

TDD-OFDMA 기반의 차세대 셀룰라 시스템과 육상 고정 시스템 간의 주파수 공유 분석

준회원 조 한 신*, 정회원 윤 현 구**, 육 중 관*

Frequency Sharing of Cellular TDD-OFDMA Systems beyond 3G with Terrestrial Fixed Systems

Han-shin Jo *Associated Member*, Hyun-goo Yoon, Jong-gwan Yook *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 TDD-OFDMA (Time Division Duplex-Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기반의 차세대 셀룰라 이동통신 시스템을 구성하는 다수의 기지국과 이동국으로부터 발생하는 간섭을 계산하여 육상 고정 시스템과의 주파수 공유 분석을 수행하였다. 기존의 A-MCL에 제시된 간섭 평가 방법을 TDD-OFDMA 방식으로 동작하는 다수의 이동국과 기지국이 존재하는 간섭 시나리오에 적합하게 확장하였으며, 이를 통해 섹터 당 평균 이동국 수와 기지국 간의 간격 및 육상 고정 시스템 안테나의 주빔 방향에 따른 공유 분석을 수행하였다. 분석 결과를 통해 섹터 당 평균 20명의 사용자를 동시에 서비스하는 경우에 기준 간섭치를 만족하는 기지국간 거리는 5.8km이고 이때 육상 고정 시스템으로부터 가장 인접해 있는 기지국까지의 거리는 2.5km임을 관찰할 수 있었다. 또한 육상 고정 시스템 안테나의 수평 방향에 따른 간섭전력의 변화량은 25dB 정도이며, 약 40%에 해당하는 방향에서 간섭전력이 최대 허용 간섭전력 보다 작은 사실을 확인할 수 있었다.

Key Words : Advanced MCL; Frequency sharing; System beyond 3G (B3G); TDD-OFDMA Terrestrial Fixed systems

ABSTRACT

In this paper, the frequency sharing issue between cellular time division duplex-orthogonal frequency division multiple access (TDD-OFDMA) Systems and terrestrial Fixed Systems has been studied. The conventional advanced minimum coupling loss (A-MCL) includes only the formulation to calculate the interference from one interfering system. Therefore, A-MCL must be modified to assess the aggregated interference from base stations(BS) and mobile stations(MS). By applying the modified model, the coexistence analysis are done according to the average number of MS per sector, BS-to-BS distance, and the main beam direction of the terrestrial fixed system. In the case of 20 MS per sector, the BS-to-BS distance and the minimum distance between a terrestrial fixed system and BS are 5.8 km and 2.5 km, respectively. It is about 25dB that the difference between maximum and minimum interference signal power which varies with the main beam direction of the terrestrial fixed system. Moreover, for 40% of the main beam direction of the terrestrial fixed system, interference signal power is less than the maximum permissible interference.

1. 서론

고속 이동 중에 100Mbps, 정지 및 저속 이동 중

* 연세대학교 전기전자공학과 전파통신 연구실(gminor@yonsei.ac.kr)

** 명지전문대학 컴퓨터전자과 (hgyoon@myongji.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-03-125, 접수일자 : 2006년 3월 14일, 최종논문접수일자 : 2007년 1월 2일

에 1Gbps까지 데이터 전송이 가능한 차세대 이동통신서비스는 유무선 통합에 의한 진정한 멀티미디어 통신이 가능토록 하는데 있다. 국제전기통신연합 (ITU: International Telecommunication Union)은 2003년 5월에 개최된 WRC-03(World Radiocommunication Conference-03)에서 상기의 요구사항을 만족할 수 있는 차세대 이동통신용 주파수를 검토하도록 WRC-07에 관련 의제를 포함시켰다¹¹⁾. 또한 상기 의제에 관련하여 ‘IMT-2000 이후 시스템의 서비스 수요분석’, ‘주파수 소모량 산출 및 기술 요구사항 분석’, ‘잠재적인 주파수 대역 분석’의 연구가 진행되고 있다. ITU-R WP8F는 IMT-2000 진화시스템과 이후 시스템을 위해 이동 상태에서 100Mbps 데이터 속도를 제공할 수 있는 6GHz 이하의 주파수 대역과 정지 상태에서 1Gbps 데이터 속도를 제공할 수 있는 6GHz 이상 70GHz 이하의 주파수 대역에 대한 잠재적인 후보 대역을 조사하고 있다¹²⁾. 현재 2 GHz 대역에는 IMT-2000 시스템이 서비스 중이기 때문에 이동성을 보장하는 IMT-2000 이후의 시스템을 위한 대역으로는 3~5 GHz 가 유력한 후보로 제안되고 있다. 특히 3~5 GHz 대역 중 3400~4200 MHz 와 4400~5000 MHz 대역에는 방송 및 통신을 위한 육상 고정 시스템이 운용되고 있다. 따라서 후보대역 내의 기존 육상 고정 서비스의 보호를 위한 공유 분석이 선행되어야 IMT-2000 이후의 시스템을 위한 주파수 자원 개발이 가능할 것이다.

공유 분석을 위한 방법은 크게 Monte Carlo 시뮬레이션과 같은 확률·통계적인 방법과 MCL과 같은 결정적(deterministic) 방법으로 나뉜다. MCL은 주로 송신 스펙트럼 마스크(transmit spectrum mask)를 이용하여 대역내(in-band) 및 대역외(out-of-band)로 방사되는 신호의 크기로 간섭 전력을 비교적 쉽게 계산할 수 있는 방법이다. CEPT(Conference of European Postal and Telecommunications) ERC (European Radiocommunications Committee) Report 64¹³⁾와 CEPT ERC Report 65¹⁴⁾는 MCL 방법으로 UMTS(Universal Mobile Telecommunications System)와 점-대-점(point-to-point) 고정시스템과의 공유 분석에 대한 결과를 제시하였다. 그러나 기존의 MCL¹⁴⁾은 송신 스펙트럼 마스크를 이용하므로 차세대 이동통신 시스템에 사용될 것으로 예상되는

OFDM¹⁵⁾ 기술을 적용한 시스템을 분석하기에는 적합하지 않다. OFDM을 적용한 시스템은 부반송파(subcarrier)의 전력을 각각 다르게 할당하여 전송할 수 있으므로 단순히 송신 스펙트럼 마스크만으로는 정확한 간섭량 계산이 어렵기 때문이다. 이와 같은 MCL의 단점을 극복하기 위해 송신 스펙트럼 마스크를 이용하지 않고 OFDM 신호의 전력 잡음 밀도를 이용하여 간섭 신호의 세기를 계산하는 Advanced-MCL(A-MCL) 방법이 제안되었다¹⁶⁾. 그러나 A-MCL에서는 한 개의 OFDM 간섭원에 의해 발생하는 간섭 전력을 계산하기 위한 수식만 제시되어 있기 때문에 다수의 간섭원에 의한 간섭 전력을 계산하기 위한 확장이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 TDD-OFDMA를 기반으로 하는 셀룰러 이동통신 시스템의 기지국과 이동국에 의한 간섭을 평가하기 위해 기존의 A-MCL (Advanced-MCL) 방법의 간섭전력 계산 방법을 확장하였다. 각 간섭원(기지국 및 이동국)의 간섭 전력은 A-MCL 의 간섭 계산 식을 통해 평가할 수 있다. 그리고 피간섭원에 수신되는 총 간섭 전력은 각 간섭원의 간섭 전력의 단순한 합이 아닌 TDD 시스템의 특성을 고려하여 가중치를 부여한 합으로 모델링 할 수 있다. 이러한 간섭 평가 과정을 기반으로 후보대역 내의 육상 고정 시스템과의 주파수 공유 연구를 수행하였으며, 특히 기지국간의 거리와 이동국의 수 및 육상 고정 시스템의 안테나 방향에 따른 분석을 수행하여 보다 다양한 환경에 적용 가능한 결과를 제시하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 TDD-OFDMA 방식을 이용하는 다수의 기지국과 이동국에 의한 간섭을 평가하기 위한 방법과 허용 간섭 기준치에 대해 기술하고, III장에서는 제안된 방법으로 공유 분석을 하기 위한 주파수 공유 실험 과정 및 관련 파라미터를 제시하였다. 그리고 III장에서 제시된 주파수 공유 실험 과정에 기반을 둔 동일 채널 공유 분석 결과를 IV장에 나타내었다. 마지막으로 본 논문의 결론과 향후 연구 방향을 V장에서 기술하였다.

II. 간섭 모델

두 시스템간의 주파수 공유가 가능하기 위해서는

간섭신호에 의해 발생하는 피간섭원 시스템의 비트 에러 성능이 일정 기준 이상을 만족해야 한다. 따라서 성능 저하 기준을 만족하기 위해 간섭 전력의 허용 기준값 I/N 을 결정하여야 한다. ITU 권고안에서는 지상 고정 서비스의 허용 가능한 최대 오류 성능 저하 값에 대한 기준을 간섭원의 종류에 따라 각기 달리 적용하도록 권고한다⁸⁾. 간섭원의 종류는 세 가지로서 동일 대역의 지상 고정 서비스로부터의 간섭 89 %, 동일 대역의 주요 시스템으로부터의 간섭 10 %, 그리고 동일 대역의 소규모 시스템과 인접밴드에 운용되고 있는 시스템으로부터의 대역 외 방사 및 ISM 기기로 인해 발생하는 간섭 1%로 구성된다.

한편 피간섭원의 안테나에서 측정된 간섭신호의 세기가 허용 간섭 신호의 세기를 초과하는 시간이 총 관측시간의 p %미만이 되어야 한다. ITU 권고안에서는 이 크기가 20 % 이상인 경우를 장시간 간섭(long-term interference), 0.001~1.0 %인 경우를 단시간 간섭(short-term interference) 간섭으로 구분하여 각 경우에 대해 다른 허용 간섭 기준값을 적용하도록 하고 있다⁹⁾. 장시간 간섭 기준값은 ITU-R F.1094에서 제시한 간섭원 별 성능저하 기준에 의거하여 결정할 수 있으며, 지상 고정 시스템과 동일 대역에 위치하는 차세대 이동통신 시스템은 동일 대역의 주요 시스템으로 간주할 수 있기 때문에 10 % 성능 저하 기준을 적용할 수 있다. 일반적으로 10 % 성능 저하 기준을 만족하기 위한 간섭 신호의 세기는 열잡음에 비해 10 dB 이상 작아야 하며, 이를 바탕으로 결정된 $I/N = -10$ dB를 이용하여 식(1)과 같이 최대 허용 간섭 기준치를 구할 수 있다.

$$I_{\max} = N - 10 \quad (1)$$

위 식에서 N 은 열잡음 전력으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$N = 10 \log_{10}(N_0 W_v) + N_F = -144 + 10 \log_{10} W_v + N_F \quad (2)$$

위 식에서 W_v 는 피간섭원의 수신 대역폭으로 단위는 MHz 이고 N_F 는 dB 단위의 잡음지수를 의미한다.

2. 간섭 평가

기존의 FDD 방식을 이용하는 셀룰러 이동통신 시스템은 상향링크와 하향링크에 할당된 주파수 대

역이 다르기 때문에 간섭 평가 시 기지국에 의한 간섭과 이동국에 의한 간섭 분석을 개별적으로 수행하였다^{10)[11]}. 그러나 TDD 방식을 이용하는 셀룰러 이동통신 시스템은 상, 하향 링크가 동일한 주파수를 이용하기 때문에 기지국과 이동국에 의한 간섭을 동시에 고려해야 한다. 따라서 고정 시스템에 수신되는 TDD-OFDMA 기반의 차세대 이동통신 시스템의 간섭은 식(3)과 같이 기지국과 이동국에 의한 간섭의 합으로 계산할 수 있으며 단위는 dBW 이다.

$$I_{BSG} = 10 \log_{10} \left[\alpha \sum_{b=1}^B I_{BS,b} + (1-\alpha) \sum_{m=1}^M I_{MS,m} \right] \quad (3)$$

위 식에서 B 와 M 은 기지국 및 이동국의 총 수를 의미한다. TDD 시스템은 상향 및 하향링크가 동일한 주파수를 이용하기 때문에 하나의 데이터 전송 프레임은 상향 및 하향링크를 위한 부분으로 구성된다. 위 식에서 α 는 한 프레임 길이에 대한 하향링크 구간의 길이의 비를 나타낸다. $I_{BS,b}$ 와 $I_{MS,m}$ 는 b 번째 기지국과 m 번째 이동국이 야기하는 간섭 전력으로 단위는 W 이며, 식(4)와 식(5)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$I_{BS,b} = 10^{(P_{t,b} + G_{t,b} + G_{r,b} + L_{r,b} - PL_b)/10} \quad (4)$$

$$I_{MS,m} = 10^{(P_{t,m} + G_{t,m} + G_{r,m} + L_{r,m} - PL_m)/10} \quad (5)$$

위 식에서 $P_{t,b}$ 와 $P_{t,m}$ 는 b 번째 기지국과 m 번째 이동국의 송신 전력이며 단위는 dBW 이다. $G_{t,b}$ 와 $G_{t,m}$ 은 b 번째 기지국과 m 번째 이동국의 송신 안테나 이득이고, $G_{r,b}$ 와 $G_{r,m}$ 은 b 번째 기지국 및 m 번째 이동국에서 송출된 간섭 신호가 지상 고정 시스템에 수신하는 방향에 따른 수신 안테나 이득을 의미한다. PL_b 와 PL_m 은 b 번째 기지국 및 m 번째 이동국에서 송출된 간섭 신호가 지상 고정 시스템에 도착하기까지 겪게 되는 경로손실 값이다.

또한 $L_{r,b}$ 와 $L_{r,m}$ 은 b 번째 기지국 및 m 번째 이동국에서 송출된 간섭 전력에 대한 피간섭원 대역 내에 분포하는 간섭 전력의 비율을 의미하는 값으로서 OFDMA 기반의 시스템에서는 송신 신호의 전력밀도 스펙트럼을 이용하여 정확하게 모델링할 수 있다⁶⁾. N 개의 구형과 형태의 부반송파를 갖는 OFDMA 시스템의 전력밀도 스펙트럼(PSD; Power

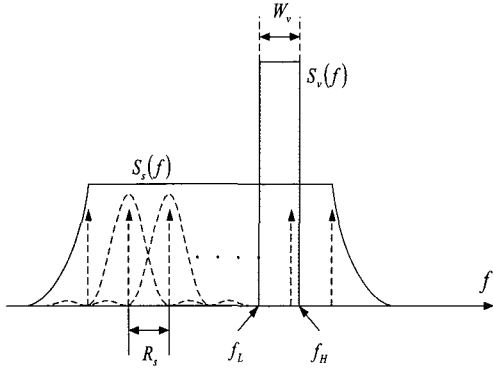


그림 1. OFDM에 기반을 둔 간섭원의 PSD와 피간섭원의 PSD

Spectral Density)은 식(6)로 표현된다.

$$S_s(f) = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{P_s}{R_s} \text{sinc}^2\left(\frac{f}{R_s} - i\right) \quad (6)$$

여기서 P_s 는 OFDM 부반송파 하나의 전력을 의미하고, R_s 는 부반송파의 간격을 의미한다. 그리고 피간섭원의 수신 전력밀도 스펙트럼은 식(7)과 같이 구형파로 모델링한다.

$$S_v(f) = \frac{P_v}{W_v} \text{rect}\left(\frac{f}{W_v}\right) \quad (7)$$

P_v 는 피간섭 시스템의 송신 전력을 의미하고, W_v 는 대역폭을 나타낸다.

그림 1은 OFDM에 기반을 둔 간섭원의 전력밀도 스펙트럼과 피간섭원의 전력밀도 스펙트럼이 중첩되는 것을 나타내고 있다. 그림에서 보이는 것과 같이 간섭원 전력 손실 L_r 은 대역 W_v 내의 간섭원의 전력밀도 스펙트럼을 이용하여 식(8)와 같이 계산된다.

$$L_r = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{P_t} \int_{f_c - W_v/2}^{f_c + W_v/2} S_s(f) df \right) \quad (8)$$

여기서 f_c 는 피간섭 시스템의 중심 주파수를 나타낸다. 식(8)에 식(6)를 대입하고 sinc()의 정의를 적용하면 식(9)로 정리된다^[6].

$$L_r = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=0}^{N-1} \frac{P_s}{2\pi P_t} \left\{ \frac{1}{\pi(R_- - i)} - \frac{1}{\pi(R_+ - i)} - \frac{\cos 2\pi(R_- - i)}{\pi(R_- - i)} + \frac{\cos 2\pi(R_+ - i)}{\pi(R_+ - i)} \right\} + \left[2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^{k-1} \left[(2\pi(R_+ - i))^{2k-1} - (2\pi(R_- - i))^{2k-1} \right]}{(2k-1)(2k-1)!} \right] \right] \quad (9)$$

표 1. FS 시스템 파라미터

파라미터	값
중심 주파수 (MHz)	3500
수신 대역폭 (MHz)	40
변조 방식	64-QAM
수신 열잡음 (dBW)	-127.5
1×10 ⁻³ BER을 위한 수신 레벨 (dBW)	-106
안테나 형태	parabola(직경: 2m)
최대 안테나 이득 (dBi)	42.5
급전 손실 (minimum) (dB)	3.5
최대 허용 간섭전력 (20% of time) I/N = -10 (dB)(dBW/40MHz)	-137.5

여기서 R_+ 와 R_- 는 각각 식(10)과 식(11)에 정의되어 있다.

$$R_+ = \frac{f_c}{R_s} + \frac{W_v}{2R_s} \quad (10)$$

$$R_- = \frac{f_c}{R_s} - \frac{W_v}{2R_s} \quad (11)$$

III. 공유분석 과정

3.1 주파수 공유를 위한 시스템 파라미터

ITU-R에서는 육상 FS 시스템(Fixed Service system)과 다른 시스템 간의 공유 분석에 필요한 파라미터를 ITU 권고안 F.758^[12]에 정의하고 있으며, 이를 표 1에 정리하였다. 시스템은 중심주파수 3500MHz에서 40MHz 대역폭을 점유하며, 포물선 형태의 지향성 안테나(parabola-shaped directional antenna)로 직경은 2m이다. 최대 허용 간섭 전력은 I/N=-10 dB에 근거해서 식(1)과 식(2)를 통해 계산한 -137.5dBW/40MHz로 나타나 있다. 그리고 최대 안테나 이득은 42.5dBi로 안테나 직경(D) 대 파장(λ)의 비가 100 이하인 경우의 안테나 이득을 그림 2에 나타내었다^[13].

FS 시스템인 경우는 기존에 존재하는 시스템이므로 규격이 명확하나 차세대 이동통신 시스템의 경우는 현재 확정된 내용이 없으므로 IEEE 802.16e에서 제시된 Wireless MAN-OFDMA 물리규격을 기반으로 가정한 값을 사용하였으며 이를 표 2에

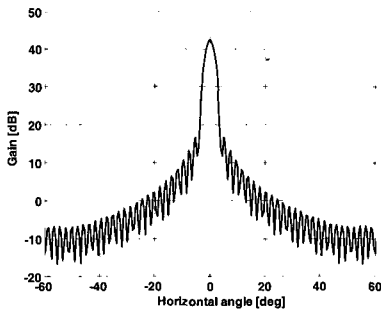


그림 2. 3.5GHz에서 FS 시스템의 안테나 이득 ($D/\lambda = 23.3$, 최대이득 = 42.5 dBi)

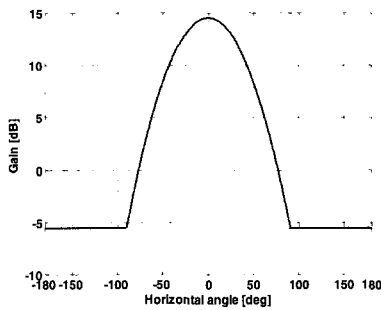


그림 3. 차세대 이동통신 시스템의 3-섹터 셀에 대한 안테나 이득

정리하였다^[14]. 우선 차세대 이동통신 시스템의 대역폭은 FS 시스템의 대역폭의 두 배이며 중심 주파수는 3.5 GHz 로 동일하게 가정하였는데, 이는 두 시스템의 대역폭이 완전히 중첩되는 경우를 살펴보기 위해 설정한 값이다. 그리고 기지국(base station)의 섹터별 안테나 수평 패턴은 식(12)로 표현되며 그림 3에 이를 나타내었다^[15].

$$G_{BS}(\theta) = G_{max} + A_{BS}(\theta) \quad (12)$$

여기서 G_{max} 는 최대 안테나 이득을 나타내며, $A_{BS}(\theta)$ 는 각도에 따른 안테나의 감쇄값을 나타내는 함수로 식(13)로 주어진다.

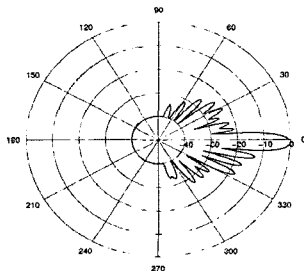


그림 4. 차세대 이동통신 기지국의 송수신 안테나 수직 방사 패턴

표 2. 차세대 이동통신 시스템 파라미터

파라미터	값	
	기지국	이동국
중심 주파수 (MHz)	3500	3500
다중화/다중접속	OFDM/OFDMA	
듀플렉스 방식	TDD	
부반송파 간격 (kHz)	10.24	
하향, 상향링크에 할당된 데이터 전송 시간 비(하향:상향)	2:1	
부채널 구조	BAND AMC (상향, 하향)	
채널 대역폭 (MHz)	80	0.4617
부반송파수	8192	36
송신전력 (dBW)	13	-9 (전력제어 고려 평균송신 전력)
최대 안테나 이득 (dBi)	14.5	-1
경로손실 모델	Modified Hata	ITU-Vehicular

$$A_{BS}(\theta) = -\min \left[12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_m \right], -180^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \quad (13)$$

A_m 은 최대 안테나 감쇄량을 의미하고, θ_{3dB} 는 3 dB 대역폭을 의미한다. $\min[A, B]$ 는 A 와 B 중 에서 작은 값을 의미하는 함수이다. 한편 그림 4 기지국 섹터 안테나의 수직 패턴을 나타내고 3 dB 대역폭은 6 dB이다^[16]. 기지국과 이동국 으로부터 발생하는 간섭의 경로 손실을 고려하기 위해 Modified Hata 모델^[17]과 ITU-Vehicular 모델^[18]을 이용하였다.

3.2. 주파수 공유 실험

그림 5는 시뮬레이션 흐름도를 나타내며 간섭원이 차세대 이동통신 시스템인 경우를 가정하였기 때문에 차세대 이동통신 기지국과 이동국이 발생하는 간섭신호의 세기를 평가하는 과정이다. 그림 6 에서 볼 수 있듯이 차세대 이동통신 시스템의 셀은 2-tier까지 고려하였으며, 각 셀은 3-섹터로 구성된다. 따라서 총 19개의 셀이 존재하고 각 셀의 중심에는 세계의 섹터 기지국이 존재하며 셀의 크기는 기지국간의 거리를 의미하는 변수를 이용해 결정한다. 또한 그림 6 에서 각 기지국마다 표시되어 있는 세 개의 화살표는 각 섹터 안테나의 메인 빔 방향이며 각 섹터

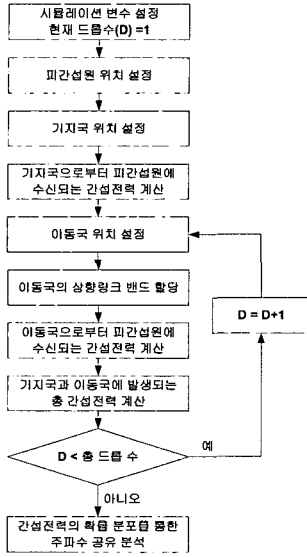


그림 5. 시뮬레이션 흐름도

안테나는 120°의 간격으로 각 섹터를 커버한다. 이동국은 각 섹터 내에 균일하게 분포시키며 섹터 당 이동국 수를 의미하는 변수를 통해 결정한다. 정사각형으로 표기된 FS에 표시되어 있는 긴 화살표는 육상 고정 시스템 안테나의 메인 빔 방향이다.

OFDMA 시스템에서 동일 섹터 내의 이동국은 각각 다른 부반송파를 통해 데이터를 기지국으로 전송하기 때문에 차세대 이동통신 시스템의 대역폭에 비해 피간섭원의 대역폭이 좁은 경우 일부의 이동국만 간섭원으로 작용하게 된다. 이와 같은 상황을 고려하여 위치가 결정된 이동국에 대해 상향링크 대역을 균일하게 할당한다. 섹터 내의 모든 이동국에 대해 동일한 수의 부반송파를 균일하게 할당시켜 피간섭원과 동일 대역 내에 위치하는 이동국

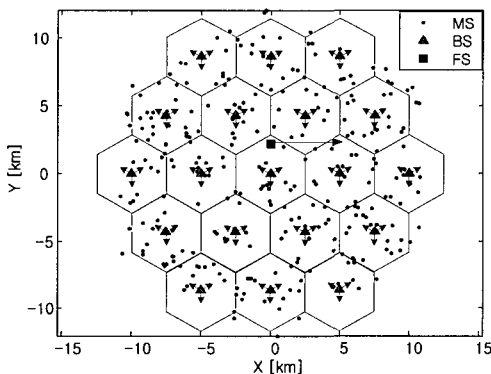


그림 6. 피간섭원 및 차세대 이동통신 기지국과 이동국의 위치 결정

의 신호만을 고려하여 간섭량을 평가한다. 간섭량의 계산을 위해 2장 에서 제시한 식(3)을 이용하고 시스템변수는 표 1과 표 2의 값을 이용하였다. 이동국의 위치에 따라 간섭량은 변하기 때문에 보다 정확한 예측을 위해 위의 과정을 여러번 반복 수행하여 간섭량을 확률적으로 계산하여 이 값을 기초로 하여 최종적으로 공유분석을 수행한다.

IV. 실험 결과

본 모의 실험에서는 이동국에 의한 간섭전력의 변화를 고려하기 위해 이동국 수를 57(1), 285(5), 570(10), 855(15), 1170(20)로 변화시키며 이에 따른 간섭전력의 분포를 분석하였다(팔호안의 수는 섹터 당 평균 이동국 수). 기지국 간격과 이동국 수에 따른 간섭량의 분포는 그림 7부터 그림 10을 통해 제시하였다. 결과 그림에 제시된 이동국의 수(MS)는 총 57개 섹터 내에 존재하는 이동국 수를 의미한다. 따라서 MS값을 57로 나눈 값이 섹터 당 평균 이동국 수를 의미한다. 그림 7을 통해 기지국 간의 거리(R)가 2 km 일 때에는 섹터 당 평균 1명의 이동국이 분포하여도 기준 간섭량을 만족하지 못하는 사실을 확인할 수 있다. 이러한 결과가 발생한 이유는 이동국에 의한 간섭이 매우 작아도 육상 고정 시스템과 기지국간의 거리가 가까워 기지국에 의한 간섭이 매우 크기 때문이다. 그림 8은 기지국 간의 거리가 3 km 일 때의 간섭 전력의 분포를 나타낸다. 이동국의 수가 57 일 때는 기준치 보다 간

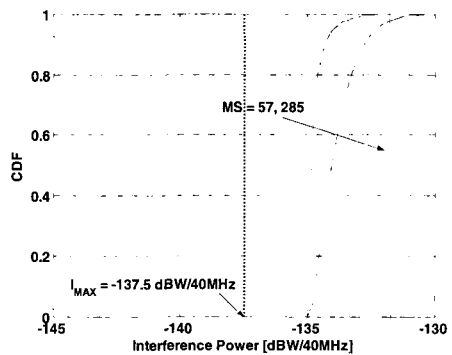


그림 7. 차세대 이동통신 기지국과 이동국에 의해 발생하는 간섭전력의 분포(R=2 km)

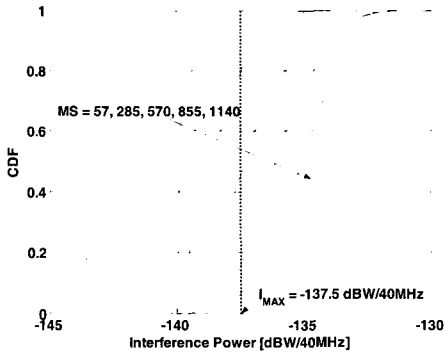


그림 8. 차세대 이동통신 기지국과 이동국에 의해 발생하는 간섭전력의 분포(R=2 km)

섭전력이 낮을 확률은 거의 100 %에 가까우며 이동국 수가 1140(섹터 당 평균 이동국 수:20)일 때는 이동국에 의한 간섭량이 증가하기 때문에 기준치 보다 간섭 전력이 낮을 확률은 7 % 까지 감소하게 된다. 그림 10을 통해 기지국간의 거리가 5 km이고 이동국 수가 1140인 환경에서 간섭량이 기준치보다 낮을 확률은 67 %까지 증가하는 사실을 확인할 수 있다.

장시간 간섭 기준치 -137.5 dB 는 임의의 시간 동안 수신되는 간섭전력을 관찰하였을 때 기준치보다 높은 간섭전력이 수신되는 시간이 총 관찰 시간의 20 % 미만이기 위한 값이다. 따라서 기지국간의 거리에 따른 간섭량 CDF 곡선결과로부터 CDF가 80 % 이하이기 위한 기지국간 최소 거리를 도출할 수 있으며 그 결과는 표 3에 제시되어 있다. 총 이동국 수가 57 일 때 기지국간의 최소거리는 2.8 km 이고 총 이동국 수가 1140 일 때 기지국간 거리는 5.8 km 까지 증가하는 사실을 확인할 수 있다.

육상 고정 시스템 안테나의 방사 패턴은 방사 방향에 따른 이득의 변화가 최대 50 dB 이다. 따라서

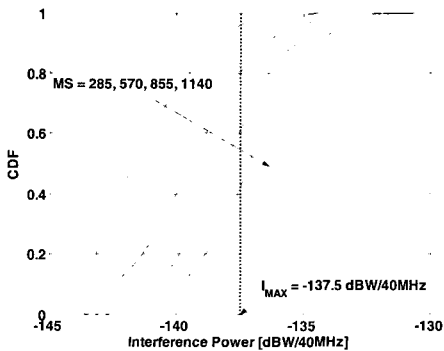


그림 9. 차세대 이동통신 기지국과 이동국에 의해 발생하는 간섭전력의 분포(R=2 km)

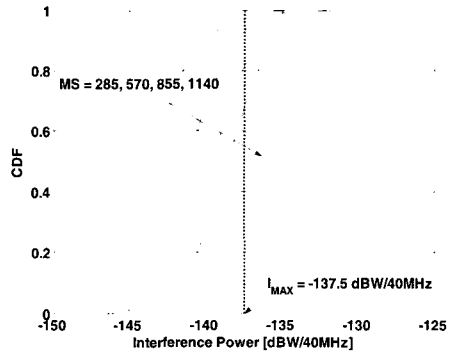


그림 10. 차세대 이동통신 기지국과 이동국에 의해 발생하는 간섭전력의 분포(R=2 km)

표 3. 간섭전력이 간섭 기준치 미만일 확률이 80 % 이기 위한 차세대 이동통신 시스템 기지국간 최소거리

총 이동국 수	섹터 당 평균 이동국 수	간섭전력이 간섭 기준치 미만일 확률이 80% 일 때 차세대 이동통신 시스템 기지국간 최소 거리 (km)	육상 고정 시스템과 차세대 이동통신 기지국간의 최소거리 (km)
57	1	2.8	1.21
285	5	3	1.3
570	10	4	1.73
855	15	5	2.16
1140	20	5.8	2.51

육상 고정 시스템의 안테나 방향은 차세대 이동통신 시스템으로 부터의 간섭신호의 세기에 결정적인 영향을 주기 때문에 이에 대한 분석을 수행하였다. 그림 11은 육상 고정 시스템의 위치와 안테나 방향 및 차세대 이동통신 기지국의 분포를 나타낸다. 육상 고정 시스템의 안테나 방향은 θ 로 표기하였다. 그림 12를 통해 θ 에 따른 간섭전력의 크기변화가 심한 사실을 확인할 수 있다. 간섭전력은 최대

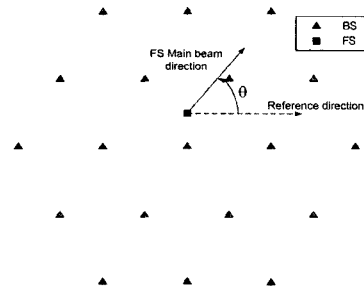


그림 11. 셀룰라 차세대 이동통신 서비스 지역에 위치하는 육상 고정 시스템의 주 빔 방향

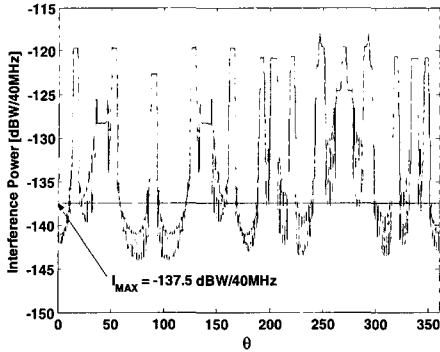


그림 12. 육상 고정 시스템 안테나의 주 빔 방향에 따른 차세대 이동통신 기지국에 의해 발생하는 간섭 전력의 변화

-118dBW/40MHz, 최소 -145 dBW/40MHz 로서 간섭전력의 변화폭은 27 dB 이다. 또한 기준 간섭치인 -137.5 dBW/40MHz 보다 간섭전력이 낮아지는 θ 의 분포를 관찰해 보면 일정한 각도 범위 내에서 연속적으로 분포하고 있음을 알 수 있다. 그림 11의 기지국 위치를 고려해 볼 때 기준치보다 간섭전력이 낮아지는 각도 방향으로는 기지국이 위치하지 않는 현상을 관찰할 수 있다.

그림 13은 θ 에 따른 간섭 전력의 변화의 분포를 CDF(Cumulative Density Function) 곡선을 이용하여 나타낸 결과이다. 약 40%에 해당하는 방향에 대해 간섭 기준치 보다 낮은 간섭 신호가 육상 고정 시스템에 수신되고 있음을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과를 고려하여 차세대 이동통신 시스템의 기지국을 분포시키는 것은 두 시스템간의 공유를 위한 효과적인 방안이 될 것으로 예상된다.

V. 결론

본 논문에서는 A-MCL에 제안된 간섭 평가 방법을 다수의 이동국과 기지국이 존재하는 간섭 시나리오에 적합하게 확장하여, TDD-OFDMA 기반의 차세대 셀룰러 이동통신 시스템을 구성하는 다수의 기지국과 이동국으로부터 발생하는 간섭을 계산하여 육상 고정 시스템과의 주파수 공유 분석을 수행하였다. 섹터 당 평균 이동국 수와 기지국 간의 간격을 변화시키며 간섭전력을 평가한 결과 섹터 당 평균 20명의 사용자를 동시에 서비스하는 경우에 기준 간섭치를 만족하는 기지국간 거리는 최소 5.8km

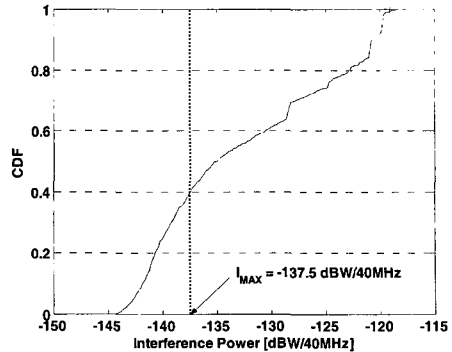


그림 13. CDF 곡선을 이용하여 표현한 육상 고정 시스템 안테나의 주 빔 방향에 따른 차세대 이동통신 기지국에 의해 발생하는 간섭전력의 확률 분포

이고 이때 육상 고정 시스템으로부터 가장 인접해 있는 기지국까지의 거리는 2.5 km임을 관찰할 수 있었다. 또한 육상 고정 시스템의 안테나의 수평 방향을 변화시키며 간섭전력을 평가하여 안테나의 방향에 따른 간섭전력의 변화가 25 dB 정도로 매우 크며 약 40%에 해당하는 방향에서 간섭전력이 최대 허용 간섭전력 보다 작은 사실을 확인할 수 있었다. 따라서 육상 고정 시스템의 안테나 방향을 고려하여 차세대 이동통신 기지국을 배치할 경우, 두 시스템 간의 주파수 공유가 가능할 것으로 예상할 수 있다.

참고 문헌

- [1] ITU-R Recommendation M. 1645, "Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000," June 2003.
- [2] ITU-R WP 8F/TEMP/209-E, "Preliminary draft new Report on Radio Aspects for the terrestrial component of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000," Feb. 2005.
- [3] CEPT ERC Report 64, "Frequency sharing between UMTS and existing fixed services," May 1999.
- [4] CEPT ERC Report 65, "Adjacent band compatibility between UMTS and other services in the 2 GHz band," May 1999.
- [5] Nee, R., Prasad, R., *OFDM for wireless multimedia communications*, Artech House, Boston, 2000.
- [6] Han-Shin Jo, et al., "The Coexistence of OFDM-based systems beyond 3G with Fixed Service Microwave Systems," *Journal of Communications and Networks Special Issue on Spectrum Resource Optimization*, Vol. 8, No. 2, June 2006.

[7] Woo-ghee Chung, et al., "차세대 이동통신 시스템의 주파수 공유분석을 위한 개선된 MCL 방법," 한국전자파 학회 논문지, vol. 17, no. 3, Mar. 2006.

[8] ITU-R Recommendation F.1094, "Maximum allowable error performance and availability degradations to digital radio-relay systems arising from interference from emissions and radiations from other sources," Oct. 1995.

[9] ITU-R Recommendation SF.1006, "Determination of the interference potential between earth stations of the fixed-satellite service and stations in the fixed service," Apr. 1993.

[10] Dipl.-Ing., Dirk Poppen, "Spectrum sharing between a Fixed-Service microwave system and a cellular CDMA mobile radio system," in Proc. IEEE Vehicular Technology Conf. (VTC1993), pp.564-567, May 1993.

[11] ITU-R Document 8F/TEMP/232, "Draft report on the coexistence between IMT-2000 TDD and FDD radio interface technologies operating in adjacent bands and in the same geographical area," Mar. 2002.

[12] ITU-R Recommendation F.758-3, "Considerations in the development of criteria for sharing between the terrestrial fixed service and other services," Feb. 2003.

[13] ITU-R Recommendation F.1245-1, "Mathematical model of average and related radiation patterns for line-of-sight point-to-point radio relay systems antennas for use in certain coordination studies and interference assessment in the frequency range from 1 GHz to about 70 GHz," May 2000.

[14] IEEE802.16e/D9, "Draft IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems," June 2005.

[15] NOKIA, "1xEV-DV Evaluation Methodology (V12.1)," 3GPP2/TSG-C.R1002, 2003.

[16] Jarno Niemela, "Impact of Base Station Site and Antenna Configuration on Capacity in WCDMA Cellular Networks," *Master of Science Thesis, Tampere University of Technology*, Feb. 2003.

[17] COST Action 231, "Digital mobile radio towards future generation systems, final report," tech. rep., European Communities, EUR 18957, 1999.

[18] ITU-R Recommendation M.1225, "Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000," Feb. 1997.[주 관심분야] 디지털통신, 무선전송기술

조 한 신(Han-shin Jo)

준회원



2001년 8월 연세대학교 전기 전자공학과졸업(공학사)
 2004년 2월 연세대학교 전기 전자공학과졸업(공학석사)
 2004년 9월~현 연세대학교 전기 전자공학과 박사과정
 <관심분야> 전파전파, 무선통신 채널모델링, MIMO/OFDM

윤 현 구(Hyun-goo Yoon)

정회원



1995년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사)
 1997년 2월 연세대학교 전자공학과(공학석사)
 2002년 8월 연세대학교 전기전자공학과(공학박사)
 2002년~2004년 (주)현대시스콤 선임연구원

2004년~현재 명지전문대학 컴퓨터전자과 조교수

육 종 관(Jong-gwan Yook)

정회원



1987년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1989년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
 1996년 2월 University of Michigan (공학박사)
 2000년 2월~현재 연세대학교 교수

<관심분야> MEMS, 초고주파 회로, EMI/EMC, 초고주파 수치해석