

CoMP 기반의 Joint Processing 을 위한 효율적인 자원 할당 방식

장식민*, 조인휘**
한양대학교 전자컴퓨터공학과*
한양대학교 전자컴퓨터공학과**
e-mail : mcjjclub@hanyang.ac.kr*
e-mail : iwjoe@hanyang.ac.kr**

An Efficient Resource Allocation Scheme for Joint Processing based on CoMP

Seok-Min Jang*, In-Whee Joe**
Dept. of Electronics and Computer Engineering, HanYang University*
Dept. of Electronics and Computer Engineering, HanYang University**

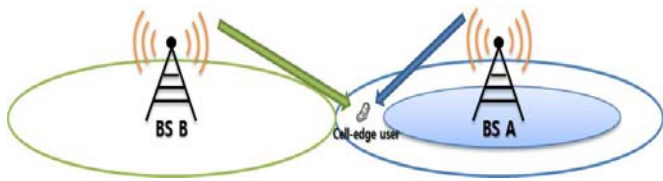
요 약

무선 사용자들의 증가로 인해 대용량 서비스가 요구 됨에 따라 셀 영역내의 효율적인 자원 할당 방식이 요구된다. 때문에 본 논문에서는 Cell-Edge 영역에 데이터 전송 성능이 저하되는 문제를 해결하기 위해 CoMP(coordinated multi-point transmission and reception) 기술 중에 하나인 Joint Processing 기술을 사용하여 셀간 간섭 완화의 이점을 갖는다. 이 기술의 사용을 위해 FFR(Fractional Frequency Reuse) 기반의 효율적인 자원 할당 방식을 제안한다. 각 셀은 3-sector reuse 방식을 사용하며, Joint Processing 에 최적화하기 위한 자원 할당 방식을 제안함으로써, 기존의 방식보다 SINR 성능이 향상되는 결과를 보인다.

1. 서론

통신기술들이 진화함에 따라 근 미래에는 더욱더 빠른 데이터 전송 및 간섭을 최소화하는 환경이 요구되어지며, 또한 스마트폰의 대중화로 인해 다양한 멀티미디어 데이터에 대한 요구가 급증하면서 4 세대를 넘어서는 차세대 무선통신 시스템에서는 언제 어디서나 양질의 서비스를 지원할 수 있어야 한다. 하지만 이러한 서비스를 지원하기 위해서는 셀룰러 시스템의 Cell-Edge 단말의 통신품질 저하의 문제점을 보완 및 성능향상을 통해 용량 증가의 한계점을 해결해야만 할 것이다. 일반적으로 기지국과 셀 경계에 위치한 사용자는 큰 신호감쇄로 인해 데이터 전송 속도 등이 감소되므로 서비스 품질이 낮아질 수 밖에 문제점이 발생된다. 더욱더 미래 무선통신은 주파수 자원 부족 및 대용량 데이터 전송을 위해 고주파 대역을 사용할 것으로 보인다. 때문에 고주파 대역에서는 셀 경계 지역의 사용자에게 신호감쇄는 더욱더 심각한 문제로 부각 될 것이다. 하지만 기존 방식과 같이 셀 경계 지역 사용자에게 더욱더 강한 전송 전력을 사용한다 하더라도 한계점이 있으며 단말기를 사용하는 유저들의 배터리 소모를 고려하지 않을 수 없기 때문에, 해결방법 모색이 필수적이다. 5G 이동통신에서는 이러한 문제점을 해결하여 언제 어디서나 양질의 데이터 서비스를 지원 받고자 하는 사용자의 요구가 급증할

것이다. 따라서 Cell-Center 뿐 아니라 Cell-Edge 지역까지 데이터 전송 속도를 증가 시키기 위한 기술이 필요하게 되었다. Cell-Center 는 안테나 포트를 지원하여 데이터 전송 속도를 증가 시킬 순 있지만, Cell-Edge 는 주변 셀들로부터 간섭의 영향을 크게 받기 때문에 셀간 협력 없이는 한계가 있음을 알 수 있다. 이러한 한계를 해결하기 위해, 3GPP LTE 표준 기술은 최대 데이터 전송 속도 및 평균 셀 스펙트럼 효율을 Cell-Edge 에 있는 유저들에게 높은 데이터 전송 속도를 지원하기 위한 방향으로 전송지점 간의 간섭 제어가 표준화의 중요 사안으로 대두되어지고 있다. 이러한 전송지점 간의 간섭을 제어하기 위한 중요 기술 중 하나인 협력 통신(CoMP, coordinated multi-point transmission and reception)이 LTE-Advanced Release 11 의 워크 아이템으로 합의되었고 표준화를 통한 협력 통신의 지원이 현실화되고 있는 상황이다[1]. 협력 통신은 여러 셀들이 협력하여 간섭을 최소화하고 주변 셀들을 스케줄링 하거나 beamforming 을 통해 단말이 수신하는 신호의 간섭을 최소화하여 성능을 향상시킨다. 또한 Cell-Edge 에 있는 단말들에게도 높은 데이터 속도를 제공해 준다. 협력 통신의 최대 목표는 ICI(Inter-Cell Interference)의 영향을 제거하는 기술이다. ICI 란 아래 그림과 같이 다른 경계지역의 셀로부터 간섭을 받아 Cell-Edge 지역에 사용자들의 서비스 품질이 매우 낮아지는 문제가 발생하는 현상이다.



(그림 1) 서비스 받지 않는 BS로부터 ICI 발생

또한 ICI 를 완화시키기 위한 방식으로 FFR(Fractional Frequency Reuse)이 있다. FFR 기술 방식은 4 세대 이동 통신망에서 도입된 기술로써, SFR(Soft Frequency Reuse)와 PFR(Partial Frequency Reuse) 두 가지로 기술로 구분된다. SFR 기술은 Cell-Center 지역과 Cell-Edge 지역을 나누고 Cell-Center 지역의 전송 전력은 Cell-Edge 지역보다 낮추어 Inter-Cell Interference 를 완화시키는 기술이다 또한 PFR 기술은 SFR 기술과 같이 Cell-Center 지역과 Cell-Edge 지역을 구분하여 나누지만 Cell-Edge 지역에 주파수 재 사용률을 ‘3’으로 할당하여 셀 간 간섭을 완화시키는 기술이다. 본 논문에서는 CoMP 를 사용하고 FFR 을 기반으로 제안된 3 sector reuse 를 사용하여 SINR 의 성능향상을 보여준다.

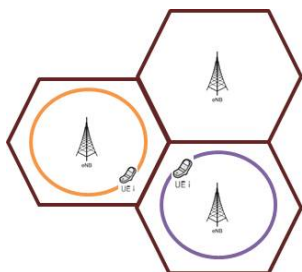
2 장에서 CoMP, FFR 기술의 자세한 설명을 하며, 3 장에선 제안하는 자원할당 방식을 설명한다. 다음 4 장에서 성능평가를 한 후, 5 장에서 결론으로 마무리한다.

2. 관련연구

2-1. CoMP

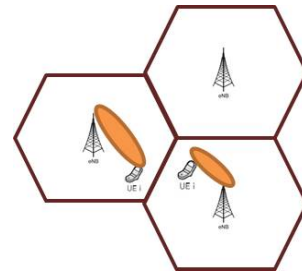
CoMP 는 SCP(Single Cell Processing)를 기반으로 운용하면서 셀 경계지역에 있는 사용자들의 성능 향상을 목적으로 한다. 기지국들이 동시에 같은 데이터를 송신 또는 안테나 빔의 제어를 통해 간섭을 저하시키는 기지국 간 협력 통신 방식이다.

CoMP 는 크게 joint processing(transmission), dynamic cell selection, coordinated beamforming 의 세 가지 유형의 기술로 3GPP 의 LTE-Advanced 에서 논의되고 있다. 협력 통신 방식에는 3 가지 협력 방식이 존재한다. 그 방식은 다음과 같다[2].



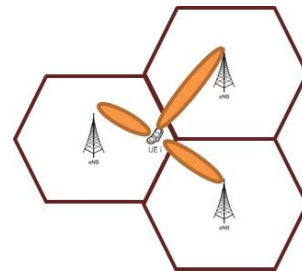
(그림 2) CS(Coordinated scheduling)

- CS(Coordinated scheduling) : 다른 전송지점에 미치는 간섭을 감소시키기 위해 신호를 전송하는 시간 또는 주파수 자원을 적절히 전송지점 간 조절



(그림 3) CS(Coordinated scheduling)

- CB(Coordinated beamforming) : 다른 전송지점에 미치는 간섭을 감소시키기 위하여 신호를 전송하는 빔 방향을 적절히 전송지점 간 조절



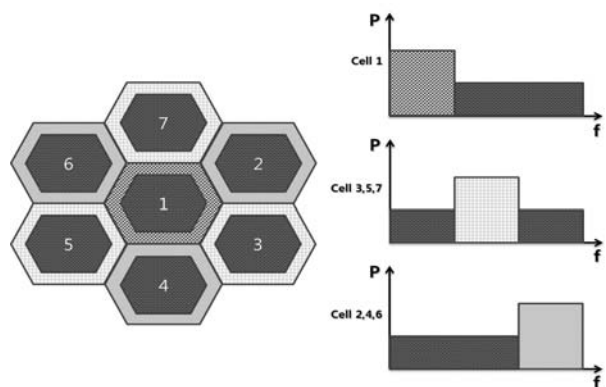
(그림 4) JP(Joint processing)

- JP(Joint processing) : 복수의 전송지점들이 한 개의 단말에게 동시 전송 또는 단말의 채널상태를 고려하여 동적으로 전송지점 변경

2-2. FFR(Fractional Frequency Reuse)

LTE 에서는 현재 Cell-Edge 지역의 간섭 완화의 방안으로 FFR 방식을 사용하며, 또한 더욱더 원활한 서비스를 위해 활발한 연구를 진행 중에 있다.

2-2-1. SFR(Soft Frequency Reuse)

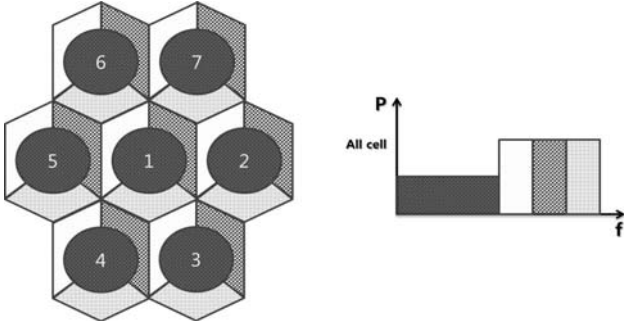


(그림 5) SFR 자원 할당방식

위 그림과 같이 SFR 은 Cell-Center 와 Cell-Edge 지역으로 나누고 Cell-Center 는 송신전력을 낮추어 전송하기 때문에 주위의 다른 Cell 들에게 간섭 영향을 최소화 한다. 그리고 Cell-Edge 는 주위의 다른 셀들과 다른 주파수 대역을 사용하여 간섭을 완화시키고 송신 전력은 거리를 고려하여 Cell-Center 보다 더 높은 전력으로 신호를 전송한다.

2-2-2. PFR(Partial Frequency Reuse)

PFR 은 SFR 과는 주파수 재 사용률을 다르게 적용하여 전체 시스템의 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위해 만들어진 기술이다. 또한 Cell-Edge 에 위치한 단말의 데이터 전송률을 향상시킨다.



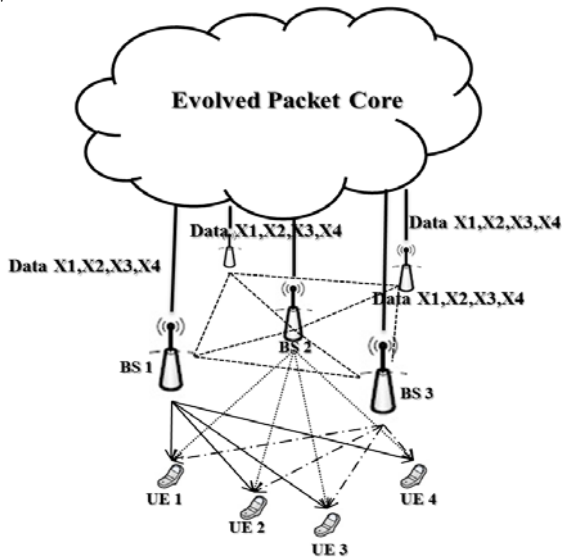
(그림 6) FFR 자원 할당방식

위 그림과 같이 PFR 은 Cell-Center 와 Cell-Edge 지역의 주파수 재 사용률을 다르게 한다. Cell-Center 는 주파수 재사용률을 ‘1’로하고, Cell-Edge 에 주파수 재 사용률을 ‘3’으로 함으로써 인접 셀간의 간섭을 완화시켜 Cell-Edge 에 위치한 사용자의 데이터 전송률을 향상시킨다.

3. 시스템 모델

3-1. Backhaul 망 정보교환 방식

Joint processing 기술은 물리적으로 같은 채널과 함께 동일한 데이터를 전송해야 한다. 때문에 BS 간 채널 및 데이터 공유가 필요하다. 이러한 조건을 만족하기 위해 BS 는 아래와 그림(7)과 같은 시스템 구조를 갖는다.



(그림 7) BS 간 채널 및 데이터 공유

그림(7)는 채널정보와 데이터(X1,X2,X3...)를 모두 공유하는 상황을 보여준다. 모든 기지국이 모든 사용자의 데이터를 가지고 있어 완전한 협력이 가능하다. 때문에 전체의 BS 가 하나의 BS 처럼 동작할 수 있다. 이를 Multi-cell MIMO 라 부른다[3]. 하지만 이러한 상

황은 Backhaul 망에 과부하를 고려하지 않을 수 없다. 그러므로 이 환경은 Backhaul 망이 데이터 처리함에 있어서 제한이 없는 것으로 간주한다.

3-2. Inter-Cell Interference 문제

Cell-Center 로부터 떨어져 있는 UE 는 두 요소로 인해 성능이 감소된다. 첫 번째로 path-loss 의 증가로 인한 신호 감쇄이며, 두 번째로는 서비스를 받지 않는 다른 BS 으로부터 수신되는 간섭이다. 이것을 Inter-Cell Interference 라고 부르며, 이것을 나타내는 식은 다음 아래와 같다.

$$\rho = \frac{G_1 P_1 r^{-\epsilon}}{N_0 W + G_2 P_2 (2R - r)^{-\epsilon}}$$

ϵ 는 path-loss 지수이며, P_n 은 각 BS 의 전송 전력이다. 또한 R 은 cell-radius 이며 2R 은 BS1 과 BS2 의 거리이며, G_n 은 channel gain 이다. 모든 BS 의 전송 전력은 동일하다.

따라서 ICI 를 고려한 UE 가 수신하는 SINR 식은 다음과 같다.

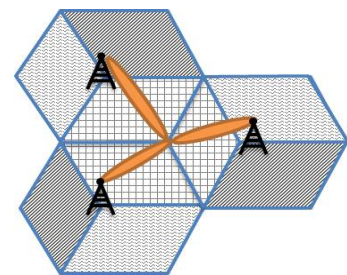
$$\rho_{ICI} = \frac{G_{j^{th}} P (10^{\frac{PL_s}{10}})}{N_0 + G_{i^{th}} P (10^{\frac{PL_i}{10}})}$$

여기서 PL_s 는 서비스 BS 와 UE 간의 path-loss 이며, PL_i 는 Inter-Cell Interference 를 발생시키는 BS 와 서비스를 받는 UE 간의 path-loss 이다.

성능평가에서 channel gain, G_n 는 고려하지 않는다.

4. 제안하는 자원 할당 방식

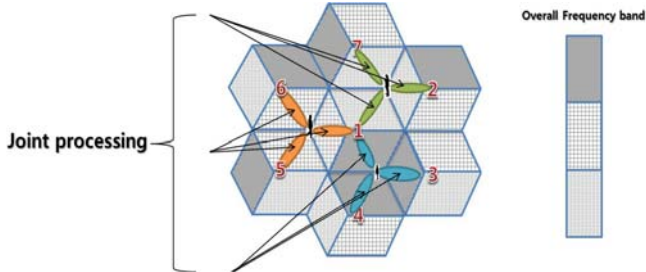
사용자가 Cell-Edge 에 있을 때 서비스 BS 외의 인접 셀 BS 가 ICI 를 발생시킨다. 이 간섭을 완화시키기 위해 제안하는 자원 할당 방식을 적용함으로써, ICI 를 완화시킨다. Joint processing 기술을 적용시키기 위해 제안하는 자원 할당방식은 아래 그림(8)과 같이 인접하는 셀간의 주파수 채널할당을 동일하게 가져간다.



(그림 8) Joint processing 을 사용한 자원 할당 방식

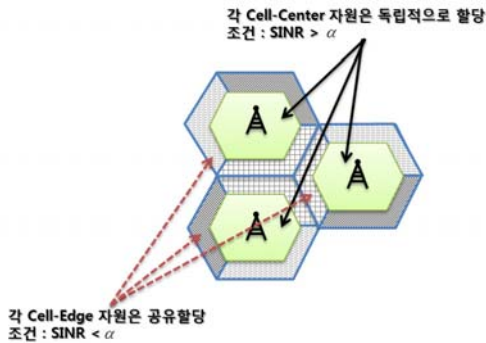
기존 FFR 과 차이점은 자원 할당 방식에 있다. 아래 그림(9)과 같이 제안하는 자원할당 방식은 사용자들

기준으로 인접하는 셀간에 BS 들이 협력한다. 이러한 이유는 Joint processing 기법을 가능하게 하기 위함이다. 물리적 주파수 자원과 데이터를 협력하는 BS 들이 Cell-Edge 에 있는 사용자에게 서비스를 해줌으로써 Cell-Edge 에 있는 유저들의 서비스 품질이 향상될 수 있다.



(그림 9) 제안된 자원할당 방식

우리가 제안하는 방식은 각 셀들이 독립적으로 주파수 자원을 사용하던 SFR, PFR 방식에 비해 용량이 적어지는 문제점이 발생 될 수 있다. 그 이유는 인접하는 셀간에 동일한 주파수 자원을 사용하여 1 개의 셀에서 사용하는 용량을 3 개의 셀이 공유하기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 모든 셀들은 Cell-Center 와 Cell-Edge 의 경계를 나누어 Cell-Center 의 주파수 자원은 독립적으로 주파수 할당을 가져가야만 한다.



(그림 10) 제안된 방식으로 인한 용량저하 문제 해결

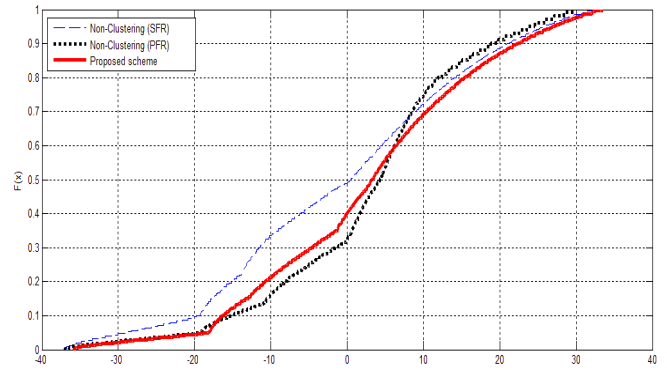
때문에 위 그림(10)와 같이 논문에서는 먼저 Cell-Center 와 Cell-Edge 의 경계를 구분하는 지표로 $SINR > \alpha$ 하다면 Cell-Center 로 간주하고, $SINR < \alpha$ 이면 Cell-Edge 로 간주하였다. 이를 바탕으로 협력하는 셀들이라 하더라도 각 셀들의 자원을 독립적으로 사용할 수 있으므로 자원용량 저하를 문제를 해결할 수 있다.

5. 성능평가 및 분석

<표 1> 파라미터

parameter	value
White noise power density	-174.0 dBm/Hz
Maximum transmission power per BS	46 dBm
Transmission power per BS in center only	30 dBm
Inter-cell distance	1 Km
Carrier Frequency	2 GHz

Antenna pattern for BS's and UE	Omni-directional (0 dBi)
Number of UE	Uniformly distributed 0~1000 per cell
Location of UE	Randomly distributed on cell edge
Channel Bandwidth	20MHz
Antenna	MIMO 2 by 2
Number of cell	7
Path-loss model	$128.1 + 37.8 \log_{10}(r)$
Path-loss model (inter-cell interference)	$128.1 + 37.8 \log_{10}(2R - r)$



(그림 10) 제안된 방식과 FFR 기법의 성능 비교

이 시뮬레이션은 Matlab tool 을 사용하였다. 그림 (10)에서 보이듯 제안된 자원 할당 방식의 성능이 가장 좋은 것으로 나타난다. 우리는 7 개의 셀 환경에서 테스트를 진행하였다. SFR 방식은 모든 셀의 path-loss 값을 고려하여 ICI 를 적용시킨 SINR 값을 구하였고, PFR 방식 또한 동일한 방법으로 셀의 SINR 값을 CDF 로 나타내었다. 제안된 우리의 기법은 협력하는 셀을 제외한 나머지 셀들의 ICI 를 고려하여 SINR 값을 구하였다. 그 결과 위 그림(10)에서 나오는 그래프에서 우리가 제안하는 방식의 SINR 값이 SFR, PFR 과 비교하여 가장 좋은 성능을 보였다.

6. 결론

본 논문에서는 인접 셀간 간섭을 완화할 수 있는 대표적인 주파수 재사용 기법인 FFR 과 앞으로 인접 셀간의 간섭 완화를 해결해 줄 기법으로 급부상되는 기술인 CoMP 를 기반으로 Joint processing 을 위한 효율적인 자원 할당 방식을 제안하였다. 이 시나리오에 따라 자원 할당 방식을 적용했을 때, 기존의 방식으로 사용중인 SFR, PFR 의 방식보다 사용자의 SINR 값이 더 좋은 성능을 보이는 것으로 나타났다.

참고문헌

[1] <http://www.3gpp.org/technologies/keyworkds-acronyms/97-lte-advanced>.
 [2] S Sun, Q Gao, Y Peng, Y Wang, "Interference Management through CoMP in 3GPP LTE-Advanced networks," IEEE Wireless Communications, February 2013
 [3] D. Gesbert et al., "Multi-cell MIMO Cooperative Networks: A New Look at Interference," IEEE J.Sel. Areas Commun., vol. 28, no. 9, 2010, pp.1380-1408.