

移动蜂窝网络中 D2D 通信资源分配算法概述

陈雨洁

(中国人民武装警察部队工程大学 信息工程学院, 陕西 西安 710086)

摘要: Device-to-Device(D2D)通信是用于通信网络中临近设备间直接交换信息的技术。凭借有效提高频谱利用率、减轻网络负载、降低通信时延等特性,D2D 技术已经成为解决当前高速流量增长和海量设备接入的关键技术,其中资源分配作为 D2D 通信中的重点问题之一,也正受到广泛的研究和讨论。首先对 D2D 通信技术进行简介,其次重点介绍 D2D 通信中资源分配算法的研究现状,最后总结研究中的重难点问题,提出未来研究方向。

关键词: 5G; D2D; 频谱利用率; 资源分配

中图分类号: TN914

文献标识码: A

DOI:10.16157/j.issn.0258-7998.200489

中文引用格式: 陈雨洁. 移动蜂窝网络中 D2D 通信资源分配算法概述[J]. 电子技术应用, 2020, 46(11): 52–55.

英文引用格式: Chen Yujie. Overview of D2D communication resource allocation algorithms in mobile cellular networks[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(11): 52–55.

Overview of D2D communication resource allocation algorithms in mobile cellular networks

Chen Yujie

(School of Information Engineering, Engineering University of CAPF, Xi'an 710086, China)

Abstract: Device-to-Device(D2D) communication is a technology used to directly exchange information between neighboring devices in a communication network. With the characteristics of effectively improving spectrum utilization, reducing network load, and reducing communication delay, D2D technology has become a key technology to solve the current high-speed traffic growth and mass device access. Among them, resource allocation is one of the key issues in D2D communication, which is being extensively studied and discussed. This article first introduces the D2D communication technology, secondly focuses on the research status of the resource allocation algorithm in D2D communication, and finally summarizes the major and difficult problems in the research and proposes future research directions.

Key words: 5G; D2D; spectrum utilization; resource allocation

0 引言

从第一代模拟移动通信系统开始,无线通信技术已历经了几十年的发展。可以预见的是,未来移动通信的用户数、终端设备连接数和数据吞吐量还将继续呈指数式增长,这无疑对无线通信技术的研究提出了更高要求。为应对网络密集化、异构化、差异化带来的挑战,仅寄希望于网络或中心设备完成通信系统内大范围、高效率的指挥是不现实的,因此无需中心设备干预的 D2D (Device-to-Device) 通信技术迅速成为了热点。

1 D2D 通信技术简介

D2D 通信是蜂窝网络中彼此邻近的设备不经过基站转发,直接进行信息传输的通信方式^[1]。2008 年 D2D 通信技术由高通公司首次提出,随后我国的华为、中兴等通信企业也逐步加入了相关研究的行列。近年来,随着用户需求的多样化发展和移动数据流量的爆炸式增

长,现有的通信网络面临着巨大挑战,D2D 通信技术具有能延伸覆盖区域,降低时延、链路负载,大幅提高频谱效率、用户速率和单位面积终端容量等特点,被认为是提升通信系统性能的焦点技术,可用于支持未来面向 5G 的各类新业务。

D2D 通信的特点,一方面地理位置邻近的两个用户可实现直接短距离通信,增强了通信系统的灵活性;另一方面 D2D 用户复用蜂窝用户频谱资源,在现有蜂窝网络的监控下进行通信,故相比使用非授权频段的无线局域网、ZigBee、蓝牙等无线通信技术,D2D 通信系统更稳定可靠;同时,D2D 技术还可结合中继技术实现多跳 D2D 通信,保障局部网络功能发生故障时仍能正常通信,提高了通信系统的顽健性。

D2D 通信的关键技术包括设备发现、模式选择、资源分配、功率控制和干扰协调,下面主要对其中的资源

综述与评论

Review and Comment

分配问题进行分析。

2 D2D 通信资源分配

2.1 问题描述

高效的 D2D 通信很大程度依赖于网络资源分配和干扰管理,由于 D2D 用户与蜂窝用户共享频谱资源,两者间会产生干扰,如果不进行有效的干扰控制,用户通信质量和网络整体性能都会受到极大影响。如何合理利用有限的资源,控制干扰并使得通信系统效能最大化就是资源分配要解决的问题。

2.2 系统模型

D2D 通信系统模型如图 1 所示。由于当前对 D2D 通信资源分配的研究大多基于单小区场景,因此本文主要介绍单小区通信模型。小区内有一个基站、若干蜂窝用户和若干 D2D 用户对,基站给每个蜂窝用户分配正交的上行和下行频谱资源,故蜂窝用户间不存在干扰,D2D 用户通过复用蜂窝上行或下行链路资源进行通信,故基站与 D2D 用户及蜂窝用户与 D2D 用户间存在相互干扰。

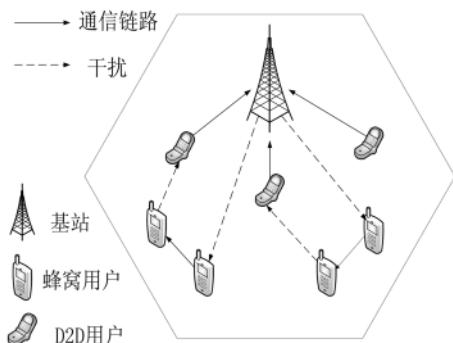


图 1 系统模型

3 国内外研究现状

近年来,有关 D2D 通信资源分配的研究已经十分深入,从静态分配到动态分配,从单一考虑信道、功率进行分配,到联合功率资源分配,不仅应用了各类算法,还引入了很多创新思想、理论,取得了许多成果。下面主要从三个方面对 D2D 通信资源分配算法的研究现状进行分析。

3.1 基于不同优化目标的资源分配算法

3.1.1 提升系统吞吐量

文献[2]提出了基于离散鸽群算法的改进型算法,将资源分配问题转化为鸽子寻找目标问题,通过对传统鸽群算法进行参数调整,加快了算法收敛速度,降低了干扰,优化了系统吞吐量。文献[3]提出一种基于灵活分频复用(FFFR)的通信资源分配方案。该算法中,由基站随机选择分配给蜂窝用户的资源块并对其进行 D2D 复用,而后蜂窝用户考虑到的干扰进行自愿的资源分配。仿真结果表明,这种分配方案下不仅降低了算法的复杂度,减小了系统内部的干扰,还有效提升了系统吞吐量。

3.1.2 降低能耗

文献[4]中引入了地理位置分区的思想,把 D2D 用户可复用的蜂窝用户按地理位置进行分类,每个 D2D 用户只能选择干扰小于某一阈值的蜂窝用户进行频率复用,同时对 D2D 用户的发射功率进行控制,以尽可能多地实现复用资源的最佳匹配。通过与另外两种传统算法进行仿真结果比较,该算法有效地控制了系统能耗,降低了干扰。文献[5]基于博弈的思想设计了一种能量有效的资源分配算法,首先考虑用户的能量效率建立效用函数,而后利用非合作博弈理论对 D2D 用户进行功率控制,最后形成了一套分布式的联合功率分配算法。由仿真结果可以看出,该算法减小了 D2D 用户的发射功率,提高了能量效率。

3.1.3 满足用户 QoS 要求

文献[6]提出了一种面向用户 QoS 的资源分配算法,该算法根据计算所得的蜂窝用户和 D2D 用户数据传输速率及信道增益,建立了每个 D2D 用户对应的复用蜂窝用户候选集,并根据优先级顺序依次为每个 D2D 用户分配共享的频谱资源。仿真结果表明此算法能有效提升用户对通信质量的满意度。文献[7]提出了针对不同业务 QoS 要求的 QARA 资源分配算法,首先建立蜂窝用户和 D2D 用户群;然后根据通过用户位置信息计算得到的增益,为 D2D 用户建立候选蜂窝用户集;最后从候选集中选择资源块分配给对应 D2D 用户。通过仿真,验证了该算法在保证 QOS 要求的前提下能有效提升 D2D 用户速率。

3.1.4 满足用户间公平性

文献[8]提出了一种基于最小比例和比例公平效用函数的优化框架,先是提出系统的效用函数,然后通过基于信道质量的两阶段决策过程进行了模式选择和资源划分。仿真结果表明该算法能有效提高 D2D 通信速率,优化系统性能。

3.2 图论在资源分配问题中的应用

图论是离散数学的一部分,专门研究自然界和社会生活中包含某种二元关系的问题或系统,它把这些问题或系统抽象成点和线的集合,并用点和线连接组成的图来表示。由于其中的点和线正好可以代表通信网络中的节点和通信线路,图论广泛应用于解决通信网络规划设计、性能分析问题,其中的二分图、图着色法等也常用于解决网络资源分配问题。

3.2.1 二分图最优匹配

文献[9]以系统吞吐量最大为目标,建立了以蜂窝用户和 D2D 用户作为两个顶点集,复用关系作为边集,吞吐量作为边权值的二分图,通过最优匹配算法为 D2D 用户分配复用的蜂窝用户及比例,仿真结果显示,该算法提高了频谱利用率且提升了系统吞吐量。文献[10]以最小化终端能耗为目标,建立了以蜂窝用户和 D2D 用户作为两个顶点集,复用关系作为边集,D2D 用户发射功

综述与评论

Review and Comment

率作为边权值的二分图,通过匈牙利算法得到最小权重二分图的解,从而得到资源分配方案。仿真结果显示,该算法收敛速度快,且能大幅降低系统能耗。

3.2.2 图着色法

文献[11]将资源分配问题分两步完成,首先使用匈牙利算法完成蜂窝用户与D2D用户间的一一配对,然后运用图着色理论为D2D用户分配信道资源。仿真结果表明,该算法在保证用户通信质量的前提下,提高了系统吞吐量。文献[12]提出了一种基于用户分簇的资源分配方案,首先针对D2D用户间干扰情况建立了干扰图,其次根据用户需求按照优先级层次分集,优先级高的先着色,以此将D2D用户分成不同的簇,最后综合考虑干扰和优先级情况为D2D用户簇分配资源,并使用博弈论为同簇中的用户分配发射功率。通过仿真,发现此算法相比传统的随机或顺序着色的图着色算法,在用户公平性和系统吞吐量上都有明显提高。

3.2.3 图论的其他应用

文献[13]提出了基于干扰图的一种资源分配算法,首先根据蜂窝用户可通信范围及效用得到可供复用的D2D用户集,然后选择所含元素最多的集合构建干扰图并求解对应的独立集,最后通过重复把解得的独立集作为新的用户集,不断更新集合内用户,直到蜂窝用户及集合内所有D2D用户的通信质量都能得到保证。通过仿真表明,该算法相比文中其他两种算法,有效提高了系统容量。

3.3 博弈论在资源分配问题中的应用

博弈论,又称对策论,主要研究竞争环境中多个竞争者与参与者如何根据所处环境制定相应策略以获取自身最大收益。由于网络资源和网络需求之间存在的矛盾很多情况下可以转化为博弈问题从而更方便地进行求解,因此博弈论,特别是其中的非合作博弈、拍卖理论、匹配理论等常用于研究网络资源分配的问题。

3.3.1 非合作博弈

文献[14]对一种基于买卖双方频谱的动态博弈模型进行了改进,主要是对蜂窝用户的最优定价进行了调整并给出D2D用户的动态价格调整策略,而后通过数学推理论证了改进后算法纳什均衡的存在性及算法的收敛性。仿真结果显示,相比改进前,该算法使得频谱利用率和系统公平性都得到了明显提升。文献[15]针对小区内和跨小区干扰,在非合作博弈模型中设计了一种加入干扰因素的效用函数,通过引入惩罚函数对D2D用户进行功率控制。通过调整传统算法中的效用函数,发现新的分配方案在提升系统吞吐量、优化网络性能方面较传统算法有了明显改进。

3.3.2 拍卖理论

文献[16]提出了一种基于双向拍卖的资源分配方式,分别将蜂窝用户和D2D用户定义为卖方和买方,基站定义为拍卖师。首先基于用户间的社交属性进行资源的

初次分配,而后根据提出的双向拍卖分配方式对剩余资源进行再分配。经过仿真,验证了所提算法能有效提高资源利用率及用户满意度。文献[17]运用拍卖理论,结合用户间社会关系和链路通信状况提出了一种新的资源分配方案,将蜂窝用户看作买家,D2D用户看作卖家,首先由蜂窝用户选择使自身资源利用率最大化的D2D用户完成初次分配,然后通过竞拍分配剩余资源。仿真结果表明,该算法在收敛速度和复杂度上都优于传统的拍卖算法。

3.3.3 匹配理论

文献[18]提出了一种信道功率联合分配算法,首先D2D用户根据效用函数,将通信范围内效用最大的用户添加到自己的集群中;其次通过多对一的匹配算法,以所有用户和速率最大为目标进行资源分配;最后使用遗传算法对D2D用户进行功率控制。通过仿真比较,该算法有效地提高了用户速率,减小了系统内部干扰。文献[19]在匹配理论的基础上提出了一种基于优先级的UFM搜寻算法,首先建立基于效用函数的D2D用户复用优先级,然后使用UFM算法,以效用最大化为目标进行资源分配。通过与两种传统算法的性能比较,发现本文提出的算法在一定程度上提高了系统吞吐量,减少了干扰。

4 重难点问题及未来研究方向

4.1 多跳 D2D 通信

D2D技术的重要应用场景之一,就是保障通信基础设施遭到毁坏时的应急通信,当自然灾害导致某些区域内蜂窝网络受到影响时,可以通过多跳D2D实现灾区用户与网络覆盖区域内用户的通信。在单跳或多跳D2D通信中,合理的资源分配同样是必须的,但要引入D2D直接通信中的算法却十分困难。其原因一是D2D通信的模式选择增加了单跳、多跳两种情况,二是资源管理不仅涉及蜂窝用户和D2D用户的频谱分配,还涉及多跳路径中的各种资源限制,这些都使得资源分配问题更为复杂,需要进行更细致的分析。

4.2 高速移动中的D2D通信

当前,公共交通的发展日新月异,因此用户也常常处于高速移动状态,如何克服移动性对资源管理的影响,很多研究中都忽视了这一点。移动过程中的设备发现,小区频繁切换时的模式选择,高速移动带来的各类干扰等,都是有待研究的方向。

4.3 跨运营商的D2D通信

如果D2D通信不仅限于单运营商内,而是支持多运营商之间的通信,那么D2D技术的优势会得到更大限度的发挥。但一方面,由于竞争关系运营商之间或许不愿意分享如用户位置、网络利用率、系统负载之类的信息;另一方面,各运营商的策略不同,对跨运营商D2D通信的资源贡献度、网络信息共享度也不同,使得此时的资源分配问题更加复杂。如果能在运营商之间的竞争

综述与评论 Review and Comment

中找到平衡点，使其达成共识，那么所有D2D用户的通信质量都将得到提升。

5 结论

本文首先对D2D通信进行了简介，其次重点介绍了D2D通信中的关键技术之一资源分配，并就国内外研究现状对资源分配算法进行了分析，最后总结了相关研究面临的挑战，并提出下一步研究方向。在未来的5G系统中，D2D通信提供了管理局部短距离通信链路的办法，不仅实现了本地流量分流，还能减少回传网络的数据流量压力，降低核心网络的相关信令负载，以及控制终端功耗实现绿色通信。作为一项具有良好前景的无线通信技术，D2D通信在未来要求低时延、超可靠服务的应用场景中都将发挥关键作用，然而当前的研究距离充分运用和发挥D2D通信的优势还有一段距离，需进行更深入的研究和讨论。

参考文献

- [1] 钱志鸿,王雪.面向5G通信网的D2D技术综述[J].通信学报,2016,37(7):1-14.
- [2] 张达敏,张绘娟,闫威,等.异构网络中基于鸽群优化算法的D2D资源分配机制[J/OL].控制与决策[2020-06-11].https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CAPJ&dbname=CAPJLAST&filename=KZCYC20190814001&v=MDQ3MDdscVdNMENMTDdSN3FkWitabUZDamxWNy9QS-WxnPUxqZlNiYkc0SDlqTXA0NUJaT3NPWXc5TXptUm42aj-U3VDNm.
- [3] NA L H, KIM H M, KIM S K. FFFR-Based resource allocation mechanism for interference mitigation of D2D communications in LTE-Advanced networks[J]. Canadian Medical Association Journal, 2015, 4(1): 5-10.
- [4] 张素娟.D2D通信系统中资源优化与干扰协调研究[D].长春:长春理工大学,2019.
- [5] 张薇,何琬冰,杨莲新,等.D2D通信中能耗优化的分布式资源管理算法[J].军事通信技术,2015,36(2):51-58,62.
- [6] 刘诚征.移动蜂窝网络D2D通信频谱资源分配算法研究[D].南京:东南大学,2018.
- [7] 王玉,曹宇,肖淑艳,等.基于不同业务QoS要求的D2D通信频谱资源分配算法[J].电脑与电信,2019(9):4-10,13.
- [8] MADANI N. Mode selection considering fairness in D2D-enabled cellular networks[J]. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 2018, 29(7).
- [9] 袁苏文,梁云锦,吴广富,等.有效解决网络拥塞 基于图论的多小区D2D通信资源分配算法[J].通信世界,2018(3):49-52.
- [10] 赵攀.蜂窝覆盖下的D2D资源分配机制[D].北京:北京邮电大学,2018.
- [11] 石纯子.D2D通信系统中的信道与功率分配算法[D].南京:南京邮电大学,2018.
- [12] 刘洋.LTE-A系统中D2D通信的资源分配算法研究[D].长春:吉林大学,2019.
- [13] 王改静.蜂窝网络中D2D通信资源分配研究[D].西安:西安电子科技大学,2018.
- [14] 谢显中,李传文,杨和林.认知D2D通信中基于博弈论的动态频谱分配方案[J].北京邮电大学学报,2017,40(2):43-48.
- [15] 张勇,凌亚,卢彦博.基于非合作博弈的多小区D2D资源分配算法[J].光通信研究,2016(2):75-78.
- [16] 郑繁.基于社交网络与双向拍卖的D2D网络资源分配方法设计与实现[D].杭州:浙江工商大学,2018.
- [17] 张珀瑞.社交网络中D2D资源分配和功率控制研究[D].重庆:重庆邮电大学,2018.
- [18] GU W, ZHU Q. Social-Aware-Based resource allocation for NOMA-Enhanced D2D communications[J]. Applied Sciences, 2020, 10(7): 2446.
- [19] 李灿.基于社交网络的D2D资源分配方案研究[D].南京:南京邮电大学,2019.

(收稿日期:2020-06-11)

作者简介:

陈雨洁(1997-),女,硕士研究生,主要研究方向:D2D通信资源分配。

广告

欢迎订阅, 2021年度 《信息技术与网络安全》

中国科技期刊数据库来源期刊

主管单位:中国电子信息产业集团有限公司 主办单位:华北计算机系统工程研究所(中国电子信息产业集团有限公司第六研究所)

月刊 定价:26元/期

编辑部电话: (010) 66608908 66608981

电话订阅: (010) 82306084

邮局订阅: 邮发代号 82-417



版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所