

基于容量最优化的 D2D 资源分配方法的研究

宋苗苗¹, 罗汉文^{1,2}

(1. 上海师范大学 信息与机电工程学院, 上海 200234; 2. 上海交通大学 电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

摘要: D2D(Device-to-Device)通信是一种在基站的控制下,允许终端之间通过复用小区资源直接通信的新型技术.它能够增加蜂窝通信系统频谱效率,降低终端发射功率,在一定程度上解决了无线通信系统频谱资源匮乏的问题.由于在未来的移动网络中有越来越多的异构设备,一个高效的资源分配方案必须最大限度地提高系统的吞吐量,并实现更高的频谱效率.资源分配方案是在保证小区用户吞吐量的前提下,使D2D用户获得最大的吞吐量,并在文献[7]的基础上给出了一个算法来解决这个问题.通过仿真表明,算法具有较低的时间复杂度,能够有效地提高系统的吞吐量.

关键词: 蜂窝网络; D2D通信; 资源分配

中图分类号: TN 929.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5137(2015)01-0006-05

0 引言

随着移动通信的快速发展,带宽的需求也越来越大,但是可用于移动通信的频谱资源十分有限^[1].如何在有限的带宽资源中实现高速率和大容量成为世界研究的重点. D2D技术,是指两个设备不经由基站转接而直接进行数据通信的技术. D2D技术可以实现本地通信或对等的点对点通信,而无需接入核心网络,所以其能够大大减轻基站的负载.由于D2D通信的距离相对较近,故相关设备的发射功率较小,这对延长移动终端电池的使用时间有积极作用.一般而言, D2D通信工作在蜂窝网络的许可频段,其通过复用小区的频率资源可以提高整个网络的通信速率和质量. D2D通信最蜂窝网络也会产生干扰,可以通过基站对D2D通信的资源和发射功率的调整进行控制.

文献[1-6]对蜂窝通信和D2D通信的功率控制、资源分配以及模式选择做了一定的研究.文献[2]表明D2D通信技术相对于工作在非许可频段的其他技术(如蓝牙、WLAN等),能够提供干扰可控,稳定可靠的通信服务,这对QoS较高的用户是很重要的优势.文献[3]研究了蜂窝覆盖下的D2D用户多播传输问题,通过合作重传来改善通信质量,并提出了一个簇内D2D重传方案,提高了系统的吞吐量.文献[4]在保证D2D用户和蜂窝用户的服务质量(QoS)的情况下,提出了最大权重匹配算法,进而可以选择合适的D2D对,并使整个网络的吞吐量最大化.文献[5]使用几何规划的方法使整个网络的吞吐量最大化,同时保证了D2D用户的信干噪比(SINR)的最小化.文献[6]提出了在蜂窝网络覆盖下D2D用户和蜂窝用户共享频谱的协议,该协议允许D2D的用户彼此进行双向通信,而他们中的一个辅助基站和蜂窝用户之间的双向通信.

收稿日期: 2014-12-12

基金项目: 上海市教育委员会科研创新项目(12ZZ126); 上海师范大学重点学科(DZL126)

通信作者: 罗汉文, 中国上海市东川路800号, 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 邮编: 200240, E-mail: hwlw@sjtu.edu.cn.

1 系统模型

1.1 网络模型

讨论宏基站覆盖下的蜂窝用户的通信和 D2D 用户对通信的资源分配问题, 仅考虑基于 OFDMA 的小区系统, 采用频分双工模式.

所讨论的系统模型如图 1 所示, 在宏基站的覆盖下共有两种用户, 一种是蜂窝用户, 表示为 $A_m (m=1, 2, \dots, M)$, 可以与基站之间直接通信; 另一种是 D2D 对用户, 分别表示为 $D_{n,t}, D_{n,r} (n=1, 2, \dots, N)$, $D_{n,t}$ 表示 D2D 对的发送者, $D_{n,r}$ 表示 D2D 对的接收者, 令 $D_n = \{D_{n,t}, D_{n,r}\}$. D2D 对用户是点对点的直接通信, D2D 对中的用户 $D_{n,t}$ 能与基站之间交换控制信息, 但是用户 SUE 则不能, 用户 SUE 听从用户 PUE 的命令.

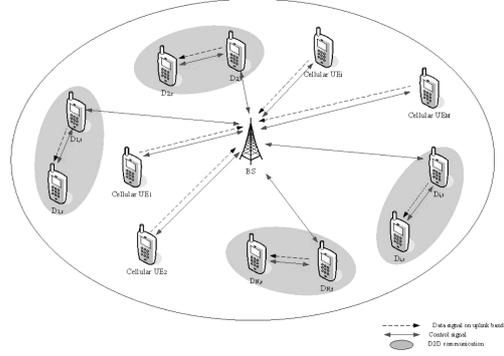


图 1 系统模型

1.2 小区用户和 D2D 用户收到的干扰

每个资源块 (RB Resource Block) 包含一定数量的子载波, 根据 3GPP LTE 中物理层的标准, 每个 RB 包括 12 个子载波. 共有 K 个 RB, 表示为 $R = \{RB_1, RB_2, \dots, RB_K\}$. 所有的 RB 只能由小区用户使用或者 D2D 对使用, 所以 RB 可以分为两类, 即小区用户专用的 RB 和 D2D 对专用的 RB.

假设基站和 D2D 对发送者的功率分别为 p_b, p_d , 基站分配给每个 RB 的发射功率相等, 则每个 RB 上的发射功率为 p_b/K . 假定 D2D 组内的每个用户与源终端之间的通信链路的信道信息相互独立, 服从准静态平坦瑞利衰落, 即在一个时隙内, 用户的信道条件保持不变, 在下一个时隙开始时, 每个用户的信道条件都会独立地变化. 设基站到 A_m 的信道增益表示为 g_{b,A_m}^k , 同样地, D2D 对中 $D_{n,t}$ 到 $D_{n,r}$, 基站到 $D_{n,r}, D_{n,t}$ 到 A_m 的信道增益可以表示为 $g_{D_{n,t}, D_{n,r}}^k, g_{b,D_{n,r}}^k, g_{D_{n,t}, A_m}^k$. 假设信道增益由大尺度衰落和频率选择性衰落决定, 其中, 大尺度衰落由两个用户之间的距离 d 以及路径损耗系数 α 决定, 瑞利随机变量 f 决定两个用户之间的小尺度衰落, 即 $h = f^2$. 假设信道增益可以表示为 $g = d^{-\alpha} h$, 则 $g_{D_{n,t}, D_{n,r}}^k = d_{D_{n,t}, D_{n,r}}^{-\alpha} h_{D_{n,t}, D_{n,r}}$, $g_{b,D_{n,r}}^k = d_{b,D_{n,r}}^{-\alpha} h_{b,D_{n,r}}$, $g_{D_{n,t}, A_m}^k = d_{D_{n,t}, A_m}^{-\alpha} h_{D_{n,t}, A_m}$. 通信系统中的噪声满足均值为 0, 方差为 σ^2 的高斯分布. 假设使用同一个 RB_k 的 D2D 对的集合为 C_k . 由于蜂窝用户与 D2D 对不能同时共享同一个 RB, 所以 D2D 对与蜂窝用户之间是没有干扰的. 小区用户 A_m 使用 RB_k 进行数据传输的时受到的信干噪比 (SINR) 表示为

$$SINR_{A_m}^k = \frac{p_b g_{b,A_m}^k}{\sigma^2}. \quad (1)$$

当 D2D 对 D_n 使用 RB_k 进行数据传输时, $D_{n,r}$ 的 SINR 表示为

$$SINR_{D_n}^k = \frac{p_b g_{D_{n,t}, D_{n,r}}^k}{\sigma^2 + \sum_{j \in C_k, j \neq n} p_d g_{D_{j,t}, D_{n,r}}^k}. \quad (2)$$

2 资源分配问题

为了合理地解决资源分配的问题, 根据 3GPP 标准化的共识, 提出了一个 RB 的资源分配方案, 在满足蜂窝用户的速率的情况下, 使 D2D 用户获得的速率最大化, 来满足 D2D 用户的需求. 所建立的模型如 (3)、(4) 所示.

$$\max \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K \frac{\beta_{n,k} W}{K} \log_2 (1 + SINR_{D_n}^k), \quad (3)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K \frac{\alpha_{m,k} W}{K} \log_2(1 + \text{SINR}_{A_m}^k) \geq R, \quad (4.1)$$

$$\sum_{m=1}^M \alpha_{m,k} \leq 1, \quad (4.2)$$

$$\sum_{k=1}^K \alpha_{m,k} \leq 1, \quad (4.3)$$

$$\sum_{n=1}^N \beta_{n,k} \leq 1. \quad (4.4)$$

其中, $\alpha_{m,k} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } RB_k \text{ 分配给 } A_m \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$, $\beta_{n,k} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } RB_k \text{ 分配给 } D_n \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$.

式(3)表示所优化的目标函数,目的是使 D2D 对所获得的速率最大化. 限制条件(4.1)保证了蜂窝用户的所需的速率. 限制条件(4.2)、(4.3)表示每个 RB 不允许 2 个或者多个蜂窝用户共享. (4.4)每个 D2D 对不能占用 2 个或者多个 RB.

为了解决这个问题,研究了基于贪心算法的资源分配方法. 具体的解决过程如算法 1 ~ 算法 3 所示.

算法 1

1. 初始化: U 为 $M * K$ 矩阵, $U(i, j)$ 表示小区用户 i 在 RB_j 上的速率,
 V 为 $1 * K$ 的全零矩阵 $i, j, m, n \leftarrow 0$.
2. for $i = 1: M$
3. $S \leftarrow 0$
4. for $j = 1: K$
5. if $U(i, j) > S$
6. $S \leftarrow U(i, j)$
7. $m \leftarrow j$
8. end if
9. $V(m) \leftarrow S$
10. end for
11. for $i^* = 1: M$
12. $U(i^*, m) \leftarrow 0$
13. end for
14. end for
15. end for
16. return V

算法 2

1. 初始化: X 表示 $N * K$ 矩阵, $X(i, j)$ 表示 PUE i 在 RB_j 上的 R ,
 V 表示 $1 * K$ 的全零矩阵 $i, j, J^* \leftarrow 0$.
2. for $i = 1: N$
3. $S \leftarrow 0$
4. for $j = 1: K$
5. if $X(i, j) > S$
6. $S \leftarrow X(i, j)$
7. $j^* \leftarrow j$

8. end if
9. end for
10. $Y(j^*) = Y(j^*) + S$
11. $j \leftarrow j + 1$
12. end for
13. return Y

算法 3

1. call algorithm 1
2. call algorithm 2
3. for $i = 1: K$
4. while $R_A < R$
5. if $V(i) \geq Y(i)$
6. $R_A \leftarrow R_A + V(i)$
7. else $R_D \leftarrow R_D + Y(i)$
8. end if
9. end while
10. $R_D \leftarrow R_D + Y(i)$
11. end for

算法 1 是挑选出用户 A 在所有 RB 上的速率的最大值,并使蜂窝用户 A 使用该 RB,其他用户不能复用该 RB. 算法 1 中的 11 ~ 13 行是把其他用户在该 RB 上的速率置为 0,保证再次循环的时候,其他用户不再使用已经被占用的 RB. 算法 2 可以实现多个 D2D 对共享同一个 RB. 在与蜂窝用户争夺 RB 时, D2D 对联合起来会获得较高的速率,从而能够成功获得 RB 的概率就越大. 算法 3 是在每个 RB 上根据蜂窝用户和 D2D 用户的速率来争夺 RB,速率大的可以获得该 RB. 当小区用户的总速率达到了其所需的速率之后,则剩余的 RB 全都给 D2D 对使用,从而满足 D2D 用户速率的最大化.

3 仿真结果

为了验证所提出方法的有效性,对该方案进行了仿真. 仿真参数是根据 LTE 系统选取的. 考虑一个独立的蜂窝小区,小区用户和 D2D 对在蜂窝小区的覆盖下随机分布. 该系统共有 20/15 个小区用户, N 个 D2D 对, D2D 对的发送者和接收者之间的距离小于 25 m. 蜂窝小区的半径为 300 m. 信道带宽为 20 MHz,一共有 30 个 RB. 基站的发射功率为 46 dBm,蜂窝用户的发射功率为 24 dBm.

RB 随机分配与所提方案的对比图如图 2 所示.

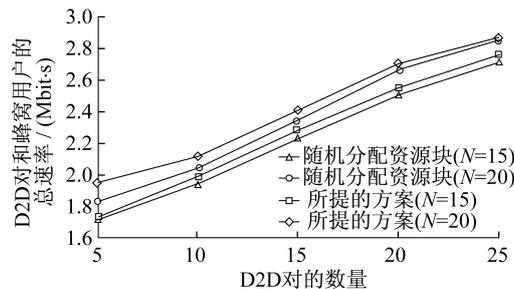


图 2 在不同方案下系统总速率对比图

由图 2 可以看出,所提的方案实现的总速率优于随机分配 RB 的总速率,且随着 D2D 对数量的增加,系统的总速率也是随之增加的. 但 D2D 对的数量不能无限增加,因为系统中引入 D2D 通信,只能作为蜂窝

通信的辅助手段,大量的 D2D 通信会对蜂窝通信产生较大的干扰,进而影响整个蜂窝网络的通信.

4 结 论

本文作者首先给出了 D2D 通信系统模型和信道模型,最优化问题的目标是在满足蜂窝用户速率的前提下,使 D2D 用户的总速率达到最大化.为了解决这个最优化问题,研究了一个基于贪心算法的资源分配方法,并对该算法进行详细的描述.通过仿真结果表明,所提出的方案在满足蜂窝用户资源的前提下,能够有效地提高系统的总吞吐量,且随着 D2D 对数量的增加,系统总的吞吐量也是随之而增加.但是由于算法的复杂度较高,需要进一步研究,从而获得更好的效益.

参考文献:

- [1] PHUNCHONGHARN P, HOSSAIN E. Resource allocation for device-to-device communications underlying LTE-advanced networks; IEEE Wireless Communications [C]. Sydney: IEEE, 2013.
- [2] DOPPLER K, RINNE M, WIJTING C. Device-to-Device communication as an underlay to LTE-advanced Networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2009, 12: 42 - 49.
- [3] ZHOU B, HU H L, HUANG S Q. Intracluster Device-to-Device relay algorithm with optimal resource utilization [J]. IEEE transactions on vehicular technology, 2013, 62(5): 2315 - 2326.
- [4] FENG D Q, WU Y Y. Device-to-Device communications underlying cellular networks [J]. IEEE Transactions on communications, August 2013, 61(8): 3541 - 3551.
- [5] TADROUS J, et al. Power control for constrained throughput maximization in spectrum shared networks; IEEE Global Telecommun conference [C]. Miami: IEEE, 2010.
- [6] YI Y P, LIANG Y C. Resource Allocation for Device-to-Device Communications Overlaying Two-Way Cellular Networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2013, 12(7): 3611 - 3621.
- [7] ZHANG R Q, et al. Distributed Resource Allocation for Device-to-Device Communications Underlying Cellular Networks; 2013 IEEE International Conference on Communications [C]. Budapest: IEEE, 2013.

Resource allocation on Device-to-Device communication with optimal capacity

SONG Miaomiao¹, LUO Hanwen^{1,2}

(1. College of Information, Mechanical and Electrical, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China;

2. Department of Electronic Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: D2D (Device-to-Device) communication is under the control of base station, allowing direct communication between the terminal reusing the cell resources. It is possible to increase the spectral efficiency of a cellular communication and to reduce the transmit power of the terminal. Due to a growing number of heterogeneous devices in the future mobile network, an efficient resource allocation scheme must maximize the throughput of the system and achieve higher spectral efficiency. This paper presents an efficient resource allocation scheme to ensure the cell user throughput premise that D2D users get maximum throughput. In addition, the proposed greedy algorithm could solve the problem of resource allocation efficiently. The simulation results show that our algorithm has a lower complexity and can improve system throughput effectively.

Key words: cellular networks; D2D communications; resource allocation

(责任编辑:包震宇)