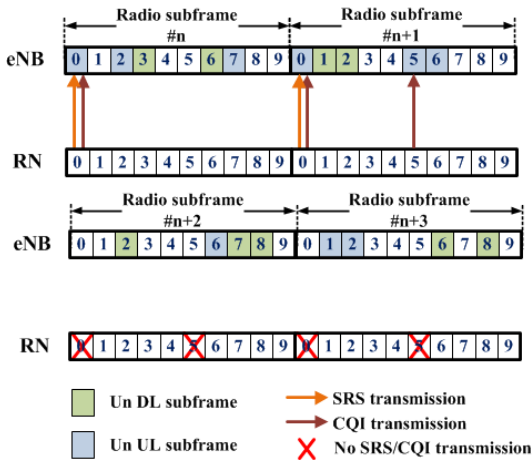


그림 17. 백홀 링크에서 주기성을 가지는 신호 전송 예

그림 17은 백홀 링크에서 주기성을 가지는 신호전송의 예를 설명하고 있다. SRS는 10 ms의 전송 주기를 가지고 CQI는 5 ms의 전송 주기를 갖는다고 가정했으며, 백홀 구성 주기 패턴은 {00011010}으로 가정하였다. 이러한 백홀 할당 패턴하에서는 SRS는 40 ms 내에 4번의 전송이 이루어져야 하지만 2번의 전송 밖에 가능하지 않다. CQI의 경우에는 8번의 전송을 해야 하나 단지 3번의 전송만 가능하다.

상향 백홀 서브프레임 할당 패턴에 따라 발생하는 상향 제어신호의 전송기회 제한은 상향 백홀 서브프레임들에 새로운 서브프레임 번호를 부여하면 해결할 수 있다. 그림 18과 같이 할당된 상향 백홀 서브프레

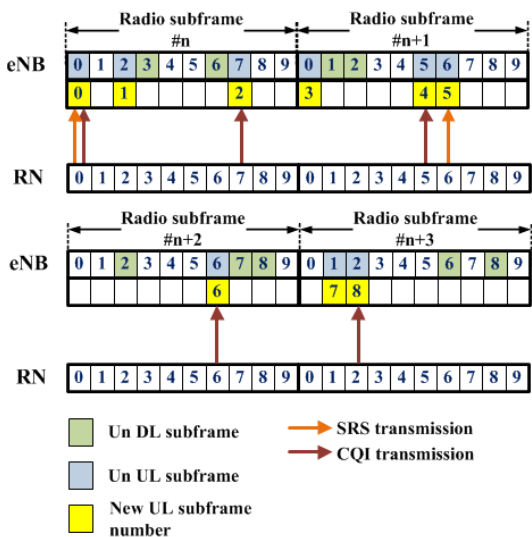


그림 18. 상향 백홀 서브프레임 넘버링을 고려한 주기 신호 전송

임에 순차적으로 서브프레임 번호를 부여한다. Relay는 새롭게 부여된 상향 백홀 서브프레임 번호를 참조하여 상향 제어신호들의 주기에 맞는 서브프레임에서 주기 신호들을 전송할 수 있다. 이 방법을 통해 주기성을 갖는 신호들에 대해 주기 설정에 대한 편의성 및 주기 전송을 보장할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 현재 3GPP LTE Release 10 표준에서 지원하는 Relay FDD 모드에 대한 향후 개선 방향을 제안하였다. Relay의 무선 백홀 채널에서의 CA 적용을 위해 SCell에 대한 백홀 패턴 재설정 방법, 다른 대역폭의 CC 허용, Relay에 대한 RRM 측정 지원, Un 링크에서 CCS의 적용등을 살펴보았으며, 이를 위한 효율적인 상위 계층 신호방안으로 RRC 메시지와 Relay startup 절차를 제안하였다. 설계된 Relay Reference Signal이 적용될 경우 백홀과 액세스 링크 간 동일한 주파수를 사용하는 LTE Type 1 Relay에서 자기 간섭 신호가 제거되어 자원 활용을 극대화할 수 있는 full-duplexing이 가능할 것이다. 또한 제안된 상향 링크 제어 정보 설정 방법은 현재의 백홀 설정 환경에서 전송 제한을 개선시킬 수 있다. 향후의 3GPP RAN 표준은 LTE-Advanced 요소 기술을 향상시키는 방향으로 진행될 것으로 예상되는 바, 본 논문에서 제안된 기술들은 향후 LTE-Advanced의 후보 기술이 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] ITU-R Circular Letter 5/LCCE/2 on IMT-Advanced, ITU-R WP5D #2, June 2008
- [2] 3GPP, TR36.913, "Requirements for further advancement for evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA) (LTE-Advanced)", Dec. 2009
- [3] 3GPP TR36.912, "Feasibility study for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced)", Dec. 2009
- [4] 3GPP TS36.216, "Physical layer for relaying operation (Release 10)", March 2011
- [5] 3GPP TS36.321, "Medium Access Control (MAC) protocol specification (Release 10)", June 2011
- [6] 3GPP TS36.331, "Radio Resource Control

(RRC) protocol specification (Release 10)", June 2011

[7] R1-092185, "Self-Interference: Measurement and Cancellation", 3GPP RAN WG1 #57, May 2009

[8] R1-106002, "Uplink periodic signal transmission over Un link", 3GPP RAN WG1 #63, Nov. 2010

장 일 두 (Ildoo Chang)

정회원



2003년 중앙대학교 전자전기공학 학사

2005년 홍익대학교 전자전기공학 석사

2010년 7월~현재 LG-Ericsson CTO Advanced Technology팀

<관심분야> LTE/LTE-A, OFDM 기반 무선통신 시스템 및 네트워크

박 병 성 (Byoungseong Park)

정회원



1996년 2월 연세대학교 전파공학과 졸업

1998년 2월 연세대학교 전파공학과 석사

2003년 8월 연세대학교 전기전자 공학과 박사

2010년 7월~현재 LG-Ericsson

CTO, Advanced Technology 팀

<관심분야> LTE/LTE-A, 통신공학, 전파전파

이 희 봉 (Heebong Lee)

정회원



2003년 국민대학교 전자정보통신공학 학사

2005년 국민대학교 전자정보통신공학 석사

2010년 7월~현재 LG-Ericsson CTO Advanced Technology팀

<관심분야> LTE/LTE-A, System evaluation

김 상 하 (Sangha Kim)

정회원



1995년 홍익대학교 전자계산학사

1997년 홍익대학교 전자계산석사

2010년 7월~현재 LG-Ericsson R&D Mobile Technology 1팀

<관심분야> LTE/LTE-A, OFDM 기반 무선통신 시스템 및 네트워크

권 경 인 (Kyoungin Kwon)

정회원



1987년 2월 서울대학교 계산통계학과 졸업

1998년 2월 KAIST 정보 및 통신공학과 박사

2008년 1월~12월 LG-Nortel Broadband Access 연구실장

2009년 9월~2010년 6월 LG-

Nortel 최고 기술 경영자 (CTO)

2010년 7월~현재 LG-Ericsson 최고 기술 경영자 (CTO)

<관심분야> 이동통신, 광대역통신, 미래인터넷, WDM-PON