

비면허 대역 LTE 시스템의 인접 대역 간섭 분석

임수환*, 정만영*, 이상욱^o

Adjacent Channel Coexistence of LTE in Unlicensed Spectrum

Su Hwan Lim*, Man Young Jung*, Sang-Wook Lee^o

요약

본 논문은 현 3GPP REL-13 에서 논의 중인 LAA(License Assisted Access) 기술 하에서, 5 GHz 비면허 대역에서 LTE 시스템과 기존 무선 통신 시스템(e.g Wi-Fi) 간의 공존 문제 분석을 기술한다. LAA 기술은 면허대역의 도움 하에 면허 대역과 비면허 대역간의 반송과 집성(Carrier aggregation, CA)을 통하여 대역폭 증가를 통한 전송률 증가를 얻기 위한 기술이다. 반면 이러한 LAA 기술은 비면허 대역에서의 규제 조건을 만족함과 동시에, 해당 비면허 대역에 존재하는 기존 Wi-Fi 시스템과의 공존에 대한 연구가 필수적이다. 본 논문은 LAA 시스템과 Wi-Fi 시스템이 효율적으로 공존할 수 있도록 비면허 대역 LTE 시스템과 인접 대역 Wi-Fi 시스템 간의 간섭 분석을 통하여, 비면허 대역에서 동작하는 LTE 시스템이 기존 Wi-Fi 시스템에 미치는 영향을 최소화 할 수 있는 인접 채널 간섭에 대한 RF 요구사항을 간섭 분석 연구를 통하여 도출하였다.

Key Words : LAA (Licensed-Assisted Access), CA(Carrier aggregation), ACI (Adjacent Channel interference), Coexistence, RF requirements

ABSTRACT

This paper evaluates the adjacent channel coexistence issues between LAA(License Assisted Access) system and other system (e.g. Wi-Fi) system in 5 GHz unlicensed spectrum. LAA is a technology to achieve enhanced data rate by aggregating licensed and unlicensed spectrum using CA(Carrier Aggregation). The coexistence study is essential before deploying LTE in unlicensed spectrum to verify the impact of LTE on the existing system such as Wi-Fi including system in throughput and regulatory aspects. This paper evaluates and analyzes the RF requirements of LTE system using interference analysis of coexistence study when operating at adjacent frequency channel of the Wi-Fi system in order to minimize the impact of LTE system into Wi-Fi system.

I. 서론

반송과 집성 (CA: Carrier Aggregation) 기술은 주파수의 효율적인 사용 및 최대 전송률 향상을 위해 2개 이상의 반송파를 결합하여 3GPP Rel-10부터 도입된 LTE-Advanced 의 핵심 요소 기술이다. 3GPP

Rel-13에서는 면허대역에서 RF 규격 상 하향링크로는 4개 반송과 집성^[1], 상향링크로는 2개의 반송과 집성^[2]을 포함하는 면허대역에 대한 반송과 집성 기술 진화가 이어져 오고 있으며 추후 하향링크와 상향링크의 집성 반송과 개수는 주파수 보유 사업자의 요구를 바탕으로 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 또

* First Author : LG Electronics, suhwan.lim@lge.com, 정회원,

^o Corresponding Author : LG Electronics, sangwook1.lee@lge.com, 정회원

* LG Electronics, manyoung.jung@lge.com

논문번호 : KICS2015-07-238, Received July 27, 2015; Revised October 8, 2015; Accepted October 8, 2015

한, 비면허 대역과의 반송파 집성을 고려하여 무선 접속 물리 계층 표준화 단체인 3GPP (3rd Generation Partnership Project) RAN (Radio Access Network) 1과 무선 접속 상위 계층 표준화 RAN 2에서 최대 32개의 반송파를 결합할 수 있는 진화된 반송파 집성 (enhanced CA) 기술이 도입되었으며^[3], 무선 접속 RF 및 성능 규격 표준화 단체인 3GPP RAN4에서는 대역 내 연속 반송파 집성 (intra-band contiguous CA) 하에서 최대 8개의 반송파를 연속적으로 결합하여 전송할 수 있도록 새로운 대역폭 클래스를 지정하였다^[4]. LAA (Licensed Assisted Access) 는 이러한 배경 하에서 기존 면허 대역과 비면허 대역간의 반송파 집성 기술을 이용하여 시스템의 전송 대역폭을 증가시킴으로써, 비면허 대역 주파수 효율성 증가, 추가적인 주파수 확보를 위한 비용 절감 및 점점 증대되는 소비자의 무선 전송 트래픽 요구 조건을 만족시킬 수 있게 한다. 특히 LAA 기술은 3GPP Rel-13 규격에 따라 비면허 대역에서 동작하는 기존 시스템과의 공존을 위하여 반송파 집성을 통해서만 비면허 대역의 활용이 가능하며, 비면허 대역을 상향 링크 없이 하향 링크 데이터 전송을 향상을 위한 보조 셀(Secondary Cell-SCell)로 사용하고, 상/하향 링크를 통해 제어 정보를 주고 받는 주된 셀(Primary Cell-PCell) 로 설정하여 단독 서비스를 제공하는 것은 포함되지 않는다^[5,6]. LAA를 통한 LTE 시스템의 비면허 대역에서의 사용은 서로 다른 지역에서의 전파 규제 및 기존 비면허 대역에서 서비스 중인 Wi-Fi 시스템 등과의 공존 문제가 고려되어야 하며, 이를 위한 기술 분석 및 해결 방안 연구가 선행되어야 한다. 공존 연구를 위하여 3GPP에서는 RAN1 과 RAN4에서 각각 동일 대역 (co-channel)과 인접 대역(adjacent channel)에서의 기존 시스템과 LAA 와의 공존 분석을 진행하였다^[7].

본 논문은 3GPP RAN4에서 다루어진 인접 채널 간 간섭 분석에 의한 공존 이슈를 기술적으로 분석하고 이를 바탕으로 추후 전개될 단말과 기지국의 RF 요구사항을 분석해 본다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 LAA 에 대한 간략한 특징 소개 및 운용 시나리오(deployment scenarios)를 설명하고, 각 시나리오 별 공존 환경에서의 시스템 모의 실험을 통한 시스템 수율(throughput) 관점의 손실률 결과를 분석한다. III장에서 LAA-Wi-Fi 공존에 대한 연구에서 얻어진 예상되는 RF 규격 및 향후 비면허 대역에서의 LAA 시스템 활용에 따른 이득에 대한 결론을 맺는다.

II. 비면허 대역에서의 LTE 시스템

3GPP 에서의 LAA 는 증가하는 사용자 트래픽 요구를 비면허 대역과 면허 대역과의 반송파 집성 기술을 통하여 하향 링크 데이터 전송율을 높임으로써 해결하고자 하는 기술이다. LAA는 또한 사업자에게 비면허 대역의 효율적 사용을 위한 선택권을 부여함으로써, 사업자가 효과적인 방법을 통하여 서비스를 제공할 수 있는 기회를 제공한다. 제안된 반송파 집성 기술에 대한 기본적인 골격은 아래의 그림 1과 같이 면허대역을 주된 셀로 지정하고 비면허 대역을 보조 셀로 할당하여 반송파 집성을 하는 방식이며, 이러한 경우 비면허 대역은 하향링크로만 데이터를 전송할 수도 있고, 상, 하향 양방향으로 데이터를 전송할 수도 있다. 하지만 하향링크만을 사용하여 데이터를 전송하는 방식에서의 인접채널에 대한 공존분석이 양방향 전송 방식보다 더 높은 중요도를 가지고 있다^[5-7].

첫째로, 비면허 대역을 하향링크로만 사용하는 경우 기지국은 기존 비면허 대역에 설치되어 있는 Wi-Fi 등의 시스템과의 형평성을 보장하기 위해 전송 전 동일 대역에서의 신호 세기를 감지하여 Wi-Fi 사용자 존재 여부를 확인하는 LBT(Listen-before-talk) 기술을 사용해야 한다. 또한 기지국이 송신할 데이터가 계속해서 존재한다 하더라도 Wi-Fi 등의 사용자가 동일 채널에 대한 접속을 할 수 있도록 불연속적인 송신(DTX-Discontinuous transmission)을 지원해야 한다^[7]. 단말에서는 3GPP Rel-13 표준화 관점에서 기지국으로부터 오는 하향링크 데이터만 수신하고 이에 대한 수신 성공 확인 신호(ACK/NACK)을 면허 대역 상향링크로 전송한다. 이는 단말의 비면허 대역 상향링크 전송을 제한함으로써 LBT 기술이 필요하지 않게 된다. 다만 간헐적인 데이터를 수신하는 단말 입장에서는 입력 신호 이득 조절기(Automatic Gain Control-AGC), 주파수/ 시간 동기 (Time/Frequency

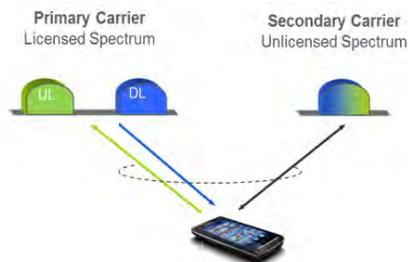


그림 1. LAA CA 사용 예
Fig. 1. Example of LAA CA combination between LTE and unlicensed band

Synchronization)에 대한 불확실성 증가 및 해당 셀 수신 파일럿 신호 파워 측정치인 RSRP (Reference Signal Received Power)와 해당 셀 수신 파일럿 신호 SNR (Signal to Noise Ratio) 측정치인 RSRQ (Reference Signal Received Quality) 측정 성능에 대한 정확도 감소가 예상됨에 따라 이에 대한 해결 방안이 모색되어야 한다.

둘째로, 비면허 대역에서의 양방향 데이터 전송이 모두 가능하도록 표준을 제정하는 경우, 단말도 동일 채널에서 다른 시스템의 사용자 존재 여부를 검증하는 LBT 기술을 적용하여야 한다. 단말단의 LBT 적용 방식은 단말의 기본 동작에서 추가되는 부하가 매우 크게 되어 추가적인 전력 감소 기술을 적용해야 하는 어려움이 따른다. 이를 해결하는 한 가지 방안으로 기지국에서 모든 상향링크의 자원 관리를 수행함으로써 단말 부하를 줄여주고, 또한 동일 채널의 다른 시스템과의 충돌을 피할 수 있도록 설계하는 방안도 고려되고 있다.

3GPP RAN에서는 LAA의 기술 타당성 연구가 '15년 6월에 종료되었으며 '15년 8월부터 RAN4에서는 구체적인 기지국과 단말의 RF 요구사항을 정의하는 표준화가 진행되고 있다⁸⁾. 현재 LAA의 주파수 대역은 5GHz의 비면허 대역인 5150MHz ~5925 MHz 이다⁷⁾. 이 대역을 LAA 용 대역으로 사용할 때, Wi-Fi의 단말 입출력단 RF를 재사용하기 위해서 전체 대역을 하나의 주파수 밴드(operating band)로 정의할 것인지, 각 국가 및 대역별로 다른 규제를 반영하는 여러 대역으로 정의할 것인지는 표준화 진행과

정에서 결정될 것이다⁹⁾.

3GPP에서 '15년 6월까지 진행된 LAA 기술 연구에서 RAN4는 인접한 채널에서 LAA, Wi-Fi가 운용될 경우 기존 Wi-Fi 시스템이 Wi-Fi 시스템에 미치는 간섭 영향을 기반으로 아래 두 가지 경우로 나누어 공존 분석을 수행하였다.

- 간섭 분석에 사용된 2가지 시나리오
- 1) LAA (간섭원) Wi-Fi (피간섭원)
- 2) Wi-Fi (간섭원) LAA (피간섭원)

본 논문에서는 인접채널에 미치는 간섭 영향을 분석하기 위해 기존 간섭 분석 문서인 3GPP TR (Technical Report) 36.942^[10,11] 방식을 참조하였으며, 기본적인 시뮬레이션 파라메타는 TR 36.889^[7]에서 정의된 파라메타를 사용하였다. 이에 대한 설명은 2-1절에서 자세히 설명한다.

2.1 간섭 분석 모의실험 환경

인접 채널 공존 분석을 위해 크게 두 개의 시나리오에서 위의 2가지 경우를 고려하여 TR36.942와 같이 최악의 간섭이 존재하는 셀 배치(uncoordinated cell layout) 환경에서 정적 시스템 시뮬레이션을 수행하여 새로운 LAA 시스템이 기존 Wi-Fi 시스템에 미치는 영향을 분석한다. 이 환경에서 간섭원은 여러 개가 존재하며 피 간섭원 역시 여러 개다. 시스템 시뮬레이션 실험을 위한 기본적인 공통 파라메타는 위의 표 1과 같다.

표 1. 인접 채널에서의 공존 분석을 위한 공통 시스템 파라메타
Table 1. General system parameters for adjacent coexistence analysis

Parameters (파라메타)	LAA	Wi-Fi
Center frequency (중심 주파수)	5.8GHz	5.82GHz
Channel bandwidth (전송 대역폭)	20MHz	
Transmission link (UL/DL 전송 방향)	Downlink (하향링크)	Uplink/Downlink (UL/DL rate: 50/50 %)
Pathloss model (경로손실 모델)	TR36.889 참조	
Opportunity of Wi-Fi, LTE access	Equal Access opportunities	
Number of UEs per cell	10 UEs	
Tx power of small cell in unlicensed band	23dBm	
Tx power of Macro/Small cell in licensed band	43dBm/30dBm	N/A
LAA ACLR/ACS	Macro cell ACLR 45dB, LAA UE ACS 27dB	N/A
Wi-Fi ACLR/ACS	N/A	AP/UE: ACLR 26.35dB, AP/UE: ACS 22dB
UE Receiver Algorithm	MMSE-IRC receiver	
UE Noise Figure	9dB	

- 셀 배치
- 1) 실내(Indoor) 환경

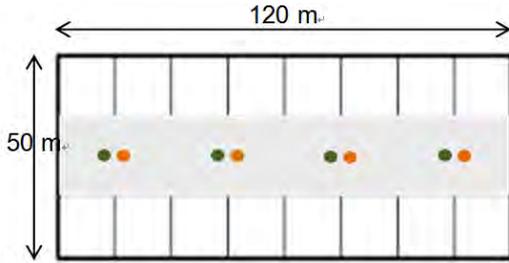


그림 2. Indoor 환경에서의 셀 배치
Fig. 2. Cell layout in Indoor Scenarios between two operators

실내 환경에서의 스몰 셀 배치는 그림 2와 같으며, LAA와 Wi-Fi를 위한 셀 배치는 서로 사이에 인접할 수 있으며 서로 다른 사업자 간의 최소 거리는 3m 이고 각 사업자의 셀 간 거리를 30m 로 고정 시킨다. 즉 인접 채널 간섭 (ACI - Adjacent Channel Interference) 분석을 위한 첫 번째 시나리오인 LAA가 간섭원, Wi-Fi가 피간섭원인 환경에서, 사업자 A는 Wi-Fi 셀을 그림 2와 같이 120m x 50m 의 공간에 동일 색의 4개의 셀을 30m 만큼 거리를 두고 배치하며, 사업자 B 는 간섭원인 LAA 셀을 피간섭원 시스템인 Wi-Fi 셀 주변 3m 떨어진 거리에 간섭 영향을 줄 수 있도록 셀을 배치한다.

2) 실외 (Outdoor) 환경

실외 환경에서는 그림 3과 같이 매크로 셀과 스몰 셀이 공존하는 이종 네트워킹 (heterogeneous network)를 가정하고 있으며, 아래와 같이 4개의 스몰 셀을 하나의 군집(cluster) 형태로 설정하여 LAA 와 Wi-Fi를 지원하는 환경을 가정하였다. 또한 각 매크로

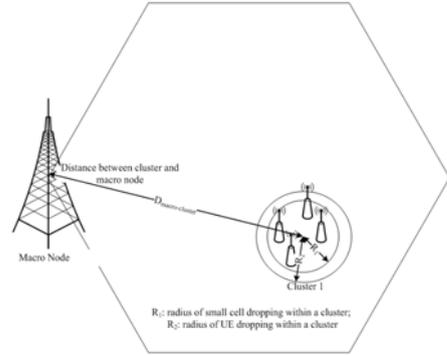


그림 3. Outdoor 환경에서의 셀 배치
Fig. 3. Cell layout in Outdoor Scenarios between two operators

셀의 사이트 간 거리(Inter-Site Distance, ISD)는 500m로 가정하였으며, 스몰 셀의 반경 R1은 50m를 가정하였다. R2 는 해당 군집에 배치시키는 단말의 반경 70m를 나타낸다. 여기서 동일한 사업자의 기지국 간의 셀 간 최소 거리는 20m이며, 서로 다른 사업자의 기지국 간 최소 거리 10m로 가정한다.

- 안테나 패턴

1) 실내 환경

실내 환경에서 LAA 와 Wi-Fi 의 스몰 셀에 대한 안테나 패턴은 2차원 무지향성 안테나를 가정한다.

2) 실외 환경

실외 환경에서의 LAA 기지국의 안테나 방사 패턴은 각 섹터를 기준으로 아래의 표 2와 같은 3차원 지향성 안테나를 가정한다. 여기서 $-180^{\circ} \leq \theta \text{ or } \phi \leq 180^{\circ}$ 이고, 0 dB로부터 3 dB 감소된 빔폭에서의 방사 패턴이 갖는 각도인 ϕ_{3dB} 와 θ_{3dB} 는 표 2에 표시한 것과 같다. 그리고 사이드 로브(side lobe) 에 의한 최대 안테나의 감쇠 값은 안테나의 수직과 수평 패턴에

표 2. 3차원 기지국 지향성 안테나 패턴
Table 2. 3-Dimensional antenna pattern for Macro eNB

Parameters (파라미터)	Simulation assumption (시뮬레이션 인자)
Antenna pattern (horizontal) (수평 안테나 방사 패턴)	$A_H(\phi) = -\min \left[12 \left(\frac{\phi}{\phi_{3dB}} \right)^2, A_m \right]$ $\phi_{3dB} = 70^{\circ}, A_m = 25dB$
Antenna pattern (vertical) (수직 안테나 방사 패턴)	$A_V(\theta) = -\min \left[12 \left(\frac{\theta - \theta_{tilt}}{\theta_{3dB}} \right)^2, SLA_v \right]$ $\theta_{3dB} = 10^{\circ}, SLA_v = 20dB$
Combining method in Ant. pattern	$A(\phi, \theta) = -\min \{ - [A_H(\phi) + A_V(\theta)], A_m \}$

따라 $A_m = 25\text{ dB}$, $SLA_v = 20\text{ dB}$ 로 설정하였다. 스물 셀의 안테나 방사 패턴은 실내 환경과 마찬가지로 2차원 무지향성 안테나를 가정한다.

- 경로손실 모델

1) 실내 환경

실내 환경에서의 전파 모델은 크게 스물 셀 간, 스물 셀과 단말 간, 그리고 단말과 단말간의 경로 손실 모델 3가지로 나뉜다. 스물 셀 간 및 스물 셀과 단말간의 경로 손실 모델은 표 3과 같이 ITU InH^[12] 모델을 따르며, 단말과 단말 간의 손실 모델은 단말 간 직접 통신(Device to Device Communication, D2D)에서 사용한 모델을 사용한다^[13]. 표 3에서 d 는 스물 셀 간의 거리 (d=30m), 스물 셀과 단말과의 거리 및 단말과 단말 간의 거리를 나타내며, fc 는 반송파 주파수로서 LAA 시스템에서는 5.8GHz를 가정하였다. LOS(Line-Of-Sight)와 NLOS(Non Line-Of-Sight)의

확률은 각 환경에 따라 표 5와 같다.

2) 실외 환경

실외 환경에서의 스물 셀 간 및 스물 셀과 단말과의 경로 손실 모델은 표 4와 같이 ITU Umi^[12] 모델을 따르며, 단말 간의 손실 모델은 단말 간 직접 통신에서 사용한 모델을 사용한다^[13].

이와 같이 구해진 경로 손실은 TR 36.942 에 나타난 것과 같이 shadowing 영향과 송/수신단 안테나 이득을 포함하여 최종적으로 실내/ 실외 환경에서의 경로 손실로 나타낼 수 있으며 수식 1과 같이 구할 수 있다^[10].

$$PathLoss = \max(PL + LogF - Ant_{GTX} - Ant_{GRx}, L_{fs} + LogF - Ant_{GTX} - Ant_{GRx}, MCL) \quad (1)$$

표 3. 실내 환경에서의 경로손실 모델
Table 3. Path loss models for indoor scenario

Scenario (시나리오)		Path Loss (경로 손실) [dB] Note : fc (GHz), d(m)	Shadow Fading std [dB]	Applicability range (적용 지역), Ant. Height (안테나 높이)
ITU In.H & D2D Indoor	LOS	PL = 16.9log10(d) + 32.8 + 20log10(fc) 예) = 16.9*2+32.8+20*0.7634 = 73.03	$\sigma = 3$	3 m < d < 100 m hBS =3-6m, hUT =1-2.5m
	NLOS	PL = 43.3log10(d) + 11.5 + 20log10(fc) 예) = 43.3*1.477+11.5+20*0.7634 = 90.72	$\sigma = 4$	10 m < d < 150 m hBS = 3-6m, hUT = 1-2.5m

표 4. 실외 환경에서의 전파손실 모델
Table 4. Path loss models for outdoor scenario

Scenario (시나리오)		Path Loss (경로 손실) [dB] Note : fc (GHz), d(m)	Shadow Fading std [dB]	Applicability range (적용 지역), Ant. Height (안테나 높이)
ITU-UMi	LOS	PL = 22.0log10(d) + 28.0 + 20log10(fc) 예) = 22.0*2+28+20*0.7634 = 87.27	$\sigma = 3$	10 m < d < 580 m hBS =10m, hUT =1-2.5m
	NLOS	PL = 36.7log10(d) + 22.7 + 26log10(fc) 예) = 36.7*2+22.7+26*0.7634 = 115.95	$\sigma = 4$	10 m < d < 2000 m hBS = 10m, hUT = 1-2.5m
D2D_outdoor	LOS	PL =22.7log10(d) + 27.0 + 20log10(fc) 예) =22.7*1.3+27.0+15.27 = 71.78	$\sigma = 3$	10 m < d < 60 m hBS =1.5m, hUT =1.5m
	NLOS	PL = 43.75log10(d) + 19.41 + 23log10(fc) 예) = 43.75*1.3+19.41+23*0.7634 = 93.84	$\sigma = 4$	10 m < d < 2000m hBS =1.5m, hUT =1.5m

표 5. 각 환경에 따른 LOS 확률 모델
Table 5. LOS probability based on ITU model

Scenario (시나리오)	Probability as a function of distance d (거리 d의 함수에 따른 확률)
ITU-InH & D2D_Indoor	$P_{LOS} = \begin{cases} 1, & d \leq 18 \\ \exp(-(d-18)/27), & 18 < d < 37 \\ 0.5, & d \geq 37 \end{cases}$
ITU-UMi & D2D_outdoor	$P_{LOS} = \min(18/d, 1) \times (1 - \exp(-d/36)) + \exp(-d/36)$
ITU-UMa	$P_{LOS} = \min(18/d, 1) \times (1 - \exp(-d/63)) + \exp(-d/63)$

여기서 $LogF$ 는 로그 정규분포 (log - normally distributed)를 갖는 shadowing, Ant_{GTX} , Ant_{GRx} 는 각 송/수신단의 안테나 이득, L_{fs} 는 자유공간 경로 손실로서 $L_{fs} = 20\log_{10}(R) + 20\log_{10}(f) - 27.6$ 과 같다. 최소 결합 손실(Minimum Coupling Loss, MCL) 은 안테나 단에서 측정하는 송/수신단 경로 손실의 최소값이며 필드 성능, 안테나 이득과 케이블 손실을 포함하는 값으로서 스펙 셀 환경에서는 일반적으로 45 dB, 매크로 셀 환경에서는 70 dB를 가정한다.

- 하향링크 ACIR 모델

3GPP LAA 연구에서 최우선순위는 비면허 대역을 하향 링크로만 할당하여 사용하는 방식에 대한 간섭 분석이므로 하향링크에 대한 인접 반송파로의 간섭율 (Adjacent Channel Interference Ratio, ACIR) 모델을 근사화한다. ACIR은 자신의 송/수신단의 특성에 의해 자신의 전송 파워에 대한 인접 채널 수신단이 받는 간섭량의 비로써, 수식 2와 같다¹⁰⁾.

$$ACIR = -10\log_{10}(10^{-ACLR/10} + 10^{-ACS/10}) \quad (2)$$

수식 2에서 보듯이 ACIR 은 기지국 자기 채널 신호 파워에 대한 인접 채널 누설 파워 비인 ACLR (Adjacent Channel Leakage Ratio) 과 단말의 인접 채널 간섭에 대한 자기 채널 선택적 수신 비율인 ACS (Adjacent Channel Selectivity) 의 함수이며, 기지국의 ACLR이 단말의 ACS보다 매우 크므로, 수식 2에 의해 ACIR은 단말의 ACS에 의해 주로 좌우되며, LAA-to-LAA의 경우 27dB 로 근사화 할 수 있다. 수식 2를 이용하면 각 시나리오 별 ACIR 은 표 6과 같이 표현할 수 있다. 인접한 새로운 시스템에 의한 기존 시스템으로의 간섭 총량을 $ACIR_{New} = ACIR_{Current} + X$ [dB] 로 나타낼 때, 만약 새로운 시스템에 의해 기존 시스템 전체 용량이 5% 이내로 감소된다면 오프

표 6. 시나리오 별 ACIR 값
Table 6. ACIR for LAA and Wi-Fi coexistence scenario

Case (Aggressor/Victim)	ACLR [dB]	ACS [dB]	ACIR [dB]
WiFi / WiFi	26.35	22	20.65
LAA / WiFi	45	22	22
WiFi / LAA	26.35	27	23.67
LAA / LAA	45	27	27

셋 값인 $X=0$ 가 되어, 기존 ACLR 혹은 ACS 값을 재사용하게 되지만, 새로운 시스템 간섭에 의해 기존 시스템의 용량이 5% 이상 감소된다면 오프셋 X 를 조정하여 시스템 용량 손실률을 5% 미만으로 허용하는 ACIR 오프셋 값을 찾아야 한다.

- Wi-Fi 시스템 모델

TR36.942에서는 시스템 시뮬레이션을 통해서 새로운 시스템의 간섭 영향에 의한 피간섭 시스템의 셀 용량 감소 관점에서 간섭 영향을 평가하고, 새로운 시스템의 인접대역에 대한 대역 외 방사 관련 RF 규격을 설정하기 위한 것으로 해석될 수 있다. 이를 위해 기존 시스템의 링크 성능을 고려해야 하며, 이 링크 성능을 기준으로 전체 시스템 용량의 간섭 영향을 판단하게 된다. 표 7은 LTE 와 Wi-Fi 시스템에 대한 링크 성능을 나타낸 표이다. Wi-Fi의 경우 IEEE 802.11ac 규격을 기준으로 20MHz 전송 대역을 가정하였을 때 링크 성능이다^{10,14)}.

2.2 인접 채널 간섭 분석 모의실험 결과

2-1절에서 기술한 모의 실험 환경 하에서 새로운 간섭원인 LAA 시스템과 피간섭원인 Wi-Fi 시스템의 간섭 분석이 2가지의 간섭 시나리오 (LAA-to-WiFi, WiFi-to-LAA)에서 수행되었다. 피간섭원 성능 감소 평가 척도는 기존 TR 36.942 와 동일하게 간섭원에 의한 피간섭원의 시스템 용량 손실로 나타내며, 평균 수율(throughput) 손실률과 5% 누적 분포 함수

표 7. LAA 와 Wi-Fi 시스템의 링크 성능 파라메타
Table 7. Parameters of link level performance for LAA and Wi-Fi system

	LAA	Wi-Fi	참고
α (attenuation factor)	0.6	0.6	시스템 용량 감소 요소 (T-put attenuation factor):구현에 따른 성능 loss를 표현하는 요소
SNIR _{MIN} [dB]	-6.5	-20	LTE 시스템: QPSK 변조 방식 Wi-Fi 시스템: BPSK (r=1/2) 변조 방식
T-Put _{MAX} [bps/Hz]	4.4	3.9	LTE 시스템: 64QAM 변조 방식 Wi-Fi 시스템 : 256QAM (r=3/4) 변조 방식

(Cumulative Distribution Function, CDF) 수율 손실률이 최대 손실 허용치인 5% 이내인지를 분석하여 기존의 RF 요구사항 재사용여부를 결정한다. 즉 최대 수율 손실률이 5% 이상인 경우, 간섭을 줄이기 위한 새로운 RF 요구사항이 만들어져야 한다.

이를 위해 우선적으로 비교 기준이 되는 Wi-Fi 시스템 간의 ACIR 값에 따른 평균 수율 손실과 5% CDF 수율손실률을 구한 후 2가지 간섭 시나리오에서 인접 채널 간섭 분석 모의 실험을 수행하여 수율 손실률을 상대적으로 비교 분석한다.

그림 4는 각 간섭 시나리오에 따른 인접 채널로의 간섭 (Adjacent Channel Interference, ACI) 분포를 CDF 로 나타낸 것이다. 그림 4에서와 같이 간섭원이 LAA 시스템이고 피간섭원이 Wi-Fi 시스템인 경우 상대적으로 나타나는 간섭의 양이 가장 적음을 알 수 있다. 또한 비교 대상이 되는 Wi-Fi 간의 간섭의 분포 대비 Wi-Fi 가 간섭원으로 동작하고 LAA 가 피간섭원인 경우 가장 큰 간섭이 발생함을 알 수 있다. 이는 Wi-Fi 는 시간적으로 50%/50% 확률로 상향링크와 하향링크의 동작 변경이 가능하기 때문이다. 즉 Wi-Fi 신호를 수신하는 단말이 일정시간 지난 후 자기 Wi-Fi 신호를 전송하는 경우 인접에서 수신 하는 LAA 수신 단말에게 주는 간섭의 영향이 상대적으로 커지기 때문으로 해석 할 수 있다.

그림 5는 실내 환경에서 LAA 시스템이 간섭원이 고 Wi-Fi 시스템이 피간섭원일 때의 5% 셀 경계 사용자의 수율 손실률과 50% 평균 사용자의 수율 손실률 분석 결과이다. 그림 5-(a)에서 보는 것과 같이 현재 간섭에 관한 규격에서 구해진 ACIR 값 (0dB 오프셋)에서 5% 사용자 수율 손실률은 두 가지 환경에서 모두 약 0.08% 정도가 되며, 이는 피 간섭원의 허용 가능한 시스템 수율 손실률 5% 이하이다. 따라서 기존

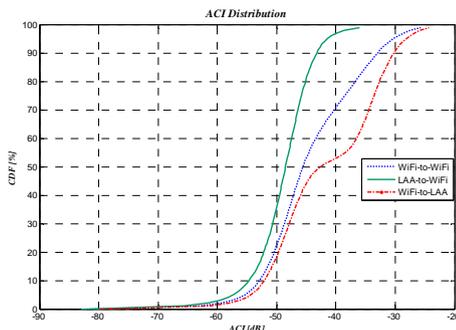
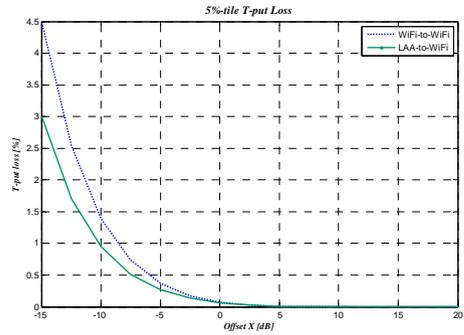
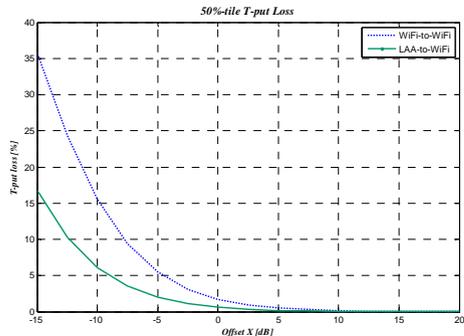


그림 4. Indoor 에서 각 시나리오 환경에 따른 ACI 분포도
Fig. 4. ACI distribution for deployment scenarios in Indoor environment



(a)



(b)

그림 5. 실내 환경에서 LAA-to-WiFi 수율 성능 (a) 5% 셀 경계 사용자 수율 (b) 50% 평균 사용자 수율
Fig. 5. Indoor T-put loss for LAA-to-WiFi (a) 5% cell edge user (b) 50% cell average user

대역 외 방사 관련 RF 요구사항으로도 인접 시스템을 보호하는 데 문제가 없음을 알 수 있다. 또한 Wi-Fi 가 Wi-Fi 에 미치는 영향에 비해서 LAA 가 Wi-Fi 에 미치는 영향이 상대적으로 적은 것을 알 수 있으며, 이는 그림 5-(b)의 50% 평균 사용자 수율(throughput) 그래프의 손실률을 보면 더욱 명확히 나타난다. 즉 간섭원이 LAA일 경우 피 간섭원 Wi-Fi 시스템 수율 손실률은 약 0.7% 정도이지만 Wi-Fi 간의 시스템 수율 손실률은 약 1.75% 로 2.5 배 이상 손실률이 증가한다. 따라서 하향링크 전송용으로 사용되는 LAA 시스템의 간섭에 의한 Wi-Fi 시스템 수율 감소에 대한 영향은 매우 적으며, 기존의 LTE RF 요구사항을 재사용하여도 문제가 없음을 알 수 있다. 오히려 50% 평균 사용자 수율 관점에서는 새로운 시스템이 더 효율적이다.

그림 6은 실내 환경에서 Wi-Fi 시스템이 간섭원이 고 LAA 시스템이 피간섭원으로 동작하는 경우의 시스템 수율 성능을 나타낸 것이다. 그림 6-(a)에서 보는 것과 같이 오프셋 X = 0dB인 지점에서 Wi-Fi 가 간

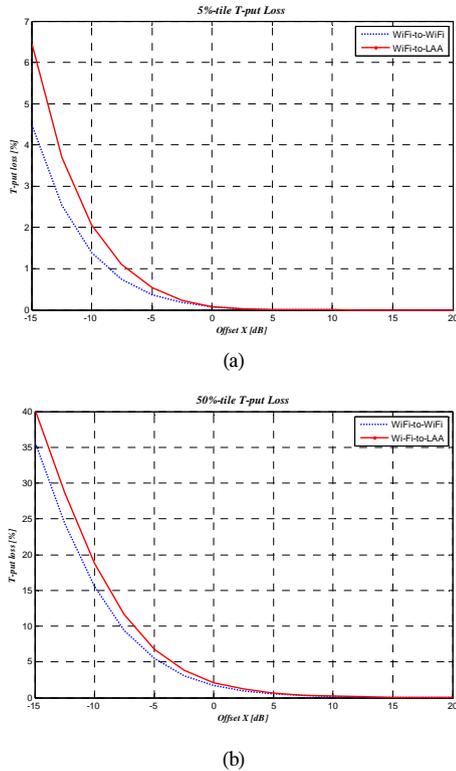


그림 6. 실내 환경에서 WiFi-to-LAA 수율 성능 (a) 5% 셀 경계 사용자 수율 (b) 50% 평균 사용자 수율
Fig. 6. Indoor T-put loss for WiFi-to-LAA (a) 5% cell edge user (b) 50% cell average user

섭원으로 동작하는 경우 5% 셀 경계 사용자의 시스템 수율 손실률은 약 0.1% 로써 비교 대상인 Wi-Fi-to-Wi-Fi 에서의 수율 손실률인 0.08% 와 유사하며, 이 경우도 허용 가능 최대 수율 손실률을 넘지 않으므로 기존의 RF 요구사항을 재사용할 수 있다. 하지만 그림 6-(b)의 50% 평균 사용자의 수율 손실률 관점에서는 Wi-Fi 가 간섭원으로 동작하는 경우 약 2.2%의 평균 수율 손실률을 나타내며, 이는 Wi-Fi 간의 손실률인 1.75% 보다 약 25% 이상 손실률이 증가하게 된다.

Wi-Fi 간섭에 의한 LAA의 시스템 수율 감소는 모두는 최대 허용 손실률을 넘지 않으므로 기존의 Wi-Fi RF 표준을 재사용하여도 문제가 없음을 알 수 있으나, 상대적으로 LAA 가 Wi-Fi 시스템에 미치는 영향에 비해 Wi-Fi 가 LAA 에 미치는 간섭의 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 이는 향후 비면허 대역에서의 LAA 시스템의 RF 요구사항에 대한 완화 가능성에 대한 연구가 추후 표준화 단계에서 이루어질 수 있음을 의미한다.

다음은 실외 환경에서의 LAA-to-Wi-Fi 시나리오에 대한 분석 결과이다. 그림 7은 LAA 시스템이 간섭원, Wi-Fi 시스템이 피간섭원일 때의 5% 셀 경계 사용자 수율 손실률과 50% 평균 사용자 수율 손실률 분석 결과이다. 그림 7-(a)와 같이 현재 간섭에 관한 규격에서 구해진 ACIR 값 (0dB 오프셋) 에서 5% 셀 경계 사용자 수율 손실률은 두 가지 환경에서 모두 약 0.01% 이하가 되며, 그림 7-(b)의 50% 평균 사용자 수율 손실률도 0.1% 이하이다. 즉 LAA 시스템이 간섭원, Wi-Fi 시스템이 피 간섭원인 경우, 5% 셀 경계 사용자 및 50% 평균 사용자에 대한 수율 손실률은 최대 허용 피간섭원의 손실률 5% 이하이다. 하지만 그림 7과 같이 Wi-Fi 가 Wi-Fi 에 미치는 영향에 비해서 LAA 가 Wi-Fi 에 미치는 영향은 실내 환경과 유사하게 상대적으로 더 적게 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 즉 간섭원이 LAA 일 경우 피 간섭원 Wi-Fi의 50% 평균 사용자 수율 손실률은 약 0.04% 정도로 Wi-Fi 간의 수율 손실률인 0.07% 보다 적은 손실률을 보인다.

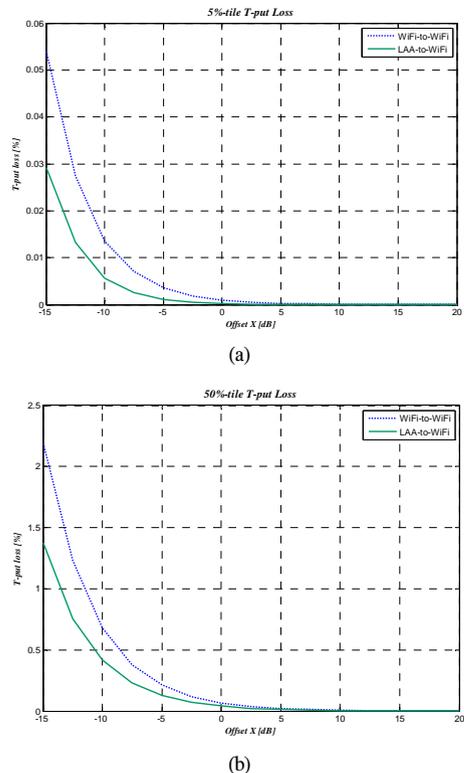


그림 7. 실외 환경에서 LAA-to-WiFi 수율 성능 (a) 5% 셀 경계 사용자 수율 (b) 50% 평균 사용자 수율
Fig. 7. Outdoor T-put loss for LAA-to-WiFi (a) 5% cell edge user (b) 50% cell average user

따라서 실외 환경에서도 하향링크 전송용으로 사용되는 LAA 시스템의 간섭에 의한 Wi-Fi 시스템 수율 감소에 대한 영향은 매우 적으며, 기존의 LTE RF 표준을 재사용하여도 문제가 없음을 알 수 있다.

그림 8은 실외 환경에서 Wi-Fi가 간섭원, LAA가 피 간섭원인 경우의 시스템 수율 성능을 나타낸다. 그림 8-(a)에서 보는 바와 같이 Wi-Fi 가 간섭원인 경우 5% 셀 경계 사용자의 수율 손실률은 약 0.001% 로 비교 기준인 Wi-Fi 간의 시스템 수율 손실률과 유사한 손실률을 나타낸다. rmlfa 8-(b)의 50% 평균 사용자의 수율 손실률 관점에서도 기존 Wi-Fi 간의 손실률과 유사한 0.1% 이하의 손실률을 보이고 있다.

따라서 실내 환경과 실외 환경 모두, LAA 시스템 간섭에 의한 기존 Wi-Fi 시스템의 수율 손실률 감소는 비교 기준인 Wi-Fi 간 간섭 및 WiFi가 간섭원, LAA가 피 간섭원인 경우 모두에 비해서 적게 발생하며, 최대 허용 손실률이 5% 이내이므로 기존의 LTE의 인접 채널간의 간섭을 완화하기 위한 RF 표준을

재사용할 수 있다. 추가적으로 실외 환경에서는 간섭 셀 간 거리 또는 LAA 사용자와 Wi-Fi 사용자간의 거리가 실내 환경에 비해 상대적으로 더 멀리 떨어져 있으므로, 전체적인 시스템 수율 관점에서 간섭원의 영향이 적게 나타나는 것을 알 수 있다.

III. 결 론

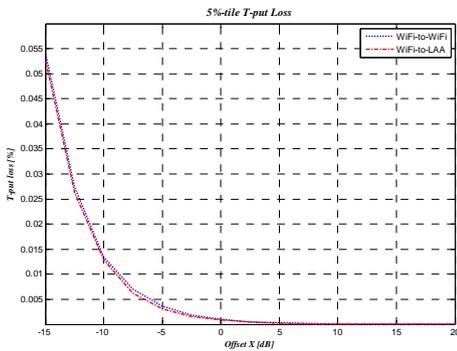
본 논문에서는 3GPP RAN4 에서 다루어진 인접 채널에서의 LAA 시스템과 기존 Wi-Fi 시스템과의 공존 연구를 위하여 간섭 분석을 위한 시뮬레이션 파라미터와 분석 연구 결과에 대하여 기술하였다. 본 연구에 대한 분석 결과는 LAA 와 Wi-Fi의 공존에 대한 시나리오 설정 및 시뮬레이션 파라미터에 따라 시스템 수율 성능 열화에 대한 연구 결과가 조금씩 차이가 있으나 모든 실험 환경에서 최대 허용 손실률을 넘지 않기 때문에 LAA 시스템과 WiFi 시스템은 공존이 가능하며, 전반적으로 Wi-Fi 시스템의 기존 인접 채널 간섭에 대한 RF 요구사항이 LTE 시스템에 비해 상대적으로 완화되어 있어 인접 채널 간섭을 LTE 대비 더 허용하도록 설계되었으며, LAA 가 Wi-Fi 시스템에 미치는 영향보다는 Wi-Fi 가 향후 LAA 에 미치는 영향이 더 클 수 있다는 결론에 도달하였다.

또한 단말 단에서 기존 Wi-Fi RF 입력단 재사용을 위해 비면허 대역 전체를 하나의 필터로 구현하는 방식에 대한 논의가 있었다. 이는 단말이 5GHz 대역에서 LAA 시스템 지원을 위해 별도의 안테나, RF 필터 및 스위치 사용을 배제하기 위한 방안이다⁷⁾.

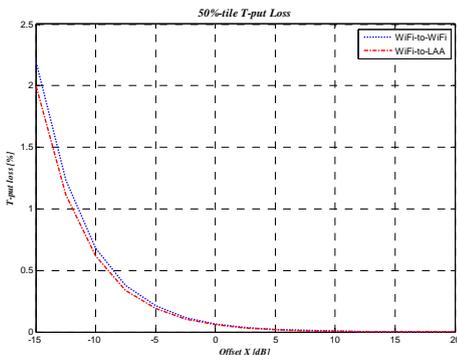
LAA를 위한 단말과 기지국 관점에서의 기저 대역과 RF 대역에서의 송수신단 성능에 대한 요구사항은 ‘15년 8월부터 3GPP RAN4에서 진행된다. 또한 LBT와 같은 상호 시스템간의 공평한 접속을 허용하기 위한 알고리즘 및 표준 제정은 RAN1 과 RAN2 에서 진행된다.

서론에서 언급한 것과 같이 진화된 반송파 집성 표준화에서는 현재 대역내 연속 반송파 집성(intra-band contiguous CA) 에서의 대역폭 클래스를 클래스 I 까지 설정하였으며, 이 경우 비면허 대역의 보조 셀에서만 최대 160MHz (20MHz x 8CCs) 대역폭 집성을 할 수 있으며, 이는 보조 셀에서만 최대 1.2Gbps (150Mbps x 8) 의 전송 속도를 확보할 수 있음을 의미한다.

이와 같이 LAA 기술의 사용으로 사업자는 추가적인 면허대역의 확보 없이도 효율적으로 비면허 대역을 이용하여 사용자가 원하는 높은 전송율의 데이터



(a)



(b)

그림 8. 실외 환경에서 WiFi-to-LAA 수율 성능 (a) 5% 셀 경계 사용자 수율 (b)50% 평균 사용자 수율
Fig. 8. Outdoor T-put loss for WiFi-to-LAA (a) 5% cell edge user (b) 50% cell average user

서비스를 가능하게 할 수 있다. 하지만 여전히 국내 전파 규격에 대한 비면허 대역에서의 LAA 시스템의 허용 여부가 빠른 시일 내에 결정이 되어야 하며, 이에 대한 제도 규정이 필요할 수 있다.

References

[1] 3GPP RP-142286, *New WID: LTE Carrier Aggregation Enhancement Beyond 5 Carriers*, 3GPP RAN Plenary #66, Dec. 2014.

[2] 3GPP R4-153877, *CR to 36.101: New CA bandwidth classes for FeCA*, 3GPP RAN 4 #75, May 2015.

[3] 3GPP RWS-140029, *LTE-U workshop chairman summary*, 3GPP workshop on LTE-Unlicensed spectrum, Jun. 2014.

[4] 3GPP RP-141660, *New WID: LTE Licensed Assisted Access to unlicensed spectrum*, 3GPP RAN Plenary #65, Sept. 2014.

[5] 3GPP Technical Report, 36.854-13, *LTE-Advanced 4 Band Carrier Aggregation (4DL/1UL)*, v0.3.0, 2015.

[6] 3GPP Technical Report, 36.879-13, *LTE-Advanced 2ULs and 3DLs Inter-band Carrier Aggregation*, v0.1.0, 2015.

[7] 3GPP Technical Report, 36.889, *Study on Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum*, v1.0.0, 2015.

[8] 3GPP RP-151045, *New WID: Licensed-Assisted Access to unlicensed spectrum*, 3GPP RAN Plenary #668, Jun. 2015.

[9] 3GPP R4-153817, *Meeting minutes of the LAA adhoc*, 3GPP RAN 4 #75, May 2015.

[10] 3GPP Technical Report, 36.942, *E-UTRA Radio Frequency (RF) system scenarios*, v12.0.0, 2014.

[11] S.-W. Lee, Y. Yang, and J. Jo, "A coexistence study between LTE-Advanced system and current mobile communication system," *J. KICS*, vol. 35, no. 10, pp. 1019-1025, Oct. 2010.

[12] 3GPP Technical Report, 36.814, *Further advancements for E-UTRA physical layer aspects*, v9.0.0, 2010.

[13] 3GPP Technical Report, 36.843, *Study on LTE*

device to device proximity services; Radio aspects, v12.0.1, 2014.

[14] IEEE, Part11: *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE Std 802.11-2012.

임수환 (Su Hwan Lim)



2001년 2월: 이주대학교 전자공학과 학사
 2003년 2월: 이주대학원 전자공학과 석사
 2004년 6월: 네오텔레콤 주임연구원
 2004년 7월~현재: LG 전자 책임연구원

<관심분야> 3GPP LTE/LTE-A 이동통신 시스템, enhanced D2D, 5G 이동통신 시스템

정만영 (Man Young Jung)



1998년 2월: 중앙대학교 전자공학과 학사
 2000년 2월: 중앙대학원 전자공학과 석사
 2004년 11월: SK Innoace 대리
 2004년 11월~현재: LG 전자 수석연구원

<관심분야> 3GPP LTE/LTE-A 이동통신 시스템, V2X, 5G 이동통신 시스템

이상욱 (Sang-Wook Lee)



1994년 2월: 서울대학교 전자공학과
 1996년 2월: 서울대학교 전자공학과 석사
 2001년 2월: 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 박사
 2001년 3월~현재: LG 전자 수석연구원

<관심분야> 3GPP UMTS/LTE/LTE-A 이동통신 시스템, 단말 모뎀 수신기, 5G 이동통신 시스템