

동적 대역 공유 시스템에서 완전한 주파수 재사용을 위한 그룹 단위의 Listen-Before-Talk 프로토콜 설계 및 구현

양찬석, 이상현, 강충구
고려대학교

{hello828, sanghyunlee, ccgkang}@korea.ac.kr

Design and Implementation of Group-wise Listen-Before-Talk Protocol for Full Frequency Reuse in Dynamic Spectrum Sharing System

Chan S. Yang, Sang H. Lee, Chung G. Kang *
Korea Univ.

요약

본 논문에서는 기존의 셀룰러 이동통신 시스템에서 완전한 주파수 재사용으로 높은 시스템 용량을 달성하였듯, 동적 대역 공유 환경에서도 은닉 노드 간섭을 극복함과 동시에 높은 주파수 재사용을 달성하기 위한 그룹 단위의 LBT (Group-wise LBT: Gw-LBT) 프로토콜을 제안한다.

1. 서론

본 논문에서는, 기존의 셀룰러 이동통신 시스템이 완전한 주파수 재사용으로 높은 시스템 용량을 달성하였듯, 동적 대역 공유 시스템에서 높은 주파수 재사용을 달성함과 동시에 은닉 노드 문제를 극복하기 위한 그룹 단위의 LBT 프로토콜을 (group-wise listen-before-talk: Gw-LBT) 제안한다. Gw-LBT 프로토콜에서는 인접한 기지국들을 (base station: BS) 하나의 그룹으로 형성하고, 그룹 단위로 LBT 절차를 수행함으로써 그룹 단위의 완전한 주파수 재사용을 달성하게 되고, 은닉 노드 간섭의 영향을 무시할 수 있게 된다. 한편, 이와 같은 Gw-LBT 프로토콜을 구현하기 위해 필요한 최적화 문제를 수립하고, Message Passing 알고리즘을 이용한 최적화 기법을 적용함으로써 기존 LBT 방식 대비 시스템 용량을 4.12 배 이상 증대할 수 있음을 보인다.

11. 본론

1. 시스템 모델

현존하는 동적 대역 공유 시스템은 크게 비협력 시스템과 협력 시스템으로 분류될 수 있다. 비협력 대역 공유 시스템은 Wi-Fi 와 같이 주로 각 노드가 별도의 협력 없이 개인에 의해 운용되는 시스템을 의미한다. 반면, 협력 대역 공유 시스템은 LAA 시스템과 같이 다수의 BS 가 모바일 네트워크 사업자에 의해 운용되며, BS 간 협력이 가능한 시스템을 일컫는다. 이러한 시스템은 폐쇄 루프기반 적응적 MCS 기법과 같은 기존 셀룰러 시스템의 특징을 그대로 이어 받는다. 본 논문에서는 그룹 단위의 동작을 구현하기 위해 3 혜택의 LAA 규격과 같은 하향 링크 협력 기반 동적 대역 공유 시스템을 고려한다. 이 때, 기본적으로 이기종 시스템 간 공존을 위해 BS 는 채널 점유 전 3GPP 표준에 지정된 LBT 절차를 수행해야 하며, 모든 BS 는 동일한 subframe 동기를 가진다고 가정한다 [1]. 또한 송신단은 preamble 감지와 같이 개별 간섭원의 신호세기를 기반으로 반송파 감지 절차를 수행한다 가정한다. 이러한 가정은 송신단의 clearing 범위가

CST 와 대략 반비례 관계를 가지게 하고, Gw-LBT 구현시 CST 제어를 용이하게 한다.

2. Group-wise LBT 프로토콜

Gw-LBT 프로토콜의 이해를 돋기 위해, Gw-LBT 를 적용했을 때 시간에 따른 BS 의 채널 점유 패턴 예시를 그림 1 에 제시하였다. 또한, 그림 2 에서 Gw-LBT 프로토콜의 상세 동작 예시를 제시하였다. Gw-LBT 프로토콜에서는 그룹 단위로 LBT 를 수행하기 위해 그림 1 과 같이 인접한 BS 들을 하나의 그룹으로 형성한다. 이 때, 그룹 내 모든 BS 가 개별적으로 LBT 를 수행하게 되면 그룹 단위의 완전한 주파수 재사용이 매우 어려워, 그룹 내 BS 중 하나를 대표(header) BS 로 지정함으로써 header BS 가 그룹 대표로 LBT 절차를 수행하도록 한다. header BS 가 LBT 절차를 성공하면, 그림 2 와 같이 header BS 는 자신의 그룹을 특정짓는 group triggering signal (GTS)을 송신하고, 이를 수신한 그룹 내 멤버(member) BS 들은 다음 subframe 가 시작되기 전까지 GTS 를 송신한다. 이는 그룹 내 BS 들이 subframe 동기에 맞춰 동시에 데이터를 전송하기 위함이다. 즉, Gw-LBT 에서는 동일 그룹에 속한 모든 BS 들이 동일한 시점에 데이터 송신을 시작하고 동시에 채널 점유를 해제함으로써, 그룹 단위의 완전한 주파수 재사용을 달성 가능케 한다. 이 때, header BS 가 적절한 CST 값을 설정한다면, 그림 2 와 같이 그룹 내부에서 발생하는 강한 간섭 (intra-group interference: IGI)으로 인해, 상대적으로 약하게 발생하는 그룹 외부의 불규칙한 간섭(out-of-group interference: OGI)을 무시할 수 있게 된다. 결론적으로, Gw-LBT 프로토콜은 BS 간 공간적 주파수 재사용을 극대화함과 동시에 폐쇄 루프 보고에 기반하여 단말의 순서 SIR 에 따른 최적의 MCS 지표를 할당함으로써, 기존 동적 대역 공유 시스템 보다 매우 높은 시스템 용량을 달성할 수 있게 한다.

3. Gw-LBT 프로토콜을 위한 최적의 구현 프레임워크

단위 면적 당 동시에 채널을 점유하는 평균 BS 의 개수를 BS 의 재사용도로 정의하면, 우리는 Gw-

LBT 에서는 시스템 용량을 극대화하기 위해 BS 의 재사용도를 극대화하는 최적화 프레임워크를 적용하였다 [2]. 이 때, 본 논문에서는 목표로 하는 전송 실패 확률을 만족함과 동시에 재사용도를 극대화하기 위해 가능한 큰 CST 값을 설정하고자 한다. 전송 실패 확률은 그룹 외부 간섭 세기와 그룹 내부 간섭 세기의 비율에 의해 결정되고, 그룹 내부 간섭 세기는 그룹 구성(configuration)에 의해 결정되기 때문에, 재사용도를 극대화하기 위해서는 최적의 그룹 구성은 도출해야 한다.

4. Gw-LBT 프로토콜을 위한 message passing 알고리즘

최적의 그룹 구성을 찾기 위해 message passing (MP) 알고리즘을 적용하고자 한다. MP 알고리즘은 동적 프로그래밍 (dynamic programming) 기법 중 하나로, 복잡한 본래 문제를 다수의 sub-problem 으로 나누어 풀으로써 낮은 복잡도로 문제의 해를 찾을 수 있다. 특히, 위에서 정식화 된 문제는 대표적인 linear assignment 문제 중 하나로, 이러한 유형의 문제에서 MP 알고리즘은 높은 확률로 최적의 해로 수렴함이 증명되었다 [3].

5. 성능 평가

Gw-LBT 프로토콜의 성능평가를 위해, [4]에 명시된 3GPP LAA 표준 평가 방법에 따른 시스템 레벨 시뮬레이터를 구현하였다. 이 때, 제안 방식과 동등한 수준의 전송 실패 확률을 설정하기 위해, 기존 LBT 방식의 carrier sensing threshold 는 -82 dBm 으로 설정하였다.

그림 3에 BS 밀도에 따른 단위 면적 당 용량을 제시하였다. 이 때, 제안 방식의 성능 이득을 수치화하기 위해 그림 3에서 그래프의 기울기 값인 BS 당 용량 이득을 비교하였다. 그림 3에서 관찰한 바와 같이 제안 방식과 기존 방식의 용량 이득은 각각 9.11 Mbps/BS, 2.19 Mbps/BS 으로, 제안 방식은 기존 방식 대비 4.12 배의 용량 이득을 달성하였다. 이는 제안 방식이 은닉 노드 간섭의 영향을 기존 방식보다 적게 받음으로써 목표로 하는 전송 실패 확률을 만족하면서 동시에, 그룹 내 완전한 주파수 재사용으로 높은 용량 이득을 얻을 수 있음을 의미한다.

III. 결론

본 논문에서는, 셀룰러 이동 통신 시스템의 설계 철학에 근간하여, 동적 대역 공유 시스템에서 BS 간 적극적인 주파수 재사용을 가능케 함과 동시에 은닉 노드 문제를 극복할 수 있는 그룹 단위의 LBT 프로토콜을 제시하였다. 성능 평가 결과에 따르면, 제안 방식에서는 은닉 노드 문제를 극복함과 동시에 기존 방식 대비 BS 당 용량 이득이 4.12 배 증가함을 확인하였다. 본 논문에서 제시된 동적 대역 공유의 디자인 철학이 차세대 동적 대역 공유 시스템 설계에 새로운 방향성을 제시하길 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] Physical Layer Procedures, document TS 36.213 v14.4.0, 3GPP, Sep. 2017.
- [2] C. S. Yang, C. G. Kang, and S. Member, "Group-Wise Listen-Before-Talk Protocol for Dynamic Spectrum Sharing: A New Framework for Full Frequency Reuse," IEEE Access, vol. 4, pp. 1- 13, Mar. 2020.
- [3] S. H. Lee and I. Sohn, "Affinity propagation for energy-efficient BS operations in green cellular networks," IEEE Trans. Wirel. Commun., vol. 14, no. 8, pp. 4534- 4545, Aug. 2015.

[4] Study on Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum, document TR 36.889 v1.0.1, 3GPP, Jun. 2015.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Samsung Research, Samsung Electronics.

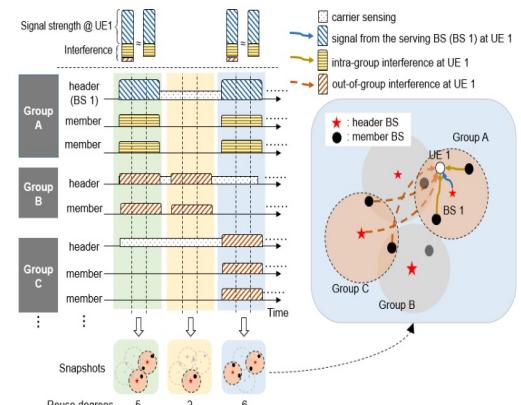


그림 1. Gw-LBT에서 시간에 따른 BS의 채널 점유 형태 예시

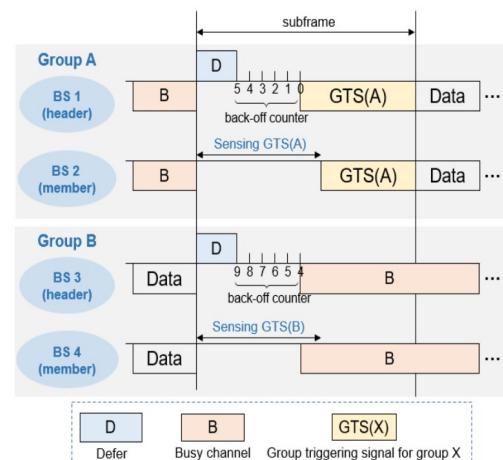


그림 2. Gw-LBT 프로토콜 상세 동작 예시

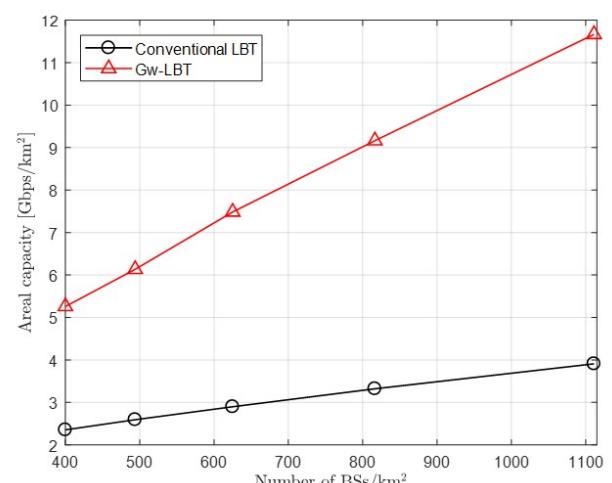


그림 3. BS 밀도에 따른 단위 면적 당 시스템 용량 비교