

基于负载均衡的中继选择和频谱转移联合优化策略

黄博, 方旭明, 陈煜, 黄高勇

(西南交通大学 信息编码与传输四川省重点实验室, 四川 成都 610031)

摘 要: 针对负载失衡或热点覆盖无线中继网络, 提出一种基于负载均衡的自适应中继选择和频谱转移联合优化策略。定义了一种衡量一个站点对周围同频站点干扰程度的干扰容量, 为某站点对其他站点的干扰提供了量化分析指标。当用户申请接入时, 首先根据各条链路的信道状况选择首选接入站点和备选接入站点, 当首选接入站点负载过重而无足够资源使其接入时, 对接入备选站点和与首选站点同扇区的其他站点向首选站点进行频谱转移的性能进行比较, 选择一种维持系统性能较好的方式接入。仿真结果表明, 所提算法在中心小区的频谱效率和阻塞率都优于单一的基于负载均衡的中继选择策略和单一的基于负载均衡的频谱转移策略, 并且平均干扰容量也最低, 对周围小区的系统性能影响较小。

关键词: 多跳中继; 负载均衡; 中继选择; 频谱转移

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2014)06-0132-07

Load balance based relay selection and spectrum transition joint scheme

HUANG Bo, FANG Xu-ming, CHEN Yu, HUANG Gao-yong

(Key Lab of Information Coding and Transmission, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: For load imbalance or hotspot coverage wireless relay network, an adaptive load balance relay selection and spectrum transition joint scheme was proposed. An interference capacity of the stations was also proposed, which reflects the interference to the surrounding co-channel stations. The interference capacity provides a quantitative interference metric to the surrounding stations on the capacity of the system. When a user requires to access the system, the system chooses a preferred access station and an alternative access station for the user according to the channel quality. If the preferred access station is overloaded and does not have enough resources for the user, the performance between accessing to the alternative station and accessing to the preferred station with spectrum transition from other stations in the same sector were compared, and a better way was chosen to maintain the good system performance. The simulation results show that the spectrum efficiency and blocking probability of the proposed scheme in the center cell are superior to that of the independent relay selection scheme and the independent load balance based spectrum transition scheme, and the average interference capacity of the proposed scheme is the lowest, which has less impact on the performance of the surrounding stations.

Key words: relay network; load balance; relay selection; frequency transition

1 引言

无线通信网络中, 中继技术能够以低成本提供更广泛的信号覆盖, 并提高小区边缘用户服务质

量, 已经成为近些年无线通信的研究热点^[1-3]。

由于用户分布不均匀或速率分布不均匀导致的负载失衡和热点覆盖, 严重影响着整个通信系统的性能。传统蜂窝网络中, 一般靠切换来解决负载

收稿日期: 2013-04-10; 修回日期: 2013-07-17

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)基金资助项目(2012CB316100); 国家自然科学基金资助项目(61071108); 中央高校基本科研业务费专项资金青年教师百人计划基金资助项目(SWJTU2011BR065EM)

Foundation Items: The National Basic Research and Development Program of China (973 Program) (2012CB316100); The National Natural Science Foundation of China(61071108); The Fundamental Research Funds for the Central Universities(SWJTU2011BR065EM)

失衡，即把负载过重的站点的部分用户切换到相邻的负载较轻的站点。而在中继网络中，除了小区间的负载失衡，还存在小区内各个中继站点间的负载失衡，中继网络中保证负载均衡的方法一般是在中继站点的选择过程中考虑，即如果用户选择接入的站点负载过重，则放弃用户的首选接入站点而选择负载较轻的站点^[4-6]。这种方法虽然解决了负载失衡，但由于备选接入的站点与用户间路径的链路质量较首选路径差，系统资源并不能有效利用。而且，接入备选站点势必需要通过增加带宽或提高功率谱密度来保证用户的服务质量，这又将增大对同小区和相邻小区的同频干扰。另一种解决负载失衡的方法是动态的频谱规划，即频谱资源动态的从负载较轻的站点转移到负载过重的站点，用户可以依然选择链路质量较好的负载过重的站点接入^[7-10]。这种方法避免了接入站点与用户间链路质量的下降，用户将选择链路质量最好的站点接入，但是由于频谱需要进行动态规划，将增加系统的信令开销。另外，频谱转移虽然不需要通过提高任何站点的功率谱密度或增加带宽来保证服务质量，但改变已经规划好的频谱复用方式也会造成更大的干扰。不同于现有文献采用单一的方式应对负载失衡问题，本文针对用户分布不均匀或速率分布不均匀导致的热点覆盖和负载失衡，综合考虑各链路信道质量和干扰情况，进行自适应中继选择和频谱转移的协调。用户申请接入时，首先根据各条链路的信道状况选择首选接入站点和备选接入站点，当首选接入站点负载过重而无足够资源使其接入时，综合比较接入备选站点和从同扇区的其他站点向首选站点进行频谱转移的系统性能，选择一种维持系统性能较好的方式接入。本文的主要贡献包括：1) 定义一种

站点干扰容量，即体现一个站点对周围同频站点的干扰情况，为某站点对其他站点的干扰提供了量化衡量指标；2) 针对热点覆盖和负载失衡中继网络，综合考虑各链路信道质量和干扰情况，提出了一种解决负载失衡问题的中继选择和频谱转移联合优化策略，较单一的解决方式提高系统的性能。仿真和分析结果表明，所提算法在中心小区的频谱效率和阻塞率都优于单一的基于负载均衡的中继选择策略和单一的基于负载均衡的频谱转移策略，并且对周围小区的平均干扰容量也是最低，表明对周围小区的系统性能影响较小。

2 系统模型

本文所研究的小区模型^[11,12]如图 1 所示，小区基站(BS, base station)在小区中心位置，小区分成 3 个扇区，每个扇区周围均匀布置 2 个固定中继站(RS, relay station)。移动站(MS, mobile station)可以与 BS 直接通信，也可以通过 RS 中继转发与 BS 两跳链路通信。本文考虑下行场景，下行子帧 (downlink subframe) 结构如图 1 所示。将一个下行子帧分成 2 个时隙 (slot)，2 个时隙在时域上平分一个下行子帧。第 1 个时隙为中继域，用于 BS 到 MS 的直传链路和 BS 到 RS 的中继链路；第 2 个时隙为接入域，用于 BS 到 MS 的直传链路和 RS 到 MS 的接入链路。频谱复用结构采用文献[11,12]所述，在中继域，RS 处于接收状态，BS 使用全部频谱资源 N 与 RS 和 MS 通信。在第 2 个时隙，全部频谱 N 被分为 3 个正交的子集 N_1 、 N_2 、 N_3 ，在每个扇区，BS 和 RS 分别使用 3 个正交子集的子载波与用户通信，如图 1 所示，在扇区 1，BS 使用频谱资源 N_1 与 MS 通信，RS₁、RS₂ 分别使用频谱资源 N_2 、 N_3 与 MS 通信。

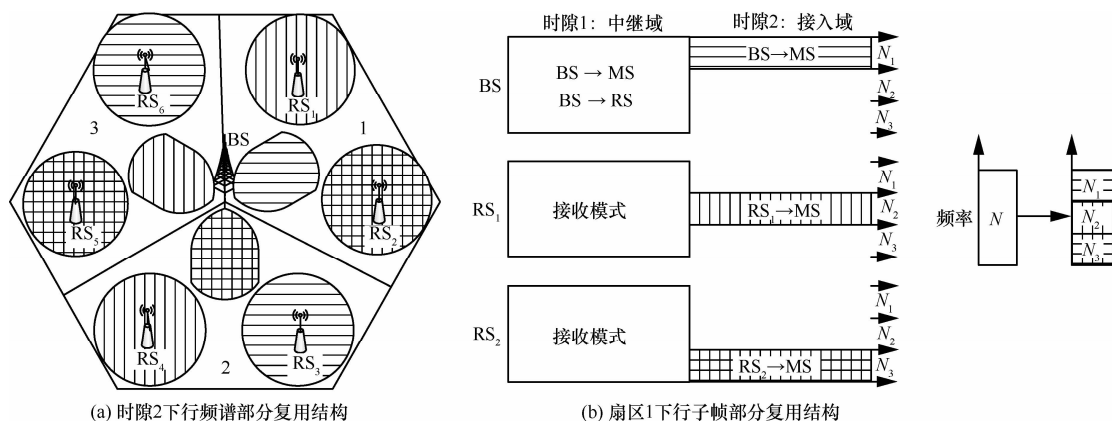


图 1 中继模型及频谱复用结构

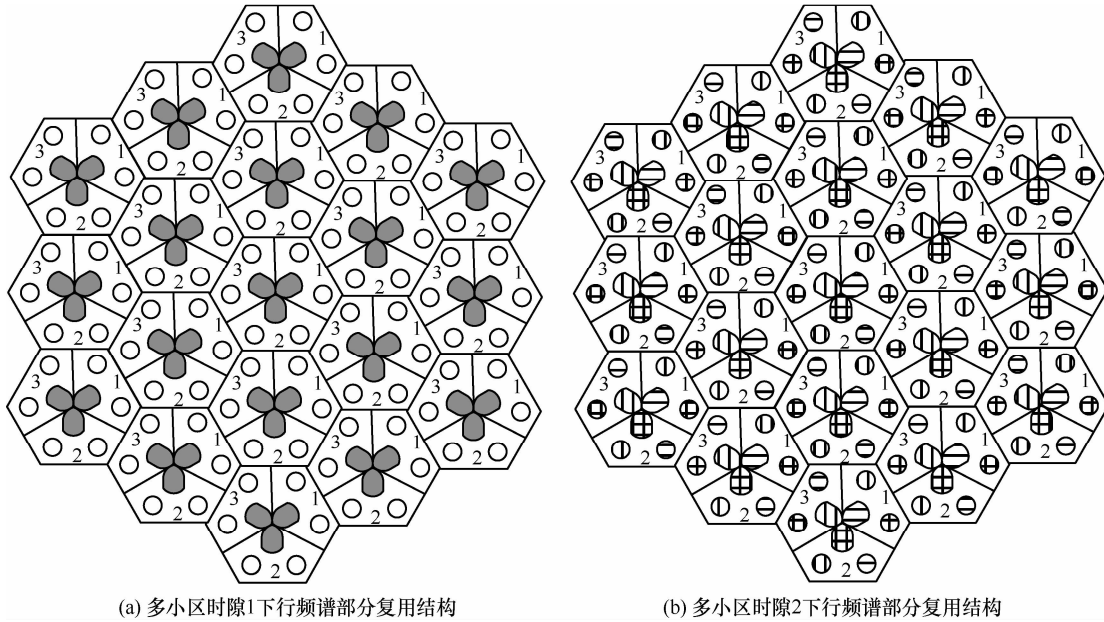


图 2 多小区场景模型

为了分析干扰情况对系统性能的影响，本文研究 19 个小区的多小区场景，如图 2 所示。为方便讨论，用 N_{BS} 表示小区总数，用 N_{RS} 表示每个小区中继站个数， $S_{(i,j)}$ 表示第 i 个小区的第 j 个中继站，其中， $i=1, 2, \dots, N_{BS}$ ， $j=0, 1, 2, \dots, N_{RS}$ ， $S_{(i,0)}$ 表示第 i 个小区的 BS； $MS_{(i,k)}$ 表示第 i 个小区的第 k 个移动站，其中 $k=1, 2, \dots, K$ ， K 为每个小区的 MS 数目。

3 干扰容量

本文主要分析中心小区的干扰情况，并为中心小区用户执行中继选择和频谱转移联合优化策略，其他小区的处理方式与中心小区相同。

在时隙 1，RS/MS 受到周围 18 个小区的 BS 的同频干扰。其中，中继站点 $S_{(i,j)}$ 所受的干扰可以表示为

$$I_{S_{(i,j)}}^1 = \sum_{i^* \neq i}^{N_{BS}} P_{(i^*,0)} g[S_{(i^*,0)}, S_{(i,j)}], \quad j \neq 0 \quad (1)$$

用户 $MS_{(i,k)}$ 所受的干扰可以表示为

$$I_{MS_{(i,k)}}^1 = \sum_{i^* \neq i}^{N_{BS}} P_{(i^*,0)} g[S_{(i^*,0)}, MS_{(i,k)}] \quad (2)$$

其中， $P_{(i,j)}$ 为 $S_{(i,j)}$ 的发射功率， $g[x, y]$ 表示站点 x 到站点 y 的信道增益。

在时隙 2， $MS_{(i,k)}$ 受到周围小区中使用相同频谱的 BS 和 RS 的同频干扰， $MS_{(i,k)}$ 受到的干扰可以表示为

$$I_{MS_{(i,k)}}^2 = \sum_{(i^*,j^*) \in I_{-in}(i,k)} P_{(i^*,j^*)} g[S_{(i^*,j^*)}, MS_{(i,k)}] \quad (3)$$

其中， $I_{-in}(i, k)$ 为 $MS_{(i,k)}$ 所受到干扰的站点集合。

除了中心小区 MS 受到来自周围小区的干扰

外，中心小区的 BS 和 RS 对周围小区的用户也存在干扰，这种反向的干扰在现有的研究中几乎没有提及。本文根据站点的发射功率和站点到其他站点用户的信道增益情况定义干扰容量，用干扰容量来反映该站点对周围小区的干扰情况。干扰容量是衡量一个站点对周围同频站点干扰程度的量化分析指标。干扰容量的推导过程和定义如下。

根据香农公式，信道容量可以表示为

$$C = B \text{lb} \left(1 + \frac{pg}{I + N_0} \right) \quad (4)$$

其中， B 是带宽， p 、 g 分别是功率和信道增益。 I 、 N_0 分别是干扰和噪声。对容量 C 进行简化和近似运算可以得到

$$\begin{aligned} C &= B \text{lb} \left(1 + \frac{pg}{I + N_0} \right) \approx B \text{lb} \left(\frac{pg}{I + N_0} \right) \\ &\approx B \text{lb}(pg) - B \text{lb}(I + N_0) \approx B \text{lb}(pg) - B \text{lb}(I) \end{aligned} \quad (5)$$

可以看到，信道容量随着干扰的增加对数降低，并且与带宽成线性倍数关系，所以为了充分反映干扰对其他站点信道容量的影响，定义站点 $S_{(i,j)}$ 的干扰容量为

$$\lambda_{i,j} = \frac{1}{|I_{-out}(i, j)|} \sum_{(i^*,j^*) \in I_{-out}(i,j)} B_{i,j} \text{lb}(P_{(i,j)} \cdot g[S_{(i,j)}, MS_{(i^*,j^*)}]) \quad (6)$$

其中， $I_{-out}(i, j)$ 为 $S_{(i,j)}$ 干扰的站点集合， $B_{i,j}$ 为站点 $S_{(i,j)}$ 使用的带宽， $|I_{-out}(i, j)|$ 为 $S_{(i,j)}$ 干扰的站点总

数, 其中, 当 $S_{(i,j)}$ 为中继站时, 其干扰的站点包括周围小区所有使用相同频谱资源的站点; 当 $S_{(i,j)}$ 为基站时, 其干扰的站点包括其所在扇区所覆盖的周围小区所有使用相同频谱资源的站点。 $MS^{(i^*,j^*)}$ 表示被站点 $S_{(i^*,j^*)}$ 服务而受到 $S_{(i,j)}$ 同频干扰的用户, $g[S_{(i,j)}, MS^{(i^*,j^*)}]$ 为站点 $S_{(i,j)}$ 到 $MS^{(i^*,j^*)}$ 的信道增益, 由于 $MS^{(i^*,j^*)}$ 位置并不确定, 通过实时测量又较复杂, 所以假设 $MS^{(i^*,j^*)}$ 的位置近似等于为其服务的站点 $S_{(i^*,j^*)}$ 的位置, 然后用信道模型计算得到信道增益 $g[S_{(i,j)}, MS^{(i^*,j^*)}]$, $p_{(i,j)} \cdot g[S_{(i,j)}, MS^{(i^*,j^*)}]$ 即为站点 $S_{(i,j)}$ 对 $MS^{(i^*,j^*)}$ 的干扰。从式(6)中可以看到, 一个站点的干扰容量是该站点周围同频站点干扰程度的量化分析指标, 体现该站点周围同频站点的容量的影响。站点 $S_{(i,j)}$ 的干扰容量 $\lambda_{i,j}$ 越大, 表示该站点周围小区的信道容量影响越强。相反, 站点 $S_{(i,j)}$ 的干扰容量 $\lambda_{i,j}$ 越小, 表示该站点周围小区的信道容量影响越弱。

4 基于负载均衡的中继选择和频谱转移联合优化策略

当 MS 申请接入后, 系统首先根据大尺度衰落准则为 $MS_{(i,k)}$ 选择首选接入站点 $S_{(k,i,j1)}$ 和备选接入站点 $S_{(k,i,j2)}$ 。基于信道增益最大—最小准则的中继站点选择算法可以描述为

$$S_{(k,i,j1)} = \arg \max_{1 \leq j \leq N_{RS}} \{g[S_{(i,0)}, MS_{(i,k)}], \min\{g[S_{(i,0)}, S_{(i,j)}], g[S_{(i,j)}, MS_{(i,k)}]\}\} \quad (7)$$

$$S_{(k,i,j2)} = \arg \max_{1 \leq j \leq N_{RS}, j \neq j1} \{g[S_{(i,0)}, MS_{(i,k)}], \min\{g[S_{(i,0)}, S_{(i,j)}], g[S_{(i,j)}, MS_{(i,k)}]\}\} \quad (8)$$

式(7)的意义为: 比较直传链路和各中继链路的信道增益, 选择信道增益最大的链路为首选接入链路, 其中, 各中继链路的信道增益等于该两跳中继链路中较小的链路信道增益。式(8)的意义为: 除去首选接入链路, 比较其他接入链路的信道增益, 选择信道增益最大的链路为备选接入链路。

本文只考虑 2 个接入站点的选择, 如果首选接入站点和备选接入站点都无法接入, 则继续选择其他站点, 直到有站点可以接入或者无站点接入拒绝服务, 选择的准则以此类推。

如果首选接入站点 $S_{(k,i,j1)}$ 有足够资源可供接入, 则直接接入首选接入站点。如果 $S_{(k,i,j1)}$ 负载过

重而无足够资源可供接入, 则进行接入备选站点 $S_{(k,i,j2)}$ 或从该扇区的另 2 个站点向首选接入站点 $S_{(k,i,j1)}$ 进行频谱转移的判定。

用 $N_{L(i,j)}$ 表示站点 $S_{(i,j)}$ 的剩余子载波资源, 本文主要关注中继选择和频谱规划问题, 不涉及具体的子载波、比特和功率分配。假设功率平均分配到每个可用子载波上, 则 $N_{L(i,j)}$ 可以表示为

$$N_{L(i,j)} = N_{(i,j)} - \sum_k N_{(k,i,j)} \quad (9)$$

其中, $N_{(i,j)}$ 为站点 $S_{(i,j)}$ 可以使用的子载波总数, $N_{(k,i,j)}$ 为已经接入站点 $S_{(i,j)}$ 的用户 k 需要的子载波个数, 可以通过如下公式计算获得

$$N_{(k,i,j)} = \left\lceil \frac{R_{(i,k)}}{B_{sc} \cdot \ln \left(1 + \frac{p_{(k,i,j)} \cdot g[S_{(i,j)}, MS_{(i,k)}]}{I_{(k,i,j)} + N_0} \right)} \right\rceil \quad (10)$$

其中, $R_{(i,k)}$ 为 $MS_{(i,k)}$ 的速率需求, $I_{(k,i,j)}$ 为 $MS_{(i,k)}$ 接入站点 $S_{(i,j)}$ 所受到的干扰, 可以近似计算为

$$I_{(k,i,j)} \approx I_{MS(i,k)}^2 \quad (11)$$

当 $MS_{(i,k)}$ 申请接入后, 计算其在首选接入站点的子载波需求 $N_{(k,i,j1)}$, 如果 $N_{(k,i,j1)} < N_{L(i,j1)}$, 即首选接入站点 $S_{(k,i,j1)}$ 无足够资源供其使用, 进行接入备选站点 $S_{(k,i,j2)}$ 或从该扇区的另 2 个站点向首选接入站点 $S_{(k,i,j1)}$ 进行频谱转移的判定。

如选择接入备选站点 $S_{(k,i,j2)}$, 由于备选站点与该用户的链路质量较首选站点差, 则需要提高备选站点的功率谱密度或分配较首选站点更多的带宽来保证服务质量。由前文中干扰容量的定义可以看到, 无论提高功率谱密度还是增加带宽都将增加对其他站点的干扰, 则接入备选站点对系统性能负面影响为: 提高备选站点的功率谱密度或增加带宽对其他站点产生的干扰。如选择从该扇区的其他站点向首选接入站点 $S_{(k,i,j1)}$ 转移频谱资源, 则不需要提高任何站点的功率谱密度或增加带宽来保证服务质量, 但将改变已经规划好的频谱复用方式。则向首选接入站点转移频谱资源对系统性能负面影响为: 转移的频谱复用方式的变化造成的干扰。

接入备选站点 $S_{(k,i,j2)}$ 带来的干扰为提高备选站点的发射功率或增加带宽引起, 其对同小区周围站点用户的平均干扰容量可以表示为

$$\lambda_{i,j2} = \frac{1}{|I_out(i,j2)|} \sum_{(i^*,j^*) \in I_out(i,j2)} B_{sc} \cdot N_{(k,i,j2)} \cdot \text{lb}(p_{(i,j2)} \cdot g[S_{(i,j2)}, MS^{(i^*,j^*)}]) \quad (12)$$

从该扇区的另外站点向首选接入站点 $S_{(k,i,j1)}$ 进行频谱转移将改变已经规划好的频谱复用方式, 其对同小区周围站点用户的平均干扰容量可以表示为

$$\lambda_{i,j1} = \frac{1}{|I_out(i,j1)|} \sum_{(i^*,j^*) \in I_out(i,j1)} B_{sc} \cdot N_{(k,i,j1)} \cdot \text{lb}(p_{(i,j1)} \cdot g[S_{(i,j1)}, MS^{(i^*,j^*)}]) \quad (13)$$

由于平均干扰容量体现的是对系统容量的影响, 所以选择干扰容量较小的方式接入。比较接入备选站点和向首选站点频谱转移的干扰容量, 当

$$\lambda_{i,j2} < \lambda_{i,j1} \quad (14)$$

接入备选站点, 否则进行频谱转移。由于频谱转移将改变已经规划的频谱资源, 如果周围小区也转移了频谱, 基站可以跟踪频谱的转移, 各小区基站间通过有线回路得到周围小区的同频频谱使用站点, 从而精确计算邻小区对本小区的干扰。同时, 为了尽量降低频谱转移造成的干扰水平, 本文采用一种类似文献[10]的频谱转移方式。首先为扇区内 3 个站点预置相等的子载波, 即 $N_1=N_2=N_3=N/3$, 每个站点的预置频谱定义为其高优先级频谱, 其余 2 个站点的预置频谱定义为其低优先级频谱。当首选接入站点资源不足需要频谱转移时, 频谱从负载较轻的站点向首选接入站点转移, 并且保证 $N_L(i,jout)-N_{(k,i,j1)} > N_B$, 其中 N_B 是为了防止站点间出现多次相互频谱转移的乒乓效应的子载波缓冲值。例如图 3 是扇区 1 的预置频谱和当 RS_1 负载过重时的频谱转移示意图, 其他情况与此类似, 本文不再赘述。

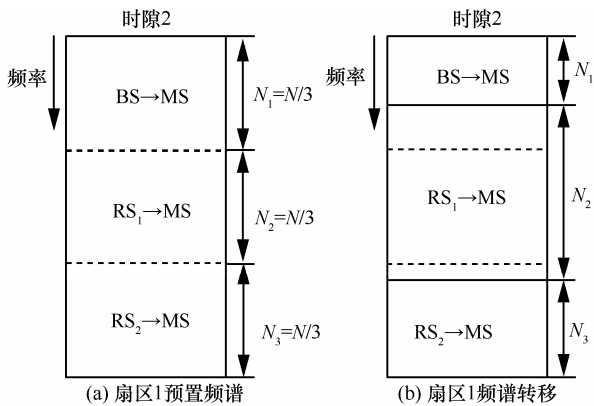


图 3 扇区 1 的预置频谱和频谱转移示意

详细的算法流程如图 4 所示。

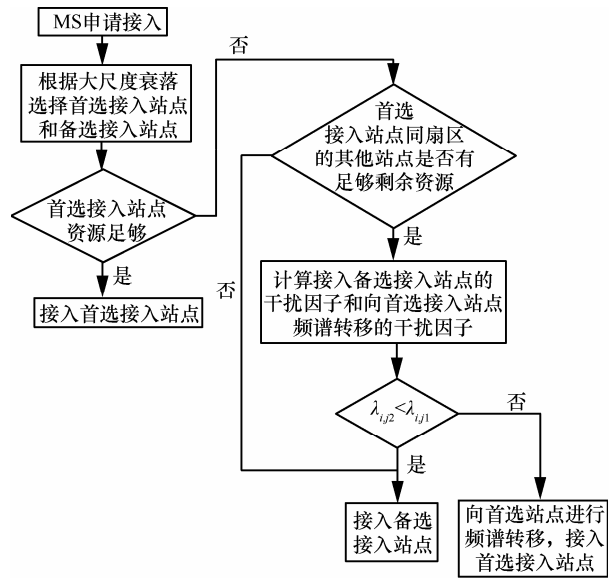


图 4 自适应中继选择和频谱转移联合优化策略流程

5 仿真与性能分析

本文在中继蜂窝网络中对所提中继选择和频谱转移联合优化策略进行仿真验证。假设 19 个小区中每个小区的基站在小区中心位置, 小区半径为 1 km, 周围均匀分布 6 个 RS, BS—RS 距离 $1 \times 2/3$ km^[13]。MS 分布在小区内部, 为了验证应对负载失衡的性能, 本文假设一种热点覆盖场景模型, 其中 70% 的 MS 平均分布在以 BS 为中心, 半径为 1 km 的同心圆内, 30% 的 MS 平均分布在以其中一个 RS 为中心, 半径为 300 m 的同心圆内。系统使用传统的比例公平调度算法为接入的 MS 分配资源。系统载波频率 3.5 GHz, 系统带宽 B 为 10 MHz, 以前文所述复用策略在每个小区内均分为正交的 3 部分。路径损耗(path loss)和阴影衰落(shadow fading)采用文献[14]所介绍的模型。

本文分别对所提基于负载均衡的中继选择和频谱转移联合优化策略、基于负载均衡的中继选择策略以及基于负载均衡的频谱转移策略进行仿真验证。其中, 基于负载均衡的中继选择策略为: 当首选接入站点无足够资源时, 即 $N_{(k,i,j1)} < N_L(i,j1)$, 则直接接入备选站点; 基于负载均衡的频谱转移策略为: 当首选接入站点无足够资源, 即 $N_{(k,i,j1)} < N_L(i,j1)$ 时, 则接入首选站点并从该扇区的另外 2 个站点向首选站点进行频谱转移。在基于负载均衡的中继选择策略中, 由于备选接入的站点与用户间路径的链

路质量较首选路径差，系统资源并不能有效利用。而且，接入备选站点势必需要增加带宽或提高功率谱密度来保证用户的服务质量，这又将增大对同小区和相邻小区的同频干扰。而在基于负载均衡的频谱转移策略中，虽然用户依然可以选择链路质量最好的站点接入，但是改变已经规划好的频谱复用方式也会造成更大的干扰。而本文所提的基于负载均衡的中继选择和频谱转移联合优化策略将在用户申请接入时比较以上 2 种应对负载失衡问题的系统性能的优劣，进行中继选择和频谱转移的协调，选择一种维持系统性能较好的方式接入。用 N_s 表示每个小区内基站和中继站的总数，则基于负载均衡的中继选择策略和基于负载均衡的频谱转移策略的算法复杂度可以表示为 $O(N_s)$ ，基于负载均衡的中继选择和频谱转移联合优化策略较前两种策略多出计算干扰容量的过程，其算法复杂度可以表示为 $O(3N_s)$ ，因此，所提自适应策略与前两种策略在算法复杂度上呈线性关系，并没有明显增加算法的复杂度。本文对以上 3 种算法(即所提自适应中继选择和频谱转移联合优化策略，基于负载均衡的频谱转移策略和基于负载均衡的中继选择策略)分析的性能指标有平均频谱效率、系统阻塞率和干扰容量水平。图 5 和图 6 分别是 3 种算法在中心小区的平均频谱效率图和阻塞率图，基于负载均衡的中继选择策略的平均频谱效率最低，阻塞率最高，这是因为在小区负载失衡的情况下，随着用户数的增加，部分热点地区用户不能接入首选信道条件最好的站点，接入备选信道条件较差的站点将降低系统资源的使用效率，甚至部分热点地区用户无法接入备选站点。基于负载均衡的频谱转移策略在频谱效率和阻塞率上则优于基于负载均衡的中继选择策略，这是由于频谱转移到了使用效率较高的站点。而自适应中继选择和频谱转移联合优化策略在比较 2 种方式后选择一种对其他链路干扰较小的方式，使资源在有效利用的同时降低了干扰，所以其平均频谱效率最高，并且系统阻塞率最低。

图 7 是 3 种算法中心小区对周围 18 小区的平均干扰容量图，平均干扰容量体现中心小区对周围小区的干扰水平。基于负载均衡的频谱转移策略虽然在中心小区的频谱效率和阻塞率上优于基于负载均衡的中继选择策略，但是其平均干扰容量却高于基于负载均衡的中继选择策略，说明其虽然能够

在中心小区获得系统性能的提升，但却降低了周围小区的系统性能。而自适应中继选择和频谱转移联合优化策略充分考虑干扰的影响，所以其平均干扰容量也是最低，体现了其对周围小区的系统性能影响较小。

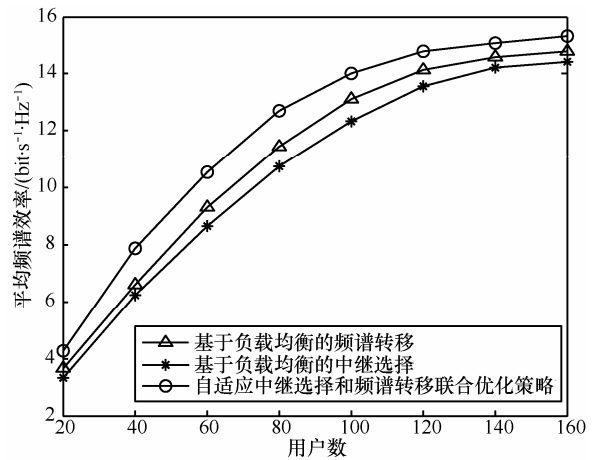


图 5 3 种算法在中心小区平均频谱效率

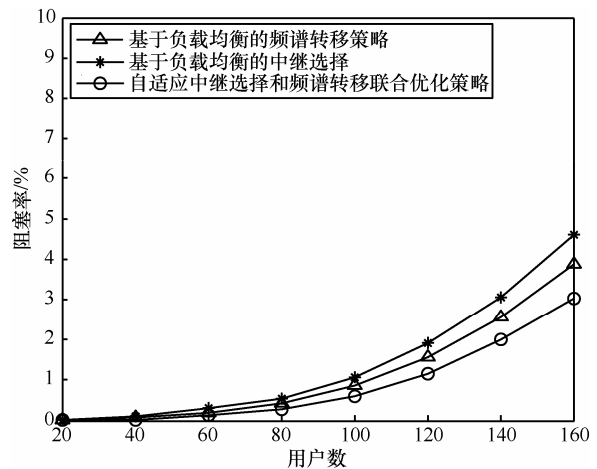


图 6 3 种算法在中心小区阻塞率

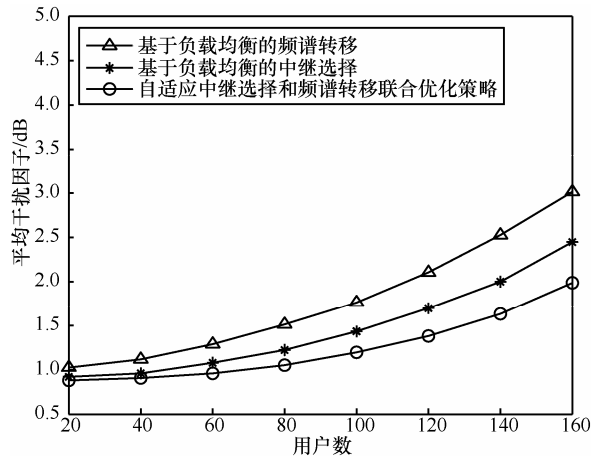


图 7 3 种算法在中心小区干扰容量

6 结束语

本文针对负载失衡或热点覆盖无线中继网络,提出一种自适应中继选择和频谱转移联合优化策略。所提算法首先根据各条链路的信道状况选择首选接入站点和备选接入站点,当首选接入站点负载过重而无足够资源使其接入时,综合比较接入备选站点和从同扇区的其他站点向首选站点进行频谱转移的系统性能,选择一种维持系统性能较好的方式接入。仿真结果表明,所提算法在中心小区的频谱效率和阻塞率都优于单一的基于负载均衡的中继选择策略和单一的基于负载均衡的频谱转移策略,并且平均干扰容量也是最低,表明对周围小区的系统性能影响较小。所提自适应算法较单一的中继选择策略和单一的频谱转移策略对于处理负载失衡或热点覆盖导致的业务分布不均匀更有适应性,更加适合实际系统的应用。

参考文献:

- [1] PABST R, WALKE B, SCHULTZ D, *et al.* Relay-based deployment concepts for wireless and mobile broadband cellular radio[J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(9):80-89.
- [2] SALEM M, ADINOYI A, YANIKOMEROGLU H, *et al.* Opportunities and challenges in OFDMA-based cellular relay networks: a radio resource management perspective[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(5):2496-2510.
- [3] SALEM M, ADINOYI A, RAHMAN M, *et al.* An overview of radio resource management in relay-enhanced OFDMA-based networks[J]. IEEE Communications Survey & Tutorials, 2010, 12(3):422-438.
- [4] SHIH K P, WANG S S, LIEN C Y. A high spectral efficiency and load-aware metric for path selection in IEEE 802.16j multi-hop relay networks[A]. 2009 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2009)[C]. Sousse, 2009.61-66.
- [5] JIANG F, WANG B. A load balancing relay selection algorithm for relay based cellular networks[A]. 2011 IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM 2011)[C]. Wuhan, China, 2011.1-5.
- [6] LIN X, CUTHBERT L. Load based relay selection algorithm for fairness in relay based OFDMA cellular systems[A]. 2009 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'09)[C]. Budapest, 2009.1-6.
- [7] LI P, RONG M, XUE Y, *et al.* Spectrum partition and relay positioning for cellular system enhanced with two-hop fixed relay nodes[J]. IEICE Transactions on Communications, 2007, 90(11):3181-3188.
- [8] PEI Y, TIAN H, WU T, *et al.* Frequency planning scheme based on interference coordination for OFDM-relay systems[J]. IEEE Communications Letters, 2011, 15(1):13-15.
- [9] MA Z, XIANG W, LONG H, *et al.* Proportional fair resource partition for LTE-advanced networks with type i relay nodes[A]. 2011 IEEE International Conference on Communications (ICC'11)[C]. Kyoto, 2011.1-5.
- [10] 张天魁, 曹禄, 栗忠峰等. 用于中继蜂窝网络的动态频率规划算法[J]. 北京邮电大学学报, 2011, 34(1):16-20.
ZHANG T K, CAO L, LI Z F, *et al.* Dynamic frequency planning algorithm for relay cellular networks[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2011, 34(1):16-20.
- [11] ZHAO Y, FANG X, ZHAO Z. Interference coordination in compact frequency reuse for multihop cellular networks[J]. IEICE Transactions on Fundamentals, 2010, 93(11):2312-2319.
- [12] ZHAO Z, FANG X, ZHU Y, *et al.* Two frequency reuse schemes in OFDMA-TDD based two-hop relay networks[A]. 2010 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC'10)[C]. Sydney, 2010.1-6.
- [13] WANG B, WEN X, SU D, *et al.* User satisfaction based resource allocation for OFDMA relay networks in the resource-constrained system[A]. 2010 IEEE Second International Conference on Future Networks (ICFN'10)[C]. Sanya, 2010.304-308.
- [14] IEEE 802.16 Working Group. Multi-hop Relay System Evaluation Methodology (Channel Model and Performance Metric)[S]. 2007.

作者简介:



黄博 (1984-), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 西南交通大学博士生, 主要研究方向为无线多跳中继网络资源分配。



方旭明 (1962-), 男, 浙江义乌人, 博士, 西南交通大学教授、博士生导师, 主要研究方向为无线宽带接入控制、无线资源管理、多跳中继网络、高铁宽带无线接入。



陈焜 (1986-), 女, 湖南郴州人, 西南交通大学博士生, 主要研究方向为下一代通信系统的资源管理、基于能效的资源分配。



黄高勇 (1980-), 男, 江苏沐阳人, 西南交通大学博士生、讲师, 主要研究方向为无线资源管理。