

LTE-Advanced에서 단말간 직접 통신을 위한 영역 정보 기반 자원할당 및 전력 제어 기법

리 향*, 신 오 순*, 신 요 안°

Resource Allocation and Power Control for Device-to-Device Communication in LTE-Advanced Based on User Area Information

Xiang Li*, Oh-Soon Shin*, Yoan Shin°

요 약

본 논문에서는 LTE (Long Term Evolution)-Advanced 상향링크에서 제한된 자원을 보다 효율적으로 사용하기 위하여 하나의 셀룰러 링크와 다수의 D2D (Device-to-Device) 링크가 자원을 공유하는 시나리오를 고려하였다. 이때, 발생하는 간섭현상을 해결하기 위하여 본 논문에서는 eNB (evolved Node B)에게 영역 정보를 알릴 수 있는 DME (Discovery and Management Entity)라는 보조 장치를 고정위치에 설치한 후, 동일한 자원을 공유하는 CUE (Cellular User Equipment)가 DUE Rx (D2D UE Receiver)에게 주는 간섭을 회피하기 위하여 DME의 영역 정보기반 자원할당 기법을 제안하였고 더 나아가, 앞에서 제기한 영역 정보를 기반으로 자원을 할당한 후, 동일한 자원을 공유하는 D2D 링크들 사이의 간섭을 완화하기 위한 전력제어 기법을 제안하였다. 모의실험을 통하여 비교 및 분석한 결과 D2D 통신의 안정성이 향상되었고 전체시스템 성능도 우수하다는 것을 검증하였다.

Key Words : LTE-Advanced, D2D Communication, Area Information, Resource Allocation, Power Control

ABSTRACT

In this paper, we considered the scenario that one cellular link and multi-D2D links share the same frequency resource which can improve the spectrum efficiency during uplink communication in LTE (Long Term Evolution)-Advanced network. In order to reduce the interference caused to the D2D users, we set DME (Discovery and Management Entity) which can send the area information to eNB(evolved Node B). We proposed a resource allocation scheme by using these assistant devices to reduce the interference that CUE (Cellular User Equipment) causes to DUE Rx (D2D UE Receiver). Basing on the area information, in order to mitigate the interference among the D2D pairs which share the same frequency resource, a power control scheme has been proposed. The simulation results prove that by using the DMEs, the proposed schemes improve the stability of D2D communication and bring the highest performance of the communication system when comparing to the other different schemes.

* 본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2014년도 산학연협력 기술개발사업 (C022124)과 정부(교육부)의 지원으로 한국연구재단의 기초 연구사업 (No. 2013R1A1A2059500)의 연구수행으로 인한 결과임.

♦ First Author : School of Electronic Engineering, Soongsil University, hyanglee@ssu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : School of Electronic Engineering, Soongsil University, yashin@ssu.ac.kr, 종신회원

* School of Electronic Engineering, Soongsil University, osshin@ssu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2014-08-312, Received August 19, 2014; Revised December 3, 2014; Accepted January 8, 2015

I. 서 론

무선통신이 생활의 거의 모든 부분에서 이루어지면서 현재 가장 크게 부각되고 있는 문제가 주파수 부족이다. 2014년 5월에 발표한 Cisco 사의 통계에 의하면 전 세계적으로 모바일 데이터 트래픽의 양은 2013년 대비 2018년에 약 10.6배 이상 증가할 것으로 예측되고 있다^[1]. 이처럼 셀룰러 통신망의 과부하 문제가 심각해지면서 기지국, AP (Access Point) 등의 인프라를 거치지 않고 단말들 사이의 물리적 근접성을 기반으로 직접 통신을 하는 단말간 직접 (Device-to-Device; D2D) 통신 기술이 큰 관심을 받고 있다. D2D 통신은 네트워크의 자원 효율성 증대, 단말기 소비전력 감소, 셀룰러 통신 영역 확대 등의 측면에서 많은 장점을 갖고 있다. 이러한 추세를 반영하기 위하여 이동통신 표준화 단체인 3GPP (3rd Generation Partnership Project)에서는 2011년부터 Release 12에서 Study Item으로 선정하여 D2D 통신 기술을 ProSe (Proximity-based Service)라는 이름으로 타당성 연구를 시작하여 2013년부터 본격적으로 표준화 작업을 진행하고 있고^[2], IEEE 803.15 그룹에서는 D2D 기술을 PAC (Peer Aware Communication)라는 이름으로 관련 표준이 진행되고 있다.

LTE (Long Term Evolution)-Advanced와 같은 셀룰러 네트워크와 공존하는 D2D 통신에서, D2D 링크 전용 주파수가 정의되어 있지 않다면 DUE (D2D User Equipment)는 CUE (Cellular UE)가 사용하는 상향링크 (Uplink) 혹은 하향링크 (Downlink)의 주파수를 재사용하여 통신을 진행한다. 한편, D2D 통신만을 위한 자원이 정의되어 셀룰러 링크와 D2D 링크가 직교하게 자원을 할당받게 된다면 셀룰러 링크와 D2D 링크 간에 발생하는 간섭은 회피할 수 있지만 제한적인 자원 사용으로 인해 지원 가능한 셀룰러 링크 및 D2D 링크의 트래픽 양이 한정적인 단점이 있다. 반면, D2D 링크가 셀룰러 링크의 주파수를 재사용하게 된다면 자원을 효율적으로 사용할 수 있는 장점이 있지만 셀룰러 링크와 D2D 링크 간에 불가피한 간섭이 발생하게 된다. 이 때 발생하는 간섭 현상은 상황에 따라 다르며 표 1에서 구체적으로 나타냈다.

최근 이러한 자원을 공유하는 셀룰러 링크와 D2D 링크 사이의 간섭을 완화하기 위한 전력제어 기법^[3-5]과 간섭을 회피하기 위한 자원할당 기법^[7,8]이 활발히 연구되어 왔다. 선행 적으로 상향링크 단계와 하향링크 단계를 모두 고려한 상황에서 전력제어 기법을 제안하고 분석한 결과, D2D 링크가 eNB와 멀리 떨어져

표 1. 단말간 직접 통신으로 인한 간섭 시나리오
Table 1. Interference scenarios for D2D communication

Communication phase	Interference scenario
Uplink	CUE → DUE Rx
	DUE Tx → eNB
	DUE Tx → DUE Rx
Downlink	DUE Tx → CUE
	eNB → DUE Rx
	DUE Tx → DUE Rx

DUE Tx: D2D User Equipment Transmitter
DUE Rx: D2D User Equipment Receiver
eNB: evolved Node B
CUE: Cellular User Equipment

있는 상황에서는 상향링크 자원을 공유하는 것이 성능이 우수하고, 반면 D2D 링크가 eNB와 가까이 있는 상황에서는 하향링크 자원을 공유하는 것이 성능이 우수하다는 것을 검증하였다^[3]. 기존의 전력제어 기법은 일반적으로 우선 셀룰러 링크와 D2D 링크가 상향링크단계 혹은 하향 링크단계에서 자원을 공유한다는 가정을 한 후 연구를 진행하였는데^[3-5] 하향 링크단계에서는 DUE Tx가 CUE에게 주는 간섭을 완화하기 위하여 eNB가 DUE Tx의 최대 송신전력을 제어하는 기법을 제안하고^[4] 상향링크 단계에서는 D2D 통신의 성능을 보장해주기 위해서 CUE의 전송 전력을 감소해주는 전력제어 기법을 제안하였다^[3,5]. 이 외에, D2D 통신을 위하여 상향 링크단계와 하향 링크단계 중 어느 단계에서 셀룰러 링크와 자원을 공유할 것인지에 관한 논의가 활발히 진행 되어 왔다.

3GPP에서는 다음과 같은 원인으로 셀룰러 링크와 D2D 링크가 상향 링크 자원을 공유하는 것을 선호한다^[9]. 첫째, 셀룰러 네트워크에서 상향 링크 자원은 하향 링크 자원보다 적게 이용되고 종종 이용되지 않는 경우가 많으므로 상향 링크 자원을 이용하여 D2D 통신을 하면 자원 이용 효율성을 향상시킬 수 있다. 둘째, 하향 링크 단계에서는 제어신호, 파일럿 및 동기신호와 같은 복잡한 전송이 주기적으로 항상 존재한다. 셋째, 하향 링크단계에서 eNB가 D2D Rx에게 주는 간섭보다 상향 링크단계에서 CUE가 D2D Rx에게 주는 간섭을 제어 및 최소화 할 수 있는 가능성이 더 크다. 마지막으로 FDD LTE에서 상향 링크 자원을 재사용하려면 상향 링크단계에서 수신할 수 있는 단말이 요구되고 하향 링크 자원을 재사용하려면 하향 링크단계에서 수신할 수 있는 단말이 요구되는데 하드웨어 설계의 관점에서 보면 후자가 더 엄격한 송신

RF (Radio frequency)가 요구되므로 구조가 더 복잡하다. 따라서 본 논문에서는 LTE-Advanced 시스템에서 상향 링크 자원을 공유하는 시나리오를 고려한다.

상향링크 단계를 고려한 기존의 연구에서는 D2D 통신의 성능을 보장해 주기 위해서 DUE Rx의 SINR (Signal-to-Noise Ratio)값에 기반 하여 CUE의 전송 전력을 감소해주는 전력제어 기법을 제안하였는데^{3,5)} 이렇게 되면 셀룰러 통신 성능이 약화되면서 전체 시스템 성능이 획기적으로 향상되지 못한다. 더 나아가, 셀룰러 통신의 성능을 유지하기 위하여 CUE의 전송 전력을 감소하지 않으면서 D2D 통신의 성능을 보장해 줄 수 있는 거리기반 자원할당 기법^{7,8)}이 제안되었다. 여기서 거리기반 자원할당이란 우선 eNB가 단말들의 위치정보를 정확히 알고 있다고 가정 한 후, eNB가 자원을 공유하는 CUE와 D2D Rx 사이 거리 L_C 를 계산한다. 다음 eNB는 사전에 D2D Rx가 자원을 공유하는 CUE의 간섭을 받지 않는 D2D Rx와 CUE사이의 최소거리 L_{min} 을 설정한다. 마지막으로 D2D 링크가 eNB에게 자원을 요청할 때 eNB는 $L_C \geq L_{min}$ 을 만족하는 CUE를 선택하여 동일한 자원을 사용하도록 D2D 링크에게 자원을 할당하는 것이다. 기존에 연구된 거리 기반 자원할당 기법 중 DRC (Distance-constrained resource-sharing criteria) 기법을 제안한 저자들은 반경이 $R = 500m$ 인 마이크로 셀 내에서 D2D 링크의 Outage 확률을 분석한 결과 자원을 공유하는 CUE와 DUE Rx사이에서 서로에게 간섭을 주지 않는 최소거리 $L_{min} = 1.5R$ 이 존재한다는 것을 검증하고 $L_{min} = 1.5R$ 를 이용한 거리기반 자원할당 기법을 제안하였다⁷⁾. 또한, 모의실험 결과 분석을 통해 DRC 기법을 사용한 경우는 랜덤하게 자원 할당한 경우 보다 D2D 통신의 성능이 훨씬 안정적이라는 것을 증명하였다. 여기에 추가적으로 하향 링크 단계에서는 eNB가 DUE Tx의 최대 송신전력을 제어 하는 기법으로 CUE가 받은 간섭을 완화시키고, 상향 링크단계에서는 DRC 기법으로 DUE Rx가 받는 간섭을 회피시키는 전력제어 및 자원할당 결합기법도 제안되었다⁸⁾.

지금까지 소개한 기법들은 주로 하나의 CUE와 하나의 D2D 링크가 자원을 공유하는 시나리오를 고려하였다. 하지만 D2D 통신은 근접한 거리에 있는 단말들끼리 통신을 하므로 DRC 기법처럼 D2D 링크가 CUE의 간섭을 받지 않는 영역에 있다면 아주 작은 전력으로 통신을 하여도 목표 SINR 값에 도달할 수 있다. 이런 경우 근접한 영역에 있으면서 일정하게 거

리를 둔 다른 D2D 링크가 동일한 자원을 재사용하여도 발생하는 간섭의 크기가 미소하므로 하나의 D2D 링크만 고려하는 것은 자원을 충분히 효율적으로 사용할 수 없다고 판단된다. 이 외에, 기존에 제기된 거리기반 자원 할당 기법은 아래와 같은 주요 문제점들이 존재한다. 첫째, 단말은 GPS 신호로부터 자신의 위치를 알고 eNB에게 위치정보를 보고한다. 여기서 GPS 신호는 실외 환경을 위해서는 적합한 위치 측위 성능을 보이나, 신호의 감쇠 및 분산으로 인해 실내에서 사용하는 것은 적합하지 않으며 계산이 복잡하고 날씨 등과 같은 외부 요소의 변화에 따라 신호가 불안정 하다. 둘째, D2D 링크에게 간섭을 주지 않는 CUE를 선택하기 위하여 eNB는 $L_C \geq L_{min}$ 라는 조건을 만족하는 CUE를 찾을 때 까지 반복적인 계산을 진행해야 하므로 eNB의 부담이 커진다.

위에서 제기한 문제점들을 해결하기위하여 본 논문에서는 기존의 하나의 셀룰러 링크와 하나의 D2D 링크가 동일한 자원을 공유하는 시나리오 대신 하나의 셀룰러 링크와 다수의 D2D 링크가 자원을 공유하는 시나리오를 고려하였다. 이때, 발생하는 간섭문제를 해결하기 위하여 eNB에게 영역 정보를 알릴 수 있는 DME (Discovery and Management Entity)라는 보조 장치를 고정위치에 설치한 다음, 동일한 자원을 공유하는 CUE가 DUE Rx에게 주는 간섭을 회피하기 위하여 eNB가 DME(ID), ($ID \in [1,12]$)의 ID정보를 기반으로 최적의 영역 자원할당 리스트를 생성한 후, 자원을 공유하는 CUE와 DUE Rx사이의 거리를 계산하지 않고도 최적의 자원을 할당해 줄 수 있는 영역 정보기반 자원할당기법을 제안하였다. 더 나아가, 앞에서 제기한 영역 정보를 기반으로 자원을 할당한 다음, CUE의 간섭을 받지 않는 영역에서 다수의 D2D 링크들이 동일한 자원을 공유할 때, 단말은 자신이 받은 탐색 신호를 보낸 DME(ID)와의 거리를 기반으로 SNR값을 계산한 후, SNR값을 eNB에게 보고하고 eNB는 SNR값을 기반으로 전력제어를 해주는 기법을 제안하였다. 또한, 모의실험을 통하여 제안한 기법의 성능이 우수하다는 것을 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 두개의 시스템 모델에 대한 설명부분으로서 하나는 D2D 링크의 Outage 확률의 분석을 통하여 최소거리 L_{min} 을 검증하고, 이것을 기반으로 DME의 설치 위치와 적합한 탐색영역 반경을 계산하는데 사용되는 시스템 모델 I 이고 다른 하나는 DME를 설치 후 다수의 D2D 링크가 DME의 관리 하에서 동일한 자원을 공유하는 시나

리오는 고려한 시스템 모델Ⅱ이다. 3장에서는 제안하는 영역 정보기반 자원할당 기법과 전력제어 기법을 설명하고, 4장에서는 모의실험 결과를 통해 제안된 기법의 우수성을 보이며, 5장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 시스템 모델

2.1 시스템 모델 Ⅰ

본 논문에서는 DME의 설치 위치와 탐색 반경을 분석하기 위하여 그림 1과 같이 셀 반경이 $R=500m$ 인 마이크로 셀 내에 하나의 CUE와 하나의 D2D 링크가 LTE-Advanced 시스템에서 상향링크 자원을 공유하는 시나리오를 고려한다.

여기서 동일한 자원을 사용하는 DUE Rx, DUE Tx 및 CUE는 서술의 편리를 위해 각각 UE1, UE2, UE3으로 나타내고 UE1과 UE3은 각각 $(r_D, 0)$ 과 (r_C, θ) 에 위치하여 있다. 여기서 r_D, r_C, θ 는 각각 eNB와 UE1사이 거리, eNB와 UE3사이 거리 및 r_D 와 r_C 사이 각도를 나타내고 범위를 각각 $r_D \in (0, R]$, $r_C \in (0, R]$, $\theta \in [0, 2\pi)$ 로 설정한다. L_D 는 D2D 링크사이 거리 이고 L_C 는 UE1과 UE3사이의 거리이며 아래 수식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$L_C = \sqrt{r_C^2 + r_D^2 - 2r_C r_D \cos \theta} \quad (1)$$

그림 1에서 살펴보면, UE1은 UE2으로부터 오는 전송신호 x_D 와 UE3으로부터 오는 간섭신호 x_C 를 받게 된다. 이때, UE1의 수신 신호는 아래 수식 (2)과

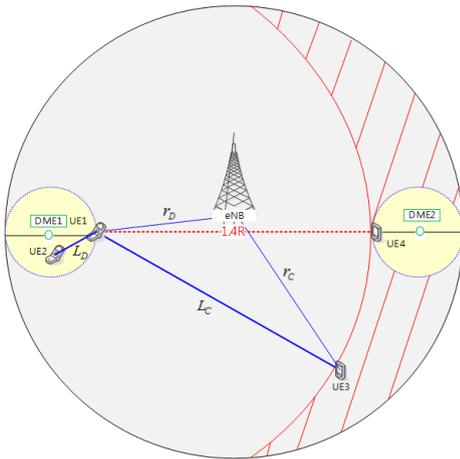


그림 1. D2D 통신 시스템 모델
Fig. 1. System model of D2D communication

같이 표현할 수 있다.

$$y = h_{21} \sqrt{P_D L_D^{-\alpha}} x_D + h_{31} \sqrt{P_C L_C^{-\alpha}} x_C + n_0 \quad (2)$$

여기서 P_D, P_C 는 각각 UE2, UE3의 전송 파워이고 h_{21}, h_{31} 은 각각 UE1과 UE2사이의 채널 계수 및 UE1과 UE3사이의 채널 계수이며 n_0 과 α 는 각각 열잡음과 경로손실 지수를 의미한다. 이때, UE1의 SINR (Signal-to-Interference and Noise ratio)값은 아래 수식 (3)으로 표현 할 수 있다.

$$\gamma_D = \frac{|h_{21}|^2 P_D L_D^{-\alpha}}{|h_{31}|^2 P_C L_C^{-\alpha} + N_0} \quad (3)$$

아래에서는 서술의 편리를 위하여 $\eta = P_D L_D^{-\alpha}$ 와 $\rho = P_C L_C^{-\alpha}$ 로 표현하고 따라서, 수식 (3)은 수식 (4)와 같이 표현 할 수 있다.

$$\gamma_D = \frac{|h_{21}|^2 \eta}{|h_{31}|^2 \rho + N_0} \quad (4)$$

2.1.1 Outage 확률 계산

앞서 언급되었듯이 자원을 공유하는 셀룰러 단말과 DUE Rx사이의 서로에게 간섭을 주지 않는 최소거리를 계산하기 위하여 UE1에서의 Outage 확률 분석이 필요하다. 따라서 본 절에서는 UE1이 UE3으로부터 받는 SINR값에 따른 UE1에서의 Outage 확률의 유도 과정을 소개 한다.

UE1에서의 Outage 확률이란 UE1의 순간 SINR 값 γ_D 가 γ_0 보다 작아서 통신이 중단되는 확률을 의미하고 여기서 γ_0 은 D2D 링크의 통신을 보장해줄 수 있는 최소 SINR 목표값을 나타낸다. 이때, eNB가 UE3을 선택하여 UE1과 자원을 공유하도록 자원 할당 할 경우 UE1에서의 Outage 확률은 아래 수식 (5)와 같이 표현 할 수 있다.

$$P_r = [\gamma_D < \gamma_0 | r_C, \theta] = \int_0^{\gamma_0} f_\gamma(\gamma_D) d\gamma_D = F_\gamma(\gamma_0) \quad (5)$$

여기서 $f_\gamma(\cdot)$ 과 $F_\gamma(\cdot)$ 은 각각 γ_D 의 확률 밀도 함수 (Probability Density Function; PDF)와 확률 누적 분포 함수 (Cumulative distribution function; CDF)이고 수식 (5)는 수식 (4)와 Lemma1 [10]에 의

하여 아래 수식 (6)과 같이 표현 할 수 있다.

$$P_r[\gamma_D < \gamma_0 | r_C, \theta] \cong 1 - \frac{\eta - N_0\gamma_0}{\eta + \gamma_0\rho} = F_\gamma(\gamma_0) \quad (6)$$

여기서 UE3은 랜덤하게 분포한 셀룰러 단말이므로 $r_C \in (0, R]$ 을 만족하는 임의의 값을 취할 수 있다. 또한 UE1과 자원을 공유하는 UE3은 $L_C \geq L_{\min}$ 를 만족해야 하므로 $\cos\theta \in [-1, \mu]$ 를 만족해야하고 μ 의 값은 수식 (7)과 같다. 이때, UE3의 모든 가능한 값은 수식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$\cos\theta \leq \frac{L_{\min}^2 - r_C^2 - r_D^2}{2r_C r_D} = \mu \quad (7)$$

$$\lambda = \int_{r_C} \int_{\theta} r_C dr_C d\theta \quad (8)$$

따라서, UE1에서의 평균 Outage 확률은 수식 (9)와 같으며, 수식 (6)을 수식 (9)에 대입하여 UE1에서의 평균 Outage 확률 식을 최종적으로 수식 (10)과 같이 얻을 수 있다.

$$P_{out} = \int_{r_C} \int_{\theta} F_\gamma(\gamma_0) \frac{r_C}{\pi R^2} dr_C d\theta \quad (9)$$

$$P_{out} = \int_{r_C} \int_{\theta} \left[\frac{(\rho + N_0)\gamma_0}{\eta + \rho\gamma_0} \right] \frac{r_C}{\pi R^2} dr_C d\theta \quad (10)$$

2.1.2 DME 설치 위치 및 탐색 반경 계산

본 논문에서는 UE1에서의 평균 Outage 확률 식을 기반으로 모의실험을 수행한 결과 그림 2와 같이 $L_{\min} = 1.4R$ 인 점에서 UE1에서의 평균 Outage 확률이 수렴한다는 것을 볼 수 있다. 모의실험에서 사용한 파라미터는 표 3에서 설명하였다.

여기서 다시 그림 1을 살펴보면, 파란색 점이 DME의 설치 위치라고 가정하고, 노란색 원이 해당 DME의 탐색 영역이라고 가정한다. 이때 DME1의 탐색 영역 내에 있는 단말들 중에서 DME2의 탐색 영역 내의 CUE로부터 오는 간섭을 제일 크게 받는 DUE Rx의 위치는 UE1의 위치에 해당되고 UE1에게 간섭을 주지 않은 CUE는 UE1과 최소 $1.4R$ 만큼 떨어져 있어야 하므로 빨간색으로 빛선 친 음영의 임의의 위치에 해당된다. 즉 빨간색 빛선 친 음영이 존재해야 만이 선택 가능한 CUE가 존재하므로 DME의 탐색 반경 x

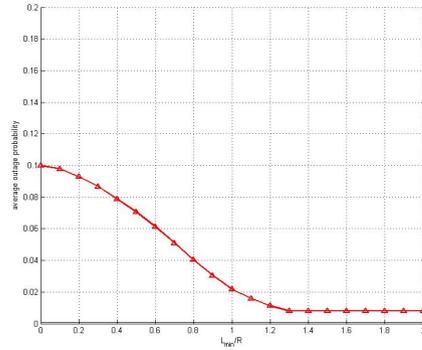


그림 2. 최소거리 L_{\min} 분석 모의실험 결과
Fig. 2. Simulation result of L_{\min}

는 아래 수식 (11)을 만족하여야 한다.

$$2R - (2x + 1.4R) \geq 2x \quad (11)$$

수식 (11)로부터 DME의 탐색반경은 $x \in (0, 100]$ 를 만족해야 한다는 것을 알 수 있다. 한편, 본 논문에서 DME는 탐색반경이 작을수록 간섭을 회피할 수 있는 정확도가 높지만 반면, 설치해야 하는 DME의 수가 늘어나면서 비용이 많이 들게 되고, eNB의 부담도 늘어나므로 최대 반경 $x = 100m$ 를 취하여 그림 3과 같이 eNB와 $400m$ 떨어진 위치에 설치하였다.

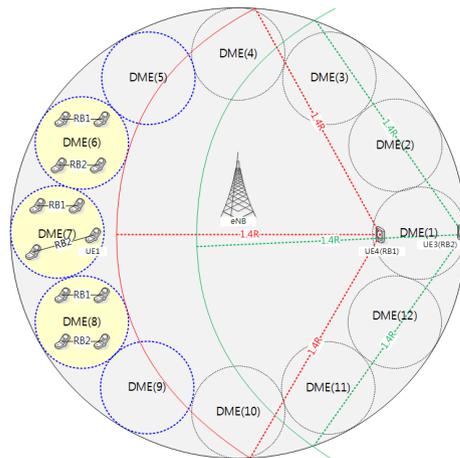


그림 3. D2D 통신 시스템 모델
Fig. 3. System model of D2D communication

2.2 시스템 모델 II

본 논문에서는 LTE-Advanced 상향링크에서 제한된 자원을 보다 효율적으로 사용하기 위하여 기존의 하나의 셀룰러 링크와 하나의 D2D 링크가 동일한 자

원을 공유하는 시나리오 대신 하나의 셀룰러 링크와 다수의 D2D 링크가 자원을 공유하는 시나리오를 고려하였다. 이때, 발생하는 간섭현상을 해결하기 위하여 본 논문에서는 eNB (evolved Node B)에게 영역 정보를 알릴 수 있는 DME (Discovery and Management Entity)라는 보조 장치를 고정위치에 설치하여 단말에게 효율적으로 자원을 할당해주고 전력 제어를 해주는 기법을 제안한다. 따라서 그림 3과 같이 DME를 eNB와 400m 떨어진 고정된 위치에 탐색 반경이 $x = 100m$ 되도록 12개를 설치하고 각 DME는 자신의 ID를 갖고 있으며 DME(ID), ($ID \in [1,12]$)로 표현한다. 여기서 점선으로 이루어진 작은 원은 각 DME의 탐색 영역을 표시하고, 원내의 단말들은 각 DME의 탐색영역 내에 위치하여 있음을 의미한다.

위에서 이미 모의실험을 통해 DME(1)의 탐색 영역 내에 위치한 UE3, UE4와 동일한 자원을 공유하면서 간섭을 받지 않는 D2D 링크는 각각 DME(ID), ($ID \in [5,6,7,8,9]$)의 탐색 영역과 DME(ID), ($ID \in [6,7,8]$)의 탐색 영역 내에 위치한 단말들임을 증명하였다. 여기서 물론 자원을 공유할 수 있는 영역이 많을수록 주파수 재사용 관점에서는 이득이 크겠지만, 단말 위치의 정확도에 대한 요구가 높을수록 DME의 구조가 복잡해지므로 DME(1)의 탐색 영역 내에 위치한 모든 셀룰러 단말과 자원을 공유하면서 간섭을 받지 않는 D2D 링크는 DME(ID), ($ID \in [6,7,8]$)의 탐색 영역 내에 있는 시나리오를 고려한다. 따라서 본 논문에서 eNB는 표 2의 알고리즘과 같이 DME의 ID를 기반으로 최적 영역 자원할당 리스트를 생성한 후, 영역 정보기반으로 자원할당을 해주는 기법을 제안하며 3장에서 DME(ID)의 영역 정보를 기반으로 자원할당을 해주는 절차에 관하여 구체적으로 설명한다. 표 2의 알고

리즘에서 등호는 자원을 공유함을 의미한다.

III. 제안기법 설명

본 논문에서는 LTE-Advanced 상향링크에서 하나의 셀룰러 링크와 다수의 D2D 링크가 동일한 자원을 공유하는 시나리오를 고려하면서 이때 발생하는 간섭 문제를 해결하기 위하여 아래와 같이 두 가지 기법을 제안하였다.

우선, 자원을 공유하는 CUE가 DUE Rx에게 주는 간섭을 회피하기 위하여 eNB가 DME(ID), ($ID \in [1,12]$)의 ID정보를 기반으로 표 2와 같이 최적의 영역 자원할당 리스트를 생성한 후, 자원을 공유하는 CUE와 DUE Rx사이의 거리를 계산하지 않고도 최적의 자원을 할당해줄 수 있는 영역 정보기반 자원할당 기법을 제안하였다.

다음, 위에서 제기한 영역 정보기반 자원할당 기법으로 그림 3과 같이 DME(1)의 탐색 영역 내에 위치한 UE3, UE4의 자원을 DME(ID), ($ID \in [6,7,8]$)의 탐색 영역 내에 위치한 D2D 링크들에게 할당할 경우 DME(ID), ($ID \in [6,7,8]$)의 탐색 영역 내에 위치한 D2D 링크들은 자원을 공유하는 CUE의 간섭을 받지 않는다고 볼 수 있다. 이때, 인접한 영역에서 동일한 자원을 공유하는 DUE Tx가 DUE Rx에게 주는 간섭도 완화시켜주기 위하여 단말은 자신이 받은 탐색 신호를 보낸 DME(ID)와의 거리를 기반으로 SNR값을 계산한 후, SNR값을 eNB에게 보고하고 eNB는 SNR값을 기반으로 전력제어를 해주는 기법을 제안하였다.

3.1 영역 정보기반 자원할당 기법

3GPP에서는 이미 2010년 7월 Release 9부터 LTE 시스템에 LPP (LTE Positioning Protocol)기술을 적용하여 eNB가 단말의 위치를 알고 자원을 할당해준다고 정의하였으며 단말의 위치 정보 전송 과정은 다음과 같다^[11].

1) eNB는 필요한 단말의 위치정보를 요청하기 위하여 RLI (Request Location Information) 메시지를 전송한다.

2) 단말은 위치정보를 PLI (Provide Location Information) 메시지를 통하여 eNB에게 전송한다. 이때 단말이 전송한정보가 eNB가 요청한 단말의 정보와 일치하지 않을 경우를 대비하여 통신 중단 메시지도 같이 전송한다.

3) 1단계에서 요청한 정보와 단말이 제공한 정보가 일치할 경우 eNB는 단말이 보내온 위치정보를 위치

표 2. 자원할당 리스트

Table 2. List of resource allocation

1:	for $i = 1 : 12$
2:	if ($i \leq 1 \ \&\& \ i > 6$)
3:	DME(i) = DME($i + 5$), DME($i + 6$), DME($i + 7$)
4:	elseif ($i = 6$)
5:	DME(i) = DME($i + 5$), DME($i + 6$), DME($i - 5$)
4:	elseif ($i = 7$)
7:	DME(i) = DME($i + 5$), DME($i - 6$), DME($i - 5$)
8:	elseif ($i > 7 \ \&\& \ i \leq 12$)
9:	DME(i) = DME($i + 5$), DME($i - 6$), DME($i - 5$)
10:	end
11:	end

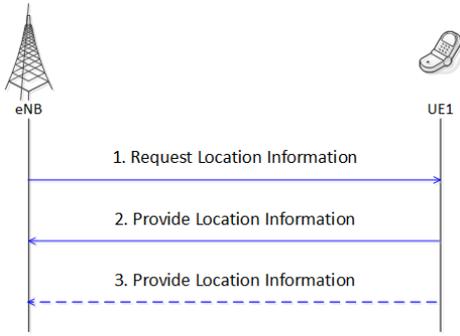


그림 4. 3GPP에서 정의한 단말의 위치 정보 전송 과정
Fig. 4. LPP Location Information Transfer Procedure in 3GPP

정보 집합에 추가한다.

앞서 기술한 3GPP에서 정의한 단말의 위치 정보 전송 과정의 동작 절차는 그림 4와 같다.

본 논문에서 제안하는 DME(ID)의 영역 정보기반 자원할당 과정은 다음과 같다.

1) 단말 탐색 및 정보 요청 단계: DME(ID) ($ID \in [1,12]$)는 반경 $x = 100m$ 내에 있는 단말들을 탐색하기 위하여 제한된 전력 P_1 로 신호를 전송하면서 자신의 ID정보를 단말들에게 알리고 동시에 SNR 값과 셀룰러 통신을 하고 있는 상대 단말 정보를 요청한다.

2) 정보 피드백 단계: DME(ID) ($ID \in [1,12]$)의 탐색 신호를 받은 단말들은 P_1 에 의한 SNR값을 계산한 다음 SNR값과 셀룰러 통신을 하고 있는 상대 단말 정보를 DME(ID) ($ID \in [1,12]$)에게 피드백 해준다.

3) D2D 통신 모드 결정 단계: DME(ID) ($ID \in [1,12]$)는 피드백 받은 정보로부터 셀룰러 통신을 수행하는 두 CUE가 모두 자신의 탐색 영역 내에 있음을 인지할 경우, 두 단말 중 피드백한 SNR값이 작은 단말들에게 D2D 통신명령 신호를 보낸다.

4) D2D 통신 모드 요청 단계: 명령 신호를 받은 DUE는 그림 4의 2번째 단계에서 PLI 메시지를 보낼 때 메시지에 해당 메시지 보디 (Message body)에 DME의 ID정보를 추가하여 보낸다.

5) 영역 정보기반 자원 할당 단계: eNB는 D2D 통신 모드 요청을 받은 후 수식 표 2로부터 얻은 자원할당 리스트를 기반으로 D2D 링크에게 자원할당을 한다.

앞서 기술한 영역 정보기반 자원할당 과정의 동작 절차는 그림 5와 같다.

3.2 SNR기반 전력 제어 기법

본 논문에서는 제한된 자원을 효율적으로 사용하기 위하여 동일한 DME에 있는 D2D 링크들은 자원을 공유하지 않지만 인접한 DME에 있는 D2D 링크들은 동일한 자원을 공유하는 시나리오를 고려하고 이때 발생하는 간섭문제를 전력제어 기법을 통하여 완화시켜준다.

여기서 ITU-R Micro Urban 채널 모델을 사용하여 전력제어 기법을 분석하였다^[14]. 이 모델에서 사용되는 경로 손실 파라미터는 표 3과 같다.

여기서 d 와 f_c 는 각각 단말사이 거리와 반송파 주파수를 나타낸다. 한편, 평균 경로 손실은 LoS (Line of Sight) 및 NLoS (Non-Line of Sight)를 모두 감안하여 수식 (12)와 같이 표현할 수 있다.

$$PL = \beta \cdot PL_{LOS} + (1 - \beta) \cdot PL_{NLOS} \quad (12)$$

여기서 β 는 LoS의 확률을 나타내며 수식 (13), (14)를 이용해서 얻을 수 있다.

표 3. 채널 모델에서의 경로 손실 값과 섴도잉 값
Table 3. Path loss and shadowing values in the channel models

Scenario		Path loss (dB)
Indoor hotspot	LoS	$PL = 16.9\log_{10}(d) + 32.8 + 20\log_{10}(f_c)$
	NLoS	$PL = 43.3\log_{10}(d) + 11.5 + 20\log_{10}(f_c)$
Urban micro	LoS	$PL = 20.0\log_{10}(d) + 28.0 + 20\log_{10}(f_c)$
	NLoS	$PL = 36.7\log_{10}(d) + 22.7 + 26\log_{10}(f_c)$

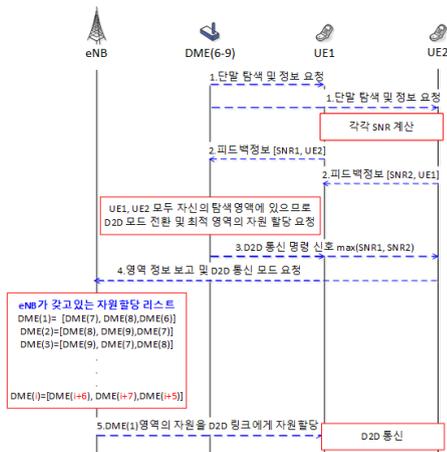


그림 5. 영역 정보기반 자원할당 과정
Fig. 5. Resource allocation scheme based on user area information procedure

$$\beta_{CUE} = \min(18/d, 1) \cdot (1 - \exp(-d/36)) + \exp(-d/36) \quad (13)$$

$$\beta_{DUE} = \begin{cases} 1, & d \leq 4 \\ \exp(-(d-4)/3), & 4 < d < 37 \\ 0, & d \geq 37 \end{cases} \quad (14)$$

LTE-Advanced 상향링크 폐쇄 루프 전력 제어 기법에 의한 송신 전력은 식 (15)와 같이 계산되며, 수식 (15)에서 사용한 파라미터들에 대해 표 6에서 자세히 설명한다^[12,13].

$$P = \min\{P_{\max}, P_0 + 10\log(M) + \alpha PL + \Delta\} \quad (15)$$

본 논문에서 제안하는 전력제어 기법을 설명하기 위하여 우선 그림 6을 살펴보면, RB1을 사용하는 DUE Rx1이 RB2를 사용하는 DUE Rx2 보다 인접한 DME의 영역에 있는 DUE Tx3으로부터 오는 간섭을 더 크게 받는다는 것을 알 수 있다. 즉 자신에게 탐색 신호를 보낸 DME와 멀리 떨어져 있을수록 간섭을 크게 받으므로 전송전력을 크게 보내야 D2D 통신을 보장해줄 수 있다. 이때, DUE Tx의 전송전력과 DUE Rx에서의 Outage 확률의 관계를 분석하기 위하여 DUE Rx가 DME와 각각 $r_i \in [10, 100]m$ 떨어진 경우를 모의실험한 결과 DUE Rx에서의 Outage 확률이 그림 7과 같이 수렴한다는 것을 볼 수 있고 이것을 표 4와 같이 정리하였다.

따라서 본 논문에서 제안하는 전력 제어 기법은 고정된 P_0 대신 $P_0^1 \approx \omega P_{DME}$ 로 다시 정의한다. 이 때 ω 는 단말이 DME와 떨어진 거리 r_i 에 의하여 결정되고

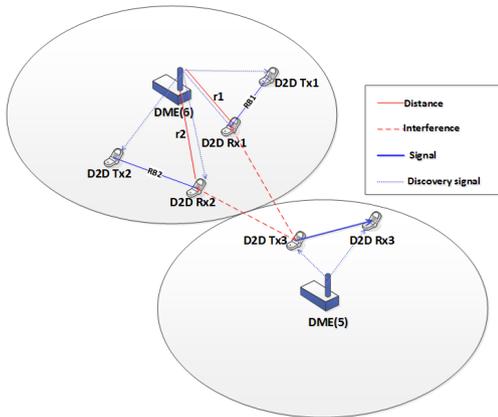


그림 6. 자원 공유에 따른 DUE들 사이 간섭 시나리오
Fig. 6. Interference scenarios due to resource sharing between DUEs

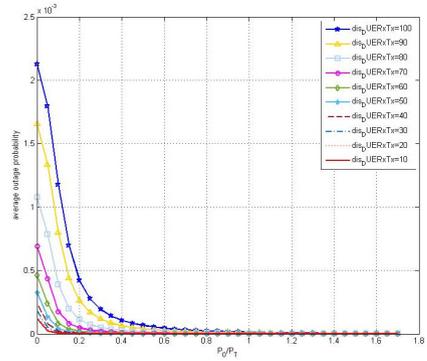


그림 7. Outage 확률 성능
Fig. 7. Outage probability performance

표 4. ω 의 값
Table 4. The value of ω

D	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ω	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0

r_i 와 SNR의 관계는 수식 (16)과 같이 표현할 수 있다. 여기서 P_{DME} 는 DME의 탐색 전송 전력이며 채널 환경에 따라 정해진 상수이다.

$$SNR = \frac{P_{DME} \cdot r_i^{-\alpha}}{N_0} \quad (16)$$

표 5. 자원할당 리스트
Table 5. List of resource allocation

```

1: Inputs:  $P_{DME}$ , SNR
2: Calculate  $r_i$  using (16)
3: for  $r_i = 10 : 10 : 100$ 
4:   if ( $r_i \geq 10$  &&  $r_i < 20$ )
5:      $\omega = 0.1$ 
6:   elseif ( $r_i \geq 20$  &&  $r_i < 30$ )
7:      $\omega = 0.2$ 
8:   elseif ( $r_i \geq 30$  &&  $r_i < 40$ )
9:      $\omega = 0.3$ 
10:  elseif ( $r_i \geq 40$  &&  $r_i < 50$ )
11:     $\omega = 0.4$ 
12:  elseif ( $r_i \geq 50$  &&  $r_i < 60$ )
13:     $\omega = 0.5$ 
14:  elseif ( $r_i \geq 60$  &&  $r_i < 70$ )
15:     $\omega = 0.6$ 
16:  elseif ( $r_i \geq 70$  &&  $r_i < 80$ )
17:     $\omega = 0.7$ 
18:  elseif ( $r_i \geq 80$  &&  $r_i < 90$ )
19:     $\omega = 0.8$ 
20:  elseif ( $r_i \geq 90$  &&  $r_i < 100$ )
21:     $\omega = 0.9$ 
22:  elseif ( $r_i = 10$ )
23:     $\omega = 1.0$ 
24:  end
25: end
26:  $P_0^1 = \omega P_{DME}$ 
    
```

IV. 모의실험 결과

본 논문에서는 시스템 모델Ⅱ의 시나리오를 고려하여 그림 8과 같이 반경 $R=500m$ 인 마이크로 셀에서 기지국과 $400m$ 떨어진 곳에 탐색반경이 $x=100m$ 인 DME를 고정적으로 설치하고 DME(ID), ($ID \in [1,12]$)의 영역정보를 기반으로 CUE를 선택하여 D2D 링크에게 자원을 할당하는 기법을 제안하였다. 더 나아가, 단말은 DME가 보낸 탐색신호의 전력으로부터 SNR값을 계산하고, eNB는 단말이 보낸 SNR값을 기반으로 전력제어를 해주면서 동일한 자원을 사용하는 D2D 링크간의 간섭을 완화시키는 기법을 제안하였다.

이번 장에서는 제안된 기법의 성능분석을 위해 LTE-Advanced 상향링크환경에서 모의실험을 수행하

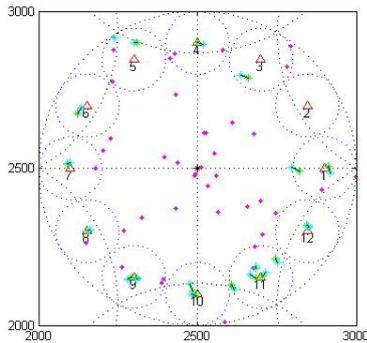


그림 8. 모의실험 셀 구조의 예
Fig. 8. An example of simulation cell structure

표 6. 모의실험 파라미터
Table 6. Simulation parameter

Parameters	Values
R :Inter-Site Distance	500 m
User location	Uniform distribution
Numver of RB's	10, 20, 30, 40, 50
Maximum D2D distance	25m
γ_0 :SINR target for DUE Rx	$\gamma_0=0dB$
P_{max} :Maximum UE transmit power	23dBm
P_0 :UE specific parameter	-78dBm
M :Number of assigned resource blocks	1
α :Cell-specific path loss compensation factor	$0 < \alpha < 1$
PL :Path loss between D2D transmitter and receiver	Real value
Δ :Tuning step	1dB

였고 사용한 주요 파라미터를 표 6에서 요약하였다.

본 논문에서는 제안된 기법의 우수한 성능을 보이기 위하여 아래 두 가지 자원할당 기법과 비교하여 분석하였다.

1) 랜덤 자원 할당 기법: 자원을 공유하는 CUE와 DUE Rx사이의 거리를 고려하지 않고 무작위로 자원을 할당하는 기법이다.

2) DRC 자원 할당 기법: 자원을 공유하는 CUE와 DUE Rx사이의 거리를 계산하여 $L_C \geq L_{min}$ 을 만족하는 CUE를 찾아서 DUE 링크에게 자원을 할당하는 기법이다. 여기서 $L_{min} = 1.4R$ 이다.

그림 9는 DUE Tx의 전송전력이 증가할 때 DUE Rx에서의 평균 Outage 확률 성능을 나타낸다. 우선 랜덤하게 자원을 할당할 경우, D2D 링크가 CUE로부터 받는 간섭이 너무 강하므로 DUE Tx의 전송전력을 증가시켜도 Outage 확률이 완만하게 낮아짐을 볼 수 있다. 상대적으로 DRC 기법으로 자원을 할당할 경우, 이미 간섭을 거의 주지 않는 CUE를 선택하여 D2D 링크에게 자원을 할당하였으므로 제한된 기법과 거의 평행되는 추세로 Outage 확률이 낮아지고 있지만 제안된 기법은 영역정보를 기반으로 거의 대칭되는 위치에 놓인 CUE와 D2D 링크에게 동일한 자원을 할당해주므로 Outage 확률이 더 가파르게 낮아지고 있다는 것을 볼 수 있다. 또한 본 모의실험에서는 하나의 CUE와 3쌍의 D2D 링크가 자원을 공유하고 랜덤하게 자원을 할당할 경우와 DRC 기법으로 자원을 할당할 경우는 D2D 링크들 사이의 간섭을 해결해주지 않은 반면 본 논문에서는 전력제어 기법으로 D2D 링크들 사이의 간섭을 완화시켜주었으므로 전체 Outage 확률이 다른 두 가지 기법을 사용했을 경우보다 훨씬 낮다는 것을 확인 할 수 있다.

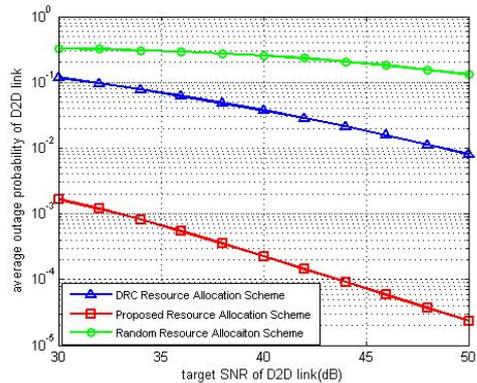


그림 9. Outage 확률 성능
Fig. 9. Outage probability performance

셀룰러 링크와 D2D 링크의 전체 시스템 용량은 그림 10과 같이 단말의 개수를 늘려가면서 성능을 비교하였고, 그 결과 제안된 기법은 단말의 개수가 늘어날수록 전체 시스템 성능이 다른 두 가지 기법보다 지속적으로 좋아지고 있음을 볼 수 있다. 특히 RB (Resource Block)가 10개 일 때 보다 RB (Resource Block)가 50개일 때 전체 시스템 성능이 획기적으로 향상되었음을 확인 할 수 있다.

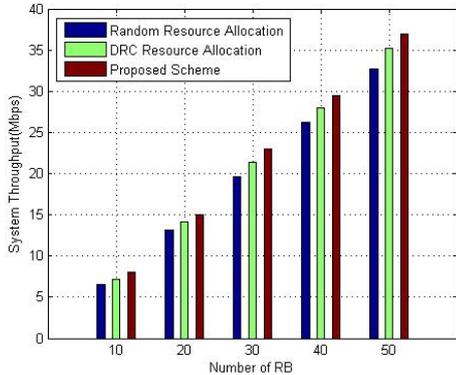


그림 10. 전체 시스템 용량
Fig. 10. System throughput for UE

V. 결 론

본 논문에서는 LTE-Advanced 상향링크에서 제한된 자원을 보다 효율적으로 사용하기 위하여 기존의 하나의 셀룰러 링크와 하나의 D2D 링크가 동일한 자원을 공유하는 시나리오 대신 하나의 셀룰러 링크와 다수의 D2D 링크가 자원을 공유하는 시나리오를 고려하였다. 이때, 두 가지 다른 종류의 간섭현상이 발생하게 되는데 하나는 동일한 자원을 공유하는 CUE가 DUE Rx에게 주는 간섭이고 다른 하나는 동일한 자원을 공유하는 DUE Tx가 DUE Rx에게 주는 간섭이다. 이와 같은 간섭현상을 해결하기 위하여 본 논문에서는 첫째, eNB가 DME(ID), (ID ∈ [1,12])의 ID 정보를 기반으로 최적의 영역 자원할당 리스트를 생성한 후, 자원을 공유하는 CUE와 DUE Rx사이의 거리를 계산하지 않고도 최적의 자원을 할당해줄 수 있는 영역 정보기반 자원할당기법을 제안하였다. 둘째, 앞에서 제기한 영역 정보를 기반으로 자원을 할당한 후, CUE의 간섭을 받지 않는 영역에서 다수의 D2D 링크들이 동일한 자원을 공유할 때, 단말은 자신이 받은 탐색 신호를 보낸 DME(ID)와의 거리를 기반으로 SNR값을 계산한 후, SNR값을 eNB에게 보고하고

eNB는 SNR값을 기반으로 전력제어를 해주는 기법을 제안하였다. 시스템 모델 I의 시나리오를 고려한 모의 실험을 통하여 DME의 타당성을 분석하였고 시스템 모델II의 시나리오를 고려한 모의실험을 통하여 본 논문에서 제안한 기법을 다른 기법들과 비교한 결과 D2D 통신의 안정성이 향상되었고 전체시스템 성능도 가장 우수하다는 것을 확인할 수 있다.

References

- [1] Cisco, *Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2013-2018*, Feb. 2014.
- [2] Y. Hwang (황유선), J. Shin (신재욱), P. Song (송평중), "3GPP D2D (Device-to-Device) technology standardization trend," *NIPA technology trend week (정보통신산업진흥원 주간기술동향)*, Nov. 2013.
- [3] C. Yu, O. Tirkkonen, K. Doppler, and C. Ribeiro, "On the performance of device-to-device underlay communication with simple power control," *IEEE VTC Spring*, pp. 1-5, Barcelona, Spain, Apr. 2009.
- [4] K. Doppler, M. P. Rinne, C. Wijting, C. B. Ribeiro, and K. Hugl, "Device-to-Device communication as an underlay to LTE-Advanced network," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 12, pp. 42-29, Dec. 2009.
- [5] C. Yu, O. Tirkkonen, K. Doppler, and C. Ribeiro, "Power optimization of device-to-device communication underlying cellular communication," *IEEE ICC*, Dresden, Germany, June 2009.
- [6] L. Qiang and J. Y. Xiang, "Adaptive resource allocation and grouping for device-to-device communication underlying cellular networks," *IEEE Commun. in China (CIC/ICCC)*, pp. 115-119, Xian, China, Aug. 2013.
- [7] H. Wang and X. Chu, "Distance-constrained resource-sharing criteria for device-to-device communication underlying cellular networks," *IET Electron. Lett.*, vol. 48, no. 9, pp. 528-530, Apr. 2012.
- [8] Q. Duong and O.-S. Shin, "Distance-based interference coordination for device-to-device

- communication in cellular network,” *IEEE ICUFN*, pp. 776-779, Danang, Vietnam, Jul. 2013.
- [9] X. Lin and J. G. Andrews, “An overview of 3GPP device-to-device proximity services,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 4, pp. 40-48, Apr. 2014.
- [10] H. Min, et al., “Reliability improvement using receive mode selection in the device-to-device uplink period underlying cellular networks,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 10, no. 2, pp. 413 - 418, Feb. 2011.
- [11] 3GPP TS 36.355 V9.2.1: *E-UTRA LTE positioning protocol* Jul. 2010.
- [12] H. Xing and S. Hakola, “The investigation of power control schemes for a device-to-device communication intergrated into OFDMA cellular system,” in *Proc. IEEE PIMRC 2010*, pp. 1775-1780, Istanbul, Turkey, Sept. 2010.
- [13] 3GPP TS 36.213, V8.2.0, *E-UTRA physical layer procedures*, Mar. 2012.
- [14] ITU-R report M.2135, *Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced*, 2008.

리 향 (Xiang Li)



2012년 6월: 연변과학기술대학
교 공학사
2013년 3월~현재: 숭실대학교
정보통신전자공학부 석사과
정
<관심분야> 무선통신 시스템,
단말간 직접통신

신 오 순 (Oh-Soon Shin)

한국통신학회논문지 Vol.38, No.10 참조

신 요 안 (Yoan Shin)

한국통신학회논문지 Vol.34, No.1 참조