

基于图着色的 D2D 资源分配算法研究

邓晓田 李旭杰

(河海大学计算机与信息学院 南京 211100)

摘要: D2D 通信是允许两个相邻用户在通过基站的控制下共享蜂窝用户的频谱资源来直接通信的技术。D2D 用户与蜂窝用户共享资源而引入的额外干扰会降低系统的性能,因此资源分配成为 D2D 通信的一个重要问题。针对 D2D 用户密集场景下最大可接入数量问题提出了一种基于图着色的资源分配算法,其中将 D2D 用户对视为一个顶点,蜂窝用户的资源视为一个簇,对顶点进行着色即对其分簇。仿真分析可以看出,所提出的方案能够增加网络最大可接入的 D2D 用户对的数量,有效提高了系统容量。

关键词: D2D 通信; 资源分配; 图着色

中图分类号: TN929.5 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.50

Research on D2D resource allocation algorithm based on graph-coloring

Deng Xiaotian Li Xujie

(College of Computer and Information, Hohai University, Nanjing 210000, China)

Abstract: D2D communication is a technique that allows two adjacent users to communicate directly and share the spectrum resources of a cellular user under the control of a base station (BS). The additional interference introduced by D2D users and shared resources of cellular users will reduce system performance, so resource allocation has become an important issue in D2D communications. In this paper, a resource allocation algorithm based on graph coloring is proposed for the maximum accessible quantity problem in D2D user intensive scenarios, in which D2D users as a vertex, cellular users resources as a cluster, vertex coloring is cluster. Simulation analysis shows that the proposed scheme can increase the maximum number of D2D users in the network, and effectively improve the system capacity.

Keywords: D2D communication; resource allocation; graph-coloring

0 引言

目前,移动通信技术与互联网技术的快速发展加快了人类社会的前进,同时也给人们的生活带来了翻天覆地的变化。随着业务的发展以及通信用户的不断增多,频谱资源短缺已成为无线通信所面临的严峻挑战。D2D (device to device)通信是一种在蜂窝系统控制下,允许终端用户之间通过共享小区资源进行直接通信的技术。D2D 通信允许两个相邻用户在通过基站的控制下共享蜂窝用户的频谱资源直接通信,因此可以有效提高蜂窝网络的频谱利用率和提升网络的系统容量。但蜂窝网络引入 D2D 通信也会带来一些问题,如 D2D 通信与蜂窝通信的切换, D2D 通信复用蜂窝用户资源时会引入新的干扰^[1-4]。

目前,已有很多学者对 D2D 资源分配进行了研究,有的学者将蚁群算法^[5]运用到 D2D 通信中并提出抗干扰方案,文献[6-9]对蜂窝网络中 D2D 通信上行干扰区域进行数学特征分析,根据干扰问题分析对 D2D 通信系统进行设计和优化。但其系统模型只考虑了一对 DUE (D2D User Equipment)用户和 CUE (cellular user equipment)共享同一信道资源进行通信。在文献[10-11]中,允许一个 D2D 对复用多个蜂窝用户的资源,然而上述资源分配方案都假定一个蜂窝用户的频谱资源可以仅分配一个 D2D 对,以避免考虑不同 D2D 对之间的干扰,这不适用于 D2D 对的数量远大于蜂窝用户数量的系统情况。

综上,现有的 D2D 资源分配算法大多针对 D2D 对较少的场景下。目前,随着无线通信及物联网的高速发展,

急需对高密度终端下的资源分配进行研究。在本文中,针对 D2D 用户数量远远大于蜂窝用户数量的场景下的 D2D 通信系统的资源分配进行研究,提出基于图着色理论的 D2D 资源分配算法。

1 系统模型

1.1 系统模型

若无线蜂窝网络工作在 FDD 模式下,通常单个独立的子信道只能分配给单个蜂窝用户设备。在本文中,假设在单小区蜂窝网络中,有 M 个蜂窝用户和 N 对 D2D 用户 ($M \leq N$) 共用下行链路资源,如图 1 所示。其中每个 D2D 用户对包含一个 D2D 发送设备(DTUE)和一个 D2D 接收设备(DRUE)。同时假设 CUEs 和 DTUEs 在半径为 R 的小区内部服从均匀分布,DRUE 均匀分的分布在以 DTUE 为圆心, L (D2D 通信所能允许的最大通信距离)为半径的圆形区域中。

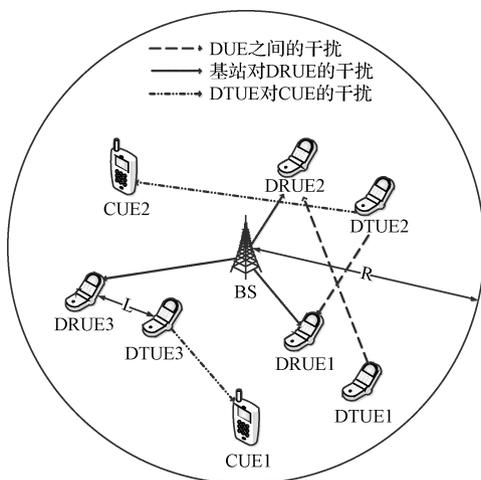


图 1 系统模型

1.2 干扰分析

由蜂窝通信和 D2D 通信之间的资源共享引起的的干扰有 3 种类型:1)D2D 用户接收设备会受到基站的干扰,2)蜂窝用户接收设备会受到复用同样下行频谱资源 D2D 通信用户发射设备的干扰,3)D2D 用户接收设备会受到其他 D2D 用户发射设备的干扰^[12]。

1.3 问题描述

用 $C_i (i=1, 2, \dots, M)$ 来表示系统中第 i 个蜂窝用户, $D_j (j=1, 2, \dots, N)$ 表示系统中第 j 个 D2D 对。第 j 个 D2D 对的发射设备和接收设备分别表示为 $DTUE_j, DRUE_j$ 。假设 D2D 对的发射功率和基站的发射功率分别为 P_D 和 P_B ,且所有 D2D 对的发射功率相同。

对于 D2D 通信,路径损耗模型为:

$$P_{R_x}(d) = P_D \cdot d^{-\alpha} \quad (1)$$

式中: $P_{R_x}(d)$ 是蜂窝用户或 D2D 接收设备从距离为 d 的 D2D 发射设备处接收的功率, α 是路径损耗指数。

蜂窝用户 C_i 处的 SINR 可以表示为:

$$SINR_i = \frac{P_B g_{C_i}}{N_0 + \sum_{D_j \in D} \pi_{ij} P_D g_{T_i, C_i}} \quad (2)$$

式中: g_{C_i} 为 BS 和蜂窝用户 C_i 之间的路径增益, g_{T_i, C_i} 为 $DTUE_j$ 和蜂窝用户 C_i 之间的路径增益, $\pi_{ij}=1$ 表示 D2D 用户 D_j 复用蜂窝用户 C_i 的资源, $\pi_{ij}=0$ 则表示蜂窝用户 C_i 的资源不被 D2D 用户 D_j 复用, P_D 和 P_B 分别表示 D2D 用户对和基站的发射功率, N_0 为系统中的噪声功率。

D2D 对接收终端 DRUE 的 SINR 可以表示为:

$$SINR_j = \frac{P_D g_{T_j, R_j}}{N_0 + P_B g_{R_j} + \sum_{C_i \in C, D_i \in D, i' \neq j} \pi_{ij'} \pi_{i'j} P_D g_{T_i', R_j}} \quad (3)$$

式中: g_{T_j, R_j} 为 $DTUE_j$ 和 $DRUE_j$ 之间的路径增益, g_{R_j} 为 BS 到 $DRUE_j$ 之间的路径增益, g_{T_i', R_j} 是 $DTUE_{j'}$ 到 $DRUE_j$ 之间的路径增益。

2 图着色算法

针对 D2D 用户密集场景下最大可接入数量问题提出了一种基于图着色的资源分配算法。

2.1 构建干扰图

在干扰图 $G=(V, E)$ 中,所有 D2D 用户对构成顶点集合 v ,即顶点表示 D2D 对。由顶点间的干扰确定边集合 E ,边表示两个顶点之间有干扰,且两个顶点不能共享同一频谱资源以避免两个 D2D 对之间的相互干扰。顶点着相同的颜色则表示共享同一蜂窝用户的频谱资源。根据 D2D 通信路径损耗模型,随着 DTUE 和 DRUE 之间距离的不断增加,DRUE 接收的信号功率会迅速下降。通常情况下 $P_B \gg P_D$,从式(3)可以看出,对于 D2D 接收设备而言其主要干扰是来自基站。如果 D2D 用户对 j 的发射设备和 D2D 用户对 k 接收设备之间的距离(d)大于某个值时,则可以忽略两个 D2D 对之间的干扰^[12]。这个距离是个固定值为 d_{th} ,且通常远大于 D2D 链路距离。若 $d < d_{th}$,则说明 D2D 用户对 j 有来自 D2D 用户对 $k (k \neq j)$ 的不能容忍的干扰,则将顶点 j 和顶点 k 用边连接。根据上述思路构建干扰图。

2.2 图着色算法

下面描述图着色算法^[12-15]的资源分配过程。图着色算法将每个 D2D 对逐一分配系统中蜂窝用户的频谱资源,就是根据可选颜色集 $C = \{0, 1, 2, \dots, M\}$ 将每个顶点的 D2D 对逐个着色,将其分簇,着最佳的颜色号。颜色相同的顶点共享相同的频谱资源。若 D2D 对不可接入则将其着 0 色,直到所有的顶点都着色。图着色算法如表 1 所示。

3 仿真结果分析

由于用户在小区的位置具有一定的随机性,仿真次数为 500 次并取平均值,所以得到的数据具有参考价值。仿真实验中所用的仿真参数如表 2 所示。

表1 图着色算法

图着色算法:	
1:	初始化可选颜色集 $C = \{0, 1, 2, \dots, M\}$
2:	初始化未着色顶点集 $V = \{1, 2, \dots, N\}$
3:	for $i = 1 : N$
4:	根据公式(2)计算 $SINR_c(k)$, 确定所选颜色顺序
5:	根据公式(2)计算 $SINR_D$
6:	if $SINR_c \geq SINR_{th}$
7:	if $SINR_D \geq SINR_{th}$
8:	顶点着所选颜色
9:	else
10:	选择下一个簇, 转向6
11:	end if
12:	else
13:	顶点不可接入
14:	end if
15:	end (所有顶点都着色)

表2 仿真参数

参数	参数值
小区半径 R	600 m
D2D对之间的距离 L	20 m
蜂窝用户数 M	3
D2D用户数 N	80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160
基站发射功率 P_B	2 dBm
D2D用户发射功率 P_D	0.001 dBm
CUE的SINR阈值 $SINR_{Th}$	4
DUE的SINR阈值 $SINR_{Th}$	4
噪声指数 N_0	-109 dBm
路径损耗 α	4
带宽 B	10 MHz

如图2所示,随着D2D用户对数目的增加,图着色算法所对应的最大可接入D2D对数目明显大于随机算法所对应的数目。图着色算法所对应的最大可接入的D2D用户对数目逐渐上升,而随机算法所对应的最大可接入数目上升趋势逐渐变缓,这是因为随着D2D用户对数目的增加,簇内D2D之间的干扰也逐渐增大。

如图3所示,在不同D2D对数目下的图着色算法和随机算法的系统容量。可以看出,图着色算法的系统容量明显大于随机算法的系统容量。另外,随着系统中D2D对数目的增加,两种分配算法的系统容量也增加,但随机算法所对应的系统容量随着D2D数目的增加增长速度减缓。

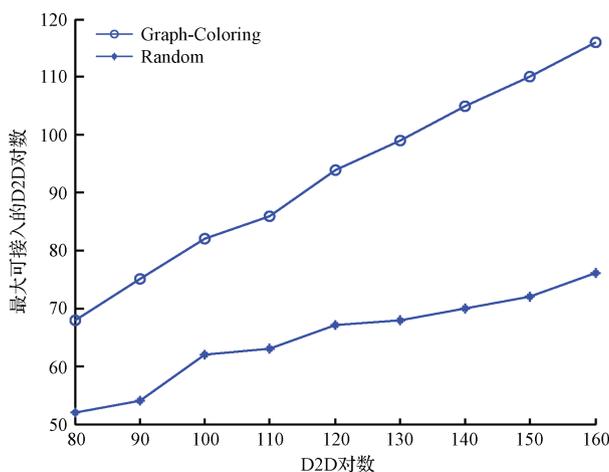


图2 最大可接入的D2D对数

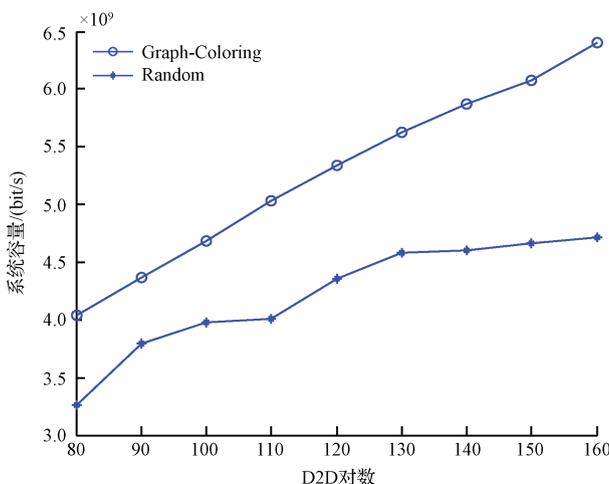


图3 系统容量

4 结论

本文中提出了基于图着色的D2D资源分配算法,通过将相同的频谱资源分配给多个D2D对来实现频谱复用,有效提高了频谱的利用率。仿真结果表明,提出的资源分配方案优于常规随机资源分配方案,不仅增加最大可接入的D2D对数量,还明显提高了系统容量。

参考文献

- [1] 王俊义, 巩志帅, 符杰林, 等. D2D通信技术综述[J]. 桂林电子科技大学学报, 2014, 34(2): 114-119.
- [2] 张建昌. 在蜂窝网中应用D2D通信技术研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
- [3] 王琪. 一种LTE网络D2D通信的干扰控制方案[J]. 无线电工程, 2015, 45(9): 9-13, 57.
- [4] 王斌, 孟琬婷, 王兆丰, 等. 蜂窝控制下的D2D通信的无线资源分配研究[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2015, 35(3): 39-46.

- [5] 许川佩, 刘磊振, 万春霆. 基于蚁群算法的数字微流控生物芯片污染故障在线清除[J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 31(2):193-199.
- [6] LI X, WANG Z, SUN Y, et al. Mathematical characteristics of uplink and downlink interference regions in d2d communications underlying cellular networks[J]. Wireless Personal Communications, 2017: 917-932.
- [7] LI X, ZHANG W, ZHANG H, et al. A combining call admission control and power control scheme for d2d communications underlying cellular networks[J]. 中国通信:英文版, 2016, 13(10):137-145.
- [8] 李旭杰, 张洪浪, 张文娜, 等. 蜂窝网络下 D2D 通信的遍历容量分析[J]. 东南大学学报(英文版), 2015, 31(3):333-338.
- [9] 祝晓悦. 蜂窝网络下 D2D 通信性能的研究[D]. 北京:北京邮电大学, 2013.
- [10] XU C, SONG L, HAN Z, et al. Efficiency resource allocation for device-to-device underlay communication systems: a reverse iterative combinatorial auction based approach[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2013, 31(9):348-358.
- [11] ZHANG R, SONG L, HAN Z, et al. Distributed resource allocation for device-to-device communications underlying cellular networks[C]. IEEE International Conference on Communications. IEEE, 2013: 1889-1893.
- [12] CAI X J, ZHENG J, ZHANG Y, et al. A graph-coloring based resource allocation algorithm for d2d communication in cellular networks[J]. Next Generation Networking Symposium, 2015:5429-5434.
- [13] 刘浩然, 孙美婷, 李雷, 等. 基于蚁群节点寻优的贝叶斯网络结构算法研究[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(1):143-150.
- [14] 何朵奇, 王斌, 季文君, 等. LTE 网络下基于图着色理论的 D2D 分簇资源分配方案[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2015, 35(6):44-50.
- [15] 牟霄寒. 蜂窝网络中模式选择机制下的设备到设备通信性能分析[D]. 北京:北京交通大学, 2015.

作者简介

邓晓田, 1993 年出生, 河海大学研究生, 主要研究方向为无线通信。

E-mail:1157324817@qq.com