



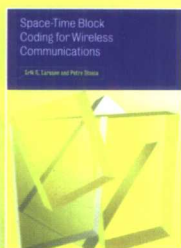
国外名校最新教材精选

CAMBRIDGE
UNIVERSITY PRESS

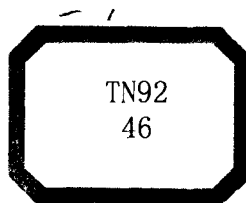
无线通信中的空时分组编码


Space-Time Block Coding for Wireless Communications

〔美〕艾里克·G·拉森 〔瑞典〕彼得·斯托卡 著
任品毅 译



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



 国外名校最新教材精选

Space-Time Block Coding for Wireless Communications

无线通信中的空时分组编码

[美] 艾里克·G·拉森 著
[瑞典] 彼得·斯托卡

Erik G. Larsson
Assistant Professor of Electrical and Computer Engineering
University of Florida

Petre Stoica
Professor of Systems and Control Engineering
Uppsala University

任品毅 译



西安交通大学出版社
Xi'an Jiaotong University Press

内容简介

空时分组编码是无线通信系统中通过使用多天线收发信机而有望极大地提高系统性能的一种技术。本书是该项技术原理的导论。

作者应用统一的框架结构介绍了这项技术,全书内容涵盖面广,从信息论到平坦衰落和频率选择性衰落的多天线信道的性能分析,以及最前沿的空时分组编码方法。本书在这些内容上更多地关注核心理论而不是某种特殊的应用,以简明易懂的方式进行了阐述,同时还回顾了多输入多输出通信理论的基本观点,并将读者引入到当前研发的最前沿的课题中。

本书内容表述符合教学法,每章末尾都配有难度适中、指导性强的习题,因此可作为通信专业的研究生教材,同时也适用于无线通信行业的科研人员和广大的从业者。

CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS

Space-Time Block Coding for Wireless Communications

© Cambridge University Press 2003

This book is in Copyright. Subject to statutory exception and to the provisions of relevant collective licensing agreements, no reproduction of any part may take place without the written permission of Cambridge University Press.

本书中文简体字翻译版由剑桥大学出版社授权西安交通大学出版社独家出版发行。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制和抄袭本书的任何部分。

陕西省版权局著作权合同登记号: 25-2005-021 号

图书在版编目(CIP)数据

无线通信中的空时分组编码/(美)拉森 (瑞典)斯托卡著;任品毅译.
—西安:西安交通大学出版社,2006.4
(国外名校最新教材精选)
书名原文:Space-Time Block Coding for Wireless Communications
ISBN 7-5605-2175-4

I. 无... II. ①拉... ②斯... ③任... III. 无线通信-编码-高等学校-教材 IV. TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 028131 号

书 名:无线通信中的空时分组编码
著 者:[美]艾里克·G·拉森 [瑞典]彼得·斯托卡
译 者:任品毅
出版发行:西安交通大学出版社
地 址:西安市兴庆南路 25 号(邮编:710049)
电 话:(029)82668357 82667874(发行部)
(029)82668315 82669096(总编办)
电子邮件:xjtupress@163.com
印 刷:西安交通大学印刷厂
字 数:292 千字
开 本:787mm×1092mm 1/16
印 张:15.5
印 次:2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月第 1 次印刷
印 数:0 001~3 000
书 号:ISBN 7-5605-2175-4/TN·86
定 价:29.00 元

版权所有 侵权必究

译者序

在无线通信系统中,多天线收发技术或者 MIMO(multiple input multiple output)技术的采用将极大地改善系统的性能和提高系统的容量。空时分组码是通过利用多天线发射来提高系统分集增益,或者说通过对发射端一个分组内的发射符号进行设计,来达到各天线之间的相互保护的目并降低同一符号在所有天线上发生深度衰落的机会,进而降低平均误码率。

空时编码在蜂窝移动通信系统中与无线局域网中已经有了大量的研究和应用,然而,不幸的是人们对 MIMO 系统最优信号处理以及空时编码的现有知识可能仍然只是冰山的一个尖峰。我们还需要不懈的努力来寻找满足某种准则的矩阵图案,以达到空时编码设计目的。更通俗地说,就是在简单的译码复杂度、最优化系统性能、最大化信息速率这样三个相互矛盾的目标之间寻求折衷。

本书从 MIMO 信道入手,给出了其完整的数学模型,简明、清晰地阐述了由 MIMO 的衰落,深入刻画和揭示了空时编码的实质,纠正了一些目前较普遍存在的错误和误解,给人以耳目一新的感觉。同时全书又抛开了所有空时无线信号处理以及编码算法中最深奥的数学运算,更多地运用了简单的类比方法,而且提供了大量的图表,为发射分集以及空时分组码提供了简单、内在的概念和解释。

本书是以无线通信研究人员和工程师为对象撰写的,要求读者具有随机过程和通信理论的基本知识。同时由于本书内容的表述符合教学法,在每章的末尾都配有难度适中、指导性较强的习题,因此可作为研究生的课程教材。

全书由任品毅翻译及整理。在翻译的过程中,得到了本书责任编辑宗立文和赵丽萍老师的大力协助,在此表示衷心的感谢。

由于本书内容的新颖性和译者不可避免存在的主观片面性,书中不妥和错误之处在所难免,殷切地希望广大读者及同行专家批评指正。

作者简介

艾里克·G·拉森(Erik G. Larsson)在1997年于瑞典林雪平市获得林雪平大学应用物理和电子工程的硕士学位,于2002年获得瑞典乌普萨拉大学的电子工程博士学位。

在1998~1999年期间,他是瑞典斯德哥尔摩市爱立信无线系统咨询部门的一名研究工程师,从事泛欧GSM系统的算法设计以及本地业务的标准化工作。在1999~2000年期间,他在瑞典乌普萨拉市乌普萨拉大学的系统与控制系从事助研和助教工作。从2000年9月至今,他在佛罗里达州Gainesville的佛罗里达大学电气与计算机工程系工作,现在他是该系的一名助理教授。

他的主要研究方向包括无线通信中的空时编码、数字信号处理、检测与估计、谱分析和雷达应用软件。他在IEEE及其他国际期刊上共发表了20多篇文章,并拥有4项关于无线通信的美国专利。他现在是IEEE车辆技术专辑的一名副编辑。

彼得·斯托卡(Petre Stoica)是瑞典乌普萨拉大学(UU)系统与控制系的一名系统建模教授。他曾是布加勒斯特理工学院(BPI)的一名信号处理学教授。他于1979年获得BPI的自动控制科学博士学位,并于1993年获得UU的名誉科学博士学位。他在艾恩德霍芬技术大学、柴莫斯(Chalmers)理工大学(他是该校的Jubilee客座教授)、乌普萨拉大学、佛罗里达大学以及斯坦福大学拥有长期的客座职位。

他的主要研究兴趣在系统辨识、时间序列分析和预测、统计信号及阵列处理、谱分析、无线通信以及雷达信号处理等领域。他在上述的这些领域内出版了7本专著,并参与了10本书部分章节的编写工作,在会议及期刊上发表了近500篇论文。他最新与人合著的书是《谱分析导论》(Prentice-Hall,1997)。最近,他参与了移动和无线通信中的信号处理方面两本书的编写工作(Prentice-Hall,2001)。

他获得了很多的奖项,包括因为他发表了一篇以统计的观点研究阵列信号处理的文章,1989年与他人共同获得了ASSP学会颁发的优秀奖,以及1996年因他在时间序列分析、系统辨识和阵列处理方面的应用而对统计信号处理做出的基础性的贡献,IEEE信号处理学会给他颁发了技术成就

奖。1998年他获得了瑞典战略研究基金会颁发的优秀个人资助奖。他同时也因将具有时变幅度的指数信号参数估计应用于速度测量,与他人共同获得了1998年信号处理类 EUR-ASIOP 优秀论文奖;还有因对降秩回归模型的参数和秩估计的论文,获得了1999年 IEEE 信号处理学会的优秀论文奖,以及因将最大似然方法用于雷达系统的研究工作获得了2000年 IEEE 第三届千禧奖章和 IEEE W. R. G. 贝克论文奖的荣誉。2002年,他获得了 EURASIP 颁发的个人技术成就奖。

他现在是五个杂志的编委:《信号处理》(*Signal Processing*);《预测杂志》(*Journal of Forecasting*);《电路、系统和信号处理》(*Circuits, Systems and Signal Processing*);《多维系统和信号处理》(*Multidimensional Systems and Signal Processing*);《数字信号处理评论》(*Digital Signal Processing: A Review Journal*)。他曾是系统辨识、信号处理、谱分析以及部分上述杂志和 IEEE 学报中的雷达等几个专题的副编辑以及许多专题会议的国际程序委员会的委员。1981至1986年,他是国际时间序列分析和预测学会的会长。他同时是 IEEE 信号处理学会的理事,罗马尼亚研究院的荣誉院士,皇家统计学会的会士,以及 IEEE 的会士。

前言

手头的这本书是写一本关于正交空时分组码专著的初始计划和对现代 MIMO 通信理论进行更为教科书式处理的雄心融合而成的产物,因此本书可能兼有这两类作品的特性。本书的主要部分都是作者对所在的大学的研究生课程的进一步研究的结果,只有少量部分超出了作者的研究范围。

我们这本书的内容涵盖了 MIMO 通信理论中的很多方面,尽管并非所有的专题都具有相同的深度。我们从对 MIMO 信道模型及其误差概率和这类信道的信息论特性的回顾出发,分析了发射和接收分集的概念。我们讨论了不论是在通常情况下还是在特殊的场合下的平坦和频率选择性衰落信道中的线性空时分组码,及其相应的接收机的结构,这当中我们都特别强调正交空时分组码。我们同时也讨论了几个专题,包括发射机已知信道的空时编码和多用户环境中的空时编码。此外我们还提供了亲和正交设计及其存在性这样一个与正交空时分组码的研究相关的专题。

尽管我们尽可能地通过一些现有的无线标准的例子来举例说明,但是本书关注原理更胜于具体的实际应用。MIMO 通信理论的确是一个具有多面性的主题,以尽可能简单扼要的方式提供这些材料,同时不对数学上的严密性进行折衷的考虑,的确是一个挑战。为了使本书尽可能具有可读性,我们始终采用矩阵代数的符号,并且将冗长的证明和计算放到了附录中。

阅读本书最好的方法就是顺序渐进,尽管它也可用作纯粹参考书。我们相信本书适合于作为天线分集和空时编码的研究生课程的教材,同时也适合作为研究人员和工程师的自学参考书。若本书被用作教材,每一章都留有一些适合于学生的练习或家庭作业的问题。这些习题的难度不一。我们尽量把相对容易一些的习题放在了前面,但是这只是我们主观上的所为。若本书被用于课堂教学,教师可能希望对某些专题比其他方面讲得更为详细一些。例如,依赖于学时数,在附录中提供的资料以及许多的证明可留给学生自学或作为参考资料。我们提供了一个对矩阵代数和概率论进行简短回顾的一般性的附录(附录 A),它可以作为需要在该领域中补习的读者的一个出发点。最后,我们应当注意,本书和 Paulraj, Nabar 和 Gore 所著的《空时无线通信导论》(剑桥大学出版社,2003)在很多方面起到了互补的作用。因而,专题性的研究生课程可以建立在联合使用这两本书的基础上。

对空时无线通信专题感兴趣的研究者定可从这两本参考书中获益匪浅。

致教师: 本书有一个相应的 web 站点 (<http://publishing.cambridge.org/resources/0521824567>), 在那里我们对教师提供了一些附加材料, 包括一些概括各章结论的幻灯片。

我们感谢瑞典战略发展基金会对我们在这本书中所有的研究的支持。我们同时感谢 Girish Ganesan 博士, 他对节 9.6 和附录 B 提供了一些有用并且有促进作用的研究, 以及对部分早期手稿的校订。我们感谢剑桥大学出版社的 Philip Meyler 博士, 他是我们曾经合作过的最好的编辑。此外, 我们还感谢 Ezio Biglieri 教授, Helmut Bölcskei 教授, Robert Heath 教授, Mikael Skoglund 教授, Thomas Svantesson 博士, Lee Swindlehurst 教授, Lang Tong 教授和 Douglas Williams 教授, 他们对本书的上一个版本提出了很好的建设性意见。受本书出版时间的限制, 使我们不能根据他们所提出的所有意见和建议来仔细地修订本书的内容。然而, 我们计划在新的一次印刷或再版中来完成这些。最后, 我们感谢 Sweungwon Cheung, Dhananjay Gore, Jonghyun Won 和 Wing-Hin Wong 在本书的校订工作以及减少印刷和其他错误上所提供的帮助。

艾里克·G·拉森
佛罗里达大学

彼得·斯托卡
乌普萨拉大学

符 号

a	标量 a
\mathbf{a}	矢量 \mathbf{a}
\mathbf{A}	矩阵 \mathbf{A}
$[\mathbf{A}]_{k,l}$	矩阵 \mathbf{A} 的第 k 行第 l 列的元素
\mathcal{A}	集合 \mathcal{A}
$(\cdot)^*$	复共轭
$(\cdot)^T$	转置
$(\cdot)^H$	共轭转置
i	虚数单位 $i = \sqrt{-1}$
$\text{Re}\{\cdot\}, \text{Im}\{\cdot\}$	实部和虚部
$(\bar{\cdot}), (\tilde{\cdot})$	实部和虚部的速记表示法
\mathbf{s}'	通过将 $\bar{\mathbf{s}}$ 和 $\tilde{\mathbf{s}}$ 堆叠在一起得到的矢量 $\mathbf{s}' = [\bar{\mathbf{s}}^T \quad \tilde{\mathbf{s}}^T]^T$
$\log(x)$	x 的自然对数
$\log_2(x)$	x 的以 2 为底的对数
$\text{Tr}\{\cdot\}$	矩阵的迹
$\text{rank}\{\cdot\}$	矩阵的秩
$ \cdot $	矩阵的行列式或集合的势
$\ \cdot\ $	矢量的欧几里德范数; 矩阵的范数
$\mathbf{A} \geq \mathbf{B}$	矩阵 $\mathbf{A} - \mathbf{B}$ 正半定
$\mathbf{A}^{1/2}$	矩阵 \mathbf{A} 的厄米特平方根
\propto	正比于
δ_t	Kronecker 冲激 (若 $t=0$, 则 $\delta_t=1$; 若 $t \neq 0$, 则 $\delta_t=0$)
\otimes	Kronecker 积
\odot	Schur - Hadamard 积
$\text{vec}(\mathbf{X})$	由矩阵 \mathbf{X} 的各列堆叠而成的矢量
\mathbf{I}_N	$N \times N$ 维的单位矩阵; 若不会导致混乱则 N 可忽略
$\mathbf{0}_{M \times N}$	$M \times N$ 维的零矩阵。若不会导致混乱则 N 可忽略
$\lambda_{\max}(\mathbf{X}), \lambda_{\min}(\mathbf{X})$	分别是矩阵 \mathbf{X} 的最大或最小特征值
$\Pi_{\mathbf{X}}$	$\mathbf{X}(\mathbf{X}^H \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^H$ (对 \mathbf{X} 的列空间的正交投影)
$\Pi_{\mathbf{X}}^\perp$	$\mathbf{I} - \Pi_{\mathbf{X}}$ (对 \mathbf{X} 的列空间的补空间的正交投影)

$z^{-1}x(n)$	$x(n-1)$ (单位延迟算子)
$zx(n)$	$x(n)$ (单位预测算子)
$H(z^{-1})x(n)$	$\sum_{l=0}^L H_l x(n-l)$ (线性因果滤波器)
$H(z)x(n)$	$\sum_{l=0}^L H_l x(n+l)$ (线性逆因果滤波器)
$H^H(z^{-1})x(n)$	$\sum_{l=0}^L H_l^H x(n-l)$
$H^H(z)x(n)$	$\sum_{l=0}^L H_l^H x(n+l)$
$p_x(x)$	x 的概率密度函数(p. d. f.)
$P(\epsilon)$	事件 ϵ 的概率
$E_x[\cdot]$	x 的统计期望
$x \sim N(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{Q})$	x 是均值为 $\boldsymbol{\mu}$ 协方差矩阵为 \boldsymbol{Q} 的实高斯矢量
$x \sim N_c(\boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{Q})$	x 是均值为 $\boldsymbol{\mu}$ 协方差矩阵为 \boldsymbol{Q} 的循环对称复高斯矢量
$Q(x)$	高斯 Q 函数 若 $x \sim N(0, 1)$, 则 $P(x > t) = Q(t)$
$O(x)$	若 $f(x) = O(x)$, 则存在有一个常数 c , 使得 x 充分大时有 $ f(x) \leq cx$

常用的符号

s	复符号
S	符号星座($s \in S$)
S'	\bar{s} 和 \tilde{s} 的星座(对于“可分星座”)
\mathbf{s}	复符号矢量
\mathbf{X}	发射的空时分组码矩阵
χ	所有码字矩阵的星座($\mathbf{X} \in \chi$)
\mathbf{x}	$\text{vec}(\mathbf{X})$
\mathbf{H}	信道矩阵(频率平坦衰落信道)
$\mathbf{H}(z^{-1})$	信道脉冲响应
\mathbf{h}	$\text{vec}(\mathbf{H})$
\mathbf{Y}	接收数据矩阵
\mathbf{y}	$\text{vec}(\mathbf{Y})$
\mathbf{E}	接收噪声矩阵
\mathbf{e}	$\text{vec}(\mathbf{E})$
σ^2	噪声方差
$\mathbf{\Lambda}$	噪声协方差矩阵
\mathbf{T}	信道协方差矩阵
P_s	符号 s 的错误概率
P_b	比特错误概率
n_r	接收天线数
n_t	发射天线数
n_s	每空时分组码矩阵所包含的符号数
N	每个分组所包含的时间点数
N_0	数据分组的长度(分组传输)
N_t	训练分组的长度
N_b	级联在一起的空时分组码矩阵个数(分组传输)
N_{pre}	前缀的长度
N_{post}	后缀的长度
N_p	若前缀的长度等于后缀的长度,则为它们的长度 $N_p = N_{\text{pre}} = N_{\text{post}}$

缩略语

AWGN	additive white Gaussian noise	加性高斯白噪声
BER	bit-error rate	误比特率
BPSK	binary phase shift keying	二元相移键控
BS	base station	基站
DD	delay diversity	延时分集
FER	frame-error rate	误帧率
FIR	finite impulse response	有限脉冲响应
GLRT	generalized likelihood ratio test	广义似然比检验
GSM	the global system for mobile communications	全球移动通信系统
i. i. d.	independent and identically distributed	独立同分布
ISI	intersymbol interference	符号间干扰
IT	informed transmitter	已知信道的发射机
MIMO	multiple-input, multiple-output	多输入多输出
MISO	multiple-input, single-output	多输入单输出
ML	maximum-likelihood	最大似然
MLSD	ML sequence detector	最大似然序贯检测
MMSE	minimum mean-square error	最小均方误差
MPSK	M-ary phase shift keying	M 元相移键控
MS	mobile station	移动台
MSE	mean-square error	均方误差
MUI	multiuser interference	多用户干扰
OFDM	orthogonal frequency division multiplexing	正交频分复用
OSTBC	orthogonal space-time block code/codes/coding	正交空时分组编码
p. d. f.	probability density function	概率密度函数
PSK	phase shift keying	相移键控
QAM	quadrature amplitude modulation	正交幅度调制
QPSK	quadrature phase shift keying	正交相移键控
SER	symbol-error rate	误符号率
SIMO	single-input multiple-output	单输入多输出
SISO	single-input single-output	单输入单输出

SNR	signal-to-noise ratio	信噪比
s. t.	subject to	服从于
STBC	space-time block code/codes/coding	空时分组码
STC	space-time coding	空时编码
STTC	space-time trellis code/codes/coding	空时格码
TR	time-reversal	时间反转
UT	uninformed transmitter	未知信道的发射机
VA	Viterbi algorithm	维特比算法

目 录

译者序	
作者简介	
前言	
符号	
常用符号	
缩略语	

第 1 章 引言

1.1 为什么空时分集?	(1)
1.2 空时编码	(2)
1.3 一个导例	(3)
1.3.1 单天线发射和两天线接收的系统	(3)
1.3.2 两发射天线和单接收天线的系统	(4)
1.4 本书的梗概	(5)
1.5 习题	(5)

第 2 章 时不变线性 MIMO 信道

2.1 频率平坦衰落 MIMO 信道	(7)
2.1.1 噪声项	(8)
2.1.2 衰落假设	(9)
2.2 频率选择性 MIMO 信道	(11)
2.2.1 分组传输	(13)
2.2.2 矩阵公式	(15)
2.3 小结与讨论	(16)
2.4 习题	(16)

第 3 章 MIMO 信息论

3.1 熵和互信息	(18)
3.2 MIMO 信道的容量	(20)
3.3 发射机已知信道时的信道容量	(22)

3.4	信道的各态历经容量	(23)
3.5	IT 和 UT 信道容量之比	(25)
3.6	预留容量	(26)
3.7	小结和讨论	(28)
3.8	证明	(29)
3.9	习题	(31)
第 4 章 错误概率分析		
4.1	SISO 信道的错误概率分析	(32)
4.2	MIMO 信道的错误概率分析	(35)
4.2.1	成对错误概率和一致限	(35)
4.2.2	相干最大似然检测	(35)
4.2.3	已知信道部分信息时的检测	(38)
4.2.4	联合最大似然估计/检测	(39)
4.3	小结与讨论	(40)
4.4	证明	(41)
4.5	习题	(45)
第 5 章 接收分集		
5.1	平坦衰落信道	(47)
5.2	频率选择性衰落信道	(49)
5.2.1	接收端已知前缀和后缀的发射系统	(50)
5.2.2	正交频分复用	(55)
5.3	小结与讨论	(59)
5.4	习题	(60)
第 6 章 发射分集和空时编码		
6.1	发射机已知信道时的最优波束成形	(62)
6.2	获取发射分集	(65)
6.2.1	最大似然检测器	(65)
6.2.2	最小化条件错误概率	(66)
6.2.3	最小化平均错误概率	(67)
6.2.4	讨论	(68)
6.3	空时编码	(68)
6.3.1	Alamouti 空时编码	(69)
6.3.2	空时分组码(STBC)	(71)
6.3.3	线性 STBC	(71)
6.3.4	非线性 STBC	(72)
6.3.5	空时网格编码	(72)

6.4	小结与讨论	(74)
6.5	习题	(75)
第7章 平坦衰落信道中的线性 STBC		
7.1	线性 STBC 的一般构架	(77)
7.2	空间复用	(79)
7.3	线性色散码	(80)
7.4	正交空时分组码	(80)
7.4.1	正交空时分组码的最大似然检测器的常规结构	(84)
7.4.2	正交空时分组码的错误性能	(85)
7.4.3	正交空时分组码的互信息性质	(91)
7.4.4	正交空时分组码的最小均方误差最优性	(93)
7.4.5	正交空时分组码的几何特性	(95)
7.4.6	正交空时分组码的一致限最优性	(96)
7.5	基于线性星座预编码的空时分组码	(97)
7.6	小结与讨论	(98)
7.7	证明	(99)
7.8	习题	(101)
第8章 频率选择性衰落信道中的线性空时分组码		
8.1	在频率选择性衰落信道中获得分集	(103)
8.2	空时正交频分复用(ST-OFDM)	(105)
8.2.1	空时正交频分复用的发射编码	(105)
8.2.2	最大似然检测	(106)
8.2.3	采用线性空时分组码的空时正交频分复用	(107)
8.2.4	应用正交空时分组码的空时正交频分复用系统	(108)
8.2.5	应用 Alamouti 码的空时正交频分复用	(108)
8.2.6	应用线性预测编码的空时正交频分复用系统	(109)
8.2.7	讨论	(110)
8.3	时间反转正交空时分组码(TR-OSTBC)	(110)
8.3.1	发射方案	(111)
8.3.2	最大似然检测	(112)
8.3.3	获得的分集阶数	(114)
8.3.4	解耦、匹配滤波和近似最大似然均衡	(116)
8.3.5	线性均衡	(117)
8.3.6	数值性能研究	(118)
8.3.7	$n_t > 2$ 时的时间反转正交空时分组码	(122)
8.3.8	讨论	(123)
8.4	总结与讨论	(123)

8.5 习题 (124)

第9章 相干和非相干接收机

9.1 线性空时分组码的相干检测 (125)
9.1.1 白噪声 (126)
9.1.2 空间色噪声 (127)
9.1.3 整数限制条件下的最小二乘问题 (128)
9.2 线性空时分组码与外码的级联 (133)
9.2.1 最优信息传输 (134)
9.2.2 比特计算 (134)
9.3 最大似然联合检测和估计 (135)
9.3.1 白噪声 (135)
9.3.2 色噪声 (137)
9.4 基于训练序列的检测 (139)
9.4.1 白噪声中的最优训练序列 (139)
9.4.2 色噪声中的最优训练序列 (141)
9.4.3 频率选择性衰落信道中的训练序列 (143)
9.5 盲和半盲检测方法 (146)
9.5.1 最大似然度量的循环最小化 (147)
9.6 差分空时分组码 (151)
9.6.1 SISO 系统差分调制的回顾 (152)
9.6.2 MIMO 系统的差分调制 (153)
9.7 有频率偏移的信道 (158)
9.7.1 信道模型 (159)
9.7.2 {omega_k} 和 {h_k} 的最大似然估计 (160)
9.7.3 一个简化的信道模型 (162)
9.8 小结与讨论 (165)
9.9 习题 (166)

第10章 发射机已知信道信息时的空时编码

10.1 引言 (169)
10.2 从信息论角度对问题的考虑 (170)
10.3 应用线性预编码的空时分组码 (170)
10.3.1 量化反馈和分集 (171)
10.3.2 已知衰落的统计特性的线性预编码 (172)
10.3.3 n_t=2 时具有 1 比特反馈的正交空时分组码 (174)
10.4 小结与讨论 (176)
10.5 习题 (176)