

셀룰러 네트워크 환경에서 D2D 통신을 위한 스펙트럼 센싱 기반 자원 할당 기법

강길모*, 신오순^o

Resource Allocation Scheme Based on Spectrum Sensing for Device-to-Device Communications Underlying Cellular Networks

Gil-Mo Kang*, Oh-Soon Shin^o

요약

셀룰러 네트워크에서 D2D 통신을 지원하기 위해서는 기존의 셀룰러 통신과 D2D 통신이 셀룰러 자원을 공유하므로 주파수 효율성과 간섭에 대한 고려가 반드시 필요하다. 따라서 D2D 통신을 위한 자원할당은 셀룰러 통신과의 간섭을 최소화하면서 동시에 주파수 재사용에 따른 스펙트럼 이용 효율을 최대화하는 것이 바람직하다. 본 논문에서는 D2D 단말과 기지국이 상호 협력적인 방법으로 D2D 자원을 할당하는 기법을 제안한다. D2D 단말은 스펙트럼 센싱을 통해 셀룰러 단말과 다른 D2D 단말로부터 오는 간섭을 인지하여 최적의 셀룰러 자원을 선택하여 기지국에 보고한다. 기지국은 해당 셀룰러 단말과 D2D 단말이 동일한 자원을 공유하도록 자원할당을 함으로써 간섭의 영향을 최소화한다. 3GPP LTE (Long Term Evolution)-Advanced 환경에서 모의실험을 통해 제안한 자원할당 기법의 성능을 검증한다.

Key Words : Device-to-Device (D2D), Resource Allocation, Spectrum Sensing, Spectrum Sharing, 3GPP LTE-Advanced

ABSTRACT

For D2D communications underlying cellular networks, it is essential to consider the mutual interference between the existing cellular communications and D2D communications as well as the spectral efficiency, as they need to share the same frequency. Accordingly, a resource allocation scheme should be designed in such a way that minimizes the mutual interference and maximizes the spectrum utilization efficiency at the same time. In this paper, we propose a resource allocation scheme based on cooperation of the base station and D2D terminals. Specifically, a D2D terminal senses the cellular spectrum to recognize the interference condition, chooses the best cellular resource, and reports the information to the base station. The base station allocates D2D resource such that the corresponding D2D link and cellular link share the same resource. The performance of the proposed resource allocation scheme is tested through computer simulation under 3GPP LTE-Advanced scenarios.

* 본 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2013R1A2A2A01011222).

• First Author : 숭실대학교 대학원 전자공학과, znznzn37@ssu.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : 숭실대학교 정보통신전자공학과, osshin@ssu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2013-09-408, 접수일자 : 2013년 9월 16일, 최종논문접수일자 : 2013년 10월 7일

I. 서 론

최근 컴퓨터 및 통신 기술의 급속한 발전으로 인해 기존의 텍스트 위주의 사용자 환경에서 탈피하여 이미지, 그래픽, 오디오 및 비디오 데이터 등을 제공하는 멀티미디어 사용자 환경으로 변화하고 있다. 그러나 서비스 사업자가 제공할 수 있는 주파수 자원이 한정되어 있고 이미 포화상태에 이르고 있어 이동통신 사업자들의 신규 주파수 발굴 및 주파수 이용 효율 향상을 위한 기술 개발이 끊임없이 진행되고 있다. 이러한 주파수 자원 부족 현상을 완화하고 신규 이동통신 서비스를 창출하기 위한 방안으로 최근 활발히 연구되고 있는 기술 중의 하나가 D2D (Device-to-Device) 통신 기술이다. D2D 통신이란 지리적으로 서로 근접한 단말들이 기지국과 같은 인프라를 거치지 않고 직접적으로 정보를 주고받는 기술을 의미한다^[1].

D2D 통신 기술은 초기에는 이미 상용화가 이루어진 Wi-Fi Direct, Bluetooth와 같이 주로 비면허 대역에서 기술 개발 및 표준화가 이루어져 왔으나, 최근에는 면허 대역을 사용하는 셀룰러 시스템에서 D2D 통신을 지원하기 위한 기술 개발과 표준화가 진행 중에 있다. 대표적으로 이동통신 표준화 단체인 3GPP (3rd Generation Partnership Project)에서는 LTE (Long Term Evolution) release 12에 포함되는 새로운 기술의 하나로 ProSe (Proximity-based Services)라 불리는 D2D 통신 기술 표준화 작업을 2011년 말부터 활발히 진행하고 있으며^[2-4], 세계적으로 관련 기술 개발이 한창 진행 중에 있다.

셀룰러 시스템에서 근접한 거리의 단말들이 D2D 통신을 하면 기지국의 부하를 분산 시킬 수 있으며, 상대적으로 단거리를 전송함으로써 단말의 전력 소모를 줄일 수 있고, 전송지연(Latency) 또한 줄일 수 있는 장점이 있다. 전체 시스템 관점에서는 기존의 셀룰러 단말과 D2D 단말이 동일한 주파수를 공유하여 공간적으로 주파수를 재사용함으로써 주파수 이용 효율을 향상시키는 효과가 있다^[5,6]. 뿐만 아니라 단말 간 릴레이에 활용할 수 있고, 모바일 사용자의 위치를 중심으로 인접한 거리에 있는 상점 및 물건의 정보를 수집하거나 실내에서의 정밀한 측위, 인접한 거리의 사람들 간의 그룹 통신, 네트워크 게입, 위치기반 광고 등과 같이 신규 근접성 기반 서비스를 창출하는 효과가 기대된다^[7].

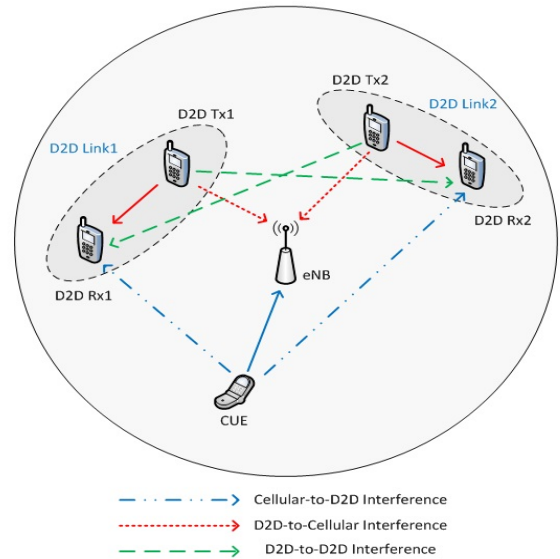


Fig. 1. Interference scenarios for the case when a cellular link and D2D links share uplink resource

D2D 링크가 셀룰러 링크와 자원을 공유하기 때문에 필연적으로 간섭 문제가 발생하고 이를 적절히 제어하지 못하면 D2D 통신이 어려울 뿐만 아니라 셀룰러 사용자의 성능까지 저하시키는 문제를 초래할 수 있다. [그림 1]은 단일 셀 환경에서 D2D 링크가 셀룰러 상향링크 자원을 공유하는 경우 간섭 시나리오를 나타낸 것으로 셀룰러 단말이 D2D 단말에 주는 간섭, D2D 단말이 기지국에 주는 간섭, D2D 링크 상호 간의 간섭이 부가적으로 발생하는 것을 보여준다. 따라서 셀룰러 기반 D2D 통신을 위해서는 효과적인 간섭 제어가 매우 중요하고 이는 자원할당을 통해 이루어질 수 있다^[8-12].

셀룰러 기반 D2D 통신을 위한 자원할당은 기지국이 셀룰러 링크와 D2D 링크 모두에 대한 자원할당을 수행하는 중앙집중형(Centralized) D2D 자원할당, 기지국의 개입 없이 D2D 통신을 하는 단말들이 자원을 할당하는 분산형(Distributed) D2D 자원할당으로 분류할 수 있다^[9,10]. 중앙집중형 방식은 기지국이 링크들의 채널정보 또는 거리정보를 수집하여 이를 토대로 D2D 자원을 할당하는 방식으로^[11] 성능은 우수하나 시그널링 오버헤드가 크고 재난 상황과 같이 기지국이 제 기능을 하지 못하는 상황에서는 적용하기 어려운 단점이 있다. 분산형 D2D의 경우 D2D가 주변 간섭을 인지하여 스스로 자원을 할당하는 방식으로^[12] 복잡도는 낮지만 셀룰러 사용자의 자원할당이 동적으로 변하기 때문에 D2D 단말이 이를 제어하는데 어려움이 있다.

본 논문에서는 중앙집중형과 분산형 D2D 자원할당의 단점을 보완할 수 있는 혼합형(Hybrid) D2D 자원할당 기법을 제안한다. 제안하는 자원할당 기법에서는 기지국과 D2D 단말이 상호 협력적으로 D2D 자원할당을 수행한다. 먼저 D2D 단말은 스펙트럼 센싱을 이용하여 셀룰러 자원의 간섭 상황을 인지하여 D2D 링크와 공유하기에 가장 적합한 셀룰러 자원을 결정한다. D2D 단말은 이 정보를 기지국으로 보고하고 기지국은 이 정보를 바탕으로 해당 셀룰러 단말을 확인한다. 이후 기지국은 해당 셀룰러 단말과 D2D 단말에게 동일한 자원을 할당해 줌으로써 간섭의 영향을 줄이면서 셀룰러와 D2D 링크가 효과적으로 자원을 공유하도록 한다. 제안 기법에서 자원할당의 주체는 기지국이지만 자원할당을 위한 간섭 정보는 D2D 단말에서의 스펙트럼 센싱에 의해 결정된다. 이러한 과정을 통해 동적으로 변하는 셀룰러 자원을 D2D 링크가 효과적으로 공유할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 D2D 통신을 지원하는 셀룰러 시스템 모델을 제시한다. III장에서는 스펙트럼 센싱을 이용한 D2D 자원할당 기법을 제안하고, IV장에서 제안한 기법의 성능을 LTE-Advanced 환경에서 모의실험을 통해 분석한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

단일 셀 환경에서 셀룰러 단말(CUE: Cellular User Equipment)과 D2D 단말(D2D UE: D2D User Equipment)이 셀룰러 상향링크 자원을 공유하는 시나리오를 가정한다. 이는 일반적으로 상향링크 자원을 공유하는 것이 단말의 송신 RF 체인 재사용 및 간섭 측면에서 효과적인 것으로 알려져 있기 때문이다^{6,13)}. D2D UE들은 송신 UE(D2D Tx)와 수신 UE(D2D Rx)가 쌍(Pair)을 이루고 있고 D2D Tx와 D2D Rx는 일정 거리 내에 존재한다고 가정한다. 이러한 시나리오에서는 앞서 설명한 바와 같이 [그림 1]의 세 가지 종류의 간섭이 발생하고 이를 효과적으로 제어하는 것이 필요하다.

셀룰러 상향링크 자원은 N 개의 자원블록(RB: Resource Block)으로 구성되어 있고 각 CUE는 하나의 RB를 할당 받아서 상향링크 전송을 하는 것으로 가정한다. D2D (Tx/Rx) UE는 CUE에 할당된 RB를 공유하는데 편의상 D2D 링크별로 하나의 RB를 공유하는 것으로 가정한다.

CUE의 송신전력은 기지국(eNB: enhanced Node B)에서의 수신 신호대잡음비(SNR: Signal-to-Noise Ratio)가 목표치 SNR_{CUE} 가 되도록 설정된다고 가정한다. 즉, i 번째 CUE의 송신전력 P_{CUE}^i 는

$$SNR_{CUE} = P_{CUE}^i |H_{CUE}^i|^2 / \sigma^2 \quad (1)$$

로부터

$$P_{CUE}^i = \sigma_{eNB}^2 SNR_{CUE} / |H_{CUE}^i|^2 \quad (2)$$

와 같이 계산된다. 여기서, $|H_{CUE}^i|^2$ 은 CUE i 와 eNB 사이의 평균 채널이득을 나타내고, σ_{eNB}^2 는 eNB에서의 잡음의 전력을 나타낸다. D2D Tx의 송신전력 P_{D2D}^j 도 유사한 방법으로 j 번째 D2D Rx에서의 SNR이 목표치 SNR_{D2D} 가 되도록 식 (3)과 같이 설정된다.

$$P_{D2D}^j = \sigma_{UE}^2 SNR_{D2D} / |H_{D2D}^j|^2 \quad (3)$$

여기서 $|H_{D2D}^j|^2$ 는 j 번째 D2D 링크의 평균 채널이득을 나타내고, σ_{UE}^2 는 D2D Rx에서의 잡음의 전력을 나타낸다.

III. 스펙트럼 센싱 기반 D2D 자원할당 기법

스펙트럼 센싱(Spectrum Sensing)은 인지무선(Cognitive Radio) 시스템에서 부사용자가 주사용자의 스펙트럼 사용 여부를 판단하기 위한 기술로 에너지 검출, 신호 특성 검출 등이 대표적인 방법이다¹⁴⁾. 제안하는 자원할당 기법에서는 D2D Rx가 CUE들로부터 오는 간섭량을 인지하기 위해 스펙트럼 센싱을 이용한다. D2D Rx는 셀룰러 RB들에 대해 센싱을 수행하여 간섭이 가장 적은 RB를 선택한다. 에너지 검출기의 경우 검출된 에너지 값이 가장 작은 RB가 이에 해당된다. [그림 2]는 특정 D2D 쌍이 받는 간섭을 도식적으로 보여주는 것으로 CUE들이 동일한 전력으로 전송하고 거리에 따른 경로손실만 고려하는 경우 D2D Rx에서 가장 멀리 떨어진 CUE₁에 할당된 RB에서 가장 적은 간섭이 측정될 것이다. 물론 실제 환경에서는 CUE마다 송신전력이 다르고 섀도우(Shadow) 효과 및 페이딩(Fading)의 영향으로 최적의 RB에 해당되는 CUE가 단순히 가장 가까운 CUE가 아닐 수도 있을 것이다. 아무튼 채널 상황이 변하지 않는다면 스

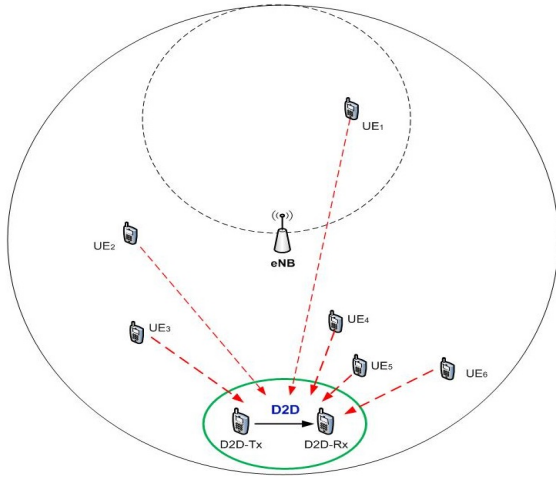


Fig. 2. Spectrum sensing of a D2D UE for cellular RBs

펙트럼 센싱 과정에서 간섭이 가장 적다고 판단된 RB를 D2D 링크가 공유하는 것이 바람직할 것이다.

하지만 CUE에 대한 자원할당은 스케줄링 주기로 변하기 때문에 D2D UE가 스펙트럼 센싱 과정에서 찾은 RB를 사용하면 해당 RB를 사용하는 CUE가 동적으로 바뀌기 때문에 스펙트럼 센싱 정보가 무의미해지는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서 제안하는 방법은 D2D UE가 최적의 RB가 아닌 해당 RB를 할당받은 CUE를 기준으로 자원할당이 되도록 하는 것이다.

[그림 3]은 이러한 메커니즘을 포함한 제안하는 자원할당 절차를 나타낸 것이다. 앞서 설명한 바와 같이 먼저 D2D 통신을 하고자 하는 D2D Rx는 스펙트럼 센싱을 통해 간섭이 가장 적은 RB를 판별한다. 이 정보를 eNB에 보고하면서 동시에 자원할당을 요청한다. 스펙트럼 센싱에 소요되는 시간과 eNB에 보고하는데 걸리는 피드백 Delay는 기본적으로 CUE의 CQI (Channel Quality Indicator) 측정 및 피드백 Delay와 동일하다고 가정할 수 있다. 따라서 CQI 수준의 정확도를 갖는 센싱이 가능하며 피드백 Delay에 의한 채널 변화는 미약하다고 할 수 있다. 3GPP LTE 규격에 따르면^[15], CQI 피드백 Delay는 4개의 subframe 구간, 즉 4ms이다. 이는 단말이 100km/hr의 속도로 이동하는 경우 약 11cm의 거리를 움직이는 시간으로 피드백 Delay에 따른 채널 변화는 미미할 것으로 예상된다. eNB는 D2D Rx가 스펙트럼 센싱하는 시점에 해당 RB가 어떤 CUE에 할당되었는지 확인한다. 이를 위해 eNB는 스케줄링 정보를 일정 시간동안 버퍼링 하는 것이 필요하다. 이후 eNB는 CUE 자원 스케줄링과 동시

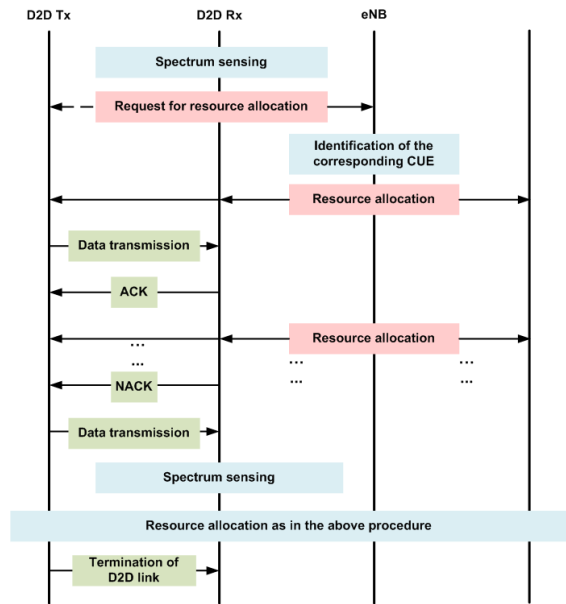


Fig. 3. Proposed D2D resource allocation procedure

에 D2D UE의 자원도 할당한다. 이를 통해 D2D UE는 센싱 과정에서 간섭이 가장 적다고 판단된 CUE와 동일한 RB를 계속적으로 공유하는 것이 가능하다. D2D 통신을 하는 중에 NACK (Negative Acknowledgment)이 많이 발생하면 단말의 이동 등으로 간섭 상황이 바뀌었을 가능성이 크므로 D2D Rx는 다시 스펙트럼 센싱을 수행하여 위와 동일한 방법으로 RB를 할당받을 수 있다.

[그림 4]는 제안하는 D2D 자원할당 기법에 따른 자원할당의 예시를 보여주는 것으로 세부적인 과정은 다음과 같다.

- 1) T1 시간에 D2D Rx가 스펙트럼 센싱을 하여 간섭량이 가장 적은 RB6를 선택한다.
- 2) T2 시간에 RB6에 대한 정보를 eNB로 보고한다. eNB에서는 전달받은 RB6에 대한 정보를 확인한 후 이전 T1시간의 스케줄링 정보를 확인하여 해당 UE가 CUE6임을 확인한다.
- 3) T3 시간에 eNB는 셀룰러 사용자들에 대한 스케줄링에서 CUE6에게 할당되는 RB7을 D2D 링크에 동시에 할당한다.
- 4) T4 시간에 D2D (Tx/Rx) UE는 CUE6가 사용하는 RB7를 사용하여 통신한다.
- 5) 이후부터 D2D는 eNB으로부터의 스케줄링 정보를 확인하여 UE6가 사용하는 RB와 동일한 RB를 사용하여 통신한다.

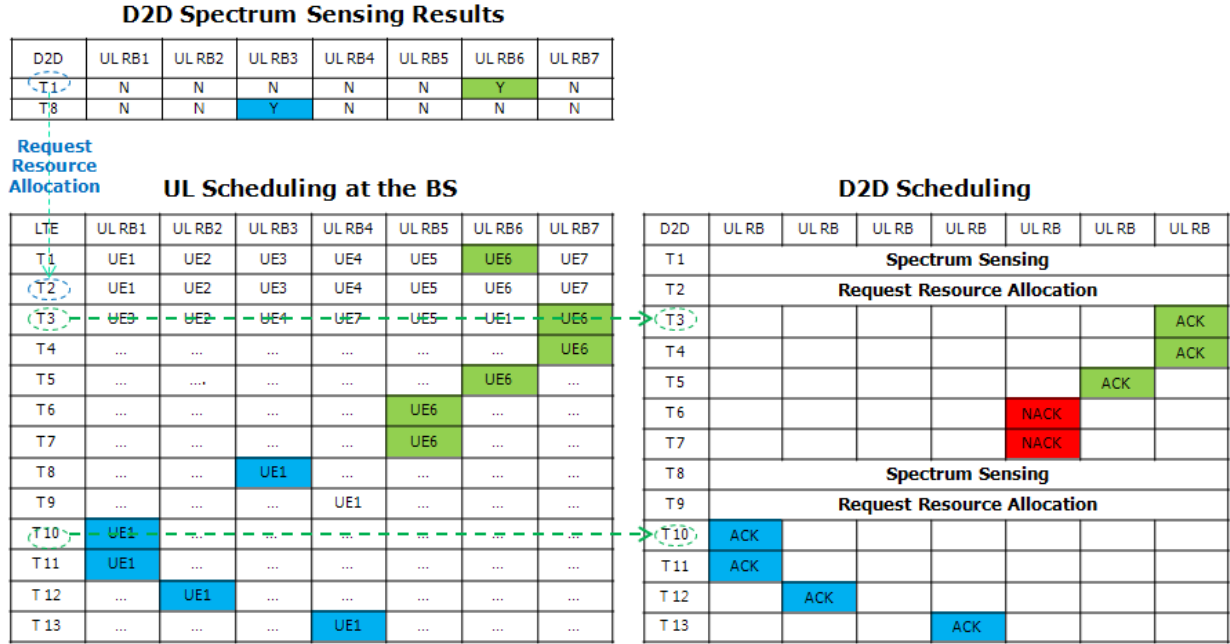


Fig 4. Illustrative example of the proposed D2D resource allocation

IV. 성능 평가

4.1. 성능 분석

제안하는 자원할당 기법의 성능을 Throughput 관점에서 분석한다. 먼저, D2D Rx가 CUE로부터 받는 간섭과 j번째 D2D Rx에서의 수신 SINR은 다음과 같이 계산된다.

$$I_{C-D,j} = \min_i \{ P_{CUE}^i |H_{C,i-D,j}|^2 \} \quad (4)$$

$$SINR_{D2D}^j = P_{D2D}^j |H_{D2D}^j|^2 / (I_{C-D,j} + \sigma_{UE}^2) \quad (5)$$

여기서 $|H_{C,i-D,j}|^2$ 는 CUE i와 D2D Rx j 사이의 평균 채널이득, $|H_{D2D}^j|^2$ 은 D2D Tx j와 D2D Rx j 사이의 평균 채널이득을 나타낸다. 다수의 D2D 링크가 존재하는 경우 동일한 자원을 사용하는 D2D 링크 k가 D2D 링크 j에 미치는 간섭은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I_{D,j-D,k} = P_{D2D}^k |H_{D,j-D,k}|^2, k \neq j \quad (6)$$

따라서 D2D 링크 j를 포함하여 n(i)개의 D2D 링크가 CUE i와 동일한 자원을 공유하는 경우 D2D Rx j가 받는 총 간섭은 다음과 같다.

$$I_{D2D}^j = \min_i I_{C,i-D,j} + \sum_{k=1, k \neq j}^{n(i)} I_{D,j-D,k} \quad (7)$$

따라서 D2D Rx j에서의 SINR은 최종적으로 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$SINR_{D2D}^j = P_{D2D}^j |H_{D2D}^j|^2 / (I_{D2D}^j + \sigma_{UE}^2) \quad (8)$$

또한 CUE i에 대한 eNB에서의 간섭 및 수신 SINR은 다음과 같이 계산된다.

$$I_{CUE}^i = \sum_{j=1}^{n(i)} P_{D2D}^j |H_{D,j-eNB}|^2 \quad (9)$$

$$SINR_{CUE}^i = P_{CUE}^i |H_{CUE}^i|^2 / (I_{CUE}^i + \sigma_{eNB}^2) \quad (10)$$

식 (8)과 식 (10)으로부터 D2D 링크의 Throughput, 셀룰러 링크의 Throughput 및 전체 셀 Throughput은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$R_{CUE} = \sum_i \log_2(1 + SINR_{CUE}^i) \quad (11)$$

$$R_{D2D} = \sum_j \log_2(1 + SINR_{D2D}^j) \quad (12)$$

$$R_{Cell} = R_{CUE} + R_{D2D} \quad (13)$$

4.2. 모의실험 환경

LTE-Advanced 시스템에서 D2D 기술의 성능 평가를 위해 다음과 같이 여섯 가지의 Layout Option 이 정의되어 있다¹⁶⁾.

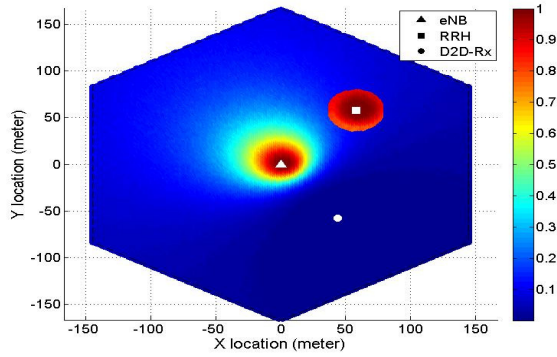


Fig. 5. SINR of the D2D link versus the location of a CUE for Layout Option 1 (Example 1)

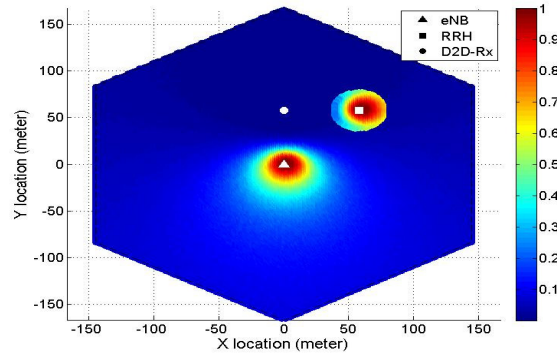


Fig. 6. SINR of the D2D link versus the location of a CUE for Layout Option 1 (Example 2)

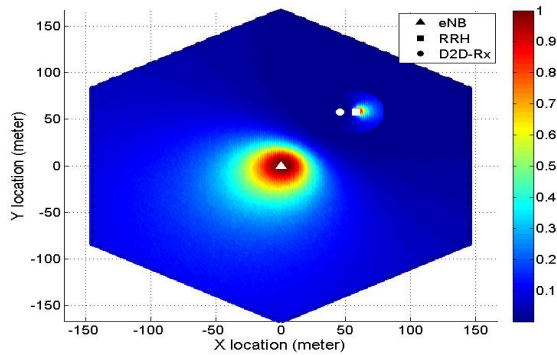


Fig. 7. SINR of the D2D link versus the location of a CUE for Layout Option 1 (Example 3)

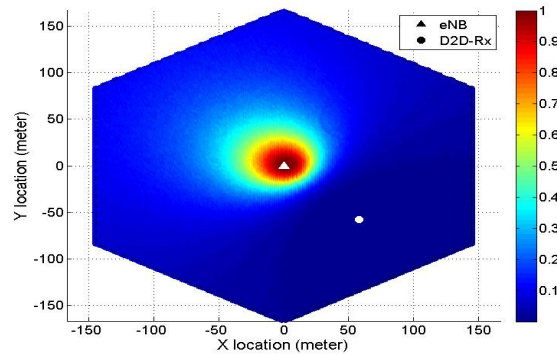


Fig. 8. SINR of the D2D link versus the location of a CUE for Layout Option 3

- 1) Option 1: Urban macro (500m ISD) + 1 RRH / Indoor Hotzone per cell
- 2) Option 2: Urban macro (500m ISD) + 1 Dual stripe per cell
- 3) Option 3: Urban macro (500m ISD) (all UEs outdoor)
- 4) Option 4: Urban macro (500m ISD) + 3 RRH / Indoor Hotzone per cell
- 5) Option 5: Urban macro (1732m ISD)
- 6) Option 6: Urban macro (100m ISD)

Option 1, 2, 3, 4, 6의 경우는 3GPP Case 1에 정의된 파라미터를 사용하고, Option 5의 경우는 3GPP Case 3 파라미터를 사용한다^[7]. 제안하는 자원할당 기법의 성능평가를 위해 가장 일반적인 환경인 Option 1과 Option 3을 고려하였다.

Option 1 환경에서는 전체 단말 중 2/3는 소형 셀 내에, 나머지 1/3은 소형 셀 밖의 매크로 셀 내에 균일하게 배치하였다. Option 3 환경에서는 매크로 셀 내에 모든 UE들을 균일하게 배치하였다. 모든 통신링크

(CUE-eNB, CUE-RRH, D2D Tx-D2D Rx) 및 간섭 링크(CUE-D2D Rx, D2D Tx-eNB, D2D Tx-RRH, D2D Tx-Other D2D Rx)에는 거리에 따른 경로손실과 서로 독립적인 Rayleigh 페이딩을 적용하였다. 경로손실 지수(Exponent)는 공통적으로 3.5로 설정하였다.

표 1은 모의실험에 적용한 주요 파라미터 값을 정리한 것이다. 셀 안의 전체 UE 수는 100으로 설정하였고, CUE의 수가 D2D UE보다 많은 경우(CUE가 2/3, D2D UE가 1/3)와 CUE의 수가 D2D UE보다 적은 경우(CUE가 1/3, D2D UE가 2/3)로 나누어서 성능을 비교하였다. CUE의 숫자와 RB의 수는 일치시켜 CUE마다 하나의 RB가 할당된다고 가정하였고, CUE의 송신전력 결정을 위한 목표 SNR 값은 편의상 20dB로 고정하였다. 매크로 셀 반경은 500m ISD의 한 섹터에 해당되는 167m로 설정하였다.

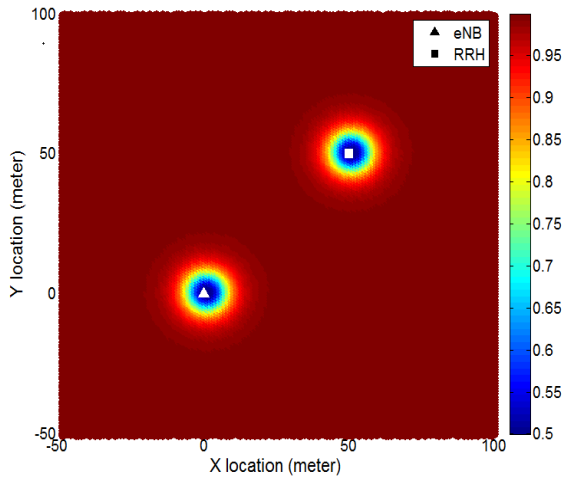


Fig. 9. SINR of the CUE according to the location of a D2D UE

Table 1. Parameters used in simulations

Parameter	Value
Total number of UE's	100
Number of CUE's	2/3 or 1/3 UE's
Number of D2D UE	1/3 or 2/3 UE's
Number of RB's	100
SNR Target for CUE's	20dB
Radius of a Macro Cell	167m (500m ISD)
Radius of a Small Cell	40m
Maximum D2D Distance	40m

4.3. 모의실험 결과

[그림 5]~[그림 7]은 Option 1의 경우 CUE의 위치에 따른 D2D 링크의 상대적 SINR 값을 나타낸 것이다. [그림 5]는 D2D UE가 소형 셀로부터 먼 위치에 있는 경우로서 소형 셀 내에 있는 CUE와 매크로 셀 부근의 CUE의 자원을 공유할 때 가장 높은 SINR을 나타낸다. 이는 CUE의 전력제어 때문에 eNB와 가까운 CUE는 먼 곳에 위치한 CUE보다 낮은 전력으로 송신하고, 또한 소형 셀의 CUE는 매크로 셀 CUE보다 낮은 전력을 사용하여 D2D가 받은 간섭이 상대적으로 약하기 때문이다. [그림 6]은 D2D UE가 eNB와 소형 셀의 중간 지점에 위치하는 경우이다. 이때는 eNB와 RRH 부근의 CUE의 자원을 공유할 때 가장 높은 SINR을 얻을 수 있게 된다. [그림 7]은 D2D UE가 소형 셀 내에 위치하는 경우이다. 소형 셀 CUE의 자원은 높은 간섭을 받게 되어 사용하기 어렵다. 따라서 소형 셀에 위치한 D2D UE는 eNB에 가까운 CUE의

자원을 공유할 때 간섭이 최소화 된다.

[그림 8]은 Option 3 환경에서의 CUE의 위치에 따른 D2D의 상대적 SINR 값을 나타낸 것이다. Option 3 환경에서는 매크로 셀 내에 모든 UE들이 균일하게 분포하고 있어 [그림 6]의 경우와 마찬가지로 eNB와 가까운 CUE의 자원을 공유할수록 높은 SINR을 얻을 수 있게 된다.

[그림 9]는 D2D의 위치에 따른 CUE의 상대적인 SINR을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 CUE가 받는 간섭을 줄이기 위해서는 D2D가 eNB 및 RRH와 일정 거리 이상 떨어져 있거나 D2D의 전송 전력을 줄여야 하는 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위한 방법으로 매크로 셀의 D2D UE는 소형 셀의 CUE의 자원을 공유하고, 소형 셀의 D2D UE는 매크로 셀의 CUE의 자원을 공유할 수 있다.

[그림 10]은 CUE가 D2D UE보다 많은 경우 Option 1 환경에서 제안하는 자원할당 기법을 적용한 경우와 분산형 D2D 자원할당의 경우 D2D UE의 성능, CUE의 성능 및 전체 셀의 Throughput 성능을 비교하였다. 분산형 D2D 자원할당은 eNB의 개입 없이 D2D UE 자체적으로 자원할당을 하는 경우로서 CUE의 자원 정보가 스케줄링 주기로 변하기 때문에 간섭을 인지하는 것이 무의미하다. 결과적으로 D2D가 임의로 CUE 자원을 선택하여 사용하는 것으로 볼 수 있어서 Random Pairing으로 명명하였다. 제안하는 자원할당 기법을 적용하여 셀룰러 시스템에서 D2D 통신을 지원하면 Random Pairing의 경우보다 상당한 D2D 성능 이득 이득을 얻을 수 있으며 셀룰러 시스템의 성능 손실 또한 적음을 확인할 수 있다. 결과적으로 제안한 기법의 전체 셀 Throughput 이득은 Random Pairing 보다 훨씬 크다는 점을 확인할 수 있다.

[그림 11]은 CUE가 D2D UE보다 많은 경우 Option 3 환경에서의 성능 비교를 나타낸 것이다. 소형 셀이 존재 하지 않는 경우 D2D는 CUE로부터 더 큰 간섭을 받게 된다. 이러한 환경에서 제안한 기법과 Random Pairing의 성능은 극명한 차이를 보이게 된다. Random Pairing은 D2D의 성능 이득이 적고 CUE의 성능 손실로 인하여 전체 셀의 성능 향상을 기대할 수 없다. 하지만 제안한 기법을 적용하는 경우 D2D 성능은 Random Pairing에 비해 훨씬 큰 이득을 얻을 수 있으며 전체 셀의 성능 향상 폭 또한 매우 큼을 확인할 수 있다.

[그림 12]와 [그림 13]은 Option 1환경과 Option3 환경에서 CUE보다 D2D UE수가 더 많은 경우로서

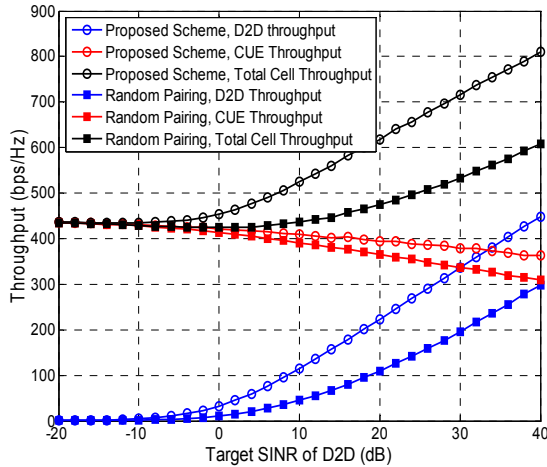


Fig. 10. Throughput performance in Option 1 for the case when the number of CUEs is larger than that of D2D UEs

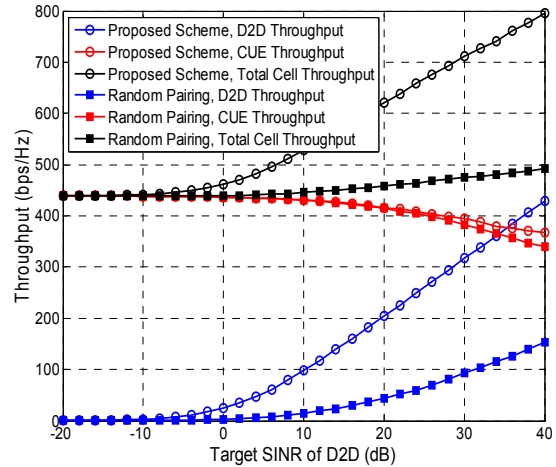


Fig. 11. Throughput performance in Option 3 for the case when the number of CUEs is larger than that of D2D UEs

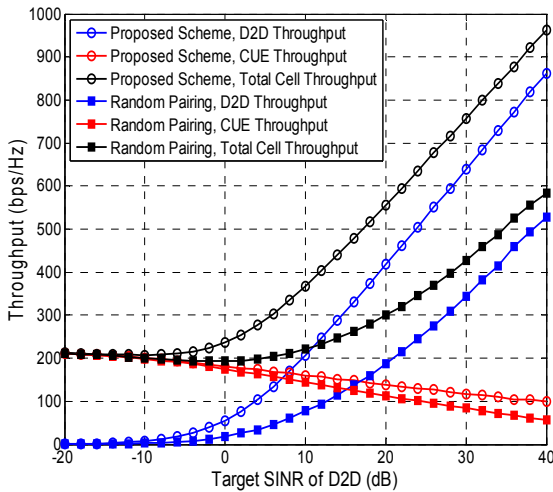


Fig. 12. Throughput performance in Option 1 for the case when the number of CUEs is less than that of D2D UEs

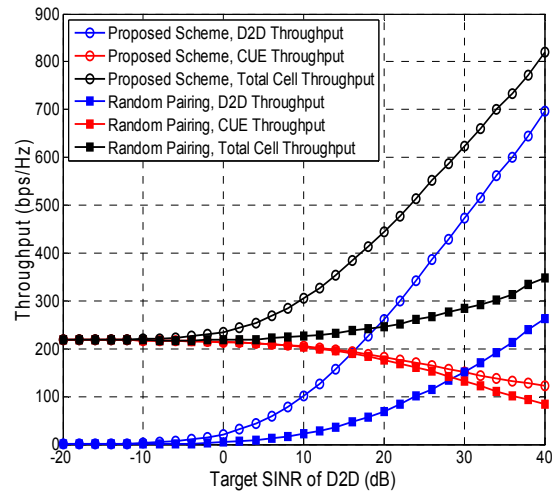


Fig. 13. Throughput performance in Option 3 for the case when the number of CUEs is less than that of D2D UEs

D2D UE가 선택할 수 있는 자원이 [그림 10]과 [그림 11] 보다 상대적으로 적기 때문에 하나의 CUE 자원을 다수의 D2D UE가 경우가 많이 발생한다. 따라서 D2D로부터 CUE가 받는 간섭이 크기 때문에 CUE의 성능 감소 폭이 매우 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 앞선 [그림 10]과 [그림 11]의 결과와 마찬가지로 제안한 기법을 적용하면 Random Pairing 보다 D2D 및 전체 셀 성능에서 큰 이득을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

앞선 모의실험 결과를 통하여 제안한 기법을 적용하면 단일 셀 환경에서 큰 이득을 얻을 수 있음을 확인하였다. 이는 D2D 통신에 사용하는 자원을 결정하는 데 있어서 스펙트럼 센싱 정보를 eNB에 보내서 eNB가 CUE와 D2D UE 간의 간섭을 고려하여 자원

할당을 할 수 있기 때문이다. 하지만 다중 셀 환경에서는 인접 셀의 CUE 자원할당에 대한 정보가 없기 때문에 D2D 단말과 인접 셀 CUE 간의 간섭이 부가적으로 발생한다. 이를 해결하기 위해서는 셀 간 정보 교환을 통한 협력 스케줄링 도입이 필요할 것으로 예상된다.

V. 결론

본 논문에서는 셀룰러 시스템에서 상향링크 자원을 공유하여 D2D 통신을 지원하는 경우 효과적인 자원 할당 기법을 제안하였다. D2D UE는 스펙트럼 센싱을 통해 셀룰러 자원의 간섭 상황을 인지하고 센싱 정보를 기지국에 보고하여 기지국이 자원할당을 하도록

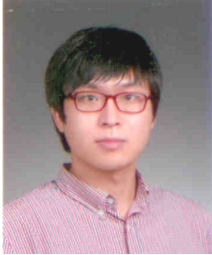
도외주는 역할을 한다. 기지국은 D2D UE의 피드백을 바탕으로 CUE의 자원 할당 정보를 공유하여 특정 CUE와 D2D UE가 동일한 자원을 사용하도록 스케줄링 함으로써 D2D UE는 동적으로 변하는 셀룰러 자원할당을 효과적으로 공유할 수 있다. 제안한 자원할당 기법의 Throughput 성능을 분석하고 3GPP LTE-Advanced 환경에서 모의실험을 통해 성능을 평가하였다. 모의실험 결과 셀룰러 시스템에 제안하는 자원할당 기법을 사용하여 D2D 통신을 지원하면 셀룰러 성능에 약간의 손실이 있지만 D2D 성능 이득이 훨씬 크기 때문에 전체 셀 성능이 크게 향상됨을 검증하였다. 추후 연구 과제로서 다중 셀 환경에서 제안한 자원할당 기법을 효과적으로 적용하기 위한 기술 개발과 아울러 단말의 이동성을 고려한 성능 분석이 필요하다.

References

- [1] K. Doppler, M. Rinne, C. Wijting, C. Ribeiro, and K. Hugl, "Device-to-device communication as an underlay to LTE-advanced networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 12, pp. 42-49, Dec. 2009.
- [2] 3GPP, *Feasibility study for Proximity Services (ProSe)*, 3GPP TR 22.803 V12.1.0, Mar. 2013.
- [3] 3GPP, *Study on architecture enhancements to support Proximity Services (ProSe)*, 3GPP TR 23.703 V0.4.1, June 2013.
- [4] 3GPP, *Study on LTE device to device Proximity Services*, 3GPP TR 36.843 V0.1.0, Apr. 2013.
- [5] M. S. Corson, R. Laroia, J. Li, V. Park, T. Richardson, and G. Tsirtsis, "Toward proximity-aware internetworking," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 17, no. 6, pp. 26-33, Dec. 2010.
- [6] M. Yang, E. Lim, S. Wu, H. M. Kim, O.-S. Shin, and Y. Shin, "Technical trend of device-to-device communications in LTE-Advanced networks," *IEEK Mag.*, vol. 39, no. 11, pp. 27-38, Nov. 2012.
- [7] Huawei, *Future smartphone solution white paper*, Sep. 2012.
- [8] T. Peng, Q. Lu, H. Wang, S. Xu, and W. Wang, "Interference avoidance mechanism in the hybrid cellular and device-to-device systems," in *Proc. IEEE Int. Symp. Personal, Indoor Mobile Radio Commun. 2009 (PIMRC 2009)*, pp. 617-621, Tokyo, Japan, Sep. 2009.
- [9] B. Wang, L. Chen, X. Chen, X. Zhang, and D. Yang, "Resource allocation optimization for device-to-device communication underlaying cellular networks," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. 2011 Spring (VTC 2011-Spring)*, Budapest, Hungary, May 2011.
- [10] C.-H. Yu, K. Doppler, C. B. Ribeiro, and O. Tirkkonen, "Resource sharing optimization for device-to-device communication underlaying cellular networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 10, no. 8, pp. 2752-2763, Aug. 2011.
- [11] Q. Duong, Y. Shin, and O.-S. Shin, "Resource allocation scheme for device-to-device communications underlaying cellular networks," in *Proc. Int. Conf. Computing, Management Telecommun. 2013 (ComManTel 2013)*, pp. 66-69, Ho Chi Minh City, Vietnam, Jan. 2013.
- [12] P. Jänis, V. Koivunen, C. Ribeiro, J. Korhonen, K. Doppler, and K. Hugl, "Interference-aware resource allocation for device-to-device radio underlaying cellular networks," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. 2009-Spring (VTC 2009-Spring)*, pp. 1-5, Barcelona, Spain, Apr. 2009.
- [13] LG Electronics, "Physical layer enhancements for D2D communication," *R1-132250, 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #73*, May 2013.
- [14] E. Hossain, D. Niyato, and Z. Han, *Dynamic Spectrum Access and Management in Cognitive Radio Networks*, Cambridge Univ. Press, 2009.
- [15] 3GPP, *LTE; evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA): physical layer procedures*, 3GPP TS 36.213, V8.8.0, Oct. 2009.
- [16] Qualcomm Inc., "Text proposal for TR 36.843," *R1-132499, 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #73*, May 2013.
- [17] 3GPP, *Further advancements for E-UTRA*

physical layer aspects (Release 11), 3GPP TS
36.814, V9.0.0, Mar. 2010.

강 길 모 (Gil-Mo Kang)



2013년 2월 숭실대학교 정보통신
전자공학부 (공학사)
2013년 3월~현재 숭실대학교
전자공학과 석사과정
<관심분야> 통신시스템, 통신
이론, D2D 통신

신 오 순 (Oh-Soon Shin)



1998년 2월 서울대학교 전기공
학부 (공학사)
2000년 2월 서울대학교 전기공
학부 (공학석사)
2004년 2월 서울대학교 전기·
컴퓨터공학부 (공학박사)
2004년 3월~2005년 9월 미국
Harvard University 박사후연구원
2006년 4월~2007년 8월 삼성전자 통신연구소 책
임연구원
2007년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부
부교수
<관심분야> 통신시스템, 통신이론, 통신신호처리