

비면허대역에서 gNB와 AP의 충돌 방지 알고리즘 성능에 관한 연구

김수홍, 고영채

고려대학교

<integral98, koyc>@korea.ac.kr

A Study on the Collision Avoidance Algorithm Performance about gNB and AP on Unlicensed Band

Su-Hong Kim, Young-Chai Ko

Korea Univ.

요약

본 논문은 Sub-7GHz 무면허 대역의 스케줄링을 위해 Wi-Fi 및 3GPP NR-U에서 사용하는 LBT 알고리즘을 MATLAB으로 구현한다. 채널을 점유하는 AP의 수와 사용자 우선순위의 CW 값을 변수로 사용하여 gNB의 채널 점유율을 비교하였을 때, AP의 수가 증가하고 CW 값이 증가함에 따라 gNB의 채널 점유율이 감소하는 것을 확인하였다.

I. 서론

차세대 이동통신에서는 기하급수적으로 증가하는 모바일 데이터 트래픽을 감당하고 새로운 어플리케이션의 등장으로 인한 단말의 다양한 Quality of Service (QoS) 요구조건을 만족시키기 위해 효율적인 주파수 사용의 필요성이 강조되고 있다. 하지만 기존의 면허대역은 가용주파수 대역이 부족해서 특별한 허가 없이 기술규격을 충족하는 것만으로 누구나 이용 가능한 주파수인 비면허대역을 셀룰러 네트워크에서 사용하는 방안이 새롭게 떠오르고 있다.

3GPP 표준 Rel. 16에서 논의된 NR-U는 Rel. 15의 NR 표준을 2.4, 5, 6GHz (Sub-7GHz)의 비면허대역으로 확장하여 전송속도 (data rate)를 높이고 면허대역의 트래픽 양을 줄일 수 있는 기술이다. 하지만 NR-U는 WLAN (Wi-Fi)을 포함한 비면허대역을 사용하는 무선 액세스 기술 (Radio Access Technology; RAT)과 공정한 공존이 필요하므로 WLAN의 표준의 CSMA/CA와 매우 유사한 채널 액세스 과정 (LBT)을 의무적으로 사용하게 된다. 이 과정을 기반으로 하여 NR-U와 WLAN의 성능 측면에서 공평성 (fairness)를 보장할 수 있는 NR-U 운용 기술의 필요성이 대두되었다 [1].

II. 본론

1) 동적 채널 액세스 모드 (Dynamic Channel Access Mode)

본 연구의 시뮬레이션에서 사용될 동적 채널 액세스 모드는 유형 1과 유형 2로 크게 2가지가 있다.

유형 1 채널 액세스 과정 (type 1 channel access procedure) 동작 알고리즘은 주로 gNB/UE 초기 채널 점유 시간 (initiated COT)일 때 사용한다. 구체적으로 전송할 패킷이 발생한 노드는 채널이 사용되고 있는지 (busy) 혹은 비어 있는지 (idle) 에너지 감지 (Energy detection: ED)를 통해 일정 시간 센싱 ($16\mu s + 9\mu s \cdot m_p$) 후, 채널이 idle 상태면 이진 지수 백오프 단계로 진입하게 된다. 이진 지수 백오프 과정의 시작은 우선 0부터 자

기 노드에 할당된 초기 경쟁 윈도우 (Contention Window : CW) 미만의 값 중 하나를 백오프로 랜덤하게 선택하는 과정이다. 이후 백오프 값만큼의 슬롯 수를 상기 채널이 비어 있는 동안 감소시켜가며 대기하고 슬롯 수를 모두 소진한 노드는 해당 채널을 사용할 수 있다. 한편 패킷 전송 후에는 HARQ 피드백 과정을 통해 패킷 충돌 혹은 수신 여부를 인지한다. 수신 노드가 정상적으로 수신했으면 그림 2의 동작을 마무리하며 충돌이 발생했거나 채널 상태로 인해 패킷을 수신하지 못한 경우 CW 값을 두 배 증가시킨 후 백오프 값을 랜덤으로 선택하는 과정부터 반복한다. 만약 CW 값이 최댓값에 도달한 후에도 전송한 패킷이 한 번 더 충돌할 경우 처음부터 다시 시작하게 된다.

유형 2A, 2B 채널 액세스 과정 (type 2A, 2B channel access procedure)은 채널 점유 시간 (COT) 내에서 노드가 랜덤 백오프를 사용하지 않고 일정한 시간 동안 (type 2A : 25 μs , type 2B : 16 μs) 채널을 센싱 하였을 때 채널이 비어 있으면 데이터를 송신하는 방식으로 주로 COT 내에서 DL-to-UL 및 UL-to-DL 스위칭할 때 사용한다. Type 2C channel access procedure는 노드가 채널을 센싱하지 않고 패킷 전송을 수행하는 방식이며 주로 COT 내에서 DL/UL transmission burst를 송신할 때 사용된다.

본 연구에서는 동적 채널 액세스 과정 (dynamic channel access procedure)의 두 개의 유형 중 유형 1을 사용하여 시뮬레이션을 했다. gNB가 패킷 전송을 시작하면, 다음 AP의 사용이 감지될 때까지 전송을 가정하기 때문에 최대 채널 점유 시간 (MCOT)은 고려하지 않는다. 즉, DL 및 UL 송신의 TDD 프레임 구조는 고려되지 않았다. 또한, 시뮬레이션에서 AP의 수를 늘림으로써 AP의 점유율이 높아지는 현상과 그에 따른 효율 (utilization) 감소 및 변수 통제를 고려해 defer time의 센싱 슬롯 수(m_p)는 1로 통일을 하였고, 총 defer time을 슬롯 2개로 근사하였다. AP가 채널을 이미 점유하고 있는 상황을 가정하였으므로, 충돌은 발생하지 않는다고 가정하고 CW 값은 최솟값에서 증가하지 않는다 [2-4].

2) 채널 모델: 레일리 페이딩 채널 (Rayleigh Fading Channel)

레일리 페이딩 (Rayleigh fading)은 무선 장비에서 사용하는 무선 라디오 신호의 전파 환경의 효과에 대한 통계 모델로, 송신기와 수신기 사이에 직진파 (line-of-sight; LOS) 경로의 전파가 없을 때 가장 적합하다.

중심 극한 정리에 따라서, 만약 충분히 많은 신호 산란이 있다면 채널 응답은 개별적인 요소들의 분포와는 관계없이 가우시안 분포와 같이 모델링된다. 그러면 이 채널 응답의 포락선은 레일리 분포 (Rayleigh Distribution)를 따르게 되고, 다음과 같은 확률 밀도 함수를 가진다. (아래의 식에서 r 은 거리, σ 는 분포의 표준편차를 의미한다.)

$$f_r(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, 0 \leq r < \infty \quad (1)$$

본 연구는 Wi-Fi의 AP가 점유하고 있는 채널을 레일리 페이딩으로 가정하고 시뮬레이션을 진행하였다.

3) 시뮬레이션 결과

Simulation 1		Simulation 2	
total slot	10^6 slot	total slot	10^6 slot
iteration time	5	iteration time	5
m_p	1	m_p	1
defer time	2 slot	defer time	2 slot
AP channel	Rayleigh fading	AP channel	Rayleigh fading
threshold	0.9	threshold	0.9
num of AP	1	num of AP	{2, 3, 4}
CW	{4, 8, 16, 32}slot	CW	{4, 8, 16}slot
utilization	(num of slots occupied by gNB)/(total slot num)	utilization	(num of slots occupied by gNB)/(total slot num)

표 1 시뮬레이션 1 & 2 변수 값

시뮬레이션은 총 2개를 진행하였다. 각각의 시뮬레이션에서 사용한 변수들의 조건은 [표 1]과 같다.

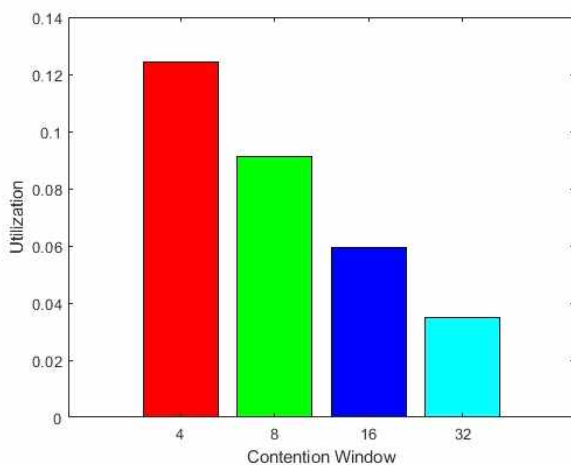


그림 1 시뮬레이션 1_CW 값에 따른 utilization의 변화

해당 시뮬레이션에서는 CW 값이 증가할수록 (사용자의 우선순위가 1->4가 될수록), gNB가 점유에 성공한 채널의 슬롯 수가 감소하였다. 즉, 랜덤 백오프의 기댓값이 증가할 때, gNB의 전송 성공 횟수가 감소한다 [그림 1].

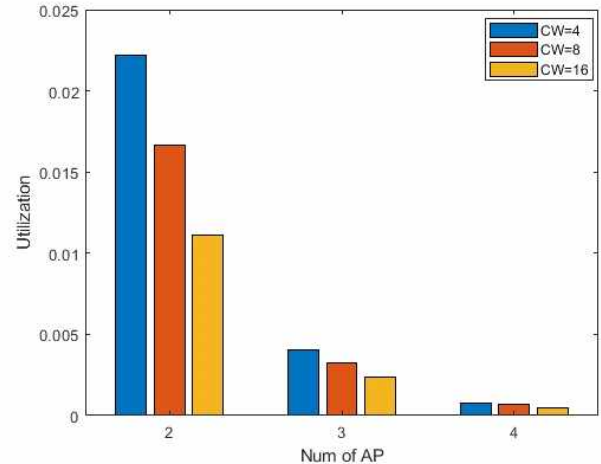


그림 2 시뮬레이션 2_number of AP와 CW 값에 따른 utilization 변화

두 번째 시뮬레이션에서는 CW 값이 증가할수록, AP의 수가 증가할수록, gNB가 점유에 성공한 채널의 슬롯 수가 감소하였다. 즉, AP가 점유한 채널 슬롯의 기댓값이 증가할 때, 혹은 랜덤 백오프의 기댓값이 증가할 때, gNB의 전송 성공 횟수가 적어진다 [그림 2].

III. 결론

본 논문에서는 총 2번의 시뮬레이션을 통해 AP의 수, CW 값과 gNB의 채널 점유율 간의 관계를 알아보았다. AP의 수가 증가하는 경우에는 레일리 페이딩 채널로 모델링 된 AP 채널 중 1개 이상이 문턱을 넘는 경우 채널 혼잡 (busy)으로 에너지 감지되기 때문에, AP의 수에 따라 급수적인 gNB의 채널 점유율 감소를 확인하였다.

CW 값이 변화하는 경우에는, CW가 우선순위에 대해 2배씩 변화함에도 효율은 일정한 감소를 보였다. 즉, 우선순위에 따라 CW의 슬롯 수를 배분하는 현재의 스케줄링 기법이, 공평성 관점에서, 낮은 우선순위가 할당된 사용자에게 필요 이상의 불이익을 주고 있지 않다고 해석할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2023-2021-0-01810)

참 고 문 헌

- [1] Qualcomm, "Global update on spectrum for 4G & 5G", *White Paper*, 2020.
- [2] 3GPP, "DL frame structure and COT structure aspects for NR-U," *3GPP R1-1909389*, 2019.
- [3] Zheng et al., "Design of Multi-Carrier LBT for LAA&WiFi Coexistence in Unlicensed Spectrum," *IEEE Netw.*, vol. 34, no. 1, pp. 76-83, 2020.
- [4] J. Liu and G. Shen, "Performance of multi-carrier LBT mechanism for LTE-LAA." in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf.*, 2016.