

# 3GPP LTE-Advanced 시스템에서 릴레이 기반의 협력 네트워크를 위한 효율적인 자원할당 기법

정회원 김 산 해\*, 양 모 찬\*, 준회원 이 제 연\*, 종신회원 신 요 안\*

## Efficient Resource Allocation Schemes for Relay-based Cooperative Networks in 3GPP LTE-Advanced Systems

Sanhae Kim\*, Mochan Yang\* *Regular Members*,  
Jeyeon Lee\* *Associate Member*, Yoan Shin\*<sup>o</sup> *Lifelong Member*

### 요 약

릴레이를 이용한 다중 홉 시스템은 기존의 단일 홉 시스템과 달리 주어진 전체 리소스 영역의 일부를 릴레이 통신에 할당하게 되어 효율적인 자원할당 알고리즘을 도입하지 않으면, 실제 사용이 가능한 리소스의 손실을 초래하게 된다. 또한, 릴레이 기반 셀룰러 시스템에서 생기는 인접 셀 간섭으로 인해 기지국과 단말기 또는 릴레이와 단말기 사이의 높은 링크 성능을 보장하지 못하는 경우가 발생해 리소스 효율이 급격히 떨어질 수 있다. 본 논문에서는 3GPP (3rd Generation Partnership Project) LTE (Long Term Evolution)-Advanced 시스템의 하향링크 릴레이 협력 네트워크에서의 효율적인 자원할당 기법을 제안한다. 릴레이 협력 네트워크에서 각각의 통신 링크마다 고정 리소스 영역을 갖는 기존의 기법과는 달리, 제안된 자원할당 알고리즘은 각 통신 링크 간의 채널 상태 및 전송 가능 용량 등을 고려하여 각 리소스 블록 단위 별로 적응적으로 자원을 할당하는 기법이다. 또한 셀 또는 단말의 추가적인 전송률 증대를 위해 특정 통신 링크가 할당된 리소스 영역에 다른 통신 링크의 리소스를 중복하여 자원을 재사용하는 기법을 제안한다. 제안된 리소스 중복 할당 방식은 리소스 중복으로 인한 추가적인 간섭을 미리 고려하여 동적으로 자원을 할당하는 방식으로 단말기에서 간섭 제거 등의 추가적인 절차가 불필요하다.

**Key Words** : Relay, Resource Allocation, Resource Overlapping, Cooperative Communications, Ofdma

### ABSTRACT

Unlike single-hop systems, multi-hop systems that use relay nodes assign a part of the overall resources to relay communications. If efficient resource allocation schemes are not adopted, this leads to a loss of resources. Moreover, because we may not be able to guarantee high-link performance due to the adjacent-cell interference in relay-based cellular systems, resource efficiency can be severely decreased. In this paper, we propose efficient resource allocation schemes for downlink relay-based networks in 3GPP (3rd Generation Partnership Project) LTE (Long Term Evolution)-Advanced systems. Unlike conventional schemes that have static resource regions for each data link, the proposed schemes dynamically allocate the resources of each link to resource blocks, by considering the channel state and the capacity of each link. We also propose resource overlapping schemes in which two different links overlap at the same resource region, so as to improve cell or user throughput performance. The proposed resource overlapping schemes do not require additional processes such as interference cancellation in users, thank to considering additional interference from resource overlapping in advance.

※ 본 논문은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 중견연구자지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0000365).

\* 숭실대학교 정보통신전자공학부 통신및정보처리 연구실 ({ksh808,ymc0124,ljy1280}@amcs.ssu.ac.kr, yashin@ssu.ac.kr) (° : 교신저자)  
논문번호 : KICS2010-05-210, 접수일자 : 2010년 5월 12일, 최종논문접수일자 : 2010년 6월 1일

## I. 서 론

현재 릴레이 기술은 차세대 모바일 광대역 통신 시스템의 표준화 규격인 3GPP (3rd Generation Partnership Project) LTE (Long Term Evolution)-Advanced, IEEE 802.16j 그리고 IEEE 802.16m 등에서 활발하게 연구되고 있다<sup>[1]</sup>. 특히, 3GPP LTE-Advanced 시스템에서는 4세대 이동통신 규격인 IMT (International Mobile Telecommunications)-Advanced의 요구사항을 만족시키기 위해 반송파 집적 기술 (Carrier Aggregation), 다중 안테나 전송 기술 (Multiple Input Multiple Output; MIMO), CoMP (Coordinated Multiple Point transmission/ reception) 기술 등과 함께 릴레이 기술을 강력한 후보로 선정하고 이의 개발에 박차를 가하고 있는 실정이다<sup>[2,3]</sup>. 릴레이 기술은 다수의 사용자들에게 고속 데이터 전송률을 보장하기 위해 도입되었으며, 셀의 경계 및 음영 지역에 릴레이 노드를 설치함으로써 효과적으로 셀 커버리지를 확장하거나 전송 용량을 매우 효과적으로 높일 수 있다<sup>[4,5]</sup>.

하지만 릴레이를 이용한 다중 홉 (Multi-Hop) 시스템은 기존의 단일 홉 (Single-Hop) 시스템과 달리 전체 리소스 영역의 일부를 릴레이 통신에 할당하게 되어, 효율적인 자원할당 알고리즘을 도입하지 않으면 실제 사용이 가능한 리소스의 손실을 초래하게 된다. 또한, 릴레이 기반 셀룰러 시스템에서 생기는 인접 셀 간섭으로 인해 기지국 (enhanced Node-B; eNB)과 단말기 (User Equipment; UE) 또는 릴레이 노드 (Relay Node; RN)와 UE 사이의 높은 링크 성능을 보장하지 못하는 경우가 발생해 리소스 효율이 떨어질 수 있다. 따라서 이와 같은 리소스 효율의 손실을 극복하고 높은 전송 용량을 확보하기 위해 릴레이 협력통신 기반의 효율적인 자원할당 기법에 관한 연구가 절실히 필요한 실정이다. 또한, 3GPP LTE-Advanced 시스템의 상/하향링크에서 다수 부반송파 또는 부반송파 그룹을 이용하는 OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) 기술이 채택됨으로써 다수의 사용자들에게 보다 유연성 있게 자원과 전력을 할당할 수 있다<sup>[6,7]</sup>. 따라서 3GPP LTE-Advanced 시스템에서 셀 및 단말기의 전송률 증대를 위해서는 OFDMA 기반의 릴레이 협력통신을 위한 효율적인 자원할당 및 리소스의 재사용 기술에 대한 연구가 필요하다.

이러한 OFDMA 기반의 릴레이 협력통신에서의 효율적인 자원할당에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[8,9]</sup>. 하지만 기존의 연구에서는 주로 각 링크 간의

간섭을 최소화하는 방안에 관심을 보이고 있어, 주파수 선택적 페이딩 (Frequency Selective Fading) 특성을 갖는 OFDMA 기반의 시스템에서 실제 자원이 할당되는 자원 영역에 대한 스펙트럼 효율 (Spectral Efficiency)을 높이는 방안에 대한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 하향링크 릴레이 협력 네트워크에서 각 링크 간의 채널 상태 및 전송 가능 용량 등을 고려하여 동적으로 각 링크의 자원을 할당하여 스펙트럼 효율을 높이고, 결과적으로 셀 또는 섹터의 전체 데이터 전송률을 증대시킬 수 있는 프레임 구조 및 자원할당 기법을 제안한다.

한편, [10]에서는 셀 또는 단말의 추가적인 전송률 증대를 위해 특정 링크가 할당된 리소스 영역에 다른 링크의 자원을 중복 할당하는 방안을 제시하고 있다. 하지만, 이 기법은 동일한 리소스 영역에 서로 다른 두 링크에 대한 자원을 할당함으로써 발생하는 간섭을 해결하기 위해 릴레이에 속한 UE는 적절한 간섭 제거 기술을 적용하여 UE의 시스템 복잡도가 증가하고 적용되는 간섭 제거 기술에 따라 시스템 성능 또한 달라진다. 본 논문에서는 추가적으로 발생하는 상호간의 간섭을 미리 반영하여 적응적으로 자원을 할당하는 리소스 중복 할당 기법을 제안하여, UE에서의 추가적인 간섭 제거 등의 추가적인 복잡한 절차 없이 셀 또는 단말의 데이터 전송률을 증대시키고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 3GPP LTE-Advanced 시스템에서의 자원할당을 위한 프레임 구조를 살펴보고, 3장에서는 기존의 반정적 자원할당 기법과 제안하는 동적 자원할당 기법을 설명한다. 4장에서는 3장에서 설명한 자원할당 기법들에 대한 리소스 중복 할당 방식을 제안한다. 이어 5장에서는 시스템 레벨 시뮬레이션을 통해 자원할당 기법들의 성능을 비교 분석하며, 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

## II. 3GPP LTE-Advanced 시스템에서의 자원할당을 위한 프레임 구조

무선 인터페이스에서의 물리적 리소스의 기본 구성 요소는 라디오 프레임 (Radio Frame)이다. 3GPP LTE-Advanced 시스템의 라디오 프레임 구조는 FDD (Frequency Division Duplex) 모드와 TDD (Time Division Duplex) 모드의 두 종류이다. 본 논문에서는 FDD 모드의 프레임 구조를 고려하기로 한다.

그림 1은 3GPP LTE-Advanced 시스템에서의 라디오 프레임의 구조와 이에 해당하는 자원 그리드

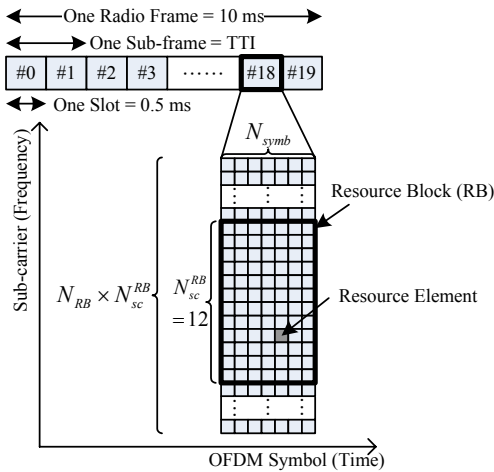


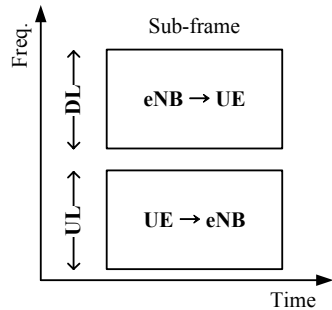
그림 1. 3GPP LTE-Advanced 시스템의 하향링크 FDD 라디오 프레임 구조  
Fig. 1. Downlink FDD radio frame structure in 3GPP LTE-Advanced systems

(Resource Grid) 구조를 보여주고 있다<sup>[11]</sup>. 그림 1을 보면, 하나의 라디오 프레임은 10개의 서브프레임 (Sub-frame)으로 구성되고, 하나의 서브프레임은 2개의 슬롯 (Slot)으로 구성된다. 하나의 서브프레임의 길이는 1msec이며, 이를 TTI (Transmission Time Interval)이라 한다. 따라서 하나의 라디오 프레임 길이는 10msec이며, 하나의 슬롯의 길이는 0.5msec이다. 하나의 슬롯은 시간 영역에서 여러 개의 OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) 심벌을 포함한다. 자원블록 (Resource Block; RB)은 주파수 영역에서  $N_{sc}^{RB}$ 개의 부반송파로 구성되고, 시간 영역에서는  $N_{symb}$ 개의 OFDM 심벌로 구성된다. 자원블록을 구성하는 각 요소는 자원요소 (Resource Element)이다. 또한, 하나의 슬롯은 총  $N_{RB}$ 개의 자원블록으로 구성된다. 하나의 슬롯을 구성하는 여러 파라미터들은 시스템에서 설정하는 전송 대역폭에 따라 결정된다.

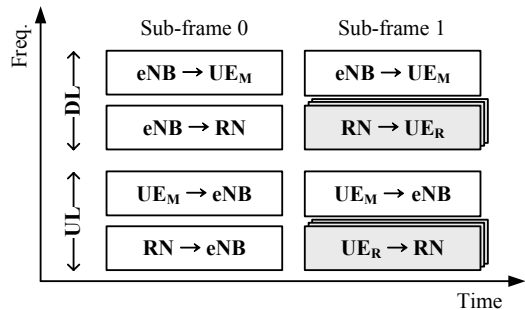
릴레이를 사용하지 않는 기존의 셀룰러 시스템에서의 자원할당을 위한 라디오 프레임 구조가 그림 2의 (a)에 도시되어 있다. 하향링크의 경우, 하나의 서브프레임 단위로 eNB에서 스케줄링을 통해 eNB-UE 링크에 대한 자원할당만을 수행하면 된다. 한편, 기존의 셀룰러 시스템에 릴레이 기술을 도입함으로써 무선자원 영역에 할당될 수 있는 통신 링크는 eNB-UE<sub>M</sub> 링크, eNB-RN 링크 그리고 RN-UE<sub>R</sub> 링크의 총 3종류로 구분된다. 여기서, UE<sub>M</sub>은 eNB와 통신을 수행하는 매크로 단말 (Macro UE)이며, UE<sub>R</sub>은 RN과 통신하는

릴레이 단말 (Relay UE)를 의미한다. 일반적으로 eNB-RN 링크는 백홀 (Backhaul) 링크, RN-UE<sub>R</sub> 링크는 액세스 (Access) 링크로 정의된다. 본 논문에서 고려하는 릴레이 협력통신 기반의 3GPP LTE-Advanced 시스템에서 자원할당을 위한 전형적인 FDD 프레임 구조가 그림 2의 (b)에 도시되어 있다.

먼저 하향링크의 프레임 구조를 보면, 0번 서브프레임 구간은 eNB-UE<sub>M</sub> 링크와 eNB-RN 링크의 자원을 할당하는데 사용된다. 그리고 eNB-UE<sub>M</sub> 링크와 RN-UE<sub>R</sub> 링크에 대한 자원은 1번 서브프레임 구간에 할당된다. 이러한 구조에서 릴레이 사이의 거리가 충분히 멀다고 가정하면, 0번 서브프레임 구간에서의 RN-UE<sub>R</sub> 링크에 할당된 자원 영역에 모든 RN-UE<sub>R</sub> 링크의 자원을 재할당함으로써 자원을 재사용할 수 있다. 그러나 eNB에서 송신되는 신호가 모든 RN-UE<sub>R</sub> 링크에 간섭으로 작용되기 때문에 eNB-UE<sub>M</sub> 링크가 할당된 자원 영역에는 RN-UE<sub>R</sub> 링크의 자원을 재사용하여 할당할 수 없다. 마찬가지로, 0번 서브프레임 구간에서는 eNB만이 신호를 송신하므로 자원 재사용이 허용되지 않는다.



(a) 릴레이를 사용하지 않는 시스템



(b) 릴레이 기반의 시스템

그림 2. 3GPP LTE-Advanced 시스템의 자원할당을 위한 FDD 라디오 프레임 구조  
Fig. 2. FDD radio frame structure for resource allocation in 3GPP LTE-Advanced systems

### III. 릴레이 기반의 시스템을 위한 자원할당 기법

기존의 정적 또는 반정적 자원할당 방식은 각각의 통신 링크에 대한 자원할당 영역이 물리적으로 완전히 분리되어 있다<sup>[12,13]</sup>. 이러한 정적 또는 반정적 자원할당 방식은 각 통신 링크에 대해 이미 정해진 영역 내에서만 자원을 할당할 수 있다. 이러한 자원할당 방식은 주파수 선택적 페이딩 환경에서 좋은 채널 상태를 갖는 자원 영역에 할당할 수 없는 경우가 발생하기 때문에 자원 관리에 있어서 매우 비효율적이다. 반면에, 제안하는 동적 자원할당 기법은 자원 사용에 있어서 효율성 등을 높이기 위해 각 링크의 채널 상태나 전송 가능한 용량 등을 고려하여 서브프레임 내의 전 대역에 대해 동적으로 자원을 할당한다.

#### 3.1 반정적 자원할당 기법

반정적 자원할당 기법은 각 서브프레임에 해당하는 통신 링크들에 대한 자원할당 영역이 물리적으로 분리되어 각각의 영역에서 해당 링크의 스케줄링(Scheduling)이 독립적으로 이루어지는 방식이다. 이러한 반정적 자원할당 기법의 자원할당 예시가 그림 3에 도시되어 있다.

반정적 자원할당 기법에서 각각의 독립된 링크의 자원할당을 위한 스케줄링을 eNB 또는 RN에서 수행하기 위해서는 해당 무선자원 영역에 대한 채널 정보, 즉 CQI (Channel Quality Indication)을 획득해야 한다. 이러한 CQI 정보를 획득하기 위해 eNB는 RN 또는 UE<sub>M</sub>에게, RN은 UE<sub>R</sub>에게 참조신호(Reference Signal; RS)를 전송한다. 그러면, RS를 수신한 RN, UE<sub>M</sub>, UE<sub>R</sub>은 CQI 정보를 생성하여 이를 피드백 한다. 이러한 RS 전송으로부터 실제 데이터가 전송되기까

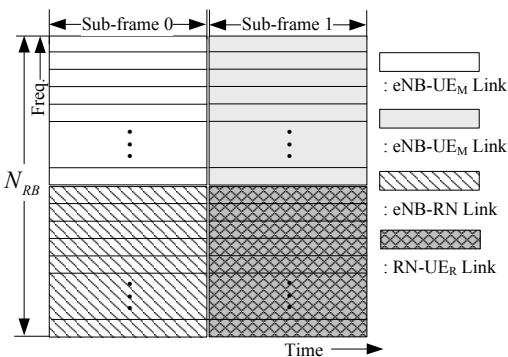


그림 3. 반정적 자원할당 기법의 자원할당의 예시  
Fig. 3. Example of semi-static resource allocation scheme

지의 시그널링 흐름도가 그림 4에 도시되어 있다. 먼저, eNB는 UE<sub>M</sub>과 RN으로부터 CQI 정보를 수신 받아 eNB-UE<sub>M</sub> 링크 및 eNB-RN 링크에 대한 스케줄링을 각 링크 별로 독립적으로 수행하여 자원을 할당한다. 이후, eNB는 각각의 RN에게 eNB-RN 링크에 대한 스케줄링 정보를 전송한다. 각각 RN은 eNB로부터 전송받은 스케줄링 정보를 바탕으로 각각의 RN-UE<sub>R</sub> 링크에 대한 스케줄링을 독립적으로 수행하여 자신에게 속해있는 UE<sub>R</sub>에 대한 자원을 할당하게 된다. 이때, RN은 각각의 UE<sub>R</sub>에 대한 전송 가능한 데이터양을 초과하지 않도록 eNB에게 전송받은 스케줄링 정보를 참조하게 된다.

각 링크에 주어진 자원영역에서 독립적으로 수행되는 스케줄링 기법은 시스템 성격에 따라 다양한 기법이 적용될 수 있다. 본 논문에서는 다중사용자 다이버시티 이득을 얻으면서 동시에 형평성 문제도 완화하는 장점으로 인해 널리 적용되고 있는 비례공평성(Proportional Fair; PF) 스케줄링 기법<sup>[14,15]</sup>을 고려하기로 한다.

한편, 그림 4에서와 같이 RS 신호 분석, CQI 신호 분석 및 스케줄링 정보 분석 등이 하나의 서브프레임 시간동안 이루어진다고 가정한다. 이에 대한 결과로, 반정적 자원할당 기법에서의 RS 신호 전송으로부터 실제 데이터 패킷을 전송하기까지의 시간지연은 첫 번째 서브프레임에서의 eNB-UE<sub>M</sub> 링크는 4 서브프레임 구간, 두 번째 서브프레임에서의 eNB-UE<sub>M</sub> 링크는 5 서브프레임 구간, eNB-RN 링크는 4 서브프레임 구간 그리고 RN-UE<sub>R</sub> 링크는 4 서브프레임 구간이 된다.

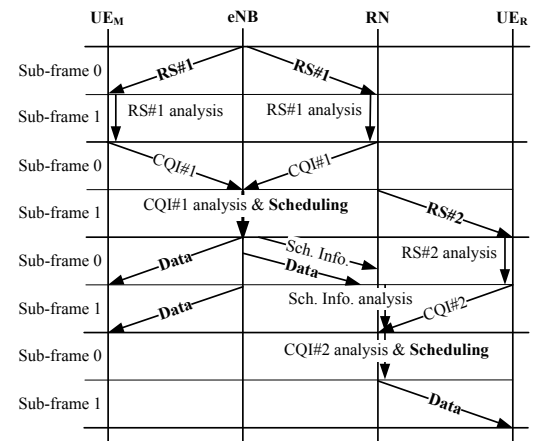


그림 4. 반정적 자원할당 기법을 위한 시그널링 흐름도  
Fig. 4. Signaling flows of semi-static resource allocation scheme

### 3.2 제안하는 동적 자원할당 기법 I

본 논문에서 제안하는 동적 자원할당 기법 I은 반정적 자원할당 기법과는 달리 첫 번째 서브프레임에서 eNB-UE<sub>M</sub> 링크와 eNB-RN 링크가 서로 같은 리소스 영역 내에서 자원을 나누어 할당하고 두 번째 서브프레임에서는 eNB-UE<sub>M</sub> 링크와 RN-UE<sub>R</sub> 링크가 서로 같은 리소스 영역 내에서 자원을 나누어서 할당하게 된다. 또한 eNB가 모든 링크의 CQI 정보를 보고 받은 후 총괄적으로 모든 자원영역에 대한 스케줄링을 수행함으로써 보다 효율적이고 동적으로 자원을 할당할 수 있게 된다. 이러한 동적 자원할당 기법 I의 자원할당 예시와 이를 위한 시그널링 흐름도가 그림 5와 6에 각각 도시되어 있다.

제안된 동적 자원할당 기법 I에서 첫 번째 서브프레임 구간에 해당하는 링크들에 할당될 RB 수는 반정적 자원할당 기법과 마찬가지로 각 링크의 UE 수에 비례하거나 시스템의 우선순위 등에 의해 미리 정한다. 하지만, 두 번째 서브프레임 구간의 RN-UE<sub>R</sub> 링크에는 할당될 최대 RB 수만 지정함으로써 실제 할당되는 RB 수는 유동적이 되어 자원의 낭비를 방지할 수 있다.

한편, 본 기법에서의 RS 신호 전송으로부터 실제 데이터 패킷을 전송하기까지의 시간지연은 첫 번째 서브프레임 구간의 eNB-UE<sub>M</sub> 링크와 eNB-RN 링크는 반정적 자원할당 기법과 마찬가지로 4 서브프레임 구간이다. 반면, 두 번째 서브프레임 구간의 eNB-UE<sub>M</sub> 링크는 동적 자원할당으로 인해 RN-UE<sub>R</sub> 링크와 동일한 시간 구간에 보내져야 하므로 7 서브프레임 구간이 지연되며, RN-UE<sub>R</sub> 링크는 해당 링크의 CQI 정보를 eNB까지 보고하고 eNB로부터 자원할당 정보를 받아 데이터를 전송해야하므로 10 서브프레임 구간이

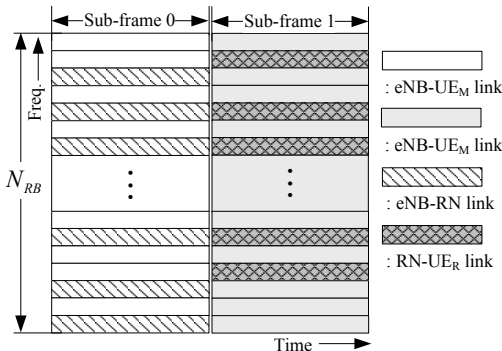


그림 5. 제안된 동적 자원할당 기법 I의 자원할당의 예시  
Fig. 5. Example of the proposed dynamic resource allocation scheme I

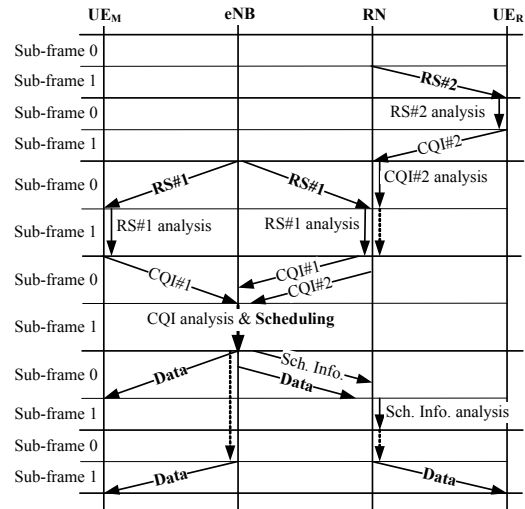


그림 6. 제안된 동적 자원할당 기법 I을 위한 시그널링 흐름도  
Fig. 6. Signaling flows for the proposed dynamic resource allocation scheme I

지연된다. 이와 같이, RS 신호를 전송한 시점과 실제 데이터를 전송하는 시점의 시간지연이 길어질수록 채널의 상태가 변하게 되므로 전송 오류가 발생하여 H-ARQ (Hybrid-Automatic Repeat reQuest) 등의 기법으로 재전송해야하므로 자원의 낭비가 발생할 확률이 높아진다.

제안된 동적 자원할당 기법 I의 각 서브프레임 구간에서의 자원할당 절차는 다음과 같다.

#### 3.2.1 첫 번째 서브프레임 구간 (Sub-frame 0)

이 구간에서는 제안된 RB 영역에서 UE<sub>R</sub>에 대한 전송량을 최대로 이끌어내기 위해, eNB-RN 링크 기준으로 좋은 채널 상태를 갖는 RB에 eNB-RN 링크의 자원을 정해진 최대 RB 수만큼 할당하고 나머지 RB 영역에 eNB-UE<sub>M</sub> 링크의 자원을 할당한다. 이를 위해 전체 RB 영역에서 모든 eNB-RN 링크에 대해 평균전송률을 계산하고, RB를 높은 평균전송률을 갖는 순으로 정렬한 후 할당된 RB 수만큼 순차적으로 PF 스케줄링을 통해 eNB-RN 링크의 자원을 할당한다. 이후, 나머지 RB에 대해 PF 스케줄링을 수행하여 eNB-UE<sub>M</sub> 링크의 자원을 할당한다.

#### 3.2.2 두 번째 서브프레임 구간 (Sub-frame 1)

이 구간에서는 첫 번째 서브프레임 구간과 유사하게 전체 RB 영역에 대해 여러 RN-UE<sub>R</sub> 링크의 평균 전송률을 먼저 계산하고, RB를 높은 평균전송률을 갖는 순으로 정렬한 후 RN-UE<sub>R</sub> 링크에 할당된 최대

RB 수 이내로 자원을 할당한다. 이 때, RN-UE<sub>R</sub> 링크 간에는 주파수를 재사용하기 때문에 하나의 기준 RN 을 선택해서 우선적으로 자원을 할당해야한다. 이는 다수의 RN 중에서 전송해야할 총 자원량이 가장 많은 RN-UE<sub>R</sub> 링크를 기준으로 PF 스케줄링을 수행하여 자원을 할당함으로써 해결할 수 있다. 또한, 각각의 RN-UE<sub>R</sub> 링크에 대한 자원할당 시에는 eNB-RN 링크로부터 전송된 해당 UE<sub>R</sub>의 데이터양만큼만 할당하게 된다. 이후, 나머지 RB에 대해 PF 스케줄링을 수행하여 eNB-UE<sub>M</sub> 링크의 자원을 할당을 마친다.

3.3 제안하는 동적 자원할당 기법 II

본 논문에서 제안하는 동적 자원할당 기법 II는 앞서의 기법 I과는 달리 각각의 RN이 자신의 RN-UE<sub>R</sub> 링크의 자원할당 수행하고 나머지 링크에 대한 자원 할당을 eNB에서 수행하는 분산식 자원할당 기법이다.

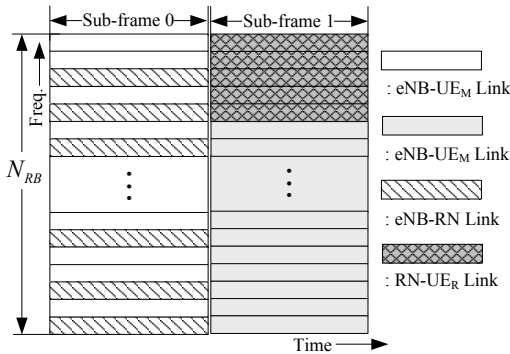


그림 7. 제안된 동적 자원할당 기법 II의 자원할당의 예시  
Fig. 7. Example of the proposed dynamic resource allocation scheme II

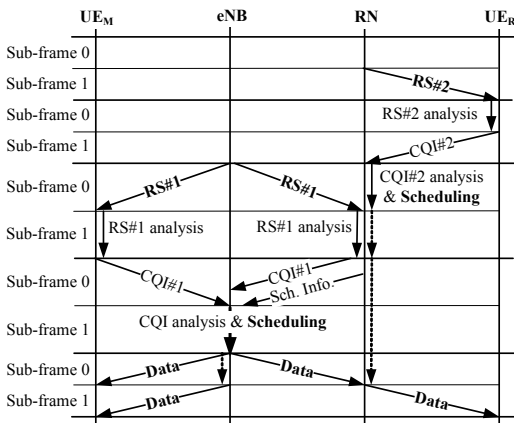


그림 8. 제안된 동적 자원할당 기법 II를 위한 시그널링 흐름도  
Fig. 8. Signaling flows for the proposed dynamic resource allocation scheme II

이렇게 RN에서 자신의 RN-UE<sub>R</sub> 링크를 스케줄링 하는 분산식 자원할당 기법이라는 관점에서 반정적 자원할당 기법과 같은 맥락이다. 그림 7과 8은 제안된 동적 자원할당 기법 II의 자원할당 예시와 이를 위한 시그널링 흐름도를 나타내고 있다.

제안된 동적 자원할당 기법 II에서의 RS 신호 전송 으로부터 실제 데이터 패킷을 전송하기까지의 시간지 연은 첫 번째 서브프레임 구간의 eNB-UE<sub>M</sub> 링크와 eNB-RN 링크는 앞서의 기법들과 마찬가지로 4 서브 프레임 구간이다. 두 번째 서브프레임 구간의 eNB-UE<sub>M</sub> 링크는 반정적 자원할당 기법과 마찬가지로 5 서브프레임 구간이 지연되며, RN-UE<sub>R</sub> 링크는 해당 링크의 CQI 정보를 가지고 스케줄링을 통해 먼 저 자원을 할당하고 이의 정보를 eNB까지 보고한다. 하지만, eNB로부터의 자원할당 정보를 다시 수신해야 할 필요가 없으므로 eNB-UE<sub>M</sub> 링크의 데이터가 전송 되는 시점에 동시에 데이터를 전송하게 되어 8 서브 프레임 구간이 지연된다. 이의 결과로 제안된 동적 자원할당 기법 I과 비교하여 2 서브프레임 구간만큼 시 간지연이 줄어들게 된다.

본 제안 기법에서 두 번째 서브프레임 구간의 RN-UE<sub>R</sub> 링크에 할당될 RB 수는 다음 식과 같이 UE<sub>R</sub> 별 전송용량의 비율로 정하여 매 서브프레임 마 다 동적으로 결정된다.

$$\tilde{R}_k = \frac{N_{UE_{R,k}}}{N_{Total UE}} \sum_i \tilde{R}_{k \rightarrow i}^* \quad (1)$$

여기서  $\tilde{R}_{k \rightarrow i}^*$ 는 k번째 RN에서 모든 RB에 대해서 PF 스케줄링을 수행하여 얻어진 k번째 RN과 페어링된 i 번째 UE<sub>R</sub>의 총 전송용량을 의미하고, N<sub>Total UE</sub>는 셀 (또는 섹터) 내에 존재하는 모든 UE의 개수, N<sub>UE<sub>R,k</sub></sub>는 k번째 RN과 페어링된 모든 UE<sub>R</sub>의 개수를 각각 의미 한다. 이렇게 k번째 RN이 i번째 UE<sub>R</sub>에게 할당할 총 전송용량은  $\tilde{R}_k$ 로 제한되어 매 서브프레임 마다 RN-UE<sub>R</sub> 링크에 할당될 RB 수는 채널 상태에 따라 유동적이게 된다.

또한, 첫 번째 서브프레임 구간의 eNB-RN 링크에 는 할당될 자원양도 마찬가지로 두 번째 서브프레임 구간의 RN-UE<sub>R</sub> 링크들의 총 전송용량에 좌우되므로 매 프레임마다 할당되는 RB의 수가 변하게 된다. 이 에 대한 결과로, eNB-UE<sub>M</sub> 링크에 할당될 RB 수도 매 서브프레임마다 유동적이게 된다.

제안된 동적 자원할당 기법 II의 각 서브프레임 구간에서의 자원할당 절차는 다음과 같다.

### 3.3.1 두 번째 서브프레임 구간 (Sub-frame 1)

먼저, 각각의 RN이 자신의 RN-UE<sub>R</sub> 링크에 대해 자원할당을 수행한다. 이 과정에서 다수의 RN 간에 스케줄링 정보를 서로 공유할 수 없으므로 그림 7에서와 같이 RB의 정렬 없이 순차적으로 각각의 UE<sub>R</sub>이 제한된 전송용량  $\tilde{R}_k$ 을 초과하지 않도록 PF 스케줄링을 수행한다. 이후, 각각의 RN은 RN-UE<sub>R</sub> 링크에 대한 스케줄링 정보를 eNB에 보고한다. eNB는 보고받은 스케줄링 정보를 기반으로 남은 RB 영역에 eNB-UE<sub>M</sub> 링크에 대해 PF 스케줄링을 수행하여 자원을 할당한다.

### 3.3.2 첫 번째 서브프레임 구간 (Sub-frame 0)

이 구간에서는 제안된 동적 자원할당 기법 I과 마찬가지로, 모든 eNB-RN 링크에 대한 평균전송률을 전체 RB 영역에 대해 계산하고, RB를 높은 평균전송률을 갖는 순으로 정렬한 후 순차적으로 PF 스케줄링을 통해 eNB-RN 링크의 자원을 할당한다. 여기서 기법 I에서는 eNB-RN 링크에 대해 미리 정해진 RB 수만큼 자원을 할당하나, 본 기법 II에서는 해당 링크에 대한 RB 수를 따로 정하지 않고 모든 RN으로부터 보고받은 RN-UE<sub>R</sub> 링크의 스케줄링 정보를 참조하여 두 번째 서브프레임 구간에서 전송되기로 예정된 모든 UE<sub>R</sub>의 데이터가 모두 할당될 때까지 PF 스케줄링을 수행하여 자원을 할당해야한다. 이후, 남은 RB 영역에 대해 PF 스케줄링을 수행하여 eNB-UE<sub>M</sub> 링크의 자원을 할당한다.

## IV. 리소스 중복 할당을 적용한 자원할당 기법

본 논문에서 고려하는 릴레이 기반의 협력 네트워크의 프레임 구조에서는 그림 9와 같이 두 번째 서브프레임 구간의 RN-UE<sub>R</sub> 링크가 할당된 자원 영역에 eNB-UE<sub>M</sub> 링크의 자원을 동시에 중복하여 할당하는 리소스 중복 할당 (Resource Overlapping) 방식을 적용하여 전체 셀의 전송용량을 증대시킬 수 있다. 본 논문에서 제안하는 리소스 중복 할당 기법은 두 개의 링크가 동일한 자원 영역 구간에 할당됨으로써 발생하는 추가적인 간섭을 미리 적용하여 RN이나 UE에서 간섭제거 등의 부가적인 절차가 불필요하여 시스템의 복잡도가 증가하지 않는다. 또한, 중복되는 자원 영역에 추가적으로 할당되는 UE<sub>M</sub>은 RN으로부터의

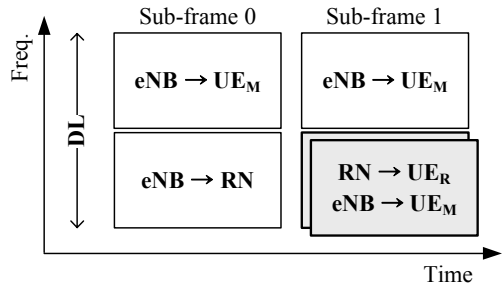


그림 9. 제안된 리소스 중복 할당 방식의 하향링크 FDD 라디오 프레임 구조  
Fig. 9. Downlink FDD radio frame structure for the proposed resource overlapping method

간섭이 가장 적은 단말을 우선적으로 선택하여 추가적인 간섭으로 인한 성능 저하를 최소화 한다.

### 4.1 리소스 중복 할당 방식 기반의 반정적 자원 할당 기법

그림 10은 반정적 자원할당 기법에서 리소스 중복 할당 방식을 적용한 경우의 시그널링 흐름도를 보여 주고 있다. 제안된 리소스 중복 할당 방식은 UE<sub>R</sub>에게는 eNB의 전송 신호가, UE<sub>M</sub>에게는 RN의 전송 신호가 추가적인 간섭으로 작용하기 때문에 자원이 중복 할당되는 영역에 대해 추가적인 간섭 신호를 고려한 CQI 정보가 필요하다. 이를 위해, 그림 10과 같이 eNB와 RN에서 RS를 동시에 보내고 UE<sub>M</sub>와 UE<sub>R</sub>은 이들의 신호를 전송 받아 추가 간섭이 포함된 CQI 정보를 생성하여 다시 eNB와 RN에게 보고한다. 한편,

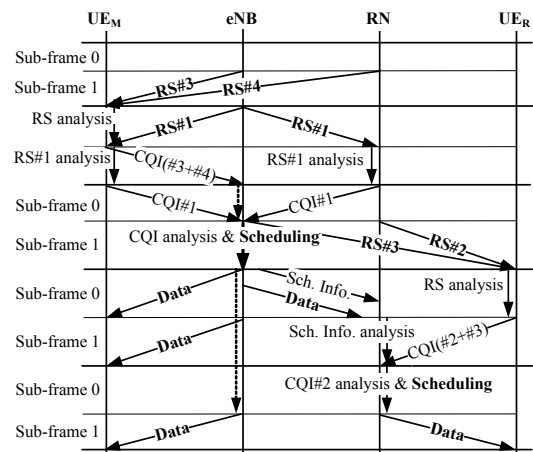


그림 10. 제안된 리소스 중복 할당 방식 기반의 반정적 자원할당 기법을 위한 시그널링 흐름도  
Fig. 10. Signaling flows for semi-static resource allocation scheme based on the proposed resource overlapping method

자원이 중복 할당되는 영역을 통해 전송되는 eNB-UE<sub>M</sub> 링크의 데이터는 RN-UE<sub>R</sub> 링크의 데이터와 같은 시간대에 전송되어야한다. 이로 인해, 자원이 중복 할당되는 영역에서의 eNB-UE<sub>M</sub> 링크의 RS 전송부터 실제 데이터가 전송되기까지의 시간지연은 8 서브프레임 구간이다.

첫 번째 서브프레임 구간에 대한 자원 할당은 리소스 비중복 할당 방식과 같다. 두 번째 서브프레임 구간의 리소스 비중복 영역에 대한 eNB-UE<sub>M</sub> 링크에 대한 자원 할당은 리소스 비중복 할당 방식과 같이 독립적으로 PF 스케줄링을 수행하여 해당 링크의 자원을 할당한다. 한편, 두 번째 서브프레임 구간의 리소스 중복 영역에 대한 자원할당 절차는 다음과 같으며 그림 11에 도시되어 있다.

- ① 먼저, 리소스 중복 영역에 해당하는 RB들에 대해 모든 RN의 간섭을 고려하여 eNB-UE<sub>M</sub> 링크를 PF 스케줄링하여 자원을 할당한다.
- ② eNB-UE<sub>M</sub> 링크의 좋은 채널 상태에 따라 리소스 중복 영역에 해당하는 RB들을 정렬하여, 정렬된 인덱스 순으로 가장 높은 전송용량을 갖는 RN-UE<sub>R</sub> 링크의 자원을 PF 스케줄링하여 할당한다. 여기서 RB를 eNB-UE<sub>M</sub> 링크의 채널 상태에 따라 정렬하여 RN-UE<sub>R</sub> 링크의 자원을 할당하는 이유는 실제 중복되는 RB 영역에 RN으로부터의 추가적인 간섭을 최소로 받는 UE<sub>M</sub>을 선택하기 위함이다.
- ③ 가장 높은 전송용량을 갖는 RN-UE<sub>R</sub> 링크에 할당된 RB에 나머지 RN-UE<sub>R</sub> 링크의 자원을 PF 스케줄링하여 순차적으로 할당한다.

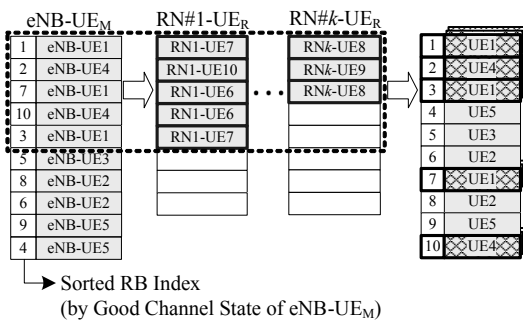


그림 11. 반정적 자원할당 기법의 리소스 중복 영역에서의 자원할당 절차  
Fig. 11. Procedure of semi-static resource allocation scheme for resource overlapping region

#### 4.2 리소스 중복 할당 방식 기반의 동적 자원할당 기법

그림 12와 13은 각각 제안하는 동적 자원할당 기법 I과 기법 II에서 리소스 중복 할당 방식을 적용한 경우의 시그널링 흐름도를 나타낸다. 마찬가지로 본 기법에서도 리소스 중복 할당으로 인한 추가적인 간섭을 계산하기 위한 추가적인 RS가 전송되어야한다. 반면, 동적 자원할당 기법에서는 두 번째 서브프레임의 eNB-UE<sub>M</sub> 링크에 대한 데이터 전송이 리소스가 중복되는 영역이나 중복되지 않는 영역에 대해 동시에 일어난다. 따라서 그림 12와 13과 같이 자원이 중복 할당되는 영역에서의 eNB-UE<sub>M</sub> 링크의 RS 전송부터 실제 데이터가 전송되기까지의 시간지연은 각각 8 서브프레임 구간과 6 서브프레임 구간이 소요된다.

반정적 자원할당 기법에서의 리소스 중복 할당 방식은 정해진 RB 영역에 eNB-UE<sub>M</sub> 링크의 자원을 먼저 할당하고, 이후에 RN-UE<sub>R</sub> 링크의 자원을 중복 할당하는 반면, 제안하는 동적 자원할당 기법에서의 리소스 중복 할당 방식은 RN-UE<sub>R</sub> 링크가 할당된 RB 영역에 eNB-UE<sub>M</sub> 링크를 추가적으로 할당하는 방식이다.

리소스 중복 할당 방식 기반의 동적 자원할당 기법의 자원할당 절차는 중복 영역에 추가적인 UE<sub>M</sub>에 대한 자원을 할당하기 전까지는 리소스 비중복 방식과 동일하다. 먼저, 3.2절과 3.3절에서 설명한 바와 같이

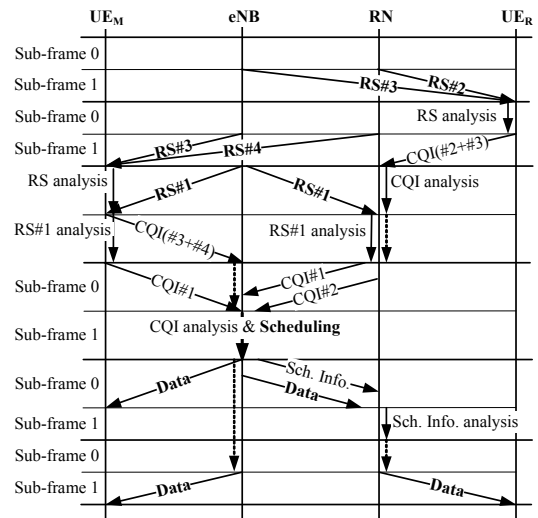


그림 12. 제안된 리소스 중복 할당 방식 기반의 동적 자원할당 기법 I을 위한 시그널링 흐름도  
Fig. 12. Signaling flows for dynamic resource allocation scheme I based on the proposed resource overlapping method



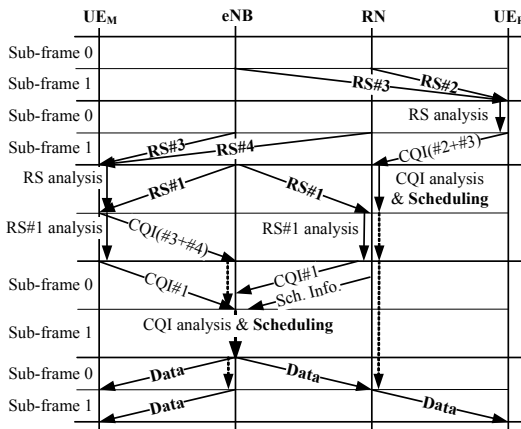


그림 13. 제안된 리소스 중복 할당 방식 기반의 동적 자원 할당 기법 II을 위한 시그널링 흐름도  
 Fig. 13. Signaling flows for dynamic resource allocation scheme II based on the proposed resource overlapping method

두 서브프레임 구간에 해당하는 모든 링크에 대한 자원할당을 수행한다. 이후, 두 번째 서브프레임 구간의 RN-UE<sub>R</sub> 링크가 할당된 RB 영역에 추가적으로 eNB-UE<sub>M</sub> 링크를 중복 할당한다. 여기서 각각의 RB에 추가적으로 할당될 UE<sub>M</sub>은 다음과 같은 기준으로 선택된다.

- ① 먼저, RN-UE<sub>R</sub> 링크에 할당된 RB의 인덱스에 따라 순차적으로  $MCS_{NonRO,i}(n)$ 과  $MCS_{RO,i}(n)$ 을 모든 UE<sub>M</sub>에 대해 비교한다. 여기서  $n$ 은 RB 인덱스이고,  $MCS_{NonRO,i}(n)$ 은 리소스 비중복 할당 방식에서 고려되는 주변의 RN의 간섭이 배제된  $i$ 번째 UE<sub>M</sub>의  $n$ 번째 RB에서의 MCS 레벨을 의미하고,  $MCS_{RO,i}(n)$ 은 리소스 중복 할당 방식에서 고려되는 주변의 RN의 간섭을 포함한  $i$ 번째 UE<sub>M</sub>의  $n$ 번째 RB에서의 MCS 레벨을 의미한다.
- ②  $MCS_{NonRO,i}(n)$ 과  $MCS_{RO,i}(n)$ 이 같은 UE<sub>M</sub>들 중에서 가장 큰  $MCS_{NonRO,i}(n)$ 을 갖는 UE<sub>M</sub>을 해당 RB에 할당한다.
- ③ 만일  $MCS_{NonRO,i}(n)$ 과  $MCS_{RO,i}(n)$ 이 동일한 UE<sub>M</sub>이 존재하지 않으면 두 값의 차이가 가장 작은 UE<sub>M</sub>들 중에서 가장 큰  $MCS_{NonRO,i}(n)$ 을 갖는 UE<sub>M</sub>을 해당 RB에 할당한다.

즉, 제안하는 동적 자원할당 기법에 적용되는 리소스 중복 할당 방식의 주요 아이디어는 UE<sub>M</sub> 기준으로

RN으로부터의 간섭이 가장 작은 UE<sub>M</sub>를 우선적으로 중복 영역에 할당하는 것이다.

한편, 리소스 비중복 할당 방식 기반의 동적 자원할당 기법 II에서의 식 (1)과 같은 RN-UE<sub>R</sub> 링크의 자원량 제한은 리소스 중복 할당 방식에서는 적용하지 않고, RN-UE<sub>R</sub> 링크에 할당할 RB 수를 일정하게 정해 놓는다. 그 이유는 리소스 중복으로 인해 특정 RN-UE<sub>R</sub> 링크의 수신 신호의 품질이 크게 나빠질 수 있다. 이런 상태에서 식 (1)을 적용하여 자원량을 제한하면 UE<sub>R</sub>에 할당되는 총 전송용량이 크게 줄어들어 할당할 수 있는 RB 수도 줄어들게 된다. 그 결과, 상대적으로 다른 기법들에 비해 리소스 중복 할당 기법으로 인한 전체 전송용량 증가율이 감소하게 된다.

### V. 모의실험 결과 및 분석

본 논문에서는 릴레이 기반의 3GPP LTE-Advanced 시스템의 자원할당 방식에 따른 성능을 비교 분석하고자 시스템 레벨 시뮬레이션을 수행하였다. 모의실험을 위한 다중 셀 레이아웃은 2계층의 19개 셀 환경을 고려하였으며, 셀 반경 (Inter Sector Distance; ISD)은 3GPP Case 3 시나리오<sup>[16]</sup>의 1,732m로 설정하였으며, 3섹터 환경을 고려하였다. 또한, 각 노드 간의 경로감쇄 및 음영 효과를 적용하였다<sup>[17]</sup>. RN은 섹터 당 2개로 대칭적으로 (Symmetric) 분포시켰으며 eNB와의 거리는 1,299m (=ISD×0.75)로 설정하였다. RN과 통신을 하는 UE<sub>R</sub>의 수는 각 RN마다 같도록 설정하였으며, 섹터 전체에 UE를 고루 분포시키기 위해 각 UE간 일정한 최소거리를 설정하여 Random하게 Drop을 수행하였다. 모의실험에서 고려하는 총 UE 수는 섹터 당 25명이며, eNB와 통신하는 UE의 수와 RN과 통신하는 UE의 수의 비율, 즉  $[nUE_M : nUE_R]$ 은  $[21:4]$ ,  $[17:8]$ ,  $[13:12]$ ,  $[9:16]$ ,  $[5:20]$ 으로 설정하여 모의실험을 진행하였다. 또한, 각각의 경우에 총 5번의 UE Drop을 수행하여 그 평균 결과 값을 취하였으며, 비교를 위한 ‘No Relay’ 시스템은 동일한 UE Drop 환경에서 RN를 배제하여 모의실험을 수행하였다. 본 논문에서 고려한 주요 시스템 레벨 시뮬레이션의 환경은 표 1과 같다. 그리고 본 논문에서 고려하는 자원할당 기법에 따른 각각의 통신 링크에 할당되는 RB의 수는 표 2에 나타나 있는 바와 같이  $nUE_M$ 과  $nUE_R$ 에 비례하도록 설정하였다. 한편, 제안된 동적 자원할당 기법 II의 RN-UE<sub>R</sub> 링크에 할당되는 RB 수는 리소스 비중복 방식에서는 식 (1)에 의해 RB 수가 유동적으로 정해지며, 다른 기법들과

표 1. 주요 시스템 레벨 시뮬레이션 환경

Table 1. Main system level simulation parameters

파라미터	값
중심 주파수	2 GHz
채널 대역폭	10 MHz
FFT 포인트 수	1,024
Cyclic prefix 포인트 수	128
OFDMA 심벌 당 사용되는 부반송파 수	600
$N_{RB} / N_{sc}^{RB} / N_{ymb}$	50 / 12 / 7
망각인자 (PF 스케줄러 <sup>[14]</sup> )	$\beta = 0.5$
H-ARQ 방식	Chase combining
최대 재전송 횟수	3
재전송 주기	4 서브프레임 (4msec)
페이딩 채널 모델	ITU-R M.1225 PED-B <sup>[18]</sup>
UE 속도	3 km/h
총 UE Drop 횟수 / 총 서브프레임 구간	5 / 10,000
노드들 간의 최소거리	(eNB ↔ UE) : 300m (UE ↔ UE) : 300m (RN ↔ UE) : 10m
고려된 MCS 레벨	QPSK 1/2, QPSK 3/4, 16QAM 1/2, 16QAM 3/4, 64QAM 2/3, 64QAM 3/4, 64QAM 5/6

표 2. 자원할당 기법에 따른 각 링크 별 할당되는 RB 수  
Table 2. Number of allocated RBs of each link according to resource allocation schemes

자원할당기법	링크	할당되는 RB 수
반정적	eNB-RN	$2 \times nUE_R$ (고정)
	RN-UE <sub>R</sub>	$2 \times nUE_R$ (고정)
동적 I	eNB-RN	$2 \times nUE_R$ (고정)
	RN-UE <sub>R</sub>	최대 $2 \times nUE_R$
동적 II	eNB-RN	N/A
	RN-UE <sub>R</sub>	최대 $2 \times nUE_R$ (리소스 비중복 할당 방식) $2 \times nUE_R$ (고정) (리소스 중복 할당 방식)

형평성을 유지하기 위해 최대 RB 수만 정해놓았다. 그리고 리소스 중복 방식에서는 앞서 언급한 바와 같이 식 (1)에 의해 RB 수를 정하지 않고 다른 기법들과 마찬가지로  $nUE_R$ 에 비례하도록 고정하였다.

5.1 리소스 비중복 할당 방식의 성능

그림 14는 리소스 비중복 할당 방식에서의 UE<sub>R</sub> 수 증가에 따른 섹터 당 전체 평균 전송용량을 도시하고 있다. 여기서 전체 평균 전송용량은 첫 번째 서브프레임 구간의 eNB-UE<sub>M</sub> 링크와 두 번째 서브프레임 구간의 eNB-UE<sub>M</sub> 링크, RN-UE<sub>R</sub> 링크의 평균 전송용량의 합이다. 결과를 보면, 모든 경우에 릴레이 기반의 시스템이 릴레이를 사용하지 않는 시스템보다 성능이

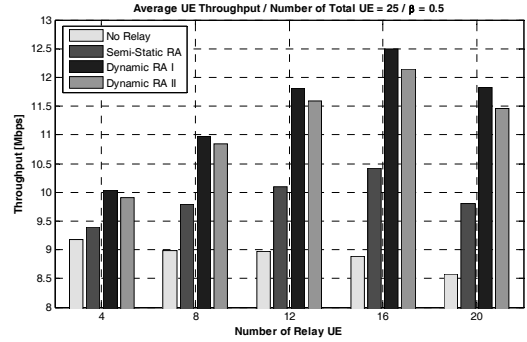


그림 14. 리소스 비중복 할당 방식을 적용한 자원할당 기법의 평균 전송용량 성능 비교

Fig. 14. Average throughput performance comparison of resource allocation schemes based on resource non-overlapping method

높음을 알 수 있다. 또한, UE<sub>R</sub>의 비율이 증가할수록 전반적으로 릴레이를 사용하는 시스템의 성능 증가율이 높아짐을 확인할 수 있다. 한편, 릴레이를 사용하지 않는 시스템의 경우 UE<sub>R</sub>의 수가 증가할수록 전체 평균전송용량이 낮아진다. 이는 릴레이를 사용하는 시스템과 같은 Drop 환경이므로 UE<sub>R</sub>의 수만큼 eNB-UE<sub>M</sub> 링크의 채널 상태가 나빠지기 때문이다.

전반적으로 릴레이 기반의 시스템에서의 자원할당 기법들 중에 제안하는 동적 자원할당 기법 I의 성능이 가장 높음을 확인할 수 있으며, 반정적 자원할당 기법과 비교하면 최소 6.87% ( $nUE_R = 4$ 인 경우)부터 최대 20.60% ( $nUE_R = 20$ 인 경우)까지의 성능 향상이 있음을 알 수 있다. 또한, 제안하는 동적 자원할당 기법 II의 성능은 반정적 자원할당 기법과 비교했을 때, 최소 5.43% ( $nUE_R = 4$ 인 경우)부터 최대 16.90% ( $nUE_R = 16$ 인 경우)까지의 성능 이득을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 한편, 앞서 3장과 4장에서 언급한 바와 같이 제안하는 동적 자원할당 기법에서의 RS 신호 전송으로부터 실제 데이터를 전송하기까지의 시간 지연이 더 늘어나서 전송 오류 확률이 높아짐에도 불구하고 효율적인 자원할당으로 인해 반정적 자원할당 기법보다 성능이 크게 향상됨을 알 수 있다.

5.2 리소스 중복 할당 방식의 성능

본 논문에서 제안하는 리소스 중복 할당 방식에서의 UE<sub>R</sub> 수 증가에 따른 섹터 당 전체 평균 전송용량의 성능 비교가 그림 15에 도시되어 있다. 리소스 비중복 할당 방식의 결과와 마찬가지로, 모든 경우에 릴레이 기반의 시스템이 릴레이를 사용하지 않는 시스템보다 성능이 높고, 일정 비율까지는 UE<sub>R</sub>의 비율이

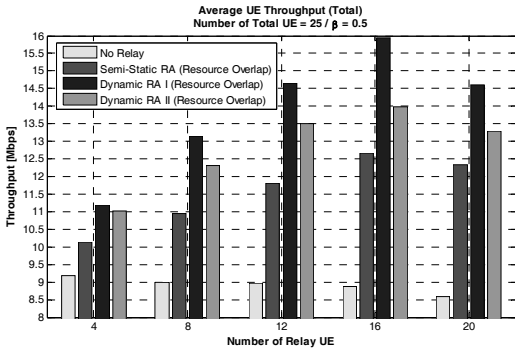


그림 15. 리소스 중복 할당 방식을 적용한 자원할당 기법의 평균 전송용량 성능 비교  
Fig. 15. Average throughput performance comparison of resource allocation schemes based on resource overlapping method

높을수록 릴레이를 사용하는 시스템의 성능 증가율이 높아짐을 알 수 있다.

또한, 리소스 비중복 할당 방식과 마찬가지로 고려하는 자원할당 기법들 중에 제안하는 동적 자원할당 기법 I의 성능이 가장 높으며, 반정적 자원할당 기법과 비교하면  $nUE_R$ 의 비율에 따라 최소 10.5%부터 최대 25.9%까지 성능이 향상됨을 알 수 있다. 제안하는 동적 자원할당 기법 II의 성능은 최소 7.7%부터 최대 14.3%까지의 성능 이득을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 16은 제안하는 리소스 중복 할당 방식을 적용하는 경우 리소스 비중복 할당 방식에 비해 얻는 섹터당 전체 평균 전송용량의 성능 증가율을  $UE_R$ 의 수에 따라 도시하고 있다. 결과를 보면, 제안하는 동적 자원할당 기법 I이 리소스 중복 할당 방식을 적용함으로

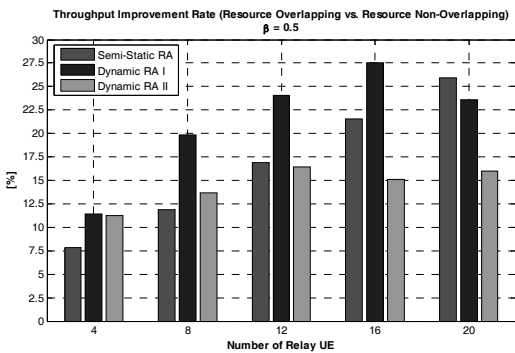


그림 16. 리소스 중복 할당 방식을 적용한 자원할당 기법의 평균 전송용량 증가율 비교  
Fig. 16. Throughput improvement rate comparison of resource allocation schemes based on resource overlapping method

써 리소스 비중복 할당 방식인 경우와 비교하여 최소 11.5%에서 최대 27.5%까지 평균 전송용량이 향상되어 고려하는 자원할당 기법 중에서 전반적으로 가장 높은 성능 향상이 있음을 알 수 있다. 반정적 자원할당 기법에 제안하는 리소스 중복 할당 방식을 적용하면  $UE_R$ 의 수가 증가할수록 전체 평균 전송용량의 성능 증가율이 일정하게 높아짐을 보이고 있다. 반면, 제안하는 동적 자원할당 기법 II의 성능 증가율은 다른 기법들과 비교해서 상대적으로 미비하나 리소스 중복 할당 방식을 적용함으로써 약 11%~16%만큼 성능이 향상된다.

한편, 이와 같이 릴레이 기반의 시스템에서 리소스 중복 할당 방식을 적용함으로써 전체 전송용량 매우 높아지지만, 자원이 중복 할당되는 영역에 특정 알고리즘으로 인한 특정 UE의 평균전송률 증가로 인해 형평성이 낮아지는 효과를 갖게 된다. 하지만, 이는 리소스 비중복 할당 방식과 비교하여 각 UE의 평균전송률 감소로 인한 현상이라기보다 대부분 리소스 중복 할당으로 인한 추가적인 전송용량 증가로 인한 결과로 해석할 수 있다.

이를 뒷받침하는 결과로, 그림 17은  $UE_R$ 의 수가 4인 경우에 각 UE의 평균 SINR 및 자원할당 기법에 따른 평균전송률을 도시하고 있다. 참고로, 그림에서 가로축은 UE의 인덱스를 나타내며 릴레이를 사용하지 않는 경우의 평균 SINR (Signal to Interference-plus-Noise Ratio)의 크기에 따라 정렬되어 있다. 먼저 각 UE당 평균 SINR의 분포를 보면, 리소스 비중복 할당 방식에서의  $UE_M$ 은 릴레이를 사용하지 않는 시스템에서의 평균 SINR과 같으며  $UE_R$ 는 릴레이를 경유함으로써 평균 SINR이 매우 높아짐을 알 수 있다. 여기서  $UE_R$ 의 인덱스는 4, 6, 10 그리고 22이다. 또한, 리소스 중복 할당 방식을 적용하면 리소스 비중복 할당 방식보다 몇몇  $UE_M$ 의 평균 SINR이 미비하게 감소하지만  $UE_R$ 의 평균 SINR은 상대적으로 크게 줄어든다. 이는 리소스 중복 영역에서  $UE_M$ 이 받는 RN의 간섭양은 그 정도가 미비하고,  $UE_R$ 이 받는 eNB의 간섭의 정도가 상대적으로 높음을 알 수 있다. 하지만, 리소스 중복 할당 방식을 적용하여 감소된  $UE_R$ 의 평균 SINR은 여전히 릴레이를 사용하지 않는 시스템의 평균 SINR 보다 높음을 알 수 있다.

그림 17의 두 번째 그림은 리소스 비중복 할당 방식에서의 각 UE의 평균전송률을 도시하고 있다. 결과를 보면, 릴레이를 사용하는 시스템의  $UE_M$ 들의 평균 전송률은 릴레이를 사용하지 않는 시스템에서의 평균

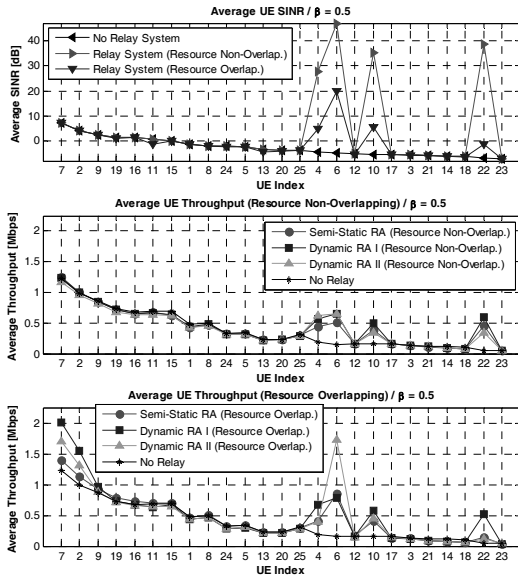


그림 17. 각 UE에 따른 평균 SINR 및 평균전송률의 비교 ( $nUE_R = 4$ )  
 Fig. 17. Comparison of average SINR and average throughput according to each UE ( $nUE_R = 4$ )

전송률과 비슷하거나 약간 낮다. 하지만  $UE_R$ 들의 평균전송률은 릴레이를 사용함으로써 릴레이를 사용하지 않는 시스템의 평균전송률보다 높아짐을 알 수 있다. 그림 17의 세 번째 그림은 리소스 중복 할당 방식에서의 각 UE의 평균전송률을 보여준다. 리소스 비중복 할당 방식과 마찬가지로, 릴레이를 사용하는 시스템의  $UE_R$ 들의 평균전송률은 릴레이를 사용하지 않는 시스템의 평균전송률보다 높음을 알 수 있다. 반면, 높은 평균 SINR을 갖는  $UE_M$ 들의 평균전송률은 상대적으로 크게 증가함을 알 수 있다. 이는 중복 할당 영역에서 제안하는 알고리즘에 의해 선택된  $UE_M$ 이 추가적으로 할당되었기 때문이다. 이의 결과를 보면, 리소스 중복 할당 방식으로 인한 형성성 감소의 주된 원인은 중복 할당 영역에 추가적으로 할당되는  $UE_M$ 에 대한 평균전송률 증가로 인한 것임을 확인할 수 있다.

### VI. 결 론

본 논문에서는 3GPP LTE-Advanced 시스템의 하향링크 릴레이 협력 네트워크에서 각 통신 링크의 효율적인 동적 자원할당 기법과 특정 자원 영역을 효과적으로 재사용하여 데이터 전송률을 증대시킬 수 있는 리소스 중복 할당 기법을 제안하였다.

시스템 레벨 모의실험 결과, 릴레이 기반의 시스템

은 릴레이를 사용하지 않는 시스템과 비교하여 셀의 평균전송률을 증대시키고 릴레이와 통신하는 단말의 비율이 증가할수록 전반적으로 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다. 특히, 음영지역이나 셀 가장자리에 위치한 사용자의 전송 용량 증대에 매우 효율적임을 확인할 수 있다. 또한, 제안된 동적 자원할당 기법은 매 서브프레임마다 채널 상태 등을 고려하여 동적으로 자원할당을 수행함으로써 기존의 반정적 자원할당 기법에 비해 높은 스케줄링 이득이 있음을 확인하였다. 제안된 동적 자원할당 기법 중에 eNB에서 모든 통신 링크에 대한 자원할당을 총괄하는 중앙집중식 자원할당 방식이 릴레이에서 해당 링크의 자원할당을 수행하는 분산식 자원할당 방식보다 높은 성능을 가짐을 확인하였다. 이는 모든 UE의 채널 정보를 바탕으로 eNB에서 단독으로 자원 할당을 수행함으로써 낭비되는 리소스가 거의 없고 각각의 RB에 가장 적합한 링크의 UE를 할당하기 때문으로 분석된다.

한편, 본 논문에서 제안하는 리소스 중복 할당 방식을 적용함으로써 추가적인 간섭이 발생함에도 불구하고 셀의 평균전송률이 더욱 증대됨을 모의실험을 통해 확인할 수 있었다. 여기서 자원이 중복 할당되는 영역에 추가적으로 할당되는 단말 선택 기준을 높은 SINR을 갖는 단말을 우선적으로 할당하는 알고리즘 뿐만 아니라 시스템의 운영 특성에 따라 QoS (Quality of Service), 각 사용자의 트래픽 종류 및 높은 요금의 가입자 우선 등의 기준을 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] Y. Yang, H. Hu, J. Xu, and G. Mao, "Relay technologies for WiMAX and LTE-Advanced mobile systems," *IEEE Commun. Mag.*, Vol.47, No.10, pp.100-105, Oct. 2009.
- [2] 3GPP TR 36.912 V9.1.0, "Feasibility study for further advancements for E-UTRA (LTE- Advanced)," Dec. 2009.
- [3] 3GPP TSG-RAN WG1, R1-091799, "Downlink CoMP system evaluation and feedback analysis for each category," Huawei, May 2009.
- [4] R. Schoenen, W. Zirwas, and B. H. Walke, "Capacity and coverage analysis of a 3GPP-LTE multihop deployment scenario," *Proc.*

*IEEE ICC 2008*, pp. 31-36, Beijing, China, May 2008.

- [5] R. Schoenen and B. H. Walke, "On PHY and MAC performance of 3G-LTE in a multi-hop cellular environment," *Proc. IEEE WiCOM 2007*, pp.926-929, Shanghai, China, Oct. 2007.
- [6] D. Kivanc, G. Li, and H. Liu, "Computationally efficient bandwidth allocation and power control for an OFDMA system," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol.2, No.6, pp.1150-1158, Nov. 2003.
- [7] G. Song and Y. Li, "Utility-based resource allocation and scheduling in OFDM-based wireless broadband networks," *IEEE Commun. Mag.*, Vol.43, No.12, pp.127-134, Dec. 2005.
- [8] Y. Liu and C. Ngo, "Radio resource allocation for relay enhanced cellular systems," *Proc. IEEE CCNC 2009*, pp.1-6, Las Vegas, USA, Jan. 2009.
- [9] P. Li, Y. Xue, and E. Schulz, "Reuse one frequency planning for two-hop cellular system with fixed relay nodes," *Proc. IEEE WCNC 2007*, pp.2253-2258, Kowloon, China, March 2007.
- [10] 강민규, 상영진, 고병훈, 김광순, "중계기를 사용하는 다중 사용자 OFDMA 시스템을 위한 효율적인 인지 협력 통신 기법," *한국통신학회논문지*, 제34권, 제3호, pp.235-243, Mar. 2009.
- [11] 3GPP TS 36.211 v8.4.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation," Sept. 2008.
- [12] R. Schoenen, R. Halfmann, and B. H. Walke, "An FDD multihop cellular network for 3GPP-LTE," *Proc. IEEE VTC 2008-Spring*, pp.1990-1994, Singapore, May 2008.
- [13] R. Schoenen, R. Halfmann, and B. H. Walke, "MAC performance of a 3GPP-LTE multi-hop cellular network," *Proc. IEEE ICC 2008*, pp.4819-4824, Beijing, China, May 2008.
- [14] 3GPP2 C.R1002-A, "CDMA2000 evaluation methodology," May 2009.
- [15] H. J. Bang, T. Ekman, and D. Gesbert, "A channel predictive proportional fair scheduling

algorithm," *Proc. IEEE SPAWC 2005*, pp. 620-624, New York, USA, June 2005.

- [16] 3GPP TSG-RAN WG1, R1-082554, "Evaluation methodology for LTE-A-heterogeneous networks," Qualcomm Europe, Vodafone, June 2008.
- [17] 3GPP TSG-RAN WG1, R1-093677, "TP for relay backhaul channel model," Ericsson, ST-Ericsson, Huawei, Research In Motion UK Limited, Qualcomm, Aug. 2009.
- [18] Recommendation ITU-R M.1225, *Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000*, 1997.

김 산 해 (Sanhae Kim)

정회원



2000년 숭실대학교 전자공학과 학사

2002년 숭실대학교 전자공학과 석사

2002년~현재 숭실대학교 전자공학과 박사과정

2006년~2009년 (주)포스테이타 FLYVO 연구소 선행기술연구원

<관심분야> WiBro, 3GPP-LTE, OFDM 모뎀, MIMO 시공간 신호처리, 협력 무선통신 시스템

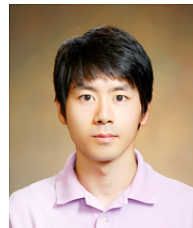
양 모 찬 (Mochan Yang)

정회원

한국통신학회논문지 Vol. 34, No. 11 참조

이 제 연 (Jeyeon Lee)

준회원



2008년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사

2008년~현재 숭실대학교 정보통신공학과 석사과정

<관심분야> OFDM 시스템, 협력 무선통신 시스템

신 요 안 (Yoan Shin)

중신회원

한국통신학회논문지 Vol. 34, No. 1 참조