

비면허대역 LTE를 위한 멀티캐리어 액세스 기법

김상현*, 부호양룡*, 노민석**, 광진삼**, 윤지훈^o

Multi-Carrier Listen Before Talk Mechanism for LTE in Unlicensed Spectrum

Sanghyun Kim*, Long Hoang Vu*, Minseok Noh**, Jinsam Kwak**, Ji-Hoon Yun^o

요약

본 논문은 비면허대역을 위한 LTE 통신 기술인 LAA(Licensed Assisted Access)가 복수의 주파수 채널을 사용해 하향링크 전송을 수행하기 위한 액세스 기법을 설명하고, 액세스 기법의 세부 동작 설계에 따른 Wi-Fi와의 공존 특성 및 각 통신 기술의 성능 변화를 시뮬레이션을 통해 보인다. 이를 위해 LAA의 채널 분당 규칙 적용 여부, LBT(Listen Before Talk)를 수행하는 채널, LBT 채널을 동적으로 변경 시 CW(Contention Window)의 설정 방법, 그리고 Wi-Fi의 대역폭 설정 방식과 CW 조절 방식을 고려한다. 각 요소를 변경하였을 때 상호 간의 성능 변동 경향을 확인하고, 이를 통해 두 기술의 공존을 위해 다양한 요소가 복합적으로 고려되어야 함을 보인다.

Key Words : Multi-Carrier LBT, LAA DL, Cat-4 based LBT

ABSTRACT

An LTE enhancement for licensed-assisted access (LAA) to unlicensed spectrum has been studied recently and the first version of its design has been released in early 2016. As both 2.4 and 5GHz ISM bands have multiple channels and Wi-Fi devices already support multi-channel operation, LTE LAA has also been designed such that an eNB can access multiple channels at the same time. In this paper, we review several design variants of listen before talk (LBT) procedure for multi-channel transmission in downlink and perform simulation to investigate coexistence of Wi-Fi and LAA as well as the performance of both.

I. 서론

풍부한 비면허대역 주파수 자원을 활용하여 LTE 통신 서비스를 제공하기 위해 The 3rd Generation Partnership Project(3GPP)는 Licensed-Assisted

Access(LAA) 기술 연구를 수행하였고^[1], 2016년 3월에 하향링크 전송을 표준화한 Release 13을 발표하였다.^[2] LAA가 주 대상으로 하고 있는 비면허대역인 5GHz 주파수대역은 여러 개의 채널로 구성되어있고, 높은 전송 속도를 지원하기 위해서 eNB가 여러 채널

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송연구개발사업의 일환으로 수행하였음.[R0127-16-1003, 비면허대역 이중 RAT(LTE&Wi-Fi) 공존을 위한 통신 표준 개발]

• First Author: Seoul National University of Science and Technology, Department of Electrical and Information Engineering, shk0787@seoultech.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author: Seoul National University of Science and Technology, Department of Electrical and Information Engineering, jhyun@seoultech.ac.kr, 종신회원

* Seoul National University of Science and Technology, Department of Electrical and Information Engineering, @seoultech.ac.kr, 학생회원

** WILUS Inc., {minseok.noh, jinsam.kwak}@wilusgroup.com, 정회원

논문번호 : KICS2016-05-083, Received May 1, 2016; Revised June 27, 2016; Accepted July 21, 2016

을 동시에 이용하여 전송을 수행하는 멀티캐리어 전송이 포함되었다.^[3]

LAA가 비면허대역에서 서비스되기 위해서는 비면허대역에서 활발히 이용되고 있는 Wi-Fi 기술과의 공존이 중요한 요소이기 때문에 이에 대한 연구가 진행되고 있다.^[4-6] Wi-Fi는 비면허대역에서 동작하는 다른 Wi-Fi 및 이종 기술 장치들과 효율적으로 공존하기 위해서 전송 전에 채널의 점유 여부를 평가하는 LBT(Listen Before Talk)를 수행 후 동작을 결정함으로써 다른 장치와의 직접적인 코디네이션이 없이도 조화로운 공존을 달성하고 있다. 따라서, LAA의 다중채널을 이용한 전송에 있어서도 이러한 공존성을 고려하여 전송 기술이 설계되어야 한다.

본 논문에서는 LAA가 다중채널을 사용하여 하향 링크 전송을 수행하기 위해 설계된 액세스 기법을 검토하고, 비면허대역에서 마주하게 될 Wi-Fi와의 공존 가능 여부를 확인하기 위해 시뮬레이션을 통해 각각의 성능비교를 수행한다. 본 논문은 [7]의 확장판으로서, 보다 다양한 동작 옵션의 성능 결과와 분석을 포함한다.

II. 멀티캐리어 전송

먼저 Wi-Fi와 LAA 각각의 멀티채널 전송을 위한 액세스 기법을 설명한다.

2.1 Wi-Fi의 멀티채널 액세스 기법

그림 1과 같이 Wi-Fi는 고정된 주 채널(primary channel)에서만 백오프 기반의 LBT를 수행하는데, (a)와 (b)는 각각 동적(dynamic) 대역폭 방식과 정적(static) 대역폭 방식에 따른 동작을 보이고 있다. Wi-Fi 노드는 주 채널에서 백오프를 수행한다. 백오프 카운트가 0이 될 것으로 예상되는 시점보다

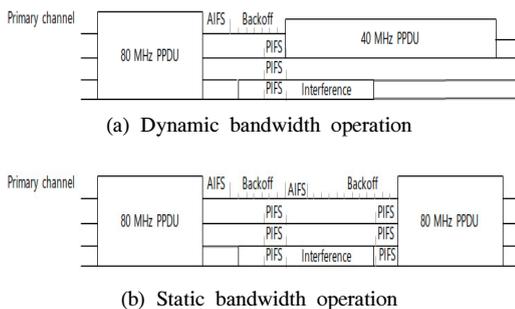


그림 1. Wi-Fi의 멀티채널 전송을 위한 대역폭 활용 방식
Fig. 1. Dynamic and static bandwidth operation for multi-channel transmission of Wi-Fi

PIFS(PCF Interframe Space) 만큼의 시간 전에 다른 채널에서도 해당 채널의 점유 여부를 확인하기 위한 CCA(Clear Channel Assessment)를 수행한다. 그림에서는 이 시점에 네 번째 채널에 간섭 신호가 존재하고, 따라서 총 세 개의 채널이 사용 가능하다. 하지만, Wi-Fi의 채널 본딩(bonding) 규칙에 따라 주 채널과 인접한 [1, 2, 4, 4+4]개의 채널에서만 멀티채널 전송이 가능하므로, 동적 대역폭 방식의 경우에는 위 두 개의 채널에서만 전송을 수행하고 세 번째 채널은 미점유되어 있지만 전송을 수행하지 않는다. 정적 대역폭 방식의 경우에는 초기에 설정한 모든 채널이 미점유된 경우에만 전송을 수행하고, 한 개 채널이라도 점유되어 있으면 전송을 수행하지 않고 CW(Contention Window)를 늘린 후 다음 백오프를 수행한다.

2.2 LAA의 멀티채널 액세스 기법

LAA는 LBT 방식에 따라 두 종류의 동작을 아래와 같이 정의하고 있다.

Type A: 각 채널에서 개별적으로 LBT 후 전송을 수행한다.

Type B: Wi-Fi와 유사하게 1개의 채널을 선택하여 이 채널에서만 LBT를 수행하고, 백오프 카운트가 0이 되기 25us전에 나머지 채널들에서 CCA를 수행한다.

본 논문에서는 Wi-Fi와의 공존에 있어서 보다 유리할 것으로 예상되는 Type B를 고려한다. Type B의 경우, Wi-Fi와 달리 채널 본딩 규칙을 적용하지 않고, 따라서 미점유된 채널 모두에서 전송을 수행할 수 있다. 또, LBT를 수행하는 채널을 수시로 변경할 수 있다. 이러한 점들이 Wi-Fi와의 공존에 있어서 어떤 영향을 미치는지 다음 장에서 알아보도록 한다.

III. 성능 결과

3.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 LAA와 Wi-Fi의 공존성에 집중하여 수행되었다. Wi-Fi AP와 LAA eNB(evolved Node B) 각 1개가 동일 위치에 설치되고(각 1개의 사용자 단말 포함), 각각은 Full-buffer 트래픽을 발생한다. 각각은 최대 4개의 채널(#0-#3)을 사용한다. Wi-Fi AP의 주 채널은 #0이고, 기본적으로 정적 대역폭 방식을 사용한다. LAA eNB의 LBT 채널은 별도로 표시한다. 여기에 추가적으로 싱글채널을 사용하는 기존 Wi-Fi AP 2개(각 1개의 사용자 단말 포함)가 채널 #3에 존재한다. 공존성 평가를 위해 AP/eNB의 채널 점유율

(Channel Occupancy Rate)^[8] 또는 사용자 수율 (throughput)을 측정한다. 채널 점유율은 아래와 같이 정의한다.

$$\text{채널 점유율} = (\text{전체 채널에서의 전송시간 총합}) / (\text{채널의 수} \times \text{전체 시뮬레이션 시간}) \quad (1)$$

Wi-Fi의 성능 측정은 멀티채널 AP에 대해서만 수행하였다. 사용자 수율 측정 시, LAA의 링크레벨 성능은 Wi-Fi와 동일하다고 가정한다. 보다 세부적인 시뮬레이션 가정은 [9]와 동일하다.

3.2 채널 본딩 규칙의 영향

그림 2는 LAA가 채널 본딩 규칙을 따를 때와 따르지 않을 때의 결과를 보인다. LAA의 LBT 채널은 #0-#3 중에 하나로 고정되어 있다. 채널 본딩 규칙 적용과 관계없이 Wi-Fi는 LAA가 채널 #3에서 LBT를 수행할 때 이외에는 거의 채널을 점유하지 못하고 있다. 이는 채널 #3가 싱글채널 AP들에 의해 매우 높은 확률로 점유되어 있어 멀티채널 AP가 모든 채널이 미점유되어 있는 순간에 LBT를 종료하는 경우가 드물기 때문이다. Wi-Fi의 경우 4개 채널을 모두 사용해서 전송하거나 아예 전송을 하지 못하는 두 경우 뿐이

로, LAA의 채널 본딩 규칙 적용 여부에 영향을 받지 않는다. LAA가 채널 #3을 LBT 채널로 사용할 때에는 채널 #3을 사용하고 있던 싱글채널 AP와 LAA eNB가 경쟁을 하게 되어 이 장치들의 CW가 증가하고 LAA의 채널 점유율이 떨어지므로, 멀티채널 AP가 모든 채널이 미점유되어 있는 순간을 찾을 가능성이 높아지게 된다.

한편, LAA의 채널 점유율은 채널 본딩 규칙에 따라 큰 차이를 보인다. 채널 본딩 규칙이 적용되지 않았을 때는 채널 #3을 LBT 채널로 사용하는 경우 외에는 동일한 결과를 보인다. 이는 LBT 채널이 #0-#2일 때 eNB가 전송할 채널 점유 경우는 0, 3, 4개 채널 뿐이고 3개 또는 4개 채널을 이용해 전송할 지는 채널 #3의 점유 상태에 의해 결정되기 때문이다. 채널 #3을 LBT로 사용했을 경우는 앞에서 언급한 것처럼 해당 채널의 싱글 채널 AP와의 경쟁때문에 전송기회가 줄어든다. 채널 본딩 규칙이 적용된 경우는 eNB의 채널 점유 경우가 0, 2, 4개 채널이 되어, 규칙 적용 전에는 3개 채널을 사용하는 경우가 규칙 적용 후에는 2개 채널을 사용하는 경우가 되므로 전체적으로 성능이 줄어든다. 특히 채널 #2를 LBT로 사용할 경우의 성능이 대폭 떨어지는데, 이는 채널 #3이 싱글채널 AP에 의해 사용 중이라면 채널 본딩 규칙에 의해 채널 #0과 #1이 미점유되어 있더라도 채널 #2만을 사용하게 되기 때문이다. 시뮬레이션 결과로부터, LAA에 채널 본딩 규칙을 적용하는 것은 Wi-Fi가 얻는 이득은 없는 반면, LAA의 성능 저하 폭은 커진다고 할 수 있다.

그림 3은 LAA eNB의 LBT 채널을 #0과 #2로 고정된 결과이며 Wi-Fi의 동작 방식에 따른 성능 변화를 보인다. 이 시뮬레이션 결과로부터 그림 4에서 볼 수 있는 Wi-Fi의 큰 성능 저하가 정적 대역폭 방식일 때 발생하는 CW 증가 영향이 큰 것을 확인할 수 있다. 정적 대역폭 방식(Static)으로 동작하는 멀티채널 AP는 백오프 카운트가 0이 되었을 때 다른 채널이 점유되어 있으면 CW를 늘리는 동작을 한다. 그림 3에서 CW를 늘리는 동작을 사용하지 않을 경우 (Static-NoDoubling) 성능이 대폭 향상되는 것을 볼 수 있다. 하지만, 여전히 LAA 대비 낮은 성능을 보인다. 앞의 결과에서 확인한 바와 동일하게, Wi-Fi가 정적 대역폭 방식을 사용할 경우에 LAA의 채널 본딩 규칙 적용(Bond)은 Wi-Fi의 성능 향상에는 도움을 주지 못한다.

한편, Wi-Fi가 동적 대역폭 방식을 사용할 경우 (Dynamic) 그 차이가 대폭 줄어든다. 이 경우 일부 채널이 점유되어 있더라도 미점유 채널만을 이용해서

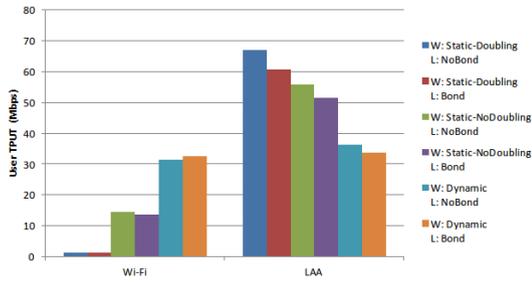


(a) Without a channel bonding rule

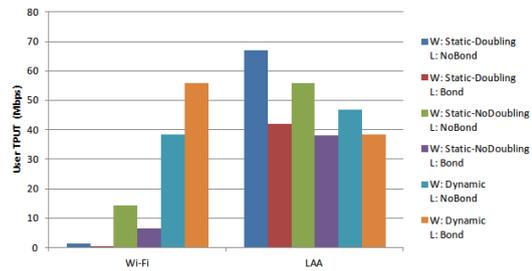


(b) With a channel bonding rule

그림 2. LAA의 LBT 채널에 따른 채널 점유율
Fig. 2. Total channel occupancy rate with different LBT channels of LAA eNB (a) without Wi-Fi channel bonding rule and (b) with the rule



(a) LAA's LBT channel is Channel #0



(b) LAA's LBT channel is Channel #2

그림 3. Wi-Fi의 대역폭 사용 방식과 LAA의 채널 분당 규칙 적용에 따른 사용자 수율 결과

Fig. 3. User throughput with different bandwidth operation types of Wi-Fi and channel bonding rule of LAA: LAA's LBT channel is (a) #0 and (b) #2

전송이 가능하므로 LAA와의 차이가 줄어든다. 채널 분당 규칙을 적용하지 않은 LAA(NoBond)는 3개 채널만을 이용해 전송할 수 있으므로, 이외의 차이는 여전히 남아 있다. LAA가 채널 #0에서 채널 분당 규칙을 적용하여 동작하면(왼쪽 그림에서 Bond) 동적 대역폭 방식을 사용하는 Wi-Fi와 정확하게 같은 방식으로 채널을 사용하기 때문에 두 기술의 성능은 동일해진다. LAA가 채널 #2에서 LBT를 수행할 때에는 동적 대역폭 방식으로 동작하는 Wi-Fi와 차이를 보이게 되는데, 이는 채널 #3에 존재하는 싱글채널 AP가 전송 중일 때 멀티채널 Wi-Fi는 채널 #0과 #1의 2개 채널을 사용할 수 있는 반면, LAA는 채널 분당 규칙에 의해 채널 #2의 1개 채널만 사용할 수 있기 때문이다. 또, LAA가 채널 분당 규칙에 의해 채널 #2만을 사용하여 전송하는 동안 Wi-Fi는 경쟁없이 채널 #0와 #1을 자유롭게 사용함으로 인해 할 수 있는 이유로 추가적인 향상을 얻는다.

3.3 LBT 채널 변경의 영향

LAA eNB가 LBT 채널을 매 N번의 전송 이후 랜덤하게 변경하는 경우를 고려한다.^[10] 채널 분당 규칙은 적용하지 않는다. LBT 채널 변경 시 CW 값의 영

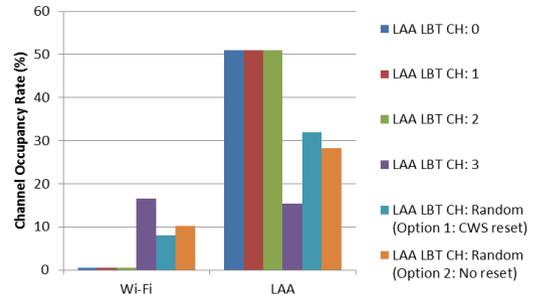


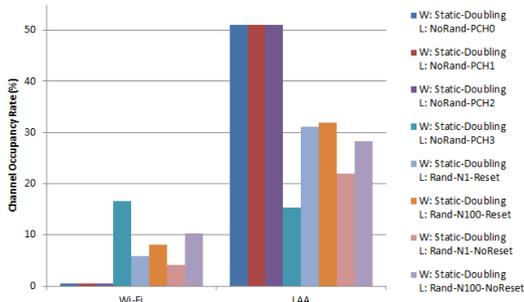
그림 4. LAA의 LBT 채널 방식에 따른 채널 점유율(Wi-Fi의 채널 분당 규칙을 LAA에 적용하지 않음)

Fig. 4. Total channel occupancy rate for different LBT channel schemes of LAA (without Wi-Fi channel bonding rule)

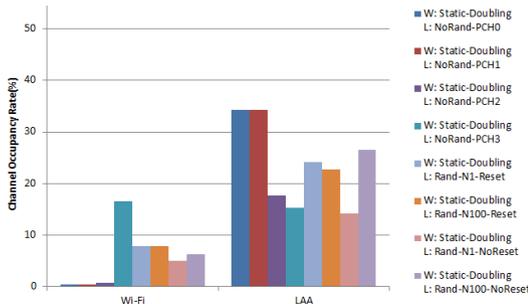
향을 확인하기 위해 CW를 초기화하는 경우와 기존 값을 유지하는 경우를 고려한다.

그림 4는 그 결과를 보이고 있다. 그림에서 보이는 것처럼, LBT 채널을 랜덤하게 변경하는 경우(Random) Wi-Fi와 LAA 모두 기존 최대치와 최저치의 중간 성능을 얻게 한다. 앞의 결과에서 보인 것처럼, LBT가 특정 채널에서 고정적으로 수행될 경우, 해당 채널의 상황에 따라 각 기술이 최대 또는 최저 성능을 얻을 수 있다. 반면, LBT 채널의 랜덤한 변경은 항상 최선은 아니지만, 최저 성능을 피할 수 있다는 점에서 두 기술의 공존을 위한 타협점이라고 생각할 수 있다. 한편, LBT 채널 변경시 CW를 초기화하면(Option 1: CWS reset) eNB는 새로운 채널에서 가장 작은 CW를 가지고 경쟁을 시작하게 되어 기존 장치들보다 높은 확률로 경쟁에서 승리하므로 공정하지 못한 결과를 나올 수 있다. 반면, CW를 그대로 사용하는 경우(Option 2: No reset), 경쟁이 심한 채널 #3에서 LBT를 수행하던 eNB가 채널 #1 또는 #2로 LBT 채널을 옮길 때에는 경쟁 상대가 없어도 불구하고 CW가 증가된 상태로 시작해 불필요하게 긴 백오프를 수행하게 된다.

그림 5는 LAA eNB가 LBT 채널을 변경하는 주기(N)에 따른 영향을 보이고 있다. 여기에서 Wi-Fi는 정적 대역폭 방식으로 동작한다. N이 1인 경우(N1)는 매 전송 이후 LBT 채널을 변경하고, N이 100인 경우(N100)는 100번의 전송을 마친 후 LBT 채널을 변경하게 된다. 그림에서 확인할 수 있듯이 N=1의 경우는 CW 초기화 여부에 관계없이 Wi-Fi와 LAA 모두에게 대체로 악영향을 준다. 이는 현재 채널의 상태와 무관하게 설정된 CW 값을 갖는 eNB가 매번 새로운 채널에 진입해 전송 충돌 확률을 높일 수 있다. 또, CW를



(a) Without a channel bonding rule



(b) With a channel bonding rule

그림 5. N과 채널 변경 시 CW 조절 방법, 채널 본딩 규칙 여부에 따른 채널 점유율
 Fig. 5. Channel occupancy rate according to different N, CW reset scheme and applying channel bonding rule ((a): no bonding rule, (b): with the rule)

초기화하지 않는 경우(NoReset) 채널 #3 또는 #0에서 채널 #1 또는 #2로 LBT 채널을 변경하면 필요 이상으로 큰 CW를 사용하게 돼 더 긴 시간을 백오프로 허비하게 된다. 이러한 이유로 N=1이고 특히 CW를 초기화하지 않는 경우에 LAA의 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 LAA와 Wi-Fi가 멀티채널 전송 시 상호 간에 어떠한 영향을 끼치는 지를 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 먼저, LAA의 성능은 채널 본딩 규칙이 적용될 경우 성능 하락이 큰 반면, 정적 대역폭 방식으로 동작하는 Wi-Fi는 성능 영향을 거의 받지 않음을 보였다. 따라서, Wi-Fi가 해당 경우일 때는 LAA에 채널 본딩 규칙을 적용하지 않는 것이 더 바람직하다고 할 수 있다. 또, LAA의 LBT 채널을 랜덤하게 변경할 경우 특정 채널이 붐버서 발생 할 수 있는 심한 성능 하락을 피할 수 있음을 보였고, 이 때 채널의 변경 주기와 CW 설정 방식도 성능에 영향을 끼

침을 보였다. 따라서, LAA의 LBT 채널 변경을 허용할 시 상기한 사항을 고려하여 변경 기법을 설계해야 함을 알 수 있었다.

References

- [1] 3GPP Technical Report, 36.889, *Study on Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum*, v1.0.0, 2015.
- [2] 3GPP Technical Specification 36.213, *E-UTRA Physical layer procedures*, Rev. 13.1.1, Mar. 2016.
- [3] Qualcomm, *Multi-carrier LBT operation for LAA*, 3GPP R1-152784, May 2015.
- [4] A. M. Cavalcante, et al., "Performance evaluation of LTE and Wi-Fi coexistence in unlicensed bands," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf.*, pp. 1-6, Dresden, Germany, Jun. 2013.
- [5] 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.
- [6] S. H. Lim, M. Y. Jung, and S. W. Lee, "Adjacent channel coexistence of LTE in unlicensed spectrum," *J. KICS*, vol. 40, no. 10, pp. 1879-1888, Oct. 2015.
- [7] L. H. Vu, M. Noh, J. Kwak, and J. H. Yun, "Multi-Carrier Listen Before Talk Mechanism for LTE in Unlicensed Spectrum," in *Proc. KICS Winter Conference*, pp. 388-389, Pyeongchang, Korea, January 2016.
- [8] Broadcom, *Discussion on LAA DL Multi-channel LBT*, 3GPP R1-155547, Oct. 2015.
- [9] WILUS, *Consideration on Multicarrier LBT for LAA*, 3GPP RAN1 contribution, R1-157330, Nov. 2015.
- [10] Ericsson, *On Channel Access Solutions for LAA Multi-Carrier Transmission*, R1-156033, Oct. 2015.

김 상 현 (Sanghyun Kim)



2014년 2월 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 졸업
2016년 2월 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 석사
2016년 3월~현재 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 박사과정

<관심분야> 무선네트워크, 비면허대역 통신

부 호 앙 룡 (Long Hoang Vu)



2012년 7월 : 하노이공과대학교 졸업
2015년 8월 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 석사
2015년 9월~현재 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 박사과정

<관심분야> 무선네트워크, 비면허대역 통신

노 민 석 (Minseok Noh)



2003년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 졸업
2005년 2월 : KAIST 무선통신공학 석사
2005년 2월~2012년 5월 : LG 전자 차세대통신연구소 선임연구원

2012년 5월~2015년 7월 : KT 융합기술원 인프라연구소 책임연구원

2015년 7월~현재 : (주)윌러스표준기술연구소 수석연구원

<관심분야> 무선네트워크, 비면허대역 통신

곽 진 삼 (Jinsam Kwak)



1998년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 졸업
2000년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사
2004년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사

2004년~2005년 : Georgia Institute of Tech., 박사후 연구원

2005년~2006년 : Univ. of Texas at Austin, 박사후 연구원

2007년~2012년 : LG전자 차세대통신연구소 책임연구원

2012년~현재 : (주)윌러스표준기술연구소, 대표이사

<관심분야> 무선네트워크, 비면허대역 통신

윤 지 훈 (Ji-Hoon Yun)



2000년 2월 : 서울대학교 전기공학부 졸업

2002년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사

2007년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사

2007년 3월~2009년 9월 : 삼성전자 네트워크사업부 책임연구원

2012년 3월~현재 : 서울과학기술대학교 전기정보공학과 조교수

<관심분야> 무선네트워크, 비면허대역 통신