

# LTE-Advanced 기반 이기종 네트워크 시스템의 간섭회피를 위한 효율적인 자원할당 기법

장성원 · 성현경<sup>1</sup>

<sup>1</sup>상지대학교 컴퓨터정보공학부

## Efficient Resource Allocation Technique for LTE-Advanced based Interference Avoidance of Heterogeneous Network

Sung-Won Jang · Hyeon-Kyeong Seong<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Computer, Information, and Communication Engineering, Sangji University

**요 약** LTE-Advanced 시스템은 한정된 주파수 자원을 효율적으로 이용할 수 있도록 다수의 셀들로 구성된 셀룰러 환경에서 구축되기 때문에 인접 셀과의 간섭 회피를 고려해야 한다. 이동통신 기술의 발전에 따라 스마트폰과 태블릿 등 많은 모바일 데이터 트래픽을 유발시키는 단말이 확산되고 음성위주의 이동 통신 서비스에서 무선 멀티미디어 콘텐츠를 중심으로 하는 데이터 위주의 서비스로 전환됨에 따라 급증하는 모바일 데이터 트래픽에 의해 도심지역에서 증가되는 기지국은 막을 수 없는 현실이다. 증가되는 기지국으로 인해 송신 신호가 수신단에서 섞이는 셀간 간섭은 피할 수 없게 되었으며 이로 인해 셀간 간섭 회피 기법의 성능은 통신성능을 평가하는 중요한 지표 중 하나가 로 작용한다. 본 논문에서는 19셀의 셀룰러 시스템 모델을 바탕으로 LTE-Advanced 시스템 레벨 시뮬레이터를 통해 시뮬레이션을 수행하여 셀 경계에서의 성능 향상을 위한 새로운 Hybrid 자원 할당 기법을 제안한다.

• 주제어 : LTE, OFDMA, 셀간 간섭, 자원할당, 이기종네트워크

**Abstract** LTE-Advanced system consisting of the number of cells in the cellular environment because it is built to allow efficient use of limited frequency resources of adjacent cell interference avoidance should be considered. Transition services in accordance with the development of the mobile communication technology, wireless multimedia content from voice-centric mobile communications services and causing a lot of mobile data traffic, such as smart phones and tablet terminals spread of a data-driven surge in mobile data traffic base stations in urban areas by increasing became a reality that can not be prevented. In this paper, we propose a new Hybrid resource allocation technique for improving the performance of the cell boundary and analyzed the performance of the proposed new techniques to perform the simulation using LTE-Advanced system level simulator based on 19cell of cellular system model.

• Key Words : LTE, OFDMA, Inter-cell Interference, Resource Allocation, Heterogeneous Network

Received 2 March 2016, Revised 21 March 2016, Accepted 6 April 2016

\* Corresponding Author Hyeon-Kyeong Seong, School of Computer, Information, and Communication Engineering, Sangji University, Woosan 660, Wonju, Kangwon 220-702, Korea E-mail: roypark1984@gmail.com

## I. 서론

4G 이동 통신 기술은 지난 2008년 ITU에서 4세대 이동통신 규격을 정의하면서, 저속 이동시 1 Gbps, 고속 이동시 100 Mbps의 속도로 데이터를 전송할 수 있어야 한다고 규정했다. 3GPP는 상향링크와 하향링크에서 각각 384 kbps의 성능을 가지는 Release 99를 발표하고 ITU를 통하여 표준 규격으로 확정된 것을 시작으로, 최근 하향링크에서 14.4 Mbps, 상향링크에서 5.8 Mbps의 전송속도를 제공할 수 있는 Release 6에 대한 표준화 작업을 완료함으로써 차세대 무선통신 규격을 정하고 있다. 또한, ITU에서 정의한 4세대 셀룰라 이동통신의 표준화를 위해 OFDM을 기본 전송방식으로 하는 LTE기술을 개선한 LTE-Advanced 기술의 표준화 작업을 진행하고 있으며, 적용된 기술들은 4세대 이동통신의 요구 사항에 가장 근접하다는 평가를 받고 있다[1-3].

3GPP가 목표로 하고 있는 4세대 이동통신 기술인 LTE-Advanced 기술은 최대 1 Gbps의 대용량 데이터 전송을 기반으로 하여 유무선 통합에 의한 대용량의 멀티미디어 데이터 통신이 가능하도록 하고 있다. LTE-Advanced 시스템은 대용량 데이터를 전송하기 위해 하향링크에서 OFDMA를 상향링크에서는 SC-FDMA를 기본 전송 방식으로 채택하고 있다[4].

이러한 이동통신 기술의 발전에 따라 스마트폰과 태블릿 등 많은 모바일 데이터 트래픽을 유발시키는 단말기들이 확산되고 음성위주의 이동 통신 서비스에서 무선 멀티미디어 콘텐츠를 중심으로 하는 데이터 위주의 서비스로 전환됨에 따라 모바일 데이터가 급증하는 추세이다. 실제로 씨스코에 따르면 전세계 무선 데이터 트래픽은 2015년까지 연평균 92% 성장하여 2015년이 되면 연평균 6백만 테라바이트가 될 것으로 전망하고 있다. 이러한 모바일 데이터 트래픽의 급격한 증가는 무선 인터넷의 속도를 급격히 저하시키며 심할 경우 접속 자체가 어려워지는 환경이 발생되고 있다[2].

무선 데이터 트래픽의 증가는 우리나라만의 현상은 아니며 주요 선진국들의 무선 데이터 사용량 역시 포화상태에 이르렀다. 특히 인구가 밀집된 도심 지역에서는 급증하는 트래픽 수요를 수용하기 위해서 보다 많은 기지국이 필요하게 되었고, 증가되는

기지국에 의해 송신 신호가 수신단에서 섞이게 되는 셀간 간섭을 피할 수 없게 되었다.

간섭 회피의 시초는 예전 FDMA나 TDMA 시스템에서 이용한 배타적인 주파수 재사용으로서 주파수 재사용 효율이 1/3, 1/4, 1/7, 1/12 등으로 매우 낮으며 많은 경우에 신호대 간섭비가 필요 이상으로 높게 결정된다. 여기에서 조금 발전한 방향이 단말이 셀의 중심에 있는지 바깥쪽에 있는지를 이용하는 방법이고 더 발전된 방식이 단말과 인접 셀들의 간섭 관계를 이용하는 방식이다. 이와 같은 방법들을 통해 주파수 재사용 효율을 높일 수 있고 용량도 일부 향상시킬 수 있다. 간섭회피는 논리적인 자원 할당 및 스케줄링 수준에서 셀 간 간섭에 대처하는 것이고, 이와 별도로 신호처리 수준에서 간섭 제거를 통해 셀 간 간섭에 대처할 수 있다[3].

따라서 본 논문에서는 셀 경계에서의 성능 향상을 위한 새로운 주파수 회피 기법을 제안하고 19셀의 셀룰러 시스템 모델을 바탕으로 LTE-Advanced 시스템 레벨 시뮬레이터를 통해 시뮬레이션을 수행하여 기존 셀간 간섭 회피 기법과 비교한다.

## II. 셀간 간섭회피 기법

### 2.1 주파수 자원할당 기법

주파수 자원할당 기법에서 주파수 재사용률이 1일 경우, 각각의 셀 내에서 사용 가능한 주파수를 모두 사용하기 때문에 각 셀마다 가용할 수 있는 대역이 증가하여 대역의 효율성은 증가하나 셀 경계에서 인접 셀로부터의 동일 채널에 의한 간섭이 증가하게 된다. 이런 경우 전체적인 평균 전송속도 대비 셀 경계 지역에 있는 사용자들의 전송속도는 현저하게 떨어지게 된다[12]. 반면, 전체 대역을 3개의 부대역(subband)으로 나누고 인접한 셀간에는 서로 다른 부대역을 할당하는 경우, 동일 채널에 의한 간섭은 줄어들지만 가용 대역이 작아져서 대역의 효율성이 감소하게 된다[15].

OFDMA 셀룰러 시스템에서는 모든 영역에서 동일한 주파수 재사용률을 사용할 필요가 없고 위치에 따라서 다른 주파수 재사용률을 사용할 수 있다. 셀 경계의 영역에서는 셀간 간섭이 크기 때문에 주파수

재사용률 3을 사용하면서, 셀 중앙의 영역에서는 인접 셀로부터의 간섭이 적으므로 주파수 재사용률 1을 사용하여 인접 셀간 간섭을 완화할 수 있다.

그림 1에서 (a)는 주파수 재사용률 1(셀내)과 3(셀간)을 사용하는 경우이고, (b)는 주파수 재사용률 1과 3/2를 사용하는 경우이며, (c)는 주파수 재사용률 1, 3과 3/2를 혼합하여 사용하는 경우를 보여준다 [10-11].

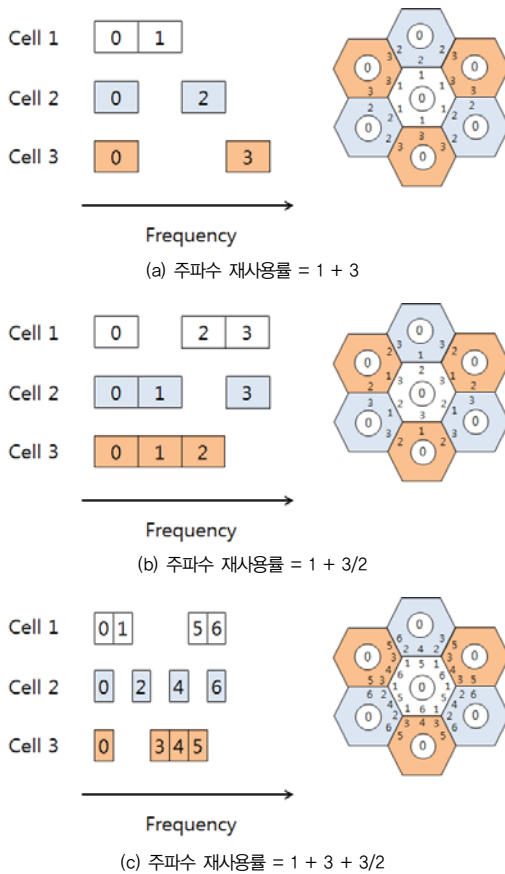


Fig. 1. Example of FFR technique with mixed frequency reuse in OFDMA cellular system

### 2.2 적응형 간섭 조정기법

적응형 간섭 조정(adaptive interference coordination) 기법은 사용자들의 CQI(channel quality indicator) 정보와 인접 셀들의 할당 정보를 활용하여 최대한 동적으로 주파수 대역과 전력을 할당하는 기법으로 FFFR(flexible fractional frequency reuse)방식이 이

기법에 속한다. FFFR방식에서는 각 셀이 우선권을 갖는 자원 그룹을 미리 할당한다. 여기서 자원 그룹은 물리적으로 연속하는 부분송파 또는 분산된 부분송파들로 구성되며, 각 셀에서 우선권을 갖는 자원 그룹은 인접 셀간 직교하도록 할당되어 세그먼트화 및 유사한 역할을 한다. FFFR방식에서는 한 셀에서 요구되는 자원의 양이 자원 그룹의 크기를 넘지 않을 경우에는 인접 셀의 그룹을 차용한다. 인접 셀의 그룹을 사용할 경우에는 인접 셀의 할당 정보와 사용자의 CQI정보를 활용하여 사용할 부대역과 전송 전력의 크기를 결정함으로써 셀간 간섭을 최소화 한다. 그림 2는 FFFR 기법의 예를 보여준다. 그림 2의 Cell A에서는 요구되는 자원의 양이 할당된 그룹의 크기를 넘어 그룹 A대역을 우선적으로 사용하고 추가 자원을 다른 그룹에서 사용한다. 이 때 낮은 SNR의 사용자들에게는 그룹 A대역을 사용하여 강한 전력으로 송신을 하는 반면, 높은 SNR 사용자들에게는 인접 셀의 그룹을 사용하여 낮은 전력으로 송신을 한다. Cell B에서는 요구되는 자원의 양이 할당된 그룹의 크기를 넘지 않기 때문에 그룹 B대역을 사용하여 높은 SNR을 갖는 사용자에게는 낮은 전력으로 낮은 SNR의 사용자들에게는 높은 전력으로 전송을 한다.

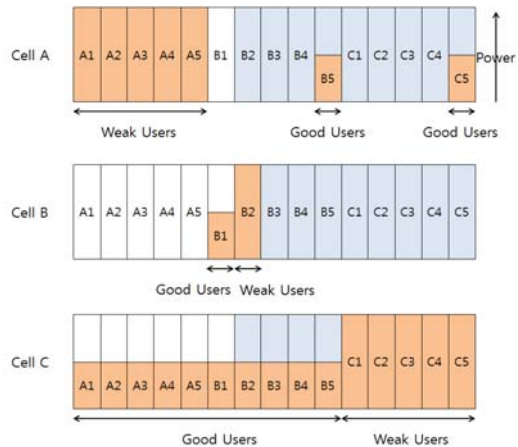


Fig. 2. Example of FFFR method for OFDMA cellular system

### 2.3 동적 패킷 할당기법

동적 패킷 할당(dynamic channel allocation) 방식

은 인접 셀간 시그널링을 통하여 채널 할당 시점에 기용한 주파수 중에서 가장 품질이 좋은 채널을 선택하여 동적으로 할당하는 방식이다. 기존의 고정 채널 할당 방식에서는 각 기지국의 무선 자원을 미리 정해진 패턴에 따라 나누어 사용하는 반면, 동적 채널 할당 방식에서는 기지국이 네트워크 내 사용 가능한 무선 자원을 공유하며 적응적으로 채널을 할당한다. 특히, 셀룰러 환경에서 OFDMA 방식을 사용할 경우 동적 채널 할당기법과 결합함으로써 간섭을 최소화하며 주파수 효율을 높일 수 있다. 동적 채널 할당 방식을 구현하기 위해서는 광범위한 신호측정과 빠른 채널 재할당이 요구되어 OFDMA 이전의 시스템에서는 적용하기가 쉽지 않았으나, OFDMA 방식에서는 시간과 주파수 축에서 직교한 부채널이 잘 정의되어 있고 OFDM 특성 상 모든 부채널에서 채널과 간섭신호를 쉽게 측정할 수 있어 적용이 용이하다. 또한, OFDMA 시스템은 일반적으로 패킷 모드로 동작하기 때문에 패킷단위로 동적 채널 할당이 가능하여 높은 대역 효율성을 실현할 수 있다. 이와 같은 기법을 동적 패킷 할당 기법이라고 한하며, 데이터 트래픽의 분포에 따라 채널을 동적으로 할당되기 때문에, 공간적으로 트래픽의 분포가 균일하지 않고 트래픽 부하가 심각하게 크지 않을 경우에 좋은 성능을 얻을 수 있다.



Fig. 3 Orthogonal resource allocation in DPA technique

### III. Hybrid 자원할당 기법 및 성능분석

본 논문에서 제안하는 Hybrid 자원 할당 기법은 기존 LTE-Advanced 시스템 기반에서 주파수 자원할

당 방식과 전력자원 할당 방식을 동시에 사용함으로써 셀 경계 사용자의 성능을 향상시킨다. 제안하는 기법은 OFDMA 기반의 시스템에서 주파수 자원 할당 기법과 전력 자원 할당기법을 동시에 구현함으로써 앞서 발생한 두 기법의 단점을 서로 보완 하였다. 주파수 자원 할당 기법의 경우도 셀 경계 지역에서 더 좋은 간섭 회피 성능을 얻기 위해서는 많은 주파수로 분할해야 하지만 분할할수록 구현이 복잡해진다는 단점을 전력 자원 할당 기법이 동시에 이루어짐으로 인하여 많은 주파수로 분할하지 않음으로 인한 구현 복잡도를 낮추는 성과를 얻을 수 있다.

### 3.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서 제안하는 Hybrid 자원 할당 기법의 성능 평가를 위하여 2tier-다중모형을 바탕으로 LTE-Advanced 시스템 레벨 시뮬레이터를 통해 시뮬레이션을 수행하여 셀 경계 및 셀 전체에서의 데이터 율을 기존 기술인 주파수 자원 할당 기법과 전력 자원 할당 기법과 비교한다.

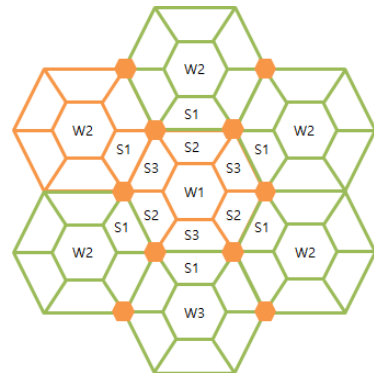


Fig. 4. Weak point of power resource allocation technique

또한 LTE-Advanced 시스템의 시뮬레이션을 위해서는 시스템의 시뮬레이션 환경 모델링이 필요하다. 따라서 시스템 환경 모델링을 위한 셀 배치, 단말기 위치, 자원 할당, 지향성 안테나의 빔 패턴 등 다양한 요소가 결정되어야 한다[26]. 시뮬레이션 파라미터는 3GPP TR 25.814의 시뮬레이션 시나리오를 따르며, 표 1과 2와 같이 20MHz의 전송 대역폭을 가지는 LTE-Advanced 시스템이 구성 된다.

Table 1. Simulation parameters (OFDM)

파라미터	파라미터 값
TTI 지속시간 (msec)	1
전송 대역폭 (MHz)	20
FFT size	2048
OFDM sample rate (Msample/sec)	15.36
부반송파 간격 (kHz)	15
TTI당 OFDM 심볼의 수	14 OFDM 심볼
Resource block의 대역폭(kHz)	180(12*15)
Physical resource blocks의 수	100(1200/12)
Subframe당 OFDM 심볼의 수	14

Table 2. Simulation parameters (System)

파라미터	파라미터 값
Cellular layout	19셀 셀당 3 섹터
셀 반경	500m
채널 모델	SCM-C
Total BSTXpower	46 dBm
반송파 주파수	하향링크 : 2.7GHz 상향링크 : 2.6GHz
스케줄러	PF
스케줄링 알고리즘	Proportional fairness
Link mapping	Capacity
BS 안테나 이득	14dB
CQI 기간 (Np)	매 10ms

시뮬레이션 환경은 3GPP TR 25.814의 시뮬레이션 시나리오에 따라 셀 반경은 500m이며, 각 사용자는 3km/h의 속도로 이동한다. 채널 모델로는 도심 속과 비슷한 환경의 높은 지연 확산을 가지는 SCM-C 채널을 선택하였다. 시뮬레이터는 하향 링크에서 PDCCH(physical downlink control channel)채널의 주기적 보고만을 이용하며, 비주기적 보고가 없는 단점을 보완하기 위하여 최소 보고 주기인 5ms를 사용한다. 상향 링크에서는 전송 방식이 결정되지 않아, 프리코딩을 수행하지 않으며, 따라서 채널 상태에 대한 피드백 정보 또한 보고되지 않는다. 그리고 피드백 방식은 상하향 링크에서 모두 전체 피드백 방식을 사용하여 각 부반송파 채널에 대한 이상적인 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다.

### 3.2 시뮬레이션 동작

그림 6에서는 패킷의 전송 실패시 체이스 결합을 사용하기 때문에 이전 SINR(signal to interference plus noise ratio)값을 저장하여 사용한다. 이를 시뮬레이션에서 구현할 수 있도록 오류가 발생하면 이전의 SINR값을 재전송 패킷과 같이 전송하고, 단말은

재전송 패킷을 수신하면 이전 SINR값을 현재의 SINR과 합산한다. RB(return-to bias) MAP은 각 단말이 사용하는 RB를 비트맵으로 지시한다. 단말은 RB MAP을 수신하고 자신이 사용할 RB의 위치를 알 수 있다. 기지국이 단말에게 전달하는 TB CQI는 단말이 기지국으로 보고하는 CQI와는 다르게 정의하여 사용한다. 즉, TB CQI는 스케줄러에 의해 선택된 RB들에 대한 평균화된 SINR을 포함하는데, 기지국에서는 단말까지의 지연시간을 미리 고려하여 평균 SINR을 전달하는 방식을 채택하였다. 실제 시스템 동작을 정확히 반영하려면 단말이 신호를 수신한 후 SINR을 계산하고 BLER(block error rate)을 구할 수 있겠지만, 처리 시간을 줄일 수 있도록 기지국 스케줄러가 선택한 RB들에 대한 평균 SINR을 단말들에게 함께 전송하여 계산 양을 줄인다. TB CQI와 함께 전송되는 정보로는 각 단말에 대한 전송효율을 구할 수 있는 TB 사이즈와 패킷에 대한 연계정보이다.

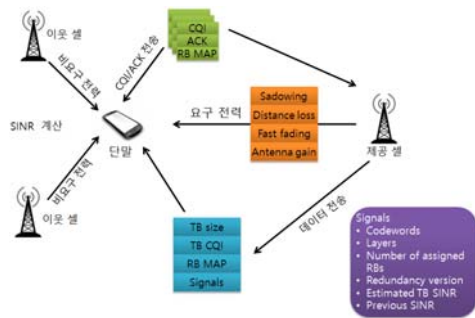


Fig. 6. LTE-Advanced simulation structure

### 3.3 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 셀간 간섭 회피기법의 성능 향상 정도를 비교하기 위해 셀 경계, 하위 5%, 셀 전체에서의 셀간 간섭 회피기법을 사용하지 않았을 경우, 주파수 자원 할당 기법을 사용하지 않았을 경우, 전력 자원 할당 기법을 사용하지 않았을 경우, Hybrid 방식의 자원 할당 기법을 사용하지 않았을 경우에 대한 평균 데이터 율과 데이터 율에 대한 CDF를 산출하였다. 본 시뮬레이션에서 가장 이상적인 전송속도는 1500~2500 kbps이며, 모든 단말이 1500~2500 kbps이상의 전송속도를 제공 받는 것이 가장 이상적이다. 하지만 셀 경계지역에서는 인접 셀의 간섭으로 인하여 이상

적인 전송속도를 제공 받지 못하는 단말이 대부분이다. 실제 환경에서도 셀간 간섭으로 인하여 약 30~40% 전송속도의 저하가 일어나므로 비교를 위하여 기준점을 1200 kbps로 잡았다.

각 기법별 셀 경계 데이터 율 CDF를 그림 5에 나타내었다. 셀 경계에서 간섭 회피 기법을 사용하지 않았을 경우의 데이터 율의 경우 25%의 단말이 기준인 1200 kbps이상의 전송속도를 제공받음을 알 수 있다.

셀 경계에서 주파수 자원 할당 기법을 사용하였을 경우의 데이터 율의 그래프를 보면 간섭 회피 기법을 사용하지 않았을 경우는 25% 단말이 기준 이상의 전송속도를 제공받았으나, 주파수 자원 할당 기법을 사용하였을 경우는 간섭 회피 기법을 사용하지 않을 경우보다 많은 33%의 단말이 기준이상의 전송속도를 제공 받아 셀간 간섭 회피 기법을 사용하지 않았을 경우보다 성능이 향상됨을 알 수 있다. 셀 경계에서 전력 자원 할당 기법을 사용하였을 경우의 데이터 율의 경우 기준인 1200 kbps 이상을 제공받는 단말이 40%로 주파수 자원 할당 기법을 사용하였을 경우보다 증가되어 전력 자원 할당 기법이 주파수 자원 할당 기법보다 성능이 뛰어난 것을 알 수 있다.

본 논문에서 제안하는 Hybrid 자원 할당 기법을 사용하였을 경우에는 Hybrid 자원 할당 기법을 사용하였을 경우는 42%의 단말이 1200 kbps이상의 전송속도를 제공 받음을 알 수 있으며, 기존의 셀간 간섭 회피 기법인 주파수 자원 할당 기법, 전력 자원 할당 기법 보다 향상된 성능을 확인 할 수 있었다.

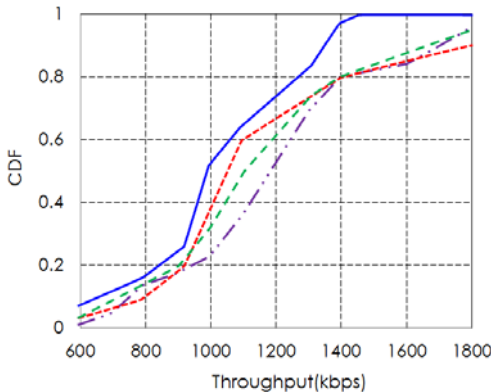


Fig. 9. Data rate CDF of each Inter-cell interference avoidance technique in cell boundary

각 기법의 데이터 율 CDF를 토대로 셀 경계에서의 평균 데이터 율을 산출하여 표 3에 나타내었다. 셀 간 간섭 회피 기법을 사용하지 않았을 경우보다 사용하였을 경우가 성능이 향상됨을 알 수 있었으며, 본 논문에서 제안하는 Hybrid 자원 할당 기법의 성능이 기존의 간섭 회피 기법보다 셀 경계 지역에서 우수함을 알 수 있다.

Table 3. The average data rate of each Inter-cell interference avoidance technique in cell boundary

구분	셀경계의 평균 데이터 율 (kbps)
nonICI	1174
주파수 자원할당 기법	1285
전력 자원할당 기법	1328
Hybrid 방식의 자원 할당 기법	1443

#### IV. 결론

본 논문에서는 셀간 간섭 회피를 위한 Hybrid 전력 자원 할당 기법을 제안하여 기존 기법들의 단점을 보완하였다. 전력 자원 할당 기법의 경우 인접 셀과의 관계에 따라 주파수 별로 송신 전력이 다르고 기존의 3섹터 시스템과 다른 셀 계획의 필요와, 3개의 셀이 만나는 경계지역에는 2개의 모든 간섭을 피하기 위해서는 구현이 복잡해진다는 단점이 있었으며, 주파수 자원 할당 기법의 경우도 셀 경계 지역에서 더 좋은 간섭 회피 성능을 얻기 위해서는 많은 주파수로 분할해야 하지만 분할할수록 구현이 복잡해진다는 단점이 있었다. Hybrid 자원 할당 기법은 동시에 두 기법을 사용함으로써 전력 자원 할당 기법의 3개의 셀이 만나는 경계지역에서 2개의 모든 간섭을 모두 피하는 복잡한 셀 계획을 구현하지 않고도 좋은 간섭 회피 효과를 얻을 수 있었으며, 주파수 자원 할당 기법은 많은 주파수로 분할하지 않음으로 인해 구현의 복잡도를 낮추는 성과를 얻었다. 성능 또한 시뮬레이션을 통하여 기존의 기법에 비하여 우수함을 보였다. 기존의 셀간 간섭 회피 기법인 주파수 자원 할당 기법과 전력 자원 할당 기법과의 셀 경계 데이터 율을 비교하였을 때 셀 전체에서는 Hybrid 자원 할당 기법이 약간 향상된 성능을 보였지만 큰 차이를 보이지는 않았으나 셀 경계 지역에

서는 셀간 간섭 회피 기법을 사용하지 않았을 경우 25%, 주파수 자원 할당 기법은 33%, 전력 자원 할당 기법은 40%, Hybrid 자원 할당 기법은 45%의 단말이 기준인 1200 kbps이상의 전송속도를 제공 받는 것으로 나와 기존의 기법에 비하여 Hybrid 자원 할당 기법이 셀 경계 지역에서 더 향상된 성능을 보임을 알 수 있었다. 본 논문에서 시뮬레이션 통해 분석한 Hybrid 자원 할당 기법과 기존의 셀 간 간섭 회피 기법들의 성능은 LTE-Advanced 시스템에서 셀 경계에서의 회피 기법 성능 향상을 위한 연구에 도움이 될 수 있을 것으로 기대된다.

## REFERENCES

[1] R. Rameepat, M. Bishwarup, and M. Nitin, "LTE-advanced: Next-generation Wireless Broadband Technology," IEEE Wireless Communication, Vol. 17, Issue 3, pp. 10-22, 2010.

[2] V. Dejan, T. John, "Performance Analysis and Energy Efficiency of Random Network Coding in LTE-Advanced," IEEE Transaction on Wireless Communications, Vol. 11, Issue 12, pp. 4275-4285, 2012.

[3] J. H. Jung, D. H. Kim, "Minimum Standard Deviation Based Channel-Aware FDPS Algorithm Supporting Multiple Contents of MBMS in 3GPP LTE System," The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 10, No. 1, pp. 233-240, 2012.

[4] B. Hui, M. Mohaisen, D. Han, K. H. Chang, Y. S. Baek, and B. Koo, "MIMO Detection Techniques Based on Low Complexity Adaptive QR-Decomposition with M-Algorithm for 3GPP LTE Systems," Wireless Personal Communications, Vol. 67, Issue 3, pp. 505-523, 2012.

[5] B. H. Walke, D. C. Schultz, P. Herhold, and S. Mukherjee, "Relay-based Deployment Concepts for Wireless and Mobile Broadband Radio," IEEE Communication Magazine, Vol. 42, No. 9, pp. 80-89, 2004.

[6] H. Ghazzai, E. Yaacoub, M. S. Alouini, and A. Dayya, "A Genetic Algorithm Solution for the Operation of Green LTE Networks with Energy

and Environment Considerations," In Proc. of Lecture Notes in Computer Science, Vol. 7665, pp. 512-519, 2012.

[7] J. Y. Chung, Y. Choi, B. Park, and J. W. Hong, "Measurement analysis of mobile traffic in enterprise networks," In Proc. of the 13th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS), Vol. 1, Issue 1, pp. 1-4, 2011.

[8] R.G. Vaughan and J.B. Andersen, "Antenna diversity in mobile communications," IEEE Trans. on Vehicular Tech., Vol. 1, pp. 149-172, 1987.

[9] S. Chiochan, and E. Hossain, "Adaptive radio resource allocation in OFDMA systems : a survey of the state-of-the-art approaches," Wireless Comm. and Mobile Computing, Vol. 9, No. 4, pp. 513-527, 2009.

[10] Y. Zhang, C. Leung "Sub channel Power Loading Schemes in Multiuser OFDM Systems," IEEE Tran. on Vehicular Tech., Vol. 58, No. 9, pp. 5341-5347, 2009.

[11] S. Chung, A. Goldsmith "Degrees of freedom in adaptive modulation : A unified view," IEEE Trans. on Comm., Vol. 49, No. 9, pp. 1561-1571, 2001.

## 저자소개



### 장 성 원 (Sung-won Jang)

2011년 2월 상지대학교 컴퓨터정보공학부  
(컴퓨터공학전공(공학사))  
2013년 2월 상지대학교 정보통신공학과(공학석사)  
2013년 5월~2014년 11월 (주)디에스멘토링  
2014년 11월~2016년 4월 상지대학교 산학협력단  
2016년 4월~현재 연세대학교 IPP사업단  
※관심분야: 이동통신(4G, 5G), 안테나



### 성 현 경 (Hyeon-kyeong Seong)

1984년 2월 인하대학교 전자공학과(공학석사)  
1991년 2월 인하대학교 전자공학과(공학박사)  
1991년~현재 상지대학교 컴퓨터정보공학부 교수  
※관심분야: Multiple-Valued Logic Design, Computer Architecture Design, Information & Coding Theory, Cryptography Theory & Security, RFID/WSN 설계 및 응용 등