

区间数决策集对分析

刘秀梅 赵克勤◎著



科学出版社

江苏省第八批“六大人才高峰”高层次人才资助项目

区间数决策集对分析

刘秀梅 赵克勤 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是把集对分析及其联系数用于区间数多属性决策建模与应用研究的专著,共9章。第1章为绪论,第2~4章介绍区间数与联系数的性质以及区间数向联系数的转换与计算,第5~8章是集对分析在各种不同的区间数多属性决策问题中的应用,第9章介绍基于赵森烽-克勤概率的新型风险决策和进一步需要研究的问题。

本书重点是集对分析用于区间数多属性决策中的不确定性分析。特点是:“新”,把集对分析理论和联系数系统地用于区间数决策理论方法建模创新;“实”,全书结合各种应用实例说明集对分析理论和联系数在区间数决策中的应用;“简”,简明扼要地说明集对分析理论,联系数的算法,区间数向联系数的转换方法,基于集对分析联系数的区间数决策模型的建模、计算和分析步骤等。

本书适用于高等院校管理科学与工程、系统工程、数学与应用数学、自动化与系统控制等专业的教师、学生以及各类管理决策人员使用,也可供研究和应用集对分析的各类科技人员和数据处理相关的科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

区间数决策集对分析/刘秀梅,赵克勤著. —北京:科学出版社,2014. 10
ISBN 978-7-03-041993-4

I. ①区… II. ①刘… ②赵… III. ①决策论-研究 IV. ①O225

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 222851 号

责任编辑:张海娜 王迎春 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:肖 兴 / 封面设计:蓝正设计

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年9月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2014年9月第一次印刷 印张:16 1/4

字数:327 000

定价:78.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

作者简介



刘秀梅,女,1963年生,教授,连云港师范高等专科学校初等教育学院副书记、副院长,中国系统工程学会决策科学专业委员会委员,江苏省“六大人才高峰”培养对象,连云港市首批、第四批“521 新世纪高层次人才培养工程”培养对象,连云港市“学术技术带头人”,学校“青蓝工程”学术带头人,主要研究方向为数学和数学教育、数学分析、联系数学等,发表学术论文 50 余篇。



赵克勤,男,1950年生,研究员,诸暨市联系数学研究所所长,浙江大学非传统安全与和平发展中心集对分析研究所所长,中国人工智能学会理事、人工智能基础专业委员会副主任、集对分析联系数学专业筹备委员会主任,主要研究方向为联系数学,1989年提出集对分析(联系数学),已出版《集对分析及其初步应用》、《奇妙的联系数》两部专著,主编出版论文集两部,发表学术论文 100 余篇。

序

拿到这部《区间数决策集对分析》专著的初稿,令人振奋和欣喜。集对分析理论自赵克勤于1989年提出以来,已经走过了20多年,从别人对集对分析理论的不熟悉、不了解,到现在全国已经有包括《中国科学》在内的500多家学术期刊发表集对分析方面的论文1600多篇,一大批科研工作者在参与集对分析理论与实践的研究,研究队伍越来越壮大,集对分析在实际工作中得到了越来越广泛的应用。这本书是集对分析领域继《集对分析及其初步应用》、《体育用联系数学》、《水文水资源集对分析》等专著后的又一项研究成果。

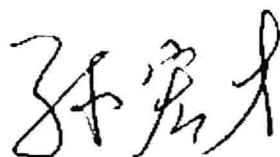
出于工作的需要,我多年来从事决策科学理论方法和决策实践的研究,深感随着现代科学技术和社会经济的快速发展,决策科学研究工作者面临的决策问题日益广泛且复杂,探讨新的决策理论和新的决策技术日益迫切。本书的两位作者是中国系统工程学会决策科学专业委员,第一作者刘秀梅是江苏省“六大人才高峰”培养对象,她勇于把由中国人原创的集对分析理论用于决策科学研究创新,从2007年起连续在《决策科学年会论文集》和《系统工程与电子技术》、《模糊系统与数学》、《数学的实践与认识》上发表有关区间数决策集对分析方面有创见的论文近20篇,有些论文被 *Mathematical Reviews*、*Engineering Index* 和《中国数学文摘》收录,并在此基础上形成本书,为决策科学理论方法和决策实践的创新提供了全新的视角和途径,因而是决策科学领域的一项新成果,值得鼓励和支持。

集对分析从系统的角度研究集对中两个集合的确定性关系和不确定性关系,利用联系数对系统的确定性和不确定性进行刻画,因而可以较好地用于各种系统决策问题的研究。本书基于集对分析的不确定性系统理论,探讨区间数的性质,用联系数表示区间数的确定性和不确定性,给出了区间数向联系数的转换公式及联系数决策模型,在区间数、三角模糊数、梯形模糊数、直觉模糊数表示的多属性决策问题中加以运用,用不同的实例说明了集对分析在解决区间数多属性决策问题上的有效性和科学性。

决策科学是一门古老而又年轻的学科,集对分析是一种新的理论,系统地把集对分析用于决策科学更是近几年的事,其不完善之处在所难免,但长江后浪推

前浪,区间数决策集对分析一定会在更多学者的深入研究和更多决策工作实践中得到完善和发展。

中国系统工程学会副理事长
中国系统工程学会决策科学专业委员会主任委员

A handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '孙', '宏', and '才'.

2013 年 11 月 8 日于北京

前 言

写作本书的最初动机源自我们就区间数决策集对分析作了多角度、多层次的持续研究,发表了系列论文。最早是在《数学的实践与认识》的 2008 年第 23 期上发表“基于联系数复运算的区间数多属性决策方法及应用”一文,之后又在该刊 2009 年第 8 期、2010 年第 1 期、2011 年第 6 期、2012 年第 4 期、2013 年第 3 期上相继发表“基于区间数确定性与不确定性相互作用点的多属性决策”“基于集对分析联系数的信息不完全直觉模糊多属性决策”“基于联系数的区间数多属性决策非线性模型及应用”“区间数特性集对分析及在多指标决策中的应用”(与吴维煊合作)和“基于联系数的属性权重未知的区间数多属性决策研究”;与此同时,在《模糊系统与数学》的 2009 年第 2 期、2010 年第 5 期、2011 年第 5 期、2012 年第 6 期上相继发表“基于 SPA 的 D-U 空间的区间数多属性决策模型及应用”“基于联系数不确定性分析的区间数多属性决策”“基于二次联系数的区间数多属性决策方法及应用”“属性等级和属性值均为区间数的多属性决策集对分析”,在《系统工程与电子技术》的 2009 年第 10 期上发表“基于联系数的三角模糊数多属性决策新模型”(与王传斌合作),在《智能系统学报》2012 年第 5 期上发表“基于联系数的不确定空情意图识别”,在《连云港师范高等专科学校学报》等其他刊物和中国系统工程学会决策专业委员会学术年会论文集上发表关于区间数决策集对分析方面的学术论文,累计近 20 篇;其中 4 篇被 *Mathematical Reviews* 收录,1 篇被 *Engineering Index* 收录,9 篇被《中国数学文摘》收录。

在我们的上述工作之前或同时,还有其他学者从另外的角度把集对分析用于区间数决策研究,代表性的文献有中国科技大学叶跃祥的“一种基于集对分析的区间数多属性决策方法”、卫贵武博士的“权重为区间数的多属性决策的集对分析法”、韩利娜等的“基于集对分析的一种区间数的排序方法”、汪新凡等的“基于联系数贴近度的区间数多属性决策方法”、王万军的“区间数排序的一种联系数方法”、施丽娟等的“基于集对分析的区间直觉模糊多属性决策方法”、张传芳等的“一种基于区间型联系数的多指标决策方法”、谭乐祖等的“采用区间数的集对分析目标威胁判断模型”、狄钦等的“基于满意度的区间数多属性决策”等,以上这些工作表明,区间数决策的集对分析研究已经有丰硕的成果,这些成果为撰写一本区间数决策集对分析专著提供了丰富的素材和重要参考。在此感谢所有为区间数决策集对分析研究作出贡献的专家学者。

但是,专著和论文不同。如果把论文比喻成珍珠,那么专著就是由珍珠做成的

工艺品,需要有整体设计和结构构思。换言之,论文可以选择不同的角度写作,但专著的形成则需要系统性地研究区间数决策应用集对分析的特点,还要深入思考区间数决策集对分析的有效性和科学性原理。表面上看,区间数决策是一个数学建模及其计算与分析的问题,区间数决策集对分析无非是基于集对分析及其联系数的一种数学建模及其计算分析。实质上,一种认识是把区间数仅看成一种数,另一种认识是把区间数看成数与系统的一种综合。有不少学者基于前一种认识,从事区间数决策的非集对分析研究并取得相应成果。例如,高峰记等研究了基于可能度的区间数决策;徐泽水等给出了区间数决策的若干集结算子;陈侠等研究了区间数决策的群体决策等。需要把他们的工作与基于集对分析的区间数决策研究进行比较和分析,取长补短,丰富区间数决策集对分析内容。当然,这也是集对分析一直主张把同一个问题作集对分析与不作集对分析相比较后才下结论的题中之意,这一主张也是集对分析从1989年提出以来不断发展的奥秘所在。本书的主要工作则是基于后一种认识,认为区间数具有数与系统的双重特性,因而需要在区间数决策研究中把确定性的计算(对于数)与不确定性分析(对于系统)进行有机结合。

基于以上思考,本书的第1~3章阐述区间数与区间数决策的特点、集对分析理论和联系数的特点及其运算规则,以及区间数向联系数的转化;第4章阐述基于联系数的区间数决策建模思想、建模步骤,以及模型的运算与不确定性分析,是全书的重点;第5~8章主要是各种实例应用的介绍以及区间数决策集对分析与非集对分析结果的比较与分析,其间不仅说明不同问题背景下的区间数决策进行集对分析的一些处理技巧,更重要的是用实例剖析说明区间数决策集对分析的有效性和必要性。

本书是江苏省人力资源和社会保障厅、江苏省财政厅和江苏省组织部联合组织的“六大人才高峰”项目资助课题“区间模糊数多属性决策集对分析方法及应用”(2011-JY-003)的研究成果,在此向江苏省人力资源和社会保障厅、江苏省财政厅和江苏省组织部表示感谢。此书的出版也得到了连云港师范高等专科学校的资助。书稿初成后,得到了中国系统工程学会决策科学专业委员会主任委员孙宏才等专家的审阅,提出不少修改意见,在此一并致谢。

刘秀梅,赵克勤

2014年2月5日

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 区间数决策问题概述	1
1.1.1 决策	1
1.1.2 区间数决策	2
1.2 区间数决策的集对分析思路	3
1.2.1 集对	3
1.2.2 集对分析的基本思路	4
1.2.3 集对分析在区间数决策中的应用	5
1.2.4 区间数决策不确定性的集对分析	6
参考文献	7
第 2 章 区间数	10
2.1 区间数的基本概念	10
2.1.1 规范区间数	10
2.1.2 区间数的内点	10
2.1.3 区间数的值	11
2.1.4 区间数的性质	11
2.2 多参数区间数	12
2.2.1 三参数区间数	12
2.2.2 四参数区间数	14
2.2.3 参数无穷多区间数	16
2.3 区间数的系统性质	16
2.3.1 区间数的子区间数	17
2.3.2 区间数的取值分布	18
2.4 区间数序结构的复杂性	19
2.4.1 区间数在数轴上的位置	19
2.4.2 区间数序结构的复杂性	20
2.5 区间数的运算	20
2.5.1 区间数的运算性	20

2.5.2 基于区间数位置的区间数运算	22
2.6 区间数间的关系度量	24
2.6.1 区间数的距离	24
2.6.2 区间数的相离度	25
2.6.3 区间数的贴近度	27
参考文献	28
第3章 集对分析与联系数	29
3.1 集对分析	29
3.1.1 基本概念	29
3.1.2 关系与联系	30
3.1.3 同异反关系	30
3.1.4 集对的特征函数	32
3.2 联系数	32
3.2.1 二元联系数	33
3.2.2 三元联系数	34
3.2.3 四元联系数	35
3.2.4 五元联系数	36
3.2.5 多元联系数	36
3.2.6 联系数的性质	37
3.3 联系数的运算	38
3.3.1 联系数的加法运算	38
3.3.2 联系数的乘法运算	40
3.3.3 联系数的减法运算	42
3.3.4 联系数的除法运算	43
3.3.5 联系数的复运算	45
3.4 联系数的伴随联系数	46
3.4.1 联系数的偏联系数	46
3.4.2 联系数的邻联系数	49
3.4.3 联系数的势联系数	50
3.5 其他类型联系数	52
3.5.1 区间型联系数	52
3.5.2 函数型联系数	53
3.5.3 双重不确定型联系数	53
3.6 集对分析理论	54
3.6.1 不确定性原理	54

3.6.2 成对原理	55
3.6.3 不确定性系统理论	55
参考文献	56
第4章 区间数向联系数的转换	58
4.1 区间数转换成二元联系数	58
4.1.1 区间数与二元联系数	58
4.1.2 区间数向二元联系数的转换	59
4.1.3 带参数的区间数向二元联系数转换	60
4.2 区间数转换成三元联系数	60
4.2.1 区间数向三元联系数的转换公式	60
4.2.2 多参数区间数向三元联系数的转换	61
4.3 多参数区间数转换成四元联系数	62
4.3.1 三参数区间数转换成四元联系数	62
4.3.2 转换成联系数的意义	62
4.4 联系数转换成区间数	63
第5章 区间数的集对分析	65
5.1 区间数的集对分析点	65
5.1.1 区间数的代表点	65
5.1.2 集对分析点定理	66
5.1.3 区间数的另一类集对分析点	67
5.1.4 集对分析点的应用	68
5.2 区间数值分布的集对分析	68
5.2.1 区间数的参考点集	68
5.2.2 区间数分划的集对分析	68
5.2.3 区间数内点的分布	72
5.3 区间套的集对分析	73
5.3.1 区间数的区间套	73
5.3.2 区间数的区间套性质	73
5.4 区间数大小的集对分析	74
5.4.1 区间数大小的比较原则	74
5.4.2 基于“先位置,后长度”的区间数大小比较	75
参考文献	76
第6章 区间数多属性决策集对分析(1)	77
6.1 基于联系数复运算的区间数多属性决策	77
6.1.1 问题	77

6.1.2	决策原理	77
6.1.3	决策模型	78
6.1.4	实例	78
6.2	基于 SPA 的 D-U 空间的区间数多属性决策集对分析	80
6.2.1	问题	81
6.2.2	决策模型	81
6.2.3	决策步骤	82
6.2.4	实例	82
6.3	基于联系数不确定性分析的区间数多属性决策	86
6.3.1	问题	86
6.3.2	决策过程与决策模型	86
6.3.3	实例	88
6.4	基于区间数确定性与不确定性相互作用点的多属性决策	92
6.4.1	问题	92
6.4.2	决策原理	92
6.4.3	决策步骤	93
6.4.4	实例	94
6.4.5	讨论	96
6.5	基于 i 的二次幂联系数的区间数多属性决策方法	98
6.5.1	问题	98
6.5.2	决策模型	99
6.5.3	决策方法	99
6.5.4	实例	101
6.6	基于联系数的不确定空情意图识别	102
6.6.1	问题	103
6.6.2	决策方法	103
6.6.3	决策步骤	103
6.6.4	实例	105
6.7	基于区间数位置特性集对分析的多属性决策方法	108
6.7.1	问题	108
6.7.2	决策步骤	108
6.7.3	实例	109
6.8	基于区间数正态分布假设的多属性决策集对分析	111
6.8.1	决策原理	111
6.8.2	决策步骤	112

6.8.3 实例	112
6.9 基于联系数的属性权重未知的区间数多属性决策	114
6.9.1 问题	114
6.9.2 决策步骤	114
6.9.3 实例	115
6.10 基于联系数的区间数伴语言变量的混合多属性决策	118
6.10.1 问题	118
6.10.2 决策步骤	118
6.10.3 实例	119
参考文献	122
第7章 区间数多属性决策集对分析(2)	124
7.1 三参数区间数多属性决策集对分析	124
7.1.1 预备知识及问题	124
7.1.2 决策方法	124
7.1.3 决策步骤	125
7.1.4 实例	126
7.1.5 讨论	131
7.2 四参数区间数多属性决策集对分析(1)	132
7.2.1 预备知识及问题	132
7.2.2 决策原理	132
7.2.3 决策步骤	133
7.2.4 实例	133
7.2.5 讨论	136
7.3 四参数区间数多属性决策集对分析(2)	137
7.3.1 问题	137
7.3.2 决策原理	137
7.3.3 决策模型	138
7.3.4 实例	138
7.3.5 讨论	141
7.4 直觉模糊数多属性决策集对分析	141
7.4.1 预备知识及问题	141
7.4.2 决策原理	142
7.4.3 决策步骤	143
7.4.4 实例	144
7.4.5 讨论	146

7.5	区间直觉模糊数多属性决策集对分析	147
7.5.1	预备知识及问题	147
7.5.2	决策方法	147
7.5.3	实例	148
7.5.4	讨论	150
7.6	直觉三参数区间数多属性决策集对分析	151
7.6.1	预备知识及问题	151
7.6.2	决策原理	152
7.6.3	决策步骤	152
7.6.4	实例	153
7.6.5	讨论	155
7.7	语言型区间数多属性决策集对分析	155
7.7.1	预备知识及问题	155
7.7.2	决策原理	156
7.7.3	决策步骤	157
7.7.4	实例	157
7.7.5	讨论	160
7.8	基于集对分析的多属性决策通用模型	161
7.8.1	问题	161
7.8.2	区间数和扩展的区间数的特征参数	161
7.8.3	均值-方差联系数	163
7.8.4	决策模型	166
7.8.5	实例	168
7.8.6	讨论	174
	参考文献	174
第8章	基于多元联系数的区间数决策	177
8.1	基于三元联系数和完美点的区间数决策	177
8.1.1	原理与方法	177
8.1.2	实例	179
8.2	基于四元联系数和等级取值的区间数决策	181
8.2.1	原理与方法	181
8.2.2	实例	182
8.3	基于五元联系数的区间数决策	187
8.3.1	原理与方法	187
8.3.2	问题与决策	188

8.3.3 实例	190
8.4 基于六元联系数的区间数决策	192
8.4.1 原理与方法	192
8.4.2 实例	194
8.5 基于偏联系数的区间数决策	198
8.5.1 原理与方法	198
8.5.2 实例	199
8.6 基于区间型联系数的区间数决策	200
8.6.1 原理与方法	200
8.6.2 实例	202
8.7 基于联系数算子理论的区间数决策	203
8.7.1 原理与方法	203
8.7.2 实例	208
8.8 基于多维联系数的区间数决策	210
8.8.1 原理与方法	211
8.8.2 实例	213
8.9 基于联系数的混合型区间数决策	214
8.9.1 原理与方法	215
8.9.2 实例	216
8.10 基于联系数和前景理论的动态区间数决策	219
8.10.1 原理与方法	220
8.10.2 实例	223
8.11 基于联系数和马尔可夫链的动态区间数决策	227
8.11.1 原理与方法	227
8.11.2 实例	230
参考文献	233
第9章 基于赵森烽-克勤概率的新型风险决策与问题	236
9.1 基于赵森烽-克勤概率的新型风险决策	236
9.1.1 赵森烽-克勤概率的由来	236
9.1.2 应用举例	239
9.2 需要进一步研究的问题	241
9.2.1 不确定性的处置	241
9.2.2 大数据决策	242
参考文献	242
后记	244

第 1 章 绪 论

1.1 区间数决策问题概述

1.1.1 决策

决策是指为了达到一定的目标,从两个或两个以上的方案中选择其中之一的分析判断过程^[1]。从数学意义上说,决策是在给定决策空间中的一项寻优活动,目的是让决策结果达到最大效用值。

决策与人们的日常工作和生活息息相关,人们随时随地都在作决策,决策也时时应用于各领域,如经济决策、工程项目决策、军事指挥决策等。

要作出一个好的决策,决策目标是一个关键因素,也是决策的一个难点。

首先,目标是一个复杂的概念,这是因为目标有单指标目标和多指标目标之分。单指标目标就是只有一个指标的目标,例如,出差去某城市,仅以到达这个城市为目的,且不计到达的时间长短,不计达到的具体地点,不计到达该目的地的费用,这是一个单指标目标的问题,也是一个简单的决策问题。但如果目标是既要达到某个城市,又有时间限制,例如,在 12h 内到达,而且到达该城市的费用只能在 200 元以内,决策就变得复杂了。

其次,目标也可能不完全清楚,例如,这个学期结束后准备去北方某个地方度假,去北方的什么地方,是哈尔滨还是齐齐哈尔,还是吉林或者大连,或是别的城市,这就为决策增加了难度。

再次,目标还可能动态变化,例如,某人准备出国考察,准备先去澳大利亚,再去美国,之后去英国,返回时先到北京,再到上海,需要决策何时启程和制定各地逗留时间。

决策活动中,不仅目标复杂,而且可供选择的方案也会受多种因素的影响和限制,有的甚至相当复杂。

首先,方案与目标有对立的一面,目标常常是一些指标或属性组成的集合,指标越多,方案就越复杂。这是因为:①各个指标在指标体系中重要性不一致,如何确定不同指标的重要程度是一个复杂的问题;②不同指标会有不同的物理量纲,例如,经济收益类指标用元、万元等作为量纲单位,时间类指标以时、分、秒或年、月、日等为量纲单位,空间距离类指标以千米、米、厘米等为量纲单位,还有一些具有物理性质的指标,如能量指标,以千瓦、焦耳、千焦或重量指标千克、吨等为量纲单位等,同一个指标体系中的这些不同物理量纲指标也增加了方案的复杂性;③方案中

的各个指标数值可以是确定的一个数,也可以是一个带有不确定性的区间数,还可以是概率统计意义下的样本参数——均值、标准差,甚至可以是不用数字表达的语言变量,例如,“时间较短”“费用不多”“满意”“比较满意”“优”“良”“中”“一般”“差”“太差”等。其次,备选的方案可以不止一个,可以是3个、4个、5个、6个或更多。

再次,决策人可以在无主观偏好条件下进行科学的决策,也可以融入决策人的偏好进行决策。当然,这里指的决策人可以是一个人也可以是一群人,后者常被称为群决策。且有决策力的大小问题摆在决策中间,决策方案也可能是一个复杂的系统或开放的动态系统。就决策过程来看,也有简单和复杂之分。简单者,一步决策到位(决策的长度只有“一步”);复杂者,要事先制定决策程序,对程序本身先进行评选、决策,确定用何种程序进行决策后,再具体按照这个既定程序实施决策的各个步骤,特别是对复杂问题的决策大都要先“决策出一个决策程序,再按程序决策”,这使得决策出现“自嵌套”,也就是“决策中有决策”“决策套决策”。

从决策的现实意义看,决策模型的建立也具有很大的可塑性,同一个问题用不同的模型有不同的结果,模型的优劣如何评价也是一个复杂问题,当然,这里指的模型可以是数学模型,也可以是物理模型或其他模型。

简而言之,决策在日常工作和生活中司空见惯,比比皆是,可以说每个人都是决策行家、高手,但细究起来,决策仍是一个棘手问题。

1.1.2 区间数决策

人人离不开决策,而决策本身又是一个复杂的过程,人们为了解决这个矛盾,自然地产生了一个“范围”的想法,也就是对目标作范围限定,对方案中的指标多少也作范围限定,对各指标的数值表述也作范围限定,对决策的结果也作范围限定。例如,不要作出最坏的决策,能作出好和较好的决策就认可。这样,当用具体的数字来表示某种范围时,区间数决策就应运而生^[2]。

所谓区间数决策,就是决策要素(决策目标、决策用指标和指标权重)中的部分要素或全部决策要素的“值”用区间表示的决策。

但是区间数决策给人们带来表达方便的同时,也带来麻烦,原因在于区间数自身带有不确定性,也就是给定一个区间数,这个区间数内部的任意一个数都可以在决策模型中出现,由此带来的后果是决策模型带上了不确定性,决策模型的不确定性又影响到决策结果的确定性、科学性、优劣性和可靠性,最终影响到了决策结果的可信性。

于是,决策科学研究工作者把研究的重点转向了区间数的研究,试着消除其中的不确定性,包括如何定义区间数的运算^[3],如何比较区间数的大小,以便对不同的区间数进行排序^[4-5]等。

从已有的一些文献看,对区间数进行大小排序的研究大致分成数量型和位置