



移动中继多播场景下的节能优化

赵季红^{1,2}, 王 元¹, 唐 睿², 张振伟², 曲 桦²

(1. 西安邮电大学通信与信息工程学院 西安 710061; 2. 西安交通大学电子与信息工程学院 西安 710049)

摘 要: 设备间通信(D2D 通信)通过复用蜂窝通信的频带资源,可以使近距离的用户直接通信,而无需通过基站进行中继。它的引入可以提升用户的服务质量,降低终端能耗,拓展小区的覆盖范围。特别的,在 CDN 场景中,可通过移动中继向请求相同业务内容的用户进行 D2D 广播传输。但是,在上述场景中,需考虑到移动终端(MT)的能耗和与蜂窝用户之间的同频干扰问题。基于此,提出了一种基于粒子群优化(PSO)算法的联合中继节点选择和功率控制机制来最小化移动中继的总能耗并同时保证两类用户的服务质量(QoS)需求得到满足。通过仿真,此方案效果得到了验证。

关键词: 移动中继; D2D 多播; 节能; 服务质量; 中继节点选择; 功率控制; 粒子群优化

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015109

Energy Saving Optimization for Mobile Relays in Multicast Transmission Underlying Cellular Network

Zhao Jihong^{1,2}, Wang Yuan¹, Tang Rui², Zhang Zhenwei², Qu Hua²

(1. School of Telecommunication and Information Engineering, Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an 710061, China; 2. School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Device-to-device(D2D) communication enables direct data transmission between mobile terminals (MT) in proximity by reusing the frequency of traditional cellular network. It is capable to improve individual quality of service (QoS), reduce MT's energy consumption and expand cell coverage. Particularly, when multiple MT request the same content of service at cell edge, some MT in their vicinity could relay the data to them by means of D2D multicast transmission. However, due to the limited battery lifetime of MT and spectral reusing between D2D and cellular communications, relay node selection and power control are two key techniques needed to be addressed. A particle swarm optimization based scheme to minimize the sum power consumption of mobile relays while guarantee the individual QoS requirement by incorporating both relay node selection and power control was proposed. The efficacy of our scheme was extensively verified through numerical results.

Key words: mobile relay, D2D multicast, energy saving, quality of service, relay node selection, power control, particle swarm optimization

收稿日期:2015-01-13;修回日期:2015-04-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No.61371087),“新一代宽带无线移动通信”国家重大专项基金资助项目(No.2013ZX0302010-003)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61371087), A New Generation of Broadband Wireless Mobile Communication National Science and Technology Major Projects (No. 2013ZX0302010-003)

论文引用格式:赵季红,王元,唐睿等. 移动中继多播场景下的节能优化. 电信科学, 2015109

Zhao J H, Wang Y, Tang R, *et al.* Energy saving optimization for mobile relays in multicast transmission underlying cellular network. Telecommunications Science, 2015109

1 引言

无线通信技术的迅猛发展,各种无线应用业务的不断涌现给蜂窝网络带来了商机,但同时也带来了压力。移动终端数量的迅速增加和用户对数据传输速率的要求越来越高,导致可用的无线频谱资源短缺问题更加严重。为了应对挑战、解决问题,D2D 通信应运而生。

D2D 通信是一种新型的通信模式,允许 MT(mobile terminal, 移动终端)之间通过复用无线蜂窝网络的频带资源直接进行通信,而不需要通过基站进行中继。它的引入可以大幅度地提升系统的频谱利用率和用户的服务质量,降低用户终端的发射功率和基站的处理负荷,增加小区的通信范围,并且可以支持新的应用需求。此外,基于 D2D 通信的移动中继技术也受到了越来越多的关注,特别是将其应用于通过移动中继向周围用户广播相同请求内容的场景,即内容分发网络场景,可以大幅降低系统对于相同信息的传输负荷,并能够有效改善小区边缘用户的服务感受。

对于内容分发网络场景,有一些参考文献已经分别从中继选择的过程、优化目标、优化方法等方面进行了研究。从中继选择过程看,参考文献[2,3]提出了一种联盟方案,但其计算太过复杂;参考文献[4]采用遍历的算法,但计算量太大,尤其当用户数目变大时,计算不太可能实现。从优化目标来看,参考文献[5,6]分别以资源的能效性和传输时间为目标,但是,由于中继是由电池驱动、电量受限,而且它为其他的用户无偿地提供数据传送的服务时,电量消耗过多,对其很不公平,所以尽可能地减少终端能耗是考虑的重点。从优化方法来看,参考文献[4]和参考文献[6]都是仅仅通过对中继的选择来优化,而没有考虑到发射功率对性能的影响,参考文献[7,8]说明了通过功率控制可以很好地提高系统的能效。另外,由于 D2D 通信与蜂窝用户重用信道资源,这里就必然造成蜂窝用户和 D2D 用户之间的跨层干扰问题。但是,上述前 4 个文献并没有考虑到干扰问题,使得 D2D 通信带来的好处被大大抵消了。

基于以上的分析,本文提出了一种联合中继节点选择(relay node selection, RNS)和功率控制(power control, PC)的优化方案来最小化系统的能耗,同时保证蜂窝用户和 D2D 请求用户的 QoS。整个优化过程分为两个层次:RNS 和 PC。在 RNS 层使用 PSO 算法,通过改变粒子的位置和速度,实现适应度值的最大化;在 PC 层,确定每个中继的

发射功率,从而得到相应粒子的适应度值并反馈给 RNS 层。通过 RNS 层和 PC 层之间的交互过程,最终得到了联合的优化方案。最后通过仿真,验证了此方案在能耗上取得了较好的效果,并观察了算法随着中继个数、D2D 请求用户数量和最小接收信噪比等影响因素时能耗的变化。

2 系统模型和问题制定

2.1 系统模型

这里考虑单小区的场景,其中包含 3 类用户,分别是传统蜂窝用户(cellular user, CU)、请求相同服务内容的 D2D 请求用户(D2D requester, DR)和存储着服务内容的中继用户(relay user, RU)。并分别用 C 、 R 和 D 来表示 CU、RU 和 DR 的集合, $| \cdot |$ 表示集合元素的个数。这里,每个 DR 选择接入一个 RU 形成多个集群,并由 RU 将服务内容广播给其集群内的 DR,其中集群的下标与集群中的 RU 下标相同。为了避免 RU 对 CU 造成严重的干扰和提高上行信道资源的利用率,本研究内容仅考虑 RU 复用 CU 上行信道资源的情况,假设 CU 的信道资源已分配完全且相互正交, RU 与 CU 之间的复用关系确定,且单个 RU 仅能使用单个信道资源,单个信道资源仅能被单个 RU 使用。因此各个 DR 和 CU 会受到彼此发射端的干扰。场景模型如图 1 所示。

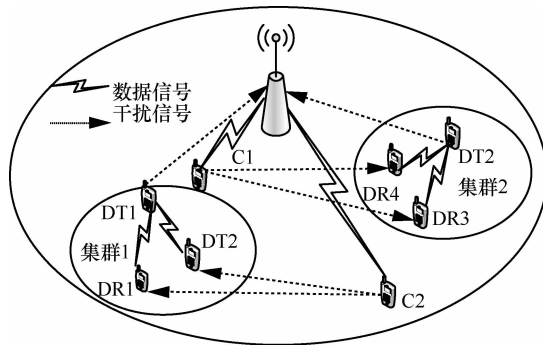


图 1 场景模型

2.2 问题制定

根据不同的应用,每个通信用户都有一定的 QoS 需求,在此通过信干噪比(SINR)反映。为了方便理解,以一个集群为例说明,假设在集群 j 中, RU_j 和 CU_n 复用相同信道资源, Θ_j 表示集群 j 内 DR 的集合,则 CU_n 和集群 j 内的 DR_i 的 SINR 如下:

$$\gamma_n^C = \frac{G_n^C P_n^C}{G_j^D P_j^D + \sigma_n^C}, \forall n \in C \quad (1)$$



$$\gamma_i^D = \frac{G_{i,j}^{\text{DR}} P_j^R}{G_{i,n}^{\text{CR}} P_n^C + \sigma_i^D}, \forall i \in \Theta_j \quad (2)$$

这里, P_n^C 和 P_j^R 分别表示 CU_n 和 RU_j 的发射功率, G_n^C 和 G_j^D 分别表示 CU_n 和 RU_j 到基站的增益, $G_{i,j}^{\text{DR}}$ 和 $G_{i,n}^{\text{CR}}$ 分别表示集群 j 内的 DR 成员 i 到 RU_j 和 CU_n 的增益, σ_n^C 和 σ_i^D 分别表示 CU 和 DR 的背景噪声。目标是在保证 CU 和 DR 最低 QoS 需求和发射功率不超过阈值的条件下来最小化系统中 RU 的能耗, 这里的能耗用功率消耗衡量, 可以构建优化问题如下。

$$\begin{aligned} & \underset{P_j, \Theta_j}{\text{minimize}} \sum_{j=1}^{|R|} \alpha_j \cdot P_j^R & (a) \\ & \alpha_j = \{0, 1\}, j \in R & (b) \\ & \gamma_n^C \geq \gamma_{\min}^C, n \in C & (c) \\ & \text{s.t. } \gamma_i^D \geq \gamma_{\min}^D, \forall i \in \Theta_j, j \in R & (d) \\ & 0 \leq P_n^C \leq P_{\max}^C, n \in C & (e) \\ & 0 \leq P_j^R \leq P_{\max}^D, j \in R & (f) \end{aligned} \quad (3)$$

其中, α_j 表示 RU_j 中是否有 DR 接入, 即 Θ_j 是否为空集, 若为空集, 则 $\alpha_j=0$, 否则, $\alpha_j=1$ 。限制条件(c)和(d)分别表示 CU 和 DR 用户的 SINR 需大于或等于最小限制 $\gamma_{\min}^C$ 和 $\gamma_{\min}^D$, 条件(e)和(f)分别表示 CU 和 RU 的发射功率不超过 $P_{\max}^C$ 和 $P_{\max}^D$ 。

3 联合 RNS 和 PC

3.1 联合方案的结构

上述优化问题(3)是一个混合的整数非线性规划, 复杂度较高。因此提出了一个联合优化结构简化上述问题, 优

化方案分为 PC 和 RNS 两部分, 具体的联合方案如图 2 所示。在 RNS 部分使用 PSO 算法优化中继的选择。具体来说, 首先把适应度函数设定为优化的目标函数, 即系统的能耗, 之后借助 PSO 算法鸟群觅食的特性来改变粒子的位置和速度, 并朝最优粒子变化; 而针对 PSO 算法中每个确定的粒子, 其适应度值是 PC 部分的优化结果。PC 部分在保证 DR 的 QoS 的前提下确定每个 RU 的发射功率, 继而得到 RNS 部分给定粒子的适应度值并反馈给 RNS 部分, 保证其后续操作。最终获得最优的粒子, 即最优的中继选择方案。

3.2 PC 层

3.2.1 筛选机制

为了解决问题(3), 本文先引入了一个筛选机制, 得到满足限制条件的可能解, 也就是 PSO 算法中粒子的所有可能的位置值, 简化 PSO 算法的过程。筛选过程如下。

步骤 1 当 DR_i 接入 RU_j 且 RU_j 和 CU_n 复用相同信道资源, 在满足 DR_i 和 CU_n 的最小 SINR 时, 根据问题(3)中的限制条件(c)和(d)得到 RU_j 的发射功率的范围是:

$$\frac{\gamma_{\min}^D (G_{i,n}^{\text{CR}} P_n^C + \sigma_i^D)}{G_{j,i}^{\text{DR}}} \leq P_{j,i}^R \leq \frac{P_n^C G_n^C / \gamma_{\min}^C - \sigma_n^C}{G_j^R} \quad (4)$$

这里, CU_n 的发射功率 P_n^C 是确定的, 式(4)左边表示 DR 在满足最小信噪比 $\gamma_{\min}^D$ 时 RU 的发射功率, 右边表示 CU 在满足最小信噪比 $\gamma_{\min}^C$ 时 RU 的发射功率。

步骤 2 根据式(3)中的功率限制条件(e)和(f), 判断上述发射功率范围是否满足限制条件。若 $\frac{\gamma_{\min}^D (G_{i,n}^{\text{CR}} P_n^C + \sigma_i^D)}{G_{j,i}^{\text{DR}}} \leq P_{\max}^D$,

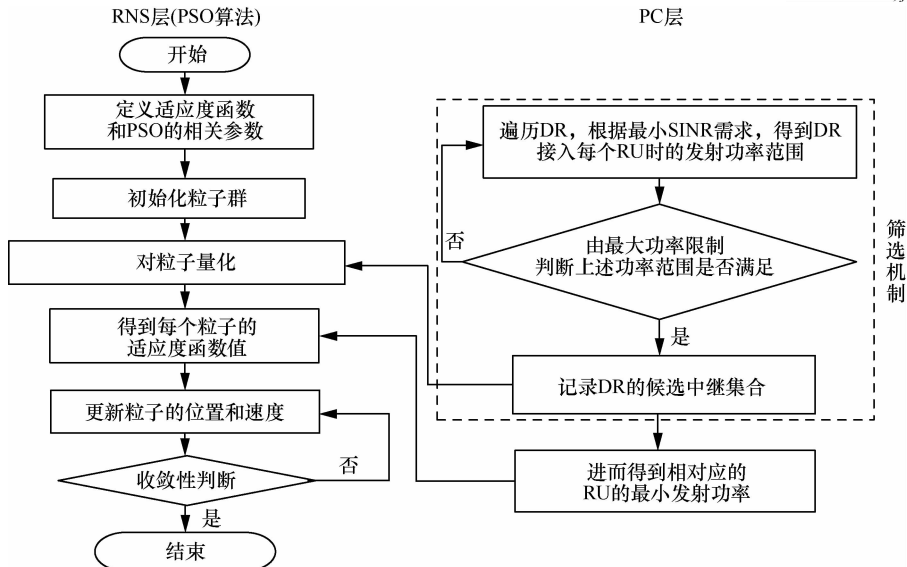


图2 联合优化方案结构

则将 RU_j 可看作 DR_i 的候选中继, 并得到此时 RU_j 的最小发射功率值 $P_{j,i}^R = \frac{\gamma_{\min}^D (G_{i,n}^{CR} P_n^C + \sigma_i^D)}{G_{j,i}^{DR}}$, 否则, RU_j 不满足 DR_i 的接入条件。

步骤 3 重复步骤 1 和步骤 2, 直到所有 DR 找到各自的候选 RU 集合 $D_i, \forall i \in D$ 。

3.2.2 中继节点的功率控制

PC 部分是在 RNS 部分给定粒子大小, 即在给定中继选择方案的基础上, 优化 RU 的发射功率使得系统能耗最小。假设在集群 j 内, RU_j 使用广播的方式对集群内成员 DR 发送数据。为了使集群 j 内的每个 DR 满足最小的 QoS, RU 的发射功率以信道质量最差用户为准。当集群内最差用户的 SINR 等于最小值 $\gamma_{\min}^D$ 时, 集群内其他成员的 SINR 一定大于或等于 $\gamma_{\min}^D$ 。可得 RU_j 的最小发射功率值, 如式(5)所示。

$$P_j^R = \max(P_{j,i}^R), \forall i \in \mathcal{O}_j \quad (5)$$

式(5)中 $\max$ 的作用是得到集群 j 中信道质量最差用户所需的 RU_j 发射功率值。

3.3 中继节点选择算法

RNS 部分借助 PSO 算法, 首先把 PC 部分优化的结果作为粒子的适应度值, 然后对粒子的位置和速度进行更新, 最后经过粒子群的不断进化来获得最佳的中继选择方案。PSO 算法最开始源于对鸟群觅食行为的研究, 在 PSO 算法中, 每个优化问题的潜在解都可以想象成搜索空间的一个点, 称为“粒子”, 所有的粒子都有一个被目标函数决定的适应值, 每个粒子还有一个速度来决定它们飞行的方向和距离, 之后粒子们就追随当前的最优粒子在解空间中自由搜索。接下来, 将逐步介绍基于 PSO 算法的 RNS 机制。

(1) 初始化粒子群

初始化一个大小为 $N_{\text{swarm}} \times (2 \times |D| + 1)$ 的矩阵, 其元素值设为 $(0, |R|)$ 之间的一个随机值。其中, N_{swarm} 是粒子群中设定的粒子个数, $|D|$ 为 DR 的数量。每个粒子前 $|D|$ 列代表粒子的位置矢量, 分别表示每个 DR 选择的 RU 的下标值, 最后一列代表粒子的适应度值, 即所消耗的功率值, 其他列分别代表各个粒子的速度矢量。其中第 k 个粒子的向量表示如下: $X_k = [x_k^1, \dots, x_k^i, \dots, x_k^{|D|}, x_k^{|D|+1}, \dots, x_k^{|D|+i}, \dots, x_k^{2|D|}, x_k^{2|D|+1}]$ 。

(2) 粒子的量化以及适应度值的计算

将粒子的前 $|D|$ 列值进行量化, 因为其代表的是 DR 要接入的 RU 下标, 需将其连续值转化为实际值。由筛选机

制, 得出了每个 DR 的候选 RU 集合 $D_i, \forall i \in D$ 。可得到其量化计算式如下:

$$Q(x_k^i) = \arg \min(|D_{i,j} - x_k^i|), \forall D_{i,j} \in D_i \quad (6)$$

这里 $D_{i,j}$ 指集合 D_i 中的元素, 即 DR_i 的候选 RU 的下标值。量化过程是将粒子的连续位置值与它所对应的所有候选 RU 下标值进行比较, 距离连续值最近的下标值就是最终的量化值。此外, 粒子的适应度值是通过 PC 部分优化得到的最小功耗。

(3) 粒子的速度和位置的更新

粒子的位置和速度的更新计算式如下:

$$\begin{aligned} V_m^{t+1} &= wV_m^t + r_1c_1(P_m^t - X_m^t) + r_2c_2(G^t - X_m^t) \\ X_k^{t+1} &= X_k^t + rV_k^{t+1} \end{aligned} \quad (7)$$

其中 w 是保持原来速度的系数, 叫做惯性权重。 c_1 和 c_2 分别是粒子跟踪自己的历史最优值和群体最优值的权重系数, 通常都设置为 2。 r_1 和 r_2 是在 $[0, 1]$ 区间均匀分布的随机数。 V_k^t 和 X_k^t 代表第 k 个粒子在迭代次数 t 时的速度和位置。 P_k^t 和 G^t 分别代表第 k 个粒子在跟踪自己的历史最优值和群体的全局最优值时的位置值。 r 是对位置更新的时候, 在速度前面加一个系数, 叫做约束因子, 通常设置为 1。

(4) 收敛性判别

判断迭代次数是否满足 PSO 算法设置的次数, 若满足, 则结束; 否则转到步骤(3)。

4 仿真结果

为了验证所提联合方案的性能, 将其和随机算法和贪婪算法两种方案进行了对比。随机算法是每个 DR 在各自的候选 RU 集合随机接入一个中继。贪婪算法是每一个 DR 在各自的候选 RU 集合中选择接入一个信道质量最好的 RU, 本文算法是从总体上考虑, 使得所有 RU 的功耗最小。这里主要对贪婪算法和本文算法进行了分析。通过单次拓扑图, 可以直接观察到本文算法与贪婪算法的不同之处, 并根据具体的结果进行分析, 从而发现本文算法的优势以及使功耗减少的原因。平均拓扑图虽然并不能详细地观察到算法之间的不同, 但可以在整体上说明本文算法比贪婪算法更好, 并且可以观察到功耗与其他变量之间的关系。仿真过程中用到的一些参数见表 1, 一些参数值参照了 3GPP 中 TS36.213 文档中的上行功率控制部分。

4.1 单次拓扑

这里考虑的是一个单小区, 将其分为中心和边缘两部分。



表 1 仿真参数

参数	设置
小区半径	300 m
天线模型	全向型
天线增益	BS/用户:14/0 dB
功率限制	CU/DU:23/17 dBm
CU 发射功率	$\min\{P_{\text{max}}^{\text{CU}}, P_{\text{CU}} + \lg M + \alpha HL\}$ (开环部分功率控制)
噪声的功率谱密度	-174 dBm/Hz
噪声系数	用户/BS:9/5 dB
信道带宽	180 kHz
蜂窝链路和 D2D PL_c	$128.1 + 37.6 \lg(d[\text{km}])$
链路路径损耗模型	$PL_d = 148.0 + 40.0 \lg(d[\text{km}])$

假设小区是一个半径为 300 m 的圆形区域。中心部分是半径从 0 到 250 m 的圆形区域内,剩下的圆环部分称为边缘部分。并分别将 6 个 CU 和 7 个 DR 随机分布在中心和边缘部分,6 个 RU 均匀分布在中心和边缘部分的交界处,如图 3 所示。利用 MATLAB 仿真之后的结果见表 2 和表 3。

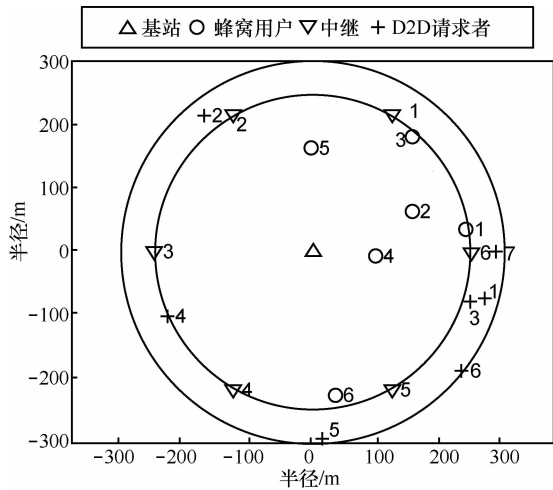


图 3 单拓扑

表 2 中继选择过程

DR 的下标	1	2	3	4	5	6	7
候选 RU 集合	6	2	6	3,4	4,5	[]	6
贪婪算法接入 RU 下标	6	2	6	3	5	[]	6
本算法接入 RU 下标	6	2	6	4	4	[]	6

表 3 中继功耗

RU 下标	贪婪算法对应 RU 功耗/mW	本算法对应 RU 功耗/mW
2	0.489 3	0.489 3
3	15.503 9	0
4	0	29.135 6
5	20.786 0	0
6	17.109 0	17.109 0
总的功耗/mW	53.888 2	46.733 9

由表 2 和表 3 可知,有些 DR 的候选 RU 集合是空集,说明没有 RU 满足接入条件。另外,可以发现贪婪算法和本文算法的区别是 DR 用户 4 和 5 选择的 RU 不同。DR 用户 4 和 5 的候选 RU 集合分别是{3,4}、{4,5},在贪婪算法中 DR 用户 4 和 5 分别选择各自最佳的 RU 3 和 5,发射功率分别为 15.503 9 mW 和 20.786 0 mW,总的功率消耗是 36.289 9 mW。但是本文算法中 DR 用户 4 和 5 接入它共同的候选 RU4 中,最后的发射功率是 29.135 6 mW。可以看到,虽然本文算法选择接入的 RU 并不是距离各自 DR 的最好的 RU,但是通过接入一个共同的 RU,减少了 RU 的数量,使得最终的发射功率减少了 7.154 3 mW。

4.2 平均拓扑

为了观察系统功率消耗与 DR 数量,RU 数量和用户最小 SINR 门限之间的关系,笔者进行了 300 次拓扑的平均来得到最后的仿真结果,可以看到,本文算法的功率消耗值与其他两种算法比较一直最小。

图 4 描述的是 DR 数量和功耗的关系。从图 4(b)可以看到,随着 DR 数量的增多,允许接入 RU 中的平均 DR 数量也增多,使得功耗会变大。另外,由于可接入 RU 的 DR 个数增多,使集群中最差用户的信道质量更差,造成 RU 的发射功率增大。所以,可以看到这两种因素同时使得功耗增大。

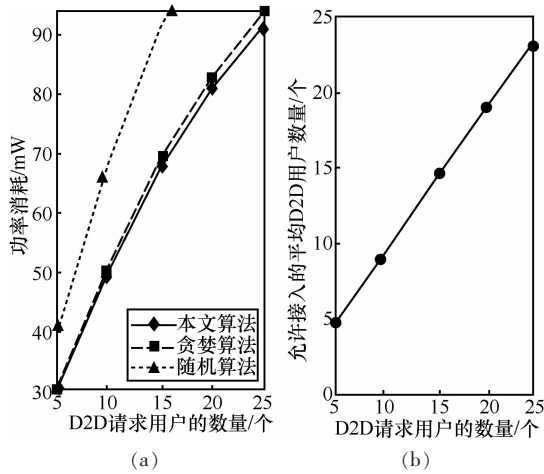


图 4 D2D 请求用户数量变化的性能比较

图 5 描述的是 RU 数量和功耗的关系。由图 5(b)可以看出,随着 RU 数量的增多,允许接入 RU 中的 DR 数量增多,使功耗变大。但是,此时 DR 拥有更大的概率选择接入信道质量更好的 RU 中,减少了中继的发射功率。这两个因素相互矛盾,因此,功耗的变化与两个因素中的主导作用有关。当功耗变大时,允许接入的 DR 数量的增多占了

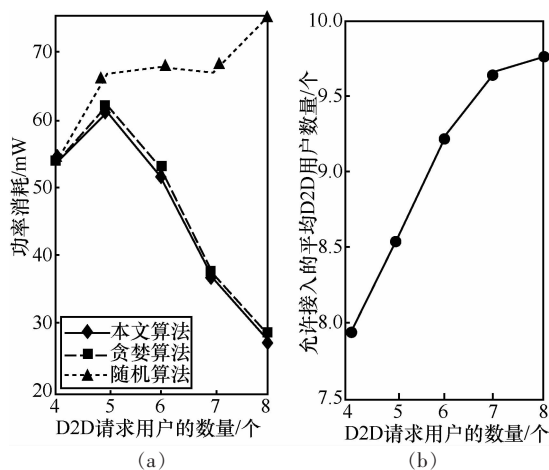


图5 中继数量变化时的性能比较

主导地位,否则,最差用户到RU的信道质量变好,从而使中继的发射功率减少占了主导地位。

图6描述的是DR的最小SINR门限值与功耗的关系。随着最小SINR的增大,允许接入的DR数量减少,使得功耗减少。但是由于SINR变大,RU的发射功率也随之增大,因此功耗会增多。可以看到,影响功耗的因素互相矛盾,功耗值的变化与两者中的主导因素有关,当功耗变大时,发射功率变大是主要因素,功耗变小时,允许接入的DR数量减少是主要因素。此外,在SINR变得较大时,3种算法的结果基本完全相同,造成这一结果的原因是,由于SINR很大,每个DR的候选RU集合越来越小,集合中的元素只有一个或为空,使得本文算法与贪婪算法在RNS上没有区别。

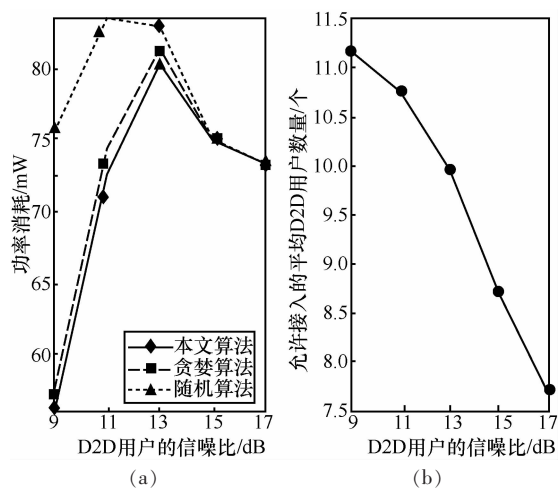


图6 D2D用户信噪比变化时的性能比较

5 结束语

针对内容分发的网络场景,本文提出了一种联合RNS和PC的方案来最小化系统能耗,并同时保证蜂窝和D2D

通信两类用户的最低QoS需求。在本文的方案中,RNS部分采用PSO算法,针对PSO算法中每个粒子的适应度值,通过PC部分使其适应度值最大并同时反馈给RNS层,直至得到一个最佳的粒子。通过仿真验证了联合方案在能耗方面和随机算法相比有明显优势。

然而,在本文中,没有考虑中继的信道分配过程,系统性能没有达到最优,所以,在接下来的研究中,会联合信道分配来进一步地优化系统能耗,从而得到更满意的性能。

参考文献

- 1 3GPP TR36.836 V2.0.2. Mobile Relay for E-UTRA, 2013
- 2 Yaacoub E, Ghazzai H, Alouini M S, *et al.* Achieving energy efficiency in LTE with joint D2D communications and green networking techniques. Proceedings of IEEE the 9th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, Sardinia, Italy, 2013: 270~275
- 3 Yaacoub E, Kubbar O. Energy-efficient device-to-device communications in LTE public safety network. IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), 2012: 391~395
- 4 Yaacoub E, Al-Kanj L, Dawy Z, *et al.* A utility minimization approach for energy-aware cooperative content distribution with fairness constraints. Transactions on Emerging Telecommunications Technologies, 2012, 23(4): 378~392
- 5 Zhou B, Hu H, Huang S, *et al.* Intracuster device-to-device relay algorithm with optimal resource utilization. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2013, 62(5): 2315~2326
- 6 Peng B, Peng T, Liu Z, *et al.* Cluster-based multicast transmission for device-to-device (D2D) communication. Proceedings of IEEE the 78th Vehicular Technology Conference (VTC Fall), Las Vegas, USA, 2013
- 7 Wen S, Zhu X, Lin Z, *et al.* Energy efficient power allocation schemes for device-to-device (D2D) communication. Proceedings of IEEE the 78th Vehicular Technology Conference (VTC Fall), Las Vegas, USA, 2013
- 8 Tang R, Zhao J, Qu H. Distributed power control for energy conservation in hybrid cellular network with device-to-device communication. China Communications, 2014, 11(3): 27~39

[作者简介]



赵季红,女,博士,西安邮电大学教授、西安交通大学教授/博士生导师,主要研究方向为宽带通信网、新一代网络的管理与控制。

(2015109-7 接排在 2015100-9 后)



8 结束语

效用挖掘是融合多源的大数据进行综合分析的一种通用方法,其挖掘效果显著地不同于频繁模式挖掘,但是遇到效率与可伸缩性难题。为此,本文提出大数据中发现效用模式的快速单阶段挖掘算法 SPUP,采用稀疏矩阵表达法保存事务记录的完整效用信息,无须多次扫描数据库,直接挖掘高效用模式;提出前缀生长策略和评估模式效用上限值的方法,能有效地剪裁搜索空间。实验表明,SPUP 算法的效率高于现有算法 5 倍以上,内存开销减少 20%~60%,可伸缩性高。

参考文献

- 1 Ahmed C F, Tanbeer S K, Jeong B S, *et al.* Efficient tree structures for high utility pattern mining in incremental databases. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2009, 21 (12): 1708~1721
- 2 Erwin A, Gopalan R P, Achuthan N R. Efficient mining of high utility itemsets from large datasets. *Proceedings of PAKDD*, Osaka, Japan, 2008
- 3 Li Y C, Yeh J S, Chang C C. Isolated items discarding strategy for discovering high utility itemsets. *Data & Knowledge Engineering*, 2008, 64(1): 98~217
- 4 Liu Y, Liao W, Choudhary A. A fast high utility itemsets mining algorithm. *Proceedings of the Utility-Based Data Mining Workshop in Conjunction With the 11th ACM SIGKDD*, Chicago, Illinois, USA, 2005
- 5 Tseng V S, Shie B E, Wu C W, *et al.* Efficient algorithms for mining high utility itemsets from transactional databases. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2013, 25 (8): 1772~1786
- 6 Yen S J, Lee Y S. Mining high utility quantitative association rules. *Proceeding of the 9th International Conference on Data Warehousing and Knowledge Discovery*, Regensburg, Germany, 2007
- 7 Yao H, Hamilton H J, Geng L. A unified framework for utility-based measures for mining itemsets. *Proceedings of ACM SIGKDD the 2nd Workshop on Utility-Based Data Mining*, Philadelphia, PA, USA, 2006
- 8 Agrawal R, Srikant R. Fast algorithms for mining association rules. *Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Databases*, Santiago, Chile, 1994
- 9 Han J, Pei J, Yin Y. Mining frequent patterns without candidate generation. *Proceedings of ACM SIGMOD conference*, Dallas, USA, 2000
- 10 Liu J, Pan Y. An efficient algorithm for mining closed itemsets. *Journal of Zhejiang University Science*, 2004, 5(1): 8~15
- 11 Liu J, Pan Y, Wang K, *et al.* Mining frequent item sets by opportunistic projection. *Proceedings of SIGKDD*, Edmonton, Canada, 2002
- 12 Shie B E, Cheng J H, Chuang K T, *et al.* A one-phase method for mining high utility mobile sequential patterns in mobile commerce environments. *Proceedings of IEA/AIE12*, Dalian, China, 2012
- 13 Wu C W, Lin Y F, Yu P S, *et al.* Mining high utility episodes in complex event sequences. *Proceedings of the 19th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, Chicago Illinois, USA, 2013
- 14 Wu C W, Shie B E, Tseng V S, *et al.* Mining top-*K* high utility itemsets. *Proceedings of SIG KDD*, Beijing, China, 2012
- 15 Liu M, Qu J. Mining high utility itemsets without candidate generation. *Proceedings of CIKM*, Maui, HI, USA, 2012

[作者简介]



刘君强,男,博士,浙江工商大学教授,主要研究方向为大数据分析 with 云计算、网络信息安全与隐私保护、信息管理与软件工程。

周青峰,男,浙江工商大学硕士生,主要研究方向为大数据分析 with 云计算、数据挖掘、Web Services。

王文慧,女,浙江水利水电学院讲师,主要研究方向为数据挖掘、机器学习、复杂系统建模与控制。

时磊,男,博士,浙江工商大学讲师,主要研究方向为无线传感器网络、Ad Hoc 网络。

2015100-9

(上接 2015109-6)

王元,女,西安邮电大学硕士生,主要研究方向为 D2D 通信和异构网。

唐睿,男,西安交通大学博士生,主要研究方向为 D2D 通信和异构网。

张振伟,男,西安交通大学博士生,主要研究方向为 D2D 通信和异构网。

曲桦,男,博士,西安交通大学教授,博士生导师,主要研究方向为现代通信网、计算机通信网、计算机网络体系结构。

2015109-7