注：居中，宋体，小一号，加黑，学术型硕士填写内容为“硕士学位论文”；专业学位硕士填写内容为“专业学位硕士学位论文”。阅后删除此文本框。

注：此页为封一。

阅后删除此文本框。

注：此处是论文中英文题目，中文题目，不超过20个汉字，居中，字体：华文细黑，加黑，字号：二号，行距：多倍行距1.25，间距：前段、后段均为0行，取消网格对齐选项。英文题目，与中文题目对应，居中，字体：Times New Roman，字号：三号，加黑，行距：多倍行距1.25，间距：前段、后段均为0行，取消网格对齐选项。阅后删除此文本框。

硕 士 学 位 论 文

大连理工大学硕士学位论文格式规范

The Format Criterion of Master Degree Thesis of DUT

注：此处是研究生论文的标识，按照实际情况填写即可。打印（宋体，小三）或手写都可以。工程硕士将“学科、 专业”标题改为“工程领域”。阅后删除此文本框。

作 者 姓 名：

学科、 专业：

学 号：

指 导 教 师：

完 成 日 期：

大连理工大学

Dalian University of Technology

大连理工大学学位论文独创性声明

注：此页为封二。

阅后删除此文本框。

作者郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下进行研究工作所取得的成果。尽我所知，除文中已经注明引用内容和致谢的地方外，本论文不包含其他个人或集体已经发表的研究成果，也不包含其他已申请学位或其他用途使用过的成果。与我一同工作的同志对本研究所做的贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

若有不实之处，本人愿意承担相关法律责任。

学位论文题目：

作 者 签 名 ： 日期： 年 月 日

注：此页内容不需要任何修改，手写签名并填写日期即可。

阅后删除此文本框。

摘 要

注：奇数页页眉，居中，宋体，五号，学术型硕士填写内容为“大连理工大学硕士学位论文”；专业学位硕士填写内容为“大连理工大学专业学位硕士学位论文”。阅后删除此文本框。

大连理工大学硕士研究生撰写学位论文应当符合写作规范和排版格式的要求，以下格式为研究生院依据国家标准和行业规范所编制的硕士学位论文模板，供硕士研究生参照使用。

摘要部分说明：

“摘要”是摘要部分的标题，不可省略。

标题“摘要”选用模板中的样式所定义的“摘要”；或者手动设置成字体：黑体，居中；字号：小三；1.5倍行距，段前为0行，段后1行。

论文摘要是学位论文的缩影，文字要简练、明确。内容要包括目的、方法、结果和结论。单位制一律换算成国际标准计量单位制，除特殊情况外，数字一律用阿拉伯数码。文中不允许出现插图，重要的表格可以写入。

摘要正文选用模板中的样式所定义的“正文”，每段落首行缩进2个汉字；或者手动设置成每段落首行缩进2个汉字，字体：宋体，字号：小四，行距：多倍行距 1.25，间距：前段、后段均为0行，取消网格对齐选项。

篇幅以一页为限，摘要正文后列出3－5个关键词，关键词与摘要之间空一行。

“关键词：”是关键词部分的引导，不可省略，黑体，小四。

关键词请尽量用《汉语主题词表》等词表提供的规范词。关键词之间用分号间隔，末尾不加标点。

关键词：写作规范；排版格式；硕士学位论文

注：字体：仿宋\_GB2312，小四；关键词之间用分号间隔。阅后删除此文本框。

The Format Criterion of Master’s Degree Paper of DUT

注：论文英文题目。

阅后删除此文本框。

注：偶数页页眉，居中，宋体，五号，论文中文题目。

阅后删除此文本框。

Abstract

Contents of the abstract. Times New Roman.

Key Words：Write Criterion; Typeset Format; Master’s Degree Paper

目 录

注：在该页面中点击鼠标右键，选择“更新域…”，在弹出窗口中选择“更新整个目录”，确定即可自动生成目录。标题“目录”，字体：黑体，字号：小三。章、节标题和页码，字体：宋体，字号：小四。阅后删除此文本框。

[摘 要 I](#_Toc216894797)

[Abstract II](#_Toc216894798)

[引 言 1](#_Toc216894799)

[1 正文格式说明 2](#_Toc216894800)

[1.1 论文格式基本要求 2](#_Toc216894801)

[1.2 论文页眉页脚的编排 2](#_Toc216894802)

[1.3 论文正文格式 3](#_Toc216894803)

[1.4 章节标题格式 3](#_Toc216894804)

[1.5 各章之间的分隔符设置 4](#_Toc216894805)

[1.6 正文中的编号 4](#_Toc216894806)

[2 图表及公式的格式说明 5](#_Toc216894807)

[2.1 图的格式说明 5](#_Toc216894808)

[2.1.1 图的格式示例 5](#_Toc216894809)

[2.1.2 图的格式描述 5](#_Toc216894810)

[2.2 表的格式说明 6](#_Toc216894811)

[2.2.1 表的格式示例 6](#_Toc216894812)

[2.2.2 表的格式描述 7](#_Toc216894813)

[2.3 公式的格式说明 8](#_Toc216894814)

[2.3.1 公式的格式示例 8](#_Toc216894815)

[2.3.2 公式的格式描述 8](#_Toc216894816)

[2.4 参考文献的格式说明 8](#_Toc216894817)

[2.4.1 参考文献在正文中引用的示例 8](#_Toc216894818)

[2.4.2 参考文献在正文中引用的书写格式 8](#_Toc216894819)

[2.4.3 参考文献的书写格式 9](#_Toc216894820)

[2.4.4 参考文献的书写格式示例 9](#_Toc216894821)

[2.5 量和单位的使用 10](#_Toc216894822)

[2.5.1 使用方法 10](#_Toc216894823)

[2.5.2 中华人民共和国法定计量单位 10](#_Toc216894824)

[2.6 规范表达注意事项 13](#_Toc216894825)

[2.6.1 名词术语 13](#_Toc216894826)

[2.6.2 数字 13](#_Toc216894827)

[2.6.3 外文字母 13](#_Toc216894828)

[2.6.4 量和单位 14](#_Toc216894829)

[2.6.5 标点符号 14](#_Toc216894830)

[3 打印说明 15](#_Toc216894831)

[3.1 封页 15](#_Toc216894832)

[3.1.1 封皮 15](#_Toc216894833)

[3.1.2 封一 15](#_Toc216894834)

[3.1.3 封二 15](#_Toc216894835)

[3.2 中英文摘要 15](#_Toc216894836)

[3.2.1 中文摘要 15](#_Toc216894837)

[3.2.2 英文摘要 15](#_Toc216894838)

[3.3 目录 15](#_Toc216894839)

[3.4 正文 15](#_Toc216894840)

[3.4.1 正文 15](#_Toc216894841)

[3.4.2 授权书 15](#_Toc216894842)

[4 第四章题目（黑体，小三，1.5倍行距，段后1行） 16](#_Toc216894843)

[4.1 第一节题目（黑体，四号，1.5倍行距，段前0.5行） 16](#_Toc216894844)

[4.1.1 第一节一级题目（黑体，小四，1.5倍行距，段前0.5行） 16](#_Toc216894845)

[4.2 第二节题目 16](#_Toc216894846)

[4.2.1 第二节一级题目 16](#_Toc216894847)

[结 论 17](#_Toc216894848)

[参 考 文 献 18](#_Toc216894849)

[附录A 附录内容名称 21](#_Toc216894850)

[攻读硕士学位期间发表学术论文情况 22](#_Toc216894851)

[致 谢 23](#_Toc216894852)

[大连理工大学学位论文版权使用授权书 24](#_Toc216894853)

引 言

从引言开始，是正文的起始页，页码从1开始编排。

引言包含的内容：说明论文的主题和选题的范围；对本论文研究主要范围内已有文献的评述；说明本论文所要解决的问题。

注意不要与摘要内容雷同。

建议与相关历史回顾、前人工作的文献评论、理论分析等相结合，如果引言部分省略，该部分内容在正文中单独成章，标题改为绪论，用足够的文字叙述。

注意：是否如实引用前人结果反映的是学术道德问题，应明确写出同行相近的和已取得的成果，避免抄袭之嫌。

书写格式说明：

标题“引言”选用模板中的样式所定义的“引言”；或者手动设置成字体：黑体，居中，字号：小三，1.5倍行距，段后1行，段前为0行。

引言正文选用模板中的样式所定义的“正文”，每段落首行缩进2字；或者手动设置成每段落首行缩进2字，宋体，小四，多倍行距 1.25，段前、段后均为0行，取消网格对齐选项。

注：页码，居中，底部，宋体，小五，正文起始页页码为1。

阅后删除此文本框。

1 绪论

## 1.1 课题研究背景及意义

自1897年无线电的神秘面纱被揭开以来，100多年的历史使得无线电已彻底的融入人们的生活之中。1971年，被称为ALOHNET的无线电通讯网络在夏威夷大学创造成功开启了无线网络时代，随着蜂窝移动网络概念的提出，1982年高级移动通话系统（Advanced Mobile Phone System，AMPS）的成功开发引领移动通信进一步推动了无线通信的发展，自此移动通信经历了四代技术革新，乃至第五代技术的即将到来，从第一代的模拟技术、2G时代的数字化语言通信，到现在为人熟知的以多媒体通信为特征的3g技术和全力展开使用中的4g技术。随着无线网络的进一步发展，如何克服在有限信道资源下尽可能的提高频谱资源利用率问题将成为最大的难题。

无线网络的传输速率慢、信号易受干扰、体系复杂等特点，使得如何提高无线网络信道资源利用率成为一个经典问题。无线通信中，干扰环境错综复杂，除了外界信号噪声干扰的情况，系统内部干扰（如：邻道干扰、互调干扰、远近效应等）也对系统性能有很大影响。同时有别于有线网络，无线网络的可用频谱资源带宽有限，爆炸式增长的信息数据量以及错综复杂的用户需求，导致了有限频谱资源与提高用户QoS之间的矛盾，有效的无线网络资源分配和调度策略成为了研究热点。

随着无线通信技术的发展，5G的演进，采用毫米波、小基站、Massive MIMO、全双工以及波束成形等多项新技术使得相比于4G而言有了全发围的提升。另一方面作为WLAN的现在与未来802.11n开启了MIMO技术的大门，随之到来的802.11ac等将更加有效的提高WLAN性能。通过这些新技术可以得出突破传统无线通信系统容量限制，提高无线网络信道容量的策略可以分为两类：（1）从全局考虑，优化信道分配策略提高信道复用率，提高整体网络信道资源的利用率；（2）从局部考虑，用户层面优化用户调度算法或者采用分集技术提高频谱使用效率。

信道分配策略主要是针对无线信道资源进行分配处理。对于不同的网络接入方式进行不同的分配模式，因而对于FDMA、TDMA以及CDMA系统，需要分别从频率、时间、码字资源上进行合理资源分配处理。同时对于不同的应用场景（如：异构网络共存环境、同网络多用户环境）合理的信道分配策略降低信道间干扰情况，提高整体性能。另一方面长期以来无线频谱资源由政府部门统一管理分配，不同无线通信业务分配的通信频段不同，导致了无线频谱资源的整体利用率处于较低水平，不同地点地段频段上的使用状况都不均衡。

本文主要采用第二种方式来提高频谱使用效率，从用户角度考虑，通过对用户的合理调度降低同信道下导致用户间干扰，旨在判断在什么时间为哪些用户分配资源，针对具体业务数据进行调度。调度算法的根本目的是在保证用户QoS的同时最大化网络频谱资源利用率以及最大化网络容量，除此之外调度算法还需要考虑调度机会的合理分配，在资源竞争公平性及网络容量最大化之间寻找权衡。在频谱资源调度基础上本文采用分集技术以提高调度算法性能。接收分集中发送端单天线，接收端采用多天线的单输入多输出（SIMO）系统，通过改善接收端的SNR来提高信道容量；相对的发射分集的多输入单输出（MISO）系统利用信道状态信息采用波束成形来达到相应效果。随着技术的发展与演变，目前MIMO技术已广阔应用于无线通信多个应用领域，通过创建多个并行的正交子信道，综合使用发射分集和接收分集技术，较大的增加了天线的增益，从而提高信道容量。

## 1.2 国内外研究现状

本文从用户角度来提高无线频谱资源使用率，无线信道作为共享媒介，对于用户竞争该资源的过程中，以公平有效的方式去共享并使用信道资源是极为必要的。

奇数页页眉，宋体，五号，居中。统招、单考硕士、高校教师在职申请硕士学位、同等学历硕士填写内容为“大连理工大学硕士学位论文”；工程硕士填写内容为“大连理工大学专业学位硕士学位论文”。

偶数页页眉，宋体，五号，居中。填写内容是论文的中文题目。

模板中已经将字体和字号要求自动设置为缺省值，只需双击页面中页眉位置，按要求将填写内容替换即可。

## 1.3 本文研究内容

本文主要从用户角度实现对无线信道资源的调度分配。无线信道作为共享媒介，在用户进行合理资源竞争中，需要提供公平有效的竞争策略，保证用户QoS需求，同时频谱资源最为有限资源，提高信道资源利用率同样不可忽略。然而无线信道的固有特性、外界及内部环境干扰、实时性数据的高开销将该问题复杂化。本文主要从两个方面进行研究：首先从链路调度问题这一无线网络基础问题进行出发，通过适用于不同应用场景的链路调度算法来提高网络性能；然后将频谱资源调度研究细节化，研究无限局域网中多用户调度策略，为了进一步提高频谱利用率，本文采用了802.11ac标准中的多用户MIMO，从用户公平性以及网络性能两个方面来设计。

对于无线网络信道资源利用率优化的目标，本文基于频谱资源调度的策略，在用户层面由全局到具体的应用场景一层层深入研究。本文分别从两个应用背景考虑，主要分为两部分工作，下面我们分别给出对应研究工作与内容。

作为无线网络中的基础问题之一，链路调度问题可以分为多个相关子问题进行考虑，本文主要研究最大链路调度问题（MLS问题），目标是寻找当前信道中可以在同一时隙进行传输的最大链路集合，提高当前传输时隙的网络吞吐量。该部分主要工作如下：

（1）本文创新式的在定向天线的应用场景下解决MLS问题，采用定向天线信号发射范围可控的特性，以期可以降低链路间干扰，提高频谱资源利用率。本文基于更加贴近实际情况的物理干扰模型，结合定向天线的特性，设计了可以适用于定向环境下的定向干扰模型。

（2）本文主要以提高网络吞吐量，优化频谱利用率为目标。在定向干扰模型下，本文将定向天线干扰角度以及天线增益等情况加入MLS问题考虑中，在相同功率分配策略下基于图论思想提出解决MLS问题的近似算法，同时采用数学分析以及仿真实验的方式对算法进行性能分析，并与目前最新算法进行效果对比。通过对MLS问题的研究并给出解决方法，利用定向天线的特性提高单时隙传输链路总数量从而提高网络资源利用率。

MLS问题主要以网络吞吐量为度量标准，彻底忽略用户QoS方面的需求，并且是在无线网络这一普遍意义上的解决方式，对于某些应用场景可能发生与现实情况完全不符合的问题。接下来本文将针对WLAN进行单独研究，采用了分集技术MU-MIMO提高网络整体性能，综合考虑网络吞吐量与用户公平性两个方面，目标是对于下行MU-MIMO系统，调度竞争AP（Access Point）传输时隙资源的用户，选择同时隙最佳下行传输组合用户，提高AP下行整体网络性能。该部分主要工作如下：

（1）本文采用MU-MIMO技术提高网络增益，并避开使用高开销的CSI反馈机制，采用有效信噪比（ESNR）【】中的信道可用信息以及当前MU-MIMO系统信息，预测每个用户的信号噪声干扰比，通过该SINR值预测AP下行数据传输速率信息，为用户调度机制提供可用信息。

（2）基于时间动态规划的思想，本文设计了吞吐量约束和时间近似约束两个限制条件来保证网络吞吐量性能，并提出满足公平性策略的用户选择迭代算法。该算法为AP选择每个传输时隙的并行传输用户，从全局进行考虑算法吞吐量性能，一定程度满足单时隙用户调度中公平性竞争原则，在吞吐量与公平性两个方面得到一个权衡点。

（3）本文提出的用户调度机制采用实时数据作为用户选择算法的数据基础，并且用户选择在信道侦听之后发生，该算法可以适用于任意无线信道质量的环境以及动态网络环境中。最后本文利用仿真实验来评估调度算法的性能表现，并与目前最新算法以及经典算法进行性能比较，从公平性和吞吐量两个性能指标上进行比较分析，同时也分析了算法可能存在的影响因素。

本文的两部分工作由理论到实际、由一般到特殊，都是从用户层面进行频谱资源调度策略优化实现无线频谱资源利用率优化，提高单时隙或者全局网络容量。本文用频谱资源调度策略贯穿两部分工作，并且都合理的采用定向天线或多天线技术降低干扰和提高容量增益，从调度层面为频谱资源稀缺问题提供了一定的解决思路。

## 1.4 本文章节安排

根据当前已有的研究背景以及国内外研究现状，利用现有频谱调度策略及相关技术，设计了本文的研究策略和思路，并将本文研究的章节组织如下：

第一章，绪论部分。本文主要介绍无线网络飞速发展中所面临的关键问题及解决策略，并揭示了本文研究的问题领域。通过对研究背景的展开描述，本部分简要概括了无线网络信道资源分配及调度问题的重要性及解决思路，并给出国内外资源调度策略的研究现状。之后给出了本文的主要研究问题及内容，并附上了本文的章节组织安排。

第二章，介绍本文研究所需要的理论基础。本部分从两个方面分别阐述本文工作的主要理论背景，首先给出链路调度问题所需的网络模型及相关定义，为第三章节的定向模型设计提供基础。随后介绍MU-MIMO技术的信道模型及编码技术。

第三章，详细描述基于用户角度的频谱利用率优化策略的具体原理与算法细节。本章着重阐述适用于定向天线的干扰模型设计及在定向环境下针对链路调度问题的算法设计。最后利用数学分析和仿真实验对算法进行性能分析及验证，从网络吞吐量方面进行优化。

第四章，详细描述

结论，总结本文理论及实际工作，归纳本文研究成果，并反思本文研究的不足之处及未来的继续开展工作。

2 相关理论综述

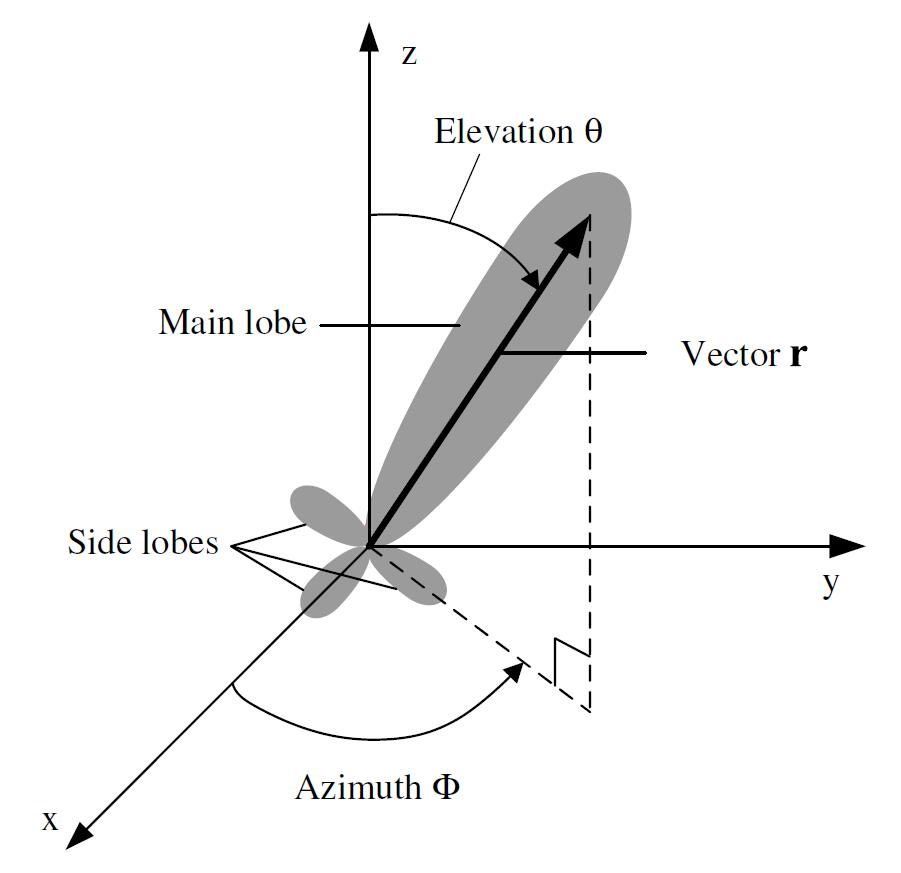
## 2.1 物理层信息

### 2.1.1 天线特性

一般来说，天线作为发射或者收集无线电信号的设备，可以划分成多个种类，整体上来看分为全向天线和定向天线两大类。对于全向天线而言，在无线网络中应用比较广泛，可以将全向天线假想为等向性理想模型，从空间中一个点到任意方向的发生功率相同。定向天线是一个有向天线或者一个天线系统（比如天线组），可以在某些特定方向上有更强更有效的信号接收发射能力。定向天线可以分为以下两类：

（1）传统有向天线。这类定向天线使得天线的传播波束方向固定或者通过机械操作的方式进行手动可调。

（2）智能天线。这类天线由一组特定组成原则的天线单元构成，拥有适应于不同信号发送与接收的情况的数字信号处理能力。相比于传统定向天线，智能天线可以实现定向波束成形、多样化处理以及适应性空间复用等能力。



为了将定向天线应用于理论分析中，需要将定向天线进行模型化。天线信号放射图是天线增益在2D或者3D下的空间分布，该增益值围绕观察者位置的一条路径或者常数半径的曲面表面呈现函数关系。对于3D空间的经典天线信号放射情况如图2.1所示，并给出定向天线增益的定义如下：



其中表示坐标轴z与向量之间的角度，是坐标轴x与向量在x-y坐标面投影的角度，向量表示天线辐射波瓣，是由辐射强度相对较弱的区域为界限的天线辐射图的一部分。是在方向上的功率密度，是在天线所有方向上的功率平均值，表示天线的功效性。当天线的辐射功率在所有方向都一致相同，则有与值相同，可以得到该天线为全向天线（等方向性天线）。在公示中对于角度对称之为波束到达方向（DOA），单独角度或者称之为到达角度（AoA），表示接收信号的方向。天线的功率增益是辐射强度与所有方向上的平均强度的比值。一般情况来说，定向天线拥有峰值增益的主波瓣以及较小增益的侧波瓣或后波瓣，这些侧波瓣和后波瓣对信号传输上能提供的增益异常有限，相反而言还对其他节点造成了不可避免的信号干扰，并且增加了理论研究的操作复杂度。由于定向天线辐射模式的不可预测性拔高了理论分析的复杂度，为了更方便的研究定向天线，这里给出了两种对定向天线的简化模型：

（1）平坦化辐射模型：该模型假设在天线辐射主波瓣波瓣宽度以内的区域天线增益问恒定常数，并且完全忽略侧波瓣和后波瓣（例如任意在主波瓣瓣宽以外的区域天线增益为0）。如图2.2（a）所示，在主瓣宽以内区域天线增益定义如下：



（2）圆锥球面辐射模型：该模型于2001年【On the performance of ad hoc networks with beamforming antennas. *Proceedings of ACM MobiHoc*,2001.】被首次提出。如图2.2（b）所示，该模型由一个波瓣宽度为的主波瓣和一个瓣宽为的侧瓣组成，其中主波瓣被模型化为一个圆锥区域，并且在该区域中的天线增益值相同，而侧瓣被聚合成一个在圆锥尖部的球形区域。

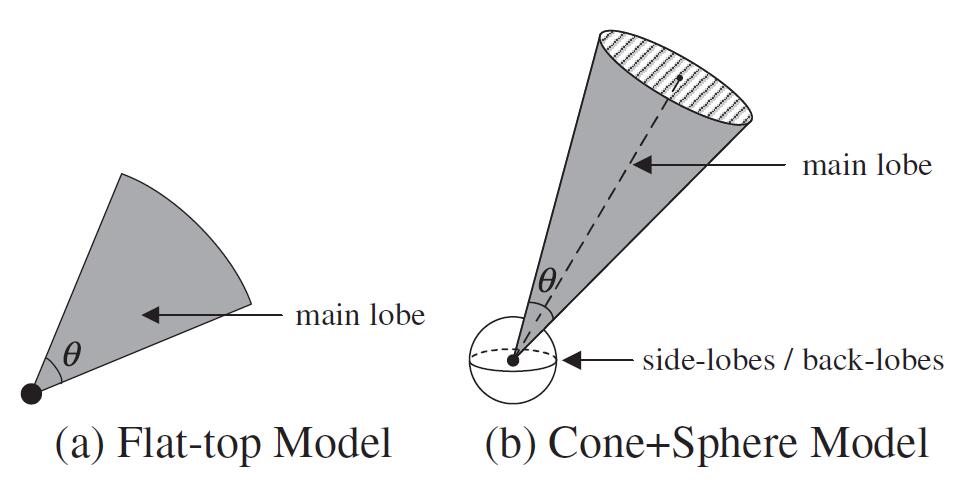




图2.1 样式

Fig. 2.1 Manner

表、图序号后面，同样适当留空（汉字状态敲两次空格键）。

图2.1显示了论文模板中所定义的样式选择方法。使用鼠标选择相应的样式，对应的文字格式就发生相应改变。

### 2.1.2 图的格式描述

（1） 图的绘制方法

① 插图、照片应尽量通过扫描粘贴进本文。

② 简单文字图可用WORD直接绘制。

（2） 图的位置

① 图居中排列。

② 图与上文之间应留一空行。

③ 图中若有附注，一律用阿拉伯数字和右半圆括号按顺序编排，如注1），附注写在图的下方。

（3） 图的版式

① “设置图片格式”的“版式”为“上下型”或“嵌入型”，不得“浮于文字之上”。

② 图的大小尽量以一页的页面为限，不要超限，一旦超限要加续图。

（4） 图名的写法

① 图名居中并位于图下，编号应分章编号，如图2.1。

② 图名与下文留一空行。

③ 图及其名称要放在同一页中，不能跨接两页。

④ 图内文字清晰、美观。

⑤ 中文图名设置为宋体，五号，居中。英文名称设置为Times New Roman，五号，居中。

## 2.2 表的格式说明

### 2.2.1 表的格式示例

表在正文中的常用格式如表2.1至表2.3所示，请参考使用。

物流的概念和范围如表2.1表述。

表、图序号与后面文字同样应当适当留空（两次空格键）。

表2.1 物流的概念和范围

Tab. 2.1 Conception and scope of Logistics

|  |  |
| --- | --- |
| 本质 | 过程 |
| 途径或方法 | 规划、实施、控制 |
| 目标 | 效率、成本效益 |
| 活动或作业 | 流动与储存 |
| 处理对象 | 原材料、在制品、产成品、相关信息 |
| 范围 | 从原点（供应商）到终点（最终顾客） |
| 目的或目标 | 适应顾客的需求（产品、功能、数量、质量、时间、价格） |

美国广义物流后（勤）协会给出的定义如下：“为了符合顾客的要求，从原点到消费点对原材料、在制品、产成品与相关信息的流动和储存的效率成本效益进行规划、实施和控制的过程”。由此可见，物流不是作为一种具体技术和方法来研究的，而是一个过程或管理。

表2.2 统计表

Tab. 2.2 Statistics table for sale

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 产品 | 产量 | 销量 | 产值 | 比重 |
| 手机 | 11000 | 10000 | 500 | 50% |
| 电视机 | 5500 | 5000 | 220 | 22% |
| 计算机 | 1100 | 1000 | 280 | 28% |
| 合计 | 17600 | 16000 | 1000 | 100% |

表2.3 分栏表

Tab. 2.3 Column table

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 年度 | 产品 | 产量 | 销量 | 产值 |
| 2004 | 手机 | 11000 | 10000 | 500 |
| 计算机 | 1100 | 1000 | 280 |
| 2005 | 手机 | 16000 | 13000 | 550 |
| 计算机 | 2100 | 1500 | 320 |

从表2.2和表2.3可以看出，公司销售情况……。

### 2.2.2 表的格式描述

（1） 表的绘制方法

表要用WORD绘制，不要粘贴。

（2） 表的位置

① 表格居中排列。

② 表格与下文应留一行空格。

③ 表中若有附注，一律用阿拉伯数字和右半圆括号按顺序编排，如注1），附注写在表的下方。

（3） 表的版式

① 表的大小尽量以一页的页面为限，不要超限，一旦超限要加续表。

（4） 表名的写法

① 表名应当在表的上方并且居中。编号应分章编号，如表2.1、表2.2。

② 表名与上文留一空行。

③ 表及其名称要放在同一页中，不能跨接两页。

④ 表内文字全文统一，设置为宋体，五号。

⑤ 中文表名设置为宋体，五号，且居中。英文名称设置为Times New Roman，五号，且居中。

## 2.3 公式的格式说明

### 2.3.1 公式的格式示例

由于一般的文献资料中所给出的载荷和抗力的统计参数主要为变异系数，为便于讨论，定义公式形式如下：

 （2.1）

其中，*μ*R，*μ*S分别为抗力和载荷效应的均值……。

### 2.3.2 公式的格式描述

（1） 公式整行右对齐，并调整公式与公式序号之间的距离，使公式部分居中显示。

（2） 公式序号应按章编号，公式编号在行末列出，如（2.1）、（2.2）。

（3） 公式位置：公式之间及上下文间设置半行间距或者6磅，作者可根据情况适当调整，以保证格式协调和美观。

## 2.4 参考文献的格式说明

### 2.4.1 参考文献在正文中引用的示例

关于主题法的起源众说不一。国内有人认为“主题法检索体系的形式和发展开始于1856年英国克雷斯塔多罗（Crestadoro）的《图书馆编制目录技术》一书”，“国外最早采用主题法来组织目录索引的是杜威十进分类法的相关主题索引……”[1]。也有人认出为“美国的贝加逊·富兰克林出借图书馆第一个使用了主题法”[2-4]。

### 2.4.2 参考文献在正文中引用的书写格式

引用的文献在正文中用方括号和阿拉伯数字按顺序以右上角标形式标注在引用处。

### 2.4.3 参考文献的书写格式

（1） 参考文献按照在正文中引用的顺序进行编码。

（2） 作者一律姓前名后（外文作者名应缩写），作者间用“,”间隔。作者少于3人应全部写出，3人以上只列出前3人，后加“等”或“et al”。

（3） 标题“参考文献”选用模板中的样式所定义的“参考文献”，再居中；或者手动设置成字体：黑体，居中，字号：小三，1.5倍行距，段后1行，段前为0行。

（4） 参考文献正文设置成字体：宋体，居左，字号：五号，多倍行距1.25行，段后、段前均为0行。

（5） 按照引用的文献类型不同使用不同的表示方法。

① 专著（注意应标明出版地及所参阅内容在原文献中的位置），表示方法为：

[序号] 作者.专著名[文献类型标志].出版地:出版者,出版年.

② 期刊中析出的文献（注明应标明年、卷、期，尤其注意区分卷和期号），表示方法为：

[序号] 作者.题（篇）名[文献类型标志].刊名.出版年,卷号（期号）:起止页.

③ 会议论文，表示方法为：

[序号] 作者.篇名[文献类型标志].会议名,会址,开会年: 起止页.

④ 专著（文集）中析出的文献，表示方法为：

[序号] 作者.篇名[文献类型标志].见（In）:文集的编（著）者.文集名.出版地:出版者,出版年:起止页.

⑤ 学位论文，表示方法为：

[序号] 作者.题（篇）名[文献类型标志]:（博（硕）士学位论文）.授学位地:授学位单位,授学位年.

⑥ 专利文献，表示方法为：

[序号] 专利申请者.专利题名[文献类型标志].专利国别,专利文献种类,专利号.出版日期.

### 2.4.4 参考文献的书写格式示例

文献类型标志及参考文献书写示例请见“参考文献”部分。

## 2.5 量和单位的使用

### 2.5.1 使用方法

（1） 必须符合国家标准规定，不得使用已废弃的单位，如高斯（G和Gg） ﹑亩﹑克分子浓度（M）﹑当量能度（N）等。

（2） 量和单位不用中文名称，而用法定符号表示。

### 2.5.2 中华人民共和国法定计量单位

中华人民共和国法定计量单位如表2.4至表2.8所示。

表2.4 国际单位制的辅助单位

Tab. 2.4 Assistant units of International System of Units

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 量的名称 | 单位名称 | 单位符号 |
| 平面角 | 弧度 | rad |
| 立体角 | 球面度 | sr |

表2.5 国际单位制中具有专门名称的导出单位

Tab. 2.5 Export units of special name in International System of Units

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 量的名称 | 单位名称 | 单位符号 | 其他表示式例 |
| 频率 | 赫［兹］ | Hz | s-1 |
| 力；重力 | 牛［顿］ | N | kg·m/s2 |
| 压力，压强；应力 | 帕［斯卡］ | Pa | N/m2 |
| 能量；功；热 | 焦［耳］ | J | N·m |
| 功率；辐射通量 | 瓦［特］ | W | J/s |
| 电荷量 | 库［仑］ | C | A·s |
| 电位；电压；电动势 | 伏［特］ | V | W/A |
| 电容 | 法［拉］ | F | C/V |
| 电阻 | 欧［姆］ | Ω | V/A |
| 电导 | 西［门子］ | S | A/V |
| 磁通量 | 韦［伯］ | Wb | V·s |
| 磁通量密度，磁感应强度 | 特［斯拉］ | T | Wb/m2 |
| 电感 | 亨［利］ | H | Wb/A |
| 摄氏温度 | 摄氏度 | ℃ |  |

表2.5 续

Tab. 2.5 Cont

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 量的名称 | 单位名称 | 单位符号 | 其他表示式例 |
| 光通量 | 流明 | lm | cd·sr |
| 光照度 | 勒［克斯］ | lx | lm/m2 |
| 放射性活度 | 贝可［勒尔］ | Bq | s-1 |
| 吸收剂量 | 戈［瑞］ | Gy | J/kg |
| 剂量当量 | 希［沃特］ | Sv | J/kg |

表2.6 国际单位制的基本单位

Tab. 2.6 Basic units of International System of Units

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 量的名称 | 单位名称 | 单位符号 |
| 长度 | 米 | m |
| 质量 | 千克（公斤） | kg |
| 时间 | 秒 | s |
| 电流 | 安［培］ | A |
| 热力学温度 | 开［尔文］ | K |
| 物质的量 | 摩［尔］ | mol |
| 发光强度 | 坎［德拉］ | cd |

表2.7 国家选定的非国际单位制单位

Tab. 2.7 Non- International System of Units adopted by the nation

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 量的名称 | 单位名称 | 单位符号 | 换算关系和说明 |
| 时间 | 分  ［小］时  天（日） | min  h  d | 1min=60s  1h=60min=3600s  1d=24h=86400s |
| 平面角 | ［角］秒  ［角］分  度 | （"）  （'）  （°） | 1"=（π/648000）rad  1'=60"=（π/10800）rad  1°=60'=（π/180）rad |
| 旋转速度 | 转每分 | r/min | 1r/min=（1/60）s-1 |
| 长度 | 海里 | n mile | 1n mile=1852m  （只用于航行） |
| 速度 | 节 | kn | 1kn=1 n mile/h  =（1852/3600）m/s  （只用于航行） |

表2.7 续

Tab. 2.7 Cont

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 量的名称 | 单位名称 | 单位符号 | 换算关系和说明 |
| 质量 | 吨  原子质量单位 | t  u | 1t=103kg  1u≈1.6605655×10-27kg |
| 体积 | 升 | L，（1） | 1L=1dm3=10-3 m3 |
| 能 | 电子伏 | eV | 1eV≈1.6021892×10-19J |
| 级差 | 分贝 | dB |  |
| 级密度 | 特［克斯］ | tex | 1 tex=1g/km |

表2.8 用于构成十进倍数和分数单位的词头

Tab. 2.8 Used prefixes to make up of denary multiples and subdivisions of the units

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 所表示的因数 | 词头名称 | 词头符号 |
| 1018 | 艾［克萨］ | E |
| 1015 | 拍［它］ | P |
| 1012 | 太［拉］ | T |
| 109 | 吉［咖］ | G |
| 106 | 兆 | M |
| 103 | 千 | K |
| 102 | 百 | h |
| 101 | 十 | da |
| 10-1 | 分 | d |
| 10-2 | 厘 | c |
| 10-3 | 毫 | m |
| 10-6 | 微 | μ |
| 10-9 | 纳［诺］ | n |
| 10-12 | 皮［可］ | p |
| 10-15 | 飞［母托］ | f |
| 10-18 | 阿［托］ | a |

## 2.6 规范表达注意事项

### 2.6.1 名词术语

应使用全国自然科学名词审定委员会审定的自然科学名词术语；应按有关的标准或规定使用工程技术名词术语；应使用公认共知的尚无标准或规定的名词术语。作者自拟的名词术语，在文中第一次出现时，须加注说明。表示同一概念或概念组合的名词术语，全文中要前后一致。外国人名可使用原文，不必译出。一般的机关、团体、学校、研究机构和企业等的名称，在论文中第一次出现时必须写全称。

### 2.6.2 数字

数字的使用必须符合新的国家标准GB/T15835-1995《出版物上数字用法的规定》。

### 2.6.3 外文字母

文中出现的易混淆的字母、符号以及上下标等，必须打印清楚或缮写工整。要严格区分外文字母的文种、大小写、正斜体和黑白体等，必要时用铅笔注明，尤其注意上下标字母的大小写、正斜体。

（1） 斜体

斜体外文字母用于表示量的符号，主要用于下列场合：

① 变量符号、变动附标及函数。

② 用字母表示的数及代表点、线、面、体和图形的字母。

③ 特征数符号，如Re（雷诺数）、Fo（傅里叶数）、Al（阿尔芬数）等。

④ 在特定场合中视为常数的参数。

⑤ 矢量、矩阵用黑体斜体。

（2） 正体

正体外文字母用于表示名称及与其有关的代号，主要用于下列场合：

① 有定义的已知函数（例如sin, exp, ln等）。

② 其值不变的数学常数（例如e=2.718 281 8…）及已定义的算子。

③ 法定计量单位、词头和量纲符号。

④ 数学符号。

⑤ 化学元素符号。

⑥ 机具、仪器、设备和产品等的型号、代号及材料牌号。

⑦ 硬度符号。

⑧ 不表示量的外文缩写字。

⑨ 表示序号的拉丁字母。

⑩ 量符号中为区别其它量而加的具有特定含义的非量符号下角标。

### 2.6.4 量和单位

文中涉及的量和单位一律采用新的国家标准GB3100~3102-93《量和单位》。

### 2.6.5 标点符号

标点符号的使用必须符合新的国家标准GB/T15834-1995《标点符号用法》

3 基于

## 3.1 问题模型抽象

### 3.1.1 封皮

大连理工大学印刷厂统一制作。

### 3.1.2 封一

单面打印。

### 3.1.3 封二

单面打印。

## 3.2 算法细节

### 3.2.1 中文摘要

单面打印。

### 3.2.2 英文摘要

如果是一页，单面打印；否则双面打印。

## 3.3 性能分析

如果是一页，单面打印；如果两页，双面打印；如果三页，第一、二页双面打印，第三页单面打印。

## 3.4 正文

### 3.4.1 正文

正文从引言开始到致谢结束，双面打印。

### 3.4.2 授权书

单面打印。

4 基于多用户MIMO的信道资源调度机制

## 4.1 问题模型抽象（黑体，四号，1.5倍行距，段前0.5行）

## 4.1 第一节题目（黑体，四号，1.5倍行距，段前0.5行）

整个调度机制依然继承了用户选择机制应该有的选择公平性、低复杂度以及提高网络吞吐量等优势。这部分我们提出TOUSE算法以实现最佳用户选择调度，TOUSE提出了一种新的度量策略来实现对时间资源的充分利用并确保公平性。此外本调度机制在一定程度上避免使用CSI反馈以降低整个算法复杂度，TOUSE提供了一种AP只需要获取用户的有效SNR即可进行下一步处理。这种机制使得我们可以在有限的时间开销得到最高效的结果。

在给出TOUSE算法机制的详细细节之前，我们首先介绍一些必要的预知信息。在MU-MIMO系统中，AP作为整个系统的中心地位，拥有整个系统状态信息，同时可以在进行信道探索通信之前获取当前的通信队列信息。对于每一次传输，即某一个时隙，AP向用户发送数据，在传输之前，AP可以利用的系统硬件信息包括：AP自身可用的传输天线数量，用户总数量，接受用户的可用天线数量。AP队列信息包括每个用户的数据堆积量以及队列长度。AP可以直接利用的信息量的多少决定了在每次的传输时间及用户调度策略。为了充分的利用这些信息来为AP进行用户选择策略，TOUSE给出了选择最佳传输用户组的调度策略。下面我们简单的介绍TOUSE的工作流程：

1）首先，AP首先广播NDP Announcement帧，来表示其即将开始下行数据传输的目的，然后AP将进行对用户的侦听。之后AP从参与当前时隙传输竞争的用户中随机选择一个加入到最优解组中。

2）用户接收到AP广播的NDP Announcement帧后，根据该帧的特性估算各自的CSI，再经过有效SNR的计算方法获取有效SNR并将该数据反馈回AP端。至此TOUSE的第一轮用户选择结束。

3）接下来，AP通过一定的机制并基于接收到的有效SNR反馈级当前的最优解组来预估每个潜在竞争用户的传输速率。通过速率预测来进行传输时间的计算，这里需要利用到之前提到的预知信息，然后我们可以得到当前最优解组与任何候选用户组合的全局传输时间。

4）鉴于得到的数据传输时间，根据用户选择的两个限制条件（将会在第三小节解释）我们选择出在当前传输时间中对网络容量最佳的候选用户，并将其加入只最优解组中。

5）AP选择出最优候选后，更新其当前的队列已经用户信息，准备下一次选择。

6）重复上述（3）-（5）的过程直到当前最优解组数量已经达到最大传输数量，或者当前竞争用户中已经没有可以满足限制条件的候选用户。AP将会终止当前传输时隙的选择机制，并对当前最优解组中的用户进行数据传输。

接下来我们将详细解释TOUSE算法机制的整个过程。

### 4.1.1 第一节一级题目（黑体，小四，1.5倍行距，段前0.5行）

## 4.2 第二节题目

为了更加精确地预测AP下行传输速率，我们利用有效SNR（ESNR）来降低误差。该技术拥有操作简单、易于部署、使用范围广以及精确度高等特性。使用ESNR对802.11n MIMO进行数据传输速率预测的同时，可以考虑到传输功率以及天线等因素。在计算ESNR的过程中，我们需要CSI作为输入，来提供每个子载波的SNR数值。ESNR可以包含更多数据相比较于RSSI，从而可以提供更多信息来设计精确评估模型。

与以往计算方式不同，ESNR的计算不单单是对左右子载波SNR取平均值，相反而言，ESNR是基于所有子载波SNR中的最弱值来确定的，相当于木桶效应，SNR最低的子载波会产生更多的错误，从而导致传输失败比率的增高，降低数据传输速率。如果我们忽略编码带来的问题，我们可以通过子载波的平均误码率（BER）得到相对应的SNR，即为有效ESNR。

;

.

这里我们用表示从到SNR的逆映射。同时我们将所有子载波BER的平均值称为有效BER，记做，表示通过CSI获得的所有的SNR值。

### 4.2.1 第二节一级题目

## 4.3 第三节题目

在TOUSE用户调度机制中，关键的一点就是如何预测每个用户的数据传输速率，在这个过程中，我们不仅需要考虑到单个用户的传输速率，还需要考虑到不同用户组合时的传输速率影响等问题。进一步考虑，ESNR的评估是速率预测的关键因素，AP通过每个用户反馈回的ENSR值，再根据MCS表格来获取数据速率。在这个过程中我们可以很容易的得这单个用户单独传输时的传输速率，但是在MU-MIMO系统中，多用户的同时传输是该系统的优势所在，在多用户同时传输的过程中，用户间的互相干扰不可避免，从而一定程度上的影响了每个用户的实际传输速率，不同的用户、位置乃至数量都可以很大程度的干扰整个速率预测算法。下面我们将慢慢介绍TOUSE机制。

1）传统速率评估：一种最典型的计算网络总容量的方式是利用信道状态矩阵。总速率（*R*）通过下面公式进行计算得到：



满足 .

这种经典方法对速率的评估准确但是相比较而言较为复杂，其中需要用到信道状态信息，从而增加了通信以及计算复杂度。并且信道状态信息获取起来比较困难，本身而言信道状态信息的获取精确度也是一定的问题。鉴于CSI反馈中带来的开销，AP需要更加合理的利用CSI反馈信息从而提高网络性能，这样是得整个系统更加复杂并且难以部署实施。故而这种方式不是我们所想要的，我们需要提供更加方便的策略。

2）基于ESNR的速率预估：TOUSE的速率预测方法是基于当前理论的MU-MIMO系统扩展性。为了使得算法简单快捷又不是精确度，AP直接接收从用户端反馈回来的ESNR信息，并通过MCS-SNR表来预测对当前用户单独数据传输时的传输速率。此外当AP进行多用户传输的过程中，充分的量化用户之间的干扰影响也是十分重要的环节。在ZF模型中，由于信号的预编码以及信道衰落等使得用户可以仅仅接收自己所需要的信息。为了完全消除其他信号对用户接收所需信号的影响，在ZF模型下，需要提供完整CSI信息，但是与此同时又间接的放大了环境噪声对当前用户的影响。

目前很多相关工作都对ZF预编码系统对网络容量的影响有很深的研究。但是大部分方法都因为其需要的输入信息量较多使得难以符合TOUSE的设计初衷。在ZF标准下，当不完整CSI的使用使得对于用户而言还是残留着其他同时传输的信号的干扰，但是我们可以尽可能的减小这部分干扰，根据相关研究给出，对于并行传输的多个用户而言，其中用户接收到的SINR为：

 （6）

从而我们可以得到其对应的网络总数据传输率：。其中表示用户投影在信道状态上的波束成形预编码单元矢量，以来完成对其他状态等的向量积为零，从而消除其他信号量的干扰。

公式6展示了每个用户的SINR变化情况，用户相互间的影响导致了SINR的难以预测，该SINR计算方法精确度较高，并且较为准确量化了用户间的干扰情况，但是同样的问题是需要以CSI信息作为依据并计算。虽然无法直接利用公式6来进行计算，但是可以借鉴并设计符合自身的要求。从中我们可以看出每个接收者受到的信号干扰影响都是与自身相关角度等信息相关，系统本身的一个因素也对SINR有一定的影响，比如说AP上可用的传输天线数量，当前的竞争用户数量以及并行传输用户数量都对整个系统设计较为重要。在本次研究中有一个需要引起注意的点是本文中的所有用户都使用单天线，而AP使用多天线。因此在一个传输时隙中，AP最多只能与个用户进行通信并且满足：。在论文[12][13]中提到并证明需要完整的信道状态信息来选择ZF波束成形向量才可以实现完全复用增益。本次研究中，我们的目的旨在降低系统复杂度，尽可能的避免使用完全CSI反馈信息，这里我们给出TOUSE调度机制中的对于每个接收者的SINR预估方法：



其中是AP的可利用传输天线的数量，表示了MU-MIMO系统的自由度。表示当前的波束成形组的大小，该参数使得当前用户与其他用户之间的干扰成指数变化。

在TOUSE中，我们假定所有的传输天线都以相同的恒定功率进行工作，通过上述公式7，通过ESNR来代替CSI信息降低了实现复杂度，同时也降低了精确度，但是对于本系统，我们需要的是对整体的判断，公式7已经足够TOUSE用户调度机制完成其相关工作。根据用户的SINR数据，通过MCS-Rate表格来预测当前用户的数据传输率。

3）TOUSE速率预测分析：通过公式7，TOUSE的SINR计算方法仅仅需要根据系统硬件信息，当前并行传输用户数以及根据NDP帧测量计算得到的每个用户的ENSR反馈值。这种计算模式不仅可以避免来自CSI反馈的高开销，还可以适应于网络的动态性，从而提高整个算法的容错率。在公式中表示用户间干扰的增益，并且该增益会随着传输功率的增加而增加。

在整个速率预测过程中，TOUSE首先获得当前系统状态信息并收集来自用户的ESNR反馈，然后AP基于当前波束成形用户组集中式计算每个用户的SINR，最终根据计算得到的SINR通过MCS-SNR表格（表格见表1）获取数据传输速率。

表4.1 MCS-SNR

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| MCS | Rate(Mbps) | SNR(dB) |
| 0  1  2  3  4  5  6  7 | 6.5  13.0  19.5  26.0  39.0  52.0  58.5  65.0 | 1.1  4.1  6.7  9.6  12.8  17.2  18.4  19.7 |

## 4.4 第三节题目

在本部分，我们将展现TOUSE的用户选择机制，并给予说明如何提高网络聚合吞吐量以及如何实施用户竞争的信道接入公平。前一章节中已经给出了用户速率预测方法，为了真正的利用速率，我们需要得知当前用户的一些其他信息来进行计算，例如用户的总传输数据，当前网络的时间开销（比如信道探测、ESNR反馈等），当然这些问题可以通过AP的缓存队列状态或者进行网络测量等方法进行处理。因而我们可以通过一些先验条件来计算不同用户组合对当前时隙数据的影响，计算组合的总传输时间，并选择最佳组合使得在一段时间中整个网络数据传输吞吐量最大。利用吞吐量作为网络性能的一个度量参数，吞吐量的计算公式如下，其中表示整个在一个传输时隙中的所有传输数据，表示当前时隙中并行多用户传输的最大传输时间，表示当前网络的网络开销。

。

为了达到本次研究的最初两个目标：提高网络吞吐量以及确保公平性，我们基于时间动态规划的原理设计了近似匹配算法进行选择最佳波束成形用户组，提出了两个限制条件来进行用户筛选。在给出限制条件之前，首先介绍一些必要的定义及参数。首先我们用表示当前的波束成形用户组，是当前被选择的用户总数，用来表示当前组的大小满足，表示下一轮用户选择的候选用户，也就是参与当前时隙竞争的未被选择用户。表示在当前波束成形用户组的基础上加入用户时AP对该接收者的总数据传输时间。为了满足设计目标，首先给出限制条件一：



该限制条件表示如果候选接收者满足该条件，说明该接收者可以加入至当前波束成形用户组中，并且可以实现对网络性能的提升。其中表示当前波束成形组中传输时间最长的接收者。并且满足。是接收者在两个传输模式和的数据传输速率的比值。这里我们给出一定的示例来说明以便清楚，假设对于接收者而言，当该接收者在波束成形组的用户数为时数据传输速率为，当波束成形用户组数为时数据传输速率为，则。由于波束成形用户组对AP下行数据传输有较大的影响，因而需要针对当前的各种情况判断候选接收者是否对当前网络有提升效果，否则不予考虑。上述公式也就是限制条件一是一个网络性能限制，来判断候选接收者是否有必要加入到当前波束成形用户组中来增加网络增益。

第二个限制条件是借鉴了动态规划的思想，对整个网络资源进行更加充分的利用。



表示当前波束成形用户组的大小。利用该限制条件在满足限制一的情况下选择传输时间最优的候选接收者，使得同时传输的接收者的数据传输时间解决，尽可能的利用信道资源来完成数据传输。例如：在某个传输时隙中，AP将向多个用户进行数据传输，此时的信道接入竞争接收者有user1、user2和user3，并且分别的独立数据传输时间分别为1s、100s和100s，在这种情况下如果将user1和user2绑定作为波束成形以用户组，将会导致时间资源的浪费，从而影响整个网络的性能。为了尽可能的避免这种情况的发生，我们给出了约束条件二。

TOUSE多用户选择机制的设计中采用了时间动态规划的方式，保证了网络性能的最优化，充分的利用了信道资源来为多用户MIMO系统服务。系统根据传输时间来选择了与当前波束成形用户组最佳匹配候选接收者。算法的另外一个设计目标为竞争公平性，为了实现该目的，在用户选择阶段，AP首先选择第一个接收者加入至波束成形用户组中，并且以随机选择的方式来完成，保证了第一个接收者的产生方式满足公平行策略。这样就保证了第一个接收者的数据传输时间拥有足够的随机性，使得接下来的选择过程将这种随机性保持。同时为了整个网络的性能考虑，我们不能完全将整个网络的选择进行完全随机，否则使得整体网络性能降低，当某些接收者处于一个信号条件相对很差的位置，我们需要保证的是在不完全将该接收者至于饥饿状态的前提下，尽可能的降低该接收者的接入时间来提高整个网络的性能。从而TOUSE用户选择机制也不是一种完全公平性的算法，只是在用户接入公平性与网络整体性能上找到了一个平衡点，一定程度上保证了双方的利益。

下一部分我们将给出整个TOUSE机制的用户算法，算法通过公式8作为网络传输性能的指标，通过公式可以看出当一个传输时隙中当同时传输的用户数量越多，总传输数据越多，也可能将使得当前传输效率提高，但是接收者数量的增多又会导致当前网络开销增大，接收者之间的干扰增大，降低数据传输速率，从而降低网络性能。因此在网络开销与聚合数据之间找到一个平衡是本研究的重中之重。

## 4.4 第三节题目

|  |
| --- |
| 算法2 TOUSE用户选择 |
| 输入：  一组单天线用户;  AP可用传输天线数，传输功率；  输出：  最优并行数据接收用户组；  最优解组的大小；  开始：  **while** and **do**  **if**  **then**  随机从C中选择一个作为第一个解元素；  ，；  **else** **repeat**  选出传输时间与当前最优解组最佳匹配的竞争接收者；  根据约束条件判断当前接收者是否适合；  **if** 满足约束条件 **then**  ，；  **end** **if**  **until** 获得最优匹配解或者当前候选者中没有满足条件的解；  **end** **if**  **if** **then**  当前解为最优解；  终止选择程序；  **end** **if**  **end** **while** |

为了搜寻出一个最优并行数据接收用户组来提高网络性能，TOUSE设计了两个约束条件来为用户选择提高判断依据，然后从符合条件的用户中通过速率预测的方式选择最佳情况。对于在一个传输时隙的竞争候选接收者组，TOUSE用户选择机制得到了最佳AP下行数据传输接收者组合。

算法2给出了TOUSE用户选择机制的详细工作过程，根据当前时隙的接入竞争用户组，给出最优解用户组合。在算法的第一轮选择时，随机选择一个接收者作为最优解中的一员，以此来在一定程度上保证用户接入公平性，随后根据速率预测以及约束条件进行第二轮等等的一系列筛选准则，并且该筛选过程一直持续到解组合数满足或者没有解元素满足条件。在整个搜寻解的过程中，每一次选择加入至中的接收者元素都是与当前最佳匹配，传输时间相近，相互之间干扰较小，并且可以提高当前网络性能。利用ESNR反馈来代替开销较大的CSI反馈，调度算法上面采用集中式迭代选择等策略很大程度上的降低了系统复杂度的同时保证了系统性能。

## 4.4 第三节题目

在这部分我们通过仿真实验来给出TOUSE用户选择机制的性能表现，由于本次研究背景为室内环境，因而实验环境情况相对较优，干扰影响相对较小。实验旨在回答以下几个问题：

1）相比于现存方法，TOUSE能够达到怎样的网络容量增益？

2）相比于现存方法，TOUSE的公平性表现如何？

3）对于TOUSE而言，AP的可用传输天线数量对算法的影响如何？

4）TOUSE是否满足用户扩展情况？

5）TOUSE在不同信道质量下是否影响性能表现？

为了使得实验有更强的说服力，我们设计了多组对比实验，实验中用到的现阶段用户选择算法如下：（1）Pre-sounding User and Mode Selection Algorithm (PUMA)[5]。PUMA算法有效的利用了MU-MIMO系统的资源信息，以单时隙总传输速率R为度量标准，采用穷举的方式选择拥有最高速率的并行传输组合。（2）PUMA混合算法，该算法采用了PUMA的计算度量方式，但是选择了迭代策略选择用户组合，降低了算法复杂度，方便与本文算法进行比较。（3）Random User Selection（RUS），作为802.11ac标准的默认选择机制，以同概率随机选择数据传输组合，该算法作为TOUSE公平性能分析的关键对比算法。

在仿真实验中，我们随机将用户置于AP周围且保持固定位置不变。并且实验中信道模型依然采用多径干扰衰落模型，并且实验AP天线功率始终采用15W，默认接收用户数量为10，数据包大小为1500bytes，AP可利用传输天线数为3。实验过程中如果修改了其中的部分参数将会特别指出，否则一致采用默认参数设置。

## 4.4 Performance Comparison for Continuous Traffic

该部分给出TOUSE用户选择机制在网络吞吐量增益上的表现情况，我们通过与对比算法的来增加实验结果说服力。实验中我们随机布置10个单接收天线用户在AP周围，每个接收用户都随机置于不同信道质量的位置，并且一直都拥有数据包需要接收。在每个时隙数据传输之前，AP首先获得当前数据缓存队列中的信息，得到当前AP需要向各个接收者发送的总数据量，然后根据接收者反馈回来的ESNR信息计算评估AP向每个接收者的下行数据传输速率。

图1绘制了算法在三天线情景下的总吞吐量累计分布函数。从结果中可以看出802.11标准中的选择模式RUS算法，由于其选择上的等概率随机性，无法考虑信道特性以及各种干扰情况，使得无法达到很好的网络性能。相比于RUS算法，在三天线情景下TOUSE用户选择机制可以实现50%的平均吞吐量增益。这部分的收益主要来源于一下几个原因：第一利用有限的反馈信息精确的预测数据传输速率，以及多用户并行传输时的干扰影响，有效降低了时间开销。第二，采用最佳时间匹配机制充分的利用了每个时隙的有效传输时间，提高信道资源利用率。实验结果也给出了PUMA-MIX以及PUMA算法的性能表现，可以看出这两个算法相比于TOUSE对网络性能提升上几乎一致，甚至稍微优于TOUSE用户选择机制。原因在于这两种算法以利用单时隙总数据传输速率为度量方式，穷举选择最优组合，每次的处理过程以当前网络能实现的最大吞吐量为目标，但是这种方式使得在一定程度上的提高了网络性能，却需要付出同等代价的时间复杂度。在仿真实验中，我们得到PUMA需要付出的时间开销相比较于TOUSE用户选择模式。另外当同时参与竞争的用户数量越多，这种开销会更多，可能影响到整个系统性能。

## 4.4 Performance Comparison for Continuous Traffic

在这部分我们通过实验给出TOUSE算法在公平性方面的表现情况，这里所指的公平性是在不同的信道状态条件下可以竞争得到信道的几率，如果以网络性能作为最高优先级来看，当某个接收者用户处于信道状态较差的环境下时竞争得到信道的可能性相对较小，因为其网络信道质量决定了传输速率，从而影响网络性能，因而可能产生饥饿现象。实验中的度量标准为在AP可利用天线数为3的场景中，不同信道质量下的接收者用户被TOUSE迭代选择第二个加入最优解组的次数，次数越多表示接入概率越大。为了增加实验性能说服力，我们还利用简式公平性指数（Jain’s fairness index JFI）[]。实验中我们设计了五个不同的接收者用户，分别赋予不同的信道质量状态并评估其影响情况。五个用户使用user来表示，user1和user4表示信道状态最差和最好的两种情况，分别是5dB和20dB左右；user2的信道质量优于user1，但是相比于user3较弱，分别为10dB和15dB左右；然后用user5作为一个对比控制组，其信道质量处于变化状态，每个时隙进行TOUSE用户选择时信道质量会随机改变。

在整个用户选择过程中，AP进行下行数据传输的最优用户组解是被一个接一个的选择出来，在仿真实验中，第一步首先TOUSE会随机的选择出一个幸运的竞争者用户，因此对于任何信道竞争者而言被选为第一个解元素的概率都是相同的，不足以作为当前算法公平性的一个判断标准。为了给出更加令人信服的实验结果，我们得到了实验结果图2，使用第二个被选择的概率作为公平性的评判标准。图中可以看出RUS和TOUSE用户选择机制中每个用户竞争到信道的几率近乎相同，相较于RUS算法，TOUSE尽可能的实现了信道竞争公平性，达到了与完全平均竞争机制（RUS算法）近乎一致的公平性等级。TOUSE算法中，可以清楚的看出user1的接入几率明显小于其他竞争者，这是由于user1处于信道质量最差的区域，AP对该用户的数据传输速率低，算法中限制了user1的接入几率以提高当前网络的整体性能，但不是完全否定了该用户的机会。在PUMA中，由于该算法是以尽可能提高整体网络性能为目的，从而几乎放弃user1这类接收者避免降低下行传输速率，尽可能的选择信道质量较高的用户进行传输，使得不太符合现实情况。

图2中给出了TOUSE算法与其他对比算法的用户接入几率情况，虽然我们可以看出大致的性能表现情况，但是不足以充分的说明算法就公平性的表现究竟如何，下面我们采用JFI对算法进行评估实验。首先，JFI是公平性指标中的一种定义，JFI的具体计算方法如下：

.

其中表示当前信道的竞争者数量，表示用户在整个实验过程时间中竞争到信道的总时间。JFI的数值范围为（所有用户中只有一个用户一直占有信道）到1（所有用户等概率占有信道）。图3给出了四种算法的简式公平性指数的实验结果情况，实验中我们将信道竞争的用户数量从5提高到40，并给出了JFI的变化情况曲线，通过实验可以得到随着用户数量的增加，PUMA算法的竞争愈加趋于不公平，逐渐只有拥有高信道质量的用户才能竞争得到信道。RUS算法保持着JFI为1的最佳情况，TOUSE的JFI指数也接近于最佳情况，可以说明算法的公平性能比较合适。

## 4.4 Performance Comparison for Continuous Traffic

至此为止，我们已经通过仿真实验的方式就算法的网络容量以及信道接入公平性两个方面进行了分析，并且实验结果也证实了算法在两者之间的权衡情况：在尽可能提高网络吞吐量的前提下，保持竞争用户的信道接入公平性。接下来我们将分析AP可利用传输天线的数量对算法性能的影响，这里我们以网络吞吐量（throughput）作为衡量标准。在仿真实验中，我们设置AP的可利用传输天线数量从2到8，分别分析其性能情况并于对比实验进行对比分析，参与信道接入竞争的接收者用户数为30，随机分布在AP周围。图4说明了用户选择机制不仅在小范围多用户MIMO系统中起到关键作用，在大规模多用户MIMO中也必不可少。比较这几种用户选择机制，可以看出随着天线可用数量的变化，每种算法的变化情况几乎趋于一致并且可达到的最大网络容量也比较近似，随着天线数量的增加，单时隙并行用户数量的增加导致了用户间干扰的逐渐增大使得算法性能逐渐趋于最大值并稳定。实验中我们可以看出随着天线数量增加，同时可并行传输用户的数量增多，PUMA算法在提高网络容量性能上逐渐优于TOUSE算法，这是由于PUMA选择的用户数量变多，单时隙的总传输速率提高。此外实验结果证实了一味的增加并行传输数据流的数量不一定是一个有效传输模式，不可避免的内部干扰使得问题复杂化。

## 4.4 Performance Comparison for Continuous Traffic

这部分将分析TOUSE算法的可扩展性情况，来回答之前提出的第四个问题。我们将会评估TOUSE算法在信道竞争用户数量从5个到50个的性能表现情况，与之前的实验类似，依然利用网络整体吞吐量增益作为标准判断TOUSE算法在每个用户都只有有限数据包需要接收的情况下的性能表现。在每次实验中，AP将所有数据传输至对应的待接收用户，然后根据总传输数据量以及数据传输所用总时间计算得到网络吞吐量。

通过实验结果我们得到了图5，可以看出单时隙竞争接收者数量的变化对四种算法的影响几乎一致，无论竞争者数量如何变化，对网络吞吐量性能上来说影响甚微，也变相的说明了TOUSE算法对用户数量的不敏感性。图5也进一步表现了PUMA算法在整体网络速率上的优势，无论当前竞争用户的数量如何变化，PUMA算法的吞吐量性能始终稍强于TOUSE，但是实验中也表现出了PUMA算法的另外一种劣势，穷举法的使用导致了算法在竞争用户数量变多的情况下，时间开销有点难以忍受，10倍与TOUSE算法的时间开销使得难以被现实情况所接受。RUS算法，忽略当前网络特性、信道状态信息乃至多用户系统信息的特性使得算法在除了信道接入公平性以为的所有特性上都难以与其他算法进行比较。

## 4.4 Performance Comparison for Continuous Traffic

为了进一步评估算法在不同信道质量状况下的性能表现情况，我们分别在不同信道质量环境下进行了多次仿真实验。我们设立四处不同SNR的区域，最差信道环境的SNR值为0-5dB范围以内，最优环境下的SNR值为15-20dB，并且每次实验中设立了10个信道竞争接收者，随机分布在在当前信道质量环境下的AP周围。实验结果图6揭露了当当前网络信道环境极差的情况下时多用户选择机制对当前网络性能的影响微乎甚微，因为当前网络的干扰情况已经使得并行传输接收者之间的组内干扰可以忽略，无论任何用户组合都不能够提高网络性能。随着网络信道质量的提高，用户选择机制的影响逐渐决定了当前网络性能的走向，网络性能表现上明显优于RUS机制，通过对信道特性的分析、用户行为的分析等方式降低多用户传输导致的用户间干扰，提高了容量。通过实验也同时证明了TOUSE用户选择机制在网络容量上有着不输于PUMA的性能表现，并且TOUSE用户选择机制可以在不同的网络信道质量下有着不弱的表现，及时信道质量很差的情况也稍强于RUS算法。

结 论

结论是理论分析和实验结果的逻辑发展，是整篇论文的归宿。结论是在理论分析、试验结果的基础上，经过分析、推理、判断、归纳的过程而形成的总观点。结论必须完整、准确、鲜明、并突出与前人不同的新见解。

书写格式说明：

标题“结论”选用模板中的样式所定义的“结论”，或者手动设置成字体：黑体，居中，字号：小三，1.5倍行距，段后1行，段前为0行。

结论正文选用模板中的样式所定义的“正文”，每段落首行缩进2字；或者手动设置成每段落首行缩进2字，字体：宋体，字号：小四，行距：多倍行距 1.25，间距：前段、后段均为0行。

参 考 文 献

标题“参考文献”不可省略，选用模板中的样式所定义的“参考文献”；或者手动设置成字体：黑体，居中，字号：小三，1.5倍行距，段后1行，段前为0行。

参考文献内容设置成字体：宋体，居中，字号：五号，多倍行距1.25，段前、段后均为0行，取消网格对齐选项。

参考文献的著录，按论文中引用顺序排列。

参考文献数量不少于20篇，其中期刊不少于10篇，并且包含一定数量的外文期刊。

文献类型标志参考国家标准 GB/T 7714－2005，如下表：

|  |  |
| --- | --- |
| 文献类型 | 标志代码 |
| 普通图书 | M |
| 会议录 | C |
| 汇编 | G |
| 报纸 | N |
| 期刊 | J |
| 学位论文 | D |
| 报告 | R |
| 标准 | S |
| 专利 | P |
| 数据库 | DB |
| 计算机程序 | CP |
| 电子公告 | EB |

按照引用的文献类型不同使用不同的方法，示例如下：

1 普通图书

[1] 广西壮族自治区林业厅.广西自然保护区[M].北京:中国林业出版社,1993.

[2] 蒋有绪,郭泉水,马娟,等.中国森林群落分类及其群落学特征[M].北京:科学出版社,1998.

[3] International Federation of library Association and Institutions. Names of persons: national usages for entry in catalogues [M].3rd ed. London: IFLA International office for UBC, 1977.

2 期刊中析出的文献

[1] 李炳穆.理想的图书馆员和信息专家的素质与形象[J].图书情报工作,2000(2):5-8.

[2] 陶仁骥.密码学与数学[J].自然杂志,1984,7(7):527.

[3] 亚洲地质图编目组. 亚洲地层与地质历史概述[J].地质学报,1978,3:104-208.

[4] DES MARAIS D J, STRAUSS H , SUMMONS R E, et al. Carbon isotope evidence for the stepwise oxidation of the Proterozoic environment [J].Nature ,1992,359:605-609.

3 论文集、会议录

[1] 中国力学学会.第3届全国实验流体力学学术会议论文集[C].天津:[出版者不祥],1990.

[2] ROSENTHALL E M. Proceedings of the Fifth Canadian Mathematical Congress, University of Montreal, 1961[C]. Toronto: University of Toronto Press,1963.

4 专著中析出的文献

[1] 国家标准局信息分类编码研究所.GB/T 2659-1986 世界各国和地区名称代码[S]//全国文献工作标准化技术委员会.文献工作国家标准汇编:3.北京:中国标准出版社,1988:59-92.

[2] 韩吉人.论职工教育的特点[G]//中国职工教育研究会.职工教育研究论文集.北京:人民教育出版社,1985:90-99.

[3] FOURNEY M E. Advances in holographic photoelasticity [C]//American Society of Mechanical Engineers．Applied Mechanics Division．Symposium on Applications of Holography in Mechanics, August 23-25,1971,University of Southern California, Los Angeles, California. New York：ASME,c1971:17-38.

[4] MARTIN G. Control of electronic resources in Australia[M]//PATTLE L W , COX B J. Electronic resources: selection and bibliographic control. New York : The Haworth Press,1966:85-96.

5 学位论文

[1] 张志祥. 间断动力系统的随机扰动及其在守恒律方程中的应用[D].北京:北京大学数学学院,1998.

[2] CALMS R B. Infrared spectroscopic studies on solid oxygen [D]. Berkeley: Univ．of California ,1965.

6 专利文献

[1] 刘加林. 多功能一次性压舌板:中国,92214985.2[P].1993,04,14.

[2] 河北绿洲生态环境科技有限公司.一种荒漠化地区生态植被综合培育种植方法:中国,01129210.5[P/OL].2001-10-24[2002-05-28].http://211.152.9.47/sipoasp/zlijs/hyjs-yx-new.asp?recid=01129210.5& leixin.

[3] KOSEKI A ,MOMOSE H, KAWAHITO M, et al .Compiler :US,828402[P/OL]. 2002-05-25[2002-02-28]. http://FF&p＝1 & u =netahtml/PTO/search-bool.html & r = 5 & f=G& l = 50& col = AND & d =PG01 & sl =IBM .AS. & 0S =AN/IBM & RS =AN/IBM.

7 科技报告

[1] U．S．Department of Transportation Federal Highway Administration. Guidelines for handling excavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U.S. Department of Commerce National Information Service,1990.

[2] World Health Organization. Factors regulating the immune response: report of WHO Scientific Group[R]. Geneva: WHO, 1970.

8 报纸中析出文献

[1] 丁文祥. 数字革命与竞争国际化[N].中国青年报,2000 ,11,20(15).

[2] 张田勤. 罪犯DNA库与生命伦理学计划[N].大众科技报,2000,11,12(7).

9 电子文献（包括专著或连续出版物中析出的电子文献）

[1] 江向东.互联网环境下的信息处理与图书管理系统解决方案[J/OL].情报学报, 1999, 18(2):4[2000-01-18]. http://www.chinainfo.gov.cn/periodical/qbxb/qbxb99/qbxb990203.

[2] 萧钰.出版业信息化迈入快车道 [EB/OL]. (2001,12,19)[2002,04,15]. http://www.creader.com/news/20011219/200112190019.html.

[3] METCALF S W. The Tort Hall air emission study[C/OL] //The International Congress on Hazardous Waste, Atlanta Marriott Marquis Hotel, Atlanta, Georgia, June 5-8, 1995: impact on human and ecological health [1998,09,22]. http://atsdrl.atsdr.cdc.gov:8080/cong95.html.

[4] TURCOTTE D L. Fractals and chaos in geology and geophysics[M/OL]. Mew York: Cambridge University Press, 1992[1998,09,23]. http://www.seg.org/reviews/mccorm30.html.

附录A 附录内容名称

以下内容可放在附录之内：

（1） 正文内过于冗长的公式推导；

（2） 方便他人阅读所需的辅助性数学工具或表格；

（3） 重复性数据和图表；

（4） 论文使用的主要符号的意义和单位；

（5） 程序说明和程序全文。

这部分内容可省略。如果省略，删掉此页。

书写格式说明：

标题“附录A 附录内容名称”选用模板中的样式所定义的“附录”；或者手动设置成字体：黑体，居中，字号：小三，1.5倍行距，段后1行，段前为0行。

附录正文选用模板中的样式所定义的“正文”，每段落首行缩进2字；或者手动设置成每段落首行缩进2字，字体：宋体，字号：小四，行距：多倍行距 1.25，间距：前段、后段均为0行。

攻读硕士学位期间发表学术论文情况

仅列出硕士生攻读硕士学位期间发表与学位论文有关的学术论文，并注明属于学位论文内容的部分（章节），所有作者及其顺序、所发表的刊物名称（包括主办单位、是否被SCI、EI检索期刊）、时间、期号与页码。其他时间或与学位论文内容（章节）无关的论文不得列出。

书写格式说明：

标题“攻读硕士学位期间发表学术论文情况”选用模板中的样式所定义的“发表学术论文情况”；或者手动设置成字体：黑体，居中，字号：小三，1.5倍行距，段后1行，段前为0行。

“攻读硕士学位期间发表学术论文情况”正文选用模板中的样式所定义的“正文”，每段落首行缩进2字；或者手动设置成每段落首行缩进2字，字体：宋体，字号：小四，行距：多倍行距 1.25，间距：前段、后段均为0行。

例：

1 论文题目.**作者1**，作者2. 中国科学，2004年，卷（期）：起始页码-终止页码. 主办单位：中国科学院。SCI检索期刊，本文SCI检索号：123DX。（本硕士学位论文第一章）

注：学位论文作者，加黑。阅后删除此文本框。

致 谢

学位论文中不得书写与论文工作无关的人和事，对导师的致谢要实事求是。

一同工作的同志对本研究所做的贡献应在论文中做明确的说明并表示谢意。

这部分内容不可省略。

书写格式说明：

标题“致谢”选用模板中的样式所定义的“致谢”；或者手动设置成字体：黑体，居中，字号：小三，1.5倍行距，段后1行，段前为0行。

致谢正文选用模板中的样式所定义的“正文”，每段落首行缩进2字；或者手动设置成每段落首行缩进2字，字体：宋体，字号：小四，行距：多倍行距 1.25，间距：前段、后段均为0行。

大连理工大学学位论文版权使用授权书

注：页眉，居中，宋体，五号，统招、单考硕士、高校教师在职申请硕士学位、同等学历硕士填写内容为“大连理工大学硕士学位论文”；工程硕士、MBA、EMBA、MPA填写内容为“大连理工大学专业学位硕士学位论文”。

阅后删除此文本框。

注：此页为封底。

阅后删除此文本框。

本人完全了解学校有关学位论文知识产权的规定，在校攻读学位期间论文工作的知识产权属于大连理工大学，允许论文被查阅和借阅。学校有权保留论文并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印、或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

学位论文题目：

作 者 签 名 ： 日期： 年 月 日

导 师 签 名 ： 日期： 年 月 日

注：此页内容不需要任何改修，手写签名和日期即可。

阅后删除此文本框。