



全国高协组织教材研究与编写委员会审定

撒播高维
均匀点烈
挖掘社会
经济财富

均

钱逢著

设计原理及
自动实现

李子国
著

中国科学文化出版社

本书由全国高协组织教育发展中心、香港教科文出版有限公司
“学术专著与高校教材出版基金”资助出版
全国高协组织教材研究与编写委员会审定

均匀设计原理及自动实现

钱进 著

中国科学文化出版社
香港教科文出版有限公司

2002. 8

全国高协组织教材研究与编写委员会
学术专著与高校教材审定委员会成员名单

主 任:顾明远

副主任:李恒光 田玉敏

委 员:曲廷清 金志伟 于建福 刘复兴

孙维杰 赵世平 周大明 崔东云

均匀设计原理及自动实现

钱进 著

出版发行 中国科学文化出版社

香港教科文出版有限公司

地 址 香港湾仔轩尼诗道 48—62 号上海实业大厦 12 字楼 1204 室

排 版 新天地文印中心

印 刷 济宁市天意印务有限责任公司

开 本 850mm×1168mm 1/32

印 张 7.9

字 数 205 千字

版 次 2002 年 8 月第 1 版

书 号 ISBN962—8467—22—0/G·127

定 价 15.00 元

版权所有 翻印必究

内容简介

本书第一篇研制高维均匀点列的自动生成,开发了存取结构和加速算法,通过实现程序的运行,有所发现,证明了研究的必要性,仍有启迪作用。

第一篇贯穿一个思想:“把我国数学家首创的具有世界水平的方法通过表格化,程序化以简化用法;在建模中,以软件的自动生成和便利使用,来替代用户自己推演计算,让其深入地去做创造性工作。扼要勾画出均匀设计用于调查研究、组阁、数据发掘和经济计量的思想框架,给出实证,有待展开……”

自序

这是一本拣回来的书,里面尚有值得年轻人俯拾的遗留问题。这本书在国内的命运,是和“均匀设计”在国际上的命运息息相关的。80年代,笔者感到形只影单,方开泰研究员曾安慰说:他现在主要精力不在这个方面,一旦放在这方面了,形势就会不一样了。现在,“均匀设计”已得到国际数学界的承认、国际权威出版社 Chapman and Hall 和权威刊物“Technometrics”的推介,国内形势果然发生逆转,只要上网打入“均匀设计”索引词,两个网站、近千的文章就会出现,篇篇都引用方著。在香港或浙江的网站上,还能发现笔者的踪迹,这才有了本书的面世。

本书的第一部分,是 HUST TERCOM NO.——020 (意思是“华工研究报告地形匹配之二十”)《均匀设计原理及自动实现》(以下简称“报告 020”)即笔者在华中工学院“图像识别与人工智能研究所”于 1983 年 2 月提交的一份[机密]级的内部报告。是属于李德华领导的课题小组提交给航天工业部三院的 31 份报告中的一份。

当笔者 1982 年 11 月去广州参加学术会议时,把《一种“试验设计”应用软件》论文送给了北京 1015 所一位来访者——笔者 1976 年参加 100 系列机《过程输入输出分系统》研制的课题组组长,他主持该项目获得 1980 年国务院国防工办重大技术改进二等奖——表明笔者视“均匀设计”很重。因此,从现有资料看,成了花费较多时间“品味”均匀设计的第一人。

记得 1982 年夏,德华来探望笔者的老人,谈到在北京计算出的结果已经托运到汉,堆满了办公室和机房,怎么分析?笔者当即

答道：回归分析的结果，只不过是多维空间中的超曲面，像切西瓜一样地从不同角度多切几次，就降维了；不过，为了防止“瞎子摸象”，必须辅以“计算机绘图”来俯视全貌……思想来源于对“均匀设计原理”的探讨，而现在成为诸多分析软件的常规功能。但是，由于生产水平和笔者眼界不高，不能像 E·F·Codd 那样（1993）提出多维数据库的切片（slice）切块（dice）和钻取（drill）技术背后的理论框架。

方教授不仅在 1984 年 5 月《均匀设计》第三版讲义中引用了报告 020，还向许多用户介绍笔者，即使他在国外，从应用数学所仍然有信转来。其中，有两位令笔者难忘。一位金天峰，是英杰蒋筑英生前所在单位的硕士生，为了研制新光学系统，用了水平数大大超过 60 的均匀设计表，证明了笔者研制高维均匀点列的必要性。一位张文明，是汉中地区农科所的骨干，曾三次来汉，推着自行车送带伤的笔者到机房去解析他田间试验的结果；当他援外到第三世界国家，和那里的联合国官员谈到“计算机上种田”时，令这些官员前倨后恭。笔者不相信来函中说的报告 020 对他们帮助那么大，但是，笔者相信一点：报告 020 闪现有或明或暗的如豆灯火，一旦和年轻人的思路发生撞击，就迸发出创新的火花，有可能点燃起他们高擎的熊熊火炬，登上应用科学的顶峰。我们亲身的感受和体验，是应该传达给学生的。记得 1975 年笔者从县城给“华工”人事处写过这样一首“咏蜡烛”的言志诗：

本自深山百炼出，照亮崎岖千人攀，
不为顶峰招万姓，笼炬成灰烟犹欢。

是故，笔者决心稍加修改地把报告 020 基本原样出版。因为“均匀设计”还很年轻，初期的探索，良莠芜杂，在所难免；老实说，笔者至今仍难分辨出有用或无用。实际上，方开泰教授的最大“对称差”准则，曾被王元教授以“没有数学”否定过；而笔者在报告 020 最后提出的计算结果表明，高维空间中所求得均匀点列和理论上一致分布点列存在着高达 10 的 20 次幂的误差，令方教授

异常振奋;1987年他将笔者叫到他中关村的宅第,把“对称差”的探索任务和解决路径交待给笔者……

本书的第二部分,汇集了笔者用于社会经济的一些论文,自始至终贯穿着一个思想:把我国数学工作者首创的具有世界水平的方法表格化,简化用法;在模型解析中,以软件的便用,来替代用户自己演算,让用户不必具有较高的数学和计算机知识,能把精力集中在本行研究的高层次问题上,深入地做创造性的工作。为了既能把试验及结果数据管理好,又能有效计算和绘图,先探讨高级程序设计语言和数据库管理系统相结合的问题,称之为“d-B通讯”;后来发现,只用关系数据库的关系运算,就能代替传统计算方法做数值分析,而且可以提供多个解答,特别适合决策支持。此思想显见是由上述原理研究发展而来:在报告020中,笔者用了函数的周期性和多重序元同余逆进行“筛选”;在地形匹配计算机模拟结果的解析中,笔者建议了“投影”方法;在回归不显著或泰勒展开太复杂的情况,用“连接”可代替回归。笔者不患专家认为拙文水平低,只怕数学公式一串串吓走了读者。

没有德华主持的“地形相关辅助导航系统原理研究”的课题,就不可能有报告020,而没有李国平院士在十年浩劫后“科学的春天”到来时,发起、组织了“武汉多学科讨论会”,也就没有这个地形匹配课题小组。讨论会聚集起小组的骨干,而把他们从不同专业组织到一起,是华中工学院朱九思院长作出的决策。七十年代中期,能够接纳笔者这样的“老三届”大学毕业生者,唯华工而已。朱院长只承认“华工就是有朝气”。地形匹配课题组,当年被上上下下公认为最有朝气;朱院长注视着小组的成长。1984年,当学校已开印《微型计算机应用和计算机软件成果选编》时,他发现没有小组的工作,命令立即停机,向全院发出“征集”通知。这样,基于“均匀设计”的“试验设计应用软件”得以收进,后有读者来函。当前我国软件产业发展迟缓,“软件蓝领”的缺口约4-5万,但这非因而是果。缺乏既懂技术又擅长管理的高端人才、特别

是拥有原创性核心技术的人材,是重要原因之一。973 信息技术与高性能软件基础规划项目首席科学家顾钧提出:“软件产业应高度重视算法研究”。世界上许多国家,从公司、大学到政府都将如何提高算法的水平看作是一个国家技术竞争力的战略问题。所以,虽然今天均匀设计理论已经相当完备,新算法有了根本性发展,报告 020 中的算法仍有启迪作用。比如说《光明日报》2002 年 3 月 3 日公告的“奇素数和定理”,并没有超过笔者先前的工作。而发展了的“d-B 通讯”算法,对以 DW 和 DM 为基础的 DSS 构建将产生影响。

1986 年 9 月初,笔者参加烟台“全国计算机应用学术会议”的文章《试验设计和系统分析应用程序包》,配套的田间试验、大田中试的收割景象的录相带,没有录像机放映,反响不大。从 1987 年 4 月 3 日上海师范大学丁元老师的来信中,笔者才知道,方教授又一次肯定了笔者的工作。

要感谢王济成总工程师,1978 年中科院数学所油印的《概率统计通讯》第一期关于均匀设计文章,是他推荐给小组的;在 1983 年鉴定会上,力排众议地肯定了报告 020 理论研究的重大意义。

要感谢饶建锡教授。方教授 90 年代早期在江苏仪征的报告会上,曾经透漏出“我国最早编出均匀设计软件的人现在找不到了”,没有他从这一点音讯,就询问、就辗转地来汉找到笔者,笔者仍然是一个落伍者。后来的结果是,笔者参加了 1995 年青岛会议、1999 年香港会议,先后提出向社会、经济领域应用和指导数据挖掘;成立了分支学会,在 2001 年西安会议上,湖北代表的到会率达到最高。

要感谢范文涛研究员、欧阳才衡研究员和尤孝庭先生,没有他们四十年如一日地信赖、鼓励和支持,湖北省系统均匀设计专业委员会的组建是不可能的。尤孝庭还为本书编排、审校付出了艰辛的劳动。

最后,笔者特别感谢全国高协组织教育发展中心和香港教科
文出版有限公司的资助,以及张永青、金志伟等先生的耐心和帮助
——他们已经等待笔者修改了一年半了。

站在“方——王合作”树起的“均匀设计”历史丰碑下,翻阅学
会 2001 年 8 月 11 日汇编的“大事记”,笔者深深感到个人的渺小。
一名战士,只有当他置身在浩浩荡荡行进的队伍中时,才充满信心
和力量。

谨以此书,敬献给恩师李国平院士和不敢忘怀的老院长朱九
思教授!

谨以此书,答谢二十年不忘、殷殷相召唤的方开泰教授!!

谨以此书,慰勉三十年来一起谈天说地、互激互励、甘苦共品、
携手并进的李德华、方放、胡昌赤、冯玉才、曾庆伟、胡必锦、宫秀丽
等等朋友们!!!

钱 进 2002.5.25

前 言

纪念均匀设计创建 20 周年,实现用新知识装备传统方法^①

1978 年,应导弹设计部门的要求,国际数理统计研究院院士、香港浸会大学讲座教授方开泰和中国科学院院士主席团成员王元合作创建了均匀设计,完满地解决了该部门 5 因素、10 多个以上水平、试验总次数在 50 以内的试验难题。当时中科院数学所“数论方法在试验设计中的应用”^[04]报导了这一工作。

20 年弹指一挥间。如今,这一方法应用在国内生产和科研的众多领域,比如说不久前,在长江三峡二期围堰工程^{[34][35]}和鞍山钢铁厂又取得了丰硕成果和巨大经济效益。这一方法得到国际数学界和统计学界的好评,得到我国科技界领袖们的重视、高度评价和支持,批准成立了中国数学会均匀设计分会,使其由基础学科转化为高精尖的科研领域、国民经济众多领域可普遍推广应用的适用技术。特别近几年,一大批博士生成长起来,对这一领域的科技进步有极大的推动。

湖北省武汉市的科研教育力量在全国占有重要的地位,在武汉大学李国平院士的指引下,对均匀设计这一新的高技术的注意,起步亦很早。1983 年就写出了科研报告^[71],把计算机技术和数学科学结合了起来,提出了一些问题,对完善这一新技术起到启迪和促进作用。我省考到中科院应用数学所的博士生谈到这本报告是方先生交给他们同学的参考书。王元院士 1995 年在青岛也说到:“我们的文章 81 年才发表,这(报告)83 年就出来了,好快。”

① 根据 1998 年 12 月同名文章^[80]精简修改。

辽宁省沈阳市也是一个在科研和教育方面具有庞大阵容和雄厚实力的特大城市,已经成立了省一级均匀设计分会,开展了卓有成效的工作。为了推动武汉地区推广应用均匀设计法的工作,我们特地借来东北风,联合组织了一期均匀设计专辑。

笔者认为均匀设计创建有如下的意义:

一、基础研究必须参加世界竞争让社会检验。发达国家之所以发达,因为他们重视基础研究,从世界各地网罗基础研究的人才,这也是李政道先生多次向我国高层进言的缘由。基础研究和高新技术研究是新知识、前沿知识的源泉,科技进步的先锋。王元院士 50 年代做基础研究,70 年代出了第一本书,80 年代用于试验设计,90 年代取得效益。有了效益,有了实惠,就得到世界的承认,国内社会的承认,前后花了近 40 年时间。现在仍然必须支持那些有希望的基础研究工作,稳定一支高精尖的基础研究队伍,以保障类似均匀设计的成果层出不穷,以保证国家经济发展有后劲、可持续。

二、转变经济发展和增长观念,以知识注入为主,在保障性的有限物资和资金的投入中,让高科技发挥出“四两拨千斤”之效。十多年来,均匀设计的应用实例证明,一旦一个艰难的工程用上了均匀设计,就像上述的导弹试验或三峡围堰防渗墙一样,使得工程的进展成十成百倍地提高,并且,主要的应用人员在知识结构和学术水平上,有很大的提升。知识经济以知识、教育投入为主的特性,均匀设计体现得格外突出。一切真心要把本单位搞上去的领导者,不会不研究知识经济,不会不考虑均匀设计能否在本单位应用。

三、国家知识基础设施薄弱,是发展中国家面临知识经济发展趋势的严重挑战,建设国家知识基础设施,要选择既有很高的科技含量又容易迅速为全体人民掌握和利用的关键知识,优先建设。回顾 70 年代,在经过文化大革命的破坏后,为了恢复生产,集注人气,邓小平同志复出,出现了华罗庚先生率领小分队,到全国各地

区去推广“优选法”的热气腾腾局面,吹响了整个国家拨乱反正的前奏曲。接着,有责任心的科学工作者们引进全面质量管理和表格化的试验设计方法,方开泰 1972 年提出“直观分析法”,在全国普及了“正交设计”,为恢复国民经济、提高产品质量做出了重大贡献。均匀设计就是当年“优选法”和“正交设计”的最新发展,特别是开发了均匀设计的软件,能够提高企业知识的生产、传播、应用的速度和能力。现在要进一步开发的就是把均匀设计注入到知识网络中去。

四、国家创新系统是知识网络的重要内容,其主要活动是启发、引进、改造与扩散新技术、新知识。而发达国家由于已经建立起了信息基础设施这一知识传输的重要渠道,有众多的大型数据库、数据仓库资源,90 年代兴起了知识发现和数据开采的研究潮流^{[37][36]}。把均匀设计注入到知识网络中去,就是要充分利用网络共享的时代特征,充分利用我国独创、世界领先的这一技术,指导知识发现和数据开采。一方面,均匀设计在我国的普及应用,能够为我国采集许多试验数据,充实我国的数据库资源;另一方面,均匀设计去繁就简、淘砂沥金的本领,又能指导我们更有效地发现、创新知识。

自从 1993 年近 30 位学部委员上书呼吁“数学强国”^{[26][27]}、国家科技界领袖人物指示要推广均匀设计以来,虽然已经取得不少成绩(比如国防口已经在全军科技人员中推广),但是不尽如人意,比 70 年代推广“优选法”的气氛差之甚远。究其根源,不能不说社会的注意力、经济发展和增长的观念,尚存在某种问题。所以,笔者首先想到要把均匀设计用到社会工程和管理工程中去!目前的目标,就是要实现用新知识装备、改造传统的调查研究方法和金融数据分析方法。

去年今日,笔者参加一个企业的咨询会议,在接客的小车内,听到时间被推迟的报怨:商委找了我处多次,要求“重新核实”统计数据,——每年这个时候就忙这…。1998 年的洪水,把我省计

划生育的统计资料和从树梢上救下的超生女孩实际不符的问题洗刷了出来。就说九江溃堤朱总理痛斥“豆腐渣工程”，回顾听取汇报“固若金汤”时，又何尝不是被传统的“视察”方法所累呢？周总理在三年灾害时期，视察人民公社的食堂时，是亲身多次跑到农民家里去，才听到“再把食堂办下去，不出3年你们也要饿死”的震聋发聩之言。源于央视《焦点访谈》的披露，中国青年报1998年11月4日评论《竟敢当面骗总理》。无独有偶，湖北群众中流传着这样一件事：今年中央领导视察农村，地方把养鸡场的鸡发到农家，于是看到一片富庶的景象。“欺君之罪”理当斩？我党提倡调查研究，无异是百分之百正确的。但是随着时代特征的变化，毛主席20年代在湖南省乡间徒步作调查的方式应该提高了。40年代美国兰德公司提出的Delphi函询（专家）调查法，由于具有匿名性、反馈性和收敛性三大特点，得到学术界广泛应用。两个月前，有媒体介绍了某高校公开展示申报人员的材料，在职称评定工作中增加透明度的消息。在校级评委会上，申报人员还能亮相述职。但是，在评委投票这一环节，就黑了，狗尾续貂的下文就不再见之于报端了。投票完毕，评委们就炸开了锅，纷纷表示对结果不满意。这就是说没有反馈，就没有控制机制，没有修改初始意见的过程，就达不到意见收敛趋同的效果。于是，狭隘和偏见就能得逞。又如，对科技成果评价的问题，困扰了我国知识界几十年，1998年5月5日《光明日报》名家新见还在谈。主要毛病评价过高过滥的危害很大，给人以错误信息和引导，提倡以“背靠背”或“通信”的方法进行鉴定，实质上就是Delphi法。Delphi法选择“专家”，是用非随机方法，有点类似于便利抽样或判断抽样。如果在选择“专家”这一环节就能够使用均匀设计法，能够大大避免主观随意性，从而提高定性因素量化的质量。

《中南财经大学学报》1998载文^[78]，以选择“专家”为例，介绍均匀设计法的思想和具体运用的步骤。利用Office的VBA宏，替换出数种效果不一样的排列，据资源表改变合并次序，产生多种方

案。配合查询人力资源数据库,可以迅速获得满意人选。于是引出“上因特网,在大概率面上、进行最大比率信息筛选、开展知识发现和数据开采研究”的一大类问题。

结论说,均匀设计已成为用多因素多水平简约小样有效地推断复杂总体的一种思想方法论,能够对已有 Delphi 调查方法作改进,有效地用于当前稽察、督导、监理…制度的建设和统计、预算、审计、教育…法规的执行中去,应是不容置疑的。其在社会、经济中应用还有待开拓,特别依赖用户的管理经验、社会阅历和用其他多种门类的知识来充实。

目前,沪深两市的指数随着成分股的变化,不敷应用,都要被修改。最近,笔者采集有实际意义的股市数据,不是为了反映其市场价值,而是寻求代表性,运用均匀设计指导数据挖掘,已显示出初步成效,充分说明数据挖掘并不只是一种技术、一套软件,而是结合数种专业技术的应用。在本书后面,为引玉作抛砖。

最近,我信息系张逢华君听课上网搜索到《中国管理科学》上将均匀设计用于证券投资组合的文章,激励笔者进一步发现有国家自然科学基金资助和香港恒生指数实战背景的数篇论文^{[47]~[53]}。结合方开泰、马长兴(2001)新著^[23]关于含有定性因素试验的均匀设计的理论指导,笔者关于“根据直方图变尺度均匀设计”的思想也得以体现,这是《中国科学技术文库》收录拙著4千字的《掘要》^[77]并非1万1千字的《综述》^[75]之缩写的根本点。2002年4月3日《光明日报》“用科学机制评选文艺奖项”,又在重提1998年“名家新见”的问题。不过明确提到“采用‘专家库’评选机制”。这正是含有定性因素的数据挖掘问题…

目 录

第一篇 均匀设计原理及自动实现

第一章 概 述	3
§ 1.1 本篇要点	3
§ 1.2 均匀设计和正交设计	5
§ 1.2.1 正交试验的特点	5
§ 1.2.2 正交试验所启发的改进	7
§ 1.2.3 均匀试验原理的思想渊源	8
§ 1.3 有关的一致分布理论	11
§ 1.3.1 一致分布的数学定义	11
§ 1.3.2 一致分布的物理意义	12
§ 1.3.3 有限点列近似一致分布的精度	13
§ 1.3.4 均匀试验点的均匀度	15
§ 1.4 构造均匀设计表的法则	16
§ 1.4.1 布点法则 R1(适于欧拉函数值较小的自然数)··	17
§ 1.4.2 布点法则 R2(适于欧拉函数值较大的素数等)··	18
§ 1.4.3 布点法则 R3(适于素数后面的偶数等)	19
第二章 计算方法的优化	21
§ 2.1 同余逆	21
§ 2.1.1 整数的同余逆	22
§ 2.1.2 p 重序元的同余逆	23
§ 2.2 多进程组合调度算法	25

§ 2.2.1 算法 C	26
§ 2.2.2 算法 D	29
§ 2.3 求均匀点列的加速算法	33
§ 2.3.1 算法 UDV	34
§ 2.3.2 先算后查法	35
§ 2.4 素数宿集定理	37
§ 2.4.1 定理的证明	37
§ 2.4.2 绘制偶数表为宿集数和图	41
第三章 均匀设计应用软件	43
§ 3.1 意义和职能	43
§ 3.2 数据结构	43
§ 3.2.1 参数表	44
§ 3.2.2 杨辉表	45
§ 3.3 计算过程摘要	51
§ 3.3.1 记号	51
§ 3.3.2. 输入量	52
§ 3.3.3 三个复盖段	53
§ 3.4 计算流程的逻辑设计	55
§ 3.4.1 框图	55
§ 3.4.2 框图说明	58
§ 3.5 主要的计算程序	65
§ 3.5.1 主程序根段	66
§ 3.5.2 三个主程序复盖段	74
§ 3.5.3 算法 UDV 调用的 4 个子程序	82
§ 3.6 程序的检验及使用	86
§ 3.7 示例及输出	92
第四章 匹配试验中均匀方案表的安排	102
§ 4.1 试验安排的重要性	102
§ 4.2 匹配模拟试验的实际安排	104

§ 4.2.1 选择因素	104
§ 4.2.2 水平选择	104
§ 4.2.3 产生均匀表	105
§ 4.3.4 安排方案表	106
第五章 待做的后续工作设想及应用补充	110
§ 5.1 待做的后续工作设想	110
§ 5.2 试验设计和系统分析应用程序包	112
§ 5.2.1 用途	112
§ 5.2.2 主干	112
§ 5.2.3 性能	115
§ 5.2.4 打算	116
§ 5.3 在国防科研经济建设中应用举例	116
§ 5.3.1 在飞航导弹上的应用	117
§ 5.3.2 在舰载鱼雷上的应用	119
§ 5.3.3 在三峡工程围堰防渗墙配料中的应用	122

第二篇 均匀设计在社会经济中的应用

第六章 在社会经济中应用综述	129
§ 6.1 统计学历史的召唤	129
§ 6.2 “心中无数”者的良方	131
§ 6.3 特性“数量化”的利器	133
§ 6.4 计量模型所需“粮食”的锄犁	135
§ 6.4.1 微观经济质量管理	136
§ 6.4.2 宏观经济计量模型	139
§ 6.5 计算机仿真的“佳侣”	140
§ 6.6 结语	142
第七章 DELPHI 函询法的改进和 UD 调查研究方案评价	144