

# OFDMA 셀룰러 시스템에서 셀 간 간섭 회피 및 제거 기법을 적용한 주파수 설계와 채널 할당 알고리즘의 성능

준회원 이 재 훈\*, 정회원 김 동 우\*\*, 중신회원 이 희 수\*\*\*

## Performance of Frequency Planning and Channel Allocation Algorithm for Unified Inter-Cell Interference Avoidance and Cancellation in OFDMA Cellular Systems

Jae-Hoon Lee\* *Associate Member*, Dongwoo Kim\*\* *Regular Member*,  
Heesoo Lee\*\*\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiplex Access) 기반 셀룰러 시스템에 셀 간 간섭 회피 및 제거 기법을 적용하기 위한 UCA(UIIM Channel Algorithm) 알고리즘을 제안한다. 3가지 주파수 설계 방식 하에 서로 다른 2가지 UCA 알고리즘으로 단말에 주파수를 할당하는 방법들의 성능을 살펴본다. 제안한 UCA 알고리즘은 홈 섹터와 인접 섹터에서 전송된 수신 신호 파워 정보를 사용한다. 모의실험을 통해서 모든 UCA 알고리즘과 주파수 설계의 조합을 비교한다. 주된 비교 수단은 하위 5% 단말 데이터 신호대 간섭 및 잡음비이다. 제안한 UCA 알고리즘은 셀 안쪽에 위치한 단말에게는 상대적으로 낮은 파워를 할당하여 인접 셀에 유도되는 간섭을 회피하고 심벌 반복을 통하여 셀 외곽에 위치한 단말에 대한 간섭을 완화시킨다. 주파수 설계 1을 적용한 UCA 알고리즘 2가 하위 5% 단말 데이터 신호대 간섭 및 잡음비 면에서 다른 경우들에 비해 좋은 성능을 보인다.

**Key Words** : OFDMA, Inter-Cell Interference, Channel Allocation, Frequency Planning, Interference Avoidance, Interference Cancellation

### ABSTRACT

In this paper, we propose UCA algorithms that are applied to the unified inter-cell interference mitigation through frequency plannings in OFDMA cellular systems. Under three frequency plannings, UCA algorithms allocate frequency channels to UEs(User Equipments). Proposed UCA algorithms require the information of received signal power from home sector and neighbor sectors respectively. We compare all possible combinations of UCA algorithms and frequency plannings through compute simulation. A primary performance measure is the low 5th percentile of SINR at UEs. The proposed UCA algorithms can avoid the interference to neighbor cells by allocating relatively low transmit power to centrally-located UEs and cancel inter-cell interference at cell-edge UEs by a coordinated symbol repetition. We show that UCA algorithm 2 applied in frequency planning 1 is promising among other combinations of UCA algorithms and frequency plannings in terms of the low 5th percentile of SINR at UEs.

\* 본 연구는 ETRI 및 2007년도 2단계 두뇌한국21 사업에 의해 지원되었습니다.

\* 한양대학교 전자전기제어계측공학과 이동통신망연구실(leejh@wnl.hanyang.ac.kr)

\*\* 한양대학교 전자컴퓨터공학부 부교수(dkim@hanyang.ac.kr)

\*\*\* 한국전자통신연구원 방송통신융합연구부분 이동통신연구본부(heelee@etri.re.kr)

논문번호 : KICS208-06-291, 접수일자 : 2008년 6월 31일, 최종논문접수일자 : 2008년 12월 9일

## I. 서 론

WiBro, 3GPP LTE 하향 링크 등의 이동통신 시스템의 전송방식으로 채택된 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiplex Access) 전송방식은 하나 이상의 부반송파를 독립적으로 각 단말에 할당할 수 있기 때문에 단말의 요구에 맞추어 셀 내 주파수 간섭이 없이 주파수 자원을 효율적으로 할당할 수 있다. 셀룰러 시스템에서 단말의 위치에 따라 시스템의 성능은 큰 영향을 받는다. 특히 셀 간 주파수 간섭은 셀 경계에 위치하는 단말의 성능을 크게 열화시킨다. 또한 주파수 재사용 효율이 높아질수록 셀 중앙에서는 높은 데이터 전송률을 얻을 수 있지만 셀 간 주파수 간섭은 더 심해져 셀 경계에서는 인접 셀로부터 큰 간섭을 받아 단말의 신호 대 간섭 및 잡음비(SINR) 성능 저하가 더 심하게 나타난다. 최근에 이러한 셀 간 주파수 간섭을 회피하는 기법, 간섭의 영향을 평균하는 기법, 간섭 제거하는 기법 등 OFDMA 기반의 셀룰러 시스템에서 셀 간 간섭을 완화시키는 기법에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

셀 간 간섭 완화를 위한 기법은 크게 간섭 회피 기법과 간섭 제거 기법 2가지가 있다. 간섭 회피 기법<sup>[1]</sup>은 각 기지국 별로 송신 전력을 줄이는 자원을 미리 지정하는 고정 자원 방식을 가정하며 논리적인 자원 할당을 통해서 셀 간 간섭에 대처한다. 이는 셀 중심에 위치한 단말에는 적은 전송 파워를 사용하는 반면에 셀 외곽에 위치한 단말에는 높은 전송 파워를 할당한다. 기지국의 전송 파워를 조절하여 인접 셀의 간섭에 존재하는 단말의 간섭 신호의 세기가 완화된다. 심벌 반복(coordinated symbol repetition)을 사용하는 간섭 제거 기법<sup>[2,3]</sup>은 주파수 재사용 효율을 낮추지 않으면서 그리고 복잡한 주파수 설계를 셀에 적용하지 않고도 셀 외곽에 위치한 단말의 간섭을 제거하여 성능을 향상시킬 수 있다.

간섭 회피는 논리적인 자원 할당과 같은 스케줄링 수준에서 간섭 제거는 신호 처리를 하는 과정에서 간섭을 제거하는 방법으로 셀 간 간섭을 해결한다. 위 두 가지의 셀 간 간섭 완화를 위한 기법은 보통 각각의 성능을 분석해 왔다. [1]은 단말과 인접 셀들의 간섭 관계를 따라 간섭 회피와 간섭 제거의 2가지의 셀 간 간섭 관리 기법을 선택적으로 적용하여 셀 경계 및 전체 시스템 성능을 모두 향상시킨다. 셀 간 간섭 회피는 간섭이 가장 큰 인접 기지

국의 신호를 회피하도록 한다. 이 때 각 기지국 별로 송신 전력을 줄이는 자원을 미리 정하여 고정하는 고정 자원 방식을 가정한다. 셀 간 간섭 제거는 열악한 셀 경계 단말의 경우에 적용되는 방법으로 [1]은 세 셀 경계에 위치한 단말들에게 셀 간 간섭 제거 방법을 적용한다. 가장 인접한 3개의 기지국에서 기지국마다 다른 직교 부호를 씌워서 신호들을 전송한다. 단말은 직교 특성을 사용하여 신호들을 완전히 분리할 수 있다. 직교 부호에 의한 제거 후 남은 간섭은 다중 안테나에 의한 간섭 억제를 하며 반복 수신기 기법을 사용한다.

본 논문에서는 단말 환경에 따라 단말에게 주파수를 할당하는 알고리즘을 [1]에서 제안한 선택적인 셀 간 간섭 관리 기법에 적용하여 시스템의 성능을 분석한다. 하나의 셀이 3개의 섹터로 구성된 주파수 설계 방법을 제안한 알고리즘에 적용한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 주파수 설계(frequency planning) 방법과 그에 따른 주파수 재사용 방법에 대해서 설명하고, III장에서는 단말에게 주파수를 할당하는 알고리즘을 제안한다. IV장에서 모의실험을 통해 제안된 알고리즘의 성능을 비교하고 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 주파수 설계

[1]에서는 간섭의 회피와 제거 기술을 결합하여 전체 통신 자원을 간섭 회피를 위한 3개의 자원과 간섭 제거를 위한 1개의 자원으로 나눈다. 간섭 회피를 위한 3개의 자원을 *whispering*, *speaking1*, *speaking2*라 명하고 간섭 제거를 위한 1개의 자원을 *spreading*라 부른다. 주파수 재사용도  $K=3$ 을 적용하여 섹터에 *whispering* 주파수를 할당한다. 본 논문은 주파수 할당을 위해 그림 1, 2, 3의 주파수 설계를 적용한다. 모든 섹터는 4개의 *whispering* 주파수와 *speaking1*, *speaking2*, *spreading* 주파수를 모두 단말에게 할당하여 기지국에서 단말에게 신호를 전송한다. 섹터에 속한 단말이 해당 섹터의 *whispering* 주파수를 사용할 경우 기지국은 송신 전력을 줄여 신호를 전송한다. 단말이 *speaking1*, *speaking2*, *spreading* 주파수를 사용할 때에는 송신 전력 줄임 없이 기지국은 최대 전송 전력으로 신호를 전송한다. 셀 외곽에 위치한 단말들은 3가지의 주파수 자원 중 하나를 할당 받기 때문에 주파수 재사용 효율이 높아진다. 이 때 섹터에 *whispering* 주파수로 할당된 주

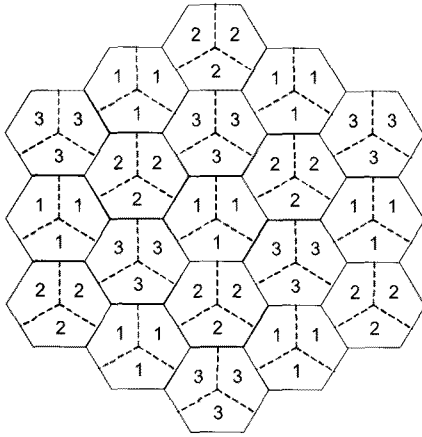


그림 1. 주파수 설계 1

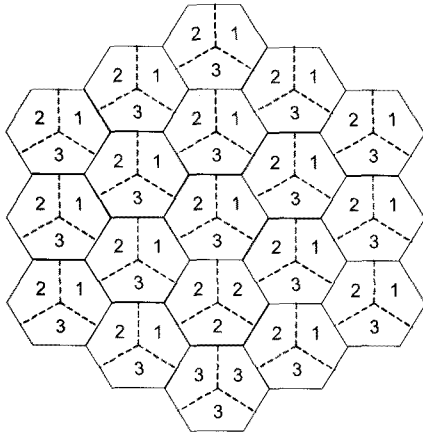


그림 2. 주파수 설계 2

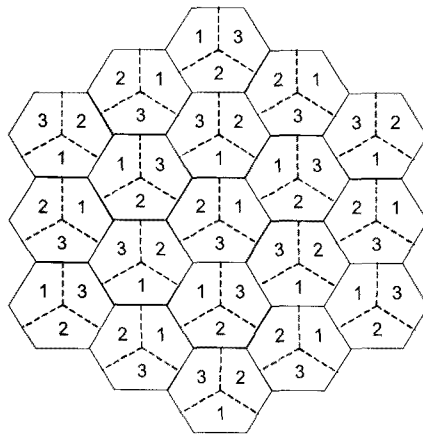


그림 3. 주파수 설계 3

파수 영역과 나머지 3가지의 주파수 영역은 III장에서 제안하는 UCA(Unified inter-cell interference mitigation Channel Allocation) 알고리즘에 따라 단말에게 할당된다.

### III. UCA (UJIM Channel Allocation) 알고리즘

본 논문에서 제안하는 UCA 알고리즘은 단말에게 선택적으로 셀 간 간섭 관리 기법을 적용하기 위해서 단말에 주파수를 할당하기 위한 알고리즘이다. 알고리즘에 의해서  $f_1, f_2, f_3, f_4$ , 4가지의 주파수 영역이 단말에게 할당된다. 다수의 인접한 셀 기지국에서 들어오는 간섭 신호 중 특히 큰 간섭량을 주는 인접 셀 기지국이 있다. 가장 가깝게 인접한 기지국이 간섭 신호에 큰 영향을 준다. 이런 기지국의 간섭량을 줄여서 신호대간섭비를 대폭 향상시킬 수 있다. 섹터 중심부에 위치한 단말은 whispering 자원을 할당 받고 그렇지 않은 단말은 speaking1, speaking2 자원을 할당 받는다. 각 섹터의 whispering, speaking1,2 자원의 송신 전력의 차이를 두어 인접 셀에 영향을 주는 간섭 신호를 작게 한다. 섹터 간의 거리와 안테나 방향성을 고려하여 섹터의 whispering 자원과 인접 섹터의 whispering 자원 간의 간섭량을 완화하기 위해서 섹터 별로 표 1과 같이 주파수 자원을 할당한다. whispering 주파수 자원의 송신 전력을  $P_{wh}$  라 하고 나머지 3개의 주파수 자원의 송신 전력을  $P_{sp}$  라 한다. UCA 알고리즘에서 고려하는 수신 신호에 대한 구분은 다음과 같다.

$S_{ij}^{wh}$ 는 홈 섹터  $i$ 가 주파수 설계에 따라 할당된 whispering 주파수를  $P_{wh}$  송신 전력으로 신호를 송신했을 때 단말  $j$ 가 수신한 신호의 파워이다.  $I_{ij}^{wh}$ 는 인접 섹터들 중에서 홈 섹터  $i$ 와 같은 whispering 주파수를 할당받은 섹터는  $P_{wh}$  송신 전력으로 신호를 송신하고 다른 주파수 자원을 할당받은 인접 섹터는  $P_{sp}$  송신전력으로 신호를 할 때 단말  $j$ 가 수신한 간섭 신호의 파워이다.  $I_{ij}^{sp1}$ 과  $I_{ij}^{sp2}$ 는 인접 섹터들이 홈 섹터

표 1. 주파수 설계에 따른 섹터의 주파수 자원

	섹터 1	섹터 2	섹터 3
f1	whispering 자원	speaking1 자원	speaking1 자원
f2	speaking1 자원	whispering 자원	speaking2 자원
f3	speaking2 자원	speaking2 자원	whispering 자원
f4	spreading 자원	spreading 자원	spreading 자원

$i$ 의 speaking1, speaking2 주파수 자원을 whispering 주파수 자원으로 할당되었을 때는  $P_{wh}$  송신 전력으로 그렇지 않을 경우에는  $P_{sp}$  송신 전력으로 신호를 송신하여 단말  $j$ 가 수신한 간섭 신호의 파워이다.  $L_{ij}$ 는 섹터  $i$ 와 단말  $j$  간의 거리에 따른 경로 손실이다.  $G_{ij}$ 는 섹터  $i$ 와 단말  $j$  간의 안테나 패턴에 따른 안테나 게인이다.  $I_{ij}^{wh}$ 는 섹터  $i$ 에 할당된 whispering 주파수 자원이고  $I_{ij}^{sp1}$ 는 섹터  $i$ 에 할당된 speaking1 주파수 자원이고  $I_{ij}^{sp2}$ 는 섹터  $i$ 에 할당된 speaking2 주파수 자원이다. 단말이 홈 섹터와 인접 섹터들로부터 받은 수신 신호들은 위의 설명과 같이 같이 구분되어 아래의 식 (1)~(4)과 같이 표현된다.

$$S_{ij}^{wh} = P_{wh} L_{ij} G_{ij} \quad (1)$$

$$I_{ij}^{wh} = \sum_{\substack{s=0, s \neq i \\ f_s^{wh} = f_i^{wh}}}^{S-1} P_{wh} L_{s,j} G_{s,j} + \sum_{\substack{s=0, s \neq i \\ f_s^{wh} \neq f_i^{wh}}}^{S-1} P_{sp} L_{s,j} G_{s,j} \quad (2)$$

$$I_{ij}^{sp1} = \sum_{\substack{s=0, s \neq i \\ f_s^{sp1} = f_i^{sp1}}}^{S-1} P_{wh} L_{s,j} G_{s,j} + \sum_{\substack{s=0, s \neq i \\ f_s^{sp1} \neq f_i^{sp1}}}^{S-1} P_{sp} L_{s,j} G_{s,j} \quad (3)$$

$$I_{ij}^{sp2} = \sum_{\substack{s=0, s \neq i \\ f_s^{sp2} = f_i^{sp2}}}^{S-1} P_{wh} L_{s,j} G_{s,j} + \sum_{\substack{s=0, s \neq i \\ f_s^{sp2} \neq f_i^{sp2}}}^{S-1} P_{sp} L_{s,j} G_{s,j} \quad (4)$$

각 인접 섹터의 whispering 주파수 자원을 홈 섹터  $i$ 의 whispering, speaking1, speaking2 주파수 자원으로 할당했을 때 단말  $j$ 가 인접 섹터로부터 수신한 간섭 신호의 파워를 각각  $I_{ij}^{wh}$ ,  $I_{ij}^{sp1}$ ,  $I_{ij}^{sp2}$ 로 구분한다. 알고리즘에 따라 단말에 주파수를 할당하여 단말의 간섭을 회피한다. 간섭 신호를 whispering 주파수 자원 기준으로 나누어 UCA 알고리즘1과 UCA 알고리즘2로 정의한다. 간섭 신호 성분에 따라 단말에 주파수 자원을 할당했을 때 어느 알고리즘이 더 단말의 신호대 간섭 및 잡음비 성능이 좋은지 비교하기 위하여 알고리즘을 간섭 신호의 종류에 따라 2가지로 구분한다.

UCA 알고리즘1은 간섭 신호 중 홈 섹터  $i$ 의 whispering 주파수 자원으로 인한 간섭 신호만을 고려한다. 홈 섹터  $i$ 의 whispering 주파수 자원과 같은 whispering 주파수 자원을 할당 받은 인접 섹터의 간섭 신호 크기 홈 섹터 내의 단말들에게 주파수 자원을 할당한다. 아래 식 (5)의  $R_{ij}^{UCA1}$  값으로 오름차순으로 단말들을 정렬한다.

$$R_{ij}^{UCA1} = \frac{S_{ij}^{wh}}{I_{ij}^{sp1} + I_{ij}^{sp2}} \quad (5)$$

표 2. speaking 주파수 할당 알고리즘

If $I_{ij}^{sp1} < I_{ij}^{sp2}$ 단말 $j$ 의 주파수 자원 = $f_i^{sp1}$
Else 단말 $j$ 의 주파수 자원 = $f_i^{sp2}$

상위  $X_{wh}$  %의 단말들에게는 whispering 주파수를 할당하고 하위  $X_{SP}$  % 단말들에게는 spreading 주파수를 할당한다. 나머지  $(100 - X_{wh} - X_{SP})\%$ 에 해당하는 단말들은 표 2의 조건에 따라 speaking1, speaking2 주파수를 단말에게 할당한다. 모의실험을 통해  $X_{wh}$ 와  $X_{SP}$  값의 변화에 따른 주파수 별 하위 5% 및 전체 신호대 간섭 및 잡음비를 비교하여  $X_{wh}$ 은 13일 때와  $X_{SP}$ 은 29일 때의 결과 값이 최적임을 확인한다.

UCA 알고리즘2는 홈 섹터  $i$ 의 speaking1, speaking2 주파수 자원을 whispering 주파수 자원으로 할당 받은 인접 섹터의 신호만을 간섭 신호로 고려한다. 홈 섹터 내의 단말들에게 주파수 자원을 할당한다. whispering 주파수 자원에 아래 식 (6)의  $R_{ij}^{UCA2}$  값으로 오름차순으로 단말들을 정렬한다. 섹터  $i$ 에 속한 단말들에게 해당 주파수 자원을 할당하는 방법은 UCA 알고리즘1과 같다. 표 2는 UCA 알고리즘1,2에서 speaking1과 speaking2 주파수를 단말에게 할당할 때 고려되는 조건이다.

$$R_{ij}^{UCA2} = \frac{S_{ij}^{wh}}{I_{ij}^{wh}} \quad (6)$$

셀 간 간섭 회피 기법에서 기지국은 whispering 주파수를 할당 받은 단말에게는 줄어든  $P_{wh}$  송신 전력을 사용하고 speaking1, speaking2 주파수를 할당 받은 단말에 신호를 송신할 때는  $P_{sp}$  송신 전력을 사용한다. 셀 간 간섭 제거 기법은 심벌 반복을 통한 간섭 제거<sup>[2,3]</sup>이고 spreading 주파수를 할당받은 단말에게 적용된다. 홈 섹터와 간섭이 가장 큰 2개의 인접 섹터의 기지국에 다른 직교 부호를 곱하여 단말에 신호를 송신한다. 단말은 세 개의 기지국에서 송신한 신호를 수신한 후 간섭 제거를 위해서 MMSE(Minimum Mean Square Error)를 사용한다.

## IV. 모의실험 결과

### 4.1 모의실험 환경 및 파라미터

인접 섹터가 간섭으로 작용하는 시스템 레벨 간섭 분석 모의실험을 위하여, 육각 셀로 구성된 셀

표 3. 모의 실험 파라미터

파라미터	값
네트워크 토폴로지	19 cells (2 tiers)
셀의 총 개수	57
셀 반경	4 km
기지국 안테나 패턴	70 deg @3dB 대역폭, 20dB 최대 감쇄
경로 손실 모델	Suburban macro
밴드 대역폭	20 MHz
FFT 사이즈	2048
밴드의 총 개수	55
밴드 당 총 방송파의 개수	24
열 잡음 밀도	-174 dBm/Hz
잡음 지수	10 dB
최대 송신 전력	50 dBm

환경을 고려한다. 다중 셀 환경을 중앙의 타겟 셀을 포함한 총 19개의 셀로 구성된다. 각 셀은 3개의 섹터로 구성되어 총 57개의 섹터로 이루어진다. 또한 각 기지국은 육각 셀의 중심에 위치한다. 표 3은 OFDMA를 기반으로 한 모의 실험 파라미터이다.

각 섹터에 단말은 균일한 분포로 발생한다. 경로 손실과 안테나 게인 값으로 채널의 세기를 고려한다. 단말과 기지국간의 거리에 따른 감쇄 성분을 나타내는 경로 손실 모델은 suburban macro 환경변수를 따르며 다음과 같이 표현된다<sup>5)</sup>.

$$L_{ij} = 31.5 + 35\log_{10}d_{ij} \quad (7)$$

$d_{ij}$ 는 기지국  $i$ 와 단말  $j$  간의 거리이다.

각 섹터에서 사용된 안테나 패턴은 식 (8)과 같이 정의된다<sup>6)</sup>. 수평 안테나 패턴만을 고려한다.

$$A(\theta) = -\min \left[ 12 \left( \frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_m \right] \quad (8)$$

where  $-180^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$

$\min [ ]$  : 최소값 함수

$\theta_{3dB}$  : 3dB 방사 각도 폭

$A_m = 20dB$  : 최대 감쇄 값

#### 4.2 모의실험 결과

그림 4~7은 UCA 알고리즘1과 2를 적용 주파수 설계1과 2에 적용했을 때 주파수를 할당 받은 단말의 분포 결과이다. whispering 주파수는 기지국과의 거리와 안테나의 조준선(boresight) 특성에 따라 섹터 중앙에 위치한 단말에 할당된다. 이에 반해 spreading 주파수는 섹터 외곽에 위치한 단말에게 할당된다. UCA 알고리즘1을 적용한 그림 6과

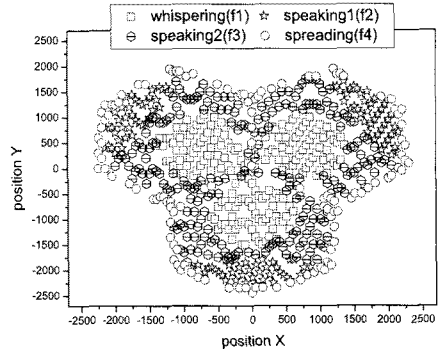


그림 4. UCA 알고리즘1을 주파수 설계1을 적용한 단말 분포

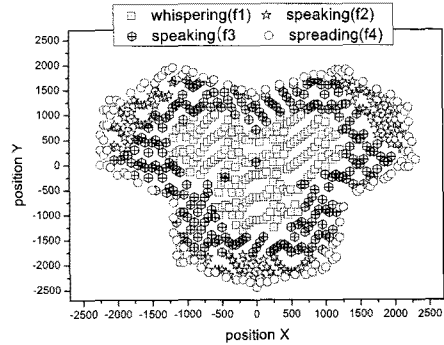


그림 5. UCA 알고리즘2을 주파수 설계1을 적용한 단말 분포

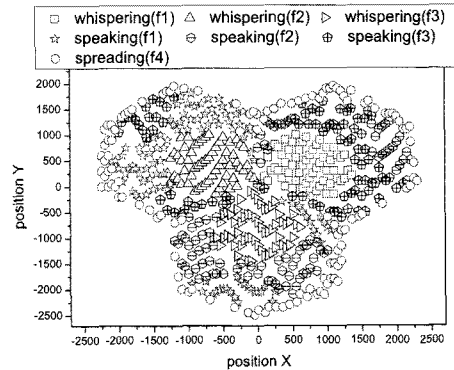


그림 6. UCA 알고리즘1을 주파수 설계2를 적용한 단말 분포

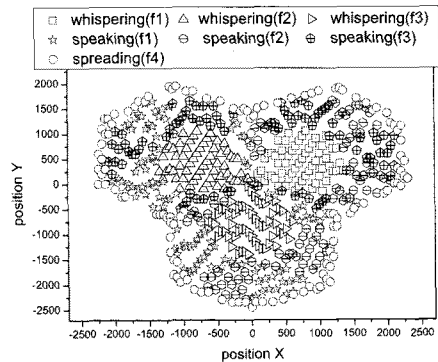


그림 7. UCA 알고리즘2을 주파수 설계2를 적용한 단말 분포

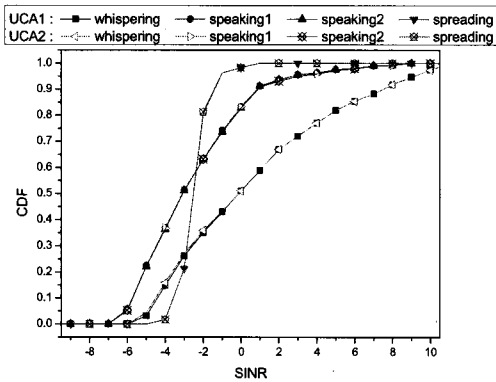


그림 8.  $P_{wh}/P_{sp} = 6dB$ , 주파수 설계2를 적용한 주파수 별 누적 분포 함수

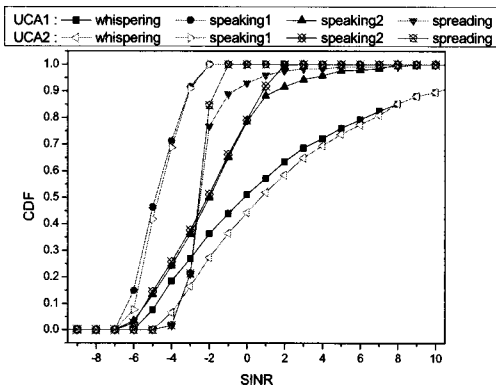


그림 9.  $P_{wh}/P_{sp} = 6dB$ , 주파수 설계1을 적용한 주파수 별 누적 분포 함수

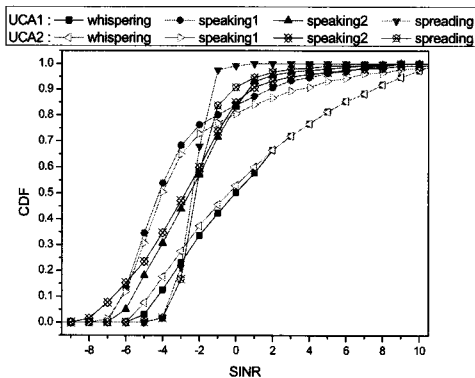


그림 10.  $P_{wh}/P_{sp} = 6dB$ , 주파수 설계3을 적용한 주파수 별 누적 분포 함수

UCA 알고리즘 2를 적용한 그림 7에서 speaking1, speaking2 주파수 자원을 할당 받은 단말의 분포가 다름을 확인할 수 있다. 이런 특성이 주파수 자원별로 누적 분포 함수와 신호대 간섭 및 잡음비 성능에 영향을 준다.

주파수 설계에 UCA 알고리즘을 적용한 주파수 자원별 누적 분포 함수(CDF: cumulative distribution function)를 통해서 단말 분포를 비교한다. 각 섹터에 할당된 4가지의 주파수 자원 중 whispering 주파수는  $P_{wh}$  송신 파워로 speaking1, speaking2, spreading 주파수는  $P_{sp}$  송신 파워로 신호를 전송한다. 본 논문에서는  $P_{wh}/P_{sp} = 6, 12dB$  두 가지의 경우를 적용한 주파수 설계와 UCA 알고리즘을 비교한다. 누적 분포 함수는 해당 신호대 간섭 및 잡음비보다 낮은 신호대 간섭 및 잡음비를 갖는 단말이 존재할 확률이다. UCA1은 UCA 알고리즘1, UCA2는 UCA 알고리즘2를 의미한다.

그림 8에서 주파수 설계2의 경우, UCA1과 UCA2의 주파수 자원별 단말 분포가 같기 때문에 누적 분포 함수가 거의 일치함을 확인할 수 있다.

그림 9, 10은 주파수 설계1, 3의 경우, 섹터에 speaking1과 speaking2 주파수를 사용하는 단말이 불균형적으로 위치하고 있기 때문에 speaking1과 speaking2의 누적 분포 함수의 값이 큰 차이가 난다. Spreading 주파수를 할당 받은 단말의 누적 분포 함수를 살펴볼 때, spreading 주파수의 그래프의 기울기가 다른 주파수의 그래프와 비교할 때 매우 가파름을 확인할 수 있다. 이는 해당 단말들이 섹터 외곽에 위치하는 경우가 대부분이기 때문에 단말은 일정 값 이상의 신호대 간섭 및 잡음비 성능을 보일 수 없음을 보여준다.

표 4는 UCA 알고리즘1,  $P_{wh}/P_{sp} = 12dB$ 일 때 ( $X_{wh}, X_{sp}$ ) 값에 따른 하위 5%와 전체 신호대 간섭 잡음비를 비교한다. 표 4의 값과 표 5의 UCA 알고리즘1,  $P_{wh}/P_{sp} = 12dB$ 일 때 (13, 29)인 값을 비교해 보면 전반적으로 각 주파수를 13%는 whispering 단말, 29%는 spreading 단말, 나머지 58%는 speaking1과 speaking2 단말로 나누는 것이 전반적으로 하위 5% 및 전체 신호대 간섭 잡음비가 좋음을 확인할 수 있다.

표 5는 주파수 설계를 적용한 UCA 알고리즘의 하위 5% 단말의 신호대 간섭 및 잡음비와 전체 신호대 간섭 및 잡음비로 성능을 비교한다. 각 섹터에 할당된 4가지의 주파수 자원 중 whispering 주파수는  $P_{wh}$  송신 파워로 speaking1, speaking2, spreading 주파수는  $P_{sp}$  송신 파워로 신호를 전송한다. 본 논문에서는  $P_{wh}/P_{sp} = 6, 12dB$  두 가지의 경우를 주파수 설계와 UCA 알고리즘에 적용한다.

모든 주파수 설계와 UCA 알고리즘에서 각 주파

표 4. 주파수 설계를 적용한 UCA 알고리즘1,  $P_{wh}/P_{sp} = 12dB$ 일 때 ( $X_{wh}, X_{sp}$ )에 따라 할당된 주파수 별 하위 5% 및 전체 신호대 간섭 및 잡음비 (dB)

	단말에 할당된 주파수	UCA 알고리즘1 (40, 20)		UCA 알고리즘1 (40, 10)		UCA 알고리즘1 (20, 40)		UCA 알고리즘1 (10, 40)	
		하위5%	전체	하위5%	전체	하위5%	전체	하위5%	전체
주파수 설계1	whispering 주파수	-13.00	1.58	-13.00	1.59	-8.85	4.18	-4.70	6.61
	speaking1 주파수	-6.00	-3.95	-6.35	-4.36	-4.00	-2.97	-4.00	-2.97
	speaking2 주파수	-5.00	-1.42	-5.15	-1.79	-2.85	1.48	-2.85	3.23
	spreading 주파수	-3.15	2.83	-4.00	-0.48	-2.95	7.67	-2.95	7.67
주파수 설계2	whispering 주파수	-12.95	-4.03	-12.85	-4.03	-9.00	-1.62	-4.40	0.49
	speaking1 주파수	-7.95	-1.09	-7.95	-1.68	-3.50	2.55	-3.00	3.99
	speaking2 주파수	-5.95	-1.08	-5.95	-1.66	-3.60	2.55	-3.00	4.01
	spreading 주파수	-5.40	-1.17	-4.00	-2.37	-2.95	1.72	-2.90	1.72
주파수 설계3	whispering 주파수	-12.50	-3.96	-9.00	-3.96	-8.45	-1.56	-4.60	0.56
	speaking1 주파수	-6.00	-0.98	-3.50	-1.72	-4.00	4.24	-3.80	5.32
	speaking2 주파수	-5.05	-1.39	-3.60	-1.91	-2.95	1.87	-2.75	3.40
	spreading 주파수	-3.95	-1.70	-2.95	-2.12	-3.00	1.68	-2.95	1.68

표 5. 주파수 설계를 적용한 UCA 알고리즘에 따라 할당된 주파수 별 하위 5% 및 전체 신호대 간섭 및 잡음비 (dB)

(하위 5% SINR[dB] / 전체 SINR[dB])

	단말에 할당된 주파수	UCA 알고리즘1 ( $P_{wh}/P_{sp} = 6dB$ )		UCA 알고리즘1 ( $P_{wh}/P_{sp} = 12dB$ )		UCA 알고리즘2 ( $P_{wh}/P_{sp} = 6dB$ )		UCA 알고리즘2 ( $P_{wh}/P_{sp} = 12dB$ )	
		하위5%	전체	하위5%	전체	하위5%	전체	하위5%	전체
주파수 설계1	whispering 주파수	-5.30	5.80	-11.20	2.71	-4.20	6.05	-9.45	3.01
	speaking1 주파수	-6.65	-4.55	-5.95	-4.24	-5.35	-4.46	-5.80	-4.00
	speaking2 주파수	-5.80	-0.72	-5.50	-0.40	-5.80	-1.63	-5.50	-1.24
	spreading 주파수	-3.80	-1.70	-3.65	3.38	-3.85	-2.53	-3.65	-2.56
주파수 설계2	whispering 주파수	-4.85	3.00	-10.60	-2.86	-4.95	3.00	-10.80	-2.88
	speaking1 주파수	-6.05	-1.36	-5.70	-0.54	-6.05	-1.27	-5.70	-0.40
	speaking2 주파수	-6.05	-1.33	-5.70	-0.51	-6.05	-1.25	-5.70	-0.38
	spreading 주파수	-3.80	-2.40	-3.65	-2.17	-3.85	-2.41	-3.65	-2.18
주파수 설계3	whispering 주파수	-4.90	3.05	-10.60	-2.80	-5.30	2.96	-11.20	-3.00
	speaking1 주파수	-6.70	-1.44	-6.00	-0.42	-6.65	0.20	-6.55	1.35
	speaking2 주파수	-6.00	-1.40	-6.70	-0.67	-7.40	-0.79	-7.15	0.19
	spreading 주파수	-3.70	-2.30	-3.65	-2.03	-3.80	-1.37	-3.50	-0.41

수 별 송신 파워를  $P_{wh}/P_{sp} = 6dB$ 의 경우와  $P_{wh}/P_{sp} = 12dB$ 를 비교하면 whispering 주파수는 하위 5% 단말의 신호대 간섭 및 잡음비가 5.7~5.9dB 차이가 나고 speaking1, speaking2 주파수를 사용하는 단말이 0.7dB, spreading 주파수의 경우에는 0.2~0.3dB의 이득을 얻는다. UCA 알고리즘1을 사용하는 경우, 주파수 설계2의 하위 5% 신호대 간섭 및 잡음비가 다른 주파수 설계보다 낮다. UCA 알고리즘2를 사용하는 경우, 주파수 설계1이 다른 주파수 설계보다 하위 5% 신호대 간섭 및 잡음비가 낮음을 확인할 수 있다. UCA 알고리즘2와 주파수 설계1을 적용한 주파수 별 전체 신호대 간섭 및 잡음비를 비교하면 whispering 주파수를 할당 받은 단말의 전체 신호대 간섭 및 잡음비는 가장 좋다. 반면 speaking1, speaking2 주파수의 경우, 주파수 설

계1을 적용한 다른 UCA 알고리즘의 전체 신호대 간섭 및 잡음비와 값이 비슷하다. 하지만 주파수 설계2, 3과 비교할 때 평균적으로 2dB 가량 전체 신호대 간섭 및 잡음비가 낮다. spreading 주파수의 전체 신호대 간섭 및 잡음비도 speaking1, speaking2 주파수와 같은 성향을 보인다. 이에 따라 UCA 알고리즘2와 주파수 설계1을 사용한 조합이 가장 낮은 하위 5% 신호대 간섭 및 잡음비의 좋은 성능을 보여준다.

### V. 결 론

본 논문은 OFDMA 기반 셀룰러 시스템에서 셀 간 간섭 관리를 위해서 간섭 회피 및 간섭 기법을 적용하기 위한 알고리즘과 고정 주파수 설계를 제

안한다. 모의실험을 통해 성능을 분석하였다. 고정 주파수 설계와 UCA 알고리즘에 따라 각 주파수를 할당 받은 단말의 분포가 달라진다. 그중 spreading 주파수를 할당 받은 단말의 신호대 간섭 및 잡음비 성능은 특정 범위 내의 값을 갖는다. UCA 알고리즘2와 주파수 설계1를 사용한 조합이 가장 낮은 하위 5% 신호대 간섭 및 잡음비를 보여준다.

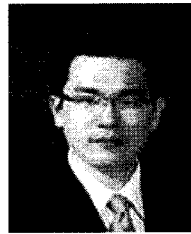
제안된 방법은 각 단말을 특정한 주파수 영역에 할당하기 위한 스케줄링에 적용할 수 있으며 최적의 스케줄링 방법을 찾는 것이 필요할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 권재균, 이희수, 안재영, "OFDM 이동 셀룰러 시스템에서 셀간간섭 회피 및 제거의 결합 성능 분석," 한국통신학회 논문지, 33권, No.4, pp. 371-376, 2008. 4.
- [2] R1-050829, Panasonic, "Coordinated symbol repetition to mitigate downlink inter cell interference," 3GPP RAN WG1 #42, London, UK, Aug. 2005.
- [3] C802.20-05.72, ETRI, "Technology overview," IEEE 802.20 MBWA #17, Vancouver, Canada, Nov. 2005.
- [4] H. M. Son and S. H. Lee, "The cell planning scheme for ICI mitigation," *IEEE PIMRC 2007*, Athens, Greece, Sept. 2007.
- [5] D. S. Baum, J. Hansen and J. Salo, "An interim channel model for beyond-3G systems: extending the 3GPP spatial channel model(SCM)," *IEEE VTC 2005-Spring*, Stockholm, Sweden, May 2005, pp.3132-3136.
- [6] R1-030115, Nortel Networks, "Update of OFDM SI simulation methodology," 3GPP RAN WG1 #31, Tokyo, Japan, Feb., 2003.

이 재 훈 (Jaehoon Lee)

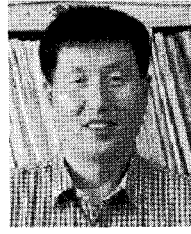
준회원



2006년 2월 한양대학교 전자컴퓨터공학부 졸업  
2007년 2월~현재 한양대학교 전자전기제어계측공학과 석사과정  
<관심분야> Cooperative system, OSTBC

김 동 우 (Dongwoo Kim)

정회원



1994년 8월 한국과학기술원 공학박사  
1994년 7월~2000년 2월 신세기통신 R&D 센터 선임과장  
2000년 3월~2004년 4월 한양대학교 전자컴퓨터공학부 조교수

2004년 3월~현재 한양대학교 전자컴퓨터공학부 부교수  
<관심분야> Multi-user MIMO, Cognitive radio transmission

이 희 수 (Heesoo Lee)

종신회원



1993년 2월 한국과학기술원 학사  
1995년 2월 한국과학기술원 석사  
2001년 2월 한국과학기술원 박사  
2001년 3월~현재 한국전자통신연구원 선임연구원  
<관심분야> IMT-Advanced system, MIMO, 적응전송, 다중 홉릴레이