

셀룰러 네트워크에서 간섭 인지 기반의 단말간 직접 통신 자원할당 방법

양 모 찬*, 신 오 순*, 신 요 안°

Resource Allocation Based on Interference Awareness for Device-to-Device Communication in Cellular Networks

Mochan Yang*, Oh-soon Shin*, Yoan Shin°

요 약

본 논문에서는 셀룰러 네트워크에서 단말간 직접 (D2D; Device-to-Device) 통신을 위한 간섭 인지 기반의 효율적인 자원할당 방법을 제시한다. 최근 들어, 기지국이 주 채널 정보뿐만 아니라 CUE (Cellular UE)와 DUE 사이의 간섭 채널 정보까지 알고 있는 상황에서 DUE (D2D User Equipment)에 자원을 할당하는 방법들이 많이 연구되었으나, 현실적으로 이러한 간섭 채널 정보를 획득하는 것은 어렵다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 논문에서는 기지국이 간섭 채널 정보를 전달 받지 않고 전송 전력과 거리 정보를 이용하여 CUE의 간섭을 인지하고 자원을 할당하는 방법을 제시한다. 모의실험 결과는 제안 방법의 효율성을 보여준다.

Key Words : Device-to-device, interference, transmission power, uplink, resource allocation

ABSTRACT

We propose an efficient resource allocation scheme based on interference awareness for D2D (Device-to-Device) communication in cellular

networks. Recently, many researchers have studied how to allocate frequency resources to DUE (D2D User Equipment) with full interference channel information. However, it is difficult to assume a scenario where instantaneous interference information between the CUE (Cellular UE) and DUE is known to the BS (Base Station). To tackle this problem, we proposed in this paper a new scheme in which the BS allocates a resource to CUE and DUE without a full channel information and can aware interference based on only transmit power and distance between UEs. Simulation results show effectiveness of the proposed scheme.

I. 서 론

LTE (Long Term Evolution)-Advanced와 같은 셀룰러 네트워크 구조에 기반하여 셀룰러 스펙트럼을 동일하게 사용하는 단말간 직접 (D2D; Device-to-Device) 통신은 DUE (D2D User Equipment)들 간의 근접성 때문에 높은 전송율, 낮은 지연 그리고 낮은 전력 소비 등의 측면에서 장점을 얻을 수 있다^[1]. 셀룰러 네트워크에서 D2D 통신을 위한 자원할당 방법으로서 DUE가 채널 정보를 기지국에게 전달하여 자원을 할당하고 스케줄링을 수행하는 방법이 제시되었다^[2]. 이와 같은 자원 할당 방법은 CUE (Cellular UE)와 DUE 사이의 순시 간섭 채널 정보까지 고려하고 있어 현실적으로 구현에 어려움이 있다^[3]. 따라서, 본 논문에서는 DUE와 CUE의 전송 전력과 거리를 이용하여 효율적으로 간섭을 인지하고 자원을 할당하는 새로운 방법을 제시한다.

II. 시스템 모델과 전력제어

본 논문에서는 LTE-Advanced 시스템의 상향링크에서 CUE와 DUE가 자원을 공유하는 환경을 고려한다. 이는 D2D 통신의 운용 환경으로 주로 상향링크를 고려하며, 또한 하향링크에서 CUE와 DUE 모두 현실적으로 간섭을 회피하기 어려운 문제점이 존재하기 때문이다.

* 본 연구는 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 (No. 2013R1A1A2059500) 및 LG전자 위탁과제의 연구 결과임.

• First Author : School of Electronic Engineering, Soongsil University, ymc0124@ssu.ac.kr, 정희원

° 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 : KICS2014-08-287, Received August 3, 2014; Revised August 26, 2014; Accepted August 26, 2014

2.1 채널 모델

본 논문에서는 채널 환경을 위해 ITU-R Micro Urban 채널 모델을 사용하였다^[4]. 이 모델에서 경로 손실 파라미터는 표 1과 같다. 단, 여기서 d 는 거리를 f_c 는 중심 주파수를 나타낸다. 한편, 평균 경로 손실은 LoS (Line of Sight) 및 NLoS (Non-Line of Sight)를 모두 감안하여 수식 (1)과 같이 계산된다.

$$\overline{PL} = \alpha PL_{LOS} + (1 - \alpha) PL_{NLOS} \quad (1)$$

여기서, α 는 LOS의 확률을 나타내며, 본 논문에서는 표 2와 같은 값들을 고려하였다.

표 1. ITU-R Micro Urban 경로 손실 모델^[4]
Table 1. ITU-R Micro Urban path loss models^[4]

BS-CUE	LOS	$PL_{LOS} = 22\log_{10}(d) + 42.0 + 20\log_{10}(f_c/5)$
	NLOS	$PL_{NLOS} = 36.7\log_{10}(d) + 40.9 + 26\log_{10}(f_c/5)$
DUE-DUE	LOS	$PL_{LOS} = 16.9\log_{10}(d) + 46.8 + 20\log_{10}(f_c/5)$
	NLOS	$PL_{NLOS} = 40\log_{10}(d) + 30\log_{10}(f_c) + 49$

표 2. LoS 확률^[4]
Table 2. LoS probabilities^[4]

BS-CUE	$\alpha = \min(18/d, 1)(1 - \exp(-d/36)) + \exp(-d/36)$
DUE-DUE	$\alpha = \begin{cases} 1, & d \leq 4 \\ \exp(-(d-4)/3), & 4 < d < 60 \\ 0, & d \geq 60 \end{cases}$

2.2 전력제어

D2D 통신을 위한 다양한 전력제어 방법이 제시되었지만, 본 논문에서는 일반적인 LTE-Advanced 시스템에서 적용되는 다음의 개방루프 전력제어 방법을 고려한다^[4].

$$P_D = \min(P_{\max}, P_0 + 10\log_{10}J + \epsilon \overline{PL}) \quad (2)$$

여기서, P_{\max} 는 UE의 최대 전송 전력, P_0 는 초기 값, J 은 할당된 자원의 개수, ϵ 은 셀 특정 경로 손실 보상 요소를 각각 나타낸다.

III. 간섭인지 기반 자원할당 방법

본 논문에서는 단일 셀 환경에서 상향링크 자원을 N 개의 DUE와 M 개의 CUE가 공유하는 셀룰러 네트워크 환경을 고려한다. 기지국이 전송 전력 정보뿐만 아니라 각 UE 사이의 거리 정보를 취득하였다 할 때, 이들을 통하여 다음과 같이 경로 손실을 예측하여 나타낼 수 있다.

$$P_{C_m D_{n,r}} = (d_{C_m D_{n,r}})^{-\beta} P_{C_m} \quad (3)$$

$$P_{D_{n,r} D_{n,t}} = (d_{D_{n,r} D_{n,t}})^{-\beta} P_{D_{n,r}} \quad (4)$$

여기서, $d_{C_m D_{n,r}}$ 은 m 번째 CUE와 n 번째 DUE의 수신 단 사이의 거리를 의미하고, $d_{D_{n,r} D_{n,t}}$ 은 n 번째 송신 DUE와 수신 DUE 사이의 거리를 의미한다.

이러한 경로 손실 정보를 이용하여 그림 1과 같이 원의 영역을 구성을 구성할 수 있다. 본 논문에서는 CUE와 DUE 사이에 간섭을 최소화 하는 자원할당을 고려하며, 이를 위해 그림 1에서 CUE와 DUE의 중복 되는 영역의 넓이가 최소화 되는 CUE를 검색하고 해당 CUE와 자원을 공유하는 방식을 제안한다. 식 (5)에 이러한 제안 기법의 동작을 정리하였으며, 여기서 $A_{i,m}(k)$ 는 k 번째 자원에서 i 번째 DUE와 m 번째 CUE의 중복 되는 영역의 넓이를 의미한다. 계속해서, $A_{i,j}(k)$ 는 k 번째 자원에서 i 번째 DUE와 j 번째 DUE의 중복되는 영역의 넓이를 의미한다.

For $i = 1 : N - 1$

$$k^* = \underset{k}{\operatorname{argmin}} A_{i,m}(k) \quad (5)$$

Update $A_{j,m}(k)$ into $A_{j,m}(k) + A_{i,j}(k)$ ($i \neq k$) End

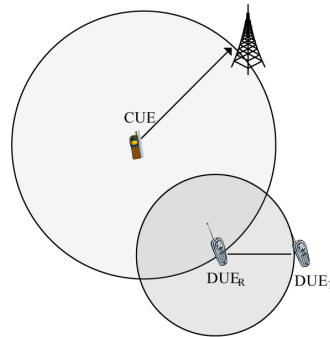


그림 1. CUE와 DUE 사이의 영역 구성
Fig. 1. Communication regions of CUE and DUE

IV. 모의실험 결과

제안 기법의 성능 평가를 위해 셀룰러 상향링크 단일 셀에서 DUE와 CUE가 자원을 공유하는 환경을 고려하였다. 표 3은 시스템 레벨 모의실험을 위한 주요 파라미터를 정리한 것이다. 제안 기법과의 비교를 위하여 기지국이 모든 채널 정보를 알고 있는 환경에서

최대 SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)에 따라 자원을 할당하는 방법 (“Max SINR”)과 채널 정보를 고려하지 않고 무작위로 자원을 할당하는 방법 (“Random”)을 고려하였다. 그림 2는 고려하는 기법들의 SINR 누적분포 (CDF; Cumulative Distribution Function) 성능을 보여준다. 여기서, 제안 기법은 MaxSINR 방법을 통해서 자원할당을 하였을 때와 비교하여 약 18dBm 정도 성능 열화가 발생하나, 무작위로 자원을 할당한 방법과 비교하여 약 40dBm 정도 성능 향상이 있었다. 그림 3에서는 DUE에게 반복적으로 중복하여 자원을 할당할 때 전체 전송율을 비교하였다. MaxSINR 방법은 모든 채널 정보를 알고 있다고 가정하기 때문에 가장 우수한 성능을 보였고, 자원할당 반복 횟수가 40~50 사이에서 빠르게 포화되는 현상을 보였다. 제안 기법도 자원할당 횟수가 많아질수록 포화되는 현상을 보였지만 MaxSINR 방법보다는 포화되는 속도가 느렸다. 무작위로 자원을 할당하는 방법은 선형적으로 전송율이 증가되는 것을 보여주고 있다. 이러한 결과는 MaxSINR 방법의 경우 적절한 자원할당을 시도하면서 빠르게 포화되나, 무작위로 자원을 할당하는 경우에는 적절하지 못한 자원할당을 시도하면서 전송율이 선형적으로 증가되는 것으로 분석된다. 제안 기법은 MaxSINR방법과 유사한 경향을 나타내지만, 전체적으로 이 방법에 비교하여 낮게 나타났다.

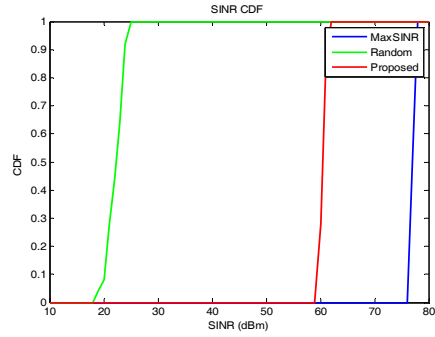


그림 2. SINR 성능 비교
Fig. 2. SINR performance comparison 1

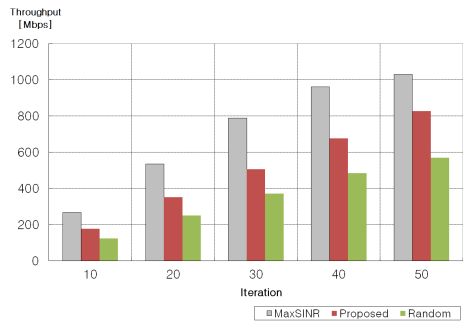


그림 3. 반복적인 자원할당에 따른 전송율 비교
Fig. 3. Throughput performance comparison of repeated resource allocation

표 3. 시스템 레벨 모의실험을 위한 주요 파라미터
Table 3. Main parameters for system level simulation

Parameter	Value
Number of used OFDMA sub-carriers	600
Number of RBs (Resource Blocks) per sub-frame RB	50
RB size	12 sub-carriers @ frequency domain 12 OFDMA symbols @ time domain
Fading channel model	ITU-R M.2135 Pedestrian B model
Noise figures	9dB at UE
Minimum distance between nodes	Between UE and UE: 25m
UE drop condition	Uniform distribution
Number of drops for simulation	10
Number of sub-frames for simulation	1000
UE transmit power	Open loop power control ^[4]

References

- [1] X. Wu, and Y. Chen, “Joint resource allocation for cellular and D2D multicast based on cognitive radio,” *KSII Trans. Internet & Inform. Syst.*, vol. 8, no. 1, Jan. 2014.
- [2] M. Bellesch, G. Fodor, and A. Abrardo, “Performance analysis of a distributed resource allocation scheme for D2D communications,” in *Proc. IEEE GLOBECOM 2011*, pp. 358-362, Houston, USA, Dec. 2011.
- [3] H. Min, J. Lee, S. Park, and D. Hong, “Capacity enhancement using an interference limited area for device-to-device uplink underlying cellular networks,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 10, no. 12, pp. 3995-4000, Dec. 2011.
- [4] ITU-R Report M.2135, *Guidelines for Evaluation of Radio Interface Technologies for IMT-Advanced*, 2008.