**1.1 研究背景和意义**

（此处还可分背景和意义详细点）在科学技术的推动下，人类社会已进入了信息时代，通信已成为与人类生活密不可分的一部分，推动者经济的发展和社会的进步。如今，无线通信已广泛地用于支持语音、视频、网页浏览等，无线通信面临着频谱资源匮乏等诸多挑战。人们对无线通信业务需求不断的增加，促使无线通信技术不断地发展更新。

在过去的几十年里，无线通信系统经历翻天覆地的快速发展。不仅仅有最初传递语音的通信服务，还有如今各类数据业务支撑以及多媒体视频等综合通信服务。所以人们的日常生活已经离不开无线通信了，它为社会生产和人民生活带来了许多便捷。

为了得到更稳定可靠的信息传输，未来无线通信的发展离不开更高的传输速率和频谱利用率。然而，现如今我们面对着频谱资源紧张，无线传播环境复杂等问题，实现信息传输的稳定和可靠需要采用更先进的技术。多输入多输出(MIMO, Multiple-Input Multiple-Output)技术应运而生。它是在发射端和接收端均采用多天线，运用无线传输和信号处理技术，因势利导，利用无线信道多径传播的特点，在不增加带宽的情况下，成倍地提高通信系统的容量和频谱利用率。它已被视为第四代移动通信技术的关键技术之一，引起了国内外广大学者的关注。

MIMO系统的性能受到接收端信号检测性能的影响，因此在保证一定接收检测性能的前提下降低信号检测算法的复杂度成为MIMO技术参与实际应用的关键。高性能、低复杂度的MIMO检测算法的设计也在MIMO的研究中具有十分重要的意义。

**1.2 国内外研究现状**

MIMO系统最早由Marconi于1908年提出，它通过发射端和接收端都采用多天线来抗衰落。在之后的20世纪70年代，MIMO技术开始应用于通信领域。随后90年代对它的研究推动MIMO技术飞快地发展。1995年，Bell实验室学者Telatar从理论的角度证明了多天线系统能使链路容量成倍地增加[1]。他们从理论的角度证明，在总发射功率受限、空间独立的瑞利平坦衰落信道下，MIMO信道容量随着发射与接收天线数中的最小值呈线性增长[2]。这可以说明，在不增加带宽和发射功率的前提下，MIMO技术可以成倍提高无线通信系统的信道容量，同时它也可以有效解决频谱资源日益紧张和容量需求急剧增长的情况。因此，MIMO技术已成为当前实现高频谱利用率、高传输速率、高可靠性数据传输的重点方案之一。众多学者从信息论角度对MIMO系统的信道容量进行了深入的研究。考虑丰富散射条件下的窄带MIMO系统具有根发送天线，根接收天线。假设接收端已知信道信息时，MIMO系统的信道容量可随收发天线数目的较小的一方呈线性的增加。复用技术[3]可以使MIMO系统在信道容量方面的优势得以充分的发挥，它利用空间矩阵信道创建了多个并行的空间传输通道，传输独立的信息流，从而提高系统的传输速率。典型的例子有贝尔实验室所提出的V-BLAST、D-BLAST和T-BLAST[4]。除此之外，多天线还带来了空间自由度可以用于增强系统可靠性，其中最著名的技术是空时编码技术(STC, Space-Time Coding)[5]。空时编码技术在空间维上引入冗余为信息提供保护，从而增强可靠性。可以分为分层空时码(LSTC， Layered Space-Time Code)、空时分组码(STBC， Space-Time Block Code)以及空时格码(STTC， Space-Time Trellis Code)。

纵观最近几年关于MIMO技术的文献，可以总结出现如今对于MIMO系统的研究主要集中在以下几个方面：

1、MIMO无线信道的建模；

2、MIMO信道容量的分析；

3、基于MIMO的空时编码技术；

4、MIMO技术与OFDM技术结合；

5、MIMO的接收机关键技术，如信道估计、信号检测等。

MIMO系统发射端和接收端都采用多根天线，和传统的单输入单输出(SISO)系统相比，它实现了多路并行传输信号，但提高了通信速率的同时也存在诸多问题，比如接收端接收到时间上和频带上相互重叠的多路信号，频率选择性系统中存在的码间干扰等，增加了检测难度，接收端的信号检测的优劣能直接影响到了MIMO整个系统的性能，所以，它的优化改进也就成为了MIMO系统中的待解决的重要问题。本文将主要致力于MIMO系统的接收端的信号检测技术的研究。

MIMO系统中的信号检测算法根据检测思想的侧重点不同目前可以大致分为最优检测算法，传统检测算法、次优检测算法以及其他检测算法。

（1）最大似然检测算法

最大似然检测算法(ML, Maximum Likelyhood)是公认的性能最优的信号检测算法，它的主要原理是在系统的接收端预存发射端可能发送的所有符号矢量，当接收端接收到发射信号后，计算该信号与所预存的发送符号矢量在接收空间内映射的欧氏距，其中接收端检测的发送信号的估计值就是最小欧氏距所对应的信号。虽然该算法的误比特性能是最优的，并且可以完全获得接收分集增益。但是其算法复杂度是成指数的，不适合在实际中应用。但因为其最优的性能，常常被作为一个性能上界来衡量其他检测算法的性能。

（2）线性检测

线性检测的方法就是对接收到的信号及信道矩阵进行线性的变换，以满足某个准则。根据准则的不同，线性检测算法可以分为迫零(ZF, Zero Forcing)检测与最小均方误差(MMSE, Minimum Mean Square Error)检测。其中迫零检测可以完全消除各个天线之间的干扰，但同时也增强了噪声功率，该算法复杂度最低且性能也最低。MMSE能在消除天线间干扰跟噪声中找到平衡，让接收端获取到最大信干噪比，与ZF检测相比较，性能较优。两者均是实际应用中算法复杂度较低的方法，但两者性能上和最大似然算法有很大的差距，因此较少单独用于实际检测系统中。

（3）干扰消除算法（IC， Interference Cancellation）

干扰消除算法的思想来源于多用户检测技术思想的线性干扰相消算法，能将已经检测出来的结果变成干扰消除掉，以便提高之后信号的检测性能。正如多用户检测那样，它也可以有串行干扰消除检测(SIC, Successive Interference Cancellation)和并行干扰消除检测(PIC, Parallel Interference Cancellation)。串行干扰消除检测时会产生误码传递的情况，为此可以先对检测信号按信噪比大小顺序进行排序，也就是排序的串行干扰消除检测(OSIC, Ordered Successive Interference Cancellation)。采用的串行方式消除干扰，即检测出一个估计值则从接受信号中消除掉，再继续进行检测，直到全部检测完毕。并行干扰消除检测的方法是采用并行的方式消除干扰，即所有信号被检测之后，利用检测结果同时将干扰从接收信号中去除掉。提高检测信号的准确性，较SIC而言，处理时延更短，但计算量更大。

（4）QR分解算法

MIMO系统也可以用QR分解算法进行干扰抵消，与SIC不同的是，它对信道矩阵进行QR分解而不需要进行矩阵求逆运算，在一定程度上减小了计算量。QR分解又可以分为以下几种类型：基于Gram-Schmidt正交化的QR分解基于Household变换的QR分解和基于Givens旋转变换的QR分解[5][6]。

（5）球形检测算法

球形检测算法(SD， Sphere Decoding)：该算法最早是由Fincke和Pohst以纯数学的角度提出来的，之后才引入到通信领域的信号检测中。随后就出现了许许多多基于球形检测的改进算法。它的基本思想就是将最大似然检测算法的搜索区域通过一个在多维星座空间的“球体”来加以限制，在“球体”“半径”足够大的情况下便能够达到与ML检测性能相同的性能。并且SD算法在最坏的情况下的复杂度才是指数关系的，所以它的计算复杂度比最大似然检测算法要低，但是不稳定。球形检测算法因其合理的复杂度以及逼近最优检测的性能引起了国内外广大学者的关注，对它的研究主要考虑为如何进一步稳定降低其计算复杂度。

（6）QRD-M 检测算法

QRD-M算法：这一方法是表示对传输矩阵先进行QR分解再与M算法结合，还没有合适的中文翻译，其中M表示一种宽度优先树搜索策略。它和球形检测算法一样也是使用这种倒置树结构来进行搜索。但是M算法限制了树上每层节点的保留个数，让检测性能与ML相比有一定的差距。

（7）半定松弛(SDR, Semi-definite Relaxation)算法[7]

ML检测问题可以映射成最优化理论中的布尔二次规划问题。SDR利用数学变换，通过松弛约束条件，将 MIMO检测问题转化为容易求解的凸优化问题——半定规划，再由内点算法求解，最后通过随机化方法得到检测结果。该算法复杂度主要来自内点算法和随机化过程，具有多项式级复杂度，而性能能够接近ML检测。

（8）其他检测算法

此外还有一些其他的检测算法如分枝界定[8]，是一种用于解决二次规划问题的优化搜索方法；堆栈算法[9]，是一种基于度量优先的树搜索算法；概率数据关联算法[10]，一种基于统计的检测算法；球形映射算法[11]，基于线性检测算法的球形检测算法；迭代检测与译码[12],算法类似于 Turbo 码的迭代思想；等等。

**1.3本文主要工作和结构安排**

本论文研究内容为多天线通信系统中的接收端检测技术，在充分借鉴和学习了己有成果的基础上，本文对于MIMO检测的难点问题进行了探讨并且在既有算法的基础上提出了一些改进算法。

结构安排。。。。

[1]

[2]E．TELATAR．Capacity of multi—antenna Gaussian channels[J]．AT&T-Bell Labs Internal Tech．Memo．1995：l-28．

[3] G-J．FOSCHINI．Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multi-element antennas[J]．Bell Labs Technology Journal，1996，1(2)：41-59．

[4]G．D．GOLDEN，G J．FOSCHINI，R．A．VALENZUELA，Detection algorithm and initial laborary results using V··BLAST space-time communication architecture [J]．IEEE electronics Letters，．1 999，35(1)：14—16．

[5]Wubben D, Bohnke R, Rinas J, et al. Efficient algorithm for detecting layered space-time codes[C]. Berlin:ITG-Fachber, 2002: 399-405.

[6]孙艳华,吴伟陵.基 QR分解V-BLAST检测算法研究和比较[J].无线电工程.2006,36(12):26-29.

[7] Ma W K, Davidson T N, Wong K M. Quasi-maximum likelihood multiuser detection using semi-definite relaxation with application to synchronous CDMA[J]. IEEE Trans Signal Process, 2002, 50(4): 912-922.

[8] Luo J, Pattipati K R, Willett P, et al. Fast Optimal and suboptimal any-time algorithms for CDMA multiuser detection based on branch and bound[J]. IEEE Trans Commun, 2004, 52(4): 632-642.

[9]孙艳华,张延华,龚萍等.几种MIMO最大似然检测算法心梗与复杂度比较及改进[J].电路与系统学报, 2008, 13(3): 93-99.

[10]Artes H, Seethaler D, Hlawatsch F, et al. Efficient detection algorithms for MIMO channels: a geometrical approach to approximate ML detection[J]. IEEE Signal Process Lett, 2003, 51(11): 2808-2820.

[11]林云,何丰.MIMO技术原理及应用[M]．北京:人民邮电出版社,2010

[12]Mayer T, Jenkac H, Hagenauer J, et al. Turbo base-station cooperation for intercell interference cancellation[C]. Istanbul: IEEE Int Conf Commun, 2006, 11: 4977-4982.