

TV 방송대역에서 보호대역과 최대허용송신출력을 이용한 인접채널 공유 성능 분석

조 주 필^{*}

요 약

본 논문에서는 TV 주파수 대역내의 인접채널간 다른 통신 시스템들의 공존을 위한 공유 성능을 분석하였다. 간섭 송신기의 다양한 밀도와 전송출력에 따른 파라미터 성능 결과를 분석하였다. 각 시스템간의 간섭 영향을 고려하기 위해, 두 경우가 분석되었다. 첫째로, 간섭시스템이 WiBro, 희생시스템이 WLAN인 경우와 두 번째로 간섭원이 WLAN이고 희생원이 WiBro인 경우이다. 채널 환경으로는 자유공간모델, Extended Hata, IEEE 802.11 모델을 이용하였다. 분석된 다양한 공유시나리오에서의 상호 공존 결과는 향후 인접 주파수 환경에서 다양한 통신 프로토콜을 이용하는 무선기기에 대한 상호 공존 조건을 마련하는 기술개발에 활용될 수 있을 것이다.

Performance Analysis on Sharing of an Adjacent Channel using Guardband and Maximum Allowable Transmitter Power in TV White Space

Juphil Cho[†]

ABSTRACT

In this paper, we analyze the sharing performances for coexistence of different communication systems between adjacent channels in TV White space. We analyze the parameter performance result according to various density of interfering transmitter and transmitter output. Two cases are analyzed to consider an interference effect between each system. First, WiBro is an interfering transmitter and WLAN is a victim receiver. Second, WLAN is an interfering transmitter and WiBro is a victim receiver. Free space channel model, Extended Hata and IEEE 802.11 model are used for channel environment. Analyzed coexistence results under various co-use scenarios may be widely applied into the technique developed to get the coexisting condition for wireless devices using many communication protocols in adjacent frequency.

Key words: Adjacent channel, TV White space, Maximum allowable Tx. power

1. 서 론

TV 방송대역(TV white space, 이하 TVWS)은 누구나 정부의 전파규제에 대한 조건을 만족하면 사용할 수 있는 비 면허 대역으로서 공간적으로는 방송

사업자간의 주파수 간섭을 우려하여 비워둔 대역과 지역별로 사용되지 않는 주파수대역이나 방송용 전파가 미치지 못하는 지역을 의미하며, 시간적으로는 새벽에 방송사업자가 방송을 송출하지 않는 시간대에 비어있는 방송 주파수를 의미한다[1]. 현재 다양

※ 교신저자(Corresponding Author): 조주필, 전북 군산시 미룡동 산 68번지 군산대학교 전파공학과, Tel: 063) 469-4749(팩스 좌동), E-mail: stefano@kunsan.ac.kr

접수일: 2012년 2월 29일, 수정일: 2012년 4월 25일
완료일: 2012년 5월 30일

[†] 정회원, 군산대학교 전파공학과 부교수

한 IEEE 802계열의 표준화 기술에서 CR(Cognitive Radio)의 개념을 적용하는 방안을 적극 검토하고 있는 단계이다[2,3]. 또한 TV 방송용으로 분배된 VHF (Very High Frequency) 및 UHF(Ultra High Frequency) 주파수 대역에서 TVWS를 중심으로 주파수 공유기법의 적용에 관한 검토가 활발하게 이루어지고 있는 실정이다.

실제 미국연방통신위원회는 2008년 11월 4일에 DTV에서 사용하는 UHF 및 VHF 대역의 주파수를 FCC가 정한 규제 조건을 만족하면 누구나 사용이 가능한 비 면허 대역으로 승인하였다. 미국 FCC의 정책을 준용하여 국내에서도 이에 상응하는 TVWS 주파수 이용에 관한 정책 및 전파사용과 전파 출력 등에 대한 규제가 마련될 것으로 판단된다[4,5]. 따라서 국내 TV 전파환경에서 가용채널 대역을 산출하고 이를 바탕으로 적절한 TVWS의 공유 방안을 고시하고, 이를 구현하기 위한 다양한 방안들이 제시되어야 할 시점에 이르렀다고 할 수 있다[6]. 현재까지 각 통신 서비스마다 별도의 주파수 대역을 통신사업자에게 할당하고, 해당 주파수 대역을 사용자가 독점적으로 사용하는 고정형 주파수 할당 방식으로 주파수를 관리했으나, 최근 한정된 주파수 자원의 이용 효율에 관한 문제점이 부각되고 있다. 이러한 상황의 타결을 위해 전파연구소를 비롯한 정부기관에서는 현재 한국의 TV 방송주파수 대역 내에 다른 통신시스템을 이용하기 위한 연구를 최근 몇 년간 진행하고 있다. 해당 연구의 실용화를 위한 기준 데이터의 확립을 위해 본 논문의 의미가 있으며, 유사한 결과들의 검증에 활용하여 실제 디지털TV 방송대역에서 주파수 자원의 문제점을 가지고 있는 시스템들의 활용 및 공존 방안을 찾을 것으로 기대한다.

최대허용 송신출력 레벨 분석을 이용한 방송대역에서 휴대통신을 위한 주파수 공유 기술간 공유 파라미터 연구는 효율적인 방송 주파수 활용을 위한 정책 결정에 있어서 중요한 자료가 될 것으로 판단된다.

본 논문에서는 방송채널에서 WiBro(Wireless Broad-band)와 WLAN(Wireless LAN)의 공용을 가능케 하기 위한 사전 단계로 필요한 파라미터 및 그를 활용한 특성 분석등을 수행하였다. WLAN과 WiBro가 DTV 대역에서 작동하고, WiBro는 WLAN과 인접 채널에서 작동한다고 가정한다. 또한 WLAN 단말이 간섭원과 피간섭원으로 각각 동작하는 두 경우를 모두 고려하였으며, 시스템의 최적화를 위한 공유 핵심 파라미터의 적절한 값을 찾기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 분석 방법으로는 WLAN UE(User Equipment)와 WiBro MS(Mobile Station) 사이의 단말 분포와 보호대역 고정시 간섭확률 5%를 만족시키기 위한 최대 허용 송신 출력 레벨의 고찰을 이용하였다. 2장에서는 공유 핵심 파라미터 설정 및 주요 시나리오에 대한 설명, 3장에서는 이를 기반으로 한 주요 실험결과, 4장에서는 결론을 맺는다.

2. TVWS에서의 공유 파라미터 및 주요 시나리오

국내 방송에서의 주파수별 DTV/DMB 채널 배치 환경을 고려하여 본 논문의 분석은 진행되었다. DMB/DTV 채널의 174-698 MHz에서 WiBro와 WLAN 시스템의 공용을 위한 시나리오가 수행되었다. 표 1은 본 논문에서 사용된 WLAN 시뮬레이션 채널 모델의 주파수(A, 단위 : MHz)와 동작 영역(B, 단위 : m), dRSS(desired Received Signal Strength, C, 단위 : dBm)를 보이고 있다. 표에서와 같이, 전파 모델은 자유공간, Extended Hata, IEEE 802.11을 보이고 있다.

표 2는 표 1에서와 같이 WiBro 실험 채널 모델들의 주요 값들을 보이고 있다. 시스템의 수신 sensitivity인 -90.6 dBm 에 해당하는 값을 적용하여 WiBro 시스템의 서비스 영역을 계산했다. 도심에서의 실내 환경이 기본으로 가정되었으며 이를 통한 공유 변수 설정 및 분석이 수행되었다. 이기종 시스

표 1. WLAN 실험 채널 모델

	WLAN propagation model								
	Free space			Extended hata			IEEE 802.11		
A	185	481	687	185	481	687	185	481	687
B	2100	812	568	75	38.5	34.8	180	103	85
C	-44.89	-44.86	-44.99	-44.76	-44.91	-44.97	-44.97	-44.82	-44.99

표 2. WiBro 실험채널 모델

	WiBro propagation model					
	Free space			Extended hata		
A	185	481	687	185	481	687
B	180	70	50	1.6	0.8	0.61
C	-85.61	-85.61	-85.82	-85.11	-85.39	-85.41

템간의 주파수 공유를 위해 각종 파라미터의 변화에 따른 서로간의 간섭확률 및 송신전력을 구할 때 간섭 시스템으로는 WiBro, 희생 시스템으로는 WLAN을 먼저 가정하였고, 반대의 경우에 대한 분석도 진행하였다.

또한, 전파 모델중에서 3개의 채널 환경을 선택하여 상호 공존성 분석을 수행하였다. 즉, (1) 자유공간 모델, (2) Extended HATA 채널 모델, (3) IEEE 802.11b 채널 모델을 사용하여 상호 공존성 분석을 위한 이격거리간 간섭확률을 분석하였다.

표 3은 본 논문에서 사용한 두 시스템의 주요 변수들을 보이고 있다. 그림 1은 두 시스템이 인접주파수 대역을 공유하는 경우를 보이고 있으며, 이를 기반으로 그림 2와 같이 단일 무선랜 단말에 여러개의 WiBro 단말들이 간섭 영향을 보이는 경우등을 고려하고 있다.

그림 2에서 전파간섭 시나리오는 크게 거리와 밀도에 따른 시나리오로 구분되며 ISM 대역에서 사용

표 3. 시스템의 주요 변수

Parameter	Value	Units
WiBro		
Center Frequency	185/481/687	MHz
Bandwidth	10	MHz
Base station (BS)		
Transmit power	33	dBm
Antenna hight	30	m
Mobile Stations (MS)		
Transmit power	25	dBm
Sensitivity	-90.6	dBm
WLAN		
Center Frequency	185/481/687	MHz
Reception B/W	22	MHz
Rx. Sensitivity	-55.33	dBm
Output Power	23	dBm

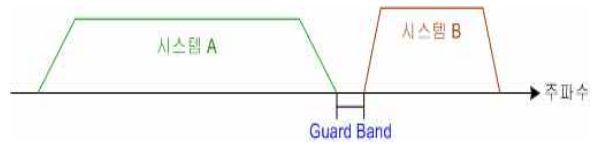


그림 1. 시스템간 인접채널을 공유

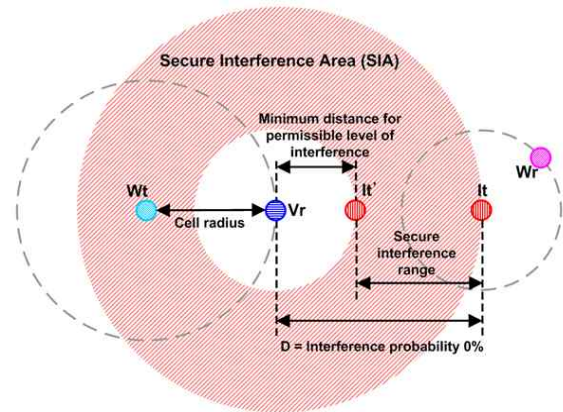


그림 2. 시스템간 간섭 시나리오

되거나 사용될 기기별로 경우의 수 만큼 짝지어 간섭 원과 희생원으로 적용한다. 시나리오에서 간섭원에 의해 간섭을 받는 희생원은 victim receiver (Vr), 간섭의 영향이 전혀 없는 통신환경에서 희망신호를 Vr로 송신하는 기기를 wanted transmitter (Wt), 희망신호를 수신하는 기기를 wanted receiver (Wr), Vr에 간섭신호를 발생시키는 간섭원을 interfering transmitter (It)로 정의한다. 그리고 Vr와 Wt 사이의 전파경로를 victim system link, Vr과 It의 경로를 interference link, Wr과 It의 경로를 interfering system link라 한다. 간섭환경에서 전파응용설비는 통신 기기가 아니므로 Vr가 될 수 없고 It로만 설정할 수 있다. 또한, 셀 내에서의 시스템간 최소거리와 간섭확률이 0%인 영역등을 보이고 있다. 안전 간섭 영역(SIA)은 간섭확률이 0%부터 희생 단말로부터의 최대 허용구간까지를 나타내고 있다. 안전 간섭 영역에서 간섭확률은 간섭단말들의 다양한 밀도 분포에 의해 측정될 수 있다. 각각의 시나리오에 대한 영향 분석은 SEAMCAT을 통해서 이루어졌다[7,8].

3. 모의 실험

본 논문에서는 인접채널에서의 시스템 공유를 위한 성능 분석을 위해 WLAN의 중심주파수가 185, 481, 687MHz, WiBro의 중심주파수가 201, 497,

671MHz인 경우를 고려하였다. 실험은 세 가지의 채널모델을 기반으로 진행되었으며, 자유공간채널 모델에서 각 단말 분포와 보호 대역을 고정한 경우 성능 구현 가능 구간인 간섭 확률 5%를 만족키 위한 WLAN UE의 최대 허용 송신 출력 레벨의 상관 성능을 그림 3-5에서 볼 수 있다. 간섭확률 5%의 기준은 ERO(Europe Radiocommunication Office)에서 정한 것으로 관련 연구에서 통용되고 있는 값이다.

그림 3은 자유공간 채널 모델에서 이중 시스템간의 간섭확률이 5%를 만족시키기 위한 실험결과로 WLAN의 중심주파수가 185MHz, WiBro의 중심주파수가 201MHz 인 경우에 간섭 단말의 분포를 제공 킬로미터당 50, 100, 150, 200 개로 변화시키면서 간섭원인 WLAN의 최대허용 출력 레벨을 보이고 있다. 그림처럼 간섭원의 수가 가장 적은 50개/km² 인 경우 보호 대역을 약 23MHz로 설정한 경우에 있어서 성능을 만족하는 23dBm의 출력을 보임을 확인할 수 있다. 단위면적당 간섭 송신기의 분포가 100, 150, 200으로 증가하는 경우 요구되는 보호 대역은 약

26MHz로 밀도가 50개인 경우와 비교해 약 3MHz 정도의 보호대역구간을 더 필요로 하여 전체적인 채널 낭비의 결과를 발생시킴을 확인할 수 있었으며 전체적인 성능에서 보호대역 손실이 상당하여 만족스럽지 못한 결과를 보였다.

그림 4는 WLAN 및 WiBro의 중심 주파수가 각각 481, 497 MHz 인 경우이며 밀도는 같은 상황을 고려하고 있다. WLAN의 중심주파수가 185 MHz인 경우

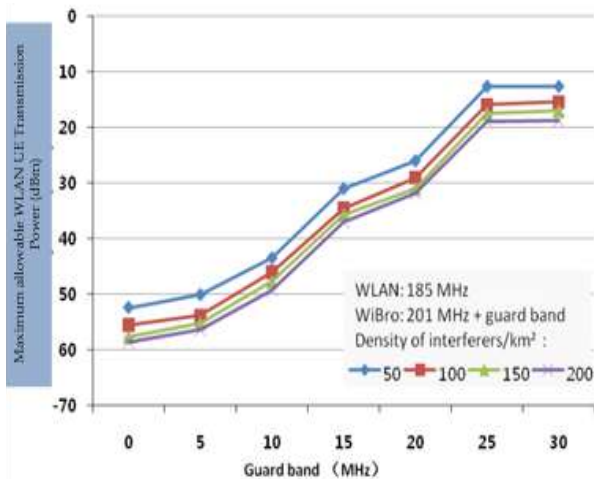


그림 3. 단말분포와 보호대역 고정시 간섭확률 5% 만족을 위한 최대허용 송신 출력레벨 (WLAN : 185MHz, WiBro : 201MHz)

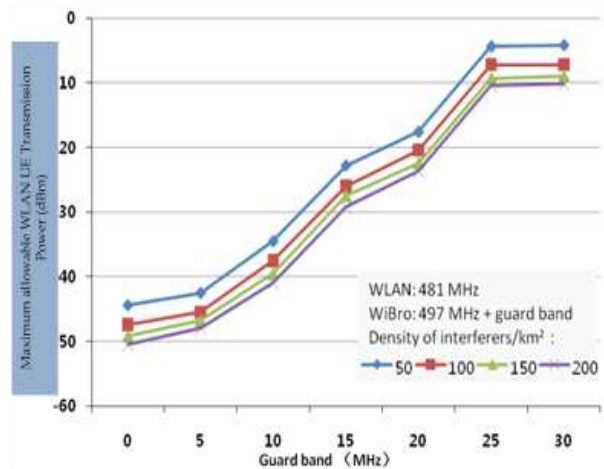


그림 4. 단말분포와 보호대역 고정시 간섭확률 5% 만족을 위한 최대허용 송신 출력레벨 (WLAN : 481MHz, WiBro : 497MHz)

와 비교시 전체적인 간섭원 분포에서 개선된 성능을 보이고 있다. 단말밀도가 50인 경우 WLAN 주파수 대역이 185MHz인 그림 3에서는 요구 보호 대역이 약 23MHz였으나 그림 4에서는 guard band가 9MHz 정도 감소한 14MHz로 인접채널 사용 주파수 대역이 증가함에 따라 성능이 개선됨을 확인할 수 있다. 또한, 그림 4의 경우 단위면적당 간섭 송신기의 분포가 증가하는 경우에도 보호 대역이 20MHz인 경우 WLAN UE의 최대전송출력이 기준출력인 23dBm을 만족하는 결과를 보임을 확인할 수 있다.

그림 5는 WLAN 및 WiBro의 중심 주파수가 각각 687, 671 MHz 의 고주파인 경우의 결과를 보이고 있다. 그림 5의 경우 상대적으로 매우 개선된 성능을

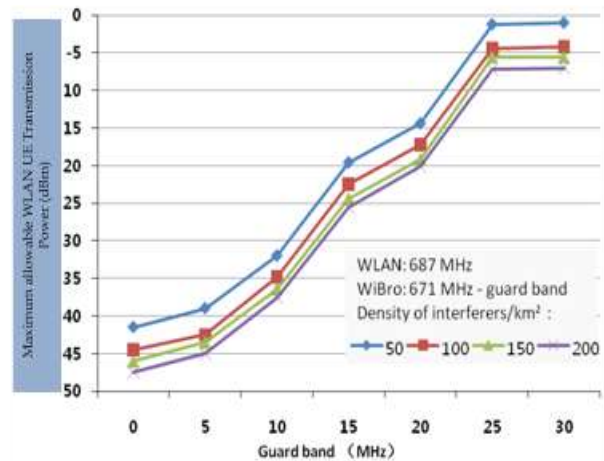


그림 5. 단말분포와 보호대역 고정시 간섭확률 5% 만족을 위한 최대허용 송신 출력레벨 (WLAN : 687MHz, WiBro : 671MHz)

보임을 확인할 수 있다. 가장 성능이 개선된 단말분포가 50의 경우 보호대역이 12MHz로 감소하고, 나머지 밀도의 경우에도 그림 4에 비해 5MHz 이상의 보호대역 감소효과를 가져와 전체 성능향상을 보임을 예측할 수 있다.

Extended Hata 채널 모델에서 각 단말 분포와 보호 대역을 고정한 경우 성능 구현 가능 구간인 간섭 확률 5%를 만족키 위한 최대 허용 송신 출력 레벨의 상관 성능을 그림 6-8에서 보이고 있다.

본 실험에 이용된 전파 모델은 별도로 다음과 같이 가정된다: 간섭 링크인 WiBro 시스템을 위해 확장형 Hata 모델이 사용되었고, 확장형 Hata 모델은 희생 링크인 WLAN(It → Wr), 확장형 Hata SRD model은 간섭링크(It → Vr)에 각각 적용되었다.

그림 6은 이중 시스템간의 간섭확률이 5%를 만족하는 경우, WLAN 및 WiBro의 중심 주파수가 각각 185, 201 MHz 인 경우, 간섭 단말의 분포를 제곱킬로미터당 50, 100, 150, 200 개로 변화되는 경우의 간섭원인 WiBro의 최대허용 출력 레벨을 보이고 있다. 그림에서처럼 간섭원의 수가 가장 적은 50개/km² 인 경우 보호 대역을 약 4MHz로 설정한 경우에 있어서 성능을 만족하는 25dBm의 출력을 보임을 확인할 수 있다. 단위면적당 간섭 송신기의 분포가 증가하는 경우 요구되는 보호 대역은 각각 8, 10, 13 MHz로 증가함을 알 수 있었다.

그림 7은 Extended Hata 채널 모델에서 이중 시스템간의 간섭확률이 5%를 만족하는 경우, WLAN 및 WiBro의 중심 주파수가 각각 481, 497 MHz 인 경우

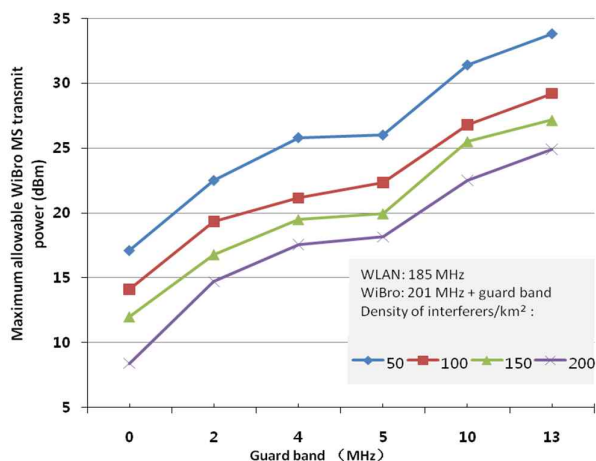


그림 6. 보호대역과 최대허용 송신 출력 비교 (WLAN : 185MHz, WiBro : 201MHz)

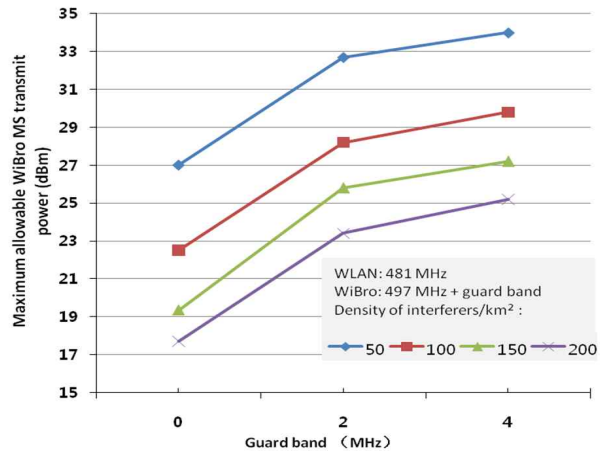


그림 7. 보호대역과 최대허용 송신 출력 비교(WLAN : 481MHz, WiBro : 497MHz)

의 결과를 보이고 있다. 그림 6과 비교시 전체적인 간섭원 분포에서 개선된 성능을 보이고 있다. 간섭원 단말밀도가 50인 경우 그림 6에서는 요구 보호 대역이 4MHz였으나 그림 6에서는 요구보호대역이 없어도 양호한 성능이 보여짐을 확인할 수 있다. 또한, 전체적으로도 그림 7의 경우 단위면적당 간섭 송신기의 분포가 100, 150, 200으로 증가하는 경우 요구되는 보호 대역은 각각 약 1, 1.8, 4 MHz로 단말분포가 100과 150의 경우 최대 90%에 근접하는 보호 대역 감소가 있음을 알 수 있었고 특히, 단위면적당 간섭원의 밀도가 가장 높은 200의 경우에서도 보호 대역 감소가 60% 가량 이루어져서 전체 성능 개선에 도움이 될 것임을 확인할 수 있다.

그림 8은 WLAN 및 WiBro의 중심 주파수가 각각 687, 671 MHz 의 고주파인 경우 결과를 보이고 있다.

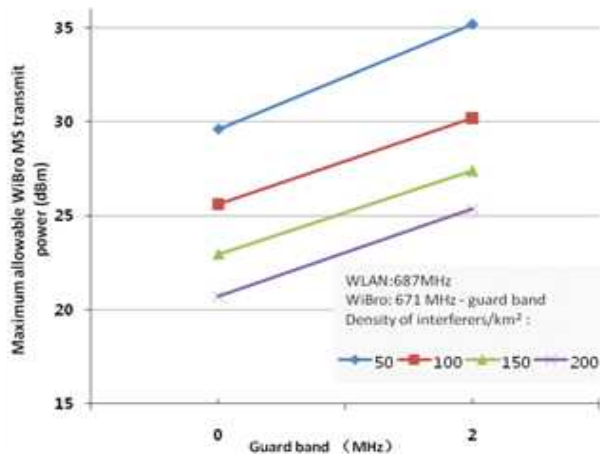


그림 8. 보호대역과 최대허용 송신 출력 비교(WLAN : 687MHz, WiBro : 671MHz)

세가지 중심주파수의 실험 결과에 있어서 가장 고주파인 그림 8의 경우 상대적으로 매우 개선된 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 가장 성능이 개선된 단말분포가 50의 경우뿐만 아니라, 100의 경우에도 보호대역 없이도 성능을 보임을 확인했으며, 150, 200개의 밀도분포에서도 약 1, 2MHz의 최소 보호대역만을 요구해 매우 우수한 성능 향상의 효과를 보임을 알 수 있었다.

마지막 경우로 간섭원인 WiBro 시스템을 위해 확장형 Hata 모델($W_t \rightarrow V_r$), IEEE 802.11c 모델은 희생원 링크인 WLAN($I_t \rightarrow W_r$)과 간섭링크($I_t \rightarrow V_r$)에 각각 적용되는 경우에 대한 실험결과를 그림 9 - 11에서 보이고 있다. 그림 9는 WLAN 및 WiBro의 중심 주파수가 각각 185, 201 MHz로 저주파 대역에 해당하는 경우이며, 간섭 단말의 분포를 제곱킬로미터당 50, 100, 150, 200 개로 변화되는 경우의 간섭원인 WiBro의 최대허용 출력 레벨을 보이고 있다. 그림에서처럼 간섭원의 밀도가 50인 경우 보호 대역을 약 7MHz로 설정한 경우에 있어서 요구 성능을 만족하는 25dBm의 출력을 보이는 비교적 양호한 결과를 확인할 수 있다. 단위제곱킬로미터당 간섭 송신기의 분포가 100, 150, 200으로 증가하는 경우 요구되는 보호 대역은 각각 15, 21, 23 MHz로 증가함을 알 수 있다.

단말밀도가 150, 200개인 경우엔 실제 간섭원 단말 주파수의 10%를 상회하는 보호 대역을 이용해야 하므로, 실제 인접채널간 시스템 공존을 위해서는 어려움이 있을 것으로 분석된다.

그림 10은 WLAN 및 WiBro의 중심 주파수가 각

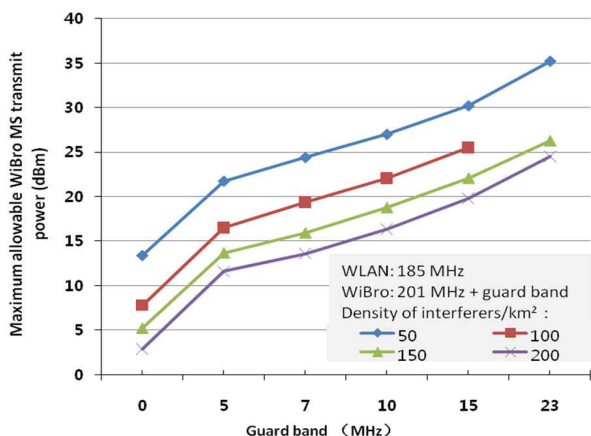


그림 9. 저주파 대역에서의 송신기 밀도에 따른 최대허용 송신 출력

각 481, 497 MHz 인 경우의 실험 결과를 보이고 있다. WLAN의 중심주파수가 저주파 대역에 해당하는 185 MHz인 경우와 비교시 전체적인 간섭원 분포에서 개선된 성능을 보이고 있다. 간섭원 단말밀도가 50인 경우 그림 9의 저주파 중심주파수 대역에서는 요구 보호 대역이 7MHz였으나 그림 10에서는 요구 보호대역이 2MHz로 70% 이상 개선된 성능을 확인할 수 있다. 간섭원 단말밀도가 100개인 경우에도 요구 보호대역의 크기는 5MHz로 간섭원 단말 중심주파수의 1%에 해당하는 양호한 값을 가짐을 확인할 수 있다. 또한, 단위면적당 간섭 송신기의 분포가 150, 200으로 증가하는 경우 요구되는 보호 대역은 각각 약 8, 10MHz로 보호대역이 WiBro 단말 중심주파수의 2% 이내에 설정됨이 확인되었다.

그림 11은 WLAN 및 WiBro의 중심 주파수가 각

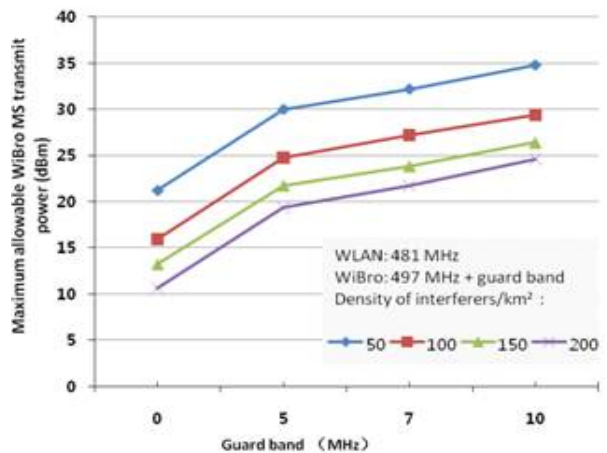


그림 10. 중간주파수 대역에서의 송신기 밀도에 따른 최대허용 송신 출력

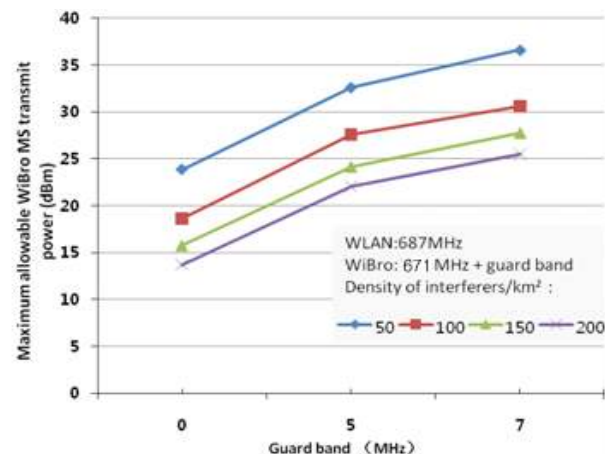


그림 11. 고주파 대역에서의 송신기 밀도에 따른 최대허용 송신 출력

각 687, 671MHz 의 고주파인 경우의 결과를 보이고 있다. 단말분포가 50의 경우엔 보호대역이 거의 없어도 송신기 요구 출력인 25dBm을 만족함을 확인하였고, 밀도가 100의 경우에도 간섭원 중심주파수의 0.5%에 해당하는 약 3MHz의 보호대역만을 요구됨이 확인되었다. 또한, 150, 200개의 밀도분포에서도 약 5, 7MHz의 최소 보호대역만을 요구하여 매우 우수한 성능 향상의 효과를 보임을 알 수 있었다. 이러한 IEEE 802.11c 모델과 Extended Hata 채널모델을 각각 이용한 분석은 향후 채널 공유를 위한 기술개발에 도움이 될 것이다.

4. 결 론

본 논문에서는 방송주파수 대역내에서 WiBro와 WLAN간의 인접채널 공유를 위한 성능 분석을 수행하였다. 자유공간채널에서는 WLAN 단말이 WiBro 이동단말에 간섭원으로 동작했으며, IEEE 802.11, Extended Hata 채널 모델에서는 WiBro 단말이 간섭원으로 작용했다.

각 단말 분포와 보호 대역을 고정한 경우 간섭 확률 5%를 만족키 위한 최대 허용 송신 출력 레벨의 상관 성능을 검증했고 주요 중심주파수별 파라미터 성능 분석에서 고주파수로 중심주파수가 이동할수록 개선된 성능을 보임을 확인하였으며 일반적으로 중심주파수가 600MHz를 넘는 경우 보호대역이 거의 없어도 최대 허용 송신 출력을 만족함을 확인할 수 있었다. 중심주파수가 저주파 대역에 해당하는 경우의 성능 개선이 수반될 경우 향후 실제 환경에서 인접채널간 시스템 공존이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] J. Mitola III, "Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications," *IEEE Mobile Multi-media Conf.*, pp. 3-10, 1999.
- [2] S. Haykin, "CR:Brain-empowered Wireless Comm.," *IEEE JSAC*, Vol.23, No.2, pp. 202-220, 2006.
- [3] IEEE 802.22 WG, *Functional Requirements for the 802.22 WRAN Standard*, 2005.
- [4] FCC-02-328A1, *Additional Spectrum for Unlicensed Devices Below 900 MHz and in the 3GHz Band*, 2002.
- [5] ERC Report 63, *Introduction of Radio Microphone Applications in the Frequency Range 1785 - 1800 MHz*, ERC within CEPT, 1998.
- [6] TTA, TV white space 통신 종합보고서의 정보통신 중점기술 표준화 로드맵, 2010.
- [7] ERO, *SEAMCAT S/W Version 2.1 User Manual*, 2004.
- [8] S. Muminov, N.Y. Yun, and S.H. Park, "Software Design of Packet Analyzer based on Byte-Filtered Packet Inspection Mechanism for UW-ASN," *Journal of Korea Multi-media Society*, Vol. 14, No. 12, pp. 1572-1582, 2011.



조 주 필

2001년 전북대학교 전자공학과
공학박사
2000년~2005년 ETRI 이동통신
연구단 선임연구원
2006년 ~2007년 ETRI 초빙연
구원

2011년~2012년 7월 미국 USF Visiting Professor
2005년~현재 군산대학교 전파공학과 부교수
관심분야 : 신호처리, Cognitive Radio, 주파수융합기술,
LTE