

셀룰러 네트워크에서 비면허 대역을 활용한 단말 간 직접통신 타당성 연구

Feasibility Study for Device-to-Device Communications Using Unlicensed Bands in a Cellular Network

김 현 민 · 강 길 모 · 신 오 순

Hyeon-Min Kim · Gil-Mo Kang · Oh-Soon Shin

요 약

단말 간 직접통신(D2D: Device-to-Device) 기술은 지리적으로 근접한 단말들이 네트워크 인프라를 거치지 않고 직접적으로 통신하는 기술이다. 특히 셀룰러 네트워크에서는 D2D 통신이 셀룰러 자원을 공간적으로 재사용함으로써 주파수 이용 효율을 향상시킬 수 있다. 하지만 셀룰러 단말의 채널 시변성 및 그에 따른 자원 할당 변화로 인해 셀룰러 자원을 재사용하는 D2D 단말의 채널 품질을 지속적으로 유지할 수 없고, 셀룰러 단말 또한 간섭에 의해 성능이 열화될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 D2D 링크가 셀룰러 네트워크의 상향링크 자원을 재사용하는 상황에서 셀룰러 단말의 채널 변화로 인한 D2D 통신 링크의 성능 열화를 완화하는 방안으로 비면허 대역 주파수 자원을 D2D 통신에 보조적으로 활용하는 기술을 제안한다. 모의실험을 통해 제안한 기술의 효용성을 검증한다.

Abstract

Device-to-Device communication(D2D) enables devices in proximity to communicate directly without going through the network infrastructure. In particular, D2D communications in a cellular network can improve the spectral efficiency by allowing the reuse of cellular resources. However, it is not easy to maintain the channel quality of the D2D links and to protect the cellular links from the D2D interferences, since the resource allocations for the cellular users will change with time due to the time-varying nature of the cellular channels. To mitigate the performance degradation of D2D links, we propose to exploit unlicensed bands as auxiliary resources when the D2D links share the uplink cellular resources. The effectiveness of the proposed scheme is verified through simulations.

Key words: Device-to-Device(D2D), Resource Allocation, Unlicensed Band, LTE-Advanced, LTE-LAA

I. 서 론

최근 이동통신 기술의 진화와 함께 다양한 통신기기들이 개발되면서 모바일 단말 사용은 기존의 통화기능 중심에서 데이터 사용 중심으로 변화하였으며, 이에 따라

데이터 트래픽은 기하급수적으로 증가하였다. 데이터 트래픽 증가 문제는 차세대 이동통신을 위해 해결해야 하는 문제이며, 이를 해결함과 동시에 한정된 주파수 자원을 효율적으로 사용하기 위해 제안된 기술 중 하나가 바로 D2D(Device-to-Device) 통신 기술이다.

「이 연구는 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2013R1A2A2A01011222).」

승실대학교 전자정보공학부(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

· Manuscript received October 2, 2015 ; Revised December 3, 2015 ; Accepted December 17, 2015. (ID No. 20151002-14S)

· Corresponding Author: Oh-Soon Shin (E-mail: osshin@ssu.ac.kr)

셀룰러 네트워크 환경에서의 D2D 통신 기술은 비면허 (unlicensed) 대역의 자원을 이용하는 Wi-Fi Direct, Bluetooth 등과 달리 면허(licensed) 대역의 자원을 이용하는 기술로 국제 이동통신 표준화 기구인 3GPP(3rd Generation Partnership Project) Release 12에서 2011년부터 ProSe (Proximity Services)라는 명칭으로 표준화를 진행하였다. 현재 3GPP Release 13에서는 D2D 단말의 릴레이 기술 등이 포함된 Work Item으로 eProSe(Enhancements to ProSe)라는 표준화를 진행 중에 있다^{[1],[2]}.

D2D 통신은 셀룰러 대역의 주파수 자원을 공간적으로 재사용이 가능하여 주파수 효율을 향상시킬 수 있다. D2D 통신에 이용할 셀룰러 네트워크의 자원의 경우, 하향 링크 자원은 기지국으로부터의 강한 간섭이 있을 수 있기 때문에 일반적으로 상향 링크의 자원을 사용하는 것이 더 효과적인 것으로 알려져 있다. 하지만 D2D 통신 링크가 상향링크 자원을 사용하더라도 셀룰러 네트워크와 동일한 자원을 사용하기 때문에 필연적으로 셀룰러 단말과의 상호 간섭 문제가 발생하며, 이를 적절히 제어할 수 있는 자원할당 및 전력제어 기술에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다^[3].

D2D 통신 링크에 대한 자원할당은 일반적으로 셀룰러 링크의 성능 저하를 방지하면서 동시에 셀룰러 링크로부터의 받는 간섭이 가장 적은 자원을 선택하는 방식으로 이루어진다. 이러한 자원할당 방식은 기지국에서 중앙 집중식으로 수행되며, 단말들의 채널정보 또는 거리정보 등을 필요로 한다^[4]. 예를 들어 셀 외각에 존재하는 D2D 단말들이 D2D 단말로부터 거리가 충분히 먼 셀룰러 단말의 자원을 사용하는 방식이 있다. 하지만 앞선 연구에서는 셀룰러 단말의 이동성과 스케줄링 변화를 고려하지 않았기 때문에 자원할당 알고리즘을 통해 확보한 채널이 안정적이라 할 수 없다. 셀룰러 단말의 자원할당 변화에 따라 적응적으로 자원을 재할당하는 D2D 자원할당 방식의 경우는 시스템에 큰 오버헤드를 초래할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 단말의 이동성과 그에 따른 채널 변화 및 자원할당 스케줄링 변화에 따른 D2D 단말의 성능 저하를 완화하는 방안으로 비면허 대역을 보조적으로 활용하는 D2D 통신 자원할당 기술을 제안함으로써 비면허 대역 활용의 타당성을 검증하고자 한다.

II. 시스템 모델

그림 1은 본 논문에서 제안하는 비면허 대역을 활용한 자원할당 기술을 적용하기 위한 시스템 모델을 나타낸다. 단일 셀 내에서 D2D 송신 단말과 수신 단말이 인접한 거리에서 쌍을 이루고 있으며, D2D 통신링크가 셀룰러 네트워크의 상향링크 자원을 일대일로 공유하는 상황을 가정한다. 또한, D2D 송신 단말이 통신을 수행하는데 사용할 자원을 기지국으로부터 할당받는 중앙 집중형 자원할당 방식을 이용하며, 적절한 자원할당을 통해 D2D 송신 단말이 셀룰러 링크에 주는 간섭을 무시할 수 있다고 가정한다. 이러한 상황에서 D2D 통신 링크의 성능은 셀룰러 단말이 D2D 수신 단말에 주는 간섭에 의해 영향을 받으며, D2D 수신 단말이 k 번째 셀룰러 자원을 재사용하는 경우 D2D 수신 단말에서의 신호대간섭 및 잡음비(Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)는 다음과 같다.

$$SINR_{RX}(k) = \frac{H_D(k)d_D^{-\alpha}P_D}{N + H_C(k)d_C^{-\alpha}(k)P_C} \quad (1)$$

식 (1)에서 P_C , P_D 는 셀룰러 단말과 D2D 단말의 송신 전력, H_D , $d_D^{-\alpha}$ 는 D2D 채널계수 및 경로손실, H_C , $d_C^{-\alpha}$ 는 D2D 수신단말과 셀룰러 단말 사이의 채널계수 및 경로손실을 의미하고, N 은 잡음의 전력을 나타낸다. D2D 링크에 대한 자원할당은 D2D 단말이 통신링크뿐만 아니라, 간섭링크에 대한 모든 채널정보를 알고 있다는 가정하에 D2D 링크의 SINR을 최대화 하는 자원을 선택하는

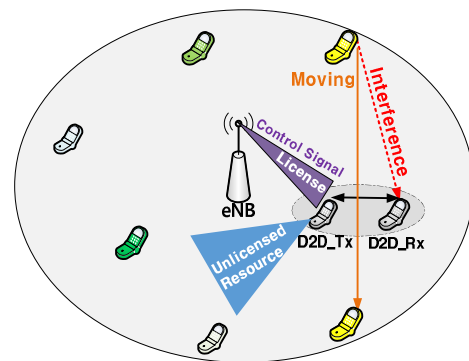


그림 1. 시스템 모델
Fig. 1. System model.

방식으로 이루어진다고 가정한다. 즉, D2D 단말에 할당되는 셀룰러 자원의 인덱스는 다음과 같이 표현된다.

$$k^* = \operatorname{argmax} \operatorname{SINR}_{RX}(k) \quad (2)$$

제안하는 시스템 모델은 위와 같은 자원할당을 통해 D2D 통신링크에 사용할 자원이 기지국으로부터 할당되었으며, 동일 자원을 이용하는 셀룰러 단말이 이동을 통해 D2D 페어를 지나가는 상황을 가정한다. 이러한 상황에서 D2D 수신 단말과 셀룰러 단말 사이의 채널정보 H_C 와 거리정보 d_C^a 는 빠르게 변화하게 되어 D2D가 다시 자원을 할당받기 위한 채널정보와 거리정보를 수집하는 지연시간이 발생한다. 또한, 기지국으로부터 새로운 자원할당을 받기까지의 추가 지연시간으로 인해 D2D 통신링크는 심각한 성능 열화가 발생할 수 있다. 다음 장에서는 이러한 간섭 상황이 발생할 경우, 새로운 자원할당까지의 지연시간동안 한시적으로 비면허 대역을 보조 자원(Auxiliary Resource)으로서 활용하는 기술에 대해 제안한다.

III. 비면허 대역을 활용한 D2D 자원 할당

셀룰러 네트워크에서 비면허 대역의 주파수 자원을 활용하는 기술은 2013년부터 연구가 진행되었으며, 2014년 9월 3GPP Release 13의 Study Item으로 승인되어 LTE-LAA(LTE-Licensed Assisted Access)라는 명칭으로 표준화가 진행 중에 있다^[5]. 본 논문에서 활용하고자 하는 비면허 대역의 주파수 자원은 LTE-LAA와 같이 5.8 GHz 대역으로 가정한다. 5.8 GHz의 주파수 대역은 이미 포화상태인 2.4 GHz 주파수 대역보다 활용성이 높다. LTE-LAA와 같이 D2D 통신에서도 비면허 대역의 주파수 대역을 활용하기 위한 고려사항이 존재한다. 대표적으로 비면허 대역에서 셀룰러 네트워크 기술은 CSMA/CA 방식을 이용하여 채널이 IDLE 상태가 될 때까지 기다리는 무선랜 기술에 비해 PHY/MAC 구조상 근본적인 차이가 있어 함께 공존할 경우 우선권이 높을 수밖에 없다. 하지만 셀룰러 네트워크에서 LBT(Listen Before Talk) 등을 통해 비면허 대역의 무선접속 단말에 대한 우선권을 보장한다면 전송속도 향상, 서비스 커버리지 증가, 데이터 처리 용량 증가 등이 가능하다^{[6],[7]}.

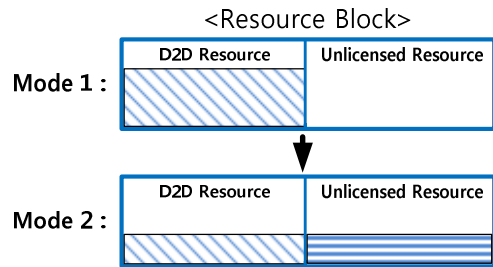


그림 2. 제안하는 D2D 링크 자원할당 기술
Fig. 2. Proposed resource allocation scheme for D2D links.

제안하는 D2D 자원할당 기술을 그림 2에서 나타내었다. 먼저 단말 자체적으로 스펙트럼 센싱 또는 랜덤 접근 방법을 통해 D2D 통신에 사용 가능한 비면허 대역의 자원 정보를 수집한다. 면허 대역의 자원을 할당받아 그림 2의 Mode 1과 같이 통신을 수행하는 D2D 링크가 동일 자원을 이용하는 셀룰러 단말로부터의 간섭으로 인해 수신 SINR이 특정 임계치보다 작아지면 그림 2의 Mode 2로 스위칭하여 비면허 대역을 이용한다. 즉, 면허 대역과 비면허 대역의 자원을 반송파 결합(CA: Carrier Agregation)을 통해 하나의 자원으로 가상화(Virtualization) 한다. 한편, 비면허 대역의 자원은 기술이 존재하기 때문에 항상 D2D 통신 기준에서 정한 최대 전송시간링크에 활용할 수 없다. 따라서 비면허 대역은 일시적으로 보조 자원으로 사용하다가 면허 대역 SINR이 임계치보다 커지면 다시 Mode 1로 스위칭한다. 면허 대역 채널 상황이 지속적으로 나쁜 경우는 기지국으로부터 다른 셀룰러 자원을 할당받아야 한다.

IV. 모의실험 및 결과

본 장에서는 셀룰러 단말로부터 간섭이 존재하는 상황에서 제안하는 자원할당 기술을 적용한 D2D 통신 성능을 모의실험을 통해 평가한다. 모의실험에서는 식 (2)를 통해 LTE 면허대역의 자원을 D2D 링크에 할당하고, LTE 면허대역과 동일한 대역폭으로 5.8 GHz 비면허 대역을 할당하였다. 자원 블록의 대역폭은 10 MHz 대역폭을 갖는 LTE를 기준으로 180 kHz로 설정하였고, 비면허 대역의 자원블록 대역폭도 LTE와 동일하게 설정하였다. 따라서 반송파 결합을 통해 가상화한 대역폭은 360 kHz가 된다.

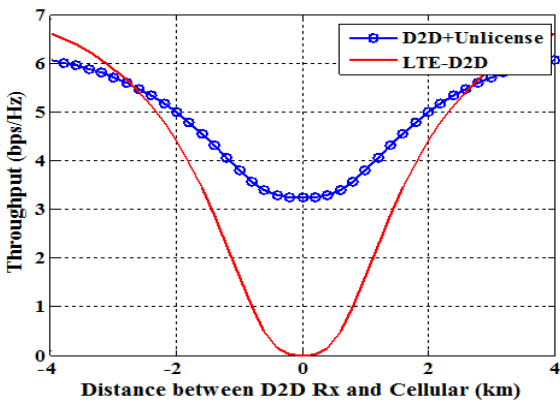


그림 3. 제안하는 기법의 성능평가 결과
Fig. 3. Performance of the proposed scheme.

송신전력은 면허 대역과 비면허 대역에 동일하게 할당하는 것으로 가정한다. D2D 링크와 같은 자원을 사용하는 셀룰러 단말이 100 km/h의 속도로 D2D 통신 링크를 빗겨 지나가는 상황을 가정하여 D2D 수신기와 셀룰러 단말 간의 거리에 따른 통신성능을 분석하였다.

그림 3은 제안하는 비면허 대역을 활용한 단말 간 직접 통신 기술이 Mode 2로 동작하는 경우와 면허 대역만 사용하는 LTE-D2D 통신 성능을 비교한 것이다. 셀룰러 단말이 D2D 링크로부터 충분히 멀리 떨어진 경우, D2D 통신 링크가 받는 간섭이 거의 없기 때문에 두 방법은 유사한 성능을 얻는다. 하지만 셀룰러 단말이 접근할 경우, D2D 링크가 받는 간섭이 심해 기존의 LTE-D2D 성능이 급격히 열화됨을 확인할 수 있다. 반면, 제안 기술은 간섭이 증가하더라도 비면허 대역을 보조 자원으로 활용하기 때문에 성능 열화를 줄일 수 있음을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 셀룰러 네트워크 기반 D2D 통신에서 동일 자원을 사용하는 셀룰러 단말로부터의 간섭으로 인한 D2D 링크의 급격한 성능열화를 방지하기 위한 방안으

로 비면허 대역의 주파수 자원을 한시적으로 보조 자원으로 활용하는 기술을 제안하였다. 모의실험을 통해 기존의 셀룰러 자원만 사용하는 기술에 비해 성능을 향상시킬 수 있음을 검증하였다. 비면허 대역 주파수 자원을 활용하려면 무선 단말들에 대한 우선권 보장을 고려해야 하지만, 이를 적절히 활용하면 전체 셀룰러 네트워크의 품질 향상 및 통신 커버리지 확장이 가능하다. 따라서 비면허 대역 활용에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

References

- [1] 3GPP, "Feasibility study for proximity services(ProSe) (Release 12)", *TR 22.803, V12.2.0*, Jun. 2013.
- [2] 3GPP, "Work item proposal for enhanced LTE device to device proximity services", *RP-142311*, Dec. 2014.
- [3] 강길모, 김현민, 남종현, 신오순, "LTE-Advanced 기반 D2D 통신 기술 표준화 동향", *한국전자파학회 전자파 기술*, 24(5): CR-SDR 기술 동향 특집호, pp. 52-64, 2013년 9월.
- [4] Q. Duong, Y. Shin, and O. -S. Shin, "Distance-based resource allocation scheme for device-to-device communications underlying cellular networks", *AEU-Inter. J. Electron. & Commun.*, vol. 69, no. 10, pp. 1437-1444, Oct. 2015.
- [5] Huawei, "Study on licensed-assisted access using LTE motivation", *3GPP RAN#63 RP-140260*, Fukuoka, Japan, Mar. 2014.
- [6] 이동준, "비면허 대역에서의 LTE advanced 서비스", *TTA Journal*, vol. 152, pp. 71-78, 2014년 3월.
- [7] A. M. Cavalcante *et al.*, "Performance evaluation of LTE and Wi-Fi coexistence in unlicensed bands", in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. 2013 Spring(VTC 2013-Spring)*, pp. 756-761, Jun. 2013.