

2.6 GHz 대역에서 M-WiMAX OFDMA/TDD 시스템과 WCDMA FDD 시스템간의 상호 간섭 분석

Part I : SISO 시스템에서의 상호 간섭 분석

준회원 고 상 준*, 왕 우 봉*, 종신회원 장 경 희*

Adjacent Interference Analysis between M-WiMAX OFDMA/TDD and WCDMA FDD System in the 2.6 GHz Band

Part I : Adjacent Interference Analysis in SISO System

SangJun Ko*, YuPeng Wang* Associate Members, KyungHi Chang* Lifelong Member

요 약

본 논문에서는 2.6 GHz 대역에서 WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) 시스템과 M-WiMAX (Mobile-Worldwide Interoperability for Microwave Access) 시스템 모두 SISO (Single Input Single Output) 만을 적용한 상태에서, 상호 시스템 간에 미치는 간섭의 영향을 분석한다. 간섭이 발생하는 경우는 각 시스템 별로 네 가지로써, 총 여덟 가지의 경우가 존재한다. 그 중에서도 간섭원의 하향링크가 피간섭원의 상향링크에 미치는 간섭의 크기가 가장 심각한 경우임을 밝히며, 간섭의 영향을 최소화하기 위해 여덟 가지 경우 모두에 5MHz의 보호대역을 적용한다. 특히 M-WiMAX 시스템이 피간섭원인 경우가 WCDMA 시스템이 피간섭원인 경우에 비해 더 많은 간섭이 발생하며, 이는 두 시스템간의 최대 송신 전력의 차이가 주된 원인으로 작용한다. 본 논문에서는 실질적인 상황과는 다르게 Spectrum Mask 내에 간섭원에 해당되는 시스템의 송신전력이 가득 채워져 있는 경우로 가정하였기 때문에, 보다 엄격한 Emission Mask를 사용하고 실질적인 시스템 간 간섭분석의 Worst-case 결과로 볼 수 있다.

Key Words : ACI, M-WiMAX, WCDMA, Statistical Analysis, ACIR.

ABSTRACT

In this paper, we analyze the adjacent interference between WCDMA and M-WiMAX systems in the 2.6GHz Band under the SISO (Single Input Single Output) configuration. The interference scenarios are characterized into 8 scenarios with different victim and interfering links. Among the 8 scenarios, we find that the most performance loss is observed in the scenarios of victim uplink suffering interference from downlink in both systems. Besides, guard band is applied to mitigate the adjacent interference in all the scenarios. Especially, we reveal that M-WiMAX system is much more sensitive to adjacent interference than WCDMA system due to the lower transmission power. In this paper, we consider the worst interference environment, where interferers always transmit with the maximum power, a loose spectrum mask is adapted, and no additional channel filters are equipped in both systems.

※ 본 연구는 (주) 삼성전자 정보통신총괄 통신연구소의 지원으로 수행되었음.

* 인하대학교 정보통신대학원 이동통신연구실 (khchang@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-01-032, 접수일자 : 2007년 1월 26일, 최종논문접수일자 : 2007년 6월 11일

I. 서론

최근 유선통신망을 이용해 이루어지고 있던 다양한 멀티미디어(Multi-media) 서비스를 무선 통신망을 통해 제공하기 위하여 여러 통신 방식들이 이미 도입되거나 연구, 제안되고 있으며 이러한 통신 방식들의 주파수 대역은 응용분야에 따라 저주파수부터 고주파수까지 넓은 범위에 분포한다. 그 중에서도 M-WiMAX^[1,2]와 WCDMA^[3,4]는 사용자에게 높은 이동성에서 고속의 데이터를 보장한다는 점에서 차세대 무선통신규격의 대표라고 할 수 있다.

이와 같은 새로운 무선통신시스템의 등장과 더불어 많은 사용자들이 동시에 서비스를 받기 위해 점점 Cell의 크기가 줄어들고 있으며, 이러한 경향으로 인해 한 Cell 안에서 동시에 동작하는 단말기의 수가 증가하고 주파수 스펙트럼의 밀도 또한 높아지고 있다. 특히 M-WiMAX 와 WCDMA 와 같이 2.6 GHz 대역에 인접한 새로운 통신 시스템의 도입으로 인해 Cell 에서 동작하거나 또는 다른 인접 Cell 에 위치한 단말기들 사이에 발생하는 간섭의 분석이, 안정된 서비스를 제공하거나 새로운 시스템의 성능을 정확히 예측하는데 중요한 요소가 되었다^[5-9]. 따라서 본 논문에서는 2.6 GHz 대역에서 M-WiMAX 시스템과 WCDMA 시스템이 상호 미치는 간섭의 영향을 분석하고 간섭의 영향을 최소화 시킬 수 있는 방안을 모색해 본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 통계적 간섭 분석 기법으로 널리 알려진 Monte Carlo 기법에 대하여 언급한 후, 이를 이용한 간섭 분석 기준에 대하여 기술한다. 3장에서는 간섭분석을 위한 환경 및 시스템 파라미터를 정리하고 4장에서는 통계적 기법을 이용한 간섭 분석 결과를 정리한다. 그리고 5장에서는 간섭 분석결과를 통해 결론을 맺으며 마지막 부분에서는 본 간섭 분석에 이용된 경로손실 모델을 기술한다.

II. 통계적 간섭 분석 기법

MC (Monte Carlo) 간섭분석기법은 다양한 간섭 현상을 한 가지 모델에 의하여 취급할 수 있는 포괄성과 복합적으로 발생하는 간섭현상을 간단한 변환을 통하여 분석할 수 있는 융통성을 확보할 수 있게 하는 분석기법으로, 간섭분석 이외에도 다중 셀 환경 하에서의 이동통신 시스템 용량 분석 도구로도 사용이 가능하다^[10]. 또한 MC 시뮬레이션은

시간 및 공간적으로 독립적인 많은 개체를 대상으로 이루어진 통계적 기술이며, 많은 수의 다른 랜덤 변수를 사용한다. 만약 충분히 많은 횟수의 시뮬레이션이 수행된다면 특정 사건이 발생할 확률은 매우 높은 정확도를 가질 수 있다.

2.1. Monte Carlo 기법을 이용한 시스템 레벨 시뮬레이션 방법

본 논문에서는 Snap-shot 방식을 이용하여 시스템 레벨 시뮬레이션을 수행한다. 그림 1은 snap shot 방식을 이용한 시스템 레벨 시뮬레이션의 흐름도(flow chart)이다. Snap-shot 방식을 이용한 시스템 레벨 시뮬레이션 방법은 단말기들을 랜덤하게 위치시킨 후 결과를 뽑고 이러한 과정을 반복하여 나온 결과들을 통계적으로 처리하는 방법이다. 우선 정해진 셀 크기로 다수 개의 셀을 만들고, 이 셀들을 인접시켜 셀룰러 구조를 형성한다. 각각의 셀의 중심에 기지국을 분포시킨 후 각 셀마다 이 동국을 랜덤하게 분포시킨다. 이 후 이동국은 각각의 셀과의 거리와 각각의 셀과의 경로손실을 계산한다. 이를

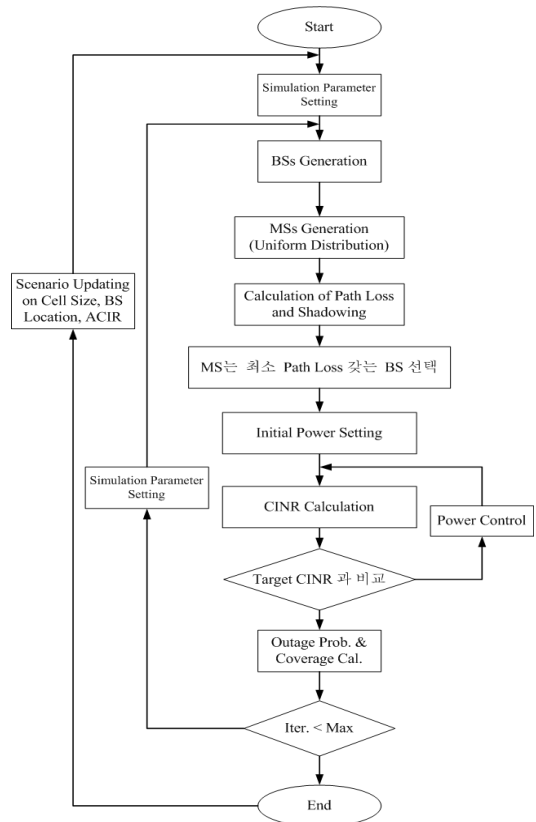


그림 1. Snap-shot 방식을 이용한 시스템 레벨 시뮬레이션

통해 각각의 이동국은 최소 경로손실을 갖는 기지국을 선택한다. 모든 이동국은 자신이 속한 기지국과의 경로 손실을 고려하여 전송 전력을 결정하여 신호를 전송하면 전송신호가 다른 기지국에 모두 간섭으로 작용하게 되므로 각각의 기지국에 해당되는 경로 손실을 고려한 간섭 효과를 구현한다.

2.2. 간섭에 의한 성능열화 측정 지수

본 절에서는 상호 간섭에 의한 영향을 정량적으로 분석하는 기준에 대하여 설명한다⁵⁾. M-WiMAX 시스템은 수신 CINR에 따라 각기 다른 MCS (Modulation and Coding Scheme)를 적용하고, Throughput 손실과 ME (Modulation Efficiency) 손실을 따진다. 반면, WCDMA 시스템은 서비스 종류에 따라 정해진 MCS를 적용하고, Throughput 손실과 Outage 손실을 따진다. 자세한 기준은 하위 절에서 설명한다.

2.2.1. M-WiMAX 시스템의 간섭 분석 측정 지수

WCDMA 시스템이 M-WiMAX 시스템의 상향링크와 하향링크에 미치는 간섭의 영향을 시스템 레벨 시뮬레이션을 통해 정량적으로 분석하기 위해서는 각 MCS 레벨의 링크 레벨 시뮬레이션의 결과가 필요하다. 본 논문에서는 M-WiMAX 시스템의 상향링크 모두 Sub-channelization 방식을 PUSC 만을 고려한다. 다음 표 1은 M-WiMAX 시스템 PUSC의 MCS 레벨 및 Target PER (Packet Error Rate) 1%를 만족시키는 Target CINR 값이다.

위 표 1에서 ME (Modulation Efficiency)가 나타내는 것은 한 부반송파에서 각 MCS 레벨 별로

표 1. 각 MCS 레벨에 따른 Target CINR과 Modulation Efficiency(Target PER = 1%).

Link	MCS	Target CINR	ME
DL	QPSK 1/12	3.9	1/6
	QPSK 1/8	5.4	1/4
	QPSK 1/4	8.2	0.5
	QPSK 1/2	12.0	1
	QPSK 3/4	17.8	1.5
	16QAM 1/2	17.2	2
	16QAM 3/4	23.5	3
	64QAM 1/2	22.0	3
	64QAM 2/3	26.7	4
	64QAM 3/4	29.2	4.5
UL	QPSK 1/2	6.32	1
	QPSK 3/4	10.86	1.5
	16QAM 1/2	12.44	2
	16QAM 3/4	17.83	3

전송할 수 있는 bit 수이다⁵⁾. 이를 이용하여 다음 식 (1)과 같이 한 사용자의 평균 ME를 구한다.

$$\overline{SE} = \frac{\sum_{i=1}^N SE_i}{N} \tag{1}$$

위 식에서 N 은 전체 사용자의 수이며, SE_i 는 사용자 i 가 시뮬레이션 시간 동안 얻은 평균 ME 다. 즉, \overline{SE} 는 사용자당 평균 ME 값이다.

$$SE_loss = 1 - \frac{\overline{SE}_{multi}}{\overline{SE}_{single}} \tag{2}$$

WCDMA 시스템이 M-WiMAX 시스템에 미치는 간섭의 영향은 식 (2)를 이용하여 측정할 수 있다. 식 (2)에서 \overline{SE}_{multi} 는 WCDMA 시스템이 간섭을 미치는 상황에서 M-WiMAX 시스템의 사용자당 평균 ME 값이며, \overline{SE}_{single} 는 WCDMA 시스템으로부터의 간섭이 존재하지 않는 경우의 M-WiMAX 시스템의 사용자당 평균 ME 값이다.

2.2.2. WCDMA 시스템의 간섭 분석 측정 지수

M-WiMAX 시스템이 WCDMA 시스템에 미치는 간섭을 분석하는 방법도 WCDMA 시스템의 링크레벨 시뮬레이션 결과를 필요로 한다. 단, M-WiMAX 시스템이 피간섭원인 경우와는 다르게 WCDMA 시스템이 받는 간섭의 양을 도출하는 방법은 상향링크와 하향링크에 따라 조금 다르다. 우선 WCDMA 시스템의 상향링크가 겪는 간섭의 양을 도출하기 위해서 다음과 같은 절차를 거친다⁵⁾.

1. M-WiMAX 시스템으로부터의 간섭이 존재하지 않는 경우에, WCDMA 사용자를 한 명씩 증가시키면 CCI (Co-channel Interference)에 의한 잡음의 증가량을 측정한다.
2. 잡음의 증가량이 열잡음보다 6 dB 보다 크게 되면 사용자의 수를 줄이고, 6 dB 보다 작게 되면 사용자의 수를 계속 증가시킨다.
3. 이와 같은 과정을 통해 잡음을 6 dB 증가시키는 사용자의 수 N_{ul} 을 구한다.

이와 같이 사용자의 수를 정한 후, 다음 식 (3)과 (4)와 같이 WCDMA 단일 시스템에서의 상향링크 Outage OR_{ul_single} 와 M-WiMAX 시스템이 간섭원으로 작용하는 경우의 WCDMA 시스템 상향링크

크 Outage OR_{ul_multi} 를 구한다.

$$OR_{ul_single} = \frac{N_{total_outage_ul_single}}{N_{total_ul}} \quad (3)$$

$$OR_{ul_multi} = \frac{N_{total_outage_ul_multi}}{N_{total_ul}} \quad (4)$$

위 식 (3)과 (4)에서 N_{total_ul} 은 WCDMA 의 총 사용자 수이다.

$$\begin{aligned} C_{ul_loss} &= 1 - \frac{(1 - OR_{ul_multi})}{(1 - OR_{ul_single})} \\ &= 1 - \frac{N_{ul_multi}}{N_{ul_single}} \end{aligned} \quad (5)$$

그 후, 식 (5)와 같이 M-WiMAX 시스템에 의한 간섭이 발생함으로써 생기는 WCDMA 시스템의 하향링크 Outage 증가량 C_{ul_loss} 를 구한다.

WCDMA 시스템의 하향링크가 겪는 간섭의 양을 도출하기 위해서는 다음과 같은 절차를 거친다⁵⁾.

1. M-WiMAX 시스템으로부터의 간섭이 존재하지 않는 경우에, WCDMA 사용자를 한 명씩 증가시키면 CCI (Co-channel Interference)에 의한 Outage를 측정한다.
2. Outage 가 5% 보다 크게 되면 사용자의 수를 줄이고, 5% 보다 작게 되면 사용자의 수를 계속 증가시킨다.
3. 이와 같은 과정을 통해 5% Outage를 만족하는 사용자의 수 N_{dl} 을 구한다.

이와 같이 사용자의 수를 정한 후, 다음 식 (6)과 같이 WCDMA 단일 시스템에서의 하향링크 Outage OR_{dl_single} 과 M-WiMAX 시스템이 간섭원으로 작용하는 경우의 WCDMA 시스템 하향링크 Outage OR_{dl_multi} 를 구한다.

$$\begin{aligned} C_{dl_loss} &= 1 - \frac{(1 - OR_{dl_multi})}{(1 - OR_{dl_single})} \\ &= 1 - \frac{N_{dl_multi}}{N_{dl_single}} \end{aligned} \quad (6)$$

그 후, 식 (6)과 같이 M-WiMAX 시스템에 의한 간섭이 발생함으로써 생기는 WCDMA 시스템의 하향링크 Outage 증가량 C_{dl_loss} 를 구한다.

Ⅲ. 통계적 간섭 분석 환경 및 성능 열화 측정 지수

3.1. 간섭 분석 환경

M-WiMAX 및 WCDMA 시스템의 상호 간섭 분석을 2-tier 다중 셀 환경하에서 수행한다¹¹⁻¹⁵⁾. 그림 2는 19개 다중 셀 환경을 나타내고 있으며, 각 셀은 세 개의 섹터로 이루어진다.

또한 본 논문에서는 M-WiMAX와 WCDMA 시스템간의 상호 위치를 다음 그림 3과 같은 세 가지 경우로 수행한다⁵⁾.

M-WiMAX와 WCDMA 시스템간의 상호 간섭을 모델링 하기 위한 CINR은 다음 식(7)과 같다.

$$\begin{aligned} CINR &= S - 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^{n_c} 10^{\frac{I_{C,i}}{10}} + \sum_{j=1}^{n_d} 10^{\frac{I_{A,j}}{10}} + 10^{\frac{N}{10}} \right) \\ N &= -174 + 10 \log_{10}(BW \text{ in Hz}) + NF \end{aligned} \quad (7)$$

위 식에서 S 는 수신된 신호의 크기이며, n_c 는 CCI를 발생시키는 간섭원의 수, $I_{C,i}$ 는 i 번째 CCI

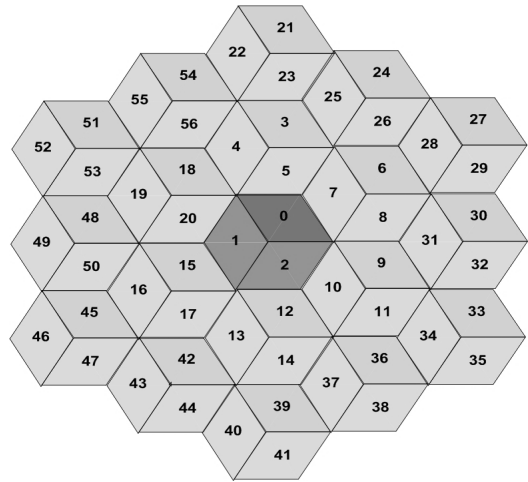


그림 2. 2-tier 다중 셀 환경.

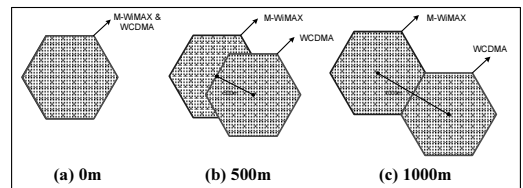


그림 3. M-WiMAX와 WCDMA 시스템 기지국간의 위치.

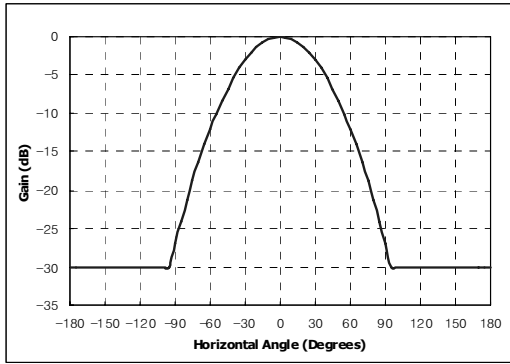


그림 4. 3 섹터 안테나 패턴.

의 신호크기, n_A 는ACI (Adjacent Channel Interference) 를 발생시키는 간섭원의 수, $I_{A,j}$ 는 j 번째 ACI의 신호크기, N 은 열잡음, NF 는 시스템의 잡음 지수(Noise Figure) 이며, 열잡음을 구하는 식의 “-174”은 잡음 전력속밀도이다.

WCDMA 시스템이 피간섭원인 경우에는 SF (Spreading Factor)에 의한 PG (Processing Gain)을 고려해줘야 한다.

$$PG = 10 \log_{10} \left(\frac{chip_rate}{user_bit_rate} \right) \quad (8)$$

WCDMA 시스템에서 PG의 계산은 식 (8)과 같이 $chip_rate$ 와 $user_bit_rate$ 를 고려하여 계산한다. 또한 PG에 의한 CINR과 E_b/N_0 의 관계는 다음 식 (9)와 같다.

$$E_b / N_0 = PG + CINR \quad (9)$$

3 섹터에서 최대 안테나 이득은 M-WiMAX의 경우 18 dBi 로 설정되며, WCDMA의 경우 17 dBi 로 설정된다. 각각의 섹터에서 사용된 안테나 패턴은 다음 식 (10)과 같이 정의된다.

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

where

$$-180 \leq \theta \leq 180$$

$\min []$: The Minimum Function

θ_{3dB} : The 3dB Beamwidth (70 Degrees) (10)

A_m : 20 dB is the Max. Attenuation.

다음 표 2와 3은 각각 본 논문에서 고려하고 있는 M-WiMAX 시스템과 WCDMA 시스템의 파라미터들이다^{5,16)}.

표 2. M-WiMAX 시스템 파라미터.

Item	Parameter	Value
Freq. Band	Carrier Freq.	2.6 GHz
	Effective B.W	8.75 MHz
BS Tx Side	Max Tx Power	36 dBm
	Antenna Gain	18 dBi
	Antenna Height	30 m
	Thermal Noise	-174.0 dBm/Hz
	Noise Figure	3 dB
	Max Interference Limit	-110 dB
	ACLR@5MHz	53.5 dB
	ACLR@10MHz	66 dB
	ACS@5MHz	70 dB
	ACS@10MHz	70 dB
MS Rx Side	Max Tx Power	20 dBm
	Antenna Gain	0.0 dBi
	Antenna Height	1.5m
	Thermal Noise	-174.0 dBm/Hz
	Noise Figure	5.0 dB
	Max Interference Limit	-108 dB
	ACS@10MHz	59 dB
Channel Model	ITU-R M.1225 Veh-A	60 km/h
	Path Loss Model	부록 참조
	Shadowing	Std. 10 dB
Cell Site	Nr. of Cells	19
	Cell Configuration	Hexagonal
	Cell Radius	1 km
UE	Nr. of Users	5
	Position	Uniform
Resource Loading		75%
Target PER		1 %
Downlink / Uplink Ratio		2:1

표 3. WCDMA 시스템 파라미터.

Item	Parameter	Value
Freq. Band	Carrier Freq.	2.6 GHz
	Effective B.W	3.84 MHz
BS Tx Side	Max Tx Power	43 dBm
	Antenna Gain	17 dBi
	Antenna Height	30 m
	Thermal Noise	-174.0 dBm/Hz
	Noise Figure	5 dB
	Max Interference Limit	-109 dB
	ACLR@5MHz	42.2 dB
	ACLR@10MHz	46 dB
	ACS@5MHz	46 dB
	ACS@10MHz	58 dB

MS Rx Side	Max Tx Power	21 dBm
	Antenna Gain	0.0 dBi
	Antenna Height	1.5m
	Thermal Noise	-174.0 dBm/Hz
	Noise Figure	9.0 dB
	Max Interference Limit	-105 dB
	ACLR@5MHz	33 dB
	ACLR@10MHz	46 dB
	ACS@5MHz	33 dB
	ACS@10MHz	43 dB
Channel Model	Voice : ITU-R M.1225 Veh-A 30 km/h	
	Data : ITU-R M.1225 Ped-A 3 km/h	
	Path Loss Model	부록 참조
	Shadowing	Std. 10 dB
Cell Site	Nr. of Cells	19
	Cell Configuration	Hexagonal
	Cell Radius	1 km
UE	Nr. of Users	DL Voice : 18
		DL Data : 8
		UL Voice : 3
		UL Data : 3
	Position	Uniform
Resource Loading		100%
Downlink / Uplink Ratio		2:1
Target PER		Voice : 1%
		Data : 0.1 %
Spreading Factor	DL	Voice : 128
		Data : 32
	UL	Voice : 64
		Data : 16
Data Rate	DL	Voice : 12.2 kbps
		Data : 64 kbps
	UL	Voice : 12.2 kbps
		Data : 64 kbps

3.2. 송수신단에서의 간섭 지수

비이상적인 송수신 필터 특성과 비선형적인 능동 소자등의 특성에 의하여 인접한 다른 주파수 대역을 사용하는 무선 통신 시스템에 미치는 간섭을 정량적으로 표현하기 위하여, 일반적으로ACP (Adjacent Channel Power/Protection)로 나타낸다. 이러한 인접대역 간섭을 정의하기 위하여 ACLR (Adjacent Channel Leakage power Ratio), ACS (Adjacent Channel Selectivity), ACIR (Adjacent Channel Interference Ratio)의 세 가지 항목을 정의한다. ACLR은 송신단의 간섭지수로서, 식 (11)과 같이 정의된다^{5,17)}.

$$ACLR = \frac{T_xPower}{(RxPower\ after\ RxFilter)_{Adjacent\ RF\ Channel}} \quad (11)$$

여기서 WCDMA 의 경우, 송수신 전력은 필터의 잡음 전력 대역 크기를 Chip Rate와 동일하게 가정하여 측정하며, 일반적으로 ACLR은 ACPR (Adjacent Channel Power Ratio)을 의미한다. ACLR은 송신단의 대역 외 방사 (Out-of-band Emission)에 의하여 야기되며, 이는 완벽하지 못한 Pulse Shaping 과 송신단을 구성하는 개별 소자에서 발생하는 Spurious 성분에 의하여 할당 주파수 대역 이외의 주파수 대역에 원하지 않는 신호의 성분이 발생하였을 때, 이를 송신단의 이상적인 필터로 제거하지 못하여 발생하는 간섭신호를 의미한다. 이러한 간섭신호는 인접대역에 영향을 미쳐 인접대역 시스템의 성능을 열화시킨다.

ACS는 수신단의 간섭지수로서, 식 (12)와 같이 정의된다^{5,17)}.

$$ACS = \frac{(RxFilter\ Attenuation)_{Assigned\ Channel\ Frequency}}{(RxFilter\ Attenuation)_{Adjacent\ Channel\ Frequency}} \quad (12)$$

ACS는 수신단의 불완전한 Blocking 특성에 의하여 야기되며, 다른 주파수 대역을 사용하는 무선 통신 시스템으로부터 전송된 간섭신호를 수신단의 필터에서 차단하지 못하여 발생하는 간섭을 의미한다.

ACIR은 송수신단을 포함하는 전체 시스템의 간섭지수로서, 식 (13)으로 정의된다^{5,17)}.

$$ACIR = \frac{1}{\frac{1}{ACLR} + \frac{1}{ACS}} \quad (13)$$

본 논문에서는 송신단의 불완전한 특성을 나타내는 ACLR과 수신단의 불완전한 특성을 나타내는 ACS 대신에 송수신단 전체 시스템의 불완전한 특성을

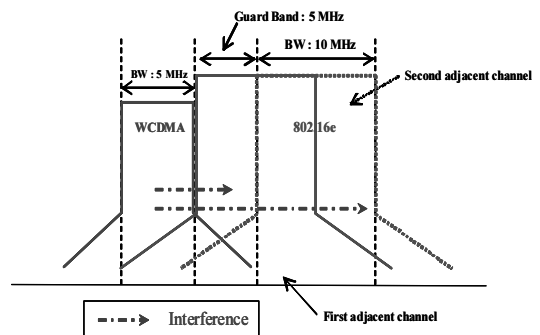


그림 5. WCDMA 시스템으로부터의 ACL.

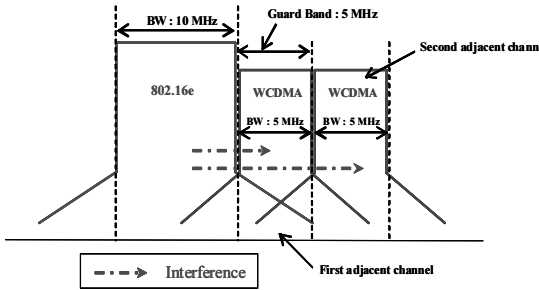


그림 6. M-WiMAX 시스템으로부터의 ACI.

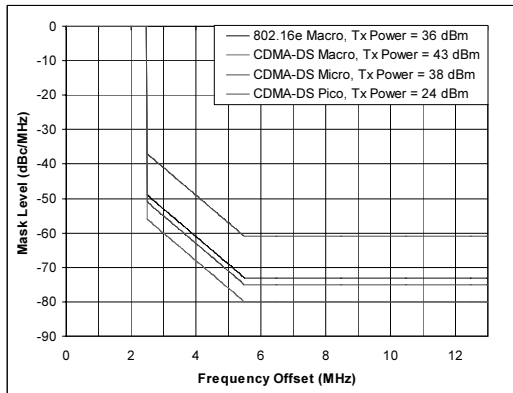


그림 7. WCDMA 시스템과 M-WiMAX 시스템의 spectrum mask.

표 4. 간섭이 발생하는 각 경우의 ACIR (dB).

	Interference Source	Victim Receiver	1st Adjacent Channel	2nd Adjacent Channel
1	WCDMA BS	M-WiMAX BS	42.2	46
2	WCDMA BS	M-WiMAX MS	33	46
3	WCDMA MS	M-WiMAX BS	38	45.8
4	WCDMA MS	M-WiMAX MS	32.2	45.8
5	M-WiMAX BS	WCDMA BS	45.3	57.4
6	M-WiMAX BS	WCDMA MS	33	43
7	M-WiMAX MS	WCDMA BS	32.8	50.2
8	M-WiMAX MS	WCDMA MS	30	42.4

타내는 ACIR을 인접대역 간섭과 관련된 성능열화를 고찰하기 위한 성능지수로 채택한다.

그림 5는 2.6GHz 에서 5MHz 크기의 대역을 사용하고 있는 WCDMA 시스템이 10MHz 크기의 대

역을 사용하고 있는 M-WiMAX 시스템에 간섭을 미치는 경우이다. 그리고 그림 6은 10MHz 대역을 사용하는 M-WiMAX 시스템이 5MHz 대역을 사용하는 WCDMA 시스템에 간섭을 미치는 경우를 나타내고 있다.

위 그림 5와 6에서 두 시스템 모두 5MHz 크기의 보호대역을 고려할 수 있음을 알 수 있다.

그림 7은 본 논문에서 고려하고 있는 Spectrum Mask 이며, 표 4는 이에 따른 ACIR 값을 정리해 놓은 것이다. 표에서 First Adjacent Channel 이란 보호대역이 없는 경우의 ACIR 값이며, Second Adjacent Channel 이란 5 MHz 보호대역이 있는 경우의 ACIR 값이다.

IV. 통계적 간섭 분석 결과

본 절에서는 시스템 레벨 시뮬레이션을 통하여 10MHz 대역을 사용하는 M-WiMAX TDD 시스템과 5MHz 대역을 사용하는 WCDMA FDD 시스템의 상호 간섭을 분석한다. M-WiMAX 시스템의 경우 사용자에게 주파수 및 시간 자원을 할당함에 있어, PUSC 방법을 사용한다. 또한 WCDMA 의 경우 Voice 및 Data 서비스를 모두 실제 조건에 맞추어 시뮬레이션을 수행한다.

4.1. WCDMA 시스템이 M-WiMAX 시스템에 미치는 간섭 영향 분석

WCDMA 시스템이 M-WiMAX 시스템에 미치는 간섭의 상황은 다음과 같이 총 네 가지이다.

- WCDMA 하향링크 → M-WiMAX 하향링크
- WCDMA 하향링크 → M-WiMAX 상향링크
- WCDMA 상향링크 → M-WiMAX 하향링크
- WCDMA 상향링크 → M-WiMAX 상향링크

본 절에서는 위와 같은 네 가지 간섭 상황에 대한 분석 결과를 언급하겠다.

WCDMA 하향링크가 M-WiMAX 하향링크에 간섭을 미치는 경우에서 Target 섹터의 사용자는 M-WiMAX 시스템 주변 섹터의 하향링크로부터 CCI를 받게 되며, WCDMA 시스템의 하향링크에서 ACI를 받게 된다. 또한 CCI와 ACI 두 경우 모두 "BS2MS" 경로손실 모델이 적용된다.

위 표 5에서 볼 수 있듯이, M-WiMAX 기지국과 WCDMA 기지국의 거리가 0m 이고, 5MHz 보호대역이 존재하는 경우, Throughput 손실은 3.14 % 이며 ME 손실은 1.14 % 다. 그리고 5MHz 보

표 5. WCDMA DL to M-WiMAX DL 간섭 분석 결과.

	Item	Distance between M-WiMAX BS and WCDMA BS		
		0m	500m	1000m
No ACI	Throughput (kbps)	3824.89	3824.89	3824.89
	ME	1.788963	1.788963	1.788963
w. GB	Throughput	3704.69	3752.43	3779.11
	Throughput Loss	3.14 %	1.89 %	1.20 %
	ME	1.768655	1.776333	1.781088
	ME Loss	1.14 %	0.71 %	0.44 %
w.o. GB	Throughput	2893.08	3408.41	3432.83
	Throughput Loss	24.36 %	10.89 %	10.25 %
	ME	1.47006	1.750427	1.761846
	ME Loss	17.83 %	2.15 %	1.52 %

호대역이 존재하지 않는 경우, Throughput 손실은 24.36 % 이며 ME 손실은 17.83 % 다. 두 시스템의 기지국간의 거리가 500m, 1000m로 증가할 때마다 Throughput 및 ME의 손실이 적어짐을 알 수 있다. 이는 간섭원과 피간섭원과의 거리가 멀어짐으로써 간섭의 경로손실이 커지기 때문이다.

표 6은 WCDMA 시스템의 각 섹터 당 5명의 사용자가 존재하고, 각 사용자의 상향링크 전송신호가 M-WiMAX 하향링크에 간섭을 미치는 경우의 분석 결

표 6. WCDMA UL to M-WiMAX DL 간섭 분석 결과 (간섭 사용자 수 : 5 명).

	Item	Distance between M-WiMAX BS and WCDMA BS		
		0m	500m	1000m
No ACI	Throughput (kbps)	3824.89	3824.89	3824.89
	ME	1.788963	1.788963	1.788963
w. GB	Throughput	3820.95	3824.89	3824.89
	Throughput Loss	0.103 %	0.00 %	0.00 %
	ME	1.757894	1.788963	1.788963
	ME Loss	0.076 %	0.00 %	0.00 %
w.o. GB	Throughput	3785.58	3824.89	3824.89
	Throughput Loss	1.02 %	0.00 %	0.00 %
	ME	1.770591	1.788963	1.788963
	ME Loss	1.03 %	0.00 %	0.00 %

표 7. WCDMA UL to M-WiMAX DL 간섭 분석 결과 (간섭 사용자 수 : 200 명).

	Item	Distance between M-WiMAX BS and WCDMA BS		
		0m	500m	1000m
No ACI	Throughput (kbps)	3824.89	3824.89	3824.89
	ME	1.788963	1.788963	1.788963
w. GB	Throughput	3778.74	3824.89	3824.89
	Throughput Loss	1.21 %	0.00 %	0.00 %
	ME	1.76761	1.788963	1.788963
	ME Loss	1.19 %	0.00 %	0.00 %
w.o. GB	Throughput	3749.75	3824.89	3824.89
	Throughput Loss	1.96 %	0.00 %	0.00 %
	ME	1.762483	1.788963	1.788963
	ME Loss	1.48	0.00 %	0.00 %

과이며, 표 6은 WCDMA 시스템의 각 섹터당 사용자 수가 200명인 경우의 간섭 분석 결과이다. M-WiMAX 시스템의 Target 섹터 사용자는 M-WiMAX 시스템 주변 섹터의 상향링크로부터 CCI를 받게 되며, WCDMA 시스템의 하향링크에서 ACI를 받게 된다. 또한 CCI는 "BS2MS" 경로손실 모델이 적용되며, ACI는 "MS2MS" 경로손실 모델이 적용된다.

WCDMA 시스템의 상향링크로부터 M-WiMAX 시스템의 하향링크가 받는 간섭의 양은 매우 적음을 알 수 있다. 이는 WCDMA 시스템의 상향링크 최대 전송전력은 21 dBm이고 M-WiMAX 시스템의 하향링크 최대 전송전력이 36 dBm 으로 차이가 매우 크기 때문이다. 시스템간의 거리가 0m 이고, WCDMA 사용자수가 5명이며 5MHz 보호대역을 적용하는 경우, Throughput 의 손실은 0.1 % 정도이며 ME 손실은 0.07 % 정도이다. 또한 같은 조건에서 WCDMA 사용자수가 200명으로 증가하는 경우, Throughput의 손실과 ME 손실은 각각 1.2 % 와 1.19% 이다. 여기서 간섭을 유발시키는 사용자의 수가 5명에서 200명으로 40배 증가하더라도 실제 간섭의 양은 지수적이나 선형적으로 증가하지 않고, 10배정도만 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 간섭원이 많이 증가되더라도 피간섭원에게 주된 간섭을 유발시키는 간섭원은 위치에 따라 국한되기 때문이다.

WCDMA 하향링크가 M-WiMAX 상향링크에 간섭을 미치는 경우에 Target 섹터의 사용자는

표 8. WCDMA DL to M-WiMAX UL 간섭 분석 결과 (FRF = 1).

	Item	Distance between M-WiMAX BS and WCDMA BS			
		0m		500m	1000m
		50 dB	70 dB		
No ACI	Throughput (kbps)	420.40	420.40	420.40	420.40
	ME	2.31	2.31	2.31	2.31
w. GB	Throughput	0.00	0.01	35.4	54.9
	Throughput Loss	100.0 %	99.9 %	91.6 %	86.9 %
	ME	0.00	1.01	1.89	2.02
	ME Loss	100.0 %	56.3 %	18.2 %	12.6 %
w.o. GB	Throughput	0.00	0.00	20.6	40.5
	Throughput Loss	100.0 %	100.0 %	95.1 %	90.4 %
	ME	0.00	0.00	1.64	2.01
	ME Loss	100.0 %	100.0 %	28.9 %	13.3 %

표 9. WCDMA DL to M-WiMAX UL 간섭 분석 결과 (FRF = 3).

	Item	Distance between M-WiMAX BS and WCDMA BS			
		0m		500m	1000m
		50 dB	70 dB		
No ACI	Throughput (kbps)	215.8	215.8	215.8	215.8
	ME	2.23	2.23	2.23	2.23
w. GB	Throughput	0.00	0.004	0.088	0.168
	Throughput Loss	100.0 %	99.9 %	99.8 %	99.7 %
	ME	0.00	0.78	1.12	1.39
	ME Loss	100.0 %	65.1 %	49.7 %	37.5 %
w.o. GB	Throughput	0.00	0.00	0.05	7.89
	Throughput Loss	100.0 %	100.0 %	99.9 %	96.3 %
	ME	0.00	0.00	1.02	1.25
	ME Loss	100.0 %	100.0 %	54.0 %	43.9 %

M-WiMAX 시스템의 주변 섹터 기지국의 상향링크로부터 CCI를 받게 되며, WCDMA 시스템의 하향링크로부터 ACI를 받게 된다. 이 때 WCDMA 시스템의 하향링크로부터 받는 간섭의 신호크기가 M-WiMAX 상향링크의 송신 전력보다 상대적으로 많이 크기 때문에 다음의 시뮬레이션 결과에서도 볼 수 있듯이 다른 간섭 환경보다 훨씬 큰 손실이 유발된다. 또한 CCI에 적용되는 경로손실 모델은 “MS2BS” 모델이며 ACI에는 “BS2BS” 모델이 적용된다.

위 표 8의 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이, WCDMA 시스템의 하향링크로부터 FRF (Frequency Reuse Factor) 가 1인 M-WiMAX 시스템 상향링크가 받는 간섭의 양은 매우 크다. 특히, 두 기지국이 동일한 위치에 존재하는 경우에 손실의 양은 매우 큼을 알 수 있다. 위에서 MCL (Minimum Coupling Loss)이란 두 기지국이 동일한 위치에 존재하기 때문에, 경로손실 모델 대신 신호의 감쇄를 적용시키는 파라미터이다. 5 MHz 보호대역이 존재하고, MCL이 70dB인 경우를 살펴보면, Throughput 손실은 99.9% 정도이고, ME 손실은 56.3% 정도인 것을 볼 수 있다. 또한 두 시스템의 기지국간 거리가 500m와 1000m로 떨어져있고, 5 MHz 보호대역이 존재할 때, 두 경우 모두 Throughput 손실은 80% 이상으로써 매우 크지만, ME 손실은 각각 18.2%와 12.5%로 Throughput 손실에 비해 매우 작음을 알

수 있다. 본 논문에서는 실질적인 상황과는 다르게 Spectrum Mask 내에 간섭원에 해당되는 시스템의 송신전력이 가득 채워져 있는 경우로 가정하였기 때문에, 보다 엄격한 Emission Mask를 사용하여 실질적인 시스템 간 간섭분석의 Worst-case 결과이다. 다음 표 9는 M-WiMAX 시스템의 FRF (Frequency Reuse Factor) 가 3인 경우에 WCDMA 하향링크가 M-WiMAX 상향링크에 간섭을 미치는 경우의 시스템 레벨 시뮬레이션 결과이다.

표 9의 결과를 FRF 1인 경우와 비교하여 볼 때, 모든 경우에서 Throughput 및 ME의 손실이 상대적으로 큼을 알 수 있다. 두 시스템의 기지국이 동일한 위치에 존재하며 5 MHz 보호대역이 존재하고, MCL이 70dB인 경우를 살펴보면, FRF 1의 ME 손실은 56.3% 정도인 것에 반해 FRF 3의 ME 손실은 65.1 % 정도인 것을 볼 수 있다. 또한 두 시스템의 기지국간 거리가 1000m로 떨어져있고, 5 MHz 보호대역이 존재할 경우, FRF 1 인 경우에는 Throughput 손실은 86%, ME 손실은 18.2% 이지 만, FRF 3인 경우의 Throughput 손실은 99.7%, ME 손실은 37.5% 로써 이 역시 FRF 1인 경우가 WCDMA 시스템으로부터 상대적으로 간섭을 적게 받음을 알 수 있다. 이는 FRF 3인 경우 각 섹터에 할당된 자원의 양이 FRF 1인 경우에 비해 1/3밖에 되지 않으므로, 간섭의 영향을 피해 동적 자원 할당을 수행할 수 여유가 줄어들어 손실 좀더 심한 손실

표 10. WCDMA UL to M-WiMAX UL 간섭 분석 결과 (FRF = 1 / 간섭 사용자 수 = 5명).

	Item	Distance between M-WiMAX BS and WCDMA BS		
		0m	500m	1000m
No ACI	Throughput (kbps)	420.40	420.40	420.40
	ME	2.312994	2.312994	2.312994
w. GB	Throughput	420.35	420.39	420.40
	Throughput Loss	0.0099 %	0.0012 %	0.00 %
	ME	2.312868	2.312972	2.312994
	ME Loss	0.0054 %	0.001 %	0.00 %
w.o. GB	Throughput	420.05	420.20	420.21
	Throughput Loss	0.0819 %	0.0453 %	0.0437 %
	ME	2.311842	2.311991	2.312169
	ME Loss	0.0498 %	0.0434 %	0.0357 %

표 11. WCDMA UL to M-WiMAX UL 간섭 분석 결과 (FRF = 1 / 간섭 사용자 수 = 200명).

	Item	Distance between M-WiMAX BS and WCDMA BS		
		0m	500m	1000m
No ACI	Throughput (kbps)	420.40	420.40	420.40
	ME	2.312994	2.312994	2.312994
w. GB	Throughput	417.74	420.05	420.38
	Throughput Loss	0.6324 %	0.0823 %	0.0038 %
	ME	2.312007	2.312069	2.31293
	ME Loss	0.0427 %	0.040 %	0.0028 %
w.o. GB	Throughput	406.46	418.00	420.17
	Throughput Loss	3.3141 %	0.5702 %	0.0537 %
	ME	2.308371	2.310285	2.311943
	ME Loss	0.1999 %	0.1171 %	0.0454 %

이 발생하는 것이다.

WCDMA 상향링크가 M-WiMAX 상향링크에 간섭을 미치는 경우에, Target 섹터의 사용자는 M-WiMAX 시스템의 주변 섹터 기지국으로부터 상향링크 CCI를 받게 되며, WCDMA 시스템으로부터 상향링크 ACI를 받게 된다. 또한 CCI와 ACI에 적용되는 경로손실 모델은 "MS2BS" 모델이다.

다음 표 10과 11은 각각 M-WiMAX 시스템의 FRF가 1이고 WCDMA 시스템의 각 섹터 별 사용자 수가 5명인 경우와 200명인 경우에, WCDMA 상향링크가 M-WiMAX 상향링크에 미치는 간섭의 시스템 레벨 시뮬레이션 결과이다.

위 시뮬레이션 결과로부터 알 수 있는 것은, WCDMA 시스템의 상향링크가 M-WiMAX 시스템의 상향링크에 미치는 간섭의 양은 매우 미비하다는 것이다. 5 MHz 보호대역이 존재하고 두 기지국 간의 거리가 0m 이며, WCDMA 시스템의 사용자 수가 200명인 경우의 Throughput 손실은 0.63 % 정도이며 ME 손실은 0.04% 정도이다.

표 12와 13은 M-WiMAX 상향링크의 FRF가 3인 경우에 WCDMA 상향링크가 M-WiMAX 상향링크에 간섭을 미치는 경우의 시스템 레벨 시뮬레이션 결과이다. 위 시뮬레이션 결과로부터 알 수

표 12. WCDMA UL to M-WiMAX UL 간섭 분석 결과 (FRF = 3 / 간섭 사용자 수 = 5명).

	Item	Distance between M-WiMAX BS and WCDMA BS		
		0m	500m	1000m
No ACI	Throughput (kbps)	215.76	215.76	215.76
	ME	2.234499	2.234499	2.234499
w. GB	Throughput	215.66	215.68	215.72
	Throughput Loss	0.0452 %	0.0355 %	0.0184 %
	ME	2.233542	2.233819	2.234139
	ME Loss	0.0428 %	0.0304 %	0.0161 %
w.o. GB	Throughput	215.22	215.36	215.64
	Throughput Loss	0.2501 %	0.1838 %	0.0558 %
	ME	2.230461	2.230763	2.233108
	ME Loss	0.1807 %	0.1672 %	0.0623 %

표 13. WCDMA UL to M-WiMAX UL 간섭 분석 결과 (FRF = 3 / 간섭 사용자 수 = 200명).

	Item	Distance between M-WiMAX BS and WCDMA BS		
		0m	500m	1000m
No ACI	Throughput (kbps)	215.76	215.76	215.76
	ME	2.234499	2.234499	2.234499
w. GB	Throughput	211.16	213.19	213.96
	Throughput Loss	2.1304	1.1914	0.8307
	ME	2.230542	2.230728	2.232973
	ME Loss	0.1771 %	0.1688 %	0.0683 %
w.o. GB	Throughput	204.19	208.35	212.77
	Throughput Loss	5.3609 %	3.4333 %	1.3845 %
	ME	2.200461	2.201439	2.21643
	ME Loss	1.5233 %	1.4795 %	0.8086 %

있는 것은, FRF가 3인 경우에도, WCDMA 시스템의 상향링크가 M-WiMAX 시스템의 상향링크에 미치는 간섭의 양은 매우 미비하다는 것이다. 5 MHz 보호대역이 존재하고 두 기지국간의 거리가 0m 이며, WCDMA 시스템의 사용자수가 200명인 경우의 Throughput 손실은 2.13 % 정도이며 ME 손실은 0.17% 정도이다. 이는 WCDMA의 사용자수가 5명인 경우에 비해 모두 큼을 알 수 있다. 또한 두 시스템의 기지국간 거리가 1000m로 떨어져있고, 5 MHz 보호대역이 존재할 경우, FRF 1 인 경우에 Throughput 손실은 0.0038%, ME 손실은 0.0028% 이지만, FRF 3인경우의 Throughput 손실은 0.83%, ME 손실은 0.068% 이다. 이 역시 FRF 1인 경우가 WCDMA 시스템으로부터 상대적으로 간섭을 적게 받음을 알 수 있다.

4.2. M-WiMAX 시스템이 WCDMA 시스템에 미치는 간섭 영향 분석

M-WiMAX 시스템이 WCDMA 시스템에 미치는 간섭의 상황은 다음과 같이 총 네 가지이다.

- M-WiMAX 하향링크 → WCDMA 하향링크
- M-WiMAX 하향링크 → WCDMA 상향링크
- M-WiMAX 상향링크 → WCDMA 하향링크
- M-WiMAX 상향링크 → WCDMA 상향링크

본 절에서는 위와 같은 네 가지 간섭 상황에 대한 분석 결과를 언급하겠다.

WCDMA 시스템의 하향링크 송신전력은 43dBm

이므로 M-WiMAX 시스템의 상하향 송신전력보다 매우 크다. 때문에 M-WiMAX 시스템의 상향링크와 하향링크의 송신신호들은 다음 표 12와 13에서 볼 수 있듯이, WCDMA 시스템의 하향링크에 간섭을 전혀 미치지 않는다. 또한 WCDMA 상향링크 또한 M-WiMAX 시스템의 상향링크로부터는 전혀 간섭의 영향을 받지 않는다. 적용되는 경로손실 모델은 다음과 같다. 우선 M-WiMAX 시스템의 하향링크가 WCDMA 시스템의 하향링크에 간섭을 미치는 경우에는 CCI와ACI 모두 “BS2MS” 모델이 적용된다. M-WiMAX 시스템의 상향링크가 WCDMA 시스템의 하향링크에 미치는 간섭신호에 적용되는 경로손실 모델은 CCI의 경우 “BS2MS” 모델이 적용되며 ACI는 “MS2MS” 모델이 적용된다. 마지막으로 M-WiMAX 시스템의 상향링크가 WCDMA 시스템의 상향링크에 미치는 간섭신호의 경로손실 모델은 CCI와 ACI 모두 “MS2BS” 경로손실 모델이 적용된다.

표 14는 WCDMA 시스템의 하향링크 Voice 서비스가 M-WiMAX의 상하향링크로 부터 받는 간섭의 영향을 정리한 것이며, 표 15는 하향링크 Data 서비스가 받는 간섭의 영향을 정리한 것이다. 또한 표 16은 WCDMA 시스템의 상향링크 Voice 서비스

표 14. M-WiMAX UL & DL to WCDMA DL 간섭 분석 결과 (WCDMA 서비스 종류 : Voice).

	Item	Distance between WCDMA BS and M-WiMAX BS		
		0m	500m	1000m
No ACI	Throughput (kbps)	211.39	211.39	211.39
	Outage	3.704 %	3.704 %	3.704 %
w. GB	Throughput	211.39	211.39	211.39
	Throughput Loss	0.00 %	0.00 %	0.00 %
	Outage	3.704 %	3.704 %	3.704 %
	Capacity Loss	0.00 %	0.00 %	0.00 %
w.o. GB	Throughput	211.39	211.39	211.39
	Throughput Loss	0.00 %	0.00 %	0.00 %
	Outage	3.704 %	3.704 %	3.704 %
	Capacity Loss	0.00 %	0.00 %	0.00 %

표 15. M-WiMAX UL & DL to WCDMA DL 간섭 분석 결과 (WCDMA 서비스 종류 : Data).

	Item	Distance between WCDMA BS and M-WiMAX BS		
		0m	500m	1000m
No ACI	Throughput (kbps)	458.67	458.67	458.67
	Outage	10.417 %	10.417 %	10.417 %
w. GB	Throughput	458.67	458.67	458.67
	Throughput Loss	0.00 %	0.00 %	0.00 %
	Outage	10.417 %	10.417 %	10.417 %
	Capacity Loss	0.00 %	0.00 %	0.00 %
w.o. GB	Throughput	458.67	458.67	458.67
	Throughput Loss	0.00 %	0.00 %	0.00 %
	Outage	10.417 %	10.417 %	10.417 %
	Capacity Loss	0.00 %	0.00 %	0.00 %

스가 M-WiMAX의 상향링크로부터 받는 간섭의 영향을 정리한 것이며, 표 17은 상향링크 Data 서비스가 받는 간섭의 영향을 정리한 것이다.

위 시뮬레이션 결과를 살펴보면, M-WiMAX 시스템의 상하향링크가 WCDMA 시스템의 하향링크에 미치는 영향은 전무하다. 이는 M-WiMAX 시스템의 상하향링크 최대 송신전력보다 WCDMA 시스

표 16. M-WiMAX UL to WCDMA UL 간섭 분석 결과 (WCDMA 서비스 종류 : Voice).

	Item	Distance between WCDMA BS and M-WiMAX BS		
		0m	500m	1000m
No ACI	Throughput (kbps)	32.47	32.47	32.47
	Outage	10.089 %	10.089 %	10.089 %
w. GB	Throughput	32.47	32.47	32.47
	Throughput Loss	0.00 %	0.00 %	0.00 %
	Outage	10.089 %	10.089 %	10.089 %
	Capacity Loss	0.00 %	0.00 %	0.00 %
w.o. GB	Throughput	32.47	32.47	32.47
	Throughput Loss	0.00 %	0.00 %	0.00 %
	Outage	10.089 %	10.089 %	10.089 %
	Capacity Loss	0.00 %	0.00 %	0.00 %

표 17. M-WiMAX UL to WCDMA UL 간섭 분석 결과 (WCDMA 서비스 종류 : Data 서비스)

	Item	Distance between WCDMA BS and M-WiMAX BS		
		0m	500m	1000m
No ACI	Throughput (kbps)	171.20	171.20	171.20
	Outage	11.010 %	11.010 %	11.010 %
w. GB	Throughput	171.20	171.20	171.20
	Throughput Loss	0.00 %	0.00 %	0.00 %
	Outage	11.010 %	11.010 %	11.010 %
	Capacity Loss	0.00 %	0.00 %	0.00 %
w.o. GB	Throughput	171.20	171.20	171.20
	Throughput Loss	0.00 %	0.00 %	0.00 %
	Outage	11.010 %	11.010 %	11.010 %
	Capacity Loss	0.00 %	0.00 %	0.00 %

템의 기지국 최대 송신전력이 매우 크기 때문이다.

그러나 M-WiMAX 시스템이 피간섭원인 경우와 마찬가지로 M-WiMAX 시스템의 하향링크가 WCDMA 시스템의 상향링크에 미치는 간섭의 영향은 심각하다. 간섭에 적용되는 경로손실 모델은 CCI는 “MS2BS” 모델이며, ACI는 “BS2BS” 모델이다. 표 18은 WCDMA 시스템의 상향링크 Voice 서비스가 M-WiMAX 시스템의 하향링크로부터 받는 간섭의 영향을 정리한 것이며, 표 19는 동일한 환경에서 Data 서비스가 받는 간섭의 영향을 정리한 것이다.

위 시뮬레이션 결과는 M-WiMAX 시스템의 하향링크가 WCDMA 시스템의 상향링크 Voice 서비스에 미치는 간섭 영향을 나타낸 것이다. 이 경우 M-WiMAX 시스템의 기지국 최대 송신전력이 WCDMA 시스템의 단말기 최대 송신전력보다 상대적으로 매우 크기 때문에, 심각한 간섭이 유발된다. 예를 들면, 5MHz 보호대역이 존재하고, 두 기지국이 동일한 위치에 있으며, MCL이 70dB일 때 Throughput 손실은 23.4% 정도이며, Capacity 손실은 25.1% 정도이다. 모든 결과를 검토했을 때, 항상 Throughput 손실보다 Capacity 손실이 약간씩 큼을 알 수 있다. 이는 간섭에 의한 손실이 사용자들의 Outage에 좀 더 민감하게 작용한다는 것을 알 수 있다. 또한 기지국간의 거리가 커질수록 간섭의 영향은 미비해짐을 알 수 있다. 그러나 이 역시 간과할 수 없는 크기의 간섭이므로, 적응 안테나 기법 등의 간섭최소화 기법을 이용하여 간섭의 영향을

표 18. M-WiMAX DL to WCDMA UL 간섭 분석 결과 (WCDMA 서비스 종류 : Voice).

	Item	Distance between WCDMA BS and M-WiMAX BS			
		0m		500m	1000m
		50 dB	70 dB		
No ACI	Throughput (kbps)	32.47	32.47	32.47	32.47
	Outage (%)	10.089	10.089	10.089	10.089
w. GB	Throughput	14.20	24.85	28.83	30.44
	Throughput Loss (%)	56.250	23.460	11.206	6.250
	Outage (%)	61.110	33.337	22.100	16.840
	Capacity Loss (%)	56.298	25.089	12.462	6.551%
w.o. GB	Throughput	2.03	18.23	26.83	28.45
	Throughput Loss (%)	93.750	43.840	18.750	12.365
	Outage (%)	94.440	55.160	27.781	22.130
	Capacity Loss (%)	93.752	49.612	18.846	12.496

최소화 시켜야만 한다. 이 역시 M-WiMAX 시스템이 피간섭원인 경우와 마찬가지로 실질적인 상황과는 다르게 Spectrum Mask 내에 간섭원에 해당되는 시스템의 송신전력이 가득 채워져 있는 경우로 가정하였기 때문에, 보다 엄격한 Emission Mask를 사

표 19. M-WiMAX DL to WCDMA UL 간섭 분석 결과 (WCDMA 서비스 종류 : Data).

	Item	Distance between WCDMA BS and M-WiMAX BS			
		0m		500m	1000m
		50 dB	70 dB		
No ACI	Throughput (kbps)	171.20	171.20	171.20	171.20
	Outage (%)	11.010	11.010	11.010	11.010
w. GB	Throughput	42.80	117.70	149.77	160.50
	Throughput Loss (%)	75.01	31.250	12.518	6.250
	Outage (%)	77.786	38.891	22.230	16.675
	Capacity Loss (%)	75.037	31.330	12.608	6.365
w.o. GB	Throughput	0.00	74.90	128.40	149.79
	Throughput Loss (%)	100.00	56.250	25.00	12.505
	Outage (%)	100.00	61.124	33.498	23.156
	Capacity Loss (%)	100.00	56.314	25.271	13.648

용하여 실질적인 시스템 간 간섭분석의 Worst-case 결과이다.

Data 서비스에 미치는 간섭 영향을 분석한 경우에도 심각한 간섭이 유발된다. 특히, Data 서비스의 경우 Voice 서비스보다 간섭에 더 민감하다는 것을 알 수 있다. 예를 들면, 5MHz 보호대역이 존재하고, 두 기지국이 동일한 위치에 있으며, MCL이 70dB일 때 Data 서비스와 Voice 서비스의 Throughput 손실은 각각 31.2%와 23.4% 정도이며, Capacity 손실은 각각 31.3%와 25.1% 정도이다.

V. 결론

본 논문에서는 2.6 GHz 대역에서 WCDMA 시스템과 M-WiMAX 시스템이 서로에게 미치는 간섭의 영향을 분석한다. 특히, 간섭원 시스템의 하향링크가 피간섭원 시스템의 상향링크에 미치는 간섭의 양은 매우 컸으며, M-WiMAX 시스템이 피간섭원인 경우가 WCDMA 시스템이 피간섭원인 경우보다 상대적으로 훨씬 컸다. 이는 M-WiMAX 시스템의 최대 송신전력이 WCDMA보다 상대적으로 작기 때문이다. 그리고 본 논문에서는 실질적인 상황과는 다르게 Spectrum Mask 내에 간섭원에 해당되는 시스템의 송신전력이 가득 채워져 있는 경우로 가정하였기 때문에, 보다 엄격한 Emission Mask를 사용하여 실질적인 시스템 간 간섭분석의 Worst-case 결과로 볼 수 있다.

M-WiMAX 시스템의 상향링크가 피간섭원인 경우에, FRF 가 3인 경우가 1인 경우보다 더 간섭에 민감하다. 이는 각 섹터당 사용할 수 있는 자원의 양이 적어짐으로써 간섭의 영향을 피해 동적 자원 할당을 수행할 수 있는 여지가 적어지기 때문이다. 그리고 WCDMA 시스템이 피간섭원인 경우에는 Data 서비스가 Voice 서비스보다 간섭에 더 민감하다. 이는 Data 서비스의 Target PER 이 0.1% 로써 Voice 서비스의 1% 보다 더 작기 때문이다. 본 논문의 간섭 분석 결과는 시스템 전반의 성능 분석과 주어진 성능을 보장하기 위한 적응 안테나 기술과 보호대역의 크기 등에 따른 ACIR에 관한 요구사항 등을 정립하여 미래의 다양한 계층적 구조의 Cell Planning 을 위한 기반기술로 활용가능하다.

부록

본 절에서는 앞서 언급하였던 다양한 경로 손실

모델들을 소개한다^{5,17)}. 본 논문에서 적용된 경로 손실 모델은 총 세 가지이며, 간섭 환경에 따라 다른 경로 손실 모델이 적용된다. 우선 첫 번째 경로 손실 모델은 “BS2MS (MS2BS)” 모델이며, 세 가지 경우에 따라 ITU-R M.1225 의 Free Space 모델을 적용하거나, ITU-R M.1225 의 Vehicular 모델을 적용한다. 우선 간섭원과 피간섭원 간의 거리가 100m를 초과하는 경우에는 ITU-R M.1225 Vehicular 모델을 적용하며, 다음 식 (14)와 같다.

$$L_{veh}(dB) = (40 - (1 - 4 \times 10^{-3} \Delta h_b)) \cdot \log_{10} R - 18 \cdot \log_{10}(\Delta h_b) + 21 \cdot \log_{10} f + 80 \quad (14)$$

위 식에서 Δh_b 는 기지국의 안테나 높이와 주변 건물의 평균 높이와의 차이이며, 6m로 설정된다. R 은 수평면에서 간섭원과 피간섭원과의 거리이며, f 는 중심주파수이다.

간섭원과 피간섭원간의 거리가 30m 이내인 경우에는 ITU-R M.1225 의 Free Space 모델이 적용되며, 다음 식 (15)와 같다.

$$L_{free}(dB) = 20 \cdot \log f + 20 \cdot \log d + 32.44 \quad (15)$$

위 식에서 d 는 간섭원과 피간섭원 간의 거리이다. 마지막으로 간섭원과의 거리가 30m를 초과하고 100m 이내인 경우에는 확률적으로 LOS (Line of Site)인 경우를 구해 LOS 일 확률에는 Free Space 모델을 적용하며, NLOS 일 확률에는 Vehicular 모델을 적용한다. 확률 모델은 다음 식 (16)과 같다.

$$P(LoS) = \begin{cases} 1 & R \leq R_1 \\ \frac{R_2 - R}{R_2 - R_1} & R_1 < R < R_2 \\ 0 & R \geq R_2 \end{cases} \quad (16)$$

위 식에서 R_1 은 30m 이며, R_2 는 100m 이다.

두 번째 경로 손실 모델은 “BS2BS” 모델이며 Dual Slope LOS 모델을 적용한다.

$$L(dB) = \begin{cases} 40.7 + 20 \log_{10}(d) \\ 40.7 - 20 \log_{10}(d_{break}) + 40 \log_{10}(d) \end{cases} \quad (17)$$

$$d_{break} = \frac{4 \cdot h_{Tx} \cdot h_{Rx}}{\lambda} \quad (18)$$

위 식 (18)에서 h_{Tx} 와 h_{Rx} 는 각각 간섭원과 피간

섭원의 안테나 높이로써 둘 다 6m로 정한다. 그리고 λ 는 파장이다. 식 (17)의 첫 번째 수식은 간섭원과 피간섭원 간의 거리 d 가 d_{break} 보다 작고, 1보다 큰 경우에 적용되며, 두 번째 수식은 d 가 d_{break} 보다 큰 경우에 적용되는 모델이다.

마지막 세 번째 경로 손실 모델은 “MS2MS” 모델이며 간섭원과 피간섭원 간의 거리가 1m 이내인 LOS 경우에는 Free Space 모델을 적용하고, 50m 이상인 NLOS 경우에는 식 (19)의 Add to Diffraction Terms to the Free Space 모델을 적용한다. 또한 1m와 50m 사이에 위치한 경우에는 다음 식(20)과 같이 LOS인 경우의 확률을 구한다.

$$L = -10 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 - 10 \log \left[\frac{\lambda}{2\pi^2 r} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta} \right)^2 \right] - 10 \log \left[\left(\frac{d}{2\pi R} \right)^2 \frac{\lambda}{\sqrt{(\Delta h_m)^2 + d^2}} \left(\frac{1}{\phi} - \frac{1}{2\pi + \phi} \right)^2 \right] \quad (19)$$

위 식에서 d 는 간섭원과 피간섭원 간의 거리, R 은 수평면에서 간섭원과 피간섭원과의 거리, Δh_b 는 기지국의 안테나 높이와 주변 건물의 평균 높이와의 차이, Δh_m 은 단말의 안테나 높이와 주변 건물의 평균 높이와의 차이, x 는 단말과 가장자리 회절과의 거리, $r = \sqrt{(\Delta h_m)^2 + x^2}$, $\theta = \tan^{-1}(|\Delta h_m|/x)$ 이며, $\phi = \tan^{-1}(|\Delta h_b|/d)$ 이다.

$$P(LoS) = \begin{cases} 1 & R \leq R_1 \\ \frac{R_2 - R}{R_2 - R_1} & R_1 < R < R_2 \\ 0 & R \geq R_2 \end{cases} \quad (20)$$

위 식에서 R_1 은 30m 이며, R_2 는 50m 이다.

이상과 같은 세 가지 경로손실 모델을 본 논문에서는 간섭환경에 따라 다르게 적용하였으며, 이로 인해 좀 더 실제 상황과 같은 환경하에서 M-WiMAX 시스템과 WCDMA 시스템간의 상호 간섭을 분석하였다.

참 고 문 헌

- [1] ITU WiMAX Forum WP8F-1-E, Aug. 2006.
- [2] ITU WiMAX Forum WP8F-2-E, Aug. 2006.
- [3] 3GPP, “Base Station (BS) Radio Transmission and Reception (FDD)”, 3GPP TS 25.104 Version 7.4.0, June 2006.

- [4] 3GPP, "User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception (FDD)", 3GPP TS 25.101 Version 7.4.0, June 2006.
- [5] ITU Spectrum SWG Sharing Studies WP8F 391-E, May 2006.
- [6] Report & Order & Further Notice of proposed Rulemaking, FCC-04-135 A1, July 2004.
- [7] Report ITU-R M.2039, "Characteristics of terrestrial IMT-2000 systems for frequency sharing/interference analyses", Report ITU-R M.2039, Jan. 2004.
- [8] Report ITU-R M.2030, "Coexistence between IMT-2000 time division duplex and frequency division duplex terrestrial radio interface technologies around 2MHz operating in adjacent bands and in the same geographical area.", Jan. 2003.
- [9] ITU-R SM.1541, "Unwanted emission in the out-of-band domain", Jan. 2002.
- [10] ERC Report 101 A comparison of the Minimum Coupling Loss Method, Enhanced Minimum Coupling Loss Method and the Monte-Carlo Simulation, May 1999.
- [11] 3GPP R1-030042, Update of OFDM SI Simulation Methodology, Jan. 2003.
- [12] 802.20 Evaluation Criteria, Ver.1.0, Sept. 2005.
- [13] cdma2000 Evaluation Methodology, Revision 0, Dec. 2004.
- [14] CDG Evolution Study Report, Revision 4.00, Dec. 1999.
- [15] 3GPP2 TSG-C.R1002, 1xEV-DV Evaluation Methodology, Ver.13.1, July 2001.
- [16] Recommendation ITU-R M.1225 Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000, 1997.
- [17] I.S. Cha, S.H. Park, and K.H. Chang, "Cell radius & guard band requirements by mutual interference investigation between satellite digital multimedia broadcasting systems using gap-filler," in *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf.* - Spring, May. 2005, pp. 522-526.

고 상 준 (SangJun Ko)

준회원



2005년 2월 인하대학교 GIS 공학 (공학사)
 2007년 2월 인하대학교 정보통신 대학원 (공학석사)
 2007년 3월~현재 LG 전자 단말 연구소
 <관심분야> 4세대 이동통신 시스템, Cognitive Radio, WiBro 시스템 무선 전송규격, Dynamic Resource Allocation

왕 우 봉 (YuPeng Wang)

준회원



2004년 7월 동북대학교 통신공학과 (공학사)
 2006년 7월 인하대학교 정보통신대학원 (공학석사)
 2006년 9월~현재 인하대학교 정보통신대학원 박사과정
 <관심분야> 3GPP LTE 시스템,

Radio Resource Management, MIMO Technique, UWB

장 경 희 (KyungHi Chang)

종신회원



1985년 2월 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1987년 2월 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1992년 8월 Texas A&M Univ., EE Dept. (Ph.D.)
 1989년~1990년 삼성종합기술원

주임연구원

1992년~2003년 한국전자통신연구원, 이동통신연구소 무선전송방식연구팀장 (책임연구원)

2003년~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수

<관심분야> 4세대 이동통신 및 3GPP LTE 무선전송방식, WMAN 및 DMB 시스템 무선전송기술, Cognitive Radio, Cross-layer Design, Cooperative Relaying System