 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i4.5308

Study on variable interval adaptive D2D resource allocation algorithm for communication hotspots

Qi Sun Dantong Na Bo Liu

Information Application Department, Armored Forces Academy of the United States of America, Officer School, Changchun, Jilin, 130022, China

Abstract

In the modern communication environment, the demand for fast network construction, low power networking and large capacity transmission is increasingly strong. In the communication hotspots, the communication quality is seriously affected. To solve this problem, D2D introduces variable interval (device to device). The algorithm introduces the adaptive power algorithm in the power control stage to give the terminal transmission power and introduces the weight function on the central node side to determine the multiplexing combination. Finally, according to the simulation analysis, the adaptive D2D resource allocation algorithm increased by 9.5% (number of small users) and 24.2% (number of large users), the power efficiency by 20.2%, and the average system network construction time decreased by 12.8%.

Keywords

communication hotspot; variable interval; adaptive; throughput; and power efficiency

适用于通信热点地区的可变间隔自适应 D2D 资源分配算法研究

孙琦 那丹彤 刘波

陆军装甲兵学院士官学校信息运用系，中国 · 吉林 长春 130022

摘 要

在现代通信环境下关于快速建网、低功耗联网、大容量传输的需求越来越强烈，在通信热点地区，信道资源已经出现明显不足进而严重影响通信质量的情况。针对这一问题，提出了引入可变间隔的自适应技术D2D（device to device）资源分配算法。该算法在功率控制阶段引入了自适应功率算法给出终端发射功率；在中心节点侧的信道分配上引入基于吞吐量最大化的权重函数以确定复用组合。最后由仿真分析，可变间隔的自适应D2D资源分配算法较对比算法，吞吐量平均提高了9.5%（小用户数）、24.2%（大用户数），功率效能平均提升了20.2%，系统建网时间平均降低了12.8%。

关键词

通信热点；可变间隔；自适应；吞吐量；功率效能

1 引言

根据国家发布的《2024 年通信业统计公报》指出，截至 2024 年底我国移动电话用户总数为 17.9 亿户、物联网设备 NB - IoT 已超过 10 亿台。在可预见的未来，通信设备数量仍将大幅度增长，所以研究一种可支持更多设备连接入网、更快的信息传输速率、更低的能源消耗的新型通信算法就尤为重要。

引入 D2D 技术是一种提高系统通信性能的有效方法之一，文献 [1] 提出了一种基于系统遍历容量最大化的粒子群的遗传类算法，通过遍历可复用用户列表可能性的穷举比较方式，以最大吞吐量为目标给出了一种解决方案，虽然获得了较高的吞吐量性能，但计算压力较大，不适合小型用户快速建立链路通连。文献 [2-3] 提出了一种基于智能超表面技术辅助的 D2D 资源分配算法，通过智能超表面扩大信息传输渠道，获得了较高的传输速率，但表面体位置难以确定，不能构建出一个快速通联的 D2D 网络系统。文献 [4] 提出一种基于匈牙利算法的 D2D 信道分配模型，通过获得信道传输所需最低的传输速率进而确定发射端的发射功率，再用系统总吞吐量作为权重系数，最终确定整体的系统连接状态，但难以满足瞬发的数据吞吐需求，每次在用户发生变动时，均会重新遍历计算。文献 [5-7] 提出了引用遗传算法寻找最佳功率的算法，在获得较高吞吐量的同时也产生了较高计算时延。

综上，目前国内外针对 D2D 的通信算法研究主要集中

【作者简介】孙琦（1993–），男，中国吉林长春人，硕士，讲师，从事网络通信研究。

在如何使用不同的技术手段提高频谱资源利用率和吞吐量，均没有考虑从计算时延的角度优化 D2D 通信系统。据此本文提出一种引入可变间隔的自适应 D2D 资源分配算法，使其在热点通信环境和小型设备通信中具有更好的通信性能表现。

2 系统模型

假设通信热点区域存在一台中心节点基站 eNB，在中心基站通信范围内随机生成用户。原系统中信道正交的用户为 $\boldsymbol{U}=\{U_1U_2U_3,\cdots U_N\}$，其中 U_i 表示第 i 个序号的通信终端，D2D 集合用户集合为 $\boldsymbol{D}=\{D_1D_2D_3\cdots D_M\}$，其中 D_j 表示两个 D2D 通信用户终端。D2D 用户之间的信息路径小于 R_d。系统仿真上行信息通信状态的信号通信过程。设置从中心节点基站至通信终端的路损为 S_{Bi}， D2D 用户间的路径损耗为 S_j，从 D2D 用户发射端至中心控制节点的路损为 S_{jTB}，从通信终端用户至 D2D 用户接收端的路损为 S_{ijR}。

3 可变间隔自适应资源分配算法

功率控制和信道分配是 D2D 资源分配算法的两个阶段。目前，D2D 资源分配算法的研究通常是通过遍历所有可能的最佳组合并以最大用户吞吐量的权重函数所实现的 [8]。这种算法设计可以获得最优的总系统吞吐量性能，但在面临通信设备密集、通信建立速度要求高的情况下，需要预先获得距离路损等相关参数信息，在资源分配前已经很难满足现实通信要求。据此将 D2D 通信解耦成两个单独的部分，为自适应功率控制算法和信道资源分配算法两个部分。

3.1 自适应功率控制算法

D2D 技术，其本质是在可接受的干扰情况下，进一步提升系统用户数量，从而提高信道、频谱资源的利用率，同时不可避免的会产生一定信道干扰。如何在干扰可控的情况，优化吞吐量与通信建立时间就是需要解决的关键技术问题。

依据系统模型，通信终端 U_i 用户与 D2D 用户 D_j 接受端的信号质量即信噪比 SNR_i^U 与 SNR_j^D 为：

$$SNR_i^U=\frac{P_i^U/S_{Bi}}{N+P_j^D/S_{jTB}},SNR_j^D=\frac{P_j^D/S_j}{N+P_i^U/S_{ijR}} \quad (1)$$

设置 P_j^D 为一个固定的终端发射功率，设置 $P_{\max}^D$ 为最高终端发射功率。则（1）式可表示为发射功率的公式：

$$P_i^U=SNR_i^U S_{Bi}(N+P_{\max}^D/S_{jTB} \quad (2)$$

$$\alpha=S_{Bi}(N+P_{\max}^D/S_{jTB}) \quad (3)$$

$$P_i^U=\alpha\cdot SNR_i^U \quad (4)$$

在设置了 QoS（最小信噪比要求）时，功率 P_i^U 与 SNR_i^U 成线性数学关系。在迭代中终端发射功率越接近 QoS 时，终端信噪比也会有同样的变化趋势。设置系统功率间隔 $\tilde{a}_1$ 与迭代次数 o，则通信终端发射信噪比为式（5）：

$$SNR_i^U=\alpha^{-1}(P_{\min}^U+\gamma_1(o\text{-}1)) \quad (5)$$

同理，设置系统功率间隔 $\tilde{a}_2$ 与迭代次数 p 可得出 D2D 用户的信噪比计算公式 [9]：

$$SNR_j^D=\beta^{-1}(P_{\min}^D+\gamma_2(p\text{-}1)) \quad (6)$$

将式（5-6）结合便得到了功率控制算法，但公式为多元函数，在目前的 D2D 研究中经常设置价值函数（最优吞吐量）的遗传算法来求解最佳发射功率。遗传算法由于其特殊的遗传因子特性，需要设置较高迭代次数才能获得准确的结果，导致计算时间过长，不能满足快速建立通信联络的需要。据此本文提出可变迭代间隔 $\tilde{a}_1$ 与 $\tilde{a}_2$ 的迭代计算方法。

定义可变间隔标识 Bs =1 信噪比公式分别为：

$$SNR_i^U=\alpha^{-1}(P_{\min}^U+\frac{\gamma_1(o\text{-}1)}{Bs}) \quad (7)$$

$$SNR_j^D=\beta^{-1}(P_{\min}^D+\frac{\gamma_2(p\text{-}1)}{Bs}) \quad (8)$$

具体实现流程为：

for t_1 =1：o D2D 迭代执行 o 次

for t_2 =1：p 通信终端迭代执行 p 次

if（通过式（7-8）计算的得到的信噪比值 $SNR_i^U > SNR_{\min}^U$ 且 $SNR_i^D > SNR_{\min}^D$）

break，前功率值进行保存于信息数组式（9）

else

$Bs=Bs+1$ 间隔标识加 1

继续执行迭代

end

end

end

使用如上所示算法遍历即可给出同一信道下，不同终端用户的发射功率数值。

3.2 信道资源分配算法

在获得初步功率设置值后，此时系统的吞吐量并不是最优解，因为功率搜索是从最小功率值开始的，所以进行有限信道的分配调整，便可获得最佳的系统吞吐量性能，提高频谱利用率。

构造储存数据信息矩阵 $\boldsymbol{HD}_{ij}$ 具体为

$$\boldsymbol{HD}_{i,j}=\left\{P_j^D,SNR_i^U,SNR_j^D,th\right\} \quad \forall i\in N,\forall j\in M \quad (9)$$

由香农公式将设计函数 f_{HD} 为式：

$$\boldsymbol{HD}_{ij}(th)=f_{HD}\left(SNR_i^U,SNR_j^D\right)=B\log_2(1+SNR_i^U)+B\log_2(SNR_j^D) \quad (10)$$

基于整个复用信道的用户 QOS，依据比例公平算法 [10]

从而可以得出基于均衡吞吐量的最优选择算法，寻找 th 值最大的组合即为最终 D2D 系统配对组合，实现系统全体终端入网。

4 仿真结果与分析

在信道分配与功率控制两个阶段分别进行仿真了仿真，重点分析了系统建网时间、功率效能、系统总吞吐量等方面的性能差异。

4.1 系统仿真参数设置

在仿真阶段使用了城市通信模型，发射终端在 1-2m 高度之间，最大化模拟实际使用情况，通信路损模型为 [11]：

$$L = -2\left\lceil \lg(f_c/28)\right\rceil^2 + 26.16\lg f_c + 18.37\lg(d) + 15.08 \quad (11)$$

通信终端用户分布在单通信终端最大通信距离的圆形小区中。D2D 用户对间不超过 5km 随机分配。仿真模拟 1000 次，系统带宽 270MHz、载频 150MHz、最大发射功率 50dBm。在 MATLAB 中使用并行程序设计完成。

4.2 仿真结果分析

如图 1 所示，仿真对比了在不同 D2D 用户对数量下，自适应功率控制算法、固定功率算法与随机功率算法在不同用户数下的吞吐量性能对比。可得出自适应功率控制算法较固定功率算法、随机功率算法平均提升 9.5% 和 16.1%（小用户数）、24.2% 和 30.1%（大用户数）。这是因为自适应功率控制算法将吞吐量作为权重价值函数，在每次遍历选择复用信道时，会向最佳吞吐量复用选择迁移，符合算法理论分析结果。

如图 2 所示，仿真对比了在不同发射功率下，自适应功率控制算法、遗传类算法 [5-7] 与随机匹配算法的吞吐量、系统建立时间的对比。可看出在相同最大发射功率的情况下，自适应功率算法的功率 / 吞吐量效能较好，平均提升了 20.2%。引入可变间隔的资源分配算法较未引入的情况下，平均建立时间下降 21.3%，较遗传类算法平均建立时间下降 12.8%。这是因为自适应功率控制算法引入了遍历复用组合的算法流程、并能动态改变搜索精细度，能够最大程度的优化系统吞吐量性能。

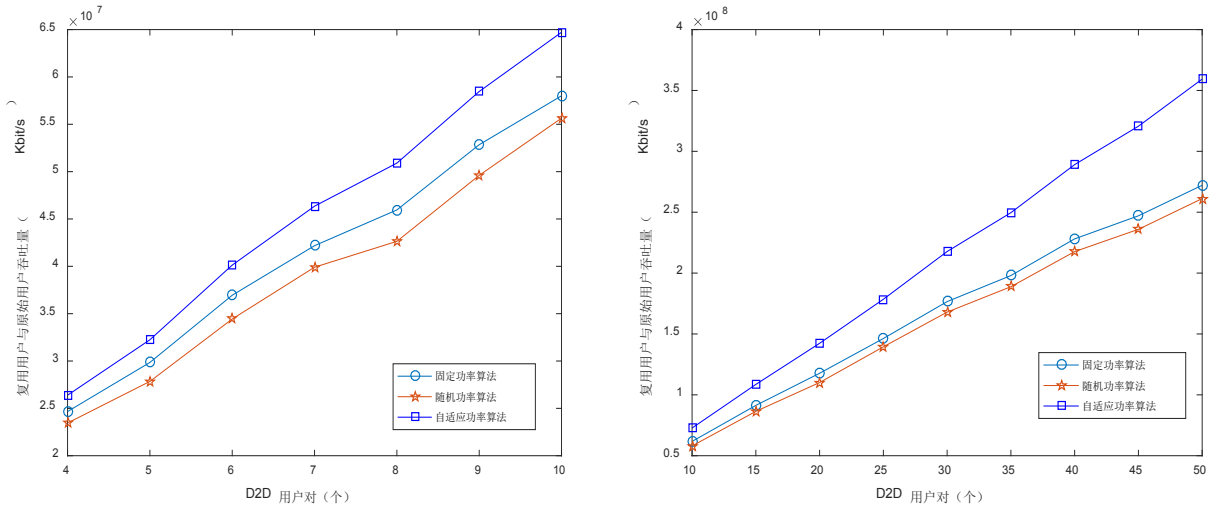

图 1 不同功率控制算法下的性能对比

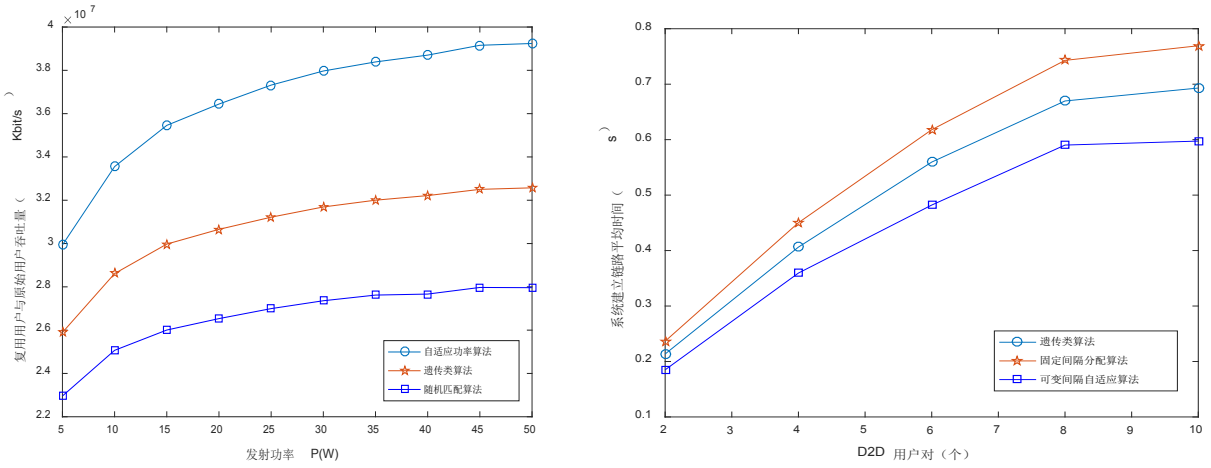

图 2 不同最大终端发射功率下的吞吐量性能对比

5 结语

通过设计一种引入可变迭代功率间隔的自适应 D2D 资源算法在系统吞吐量、系统功率能效、系统平均建网时间等性能上具有良好的性能。这是因为在功率控制过程中，所提算法引入了动态变化的迭代功率间隔，有效的降低了系统建立通信的时间。在信道分配过程中，引入了吞吐量作为权重值的价值标准，提升了吞吐量性能。但所提算法随着用户数量越多，需要的计算时间就越长，下一步将重点优化在大用户数下的系统建立连接时间，进一步优化算法的计算时效。

参考文献

[1] 曾华珺.NOMA-D2D通信系统的资源分配算法研究[D].北京邮电大学,2024.

[2] 谢健骊,李琳,张泽鹏,等.RIS辅助D2D通信网络资源分配算法[J].西南交通大学学报,2024，1-9

[3] M. M S, Stefano T. Performance analysis of RIS-assisted downlink NOMA wireless systems under D2D interference[J]. Digital Signal Processing, 2024, 144:1-8.

[4] 胡俊华.基于KM算法的D2D通信信道分配最优化数学模型[J].吉林大学学报(信息科学版),2024,42(06):1004-1010.

[5] Goutham N , Mishra P K .An Efficient QGA-based Model for Resource Allocation in D2D Communication for 5G-HCRAN Networks[J].IETE Journal of Research, 2024, 70(4).

[6] 宋为峰.基于DRL的UDN小区边缘的D2D联合资源优化算法研究与应用[D].北京邮电大学,2024.

[7] 刘博.基于集中控制的双频段D2D通信网络吞吐量提升研究[D].中国科学技术大学,2023.

[8] 孙琦,陈桂芬.5G中基于穷举搜索的D2D资源分配算法[J]. 计算机应用研究, 2019, 36(11): 3456-3459.

[9] 孙琦,那丹彤,韩冬.适用于超短波电台的自适应D2D资源分配算法研究[J].信息技术与信息化,2023,(05):204-207+211.

[10] 胡靖, 郑武. D2D通信蜂窝网络中的比例公平与加权和速率最大化[J]. 计算机应用, 2017, 37(5): 1321-1325.

[11] 李懿凡. 指挥控制网络节点与链路可靠性建模与评估算法研究[D].电子科技大学,2018.