

异构无线网络干扰对齐技术研究*

王国威, 黎海涛

(北京工业大学 电子信息与控制工程学院, 北京 100124)

摘要: 由于宏蜂窝和微蜂窝所构建的异构网络可以大幅提高网络的容量而成为未来移动通信的发展趋势,但是微蜂窝的引入增加了异构网中小区的数量,使得小区间同道干扰更加突出,成为限制异构网容量的主要因素,因此,需要研究有效的干扰抑制技术以增强网络性能。近年提出的干扰对齐技术能够获得干扰网络的最大自由度并可达其最优容量。为此研究了基于低秩干扰空间的多小区干扰对齐技术,然后将其推广到异构无线网络,提出了优化的异构网络干扰对齐方案。仿真结果表明,优化后的干扰对齐技术能够有效提高网络容量并降低实现复杂度。

关键词: 同道干扰; 异构网; 干扰对齐; 自由度

中图分类号: TN92 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)10-3857-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.10.067

Research on interference alignment for heterogeneous network

WANG Guo-wei, LI Hai-tao

(College of Electronic Information & Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: HetNet composed of macrocell and picocell will play an important role in future cellular system, and it has potential to drastically improve the capacity of wireless network. With the deployment of picocells, CCI is more and more serious in the heterogeneous network. Thus, interference suppression is very meaningful for heterogeneous network. Recently, IA, which can obtain the optimal transmitting DoF, is explored to maximize the capacity of the network. Based on the multicell IA algorithm, this paper proposed an optimized IA scheme for heterogeneous network. Simulation results show that the presented IA scheme can improve the capacity of HeNet and reduce the implementation complexity.

Key words: co-channel interference (CCI); HetNet (Heterogeneous network); interference alignment (IA); DoF (degree of freedom)

0 引言

由于无线频谱资源受限特性,移动通信系统通常采用频率复用系数为1的方式进行组网,即宏蜂窝组网方式。宏蜂窝中每个小区的覆盖半径大多为1~25 km。在实际应用的宏蜂窝小区内,通常存在着两类特殊区域:a)盲点,由于电波在传播过程中遇到障碍物而造成的阴影区域,该区域内通信质量较低;b)热点,这是由于业务负荷的不均匀分布而形成的业务繁忙区域。以上两点问题的解决,往往依靠设置直放站、分裂小区等办法。但这两种方法不能无限限制地使用,因为扩大了系统覆盖区域而系统的通信质量要下降;提高了通信质量,往往又要牺牲系统容量。近年来,随着用户的增加,宏蜂窝小区进行小区分裂,变得越来越小。当小区小到一定程度时,建站成本急剧增加,小区半径的缩小也会带来严重的干扰;另一方面,盲区问题仍然存在,热点地区的高话务量问题也无法得到很好地解决。

为了解决宏蜂窝小区内的热点和盲点问题而引入了微蜂窝技术。与宏蜂窝技术相比,微蜂窝具有覆盖范围小、传输功率低以及安装方便灵活等特点。它与宏蜂窝构成异构网时,宏蜂窝进行大面积的覆盖,作为异构网的底层,微蜂窝则小面积

连续覆盖叠加在宏蜂窝上,构成异构网的上层。由宏蜂窝和微蜂窝相结合而构成的异构网能提高无线通信系统的传输速率、覆盖范围以及业务质量(QoS)。同时,微蜂窝的引入增加了宏蜂窝中小区数量,导致异构网中小区间干扰严重,这严重影响了系统的QoS以及小区边缘的吞吐量。因此,干扰成为限制异构网络容量的主要因素,如何有效抑制干扰是异构网络需要迫切解决的问题。

LTE-A标准采纳的协作多点传输技术(CoMP)可以有效抑制蜂窝网的同道干扰,但CoMP的收发信号设计均基于广播信道(BC)。近年来基于干扰信道(IC)而提出的干扰对齐技术(IA)受到了广泛关注,它可以获得系统的最高自由度进而最大化系统容量。干扰对齐技术的核心思想是在发送端设计预编码器,使得发送信号通过预编码器处理后,可通过接收滤波器分离出干扰信号和有用信号,并把干扰信号限制在接收信号空间的一部分之内;而有用信号则被限制在接收信号空间的另一部分,即实现了干扰对齐。

目前干扰对齐技术的研究一般是基于单小区多输入多输出(MIMO)系统以及多小区MIMO系统。其中文献[1]分析了MIMO系统中干扰对齐技术所要满足的基本条件,并提出了一种单小区干扰对齐算法;文献[2]从最大化系统自由度的角度

收稿日期: 2012-02-22; **修回日期:** 2012-03-26 **基金项目:** 北京市自然科学基金资助项目(4112012)

作者简介: 王国威(1987-),男,山东潍坊人,硕士研究生,主要研究方向为无线通信(guo_wei_wang@163.com);黎海涛(1972-),男,四川广安人,副教授,博士,主要研究方向为无线通信、信号处理等。

给出了一种适应于 MIMO X 信道的干扰对齐算法,并对该算法的性能做了评估;文献[3]给出了多小区多用户条件下的干扰对齐算法,并分析了该算法下系统的最大可达容量;文献[4~6]介绍了在知道所有小区信道信息情况下的干扰对齐方案。文献[7]分析了基站在只知道本小区信道信息情况下的干扰对齐算法,这是一种分布式的非线性干扰对齐算法,其预编码矩阵和接收滤波矩阵通过迭代方式获得。文献[8]提出了一种应用于蜂窝网的干扰对齐算法,并对此干扰对齐算法的性能做了评估。上述文献介绍的干扰对齐算法的核心思想都是基于最小化接收端的干扰泄露,此类干扰对齐算法可以达到理论上的最优性能,但要求干扰信道的信道矩阵必须是满秩的,且信道矩阵不能是特殊结构(如对角矩阵,上、下三角矩阵等),故其应用范围受限。

针对上述干扰对齐算法的不足,文献[9]从有用信号矩阵秩和干扰信号矩阵秩的角度出发,基于有用信号矩阵满秩条件下干扰信号矩阵秩最小的原则,提出了一种鲁棒性高、应用范围更广的干扰对齐算法。

1 多小区干扰对齐

考虑一个有 K 个小区的下行通信链路,其中每个小区有多个用户,如图1所示。若采用干扰对齐技术,需先把基站端发送信号经过预编码处理,则在某一时刻,第 $k(k \in [1, K])$ 个小区内用户端的接收信号为

$$y^{[k]} = H^{[k,k]} s^{[k]} + \sum_{j=1, j \neq k}^K H^{[k,j]} s^{[j]} + w^{[k]} = H^{[k,k]} V^{[k]} x^{[k]} + \sum_{j=1, j \neq k}^K H^{[k,j]} V^{[j]} x^{[j]} + w^{[k]} \quad (1)$$

其中: $H^{[k,k]} V^{[k]} x^{[k]}$ 为小区 k 内的基站发送给本小区内用户的有用信号; $\sum_{j=1, j \neq k}^K H^{[k,j]} V^{[j]} x^{[j]}$ 为其他小区的基站发送给本小区内用户的干扰信号; $s^{[k]} = V^{[k]} x^{[k]}$ 表示经过预编码之后的信号; $V^{[k]}$ 是预编码矩阵; $H^{[k,j]}$ 为用户 j 与发送端 k 之间的信道,其元素满足均值为0、方差为1的复高斯分布; $w^{[k]}$ 代表第 k 个小区内的高斯白噪声,其元素分布满足 $w^{[k]} \sim N(0, \sigma^2 I)$ 。

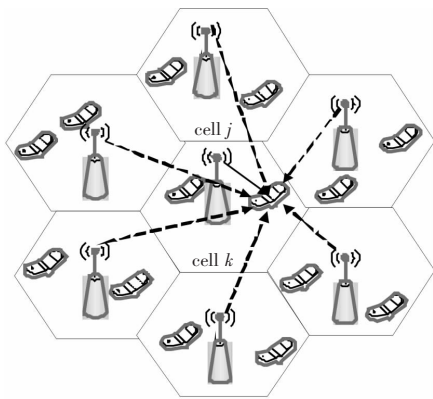


图1 多小区通信模型

在接收端,干扰对齐通过接收滤波器恢复有用信号,即在式(1)的两端同时乘以一个接收滤波器矩阵 $U^{[k]}$,得到用户端 k 最终的接收信号 $\tilde{y}^{[k]}$ 。

$$\tilde{y}^{[k]} = U^{[k]} y^{[k]} = U^{[k]} H^{[k,k]} V^{[k]} x^{[k]} + \sum_{j=1, j \neq k}^K U^{[k]} H^{[k,j]} V^{[j]} x^{[j]} + \tilde{w}^{[k]} \quad (2)$$

其中: $\tilde{w}^{[k]} = U^{[k]} w^{[k]}$ 为干扰矩阵,其元素服从高斯分布 $\tilde{w}^{[k]} \sim N(0, \sigma^2 I)$, $1 \leq k \leq K$ 。

式(2)表示了干扰对齐算法的基本原理。传统干扰对齐算法在设计预编码矩阵和接收滤波矩阵时要求干扰信道的矩阵必须是满秩的,并且干扰信道矩阵不能是特殊结构,这使得传统干扰对齐算法在实际应用时受到较大限制。由此本文基于文献[9],从矩阵秩的角度给出了一种适用范围广、鲁棒性高的多小区干扰对齐算法。下面分析该多小区干扰对齐算法的原理。

假设 $\text{rank}(f)$ 表示矩阵 f 的秩,根据表达式(2),则 $\text{rank}(U^{[k]} H^{[k,k]} V^{[k]})$ 为有用信号矩阵的秩,即有用信号空间, $\text{rank}(U^{[k]} [\{H^{[k,j]} V^{[j]}\}_{j=1, j \neq k}^K])$ 为干扰信号矩阵的秩,即干扰信号所占空间。理想干扰对齐要求干扰信号空间和有用信号空间满足:

$$\text{rank}(U^{[k]} [H^{[k,l]} V^{[l]}]_{l=1, l \neq k}^K) = 0 \quad (3)$$

$$\text{rank}(U^{[k]} H^{[k,k]} V^{[k]}) = d \quad (4)$$

其中: d 表示系统最大可用空间。

令矩阵 $I^{[k]}$ 和矩阵 $S^{[k]}$ 分别是干扰矩阵 $I^{[k]}(U^{[k]}, V^{[k]})$ 和有用信号矩阵 $S^{[k]}(U^{[k]}, V^{[k]})$ 的简记,则有

$$I^{[k]} = I^{[k]}(U^{[k]}, V^{[k]}) \triangleq U^{[k]} [\{H^{[k,j]} V^{[j]}\}_{j=1, j \neq k}^K] \quad (5)$$

$$S^{[k]} = S^{[k]}(U^{[k]}, V^{[k]}) \triangleq U^{[k]} H^{[k,k]} V^{[k]} \quad (6)$$

考虑到无线网络总存在干扰的实际情况,即表达式(3)在一般情况下并不成立。为提高系统容量,只能将干扰最小化,即最小化干扰空间。故实际场景下实现干扰对齐应满足的基本条件为

$$\min(\text{rank}(I^{[k]})) \quad (7)$$

$$\text{rank}(S^{[k]}) = d \quad (8)$$

式(7)保证系统中干扰信号矩阵的维度最小,即最小化干扰信号的空间;式(8)表示最大化系统中有用信号所占空间,即保证系统的自由度最大。

直接从干扰对齐条件式(7)(8)计算预编码矩阵和接收滤波矩阵较为困难,所以文献[9]引入了干扰矩阵的凸包络函数:

$$\begin{aligned} \text{conv}(\sum_{k=1}^K \text{rank}(I^{[k]})) &= \text{conv}(\text{rank}(\text{blkdiag}(I^{[1]}, \dots, I^{[K]}))) = \\ &= \frac{1}{\lambda} \sum_{k=1}^K \|I^{[k]}\| = \frac{1}{\lambda} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^d \sigma_j(I^{[k]}) = \\ &= \frac{1}{\lambda} \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^d \sigma_j(U^{[k]} [\{H^{[k,j]} V^{[j]}\}_{j \neq k}^K]) \end{aligned} \quad (9)$$

其中: $\text{conv}(f)$ 表示函数 f 的凸包络函数; $\|I\| = \sum_{j=1}^{\text{rank}(I)} \sigma_j(I)$ 代表矩阵 I 的核范数, $\sigma_j(I)$ 代表矩阵 I 第 j 大的奇异值。其中干扰信号矩阵 I 的最大奇异值 $\max(\sigma(I))$ 满足 $\max(\sigma(I)) \leq \lambda (\lambda > 0)$ 。

通过式(9)可将干扰信号矩阵秩的问题转换为干扰信号矩阵的核范数之和的问题。故可将干扰对齐算法条件重写为

$$\min(\frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^d \sigma_j(U^{[k]} [\{H^{[k,j]} V^{[j]}\}_{j \neq k}^K])) \quad (10)$$

$$\text{rank}(S^{[k]}) = d \quad (11)$$

根据文献[9]可知预编码矩阵 $U^{[k]}$ 和接收滤波器矩阵 $V^{[k]}$ 所需要满足的最优化条件为

$$S^{[k]} > 0 \quad k \in [1, K] \quad (12)$$

$$\lambda_{\min}(S^{[k]}) \geq \mu \quad \mu > 0 \quad k \in [1, K] \quad (13)$$

式(12)保证有用信号矩阵为正定矩阵,式(13)表示有用信号矩阵的特征值大于零。

由上述干扰对齐算法所需要满足的条件即可求得预编码

矩阵 $\mathbf{U}^{[k]}$ 和接收滤波器矩阵 $\mathbf{V}^{[k]}$, $1 \leq k \leq K$ 。具体步骤如下:

- 任选一个接收滤波器矩阵初值 $\mathbf{U}^{[k]}$, 然后在最优化条件式 (12) (13) 下计算预编码矩阵 $\mathbf{V}^{[k]}$ 。
- 经过步骤 a) 获得满足条件的接收滤波器矩阵 $\mathbf{V}^{[k]}$ 之后, 将该接收滤波器矩阵作为算法的输入, 在条件式 (10) 和 (11) 下经过 n 次迭代求得满足表达式 (12) (13) 的预编码矩阵 $\mathbf{U}^{[k]}$ 。
- 利用施密特正交化方法将步骤 b) 中得到的接收滤波器矩阵 $\mathbf{U}^{[k]}$ 和预编码矩阵 $\mathbf{V}^{[k]}$ 正交化。

2 异构网络干扰对齐

基于对多小区干扰对齐算法的研究, 下面给出一种异构网干扰对齐方案。为便于分析, 如图 2 所示, 考虑一个由一个宏蜂窝小区和两个微蜂窝小区构成的异构网; 对于有多个宏蜂窝小区和多个微蜂窝小区构成的异构网络, 可以根据时隙的不同分解成单个的小区进行分析。假设每个宏蜂窝小区内有两个用户, 微蜂窝小区内有一个用户; 其中宏蜂窝小区内基站的天线数为 8, 微蜂窝小区内基站的天线数为 2 (或 4), 每个终端的天线数为 2 (或 4)。

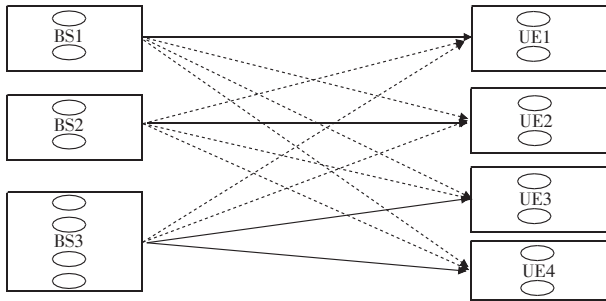


图 2 异构网结构

针对异构网的实际场景, 将小区 k 内的用户端接收信号表示为

$$\tilde{\mathbf{y}}^{[k]} = \mathbf{U}^{[k]} \mathbf{H}^{[k,k]} \mathbf{V}^{[k]} \mathbf{x}^{[k]} + \sum_{j=1, j \neq k}^4 \mathbf{U}^{[j]} \mathbf{H}^{[k,f(k)]} \mathbf{V}^{[j]} \mathbf{x}^{[j]} + \tilde{\mathbf{w}}^{[k]} \quad (14)$$

其中: $f(k)$ 为用户 k 的函数, 当 $k=1, 2, 3, 4$ 时, $f(k)$ 分别为 1、2、3、3。

由于异构网中宏蜂窝和微蜂窝内的用户数以及基站天线的配置不同, 故异构网的干扰对齐方案不同于多小区同构系统。鉴于异构网的组网特点, 对处于异构网不同层的宏蜂窝小区和微蜂窝小区分别应用干扰对齐技术。同时, 考虑到微蜂窝小区内基站的发送天线数目少, 故先在微蜂窝小区内应用干扰对齐, 然后对宏蜂窝小区进行干扰对齐处理。具体实施步骤为:

首先, 对 BS1 所在小区应用干扰对齐技术。基于第 1 章给出的多小区干扰对齐算法, 初始化一个维度为 2×1 的接收滤波器矩阵 $\mathbf{U}^{[1]}$, 并将该接收滤波器矩阵作为已知条件, 经过迭代计算出预编码矩阵 $\mathbf{V}^{[1]}$; 然后将预编码矩阵 $\mathbf{V}^{[1]}$ 作为已知条件, 再经过迭代计算出优化的接收滤波器矩阵 $\mathbf{U}^{[1]}$; 最后将矩阵 $\mathbf{V}^{[1]}$ 和 $\mathbf{U}^{[1]}$ 施密特正交化得到基站 1 的预编码矩阵 $\mathbf{V}^{[1]}$ 和终端的接收滤波器矩阵 $\mathbf{U}^{[1]}$ 。

类似可计算出对于 BS2 所在小区内预编码矩阵 $\mathbf{V}^{[2]}$ 和接收滤波器矩阵 $\mathbf{U}^{[2]}$ 。接着需要计算宏蜂窝小区内 BS3 的预编码矩阵 $\mathbf{V}^{[l]}$ 和接收滤波器矩阵 $\mathbf{U}^{[l]}$, $3 \leq l \leq 4$ 。由于宏蜂窝小区

内基站的天线数目为 8, 其覆盖范围内有两个用户, 故可以将宏蜂窝小区内的干扰信道 $\{\mathbf{H}^{[k,f(i)]}\}_{i=3}^4$ 等价为一个 8×8 的 MIMO 平坦瑞利衰落信道。其预编码矩阵 $\{\mathbf{V}^{[l]}\}_{l=3}^4$ 和接收滤波器矩阵 $\{\mathbf{U}^{[l]}\}_{l=3}^4$ 的求解方法与微蜂窝小区中的基本相同, 只是信道矩阵的维度发生了改变。

上述干扰对齐算法中, 每计算一对接收滤波器矩阵 $\mathbf{U}^{[i]}$ 和预编码矩阵 $\mathbf{V}^{[i]}$ 时就要运用一次干扰对齐算法。若小区较多时, 算法的实现复杂度非常高, 限制了其实际应用的范围。

基于前述干扰对齐算法的不足, 下面提出一种低复杂度的干扰对齐算法实现方案。其思想是: 在初始化接收滤波器时, 把小区中的所有接收滤波器 $\{\mathbf{U}^{[i]}\}_{i=1}^{i=k}$ 同时进行初始化, 并将所有接收滤波器作为输入, 统一计算预编码滤波器 $\{\mathbf{V}^{[i]}\}_{i=1}^{i=k}$, k 表示同类网络中小区的个数。这样, 在同类小区中应用一次干扰对齐算法, 就能得到所需要的预编码矩阵和接收滤波器矩阵, 明显降低了干扰对齐技术在实际应用时系统的复杂度。其实现步骤为:

a) 初始化微蜂窝小区内用户端的接收滤波器 $\{\mathbf{U}^{[i]}\}_{i=1}^{i=k}$, 并根据最小化各通信链路的干扰空间 $\min(\sum_{i=1}^k \|\mathbf{I}^{[i]}\|)$ 的准则, 计算出基站预编码滤波器。

b) 获得优化的预编码滤波器 $\{\mathbf{V}^{[i]}\}_{i=1}^{i=k}$ 之后, 将其作为算法的输入经过迭代计算出微蜂窝中用户端的接收滤波器 $\{\mathbf{U}^{[i]}\}_{i=1}^{i=k}$ 。

c) 将微蜂窝内的接收滤波器 $\mathbf{U}^{[i]}$ 作为算法的输入, 在干扰对齐最优化条件下计算出宏蜂窝内的发送预编码滤波器矩阵 $\mathbf{V}^{[i]}$ 。

d) 将计算出的宏蜂窝预编码矩阵作为输入, 在本文给出的干扰对齐准则下, 经过 n 次迭代求得宏蜂窝用户端的接收滤波器矩阵。

e) 将上述步骤中得到的接收滤波器 $\{\mathbf{U}^{[i]}\}_{i=1}^{i=k}$ 和预编码滤波器 $\{\mathbf{V}^{[i]}\}_{i=1}^{i=k}$ 正交化。

在上述步骤中, 每调用一次干扰对齐算法, 就能计算出同类小区的接收滤波器和预编码滤波器; 通过计算可知调用优化算法之后, 算法的运行时间节省了近 30%, 优化之后的干扰对齐算法大大降低了实现复杂度。

3 仿真结果和分析

为评估 IA 算法的性能, 下面分别对其在多小区通信系统和异构网络中的理论容量进行了仿真, 其中系统的理论容量 (速率) 的计算式为

$$R = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^K \log [\det(\mathbf{I}_d + (\mathbf{I}_d + \mathbf{J}_k \mathbf{J}_k^*)^{-1} \mathbf{S}_k \mathbf{S}_k^*)] \quad (15)$$

图 3 给出了应用于干扰对齐的多小区系统容量, 仿真参数为: 7 小区, 每个小区有 2 个用户, 发射天线 2, 接收天线 4, 系统自由度为 2, 迭代次数分别为 1、2、10。其中仿真曲线中的随机预编码和迫零算法 (random BF and ZF) 表示传统的发送预编码处理和接收滤波处理。由仿真图可以看出, 当应用 IA 算法后, 系统容量明显提高, 并且算法的迭代次数越多, 容量越大。

根据收发天线的数目以及自由度的不同, 图 4~6 分别给出了不同配置情况下的异构网干扰对齐可达容量, 仿真图中的 random BF and ZF 表示传统的发送预编码处理和接收滤波处理, HIA 表示异构网干扰对齐方案。

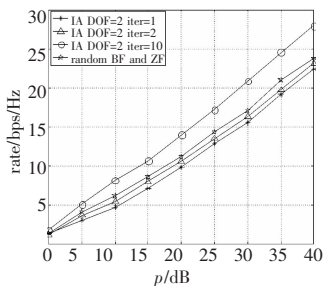


图3 多小区网络容量

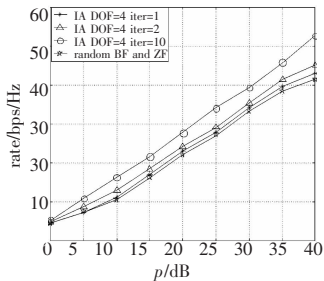


图5 异构网络容量(系统自由度为4,宏蜂窝收发天线为4×8,微蜂窝收发天线为2×2)

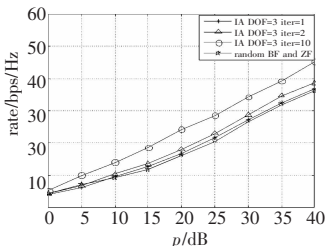


图4 异构网络容量(系统自由度为3,宏蜂窝收发天线为2×8,微蜂窝收发天线为2×2)

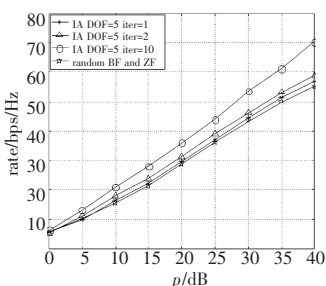


图6 异构网络容量(系统自由度为5,宏蜂窝收发天线为8×8,微蜂窝收发天线为4×4)

由仿真结果可以看出,本文给出的干扰对齐方案可以明显地提高系统的网络容量,由本文第2章的结论可知,改进后的干扰对齐方案可明显降低算法实现的复杂度。分析图3~6可知,系统中天线的配置、算法的迭代次数以及系统的自由度决定着无线通信系统的网络容量。假设不考虑系统以及算法的复杂度,天线数目的增多、迭代次数的增加以及系统自由度的提高,都可以提升小区的网络容量;但在实际应用时需要考虑系统和算法的可实现性以及其复杂度等方面的情况。

4 结束语

本文研究了异构无线网络的干扰管理与控制问题。首先

分析了多小区的干扰对齐技术原理,在此基础上提出了异构网中基于干扰对齐的干扰抑制实现方案,并基于该干扰抑制算法提出了异构网干扰对齐的优化方案。仿真结果表明,优化后的干扰对齐方案大幅度提升了无线通信系统的网络容量,并且降低了算法实现复杂度。

参考文献:

- [1] YETIS C M, GOU Tian-gao, JAFAR S A, *et al.* On feasibility of interference alignment in MIMO interference networks[J]. *IEEE Trans on Signal Processing*, 2010, 58(9): 4771-4782.
- [2] JAFAR S A, SHAMAI S. Degrees of freedom region of the MIMO X channel[J]. *IEEE Trans on Information Theory*, 2008, 54(1): 151-170.
- [3] TRESCH R, GUILLAUD M, RIEGLER E. On the achievability of interference alignment in the K-user constant MIMO interference channel[C]//Proc of the 15th IEEE/SP Workshop on Statistical Signal Processing. 2009: 277-280.
- [4] GUPTA P, KUMAR P R. Towards an information theory of large networks: an achievable rate region[J]. *IEEE Trans on Information Theory*, 2003, 49(8): 1877-1894.
- [5] CADAMBE V R, JAFAR S A. Interference alignment and spatial IA degrees of freedom for the K user interference channel[J]. *IEEE Trans on Information Theory*, 2008, 54(8): 3425-3441.
- [6] PETERS S W, HEATH R W. Cooperative algorithms for MIMO interference channels[J]. *IEEE Trans on Vehicular Technology*, 2011, 60(1): 206-218.
- [7] YU H, SUNG Y. Least squares approach to joint beam design for interference alignment in multiuser multi-input multi-output interference channels[J]. *IEEE Trans on Signal Processing*, 2010, 58(9): 4960-4966.
- [8] SUH D, TSE D. Interference alignment for cellular networks[C]//Proc of the 46th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing. 2008: 1037-1044.
- [9] PAPALIOPOULOS D S, DIMAKIS A G. Interference alignment as a rank constrained rank minimization[C]//Proc of IEEE GLOBECOM. [S.l.]: IEEE Press, 2010: 1-6.