

5 GHz 비면허대역 무선랜과의 상호공존을 위한 LTE 시스템의 채널접속방법에 관한 연구

A Study on Channel Access Mechanism of LTE for Coexistence with Wi-Fi on 5 GHz Unlicensed Spectrum

엄 중 선 · 유 성 진 · 박 승 근

Jungsun Um · Sungjin Yoo · Seungkwon Park

요 약

무선 트래픽이 급증함에 따라 활용 가능한 주파수 자원을 확보하고, 기존 사용자와 공동으로 주파수를 사용하기 위한 상호공존 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 이동통신 무선접속표준을 제정하는 3GPP에서도 면허대역에서 제공되던 이동통신서비스를 5 GHz 비면허대역으로 확장하기 위한 표준기술 개발을 시작하였다. 캐리어 집성기술을 기반으로 면허대역의 보조 캐리어로 5 GHz 대역을 활용하는 시나리오를 가정하고 있으며, 기존 Wi-Fi 시스템과 상호공존할 수 있는 기술개발이 핵심 요구사항으로 정의되었다. 3GPP에서는 각국의 기술기준을 모두 만족할 수 있는 단일 기술개발을 목표로 삼고 있으므로, 현재 유럽 기술기준의 Listen-Before-Talk 기반 Frame based Equipment와 Load based Equipment 채널접속 방법을 Wi-Fi와 주파수 자원을 공유하기 위한 기술로 우선 검토하고 있다. 본 논문에서는 두 가지 방식에 대하여 설명하고, 비면허대역 LTE 표준에 적용하는 경우, 구현 및 표준관점에서의 고려할 사항을 정의하고 있다. 또한, 세 가지 동작 시나리오에서 파일전달지연시간과 전송률의 성능지표로 두 방식의 성능을 비교 분석한다.

Abstract

With explosion of wireless traffic it is required to further investigate the technologies on acquiring available spectrum resources and on sharing frequency with existing users. In 3GPP, it is started to study on feasibility and functional requirement of LTE standard in order to extend cellular services offered on only licensed band to 5 GHz unlicensed band. Operating scenario on LTE in unlicensed band is focused on carrier aggregation with licensed band, and the coexistence with Wi-Fi services in 5 GHz band is concerned as a major requirement. For a single global solution framework for licensed assisted access to unlicensed spectrum, listen-before-talk(LBT) mechanism of European regulation for fair access to channel under the coexistence environments is currently examined in 3GPP. In this paper, we evaluate two types of LBT, frame based equipment and load based equipment, with considering LTE carrier aggregation feature and performances of file transferred time and throughput.

Key words: 3GPP, LTE, Unlicensed Band, Spectrum Sharing, LBT

I. 서 론

무선통신 네트워크가 우리 생활 곳곳에 자리 잡으면서
만물인터넷(Internet of Everything : IoE)으로 대변되는 사

「이 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 연구되었음[14-000-01-002].」

한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

· Manuscript received December 12, 2014 ; Revised February 3, 2015 ; Accepted March 2, 2015. (ID No. 20141212-102)

· Corresponding Author: Jungsun Um (e-mail: korses@etri.re.kr)

용자 중심의 스마트 시대에 대한 기대가 높아지고 있다. "Connected House", "Connected Car" 등의 공간 제약을 극복하고 생활의 편리성을 증대할 수 있는 다양한 서비스 모델이 소개되고 있으며, IoE를 지원하기 위한 무선통신 기술 관련 연구가 학계 및 표준단체에서 활발히 논의되고 있다. 그러나 IoE의 가장 중요한 요구사항은 향후 폭발적으로 증가하게 될 통신모듈에 의한 무선 트래픽을 수용할 수 있는 전파자원 확보이다. 이를 위해 각국에서는 주파수 회수/재배치나 밀리미터파 대역과 같은 신규 주파수를 확보, 발굴하고 있으며, 서로 다른 이기종 시스템이 수직적 또는 수평적으로 상호 공존하며 동일 대역을 공동으로 사용하는 방안을 검토하고 있다. 최근 5 GHz 대역과 관련한 다양한 논의도 이러한 주파수이용 정책의 일환으로 볼 수 있다. 무선통신자원 할당의 주파수 관리 측면에서 미국과 유럽은 5 GHz 전체 대역을 Wi-Fi 서비스로 분배하기 위한 기술기준 변경을 검토하고 있다^{[1][2]}. 표준기술 관점에서는 3rd Generation Partnership Project(3GPP)가 면허대역의 이동통신 시스템을 5 GHz 비면허대역에서도 활용할 수 있도록 새로운 LTE 표준기술 개발을 시작하고 있다. 일부 대역에서 동작하고 있는 레이더 시스템을 보호할 수 있도록 각 국가의 5 GHz 비면허대역 기술기준을 검토하고, 이를 표준기술에 반영하기로 하였다. 이와 함께 면허대역에서 독점적으로 운용되던 LTE 시스템이 경쟁기반의 무선채널접속방식을 사용하는 Wi-Fi 시스템과 공평하게 자원을 공유하도록 Listen-Before-Talk(LBT) 기반의 상호공존 기술을 표준기능 요구사항으로 정의하였다. 특히 유럽 5 GHz 기술기준에 정의된 두 가지 LBT 방식을 준수해야 하므로, 두 방식이 비면허대역 LTE 시스템의 표준개정 범위와 동작 성능에 미치는 영향이 검토되어야 한다^[3]. 따라서 본 논문에서는 현재 3GPP에서 LBT 기술로 고려하고 있는 유럽 두 가지 LBT 방식을 상세하게 소개하고, 세 가지 시나리오 환경에서의 두 방식에 따른 파일전송시간과 전송률을 비교분석하여, 비면허대역 LTE 시스템의 채널접속방식을 결정하는데 활용될 수 있는 성능 결과를 제시한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장에서 비면허대역 LTE 표준 현황을 설명하고, 유럽 LBT 무선채널 접속 방식에 대하여 3장에서 논의한다. 4장에서는 LBT 방식에

따른 성능 결과를 분석하고, 5장에서 결론의 맺는다.

II. 5 GHz 대역에서의 LTE

LTE를 포함한 이동통신시스템의 무선접속기술에 관한 표준화를 다루는 3GPP에서는 2013년 12월 RAN #62 전권 회의에서 5 GHz 비면허대역을 활용하기 위한 표준기술 개발 안건이 처음 논의되었다. 이후 2014년 1월과 6월 두 차례에 걸쳐 각국 기술기준, 동작 시나리오와 표준요구기술 사항 등을 검토하는 워크샵이 개최되었다. 각 기관의 의견을 확인하고, 합의한 결과를 토대로 RAN #65 전권 회의에서 Release-13의 "Licensed-Assisted Access(LAA) using LTE"라는 새로운 Study Item(SI)으로 승인되어 표준기술 개발이 시작되었다. 5 GHz 대역의 채널을 무선통신용으로 이용하기 위해서는 각국에서 정의하고 있는 기술기준을 만족해야 하므로 3GPP에서는 관련 기술분석 결과를 정리하고, 이를 SI 기술보고서 TR 36.889에 포함시키기로 합의하였다^[4]. 각 국가의 주요 기술기준은 송출전력 또는 전력밀도의 상한 값과 전력제어(Transmit Power Control: TPC) 기능, 레이더 시스템 보호를 위한 Dynamic Frequency Selection(DFS) 기능, 점유 대역폭 기준 등이며, 5 GHz 전체 대역 중 무선데이터통신으로 허용된 부분대역에 따라 세부적으로 기술되어 있다. 특히 일본과 유럽의 경우에는 수평적 상호공존을 위한 LBT 기술기준이 마련되어 있는데, 일본은 데이터 전송 전 채널 센싱에 대한 요구사항과 4 ms의 최대 채널점유 시간이 LBT 기술기준으로 정의되어 있고, 유럽에서는 무선기기의 동작 특성에 따라 Frame-Based Equipment(FBE) 또는 Load-Based Equipment(LBE)의 두 가지 LBT 기준이 명시되어 있다. 지역적 제한 없는 단일 기술개발이 LAA SI의 주요 목표 중 하나이므로, 일본 및 유럽의 LBT 기술기준이 표준기술로 포함될 것으로 예상된다.

III. 유럽 LBT 기술기준

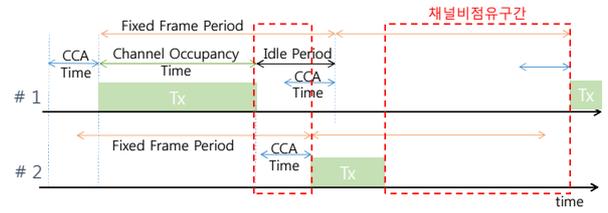
캐리어 센싱과 4 ms 미만의 최대전송시간 규정만 준수하면 되는 일본의 LBT 기술기준과 다르게 유럽은 FBE와 LBE에 따른 상세 동작방법을 정의하고 있다. 표 1은 참고문헌 [3]에 정의되어 있는 LBT 주요 파라미터이다. 두

표 1. FBE와 LBE 파라미터 값

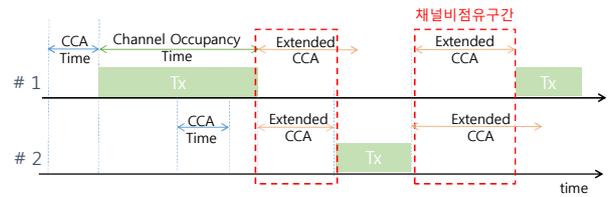
Table 1. Parameters for FBE and LBE.

파라미터	FBE	LBE
CCA	20 us	20 us
최대채널점유시간 (Max. COT)	10 ms	13 ms
ECCA	-	$CCA \times (1, \dots, q)$
비점유시간 (Idle time)	Max. COT의 5 % 이상	ECCA
고정프레임시간	Max. COT + Idle time	-
CCA 신호검출 레벨	$EIRP \geq 23 \text{ dBm}$ $\Rightarrow -73 \text{ dBm/MHz}$	
	$EIRP < 23 \text{ dBm}$ $\Rightarrow -73 \text{ dBm/MHz}$ $+ (23 \text{ dBm} - EIRP) / \text{MHz}$	

방식 모두 최소 20 us의 Clear Channel Assessment(CCA)로 채널점유상태를 확인한 후 데이터 전송을 하며, 이때 채널점유상태판단기준은 LBE 또는 FBE로 동작하는 무선기기의 송신 EIRP를 고려하여 결정된다. EIRP가 23 dBm 이상인 경우, -73 dBm/MHz 이상의 신호가 검출되면 채널이 점유된 것으로 판단한다. EIRP가 23 dBm 이하인 경우에는 인접 무선기기에 미치는 간섭의 크기가 상대적으로 낮아지므로 CCA 검출 레벨도 송신 EIRP에 비례하여 높아진다. FBE와 LBE 두 방식의 차이점은 다른 무선기기와 상호공존 하는 상황에서 CCA를 통한 채널점유기회에 있다. FBE는 고정 프레임 기간(Fixed Frame Period : FFP)에만 CCA를 수행하고 채널이 점유되어 있으면 FFP 동안 데이터를 전송할 수 없다. FFP는 최대 10 ms 이하의 채널 점유시간(Channel Occupancy Time: COT)과 최대점유구간의 5 % 이상의 비점유구간(Idle Period: IP)으로 구성되며, CCA는 IP의 끝부분에 포함되어 있다. LBE는 FBE와 달리 전송이 필요한 시점에 언제든지 CCA를 수행할 수 있다. CCA 결과, 채널이 점유되어 있지 않은 경우 바로 데이터 전송이 가능하다. 그러나 다른 신호가 감지된 경우에는 Extended CCA(ECCA)를 수행하도록 되어 있다. ECCA는 4부터 32 사이의 정수 q 를 최대값으로 하는 1부터 q 중 랜덤하게 선택한 값을 CCA(20 us)로 곱한 시간 동안 채널



(a) 프레임 기반 장치
(a) Frame based equipment



(b) 로드 기반 장치
(b) Load based equipment

그림 1. 무선기기 #1과 #2의 FBE와 LBE 동작 예
Fig. 1. Operating examples on FBE or LBE of Device #1 and #2.

점유 상태를 확인한다. 이때 q 값은 최대채널점유 시간보다 $(13 \times q) / 32 \text{ ms}$ 이 작도록 설정한다. LBE의 IP는 데이터 전송 후 다음 전송을 위해 선택된 ECCA로 결정된다. 그림 1은 두 개의 무선기기가 동일 채널에서 FBE와 LBE로 동작하는 경우의 예이다.

두 가지 LBT 방식을 비면허대역 LTE에 적용한다면 구현 및 동작관점과 성능관점에서 검토되어야 할 것이다. LTE의 캐리어 집성을 고려할 때 1 ms의 기본 서브프레임 단위로 면허대역과 비면허대역 Cell들이 동기가 이루어져야 한다. 따라서 FBE 기반인 경우, 서브프레임 경계에서만 CCA를 수행하고, CCA 결과에 따라 면허대역에서 비면허대역을 제어할 수 있으므로 상대적으로 간단한 설계가 가능할 수 있다. 반면 LBE는 ECCA 수행에 의해 서브프레임 중간에 채널점유를 위한 신호나 데이터가 전송되어야 하므로 새로운 표준규격 설계가 요구된다. 성능 측면에서는 FBE의 경우, 실제 전송 시간이 짧아도 FFP를 지켜야 하며, 고정된 시점에서만 CCA를 하므로 채널점유 기회를 많이 가지지 못하는 문제가 존재한다. 또한, 한번 데이터를 전송한 LAA가 계속 데이터를 전송하는 경우, 다른 FBE 기반 LAA는 CCA 구간에 계속 채널이 점유되

어 데이터 전송 기회를 얻지 못할 수 있다. LBE의 경우, 한번 채널이 점유되면 CCA보다 긴 ECCA가 요구되므로 시스템 전체의 채널이용 효율이 저하될 수 있다.

IV. 시뮬레이션 분석

본 장에서는 3장에서 제기한 성능 관점 이슈를 검증하기 위하여 세 가지 시나리오 조건에서 두 방식의 시뮬레이션 수행 결과를 분석한다. LTE 시스템에 적용될 상세 LBT 표준기술은 3GPP에서 현재 논의 중이므로 면허 및 비면허대역 캐리어 집성(Carrier Aggregation) 동작에 따른 영향은 배제하고, 비면허대역의 무선채널접속 방식에 따른 영향만을 비교 분석한다. 성능 지표는 각 기지국에 도착한 파일이 수신단에 도달할 때까지 소요되는 파일전달 시간(File Transferred Time: FTT)과 전송률(Throughput)에 대한 누적분포함수 Cumulative Distribution Function (CDF)와 평균값을 사용한다. 서로 다른 환경에서의 FBE와 LBE의 성능을 비교하기 위하여 그림 2와 같이 세 가지 시나리오를 가정한다. 시나리오 I과 II는 FBE와 LBE 중 하나의 방식만 존재하는 경우와 두 방식이 공존하는 환경이고, 시나리오 III은 FBE 또는 LBE가 Wi-Fi와 공존하는 환경으로 Wi-Fi는 LBE와 유사한 IEEE802.11 표준의 Distributed Coordinated Function(DCF)로 동작한다. 각 시나리오에서 FBE와 LBE로 가정한 비면허대역 LTE 시스템은 하향 링크의 100 RB(Resource Block)를 하나의 사용자에게 모두 할당하고, Transport Block Size(TBS) 인덱스 (I_{TBS})를 0으로 한다. 실험에 적용된 $I_{TBS}=7, 25$ 조건은 LBE와 FBE 사이의 성능 차이가 상대적으로 줄어드는 점 외에는 $I_{TBS}=0$ 과 유사한 패턴이므로 본 논문에 따로 제시하지 않는다. 세 가지 시나리오에서 채널 점유를 시도하는 무선국의 총 수는 6개로 가정하며, 각각은 0.5 Mbytes의 FTP 파일이 2.5s의 도착율(File Arrival Rate)을 갖는 트래픽 모델을 사용한다. 시나리오 III의 경우, 5개 Wi-Fi Station이 AP로 각각 QPSK, 1/2 코드율(13 Mbps)을 사용하여 데이터를 전송하는 것으로 한다. 기술기준과 관련하여 무선채널 점유상태 판단은 LTE는 eNodeBs, Wi-Fi는 APs와 Stations이 신호 전송 전에 CCA를 수행하며, 비면허대역 LTE의 최대채널점유 시간은 일본의 기술기준을 고려하여 4 ms로 한다. 무선채널의 영향은 채널접속 관점

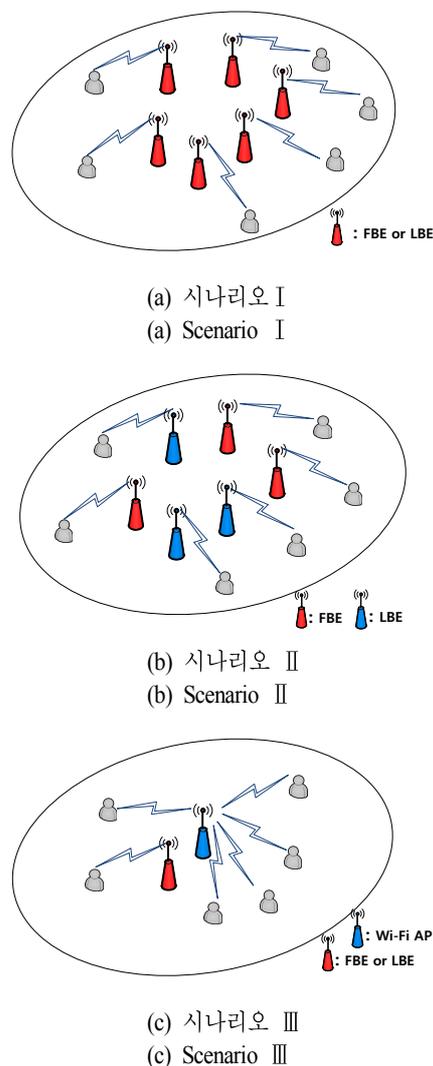


그림 2. 시뮬레이션 동작 시나리오
Fig. 2. Deployment scenarios for simulation.

의 성능 분석에 초점을 맞춰 Error free 환경을 가정하고, 각 무선기기의 전송 신호를 다른 무선기기가 모두 검출할 수 있는 것으로 한다. 표 2는 유럽 LBT 기술기준 등 시뮬레이션에 적용된 파라미터를 정리한 것이다. 최대 전송시간을 4 ms로 가정하므로 LBE의 q 값은 10이 되며, 비점유시간은 LBE는 최대 ECCA 시간이 200 us가 되고 FBE는 200 us로 고정된다.

그림 3과 4는 시나리오 I의 결과이다. FBE만 존재하는 경우, 하나의 무선국이 채널을 점유하면 동일한 Frame Period를 가지는 무선국이 없게 되면 버퍼가 점유되어 있

표 2. 시뮬레이션 파라미터

Table 2. Simulation parameters.

파라미터	값
CCA	20 us
COT	4 ms
q for ECCA	10
비점유시간	FBE : 200 us(4 ms의 5%)
	LBE : 200 us 이하(최대 ECCA 이하)
FTP 파일크기	0.5 Mbytes
파일도착율	2.5

는 기간 동안 독점적으로 데이터 전송이 가능하다. 이 후 Frame Period에 의한 CCA 시점에 따라 순차적으로 각각의 무선국의 데이터 전송이 가능해진다. 따라서 그림 3의 초기 시점에 FBE의 CDF가 수직으로 나타나고, FTT의 CDF 결과가 비교적 선형적으로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 반면, LBE의 경우, 정의된 COT=4 m마다 ECCA의 백오프를 수행해야하고, 서로 다른 무선국의 동일한 백오프 카운터 값 선택에 의한 충돌이 발생하여 FBE에 비하여 상대적으로 성능이 열하된다. 평균적인 성능 결과인 그림 4에서도 Throughput과 FTT 모두 FBE가 LBE에 비하여 우수한 결과가 도출되었다. 그림 5, 6은 시나리오 II의 결과로써 총 6개의 비면허대역 LTE eNodeB가 존재하고, 이

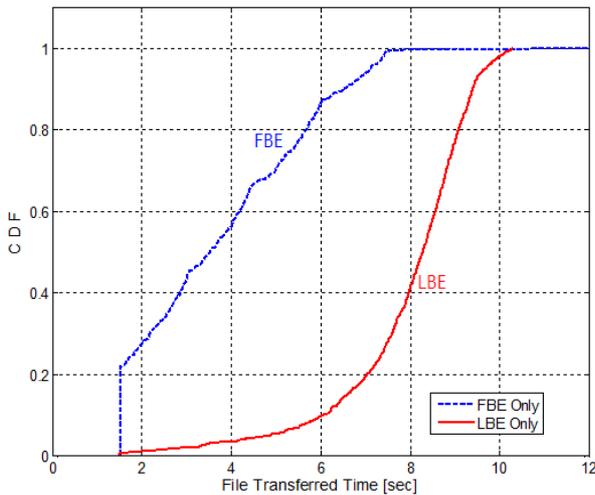


그림 3. 시나리오 I의 FTT CDF
Fig. 3. CDF of FFT in the scenario.

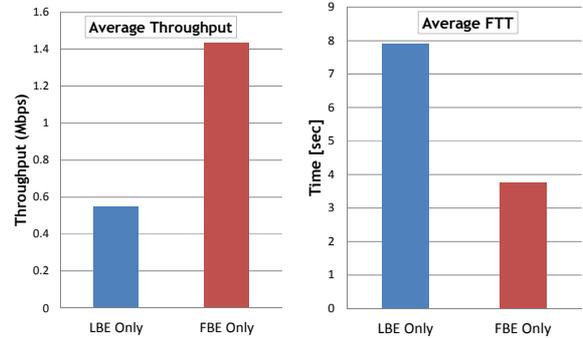


그림 4. 시나리오 I의 평균 FTT 및 전송률
Fig. 4. Average FFT and throughput in the scenario.

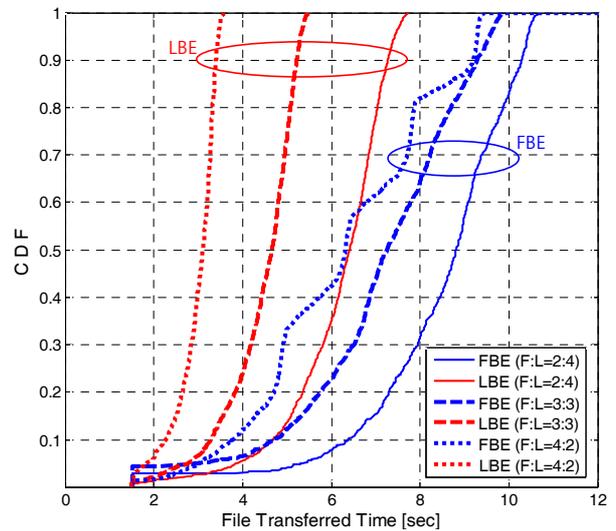


그림 5. 시나리오 II의 FTT CDF
Fig. 5. CDF of FFT in the scenario II.

중 FBE와 LBE를 사용하는 비율(F:L)에 따른 분석 결과이다. 시나리오 I과 다르게 동일한(F:L) 조건에서 LBE가 FBE에 비하여 우수한 결과를 보인다. 이것은 FBE의 CCA 구간 동안 LBE로 동작하는 무선국들이 ECCA로 채널을 점유할 수 있으므로 고정된 시점에서만 CCA하는 FBE에 비하여 채널 점유 확률이 높아지기 때문이다. 주목할 점은 LBE 사이 또는 FBE 사이에서는 FBE 무선국 수가 증가할수록 성능이 좋아지고, 그림 7과 같이 전체 시스템 성능도 향상되는 것이다. 이러한 원인은 시나리오 I의 결과로부터 유추가 가능하다. 상대적으로 LBE 무선국

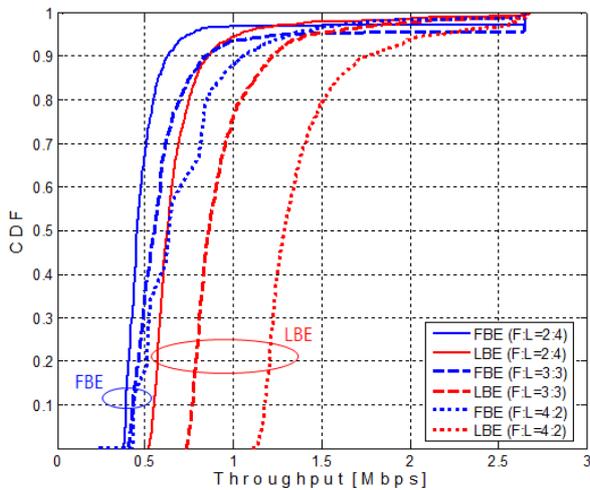


그림 6. 시나리오 II의 전송률 CDF
Fig. 6. CDF of throughput in scenario II.

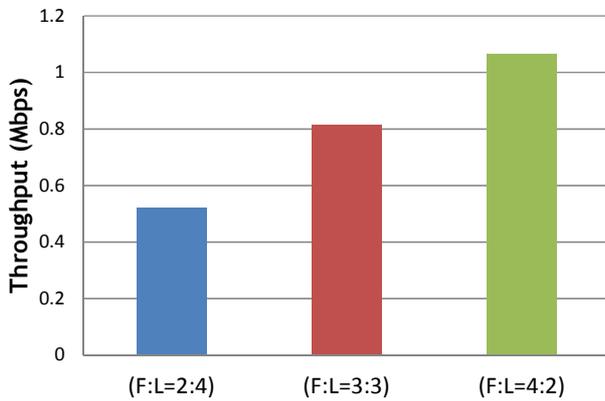


그림 7. 시나리오 II의 평균 전송률
Fig. 7. Average throughput in the scenario II.

수가 줄어들면 FBE 관점에서는 CCA 결과가 Idle일 확률이 증대되어 FBE 성능이 향상되며, LBE 관점에서는 경쟁되는 다른 LBE 무선국 수가 줄어들어 점유확률을 높이거나, 충돌확률을 줄일 수 있기 때문이다. Wi-Fi와 공존하는 시나리오 III에서는 Wi-Fi도 LBE의 채널접속방식과 유사하므로, 시나리오 II 결과의 경향과 같이 LBE가 FBE에 비하여 우수한 결과를 보인다. 다만 LBE는 고정된 ECCA 구간에서 백오프 카운터 값을 선택하는 반면에, Wi-Fi는 Exponential Back-off으로써 최소의 Contention Window(CW)에서 시작하여 전송 충돌이 발생하면 CW를 지

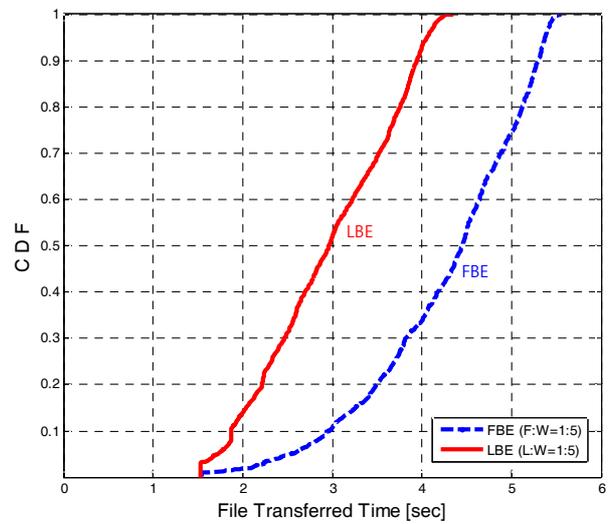


그림 8. 시나리오 III FTT CDF
Fig. 8. CDF of FTT in the scenario III.

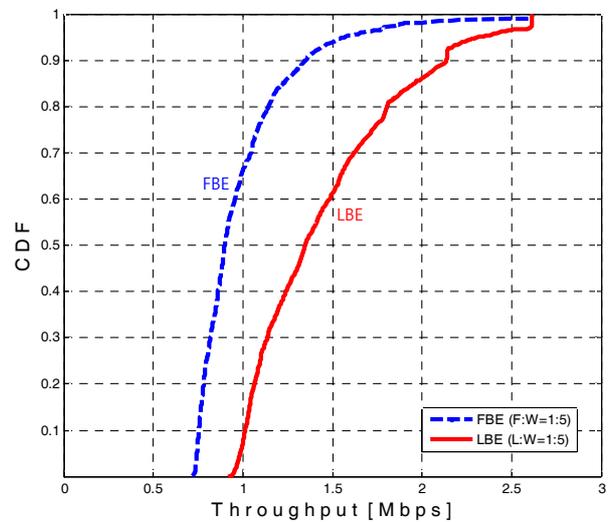


그림 9. 시나리오 III 전송률 CDF
Fig. 9. CDF of throughput in the scenario III.

수적으로 증가시킨다. 따라서 그림 8과 9의 LBE와 FBE의 기울기가 그림 5와 6의 기울기와 다른 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다. 세 가지 시나리오의 시뮬레이션 결과로부터 Wi-Fi와 LTE가 공존하는 상황에서 전체 네트워크 성능을 최대화하려면 비면허대역 LTE를 FBE 방식으로 고려할 수 있으나, LTE의 성능을 최대화하기 위해서는 LBE 방식이 요구되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나

실제 환경에서 모든 단말이 eNodBe에 의하여 제어되고 스케줄링 되는 LTE 시스템은 하나의 셀 단위로 채널접속을 시도할 가능성이 높으므로, 모든 STA들이 채널접속을 시도하는 Wi-Fi에 비하여 접속에 참여하는 무선국의 수가 상대적으로 작아질 수 있다. 따라서 FBE로 LTE를 운용하더라도 전체 시스템 성능의 개선 효과가 높아지지 않을 수 있으므로 LBE 방식으로 LTE를 운용하는 것이 시스템 및 비면허대역 LTE 성능관점에서 효과적인 것으로 판단된다.

V. 결 과

본 논문에서는 현재 3GPP에서 표준화 중인 5 GHz 비면허대역에서의 LTE 표준기술에 대한 동향과 Wi-Fi와 상호공존을 위해 검토되고 있는 LBT 기술을 다루었다. 유럽의 LBT 기술 기준으로 제안된 LBE와 FBE 방식에 대한 설명과 다양한 동작 시나리오에서의 각 방식의 성능

분석 결과를 제시하여, LBE 기반의 비면허대역 LTE가 우수한 전송률과 파일전송시간 성능을 갖는 것을 확인하였다.

References

- [1] FCC 13-22, "Notice of proposed rulemaking", Feb. 2012.
- [2] DIGITALEUROPE, "DE position on additional spectrum in 5 GHz", 2012.
- [3] ETSI EN 301 893, Harmonized European Standard, "Broadband Radio Access Networks(BRAN); 5 GHz high performance RLAN(v1.7.1)", Jun. 2012.
- [4] 3GPP TR 36.889 v0.1.1, "Study on Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum(Release 13)", Sep. 2014.
- [5] IEEE802.19-14/0082r0, Overview of EU LBT and its Effectiveness for Coexistence of LAA LTE and Wi-Fi, Nov. 2014.

엄 중 선



2004년 2월: 성균관대학교 전기및전자통신공학부 (공학사)
 2006년 2월: 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)
 2006년 3월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
 [주 관심분야] 디지털통신, 스펙트럼 공유 기술, 무선통신시스템 설계

박 승 근



1991년 2월: 고려대학교 응용통계학과 (이학사)
 1993년 8월: 고려대학교 응용통계학과 (이학석사)
 2006년 2월: 충북대학교 정보통신학과 (공학박사)
 1993년 8월~현재: 한국전자통신연구원 인지무선기술연구실 실장
 [주 관심분야] 스펙트럼 관리 및 공유, 디지털통신, EMC

유 성 진



2001년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학 (공학사)
 2003년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학과 (공학석사)
 2003년 3월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원
 [주 관심분야] 전자공학, 통신공학, 인지무선기술