

분할대역 중첩을 통한 부분 주파수 재사용의 성능 향상

윤상석*, 박동찬*, 김석찬°

Performance Enhancement of Fractional Frequency Reuse Using Partially Overlapped Frequency Partition

Sangseok Yun*, Dong Chan Park*, Suk Chan Kim°

요약

OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기반 셀룰러 시스템에서 셀 간 간섭은 셀 가장자리에 위치한 단말의 수신 성능을 악화시킴으로써 전체 시스템의 성능을 감소시킨다. 따라서 셀 간 간섭을 제거하는 것은 셀룰러 시스템의 성능 향상에 가장 중요한 요소 중 하나이다. 이를 위해 4세대 통신망에는 부분 주파수 재사용(FFR : Fractional Frequency Reuse)이 도입되었다. FFR은 간섭 제어 기술 중의 하나로써, 하나의 셀을 내부 셀과 외부 셀로 분할하고 내부 셀의 경우 전체 시스템 대역폭을, 외부 셀의 경우 섹터에 따라 서로 다른 주파수 파티션을 할당한다. 이렇게 함으로써 외부 셀에 속한 단말은 인접한 셀로부터의 간섭을 무시할 수 있게 되고 이에 따라 셀 가장자리에 위치한 단말의 수신 성능이 대폭 개선된다. 하지만 FFR은 대역폭 측면에서 치명적인 부작용을 가진다. 외부 셀의 각 섹터에 서로 다른 주파수 파티션을 할당하기 위해서 하나의 섹터에는 전체 시스템 대역폭의 1/3만을 할당할 수 있게 된다. 이렇게 감소한 대역폭은 시스템 전송률을 직접적으로 감소시킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 분할대역을 일정 비율만큼 중첩해서 사용하는 새로운 FFR 방법을 제안하고 실제 셀룰러 시스템에 적합한 중첩 비율을 제시한다.

Key Words : Fractional Frequency Reuse, FFR, OFDMA, Cellular

ABSTRACT

In OFDMA-based cellular system, inter-cell interference (ICI) reduces system capacity by aggravating receiving performance of the users located in edge of the cell. Therefore, to mitigate ICI is very important issue in cellular system. To deal with ICI problem, fractional frequency reuse (FFR) is introduced. FFR is an interference management technique. It separates each cell into inner cell and outer cell. Then, it allocates whole system bandwidth to inner cell and different frequency partition to each sector of outer cell. By doing this, outer cell users can ignore interferences from adjacent cells. So, the receiving performance of the cell edge users can be fairly increased. However, using FFR technique has a fatal side effect. In order to use different frequency partition among three sectors of outer cell, they can use only a third of the whole system bandwidth. Then, the reduction of available bandwidth reduces the system throughput directly. To solve this problem, we propose a new FFR method that allocates partially overlapped frequency partition to each sector of outer cell. And then, we suggest a proper overlapping ratio for practical cellular system.

※ 이 과제는 부산대학교 교수국외장기파견지원비에 의하여 연구되었음.

◆ 주저자 : 부산대학교 전자전기공학과 통신시스템 연구실, yunss@pusan.ac.kr, 정회원

° 교신저자 : 부산대학교 전자전기공학과 통신시스템 연구실, sckim@pusan.ac.kr, 종신회원

* 부산대학교 전자전기공학과 통신시스템 연구실, dongchan@pusan.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2012-02-064, 접수일자 : 2012년 2월 20일, 최종논문접수일자 : 2012년 8월 6일

I. 서 론

최근 인터넷을 사용하는 모바일 기기의 대중화 및 콘텐츠 시장의 급속한 성장으로 인해 모바일 기기 유발하는 트래픽이 대폭 증가하였다. 급증한 트래픽을 처리하고 향상된 사용자의 트래픽 요구를 만족시키기 위하여 4 세대 통신망이 활발히 연구되고 있다. 4세대 통신망의 후보로서 2 개의 OFDMA 기반 통신망이 꾸준히 거론되고 있는데 첫 번째는 IEEE 진영의 Mobile WiMAX^[1] (Worldwide interoperability for Microwave Access)이고, 두 번째는 3GPP 진영의 LTE-adv. (Long Term Evolution-advanced)이다. 현재 국내에서는 사업자들의 이해관계로 인해 3GPP 진영이 IEEE 진영을 압도하고 있지만 최근 ITU-R에서 Mobile WiMAX와 LTE를 연동할 수 있는 기술을 개발하는 등 미래에는 두 기술 모두 상용화 될 것임을 예상할 수 있다.

OFDMA 기반의 셀룰러 통신망은 높은 주파수 효율과 넓은 커버리지를 가진 뛰어난 시스템이지만 시스템 구조상 필연적으로 셀 간 간섭^[2]이 발생하게 된다. 셀 간 간섭이란 인접 셀 기지국의 신호가 사용자에게 간섭으로 작용하는 것을 의미한다. 일반적으로 무선통신에서 신호 감쇠의 가장 주요한 요인은 경로손실이기 때문에 인접 셀 기지국에서 오는 신호는 서빙 셀 기지국의 신호에 비해 크게 감쇠되어 단말의 수신 성능에 큰 영향을 미치지 않는다. 하지만 셀 가장자리에 위치한 단말의 경우 서빙 셀 기지국과의 거리와 인접 셀 기지국과의 거리가 비슷하기 때문에 인접 셀 기지국으로부터의 신호가 단말에게 큰 간섭으로 작용하여 단말의 수신 성능을 크게 악화시킨다. 이와 같이 셀 간 간섭으로 인해 셀 가장자리에 위치한 단말의 수신 성능이 열화 되고 이는 전체 시스템의 성능 하락으로 직결된다. 따라서 셀 간 간섭을 완화시키는 것은 OFDMA 기반의 셀룰러 시스템에서 매우 중요하다. 이를 위해 4세대 통신망에는 부분 주파수 재사용(FFR)^{[3][4]}이 도입되었다.

FFR은 간섭 제어 기술로써, 하나의 셀을 거리에 따라 2 구간으로 나누고 각 구간에 서로 다른 주파수 재 사용률^[5]을 사용한다. 즉, 수신 성능이 좋은, 기지국 근처에 위치한 단말의 경우 전체 시스템 대역폭을 모두 사용하는 주파수 재 사용률 1을 이용하고 셀 가장자리에 위치한, 수신 성능이 나쁜 단말의 경우 섹터별로 서로 다른 주파수 파티션을 할당하는 주파수 재 사용률 3을 이용함으로써 셀 간 간섭을 완화시킨다. 따라서 기지국 근처에 위치한 단말의 성

능과 셀 가장자리에 위치한 단말의 성능을 모두 향상시킬 수 있다. 하지만 이 방법은 단말과 기지국 사이의 거리의 연속성을 고려하지 않은 방법이다. 다시 말해서, 기지국 근처에 위치한 단말 혹은 셀 가장자리에 위치한 단말이 아닌 임의의 거리에 위치한 단말의 경우 주파수 재 사용률 1 이나 주파수 재 사용률 3을 사용하는 것 보다 다른 주파수 재 사용률을 사용하는 것이 더 효율적일 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 주파수 파티션을 일정 비율만큼 중첩해서 사용하는 새로운 형태의 FFR 방법을 제안하고 무선 통신 표준에 기반 한 모의실험을 통해 실제 셀룰러 시스템에 적합한 중첩 비율을 제시한다. 먼저 2 장에서 셀 레이아웃과 프레임 구조 및 기존의 FFR을 간략하게 설명한 뒤 3장에서 제안하는 FFR 방법을 설명한다. 그리고 4장에서 모의실험을 통해 거리에 따른 최적의 중첩 비율을 찾고 개선된 성능을 확인한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

2.1. 셀 레이아웃

본 논문에서 다룰 시스템의 레이아웃을 그림 1에 도시하였다. 그림 1과 같이 19개의 육각형 셀로 구성된 영역을 클러스터(Cluster)라고 하며 전체 모의실험 평면은 하나의 중심 클러스터를 6개의 외부 클러스터가 둘러싼 형태이다. 클러스터를 구성하는 19개의 셀은 각각 3개의 섹터로 구성되어 있으며 각 섹터에는 섹터 내의 단말을 서비스하는 지향성 안테나를 가진 기지국이 존재한다. 모든 기지국의 타이밍은 완벽하게 동기가 맞

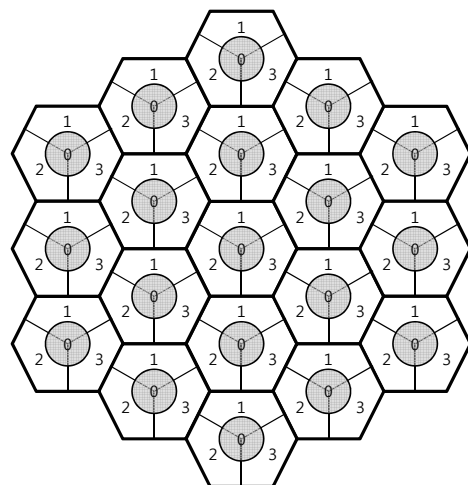


그림 1. 시스템 레이아웃
Fig. 1. System Layout

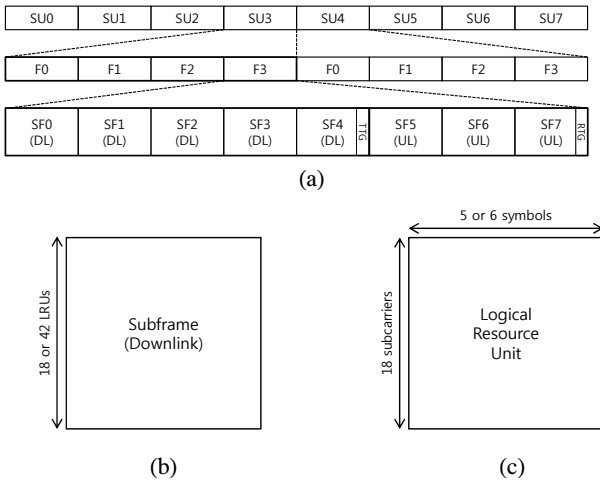


그림 2. 프레임 구조
Fig. 2. Frame Structure

추어져 있다고 가정하였으며 각각 20명의 하향 링크 단말을 서비스한다고 가정하였다. 상향 링크 및 멀티캐스트 성능은 본 논문의 주된 관심사가 아니므로 상향 링크 단말과 멀티캐스트 부 프레임은 무시하였다. 모든 단말의 위치는 임의로 결정된다.

셀 간 간섭을 계산하기 위해 2 티어 이하의 거리에 있는 셀로부터의 간섭까지 고려하였으며 그 이상의 거리에 있는 셀로부터의 신호는 2 티어 거리 내에 있는 셀들의 신호에 비해 무시할 만큼 작기 때문에 고려하지 않았다. 그리고 외부 셀들의 신호 대 간섭 및 잡음비 (SINR : Signal to Interference and Noise Ratio)를 계산하기 위해 wrap-around 방법을 이용하였다. 스케줄링과 전력 제어는 본 논문에서 고려되지 않았으며 본 논문에서 제안한 부분 주파수 재사용의 성능을 검증하기 위해 사용할 시스템 레벨 시뮬레이터는 IEEE 802.16m의 Evaluation Methodology Document^[6]를 기반으로 구현하였다.

2.2. 프레임 구조

그림 2-(a)에 주파수 대역폭 10MHz 및 시분할 복신 모드를 사용하는 Mobile WiMAX 시스템의 프레임 구조를 나타내었다. 먼저 슈퍼프레임은 20ms의 길이를 가지며 4개의 프레임으로 구성된다. 또 각 프레임은 8개의 부 프레임으로 구성되는데 처음 다섯 개의 부 프레임은 하향 링크에 사용되고 마지막 세 개의 부 프레임은 상향 링크에 사용된다. 각 슈퍼프레임의 첫 프레임은 한 슈퍼프레임 구간 동안의 제어 정보를 포함하고 있다.

각 부 프레임은 자원 할당의 최소 단위인 48개의 논리 자원 유닛(LRU : Logical Resource Unit)으로 나뉘는데 프레임 제어를 위해 사용되는 자원을 고려하면

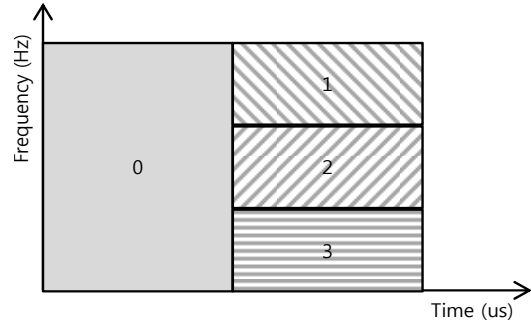


그림 3. 주파수 할당 정책
Fig. 3. Frequency Allocation Policy

각 부 프레임은 순서에 따라 18개 혹은 42개의 LRU로 구성된다. 그리고 각 LRU는 18개의 부반송파와 5개 혹은 6개의 OFDM 심볼로 구성된다. 이를 그림 2-(b)와 그림 2-(c)에 나타내었다.

2.3. 부분 주파수 재사용

FFR은 셀 간 간섭을 완화시키기 위해 4세대 통신망에서 도입된 기술로써 인접 셀로부터의 간섭을 상당량 감소시킬 수 있는 기술이다. 기존 FFR의 개념도와 주파수 할당 정책을 그림 1과 그림 3에 나타내었다. FFR은 그림 1과 같이 하나의 셀을 2개의 동심 구간 즉, 내부 셀과 외부 셀로 나눈다. 그림 1의 0번 구간이 내부 셀이고 1, 2, 3번 구간이 외부 셀이 된다. 그리고 각각의 구간에서 서로 다른 주파수 재사용률을 할당한다. 내부 셀에는 주파수 재사용률 1을 할당하고 외부 셀에는 주파수 재사용률 3을 할당한다. 이 때, 외부 셀과 내부 셀에 할당되는 주파수 파티션을 그림 3에 도시하였다.

먼저 각 부 프레임을 시간 영역에서 두 구간으로 나누고 부 프레임의 앞부분에는 전체 주파수 대역폭을 모두 할당하며 부 프레임의 뒷부분에는 섹터별로 전체 주파수 대역폭의 1/3만을 할당한다. 전체 주파수 대역폭을 모두 활용하는 앞쪽 부 프레임의 경우 상대적으로 수신 성능이 좋은 단말이 많은 내부 셀에 할당하고 뒤쪽 부 프레임의 경우 수신 성능이 나쁜 외부 셀에 위치한 단말들에게 할당한다.

이러한 방법으로 자원을 할당하게 되면 외부 셀에 위치한 단말의 경우 자신이 속한 섹터에 따라 서로 다른 주파수 파티션을 할당 받음으로써 자신과 다른 주파수 파티션을 사용하는 기지국으로부터의 신호는 완벽하게 무시할 수 있게 된다. 따라서 간섭을 주는 기지국의 수가 1/3로 줄어들게 된다. 또한 적절한 셀 플래닝이 되어 있는 그림 1과 같은 경우 같은 섹터를 서비스하는 기지국은 항상 같은 방향을 향해 서

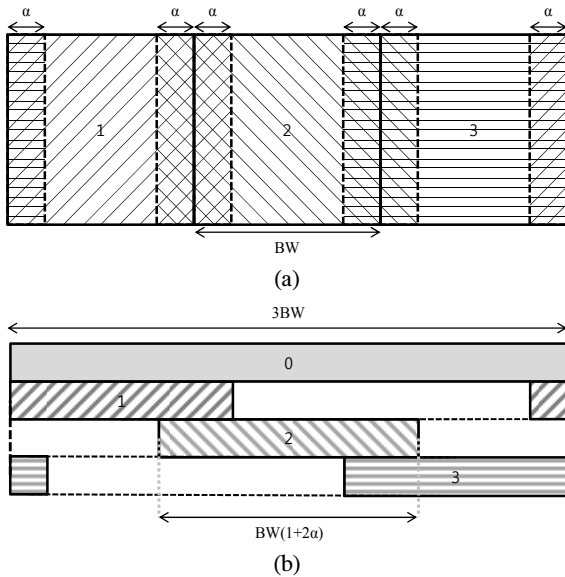


그림 4. 분할대역이 중첩된 부분 주파수 재사용
Fig. 4. Overlapped Fractional Frequency Reuse

비스하므로 안테나 패턴에 의해 간섭의 영향이 더욱 감소하게 된다. 이처럼 외부 셀에 위치한 단말이 받는 간섭이 줄어들어 수신 성능이 향상되고 이에 따라 시스템의 성능 또한 향상된다.

인접 셀로부터의 간섭은 단말과 인접 셀 사이의 거리에 의해 결정된다. 물론 페이딩 효과나 지형지물에 의해서도 영향을 받지만 거리의 영향 즉, 경로 손실이 모든 감쇠 효과 중 가장 주요한 감쇠 요인이다. 그런데, 기지국과 단말 사이의 거리는 연속적인 값을 가지므로 거리에 따라 결정되는 간섭 역시 연속성을 갖는다. 따라서 기지국에서 임의의 거리에 위치한 단말의 경우 주파수 재 사용률 1 혹은 3을 사용하는 것 보다 더 효율적인 주파수 할당 방법이 있을 것이라 쉽게 예상할 수 있다. 하지만 기존의 FFR은 이를 고려하지 않고 있다. 따라서 본 논문에서는 이를 고려한 새로운 FFR 방법을 제안한다.

III. 분할대역이 중첩된 부분 주파수 재사용

이 장에서는 본 논문이 제안하는 부분 주파수 재사용 방법인 분할대역이 중첩된 부분 주파수 재사용 (OFFR : Overlapped Fractional Frequency Reuse)에 관해 설명한다. 제안하는 부분 주파수 재사용 방법은 기존 부분 주파수 재사용 방법과는 달리 각 주파수 파티션의 부분적인 중첩을 허용한다. 그림 4(a)와 4(b)에 이를 나타내었다. 0번 구간 즉, 내부 셀의 경우 기존 FFR과 같이 전체 시스템 대역폭을 모두

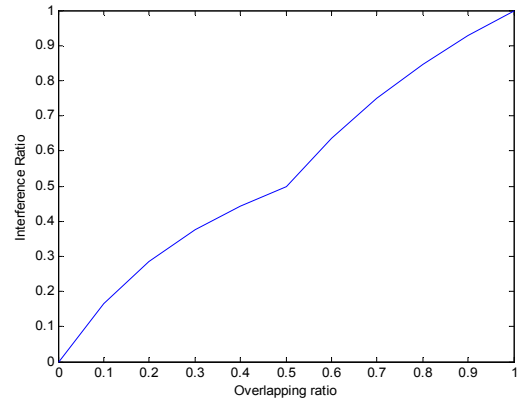


그림 5. 실효 간섭 비율
Fig. 5. Effective Interference Ratio

할당한다. 따라서 사용 가능한 주파수 대역폭은 3BW이다. 반면에 1, 2, 3번 구간 즉, 외부 셀의 각 섹터의 경우 부분적으로 중첩된 주파수 파티션을 할당한다.

그림 4(b)에서 중첩 비율을 α 를 사용했다고 가정하면, 각 섹터가 이웃 섹터와 중첩해서 사용하는 주파수 파티션의 대역폭은 $2\alpha BW$ 이다. 다시 말해서, 각 섹터에 할당된 주파수 대역폭은 $BW(1+2\alpha)$ 가 된다. 즉, 중첩 비율 α 가 커질수록 이웃 섹터와 중첩해서 사용하는 주파수가 많아지게 되고 따라서 각 섹터에 할당된 주파수 대역폭이 넓어지게 되는 것을 알 수 있다.

이처럼 OFFR을 사용하는 경우 외부 셀에 속한 단말들은 기존 FFR을 사용하는 것 보다 넓은 대역폭을 사용할 수 있게 된다. 하지만 자신의 주파수 파티션이 다른 섹터의 주파수 파티션과 중첩됨으로써 발생하는 간섭을 반드시 고려 해 주어야 한다.

IEEE 802.16m 시스템의 경우 LRU단위로 자원을 할당한다. LRU는 연속된 부분송파를 Permutation^[7]을 통해 섞어 놓은 논리적인 자원의 단위이다. 따라서 특정 대역의 간섭을 전체 대역의 간섭으로 정규화 하여 생각할 수 있다.

그림 5는 중첩 비율 α 에 따른 실효 간섭 비율 β 를 나타낸 그래프이다. 다음과 같은 과정에 의해 실효 간섭을 계산한다. 먼저 중첩 비율 α 를 사용했을 때의 중첩되는 대역 즉, 간섭이 발생하는 대역은 수식 (1)을 이용해서 구할 수 있다.

$$I(\alpha) = 2\alpha BW, (0 \leq \alpha \leq 0.5) \quad (1)$$

수식 (1)은 중첩 비율 α 가 0.5보다 작을 때의 중

표 1. 모의실험 매개변수

Table 1. Simulation Parameters

Parameter	Value
Center frequency	2.5 GHz
Cell radius	1000 m
Configuration	2 tiers 19cells 3sectors/cell
Frame structure	IEEE 802.16m
Number of users/sector	20
Path-loss type	Urban NLOS Macrocells
Shadow fading	α : 8dB, decorr. dist.: 50m
Channel model	ITU Ped B 3km/h(60%)
	ITU Veh A 30km/h(30%)
	ITU Veh A 120km/h(10%)
Antenna structure	1x1 (SISO)
Scheduling	Round robin
Traffic model	Full buffer
Unicast : Multicast ratio	5:3 (ignore multicast SF)
Link to system mapping	RBIR
FFR application distance	63% of cell radius

첩이 발생하는 대역의 대역폭이다. α 가 0.5보다 커지는 경우 특정 영역이 두 번 중첩되기 때문에 간섭이 발생하는 대역이 수식 (2)와 같이 구해진다.

$$I(\alpha) = 2\alpha BW + 2(\alpha - 0.5)BW = (4\alpha - 1)BW, (0.5 \leq \alpha \leq 1) \quad (2)$$

이 때, 실효 간섭 비율을 β 라고 하면 β 는 수식 (3)을 이용해서 구할 수 있다.

$$\beta(\alpha) = \begin{cases} \frac{2\alpha}{1+2\alpha}, & 0 \leq \alpha \leq 0.5 \\ \frac{4\alpha-1}{1+2\alpha}, & 0.5 \leq \alpha \leq 1 \end{cases} \quad (3)$$

수식 (3)에서 구한 실효 간섭 비율 β 를 이용해 특정 주파수 대역에서 발생하는 간섭의 영향을 전체 대역의 간섭으로 정규화 할 수 있다.

표 2. OFDMA 매개변수

Table 2. OFDMA Parameters

Parameters		Value					
System Bandwidth (MHz)		5	7	8.75	10	20	
Sampling frequency (MHz)		5.6	8	10	11.2	22.4	
Sampling factor		28/25	8/7	8/7	28/25	28/25	
FFT size		512	512	1024	1024	2048	
Subchannel spacing (KHz)		10.94	7.81	9.77	10.94	10.94	
Useful symbol time (us)		91.4	128	102.4	91.4	91.4	
Cyclic prefix ratio $G = 1/8$	OFDMA symbol time		102.857	144	115.2	102.857	102.857
	FDD	Number of OFDMA symbols /frame	48	34	43	48	48
		Idle time(us)	62.857	104	46.40	62.857	62.857
	TDD	Number of OFDMA symbols /frame	47	33	42	47	47
		Idle time(us)	165.714	248	161.6	165.714	165.714

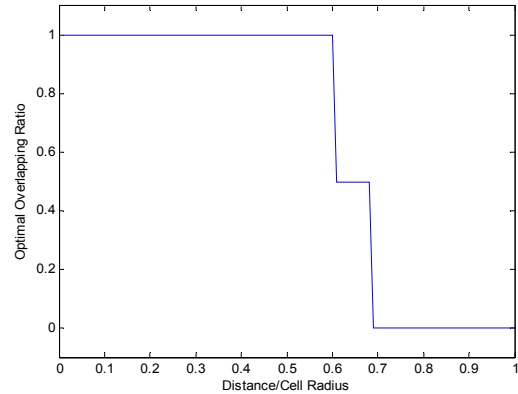


그림 6. 최적의 중첩 비율
Fig. 6. Optimal Overlapping Ratio

IV. 모의실험

이 장에서는 시스템 레벨 시뮬레이션을 통해 제안하는 부분 주파수 재사용 방법을 검증하고 거리에 따른 최적의 중첩 비율을 제시한다. 시스템 레벨 시뮬레이션을 위한 매개변수들을 표 1에 나타내었다. 그리고 모의실험에 사용된 OFDMA 매개변수들을 표 2에 굵은 글씨로 나타내었다.

4.1. 모의실험 1

모의실험 1에서는 단말과 기지국 사이의 거리 별로 모든 주파수 중첩 비율에 따른 단말의 전송률을 측정하고 전송률이 최대일 때의 중첩 비율 즉, 최적의 중첩 비율을 찾는다. 그림 6에 모의실험 1의 결과를 나타내었다. x축은 셀 반경 대비 단말과 기지국 사이의 거리의 비율을 의미하며 y축은 최적의 주파수 중첩 비율 즉, 최대 전송률에서의 주파수 중첩 비율을 의미한다.

일반적으로 기지국으로부터 일정 거리 이내에 위치한 단말의 경우 주파수 중첩 비율 1을 이용하여

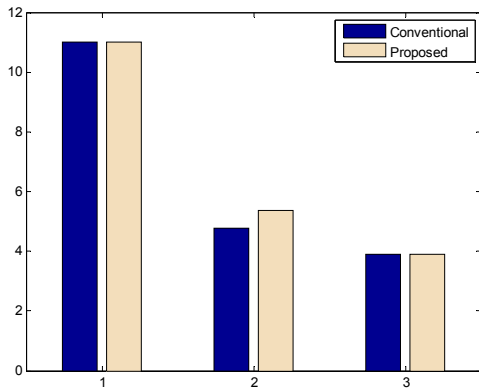


그림 7. 구간별 평균 전송률
Fig. 7. Average Throughput of Each Region

전체 시스템 대역폭을 모두 사용하는 것이, 그리고 기지국으로부터 일정 이상의 거리에 위치한 단말의 경우 주파수 중첩 비율 0을 이용하여 인접 섹터로부터의 간섭을 최소화 하는 것이 최적의 성능을 보일 것이라는 사실은 쉽게 예상할 수 있다.

마찬가지로 기지국과 단말 사이의 거리의 연속성을 고려하면, 내부 셀과 외부 셀 사이의 임의의 구간에 위치하는 단말의 최적의 주파수 중첩 비율의 그래프는 거리에 따라 감소하는 형태일 것이라 쉽게 짐작할 수 있다. 하지만 그림 6에서 확인할 수 있듯이 놀랍게도 이 구간에서의 최적의 주파수 중첩 비율은 0.5로 일정한 것을 확인할 수 있다.

다시 말해서, 기지국과의 거리가 셀 반경의 60% 미만인 단말의 경우 주파수 중첩 비율 1이, 68% 이상인 경우 주파수 중첩 비율 0이 최적의 중첩 비율임을 알 수 있으며, 두 지점 사이에서는 주파수 중첩 비율의 최적 값이 0.5임을 알 수 있다. 즉, 기지국과의 거리가 셀 반경의 60% 이상 68% 미만인 구간의 단말이 주파수 중첩 비율 0.5를 이용할 경우 기존 부분 주파수 재사용 방법을 사용했을 때 보다 향상된 성능을 얻을 수 있을 것이다.

4.2. 모의실험 2

모의실험 2에서는 모의실험 1에서 얻은 최적의 중첩 비율을 적용한 제안하는 부분 주파수 재사용 방법의 성능과 기존 부분 주파수 재사용 방법의 성능을 비교한다.

제안하는 FFR의 경우 앞 모의실험의 결과를 반영하여 셀 반경의 60% 미만(내부 셀)에 위치하는 단말에는 주파수 중첩 비율 0을 할당 하였고 셀 반경의 60% 이상 68% 미만(중앙 셀)에 위치하는 단말에는

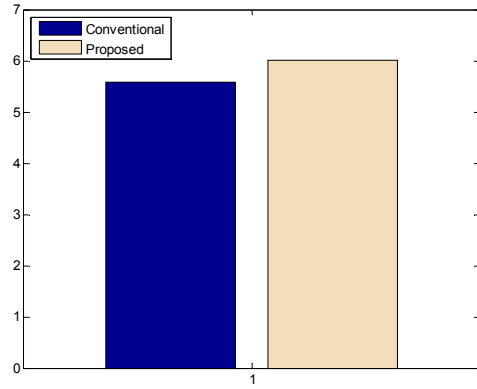


그림 8. 평균 섹터 전송률
Fig. 8. Average Sector Throughput

주파수 중첩 비율 0.5를 할당 하였으며 셀 반경의 68% 이상(외부 셀)에 위치한 단말에는 주파수 중첩 비율 0을 할당하였다. 기존 FFR에서도 내부 셀과 외부 셀을 결정하는 경계가 필요하다. 이를 위해 참고 문헌^[8]의 결과를 인용하였다. 따라서 셀 반경의 63% 미만에는 주파수 재 사용률 1을, 그리고 63% 이상의 거리에 위치한 단말에는 주파수 재 사용률 3을 할당 하였다.

모의실험의 결과를 그림 7에 도시하였다. 그림에서 x축은 실험 번호를 의미하며 y축은 구간 별 평균 전송률을 의미한다. 실험 1, 2, 3은 각각 평균 내부 셀 전송률, 평균 중앙 셀 전송률, 평균 외부 셀 전송률을 측정된 실험이다.

실험 1과 3에서는 기존의 FFR 방법과 제안하는 FFR 방법이 같은 주파수 재 사용률을 사용하기 때문에 서로 큰 성능 차이를 보이지 않았다. 반면에, 중앙 셀의 평균 전송률을 측정된 실험 2의 경우 제안한 FFR 방법을 사용했을 때의 평균 전송률은 5.38Mbps이고 기존 FFR 방법을 사용했을 때의 평균 전송률은 4.77Mbps이다. 따라서 제안하는 FFR 방법을 적용했을 때의 성능이 기존 FFR 방법을 사용했을 때의 성능에 비해 약 13%가량 향상되었다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 제안한 FFR 방법을 사용하는 경우 중앙 셀에 속하는 단말이 많을수록 성능 향상 폭이 증가 할 것이라 예상할 수 있다.

그림 8에는 전체 단말 중 약 70%의 단말이 중앙 셀에 속해있을 때의 평균 섹터 전송률을 나타내었다. 기존 FFR의 경우 5.58Mbps의 평균 섹터 전송률을, 제안한 FFR의 경우 6.01Mbps의 평균 섹터 전송률을 보여 전체적으로 약 8%의 성능 향상이 있었음을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존 FFR을 개선하여 일정 비율만큼 중첩된 주파수 파티션을 사용하는 OFFR을 제안하고 분석하였다.

먼저 모의실험 1에서는 단말과 기지국 사이의 거리별로 모든 주파수 중첩 비율에 따른 단말의 전송률을 측정하고 측정된 값을 이용해 모든 거리에 대한 최적의 주파수 중첩 비율을 결정하였다. 실험 결과 셀 중심에서 셀 반경의 59%까지는 주파수 중첩 비율 1을, 셀 반경의 60%에서 67%까지는 주파수 중첩 비율 0.5를, 셀 반경의 68%에서 100%까지는 주파수 중첩 비율 0을 적용하는 것이 최적의 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

모의실험 2에서는 제안한 OFFR에 모의실험 1에서 결정한 거리에 따른 최적의 중첩 비율을 적용하여 구간별 성능을 평가하고 기존 FFR의 성능과 비교하였다. 실험 결과 내부 셀과 외부 셀에서는 같은 주파수 재사용 정책을 사용하므로 성능 차이를 보이지 않았지만 중앙 셀 즉, OFFR에서 주파수 중첩 비율 0.5를 적용한 구간에서는 제안한 OFFR의 성능이 기존 FFR에 비해 향상되었음을 확인할 수 있었다. 또한 다수의 단말이 셀 반경의 60% 이상 68% 이하의 거리에 속하는 경우 전체 시스템 성능 또한 향상됨을 확인하였다.

References

[1] IEEE 802.16m-2011, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks- Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems Amendment 3: Advanced Air Interface", May, 2011.

[2] Mikami M, Fujii, T, "An Inter-Cell Interference Cancellation Scheme with Multi-Cell Coordinated Scheduling for Downlink of MIMO/OFDMA Cellular Systems," *Vehicular Technology Conference 2011*, pp. 1-5, May, 2011.

[3] I.N.Stiakogiannakis, D.I.Kaklamani, "IEEE802.16e - WiMAX : Performance Analysis of Partial and Full Usage of Subchannels under Fractional Frequency Reuse," *Wireless Technology Conference 2009*, pp. 41-44, Sept. 2009.

[4] Yijie Chen, W.Wang, T.Li, X.Zhang, M.Peng, "Fractional Frequency Reuse in mobile WiMAX," *Third International Conference on Communications and Networking in China 2008*, pp. 276-280, Aug, 2008.

[5] Young-June Choi, C.S.Kim, S.Bahk, "Flexible Design of Frequency Reuse Factor in OFDMA Cellular Networks," *IEEE International Conference on Communications*, vol. 4, pp. 1787-1788, June, 2006.

[6] IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, "IEEE 802.16m Evaluation Methodology Document (EMD)," Jan. 2009.

[7] Ashraf Nusairat, Xiang-Yang Li, "WiMAX/OFDMA Burst Scheduling Algorithm To Maximize Scheduled Data", *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, Issue. 99, pp. 1-14, Oct, 2011

[8] Mohamad Assaad, "Optimal Fractional Frequency Reuse (FFR) in Multicellular OFDMA System", *Vehicular Technology Conference 2008*, pp.1-5, Sept, 2008

윤 상 석 (Sangseok Yun)



2010년 8월 부산대학교 전자전기공학과 학사
 2012년 2월 부산대학교 전자전기공학과 석사
 2012년 2월~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사과정

<관심분야> Physical Layer Security, CR, DTN

박 동 찬 (Dong Chan Park)



2001년 2월 부산대학교 전기공학과 학사
 2004년 2월 부산대학교 전자공학과 석사
 2004년 3월~현재 부산대학교 전자전기공학과 박사과정
 <관심분야> OFDMA, MIMO,

4G

김 석 찬 (Suk Chan Kim)



1993년 2월 부산대학교 전자공
학과 학사

1995년 2월 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 석사

2000년 2월 한국 과학기술원
전기 및 전자공학과 박사

2000년 7월 한국전자통신연구

소(ETRI) 연구원

2001년 7월 Princeton 대학교 박사후 과정

2002년 2월 Lehigh 대학교 박사후 과정

2011년 2월 부산대학교 전자전기공학과 부교수

2011년 3월~현재 부산대학교 전자전기공학과 교수

<관심분야> 이동통신, 통신신호처리, OFDM, UWB