无线通信中的资源配置优化和参数设计问题
——若干低复杂度算法研究

孙聪

摘要

在无线通信领域中，资源配置优化和参数设计问题的研究占有重要地位。根据不同的需求，我们可以建立不同的优化模型，通过求解相应的优化问题给出功率分配和参数设计的方案等等。根据相关的研究，我们不仅可以为不同需求的应用提供平衡资源消耗和用户通信质量的通信方案和相应的理论指导，还可以增强信息论等的理论结果。

实际应用中，一方面，通信的信道参数实时变化。这要求我们在信道参数剧烈变化前快速求解相应的问题。另一方面，通信设备有限的计算处理能力是我们设计算法的计算复杂度瓶颈。并且，由于许多通信应用中优化的问题非凸、高度非线性，我们很难在多项式时间内求得其最优解。因此，我们的目标在于花费很少的时间求得优化问题一个较优的解。本文旨在针对若干特定的通信优化问题，设计低复杂度的快速求解算法。

在第二章中我们考虑一个单天线的点对点的中继辅助通信模型。在保证每个用户的通信质量的前提下，我们希望联合优化中继的波束成形系数，以极小化中继的总发送功率。相应的优化问题等价于一个非凸的二次约束二次规划问题。为求解该问题，本文提出了一种新的逐步二次规划算法。在每轮迭代中，本文通过零空间方法求解一个非凸的二次规划子问题，得到迭代方向和拉格朗日乘子。为更新迭代点，本文提出了两种迭代步：迫降步和普通步。此外，本文还提出了新的拉格朗日乘子的更新方法。在求解非凸的二次约束二次规划的框架下，本文证明了当迭代收敛时，算法一定收敛到问题的一个局部最优解。计算复杂度分析表明本文提出的算法比现有的半定规划松弛算法的复杂度低。数值实验也表明，本文的算法在更短的时间内可以求得同半定规划松弛算法几乎一致的结果。

我们在第三章主要考虑干扰信道的干扰对齐问题。在高信噪比的情形中，干扰是影响通信质量的主要来源。干扰对齐技术则是一种新兴的消除干扰的通信技术。我们通过设计用户的预编码和解码矩阵，在满足干扰对齐的条件下，极大化接收端有用信号的总功率，从而尽量提高系统的总传输速率。该问题可以归纳为一个非凸非线性的矩阵约束优化问题。本文运用 Courant 罚函数的技巧巧妙地将干扰功率与有用信号功率结合成为新的目标函数。本文提出了两种算法来求解转化后的问题。第一个算法是修正的交替迭代法 (MAMA)。通过交替迭代，每个子问题都是一个特征值问题。为了进一步降低算法的复杂度，本文提出了一种混合算法，它由两部分组成。第一部分，算法通过 Householder 变换来保持预编码

和解码矩阵的正交性。在每步迭代中，本文运用二维子空间方法求解子问题。从而将复杂的矩阵约束优化问题转化为一系列一维约束优化问题。从任意初始点开始，该算法可以很快迭代到一组具有低干扰功率的预编码和解码矩阵。在第二部分，为了充分利用 MAMA 算法的优势，算法将第一部分的输出点作为 MAMA 算法的初始点，迭代直至完全消除干扰。分析表明，本文提出的两种算法比现有的 MSP 算法具有更低的计算复杂度，且混合算法的复杂度最低。数值实验显示本文的两种算法的计算时间同经典的快速算法 AMA 相当，而结果上得到了同较为精确的 MSP 算法相似的系统总传输速率。本文中混合算法的表现比 MAMA 更优。

第四章考虑的模型是一般性的多发多收的中继辅助通信网络。我们希望联合设计用户预编码、解码矩阵和中继波束成形矩阵，在一定的用户和中继发送功率限制的条件下，极大化系统的总传输速率。由于总速率的表达式高度非线性、难以直接优化，本文提出了一种新的近似总速率极大化的模型——极大化总的有用信号功率与总干扰噪声的比值(TSTINR)。本文证明了极大化 TSTINR 可以得到总速率的一个下界。针对单独用户和总中继发送功率约束，本文提出了一种低复杂度的算法求解 TSTINR 极大化问题：本文引入参数将 TSTINR 的分子和分母结合成新的目标函数，交替迭代用户的预编码矩阵、解码矩阵和中继波束成形矩阵，提出有效的算法求解相应的子问题。本文还将该算法推广到带有单独用户和单独中继的功率约束模型。在复杂度分析中，本文的 TSTINR 算法的复杂度低于文献中的带权重的均方差极小化(WMMSE)算法。此外，通过加入预编码矩阵的列正交条件，本文又提出了一种新的多数据流传输的 TSTINR 模型。这是在该类一般性的中继通信模型下提出的首个多数据流传输模型。实验表明，对于单数据流模型，本文提出的 TSTINR 算法在普遍情形下优于文献中的极小化总干扰噪声功率(TLIN)算法的结果；在远低于 WMMSE 的计算时间内，本文的 TSTINR 算法在中高信噪比下得到比 WMMSE 更高的总速率，在低信噪比下得到的总速率与 WMMSE 算法的结果相差不大。对于多数据流模型，在中高信噪比下，使用多数据流传输方案可以得到比单数据流传输更高的总速率。

关键词：资源配置优化，参数设计，低复杂度