ISSN 1598-0170 (Print)
ISSN 2287-1136 (Online)
http://www.jksii.or.kr

이기종 네트워크를 구성하는 무선접속 기술간 주파수 이격 분석☆

On Frequency Separation among Radio Access Technologies in Heterogeneous Networks

이 경 재[1] 조 한 신[1*]
Kyoung-Jae Lee Han-Shin Jo

요 약

본 논문에서는 이기종 네트워크를 구성하는 대표 무선접속 기술인 WiMAX, CDMA, 무선랜 간의 주파수 공유 분석을 수행하였다. 3가지 접속기술은 각기 다른 주파수 대역을 사용하지만 대역외 방사특성으로 인해 타 무선접속 기술에 간섭을 일으킬 수 있다. 따라서 간섭 허용기준을 만족하기 위한 최소 인접채널 간섭률을 산출하고 이를 바탕으로 간섭/피간섭 시스템간의 최소 주파수 이격(보호대역)을 산출하였다. 분석 결과 WiMAX와 무선랜 간에는 적어도 20 MHz의 보호대역, WiMAX와 CDMA시스템 간에는 적어도 15 MHz의 보호대역이 필요함을 확인하였다.

☞ 주제어 : 이기종 네트워크, 다중 무선접속 방식, 인접채널 간섭율, 보호대역, 결정적 계산법

ABSTRACT

In this paper, we study the coexistence of typical radio access technologies (WiMAX, CDMA, WLAN) in heterogeneous networks. Although the radio accesses employ different frequency band, they can interfere with each other due to out-of- band emission. We compute the minimum adjacent channel interference ratio (ACIR) to satisfy the allowable level of interference, and the resulting minimum frequency separation (guard band) between interfering and victim system. We observe that WiMAX-WLAN coexistence and WiMAX-CDMA coexistence are feasible with at least 20 MHz and 15 MHz guard bands, respectively.

☞ keyword : Heterogeneous networks, Multiple radio access technology, Adjacent channel interference ratio, Guard band, deterministic calculations

1. 서 론

기존의 무선 네트워크는 각기 고유의 단일 무선접속 기술을 기반으로 개발 및 운영되어 왔으며, 이에 따라 무선접속 기술의 발전에 따라 그 세대가 구분되었다[1]. 대표적인 무선네트워크인 셀룰러 네트워크의 경우 1세대 AMPS, 2세대 GSM/IS-95, 3세대 UMTS/CDMA2000, 4세대 LTE/WiMAX 등의 무선접속기술로 구분이 된다[2]. 그 밖에 무선랜, 블루투스, Zigbee, UWB 등 다양한 무선접속 기술이 발전해 왔다. 각 무선접속 기술은 고유의 무선통신 서비스 형태에 적합하도록 발전되어 왔다. 반면 현재 또는 향후의 무선통신 서비스는 기존의 각기 고유한 서비스가 공존하는 형태로 진화하고 있기 때문에, 이를 지원하기 위하여 기존의 다양한 무선접속기술이 공존하는 형태의 네트워크, 즉 이기종 네트워크의 필요성이 증가하고 있다.

이기종 네트워크를 위한 핵심기술 중의 하나는 다양한 무선접속기술을 동일 시간에 운영하여 각 사용자에게 적합한 무선접속환경을 제공하는 것이다. 이를 위해 각 무선접속기술은 동일 시간에 다른 주파수 대역을 사용하여 데이터를 전송해야 하고 대역간의 간섭전력이 최소화되어야 한다. 기존의 관련 연구들은 주로 각 시스템이 사용가능한 주파수 채널후보들은 결정되어있다는 가정 하에 인접채널 또는 동일채널 간섭을 효율적으로 회피하는 채널할당 방식을 제안하였다[3,4]. 또한 최근에는 5GHz Wi-Fi 대역에서 LTE 서비스를 제공하기 위해 LTE 시스템의 일부 서브프레임을 선택적으로 사용하지 않는 방법이 제안되었다[5]. 그리고 다중안테나를 이용하여 간섭채

[1] Dept. of Electronics & Control Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 305-719, Korea.
* Corresponding author (hsjo@hanbat.ac.kr)
[Received 26 April 2015, Reviewed 27 April 2015, Accepted 10 November 2015]
☆ 본 연구는 국방과학연구소 국방전파자원 특화 연구실의 지원을 받아 수행되었음. 2015년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (No. 2013R1A1A1005731) 지원으로 수행되었습니다.

널 정보에 기반하여 공간적으로 간섭을 제거하는 기술이 레이더와 LTE 시스템간의 주파수 공유를 위해 제안되었다[6]. 이러한 기술은 동일채널을 두 시스템이 효율적으로 공유하는 것을 목적으로 한다.

이와는 관점을 달리하여, 본 연구에서는 이기종 네트워크를 위한 주파수 관리 및 할당에 초점을 맞추어, 각기 다른 시스템간의 효율적인 인접채널 할당을 위한 보호대역 산출을 목표로 한다. 이는 새로운 시스템을 위한 주파수할당 작업을 위한 사전 주파수 공유가능성 연구로서 그 방법이 매우 간단하지만 필수적으로 요구되는 매우 중요한 업무 중의 하나이다.

이기종 서비스 대역간의 보호대역 설정을 통해 간섭을 억제할 수 있으나. 이는 제한된 주파수 자원의 이용효율을 저하시킬 수 있다. 따라서 주파수 이용효율을 높임과 동시에 간섭전력도 적절한 수준으로 유지하며 다수의 무선접속기술이 주파수를 공유하기 위한 보호대역 및 시스템 변수의 결정에 대한 연구가 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 대표적인 무선접속기술인 WiMAX, 무선랜, CDMA시스템을 동시에 운영하는 이기종 네트워크를 고려하였다. WiMAX와 무선랜은 대표적인 다중반송파 시스템의 간섭영향을 분석하기 위해 선정 하였다. CDMA 시스템은 OFDMA 시스템으로 대체되고 있지만 단일주파수를 이용하는 대표적인 기술이므로 본 연구에 적용하였다. 세 가지 시스템의 주파수 공유 분석을 위해 다음 과정을 수행하였다. 첫째 산술계산에 기반한 결정적 모델을 이용하여 피간섭 수신기에서의 간섭전력을 계산한다. 간섭 전력은 송신 전력, 안테나 이득, 송수신 필터 특성과 같은 시스템 변수와 간섭원/피간섭원 간의 주파수 및 거리 이격에 의해 결정된다. 둘째, 피간섭원이 허용가능한 최대간섭전력 값을 설정한다. 해당 값은 열잡음의 세기에 대한 상대적인 크기로 주어진다. 셋째, 최대간섭전력을 만족하기 위해 필요한 간섭전력의 감소량을 산출하고 이를 바탕으로 적절한 주파수 이격을 산출한다.

2. 주파수 공유분석 방법론

동일한 주파수 대역을 사용하지 않더라도 간섭을 주는 시스템의 대역 외 방사(out-of-band emission)및 간섭을 받는 시스템의 차단 특성(receiver blocking), 혼변조(intermodulation)등에 의해 간섭이 발생하게 된다. 따라서 대역외방사, 차단 특성, 혼변조의 제한을 통해 간섭신호의 억제가 가능하다. 그러나 무선통신시스템의 수신신호와 간섭신호는 다양한 변수에 의해 변하는 랜덤과정(random process)이기 때문에 간섭의 확률을 구하기 위해 간섭이 발생하는 상황에 대한 통계적 모델이 필요하다.

간섭 영향을 분석하는 방법으로는 결정적 (deterministic) 계산방법[7]과 Monte-Carlo 시뮬레이션 방법[8-11]이 있다. 결정적 계산방법은 산술계산을 통해 간섭전력을 간단히 계산할 수 있다. 반면 전력제어와 같은 시스템의 실시간적인 변화를 반영할 수 없기 때문에 간섭전력이 가장 강한 최악의 경우를 가정하여 계산한다. 이러한 보수적인 접근방법은 주파수 이용효율의 향상보다는 간섭에 대한 보호를 최우선으로 하는 시스템간의 주파수 공유분석에 주로 활용된다. 따라서 본 연구에서
는 결정적 간섭분석 방법을 이용한다.

(표 1) 공유 분석 예제에 적용된 시스템 변수
(Table 1) System parameters for an example of coexistence analysis

입력변수	기호	값
간섭원 출력 전력	P	40 dBm
간섭원 송신안테나 이득	Gt	15 dBi
간섭원 ACLR	ACLR	70 dB
피간섭원 수신 잡음 수준	Pn	-103 dBm
피간섭원 수신 안테나 이득	Gr	15 dBi
피간섭원 ACS	ACS	46 dB
최대허용 간섭 대 잡음비	I/N	-6 dB

2.1 결정적 간섭분석 방법

인접 대역 간섭의 영향을 분석하는 방법 중 결정적 방법은 인접 대역 간섭 신호를 가우시안 분포로 모델링하여 간섭 신호가 수신기의 열잡음을 증가시킨다는 가정하에 수신기에 미치는 영향을 분석하는 방법이다. 이 방법을 사용하면 인접 대역 간섭률이 주어졌을 때 필요한 이격거리 및 송수신기 사이의 보호 영역이 주어졌을 때 필요한 인접 대역 간섭비를 구할 수 있다.

본 장에서는 결정적 방법에 구체적인 이해를 위해 FDD기지국이 TDD기지국에 간섭을 미치는 경우에 요구되는 기지국 간의 이격거리 및 인접대역 간섭률을 구하는 예제를 활용한다. 표 1은 예제에 적용한 시스템 변수[12]를 나타낸다.

2.2 인접채널 간섭률(ACIR)

인접채널 간섭률 (Adjacent channel interference ratio, ACIR)은 피간섭원 대역에서의 간섭전력에 대한 간섭원

송신전력의 비율을 의미한다. 이는 주파수 이격과 간섭원 송신필터의 대역외방사 특성, 그리고 피간섭원 수신필터의 선택도(selectivity)에 의해 결정된다. 인접채널 간섭률은 다음과 같이 계산한다.

$$ACIR = 10\log_{10}\left(\frac{1}{\frac{1}{10^{ACLR/10}}+\frac{1}{10^{ACS/10}}}\right) = 10\log_{10}\left(\frac{1}{\frac{1}{10^{70/10}}+\frac{1}{10^{46/10}}}\right) = 46 \quad (1)$$

위 식에서 ACLR(Adjacent channel leakage ratio)은 인접채널 누수율로서 송신필터의 대역외방사 특성을 나타내는 지표다. 또한 ACS(Adjacent channel selectivity)는 인접채널선택도로서 피간섭원 수신필터의 대역외신호 차단 특성을 나타낸다. 결과적으로 ACIR이 큰 경우 피간섭원 대역 내에 존재하는 간섭원의 송신전력은 감소한다. 따라서 송수신필터 특성이 우수하고 두 시스템간의 주파수 이격이 증가할수록 피간섭원 수신기에 도달하는 간섭전력은 감소하게 된다.

2.3 허용 가능한 최대 간섭전력 ($I_{\max}$)

결정적 계산법은 간섭 신호를 가우시안 분포를 갖는 열잡음과 동일한 특성을 갖는다고 가정한다. 따라서 피간섭원 수신기에서 허용가능한 간섭전력 또한 열잡음전력에 대한 비율(I/N)로 정의한다. 표 1에서 수신기의 열잡음이 -98 dBm이고 I/N이 -6 dB 이므로 $I_{\max}$는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$I_{\max} = I/N + N = -6 - 108 = -114\,dBm \quad (2)$$

2.4 최소 요구 경로손실

피간섭원에서의 간섭전력의 세기는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$I = P + Gt + Gr - PL - ACIR \quad (3)$$

여기서 PL은 간섭원이 발생하는 신호가 피간섭원에 도달할 때 까지 발생하는 경로손실을 의미한다. 피간섭원에서의 간섭전력은 허용 가능한 최대 간섭전력 보다 작아야한다. 즉 $I \le I_{\max}$이다. 따라서 PL은 아래와 같은 관계를 갖는다.

$$P + Gt + Gr - PL - ACIR < I_{\max} \quad (4)$$

$$PL > P + Gt + Gr - ACIR - I_{\max} \quad (5)$$

최종적으로 최소 요구 경로손실은 다음과 같다.

$$PL_{\min} = P + Gt + Gr - ACIR - I_{\max} = 40 + 15 + 15 - 46 - 114 = 138\,dB \quad (6)$$

2.5 최소이격거리

위에서 구한 최소 요구 경로손실 값을 경로손실 모델에 적용하여 피간섭원이 허용 가능한 최대 간섭전력보다 적은 간섭전력을 겪기 위한 최소이격거리를 산출할 수 있다. 본 예제에서는 다음 식으로 정의되는 2-ray 지면반사 경로손실 모델[13]을 적용하였다.

$$PL_{\min} = \begin{cases} 40.7 + 20\log_{10}(d_{\min}) & 1 \le d_{\min} \le R_{bp} \\ 40.7 - 20\log_{10}(R_{bp}) + 40\log_{10}(d_{\min}) & d_{\min} \ge R_{bp} \end{cases} \quad (7)$$

여기서 R_{bp}는 break지점으로 이격거리가 break지점보다 작은 경우 경로손실지수는 2이며, 큰 경우 경로손실지수는 4이다. 본 예제에서 break지점의 거리가 1248 m 일 경우 이 지점에서의 경로 손실은 식(7)에 의해 102.6 dB 이다. 이 값은 식(6)에서 구한 138 dB보다 작기 때문에 식(7)중 아래 식을 이용하여 다음과 같이 최소이격거리를 계산할 수 있다.

$$103 = 40.7 - 20\log_{10}1248 + 40\log_{10}d_{\min} \Rightarrow d_{\min} = 9541\,m \quad (8)$$

2.6 최소요구 ACIR 계산

만약 이격거리가 주어지고 요구 ACIR을 계산하는 경우 다음 과정을 이용한다.

$$ACIR \ge P + Gt + Gr - PL - I_{\max} \quad (9)$$
$$ACIR_{\min} = P + Gt + Gr - PL - I_{\max}$$

이격거리가 100m일 때 최소요구 ACIR은 다음과 같다.

$$ACIR_{\min} = 40 + 15 + 15 - (40.7 + 20\log_{10}100) + 114 = 103.3\,dB \quad (10)$$

Ⅲ. 간섭시나리오 및 시스템 변수

표 2와 3은 본 연구에서 고려한 WiMAX, 무선랜, CDMA 시스템간 간섭시나리오이다. 일반적으로 무선랜은 2.4 GHz 대역, WiMAX는 2.3 GHz 대역, CDMA 시스템은 2.3 GHz 이하 대역을 사용하고 있다. 따라서 주파수 이격이 충분히 넓은 무선랜과 CDMA 간의 간섭은 고려하지 않았다. 무선랜은 주로 실내에 위치하며, WiMAX와 CDMA는 실외에 위치한다고 가정할 수 있다. 따라서 WiMAX와 무선랜 간의 경로손실을 계산하기 위해 ITU에서 제안한 outdoor-to-indoor 모델[14]을 이용하였다.

$$PL = 40\log_{10}d + 30\log_{10}f + 49 \quad (11)$$

위 식에서 d는 송수신기 간의 거리, f는 주파수를 의미한다.

일반적으로 WiMAX와 CDMA기지국은 빌딩 위나 높은 탑 위에 설치되므로 두 시스템 간에는 가시영역(line-of-sight, LOS)이 확보된다고 가정하여 2-ray 지면반사 모델을 적용하였다. 또한 이동국간에도 가시영역이 확보된다고 가정하여 2-ray 지면반사 모델을 적용하였다. 실제로 기지국 또는 이동국 간에 LOS가 확보되지 않는 경우도 존재한다. 따라서 본 연구는 간섭전력이 최대인 최악의 상황을 가정하였다. 기지국과 이동국 간에는 보편적으로 사용되고 있는 modified Hata[15]모델을 적용하였다.

(표 2) WiMAX/무선랜 간섭시나리오 및 경로손실 모델
(Table 2) WiMAX/WLAN Interference scenario and path loss

간섭원	피간섭원	경로손실모델
WiMAX BS	WLAN AP	Outdoor-to-indoor
WLAN AP	WiMAX BS	
WiMAX BS	WLAN MS	
WLAN AP	WiMAX MS	
WiMAX MS	WLAN AP	
WLAN MS	WiMAX BS	
WiMAX MS	WLAN MS	
WLAN MS	WiMAX MS	

(표 3) WiMAX/CDMA간 간섭시나리오
(Table 3) WiMAX/CDMA Interference scenario

간섭원	피간섭원	경로손실모델
WiMAX BS	CDMA BS	2-ray model (LOS)
CDMA BS	WiMAX BS	
WiMAX BS	CDMA MS	Modified Hata
CDMA BS	WiMAX MS	2-ray model (LOS)
WiMAX MS	CDMA BS	
CDMA MS	WiMAX BS	
WiMAX MS	CDMA MS	
CDMA MS	WiMAX MS	

표 4, 5, 6에는 각 시스템 변수를 정리하였다. 이는 ITU문서에 정리된 표준 값을 바탕으로 한다. 매크로셀용 WiMAX, CDMA기지국을 고려하였기 때문에 두 기지국의 최대송신전력은 43 dBm으로 무선랜 AP의 최대송신전력보다 매우 높다. 제 II장에서 설명한 ACIR을 계산하기 위해 필요한 각 시스템의 스펙트럼 마스크는 그림 1, 2, 3에 나타내었다. 무선랜은 AP와 이동국 모두 동일한 스펙트럼 마스크를 가정하였다.

(표 4) WiMAX 시스템 변수
(Table 4) WiMAX system parameters

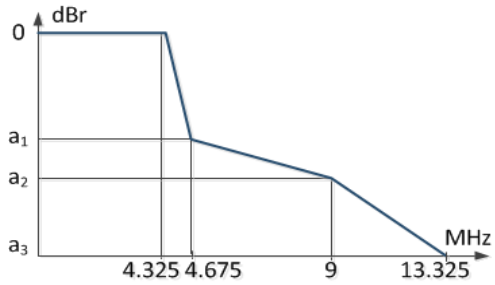
	Base station	Mobile station
Antenna gain [dBi]	15	0
Max transmit power [dBm]	43	22
Antenna height [m]	30	1.5
Noise figure [dB]	7	7
Bandwidth [MHz]	10	10
Noise floor [dBm]	-104	-104
I/N [dB]	-6	-6
Maximum allowable interference [dBm]	-103	-103

(표 5) 무선랜 시스템 변수
(Table 5) WLAN system parameters

	Access point	Mobile station
Antenna gain [dBi]	6	0
Max transmit power [dBm]	15	23
Antenna height [m]	6	1.5
Noise figure [dB]	14	14
Bandwidth [MHz]	20	20
Noise floor [dBm]	-101	-101
I/N [dB]	-6	-6
Maximum allowable interference [dBm]	-93	-93

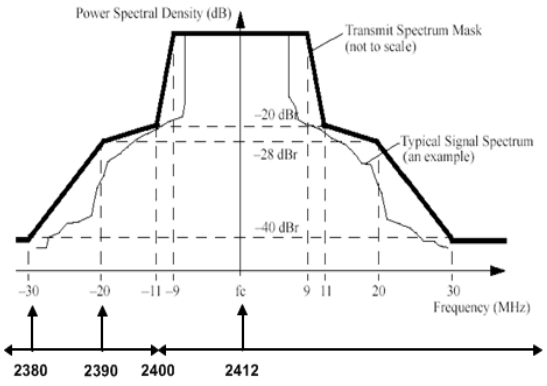
(표 6) CDMA 시스템 변수
(Table 6) CDMA system parameters

	Base station	Mobile station
Antenna gain [dBi]	11	0
Max transmit power [dBm]	43	23
Antenna height [m]	30	1.5
Noise figure [dB]	9	5
Bandwidth [MHz]	1.5	1.5
Noise floor [dBm]	-113	-113
I/N [dB]	-6	-6
Maximum allowable interference [dBm]	-110	-114

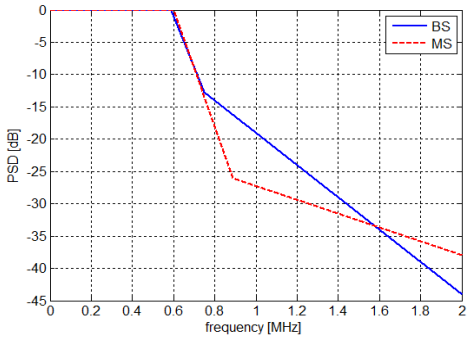


	a1	a2	a3
BS 송신 mask (for downlink)	-46	-52	-80
MS 송신 mask (for uplink)	-45	-51	-80

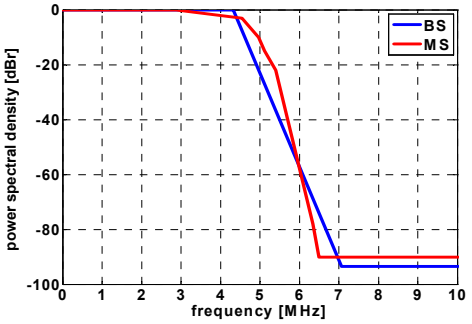
(그림 1) WiMAX 송신 스펙트럼 마스크
(Figure 1) spectrum mask of WiMAX transmitter



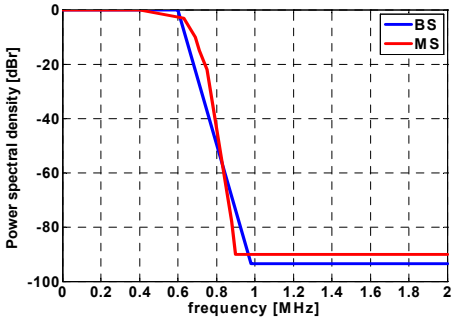
(그림 2) WLAN (802.11g) 송신 스펙트럼 마스크
(Figure 2) spectrum mask of WLAN (802.11g) transmitter



(그림 3) CDMA 기지국 송신 스펙트럼 마스크
(Figure 3) spectrum mask for the transmitter of CDMA base station



(그림 4) WiMAX 수신 필터 특성
(Figure 4) Receiving filter mask of WiMAX



(그림 5) CDMA 수신 필터 특성
(Figure 5) Receiving filter mask of CDMA

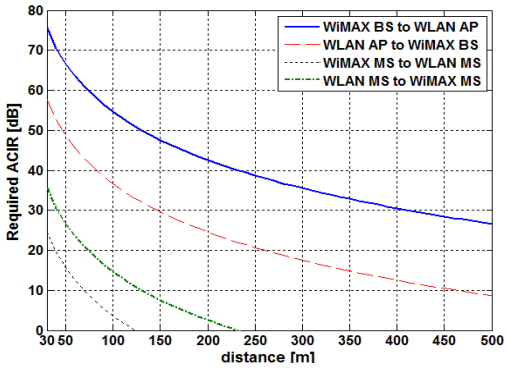
Ⅳ. 계산결과

두 시스템이 동시에 운영되기 위한 최소 허용 간섭 전력은 주파수 이격과 거리 이격에 의해 결정된다. 따라서 본 논문에서는 거리 이격에 따른 최소요구 ACIR을 산출

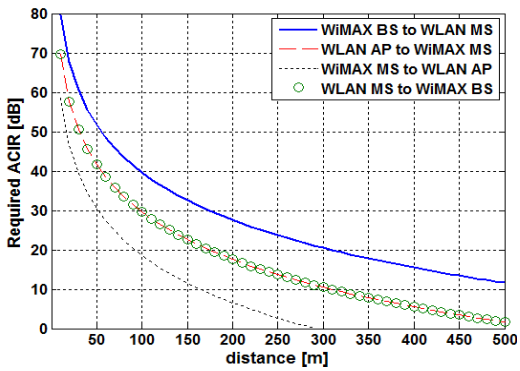
한다. 최소요구 ACIR 결과는 그림 1, 2, 3의 스펙트럼 마스크와는 무관하게 계산되는 값임을 유의할 필요가 있다. 또한 ACIR은 시스템의 송수신 스펙트럼 마스크와 주파수 이격의 함수이므로, 최소요구 ACIR 값으로부터 시스템의 스펙트럼 마스크(그림 1, 2, 3)를 이용하여 최소요구 주파수 이격, 즉 보호대역을 산출한다. 그림 1, 2, 3에 제시된 스펙트럼 마스크를 적용한 보호대역 값만을 산출할 경우 시스템의 스펙트럼 마스크 및 대역제한 필터 특성이 변경되는 경우에 대한 적용이 불가능하다. 반면 최소요구 ACIR 값은 해당특성이 변경되는 경우에도 적용이 가능할 뿐만 아니라, 두 시스템의 인접채널 사용을 위해 추가적으로 요구되는 간섭전력의 감소량을 제공하기 때문에 간섭 분석에 매우 유용한 지표라고 할 수 있다.

1. 최소요구 ACIR

그림 6, 7은 WiMAX와 무선랜 시스템을 위해 요구되는 ACIR결과를 보여준다. 그림 6는 기지국간의 간섭 상황 및 이동국 간의 간섭 상황에 대한결과다. 간섭전력이 최대이기 때문에 요구되는 ACIR 또한 최대인 경우는 WiMAX기지국이 간섭원이고 무선랜 AP가 피간섭원인 “WiMAX BS to WLAN AP”경우이다. 이는 WiMAX 기지국의 송신전력이 매우 높고 두 시스템의 안테나 이득 또한 매우 높기 때문이다. 반면 간섭원이 WiMAX 이동국이고 피간섭원이 WLAN 이동국인 “WiMAX MS to WLAN MS”경우 가장 간섭전력이 약하기 때문에 요구되는 ACIR 또한 최소값을 갖는다.

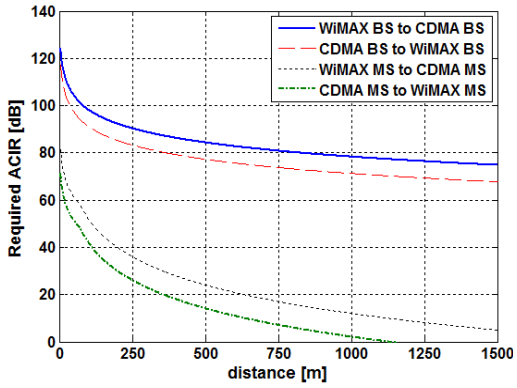


(그림 6) 최소 인접채널간섭률 (WiMAX 기지국과 무선랜 AP, WiMAX 이동국과 무선랜 이동국)
(Figure 6) Minimum required ACIR (between WiMAX BS and WLAN AP, between WiMAX MS and WLAN MS)

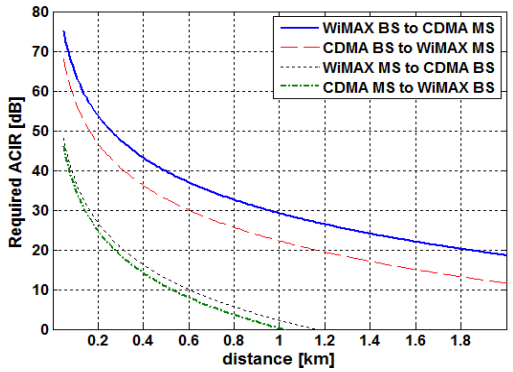


(그림 7) 최소 인접채널간섭률 (WiMAX 기지국과 무선랜 이동국, WiMAX 이동국과 무선랜 AP)
(Figure 7) Minimum required ACIR (between WiMAX BS and WLAN MS, between WiMAX MS and WLAN AP)

그림 8과 9는 WiMAX와 CDMA 시스템을 위해 요구되는 ACIR값을 나타낸다. 그림 6은 기지국간의 간섭 및 이동국간의 간섭에 대한 결과로 2-ray 지면반사 모델이 적용되었다. 식(7)에서 볼 수 있듯이 2-ray 지면반사 모델은 break지점이후 경로손실이 급격히 감소한다. 따라서 이동국 간의 경로에서 break지점인 69 m이후로 요구 ACIR이 더욱 급격히 감소함을 확인할 수 있다. 반면, 기지국 간의 경로에 서 break지점은 27.6 km이므로 급격한 ACIR 감소는 관찰되지 않는다.



(그림 8) 최소 인접채널간섭률 (WiMAX 기지국과 CDMA 기지국, WiMAX 이동국과 CDMA 이동국)
(Figure 8) Minimum required ACIR (between WiMAX BS and CDMA BS, between WiMAX MS and CDMA MS)



(그림 9) 최소 인접채널간섭률 (WiMAX 기지국과 CDMA 기지국, WiMAX 이동국과 CDMA 이동국)
(Figure 9) Minimum required ACIR (between WiMAX BS and CDMA BS, between WiMAX MS and CDMA MS)

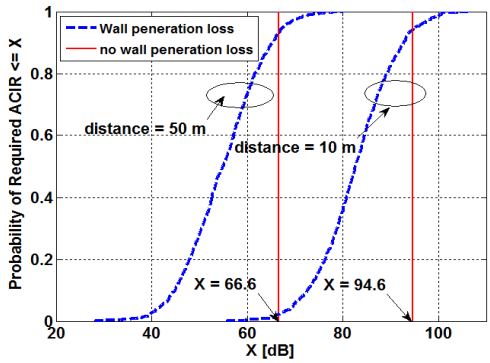
(표 7) 고정 이격거리에 대한 요구보호대역
(Table 7) Required guard band for a given separation distance

간섭원	피간섭원	기준 이격거리 (m)	보호대역폭 (MHz)
WLAN AP	WiMAX BS	30	20
WLAN MS	WiMAX MS	5	20
		20	18
WiMAX BS	CDMA BS	30	15
CDMA MS	WiMAX BS	50	13
		100	10

그림 6와 7의 결과와 동일하게 기지국간에 가장 높은 ACIR이 요구된다. 그림 6와 7에서 볼 수 있듯이 WiMAX와 무선랜 경우 송신전력과 안테나 이득이 가장 작은 이동국간 간섭시나리오에 대해 최소의 ACIR이 요구된다. 반면 WiMAX와 CDMA 경우 그림 9에 도시된 CDMA이동국(간섭원)과 WiMAX BS(피간섭원)간섭 시나리오가 가장 작은 ACIR을 요구한다. 이는 이동국간의 간섭시나리오는 가시영역을 가정하여 경로손실이 적은 2-ray 모델을 적용한 반면, 이동국과 기지국간의 간섭시나리오에서는 빌딩에 의한 추가적인 경로손실을 고려하는 Modified Hata모델을 적용하였기 때문이다.

2. 보호대역

위의 ACIR 결과 중 간섭전력이 최대인 경우와 최소인 경우에 대해 해당 ACIR을 달성하기 위한 보호대역폭을 계산하였다. 이를 위해 그림 1, 2, 3의 송신 스펙트럼 마스크와 그림 4, 5의 수신 필터 마스크를 이용하였다. 해당 결과는 표 7에 정리하였다. 요구 ACIR이 클수록 이를 만족하기 위해 더 넓은 보호대역이 필요함을 확인할 수 있다. 특이사항으로 WiMAX 기지국과 CDMA기지국간에 최대 ACIR이 요구된 반면, 표 7에서 보호대역폭의 최대값은 무선랜 AP와 WiMAX 기지국간에 산출된다. 이는 그림 1과 2에서 확인할 수 있듯이, 무선랜 AP 필터의 대역외 방사를 억제하는 성능이 WiMAX BS 보다 열악하기 때문이다.



(그림 10) 요구 ACIR 누적분포함수
(Figure 10) Cumulative distribution function of the required ACIR

V. 보호대역폭의 감소방안

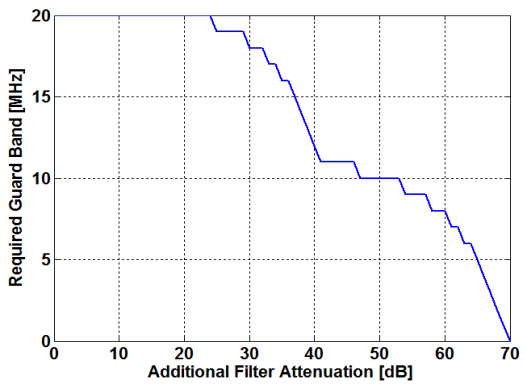
요구 보호대역폭이 최대인 WLAN AP와 WiMAX BS 간의 보호대역폭을 감소시킬 수 있는 방법과 그 결과를 분석한다. 본 연구에서는 다음과 같이 두 가지 방법을 고려한다.

- 벽 투과손실 고려
- 송신 필터 적용

식(10)의 outdoor-to-indoor 경로손실 모델은 섀도우 페이딩과 벽 투과손실을 고려하고 있지 않기 때문에 두 효과를 고려하여 요구 ACIR을 분석한다. 벽 투과손실은 확률변수이기 때문에 요구 ACIR 또한 확률변수이다. 따라서 그림 10에서 두 시스템간의 거리에 따른 요구 ACIR의 누적분포함수를 도시하였다. 붉은 실선은 벽투과 손실이 없는 경우의 요구 ACIR을 의미하며, 50m 이격거리에서 ACIR=66.6 dB, 100m 이격거리에서 94.6 dB이다. 반면 벽

투과 손실이 고려된 경우 ACIR은 확률변수 이므로 점선의 누적분포함수를 갖는다. 벽투과 손실을 고려할 경우의 요구 ACIR은 약 93% 의 확률로 벽투과 손실을 고려하지 않은 경우보다 감소함을 알 수 있다.

기지국에 대역통과 특성이 우수한 송신 필터를 이용하여 간섭신호의 대역외 방사를 줄일 수 있으며, 결과적으로 요구보호대역을 개선할 수 있다. 그림 11은 송신 필터에 의한 간섭신호의 추가 감쇄에 따른 요구 보호대역폭을 나타낸다. 감쇄가 0 dB인 경우 표 7의 결과와 동일한 20 MHz 보호대역을 확인할 수 있으며, 47 dB 감쇄를 통해 보호대역을 10 MHz로 감소시킬 수 있다.



(그림 11) 필터에 의한 간섭신호감쇄에 따른 요구 보호대역폭
(Figure 11) Required guard band for filter attenuation

VI. 결 론

본 논문은 이기종 네트워크를 위한 대표적인 무선 접속기술인 WiMAX, CDMA, 무선랜의 다중 주파수 대역 동시 서비스를 위해 허용 가능한 인접채널 간 간섭전력의 세기 및 보호대역폭을 분석하였다. 두 시스템이 현실적인 최소거리(약 5-30 m)를 유지할 때, WiMAX와 무선랜 간에는 최소 20 MHz의 보호대역, WiMAX와 CDMA 시스템 간에는 최소 15 MHz의 보호대역이 필요함을 확인하였다. 이 결과는 이기종 네트워크를 위한 무선접속 기술의 주파수 대역할당에 필요한 기반자료로 활용 가능할 것이다.

또한 고려된 모든 간섭 시나리오 중, 높은 송출전력을 갖는 WiMAX 또는 CDMA 기지국에 의한 간섭전력이 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 다행히 대형시스템인 기지국에는 비교적 저렴한 비용으로 보다 대역통과 특성이 우수한 (40~50 dB 대역외 방사 억제) 필터의 사용이 가능하다. 반면 이동국 및 WLAN 같은 소형 시스템의 경우 우수한 대역통과 필터를 사용하기 위해 비교적 고가의 비용이 필요하다. 따라서 보호대역 설정으로부터 야기되는 스펙트럼 손실을 최소화하는 현실적인 방법은 기지국에 고성능 필터를 설치하고 이동국이 간섭원인 시나리오를 기준으로 하여 보호대역을 설정하는 방법이라 할 수 있다.

참 고 문 헌 (Reference)

[1] G. Wu, M. Mizuno, and P. Havinga, “MIRAI Architecture for Heterogeneous Network,” IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 2, pp. 126-134, Feb. 2002. http://dx.doi.org/10.1109/35.983919

[2] A. Goldsmith, Wireless Communications, Cambridge University Press, 2005.

[3] Myong Lyol Song, “Channel Searching Method of IEEE 802.15.4 Nodes for Avoiding WiFi Traffic Interference,“ Journal of Internet Computing and Services(JICS), vol. 15, no. 2, pp. 19-31, Apr. 2014.

[4] Eun-Chan Park, Minjoong Rim, “Performance Analysi s on Coexistence of Contention-based Heterogeneous Wireless Networks,” Journal of Internet Computing and Services(JICS), vol. 12, no. 4, pp. 1-14, Aug. 2011.

[5] Haijun Zhang; Xiaoli Chu; Weisi Guo; Siyi Wang, ″Coexistence of Wi-Fi and heterogeneous small cell networks sharing unlicensed spectrum,″ in IEEE C ommunications Magazine, vol.53, no.3, pp.158-164, Mar. 2015. http://dx.doi.org/10.1109/MCOM.2015.7060498

[6] Khawar, A.; Abdel-Hadi, A.; Clancy, T.C., ″Spectrum sharing between S-band radar and LTE cellular system: A spatial approach,″ in 2014 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DYSPAN), pp.7-14, Apr. 2014. http://dx.doi.org/10.1109/DySPAN.2014.6817773

[7] W.-G. Chung, H.-S. Jo, H.-G. Yoon, J.-W. Lim, J.-G. Yook, and H.-K. Park, “Advanced MCL method for Sharing analysis of IMT-Advanced systems,” Electronics Letters, vol. 42, no. 21, p.1234-1235, Oct. 2006. http://dx.doi.org/ 10.1109/35.983919

[8] CEPT ERC Report 68, “MONTE-CARLO simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems”, Jun. 2002.

[9] W. A. Hassan and T. A. Rahman, “Coexistence Model for Compatibility Between IMT-Advanced and Other Wireless Communication Services,” Wireless Personal Communications, vol. 79, no. 3, pp.2025-2039, Dec. 2014.
http://dx.doi.org/ 10.1007/s11277-014-1971-0

[10] Y.-H. Kim, P.-S. Eo, H.-G. Yang, S.-K. Park, B. Kang, Y.-S. Kim, and J.-G. Yook, ″Monte-Carlo Based Interference Analysis of 900MHz Passive RFID systems″, IEIE journals-TC, vol. 43, no.1, pp. 9-17, Jan. 2006.
http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE00673806

[11] I.-H. Kim, H.-G. P, J.-P. Cho, “Analysis on Effect of Interference between Different Communication Systems in Broadcasting Channel”, IEIE journals-TC, vol. 48, no.10, pp. 7-12, Oct. 2011.
http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE01721277

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

[13] H. Xia, H. L. Bertoni, L. R. Maciel, A. Lindsay-Stewart, and R. Rowe, “Radio propagation characteristics for line-of-sight microcellular and personal communications,” IEEE Transactions on Antennas and Propagation., vol. 41, no.10, pp.1439 - 1447, Oct. 1993.
http://dx.doi.org/ 10.1109/8.247785

[14] Recommendation ITU-R M.1225 : “Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000”.
http://dx.doi.org/ 10.1109/35.983919

[15] M.Hata, “Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 29, no. 3, pp.317-323, Aug. 1980.
http://dx.doi.org/10.1109/T-VT.1980.23859

◐ 저 자 소 개 ◑

이 경 재 (Kyoung-Jae Lee)
2005년 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업(학사)
2011년 고려대학교 대학원 전자전기컴퓨터공학과 졸업(석박사통합)
2011～ 2012 University of Texas at Austin, Postdoctoral Fellow
2012～ 현재 한밭대학교 전자·제어공학과 조교수
관심분야 : 5세대 무선통신, Massive MIMO, HetNet, SWIPT
E-mail : kyoungjae@hanbat.ac.kr

조 한 신 (Han-Shin Jo)
2002 년 연세대학교 기계전자공학부 졸업(학사)
2004년 연세대학교 대학원 전기전자공학과 졸업(석사)
2009년 연세대학교 대학원 전기전자학과 졸업(박사)
2009～ 2011 University of Texas at Austin, Postdoctoral Fellow
2011～ 2012 삼성전자 네트워크사업부 책임연구원
2012～현재 한밭대학교 전자·제어공학과 교수
관심분야 : 이기종 무선네트워크, 무선통신 시스템간의 주파수 공유 및 양립성, 학률기하이론
E-mail : hsjo@hanbat.ac.kr