

学校编码: 10384
学号: 200231005

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

厦 门 大 学
硕 士 学 位 论 文
基于协方差成形最小二乘的
多用户检测技术的研究

The Research of Multiuser Detection Based on
Covariance Shaping Least-Squares Technology

廖 礼 彬

指导教师姓名: 席 斌 副 教 授

专 业 名 称: 控制理论与控制工程

论文提交日期: 2005 年 5 月

论文答辩时间: 2005 年 6 月

学位授予日期: 2005 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2005 年 5 月

摘要

未来的移动通信服务立足于在无线网络上满足语音以及多媒体传输需求的不断增长，直接序列扩频宽带 CDMA 蜂窝移动通信系统就是其中的一种。这种通信系统有很强的抗多径衰落以及抑制同信道干扰的能力，但是，宽带 CDMA 蜂窝移动通信系统必须要解决的是由于频率选择性衰落以及短码周期造成的码间干扰以及同步性的问题。

非正交码分多址(CDMA)技术的通信系统是使用一组准正交的伪随机噪声(PN)序列通过相关处理来实现多个用户共享空间传输的频率资源和同时入网接续的功能的自干扰受限系统，多址干扰(MAI)是限制系统性能和容量提高的一个重要因素。多用户检测技术是抑制多址干扰的一种有效的技术手段。最小二乘估计的方差最小，但其均方误差是由方差以及偏差的平方和构成，由于偏差的影响其均方误差未必很小。协方差成形最小二乘估计是一种有偏估计，其相对于最小二乘估计的优势在于当信噪比较低时其估计结果的均方误差较小，因而可以更好的控制估计误差的协方差的动态范围以及频谱。本文主要研究基于协方差成形最小二乘估计的多用户检测技术，并可分为四个部分。

第一部分首先分析了 DS-CDMA 扩频通信系统原理和多址干扰问题的产生，并简要说明了第三代移动通信中的新技术。

第二部分从接收信号的数学模型出发，讨论了基本的同信道干扰的抑制方法以及这些方法各自的特点。

第三部分介绍了加权协方差成形以及协方差成形最小二估计方法，并对其性能进行了分析，说明了在满足一定的条件下其均方误差小于最小二乘估计的均方误差。

第四部分基于线性多用户检测模型，利用协方差成形最小二乘估计技

术，研究了基于协方差成形最小二乘的多用户检测器及其自适应形式，分析结果表明这种方法仅用到用户信号的特征向量，且与接收信号幅度及信道信噪比无关，通过分析及仿真结果表明，新的多用户检测器可以在信道参数未知的情况下达到与线性最小均方误差多用户检测器相当的检测结果。

关键词：多用户检测；协方差成形；最小二乘

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

Future wireless communication services will require wide bandwidths to meet the increasing demand of voice and multimedia services through a wireless network. One of the most promising techniques for the next generation of cellular systems is direct-sequence code-division multiple-access (DS-CDMA), which is robust against multipath fading and capable of suppressing interference. However, the large spreading bandwidths, especially for high-rate transmission, make the DS-CDMA systems liable to suffer from the frequency-selective fading and the short chip duration, which leads to severe interchip interference due to multipath fading and the difficulties in synchronization.

In fact, in a nonorthogonal CDMA system, the conventional correlation receivers suffer from the so-called near-far problem, namely, the situation where a strong nearby user prevents detection of users that are farther away, and hence, are received with low power. The development of near-far resistant CDMA detectors was attempted by employing multiuser detection techniques, which use information from multiple users to improve the detection of each individual user. Multiuser receivers for detection of CDMA signals try to mitigate the effect of multiple-access interference which is one of the primary factors which effect the system performance and capacity. Covariance shaping least-squares estimator, which is for estimating a set of unknown deterministic parameters \mathbf{x} observed through a known linear transformation \mathbf{H} and the corrupted by additive noise, is a biased estimator directed at improving the performance of the traditional least-squares estimator by choosing the

estimate of x to minimize the (weighed) total error variance in the observations subject to a constraint on the covariance of the estimation error so that we control the dynamic range and the spectral shape of the covariance of the estimation error. In this paper, we research the multiuser detection based on covariance shaping least-squares estimator, it can be divided into four parts.

First of all, we analyze the principle of DS-CDMA system and the problem of MAI, then present some new techniques of the third generation of cell-phone.

Secondly, we discuss some ways to suppress the same channel interference and characters of these ways based on the math model of the received signal.

Thirdly, the weighted covariance shaping and covariance shaping least-squares estimator are presented, then we analyze the performance of the latter.

At last, we especially research the multiuser detection based on covariance shaping least-squares and the adaptive covariance shaping least-squares multiuser detection. From the discuss we can see that these two receivers perform better than the decorrelator and the MF receivers and perform similarly to the linear MMSE receiver, even though it does not rely on knowledge of the channel parameters.

Key words: Multiuser detection; Covariance shaping; Least-squares

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 无线通信技术的变革	1
1.2 CDMA 系统的信号处理	2
1.3 协方差成形最小二乘估计	3
1.4 多用户检测	4
1.5 论文结构	5
第二章 CDMA 通信系统及其关键技术	7
2.1 CDMA 通信系统	7
2.2 第三代移动通信系统中的新技术	11
第三章 多用户检测技术基础	17
3.1 引言	17
3.2 CDMA 系统的数学模型	17
3.3 匹配滤波及检测分析	19
3.4 多用户检测技术	20
3.4.1 传统信号检测器	20
3.4.2 最佳多用户检测器	22
3.4.3 线性解相关检测	23
3.4.4 最小均方误差检测	25
3.4.5 连续抵消干扰检测	28
3.4.6 判决反馈多用户检测	29
3.5 多用户检测技术性能分析与比较	30

第四章 协方差成形最小二乘估计	32
4.1 最小二乘估计及其性能	32
4.2 协方差成形最小二乘估计	34
4.2.1 加权最小均方误差成形.....	36
4.2.2 协方差成形最小二乘估计.....	39
4.3 协方差成形最小二乘估计性能分析	42
4.3.1 Cramer-Rao 下界.....	42
4.3.2 固定比例常数协方差成形最小二乘估计性能分析.....	44
4.3.3 最优比例常数协方差成形最小二乘估计性能分析.....	45
第五章 基于协方差成形最小二乘的多用户检测技术	47
5.1 基于协方差成形最小二乘的多用户检测技术	47
5.1.1 线性检测器与线性变换.....	47
5.1.2 基于协方差成形最小二乘的多用户检测技术.....	48
5.2 基于协方差成形最小二乘的自适应多用户检测技术	52
5.2.1 级连最小均方误差成形器的匹配相关估计器.....	52
5.2.2 自适应协方差成形最小二乘多用户检测.....	54
5.3 协方差成形矩阵选择与仿真结果分析	57
总结与展望	63
参考文献	66
致 谢	68

CONTENT

Chapter1	Introduction.....	1
1.1	The revolution of wireless communication	1
1.2	Signal Processing of CDMA system	2
1.3	Covariance shaping least-squares estimator.....	3
1.4	Multiuser detection.....	4
1.5	Construction of this paper.....	5
Chapter2	CDMA and its primay techniques	7
2.1	CDMA communication system	7
2.2	The new technologies of the third mobile communication system	11
Chapter3	Basis of Multiuser detection.....	17
3.1	Introduction	17
3.2	Mathematics model of CDMA system	17
3.3	Multiuser detection.....	19
3.4	Multiuser detection.....	20
3.4.1	Conventional detection.....	20
3.4.2	Optimum detector.....	22
3.4.3	Decorrelation linear detector.....	23
3.4.4	MMSE linear detector	25
3.4.5	Successive cancellation detection	28
3.4.6	Decision feedback multiuser detection	29
3.5	Comparison of Performance of detectors	30
Chapter4	Covariance shaping least-squares estimator	32
4.1	Least-squares estimator and its performance.....	32
4.2	Covariance shaping least-squares estimator.....	34

4.2.1	Wighted minimum mean-squared error shaping	36
4.2.2	Covariance shaping least-squares estimator.....	39
4.3	Analysis of performance of covariance shaping least-squares estimator.....	42
4.3.1	Cramer-Rao lower bound	42
4.3.2	Performance of fixed scaling.....	44
4.3.3	Performance of optimal scaling.....	45
Chapter5	Multiuser detector based on coveriance shaping least-squares technology	47
5.1	Multiuser detector based on coveriance shaping least-squares technology	47
5.1.1	Linear detector and linear transform	47
5.1.2	Multiuser detector based on coveriance shaping least-squares technology	48
5.2	The adaptive multiuser detector based on coveriance shaping least-squares technology	52
5.2.1	Matched correlator estimator followed by minimum mean-squared error shaping	52
5.2.2	The adaptive covariance shaping least-squares multiuser detector	54
5.3	The choice of shaping matrix and simulation.....	57
	Conclusion and future research	63
	References	66
	Acknowledge	68

第一章 绪论

1.1 无线通信技术的变革

通信技术经历了从有线到无线、从模拟到数字两次巨大变革。最早的模拟无线移动电话是 20 世纪 80 年代中期才投入市场的,从而开创了蜂窝通信系统和个人通信服务系统的大批量生产,诞生了第一代移动通信系统即模拟式通信系统。由于数字信号处理、大规模集成电路和其它制造技术的发展,90 年代中期又诞生了数字式通信系统,称为第二代移动通信系统。现在,第三代移动通信系统又即将投入使用。短短的十几年时间,无线通信技术经历了从第一代到第三代的重大变革。

最早的模拟服务系统是频分多址(FDMA)系统,在这种系统中信道被分割为大量的子信道,每个子信道占有唯一的频道,但模拟调制限制了通信系统的容量。

为了克服模拟系统的局限性,第二代通信系统采用数字调制,它具有很多明显的优点:能抑制噪声和多径扩散的影响,使断续发射成为可能等,这使得数字通信系统具有比模拟通信系统更高的容量、更好的语音质量和更长的电池使用寿命。由于 FDMA 系统在用户和基站连接期间,给一个信道分配一个带宽,所以多个用户之间不能共享一个 FDMA 信道,也不能供可变带宽信号使用。

在通信理论中有一个极为重要的基本结论:若多个用户的信号可以做到正交,则这些用户可共享一个发射媒介。FDMA 是分割信道的频带来实现用户信号的正交,与 FDMA 不同,时分多址(TDMA)是通过让信道在时间上被分割实现信道正交的,而码分多址(CDMA)则是在每个信道使用不同的码序列,并且使用相互正交的码序列来实现信道正交的。由于扩频

调制的应用，CDMA 不仅时间-频带共享，而且使可容纳的用户数与扩频系数成正比，从而获得大大超过传统多址通信技术的用户容量。

然而，第二代通信系统的数据处理能力是有限的，这就要求第三代通信系统能够提供高比特速率业务来传输和接收高质量的图像和视频，并且还能提供高数据速率的网络接入，除此之外还能支持基于位置的业务、导航、紧急援助和其它先进业务，因此，第三代通信系统的显著特点是宽带、高容量和高速率。

1.2 CDMA 系统的信号处理

通信信号的传输是极其复杂的，这主要是因为信道的衰落、扩展及多径现象对通信信号的传输影响严重，并且这种影响是随时间变化的。

通信信号在传输过程中受到的主要干扰为码间干扰和同信道干扰。

由非理想信道频率响应特性 $C(f)$ 引起的幅度畸变和时延畸变使得信道在以接近带宽 W 的速率发射或传播一脉冲串时，每个脉冲在接收端会产生扩散与重叠，从而引发码间干扰。

同信道干扰是使用同一组频率的非相邻蜂窝的发射引起的，也称多用户干扰。与热噪声不同的是，同信道干扰不能通过简单地提高发射机的载波功率克服，因为自身载波发射功率的提高会增加对相邻信道的干扰。

码间干扰和信道间干扰之所以存在，主要是由于带限发射和接收滤波器、放大器、时延与多径传输、发射机和接收机之间的相对运动、耦合效应及多址干扰等的作用。可以这样说，通信信号处理的研究主要就是围绕对码间干扰的补偿和同信道干扰的抑制展开的。

CDMA 是一种以扩频通信为基础的调制和多址接入技术。扩频通信技术用伪随机码把基带信号的频谱进行扩展，形成相当宽带的低功率谱密

度发射信号。在接收端,使用与扩频信号发送者相同的伪随机码做扩频解调处理。CDMA 通信信号具有不易受干扰,保密性强;多个扩频信号能共用同一频带,可采用随机多址通信方式,通信寻址简单方便,有较好的过负荷能力等优点。但是,由于 CDMA 通信系统中不同用户是用不同的特征码来区分,特征码之间严格正交解扩效果是最好的,但实际不可能设计完全正交的特征码,这样就会引起多址信号之间的互相干扰,即多址干扰(MAI)。另外,无线电波的多径传播还带来符号间干扰。这两种干扰是限制 CDMA 通信系统性能的主要因素。

在具有长时延的多径应用中,由于通信信道服从频率选择性衰落,因此要在用户特征波形之间保持低的互相关往往比较困难。另外,由于相互干扰的影响,使用匹配滤波器接收的信号,其性能有可能下降比较严重。在第三代移动通信系统中采用具有良好的相关特性的扩频码以及智能天线、多用户检测、空时二维处理等技术来有效克服多径传播以及码间干扰对 CDMA 系统的影响。

1.3 协方差成形最小二乘估计

信号处理的基本任务是利用观测数据作出关于信号或系统的某种统计决策。统计决策理论主要解决两大类问题:假设检验与估计。其中估计理论可分为非参数化和参数化两类方法。参数化方法假定数据服从一已知结构的概率模型,但模型的参数未知,其主要基础是优化理论,即被估计的参数应该在某种准则下是最优的,以及如何获得最优的参数估计。

在实际的信号处理中,基于最小二乘算法的滤波器的特性完全取决于输入信号的特性,用最小二乘估计虽然可得到线性系统的无偏的方差最小的估计值,但该估计值的均方误差(MSE)并不一定最小。因为估计值的均

方误差是方差及偏差的范数之和,虽然最小二乘法能够使得前者最小,但对于后者,却不能保证其最小。实际上在用最小二乘法估计参数的时候,偏差往往有一个较大的方差,而其协方差的动态范围也较大,这是由于当信噪比较低时,观测数据受噪声变化的影响可能会大于受估计值变化的影响,这种影响程度决定于系数矩阵,严重的情况下甚至可能造成输出信号受噪声影响过大而对估计参数矢量的变化不发生响应或响应很小。为了解决这个问题,我们考虑采用协方差成形最小二乘估计来在信噪比较低时选择估计参数以使得观测向量的总体误差的方差最小,并且估计值的协方差满足一定的约束条件以便于我们可以控制估计误差的协方差的动态范围及频谱形状。

1.4 多用户检测

我们知道,若不同用户的特征波形是正交的,那么将接收信号与特定用户的扩频序列求相关的接收机是最佳接收机,多址干扰根本就不存在。然而,由于不同用户的信号是以不同的时间延迟到达接收机的,而各个用户之间又不可能做到同步,所以不可能使特征波形在所有可能的相对时延范围内正交。由于多址干扰的存在,传统的匹配滤波接收机或相关接收机存在干扰低限以及远近效应问题,因此我们需要使用能够有效抑制多址干扰的接收机,它们统称为多用户检测器。

为了抑制多址干扰,在多用户检测中,任何一种接收机都应该知道以下一个或多个参数:

- (1) 期望用户的特征波形;
- (2) 干扰用户的特征波形;
- (3) 期望用户的定时信息(比特的出现时间和载波相位);

(4) 干扰用户的定时信息（比特的出现时间和载波相位）；

(5) 干扰用户相对于期望用户信号幅值的接收信号幅值。

传统的相关接收机只使用上述的（1）和（3）的信息，未考虑其他用户的干扰，因而受到远近效应问题的困扰。最佳多用户检测器需要用到以上所有信息，其抗远近能力是任何一种多用户检测器所能达到的抗远近能力的最小上界，即最佳抗远近能力，但由于其实现系统的复杂度与用户数是成指数关系，计算量太大，根本无法实时实现。其它的任一种多用户检测技术无论是线性的还是非线性的，其技术基础都基于干扰消除。干扰消除的基本原理是认为要想从多址干扰中提取所需用户的信号，就必须首先恢复干扰信号；然后从整个接收集中消去这些多址干扰，就能够获得所需用户的信号。由于多址干扰和期望信号是同时出现的，所以多址干扰的恢复和期望信号的提取一般都要经过多次处理才能彻底完成。

1.5 论文结构

本文主要介绍基于协方差成形最小二乘估计的多用户检测技术。

第一章简要介绍了无线通信技术的发展以及 CDMA 系统中信号处理技术的主要研究方向，还介绍了协方差成形最小二乘技术主要解决的问题以及多用户检测的原理。

第二章简要介绍了 CDMA 通信系统的基本原理、主要技术参数以及应用的主要关键技术，并简要分析了 CDMA 通信检测技术的系统模型、多址干扰形成的原因及检测的基本思想。

第三章讨论了多用户检测技术的基础，对多用户检测的几种典型的检测方案进行了概述，并给出了多用户检测技术的性能测度，并对多种检测技术的特点进行了分析、比较。

第四章分析了最小二乘法估计存在的问题,重点讨论了加权协方差成形以及协方差成形最小二乘估计的原理、方法,并对其性能进行了分析。

第五章提出了基于协方差成形最小二乘的多用户检测技术,以及其自适应形式,其性能在信噪比较低时优于解相关以及匹配滤波,并在无需信道参数的情况下能够达到最小均方检测器的效果。

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第二章 CDMA 通信系统及其关键技术

2.1 CDMA 通信系统

从 20 世纪 70 年代末蜂窝移动通信的问世到当今 21 世纪 CDMA 技术应用, 移动通信经历了模拟时代如北美的 AMPS、欧洲的 TACS、瑞典的 NMT-900、日本的 HCMTS/MCMTS 以及 无绳电话 CT-1; 数字时代如北美的 D-AMPS、欧洲的 GSM、日本的 JDC 直至当今 WS-CDMA/CDMA2000 等。在从模拟到数字的转变过程中经历了多址通信技术的发展: 频分多址 FDMA、时分多址 TDMA 以及码分多址 CDMA。

CDMA 系统是 20 世纪 80 年代末 90 年代初由 Qualcomm 公司开发试验的, 由于其能有效的降低人为干扰、窄带干扰、多径干扰的影响, 采用语音激活技术、各种分集技术、各小区间均使用同一频率无需频率管理和指配、实现软切换, 大大增加了系统容量以及系统抗干扰能力。并且满足了日益激增的对移动通信非话业务的需求。

一、多址通信方式

传统的无线通信是建立在点对点的通信基础上的, 而现代通信为了实现任意呼叫某一用户的目的逐步转向多址通信。在射频信号可分割理论基础上, 在发送端信号复合, 在接收端信号分离, 要求各个信号之间必须线性相关且相互正交。即许多移动用户共用一个宽带信道, 任意二个移动用户可占用任一指定射频信道, 进行相互通信而不影响其他用户。目前常见的多址通信方式有频分多址的 FDMA 方式、时分多址的 TDMA 方式以及码分多址的 CDMA 方式。

FDMA 采用频率分割, 将使用频段划分成若干个极窄子频的频道, 一个用户分配一个固定频道, 利用调频方式在该频道内传送信息, 在接收端

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库