

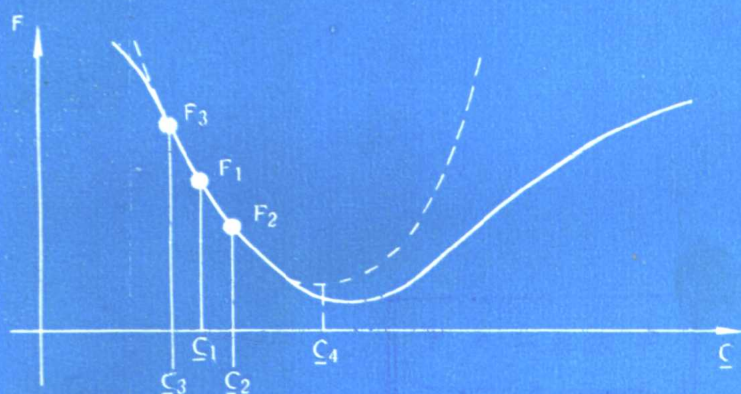
657987

静态和动态系统的

计算机辅助优化法

[联邦德国] H.G. 雅可普 著

邓建华 译著



西北工业大学出版社



静态和动态系统的
计 算 机 辅 助 优 化 法
以FORTRAN — 程序为例

[联邦德国] H.G.雅可普 著
邓 建 华 译著

西北工业大学出版社

内 容 简 介

本书是一部关于计算机辅助最优化方法的专著。书中详细介绍了普遍有效的,能适用于任意集中参数和分布参数的、静态和动态系统的,又便于工程应用的计算机辅助优化法的基本概念、原理,并以综合范例解释其应用。

全书共分八章和八个附录。第一章介绍最优化技术定义,理论和实际之间的鸿沟;第二章介绍最优化方法应用范围、现行方法原理及优缺点;第三章介绍计算机辅助优化法概念及原理;第四、五、六、七章分别以实例介绍计算最优工作点、最优工作曲线、最优工作曲面以及多目标最优参数的方法;第八章评论所介绍的计算机辅助优化法;附录中提供了最优化算法、积分方法、控制变量结构等普遍有效的通用的FORTRAN程序供使用;书末还列出了大量参考文献。

读者对象:最优化理论及实际应用的科技工作者、工程技术人员、经济工作者及大专院校师生。

Rechnergestützte Optimierung
statischer und dynamischer Systeme
Beispiele mit FORTRAN-Programmen
Heinrich G. Jacob
Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York 1982

静态和动态系统的 计算机辅助优化法 以FORTRAN—程序为例

(联邦德国)H.G. 雅可普 著

译 著 者 邓建华

责任编辑 蒋相宗

西北工业大学出版社出版发行
(西安市友谊西路127号)

陕西省新华书店经销

航空工业部〇一二基地印刷厂印装

开本850×1168毫米 1/32 印张8.25 182千字

1988年2月第1版 1988年2月第1次印刷

印数1—1000册

ISBN 7-5612-0029-3/TP.7 定价2.25元

译著者的话

本书根据施普林格出版社 (Springer—Verlag) 1982 年出版的《Rechnergestützte Optimierung statischer und dynamischer Systeme——Beispiele mit FORTRAN—Programmen》一书译出，并增加了多目标参数最优化一章。

本书是一部关于计算机辅助最优化方法的专著。书中详细介绍了普遍有效的，适用于任意集中参数和分布参数的、静态和动态系统的，又便于工程应用的计算机辅助优化法的基本概念、原理，并以综合范例解释其应用。

全书共分八章和八个附录。第一章介绍最优化技术定义，理论和实际之间的鸿沟；第二章介绍最优化方法应用范围，现行方法原理及优缺点；第三章介绍计算机辅助优化法概念及原理；第四、五、六、七章分别以实例介绍计算最优工作点、最优工作曲线、最优工作曲面以及多目标最优参数的方法；第八章评论所介绍的计算机辅助优化法；附录中提供了最优化算法、积分方法、控制变量结构等普遍有效的FORTRAN—程序以供使用；书末还列出了大量的有关参考文献。

本书适于最优化理论及实际应用的科学工作者、工程技术人员、经济工作者及大专院校的师生。

借本书出版的机会，我向关心、支持本书出版的先生们、同志们表示衷心的感谢。

首先感谢本书的原著者，我的朋友，联邦德国霍尼韦尔控制系统有限公司 (Firma Honeywell Regelsysteme GmbH) 总经理业务助理，工学博士、教授 雅可普 (H. G. Jacob) 先生。雅可普教授与本人保持密切联系，经常切磋本书的修正及扩充问题，并且为中文版写了前言。其次我还要感激西北工业大学自动

控制系主任刘盛武教授的关心、鼓励和支持。此外，王连生副教授仔细审阅了全书，并提出了宝贵意见；本书部分翻译还参考了宋洁同志的译稿。在此向以上各位同志及在出版过程中给予大力支持的所有同志一并致以衷心的感谢。

邓 建 华

1987年6月25日于西安

中文版前言

为了最优化任意的静态和动态的过程与系统，例如使产量最大、速度最快、精度和效率最高、强度和可靠性最大，或者使能量和原料费用最低，环境污染最小和重量最轻等，越来越多地引用数字最优化方法。用这些方法可以这样地计算待最优化系统的自由的、可受影响的参数或输入量（多维点、曲线或曲面），即在考虑各类约束的条件下使与系统特性有关的性能准则取最优值。

与众多著名的非常抽象的、其应用以渊博的高深的专门的数学知识为基础的最优化理论相反，本书所描述的普遍有效的任意结构系统的计算机辅助最优化概念则与实际工程师的愿望和需求相一致。即，随着数字计算机可用性和效率的提高，放弃复杂的解析的最优化方法而转向简单的但计算时间较多的数值最优化方法，越来越被证实是合适的。

所描述方法的基本原理，是把现有所设计的静态、动态和/或分布参数的最优化问题都转换为由己给最优化算法可解决的参数最优化任务。这个转换可以最简单方法这样地进行：即为了探寻尽可能好的控制函数，可列出一个适当的具有事先未知参数的结构，然后由最优化算法通过仿真迭代地系统地驱使这些参数达到使性能准则极大和极小值。

本书涉及下列题目：

最优化技术的定义，理论和实际之间的鸿沟——最优化算法应用范围，现行方法的原理、优缺点——任意的具有集中参数或分布参数的静态或动态系统的不复杂的计算机辅助最优化方法的概念——凭借简单应用例子（求最优参数、曲线和曲面）解释其使用——本方法在现实的复杂的实际问题（水下拖体的最优调节系统，飞机最优复飞过程，直升机—旋翼桨叶的最优时间和位置控

制, 飞行控制系统多目标参数最优化) 中进行验证——参考文献——普遍有效的FORTRAN—程序——内容索引*。

本书的原版于1982年在德意志联邦共和国施普林格出版社(Springer-Verlag) 出版。我很高兴, 中华人民共和国西安西北工业大学出版社(NPU-Verlag) 以中文出版本书。我衷心地感谢在柏林和海德堡的施普林格出版社允许本书的再版, 也感谢在美因他(Meintal)的霍尼韦尔控制系统有限公司(Firma Honeywell Regelsysteme GmbH)为本书绘制了一些图。特别要感谢我的朋友, 西安西北工业大学副教授邓建华先生, 完成了本书的翻译工作, 并且贡献出他在西德不伦瑞克工业大学(TU Braunschweig) 飞行导航研究所两年研究工作中的部分研究成果“计算机辅助多目标参数最优化——以飞行控制系统为例”作为本书的一章。



(H. G. 雅可普)

1986年5月于美因他 (Maintal)

• 本书中文版略去“内容索引”

原版前言

所谓最优化,就是在一定条件下取得尽可能好的结果。我知道,从这种意义上讲,呈现在读者面前的这本书仅是一个准优化结果。

我感谢不伦瑞克工业大学飞行导航研究所前任所长,退休工学博士、教授德茨(K. H. Doetsch)先生聘请我为该所的总工程师。对他继任人,工学博士、教授申策尔(G. Schänzer)先生经常和我进行热烈的讨论,大力的支持和我之计划的积极推动表示由衷的感谢。并以同样的心情感谢不伦瑞克的自然科学博士、教授布拉斯(H. Braß)和工学博士、教授莱昂哈德(W. Leonhard)及达姆施塔特的自然科学博士、教授托勒(H. Tolle)等先生们详细地审阅了本书并提出宝贵的修改意见。此外,我还要感谢为本书写了介绍性序言的莱昂哈德(W. Leonhard)教授。

我还向为本书出版尽力的飞行导航研究所的全体同事致谢,尤其感谢他们打印手稿和绘图时的耐心。

借此机会我要指出,不伦瑞克的西德航空航天研究院(DFV-LR)飞行力学研究所所长,工学博士哈默尔(P. Hamel)先生和该所旋翼飞机飞行力学部主任,工学士格梅林(B. Gmelin)先生的支持和该部所有同事的友好协作,通过这次令人满意的协作使我对他们产生由衷的感谢。

最后,我感谢把本书编入《专题报告:测量—控制—调节》丛书的编者和施普林格出版社。

H. G. 雅可普(Heinrich G. Jacob)

1982年3月于不伦瑞克(Braunschweig)

原版序言

工业上的竞争迫使人们尽量挖掘一切可能性，以便有效地、经济地和与环境协调地开发技术设备。然而这些准则往往是矛盾的，为了以人们可接受的方式兼顾各种观点，就不可避免地要折衷。在实践中最终的满意设计通常是总结经验并经过初步设计、仿真和试验才能得到。鉴于当今计算技术的可能性，扩大使用计算机算法的最优化方法则是更值得追求的。这种方法的前提是必须对最优化系统作足够精确的数学描述；因为所期望的改进大都在狭窄的边缘上进行，故对其精确度的要求高于通常的数学模型，控制技术仿真就是一例。

计算机算法的最优化方法的性能指标是一个纯量目标函数，它包括具有相应权的全部辅助条件并取一个极值。显然，即使最优化方法也不可能完全客观，因为主观倾向性起了一定作用。尽管如此，本方法可大大改善总的设计层次，便于人们定量地认识重要设计量的作用。根据不同类型的问题，在目标函数中可能在静态最优化时会涉及代数量，或者象动态最优化时那样，会涉及到泛函。

变分计算作为泛函最优化的经典方法，在存在附加条件时，仅在特殊情况下才得到一个完整解；迭代处理常常因数学上的困难而告吹。因此，所谓直接法就具有重要意义，本书中所描述的这种方法也属于此类方法。与里茨（Ritz）方法一样，参数化是通过列出相应函数系统的方程组来实现的。最优化任务归结为探寻在参数空间内的极值。由于参数对目标函数的求导一般是未知的，所以计算主要是用最优化算法来实施系统地探寻。

雅可普（Jacob）博士先生在本书中广泛地处理了这些关系，其成功之处在于以令人信服的方法凭借庞杂的综合范例解释

了这一原理的普遍性。通过相关程序系统的一个模块结构就很容易使该方法适应于可变边界条件情况。

这一研究结果被编入《专题报告：测量—控制—调节》丛书，以飨更多的读者，这是值得欢迎的。我坚信，这本书将激起学术讨论并给最优化技术系统这个重要领域的未来工作以新的推动。

莱昂哈德(W. Leonhard)

1982年3月23日于不伦瑞克

目 录

第一章 导论	(1)
1.1 最优化技术的定义	(1)
1.2 理论和实际之间的鸿沟	(2)
1.3 本书目的	(4)
第二章 最优化方法应用范围与要点	(7)
2.1 最优化方法的应用范围	(7)
2.1a) 静态过程最优化(参数最优化, 调节回路最优化)	(7)
2.1b) 动态最优控制(求最优起动和最优停车过程, 剖面最优化)	(9)
——最优起动和停车过程的计算	(9)
——设备的最优造形	(9)
——求最优剖面曲线	(10)
2.1c) 分布参数过程的最优化	(11)
2.1d) 多目标参数最优化	(11)
2.1e) 函数逼近、参数估计、模型重构	(12)
2.1f) 极值调节	(12)
2.1g) 求解非线性方程组	(14)
2.1h) 模型跟踪调节	(14)
2.1i) 系统解耦	(17)
2.1j) 动态仿真模型的降阶	(18)
2.1k) 局部边界值问题的求解(有限元法)	(18)
2.2 现行方法的原理和优缺点	(19)
2.2a) 求单变量函数的极值	(19)
2.2b) 静态系统最优化方法	(20)

	——解析法求最优系统参数.....	(21)
	——梯度法.....	(21)
	——牛顿-莱普森法.....	(22)
	——启迪学法.....	(22)
2.2c)	求最优曲线过程概念.....	(24)
	——经典的变分法、哈密顿法、庞特里雅金极大值原理.....	(25)
	——“动态规划”法.....	(25)
	——里茨逼近法.....	(26)
	——动态系统直接最优化的参数化方法.....	(26)
2.2d)	分布参数系统最优化方法.....	(27)
	——关于“布特考夫斯基积分方程”的最优控制.....	(27)
	——关于“分级控制结构”的最优控制.....	(28)
	——分布参数系统的参数化和直接最优化.....	(29)

第三章 计算机辅助优化法概念..... (30)

3.1	方法原理.....	(30)
3.1a)	转化成参数最优化任务.....	(30)
3.1b)	约束的考虑.....	(32)
3.1c)	分解为独立程序块.....	(32)
	——“数学模型”程序块.....	(33)
	——“性能准则”程序块.....	(33)
	——“输入量结构”程序块.....	(34)
	——“最优化算法”程序块.....	(34)
3.1d)	对所建议的最优化方法的评价.....	(35)
3.2	建立控制量的适当的函数系统.....	(36)
3.2a)	多锥曲线结构.....	(37)
	——修正的正弦级数方程.....	(37)
	——契贝谢夫多项式系统(曲线).....	(39)
	——三次样条多项式结构.....	(41)
	——双曲正切函数曲线系统.....	(41)
3.2b)	多维曲面结构.....	(43)
	——多维曲面的一般显式表达.....	(43)
	——契贝谢夫多项式系统(空间曲面).....	(44)

3.3	静态最优算法EXTREM的基础.....	(46)
3.3a)	确定探寻方向.....	(47)
3.3b)	计算沿某一个探寻方向上的极值.....	(48)
3.3c)	定义探寻步幅.....	(49)
3.3d)	考虑约束.....	(49)
3.3e)	探寻算法“EXTREM”的主要特征.....	(50)
3.4	应用各种可能范围的简单实例.....	(52)
3.4a)	晶体管模型系数与实验特性曲线最优拟合.....	(52)
3.4b)	管式反应炉最优温度剖面曲线.....	(54)
3.4c)	热导体的最优时间和位置控制.....	(57)

第四章 计算最优工作点

	——以水下拖体调节系统为例.....	(64)
4.1	准最优调节概念.....	(65)
4.1a)	最优调节理论(全状态反馈).....	(66)
4.1b)	准最优调节的实际可实现性.....	(69)
4.2	伺服装置.....	(70)
4.3	拖体系统的仿真模型.....	(73)
4.3a)	模型结构.....	(73)
	——地面坐标系中的平移运动方程.....	(74)
	——机体坐标系中的旋转运动方程.....	(75)
4.3b)	计算选择出的力和力矩.....	(77)
	——确定流体动力.....	(78)
	——计算拖索力.....	(81)
	——求流体静力矩.....	(83)
	——求驱动力矩.....	(84)
4.3c)	向量转换.....	(84)
	——从空气动力(或流体动力)坐标系转换到机体坐标系(和 反向转换).....	(86)
	——从地面坐标系转换到机体坐标系(和反向转换)	(88)
	——从空气动力(或流体动力)坐标系转换到地面坐标系(和	

反向转换)	(90)
4.4 性能准则和调节参数的最优化	(92)
4.4a) 建立性能准则	(93)
4.4b) 最优化调节参数	(93)
4.5 准最优化调节的结果	(96)
4.5a) 最优导引特性	(99)
4.5b) 具有调节的起始过程	(100)
4.6 本方法的评论	(101)

第五章 求最优工作曲线

——以飞机复飞机动为例	(104)
5.1 最优复飞机动的定义	(105)
5.2 空中客车 A 300 飞机数学模型	(107)
5.2a) 升力和阻力, 扰流片和起落架影响	(110)
5.2b) 发动机动态特性	(112)
5.2c) 强度和舒适度约束	(114)
5.3 剪切风的仿真	(115)
5.4 选择控制函数结构	(118)
5.4a) 契贝谢夫—函数系统	(119)
5.4b) 三次样条—多项式	(119)
5.5 计算在各种条件下的最优复飞机动	(120)
5.5a) 适当的假设	(120)
5.5b) 在未受扰动的大气中全推力复飞	(122)
5.5c) 在未受扰动的大气中半推力复飞	(127)
5.5d) 在剪切风中全推力复飞	(128)
5.5e) 在剪切风中半推力复飞	(131)
5.6 评价所获知识	(137)

第六章 确定最优工作面

——以直升机桨叶安装角的时间和位置最优化为例	(139)
------------------------	-------

6.1	任务和性能准则	(139)
6.2	直升机旋翼数学模型	(140)
6.2a)	挥舞运动微分方程	(143)
6.2b)	桨叶上的空气动力	(144)
6.3c)	旋翼分量的计算	(147)
6.3	规定控制函数结构	(151)
6.3a)	与时间有关的控制函数	(152)
6.3b)	与时间和位置有关的控制函数	(153)
6.4	最优化结果	(155)
6.4a)	无优化措施的仿真结果	(156)
6.4b)	旋翼系统的时间最优控制	(158)
	——具有 2 次谐波频率的辅助控制	(158)
	——最多包括 3 次谐波频率的辅助控制	(159)
	——最多包括 4 次谐波频率的辅助控制	(161)
6.4c)	旋翼系统的时间和位置最优控制	(162)
6.5	最优化结果的评论	(165)

第七章 计算机辅助多目标参数最优化

	——以飞行控制系统为例	(167)
7.1	最优化方法原理	(169)
7.1a)	确定调节系统结构	(170)
7.1b)	建立调节回路数学模型	(170)
7.1c)	定义性能准则	(171)
7.1d)	最优化调节参数	(171)
7.2	任务要求与多目标性能准则	(173)
7.3	飞行控制系统结构	(175)
7.4	A300 飞机数学模型	(175)
7.5	求最优调节器参数	(179)
7.6	方法评论	(185)

第八章	结 语	(187)
-----	-----------	-------

附 录	(191)
A1) FORTRAN—程序 “EXTREM” ——用于求未知导数的具有约束的多变量函数的局部极值	(192)
A2) FORTRAN—程序 “GLOBEX” ——用于求未知导数的具有约束的多变量函数的全局极值 (与程序 “EXTREM” 和程序 “ZNORV1”联用) ...	(204)
A3) FORTRAN—程序 “ZNORV1” ——用于产生正态分布的随机数.....	(210)
A4) FORTRAN—程序 “INTEG4” ——用于按龙格—库塔—基尔法积分.....	(212)
A5) 契贝谢夫—多项式的FORTRAN—程序 “TSCH2” ——用于表示多条平面曲线或一条多维空间曲线.....	(217)
A6) FORTRAN—程序 “SPLI2” ——用于使多条平面线或一条多维空间曲线与给定点拟合	(218)
A7) FORTRAN—程序 “TGHYP2” ——用于由人表示时变的控制量.....	(223)
A8) 契贝谢夫—多项式的FORTRAN—程序 “TSCH3” ——用于表示一个空间曲面.....	(224)
参考文献.....	(226)

第一章 导 论

长时间以来,在开发技术系统时工程师活动的主要领域,不仅在于要实现顾主所规定的任务,而且在于在给定情况下使所提的问题更理想地解决,即取得尽可能好的结果。

过去,如果说或多或少圆满解决了一些问题,那主要归功于工程师的经验和敏锐的感觉。现在,许多工业部门面临着严酷而又激烈的竞争,为了取得较高的精度而不得不常常运用最优化方法,这种方法是严格地以科学原理和精确数学表达式为基础的。

1.1 最优化技术的定义

最优化任务原则上在于,使计算系统的可影响参数或输入量达到这种程度,即在考虑各种类型的约束下使属于该系统的性能准则达到一个最优值。系统可调控量应使性能准则优化,这些控制量根据不同任务或取一个固定值(例如,过程最优工作点),或得到一条随时间变化的曲线(过程的最优起动过程),或者甚至是一个取决于时间和位置的曲面(过程的时间和位置的最优控制)。

为使用最优化方法,一般必须首先建立一个待优化系统的数学模型;然后定义一个性能准则,它应表示出控制量与系统性能的定量关系;最后选择一个与本任务相适合的最优化方法,并使其与数学模型、性能准则相联以计算最优输入量或系统参数。

以上所述,当然不应助长猜想,而应把数学最优化技术表示为一种简单的直接可用的方法,它以最简单方式并在某种程度上自动地解决所遇到的全部工程任务——即找出技术问题的尽可能好的结果。遗憾的是,在实际任务中常常出现的困难也表现在最优化技术应用中。例如,在互为矛盾的要求下,必须作出理智