

测绘科技专著出版基金资助

地图注记自动配置的研究

ON AUTOMATIC MAP LABELING

樊红 著

P283.2
F1

测绘出版社

测绘科技专著出版基金资助

地图注记自动配置的研究
On Automatic Map Labeling

测绘出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书是在作者已完成的博士学位论文基础上整理而成的专著。

本书以地图制图自动化中的难题之一的地名自动注记问题为研究对象,在综合国内外地图自动注记研究成果的基础上,将注记问题抽象成空间竞争的优化组合问题,提出了使用神经网络算法、遗传算法解决点状注记问题的整体最优解方案,并将该方案与传统方案进行了对比实验,证明了神经网络算法、遗传算法性能的优越性,特别是遗传算法,它是一种高效、强健、通用,且具有良好扩展性的算法,是最有潜力的解决方案。此外,作者深入研究了地名注记问题的分类、规则、算法、质量评价、数据组织和系统实现等各个方面,主要成果包括:提出了描述地图自动注记问题的表达模型;提出了一个考虑冲突、压盖、位置优先级和关联性的地图注记质量评价模型;提出了一套矢量和动态栅格数据相结合的数据组织方案;提出了以专家知识为基础的注记规则库的组织和实现策略;研制了地图自动注记系统 MapLabel。

图书在版编目(CIP)数据

地图注记自动配置的研究/樊红著. —北京:测绘出版社,2004.3

ISBN 7-5030-1223-4

I. 地... II. 樊... III. 地名注记—自动化—研究

IV. P283.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 004971 号

测绘出版社出版发行

地址:北京复外三里河路 50 号 邮编:100045

电话:(010)68512386 68531558 网址:www.sinomaps.com

北京通州区次渠印刷厂印刷 新华书店经销

成品尺寸:210mm×297mm 印张:7.5 字数:224 千字

2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷

印数:0001—5000

定价:22.00 元

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

序

从纸质地图到数字地图,计算机技术在地图制图领域带来革命性的变化。地名注记是地图非常重要的组成部分,长期以来,地图上的地名注记是一项费时的手工劳动。特别是小比例尺地形图,地名的注记量很大,例如一幅 1:25 000 的地形图,点状地名的注记就可以达到 3 000~4 000 多个。从 20 世纪 60 年代开始,地图界开始计算机辅助制图的研究,其中的一个重要议题就是地图自动注记。国民经济的迅速发展对基础测绘、地形图更新的要求越来越高,在积累了大量面向地理信息系统采集的地图数据的今天,如何将地理信息数据库中存储的数据快速成图,是地理信息应用中一个亟待解决的问题,其中地图注记配置的自动化和智能化是一个重要环节。

在制图界,地图注记的自动化研究一直是计算机地图制图领域的一个具有挑战性的研究课题,地图是地表各种事物的综合写照,在通过地图数字化建立地图数据时,如何正确处理各要素间关系是一项复杂的系统工程。地图注记涉及地名注记与地理要素的对应关系、压盖关系等。地名注记与其相应的地理要素的关系非常密切却又不固定的,即地名注记与其相应的地理要素只存在根据优先顺序和它与其周边要素之间的压盖情况进行配置的关系,因此,地名注记在地图上的位置是不确定的,它由制图人员根据制图规则配置,具有相当程度上的主观随意性,特别是当数据库的内容更新时,例如修建了新的高速公路后,地名注记的位置要做相应的变更。由此,根据国家测绘局所制定的 1:25 000 地图数据库的规程,地形图的基础数据库与地名数据库是分开的。因此,研究与开发一套地名配置智能化与自动化的理论和系统,将地形图的基础数据库与地名数据库有机的联系和结合起来,显得尤为重要。

从 Yoeli 进行自动地图注记研究算起,自动地名注记问题的研究已有 30 多年历史。30 多年来,在国内和国际上虽然对地名注记自动化进行了大量的研究,但是,距离建立一套“地名注记自动化”实用系统,真正能用于生产,尚有很大差距。目前,多数地名注记自动化的研究多是基于“人工智能”算法,例如基于“状态空间问题”求解的状态空间搜索策略、“专家系统”等。它们多是基于注记位置以及它与其他地理要素压盖情况制定的规则,进行搜索、推理。在基于“搜索”的算法中,还可以分为不可以“回溯”和可以“回溯”两种。前者,当遇到位置冲突时,系统不作任何处理。因此,当注记内容较密集时,人工调整工作量很大;后者,当遇到位置冲突时,系统会根据回溯深度位置层次数,对注记作调整,从而减少注记重叠。但是,不论是“状态空间问题求解”的搜索算法,还是“专家系统”,它们都是一种“串行算法”。即问题的解与注记的顺序有关,后面的注记直接受到前面注记位置的影响。所有这些算法都未从整体(整幅地形图)上考虑地名注记与其相应的地理要素、地名注记与地名注记、地名注记与其周边要素之间的关系,从而获得一个整体最佳的注记结果——即整体“最优解”。

作者积极参加了地名注记自动化和智能化的研究,并选择了注记问题的整体最优解理论和应用的研究作为博士论文的主题。经过 5 年多的努力,作者将注记问题抽象成空间竞争的优化组合问题,提出了使用神经网络算法、遗传算法解决注记问题的整体最优解方案。作者将该方案与“爬山法”、“模拟退火”等传统方案进行的对比实验,证明了神经网络算法、遗传算法性能的优越性,特别是遗传算法是一种高效、强健、通用且具有良好扩展性的算法,是最有潜力的解决方案。作者对地图注记自动化的问题进行了全面系统的探讨,深入研究了地名注记问题的分类、规则、算法、质量评价、数据组织和系统实现等各个方面,提出了一套地图自动注记的完整解决方案,并据此研制了地图自动注记系统。本书是作者在博士论文的基础上进一步加工而成的,相信这本书的出版,将推动遗传算法等新方法、新技术在传

统的地图制图和 GIS 中的应用,推动我国的地名注记研究从理论迈向实用化系统开发阶段。

目前,地图制图自动化和智能化的研究仍然是各国测绘界十分关注和亟待解决的问题,要想得到一个理想的解决方案,仍然需要在理论和算法上解决一系列问题。我们期待着从事 GIS 和地图学研究的同行不断地获得新的有突破性的成果,也期待着更多的年轻学者为测绘事业作出新的贡献。

张祖勋

2004 年 2 月

张祖勋为中国工程院院士

前言

资源、环境等问题是实现中国 21 世纪可持续发展战略的核心问题。以资源、环境管理为主要特征的地理信息产业将作为信息化时代的基础产业在社会、经济和文化发展中发挥越来越大的作用。

地理信息产业的发展依赖于地理信息科学的发展,依赖于地理信息处理的自动化与智能化程度的提高,但是,制图与影像处理中的一些“技术难题”长期未能得到有效解决,成为地理信息科学发展的瓶颈,制约了它的发展。地图制图中的地名注记问题就是这样的难题之一。

地图注记的自动化和智能化是地图制图自动化的一个重要环节,也是地图制图和 GIS 研究领域具有挑战性的问题。地图是用小空间(地图图面)描述大空间(制图实地范围)的表达工具。这种空间的急剧缩小引起了强烈的竞争,在点、线、面要素密集分布着的有限空间上,注记既要避免相互冲突和对地理要素的压盖,又要达到表达美观清晰等制图质量要求。最新的研究表明,寻找最优注记是一个 NP 完全难度问题。当问题的规模变大时,传统算法无法在可以忍受的时间内求出其最优解。

大自然是人类获得灵感的源泉。遗传算法(Genetic Algorithm)是一种模拟生物在自然环境中的遗传和优胜劣汰的进化过程而形成的一种自适应全局优化概率搜索算法。它利用简单的编码技术、遗传操作和优胜劣汰的自然选择来确定学习和搜索的方向。遗传算法固有的种群的搜索方式使它可以同时搜索多个区域,从而得到全局最优解。特别是由于它不依赖于问题的具体领域,不必要求诸如连续性、导数存在和单峰等假设,具有本质的并行的特点,使得遗传算法目前已经在最优化、机器学习等众多领域取得了丰硕的成果,如用来成功地解决了许多组合优化中的 NP 完全难度问题,当把领域知识与遗传算法结合求解具体问题时便构成混合遗传算法,常常可以使演化迅速收敛到优化解。这些优良的特点使得遗传算法不仅能获得较高的效率而且具有简单、易于操作和通用的特点,从而成为一个引人注目的研究方向。因此,遗传算法可望在解决“地名注记难题”中发挥作用。

几年前,我在导师张祖勋院士和张剑清教授的指导下开始研究地图注记的自动化和智能化问题,希望找到一种能克服传统方法弊端的途径,遂开始探索遗传算法等优化算法在地图自动注记中应用的可能性。历时数年,我们深入研究了地名注记问题的分类、规则、算法、质量评价、数据组织和系统实现等各个方面,提出了解决地图自动化和智能化问题的整体最优解理论,提出了应用遗传算法等优化算法解决地图自动注记问题的完整解决方案。这些研究为有效解决地图注记自动化和智能化问题奠定了理论和技术基础。

本人将已完成的博士论文整理成书,希望将自己多年地图注记的研究成果介绍给读者,同时也将遗传算法的理论和方法介绍给测绘同行,以期为推动地图自动化和智能化的研究及遗传算法在测绘领域的应用和推广尽一点绵薄之力。此书可作为摄影测量与遥感、制图、地理、计算机等专业的研究生、高年级本科生,从事地图学和地理信息系统生产、应用与研究的专业人员的参考书。

全书共分十章。第一章综述地图自动注记的国内外研究概况;第二章介绍地图注记的基本理论和人工智能基本优化理论和算法,包括地图、地形图及地图注记基本知识,神经网络和遗传算法基本理论;第三章阐述地图自动注记的表达模型和注记的分类及规则;第四章探讨注记质量评价模型和复杂性评价模型;第五章介绍适合于地图自动注记的矢栅一体化数据组织和策略;第六章介绍神经网络算法和遗传算法进行地图注记优化配置的策略、方案 and 对比实验;第七章探讨线状要素注记自动配置的算法和实现问题;第八章探讨面状要素注记自动配置问题;第九章介绍地图自动注记系统 MapLabel 的设计和实现策略;第十章展望遗传算法在测绘领域中的应用前景。

本书的研究得到了国家自然科学基金(编号:40001019)、国家测绘局科技发展基金(95014)和测绘遥感信息工程国家重点实验室开放基金(990101)的资助,在此深表谢意。同时,感谢测绘科技专著出版基金对本书出版的支持。

在我攻读博士学位期间,导师张祖勋院士和张剑清教授为我的科研、学业、论文写作和成长,倾注了大量的心血,在本书出版之际,谨对两位导师表示深深的敬意和谢忱。

李德仁院士对作者论文的选题及撰写给予过诸多指教,在此深表敬意和谢意。

在课题研究和本书的撰写过程中曾得到杜道生教授的悉心指导,毋河海教授、祝国瑞教授等制图界前辈也提出了诸多宝贵意见,在此深表谢忱。

感谢武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室龚健雅教授、张松波教授为作者的科研和论文撰写给予的大力支持。

感谢为课题研究作出过贡献的万幼川博士、吴捷博士、研究生杜世宏和刘开军等同学。

谨以此文献给我的丈夫赵其峰先生和我们的父母,感谢他们多年来对我的学习和研究的默默倾全力的支持。

樊红

于武汉珞珈山

2003.8

目 录

第一章 绪 论	(1)
§ 1.1 概 述	(1)
§ 1.2 地图自动注记的国内外研究现状	(2)
1.2.1 注记规则方面的研究	(2)
1.2.2 点状要素自动注记	(2)
1.2.3 线状要素自动注记	(3)
1.2.4 面状要素自动注记	(4)
1.2.5 实验系统的研制	(4)
1.2.6 国内的研究情况	(4)
1.2.7 我国地图自动注记研究存在的问题和不足	(5)
§ 1.3 本书研究的主要问题及其主要成果	(5)
第二章 基本知识、优化算法原理	(7)
§ 2.1 地图、地形图基本知识	(7)
2.1.1 地形图的内容	(7)
2.1.2 地形图的种类	(7)
§ 2.2 地图注记基本知识	(8)
2.2.1 注记的基本特征	(8)
2.2.2 传统的注记方法	(10)
§ 2.3 Hopfield 神经网络优化算法	(10)
2.3.1 Hopfield 网络的结构与算法	(11)
2.3.2 Hopfield 网络运行规则	(11)
2.3.3 网络计算能量函数与网络收敛	(12)
§ 2.4 遗传算法	(13)
2.4.1 GA 算法简介	(13)
2.4.2 GA 的数学基础	(14)
2.4.3 GA 的特点	(14)
§ 2.5 本章小结	(15)
第三章 地图注记的表达、分类和规则	(16)
§ 3.1 地图注记	(16)
3.1.1 待定位注记、注记位置	(16)
3.1.2 待注记要素、定位参考图形、背景要素	(17)
3.1.3 注记规则、评价模型、优化算法	(17)
§ 3.2 地图注记模型	(17)
§ 3.3 地形图的 7 种基本注记模式	(18)
§ 3.4 7 种注记模式的规则	(19)
3.4.1 总的注记原则	(19)
3.4.2 点状要素注记	(19)
3.4.3 线状要素注记	(20)
3.4.4 面状要素注记	(21)

§ 3.5 本章小结·····	(23)
第四章 质量评价模型、复杂性评价模型·····	(24)
§ 4.1 质量评定准则·····	(24)
§ 4.2 质量评价模型·····	(24)
4.2.1 影响注记质量的主要因素·····	(24)
4.2.2 注记质量评价模型·····	(25)
4.2.3 冲突评价函数·····	(25)
4.2.4 压盖评价函数·····	(26)
4.2.5 位置优先级模型·····	(27)
4.2.6 注记-要素关联性评价函数·····	(27)
4.2.7 多个评价函数的复合·····	(27)
4.2.8 MapLabel 中评价模型的实现·····	(28)
§ 4.3 复杂性评价·····	(29)
4.3.1 注记密度·····	(29)
4.3.2 注记约束率、最大相关注记集的规模·····	(29)
4.3.3 复杂性模型的应用·····	(31)
§ 4.4 本章小结·····	(31)
第五章 自动注记系统的基本数据组织·····	(32)
§ 5.1 自动注记系统的数据组织·····	(32)
§ 5.2 地图数据组织·····	(33)
5.2.1 地图要素矢量数据组织·····	(33)
5.2.2 地图要素栅格数据组织·····	(33)
5.2.3 地图要素的描述信息·····	(34)
§ 5.3 注记规则库·····	(35)
§ 5.4 要素栅格图·····	(36)
5.4.1 要素栅格图定义·····	(36)
5.4.2 栅格图的快速生成和维护·····	(36)
5.4.3 要素栅格图的叠置·····	(36)
5.4.4 要素栅格图用于检测冲突和压盖·····	(37)
§ 5.5 冲突查找表、压盖冲突表·····	(37)
§ 5.6 本章小结·····	(38)
第六章 点状要素注记的自动配置·····	(39)
§ 6.1 自动注记问题的整体最优解理论·····	(39)
6.1.1 传统算法及其问题·····	(39)
6.1.2 问题的本质·····	(40)
6.1.3 整体最优解·····	(41)
6.1.4 整体最优解的解决方案·····	(41)
§ 6.2 神经网络算法解决点状要素注记问题研究·····	(42)
6.2.1 备选位置质量评价·····	(42)
6.2.2 解决注记冲突·····	(43)
6.2.3 局部优化算法·····	(45)
6.2.4 神经网络算法的实验、结论·····	(46)
§ 6.3 遗传算法解决点状要素注记问题研究·····	(48)
6.3.1 确定编码框架·····	(48)

6.3.2	产生初始种群	(49)
6.3.3	确定适应度函数	(49)
6.3.4	设计遗传算子	(50)
6.3.5	确定遗传算法重要参数	(51)
6.3.6	遗传算法实验及结论	(52)
§ 6.4	比较实验研究	(61)
6.4.1	比较实验结果及其结论	(61)
§ 6.5	本章小结	(65)
第七章	线状要素注记的自动配置	(66)
§ 7.1	线状要素的曲线注记	(66)
7.1.1	概述	(66)
7.1.2	曲线注记的规则	(66)
7.1.3	曲线注记问题及其特点	(67)
§ 7.2	曲线注记解决方案	(68)
7.2.1	要素合并与分段	(68)
7.2.2	要素的综合简化	(68)
7.2.3	求矢量平行线	(69)
7.2.4	消除自相交、平行线优化	(70)
7.2.5	注记定位	(71)
§ 7.3	特殊问题的讨论	(73)
§ 7.4	实验结果	(74)
§ 7.5	本章小结	(76)
第八章	面状要素注记的自动配置	(77)
§ 8.1	面状要素自动注记	(77)
8.1.1	概述	(77)
8.1.2	面状要素注记问题及特点	(78)
8.1.3	一般的骨架线提取方法	(78)
§ 8.2	基于 Delaunay 三角网提取骨架线的方法	(80)
8.2.1	Delaunay 三角网的定义及特性	(80)
8.2.2	定义骨架线	(81)
8.2.3	建立骨架线	(82)
8.2.4	骨架线图的提取结果	(83)
§ 8.3	主骨架线的搜索算法	(84)
8.3.1	建立骨架线及结点—骨架线段—面域拓扑关系表	(84)
8.3.2	建立面域骨架线树	(85)
8.3.3	提取主骨架线	(85)
8.3.4	主骨架线的平滑	(86)
§ 8.4	面状要素骨架线注记解决方案	(86)
8.4.1	面状要素骨架线注记的整体解决方案	(86)
8.4.2	主骨架线问题讨论及处理	(87)
§ 8.5	其他面状要素注记模式实现技术研究	(87)
8.5.1	面状要素注记类型的简单自动识别	(87)
8.5.2	面状要素边界线注记模式	(88)
8.5.3	单连通面域的点自动注记模式	(89)

8.5.4	散列式面域的点注记模式	(90)
8.5.5	几种面状模式自动注记的结果	(90)
§ 8.6	本章小结	(91)
第九章	MapLabel 自动注记系统及实验	(92)
§ 9.1	系统简介	(92)
9.1.1	运行环境	(92)
9.1.2	系统功能	(92)
9.1.3	系统逻辑实体	(92)
9.1.4	系统特点	(93)
§ 9.2	MapLabel 中地图的表示	(93)
9.2.1	空间数据的表示	(93)
9.2.2	MapLabel 地名信息的表示	(94)
9.2.3	空间数据和地名信息的连接	(94)
9.2.4	注记规则的表示	(94)
§ 9.3	全要素地形图地名自动注记整体实验	(95)
9.3.1	实验数据基本情况	(95)
9.3.2	图层特性	(96)
9.3.3	处理顺序	(97)
9.3.4	注记模式参数	(97)
9.3.5	实验内容及结果	(97)
9.3.6	评价	(99)
§ 9.4	本章小结	(101)
第十章	结束语	(102)
	参考文献	(103)

第一章 绪 论

§ 1.1 概 述

资源、环境问题是实现中国 21 世纪可持续发展战略的核心问题,以资源、环境管理为主要特征的地理信息产业,将作为信息化时代的基础产业在社会、经济和文化发展中发挥越来越大的作用。

地理信息产业的发展依赖于地理信息科学的发展和地理信息处理的自动化与智能化程度的提高。但是,包括地图注记问题在内的制图与影像处理中的一些“技术难题”长期未能得到有效解决,制约了地理信息科学的发展。地图注记的自动化与智能化问题是地图制图和 GIS 研究领域的国际前沿问题,也是制图自动化和 GIS 领域的难题,它的研究具有重要的理论和实践意义。

制图历史表明,人们在不断提高地图生产作业的速度和效率的同时也在相应地降低成本。地图注记配置是地图生产中的一个重要环节,它的自动化将大大提高地图的生产效率。据国外学者统计(Yoeli, 1972; Cook and Jones, 1990),一个制图员的平均工作效率是每小时 20~30 个注记,地图注记配置的工作约占整个地图生产过程的 50%,甚至更多。目前,地图注记仍以手工配置或计算机辅助人机交互式配置为主,它严重影响了地图生产和出版的发展速度。

同时,地图制图对象已经呈现出全方位、多层次和多时态的特点:即已从传统普通地图(六大要素为主)发展到设计制作满足经济建设和社会发展各方面需求的专题地图;从以陆地制图为主发展到海洋制图,进而扩展至宇宙空间。地图内容不仅可以反映地图对象的现时存在,而且可以揭示制图对象的历史状况和未来发展(ICA, 1999)。对各类地图日益增长的快速需求也使对制图自动化乃至注记自动化的要求更为迫切。

目前,制图综合成为制图领域的一个研究热点,并且取得了一些进展。我国现在已基本建成 1:400 万、1:100 万和 1:25 万地图图形数据库及其地名数据库,1:5 万的地图数据库正在建设之中。这些都为通过现有的地图数据库生产等比例尺地图和通过综合生产小比例尺地图创造了有利条件。

以计算机和通信技术为主导的信息革命也给传统地图学带来了变革,导致了許多新的地图形式的出现;屏幕地图就是其中之一,到 20 世纪 90 年代,这种地图已和印刷在纸上的地图同样重要;市场上已出现了电子地图集,有些国家正在把电子地图集的开发作为国家制图总战略的组成部分(D. R. F. Talor, 1998);很多地图生产部门改变了用纸张来表达地理信息的传统做法,代之以数字信息的形式来存放和表达(陈子坦, 1994)。屏幕地图、数字地图的出现使地图注记自动化问题更为突出。

20 世纪 60 年代以来,GIS 的迅速发展大大拓展了测图数据的范围和这种测图的学科领域。GIS 是以地理空间数据库为基础,利用各种分析模型与方法,为用户提供各种信息和决策依据,因此它已经被社会各部门广泛应用。而今全球信息高速公路和空间数据基础设施的发展,进一步促进了网络 GIS 的发展和应用。通过 Internet 网,更多的人能得到对空间数据(如国家空间数据库等)即时的访问。GIS 中的地图在本质上具有更多的动态性和实时性,例如天气类地图和交通类地图中的信息就要不断地更新。Arikawa 1994 年提出了“动态地图”的概念,认为这些地图为用户提供了比纸上地图更为灵活、专门和可靠的信息。GIS 的迅速发展对其图形输出提出了更新更高的要求,也对地图自动注记提出了更多更高的要求。

地图注记与地理要素之间的关系非常复杂。注记与其相应的地理要素之间只存在根据优先级及其周边要素之间的压盖情况进行配置的关系,因此注记在地图上的位置是不确定的,它是由制图人员在绘制地图时根据制图规则进行配置的,具有相当程度的主观随意性。此外,配置还应该符合美学观点,给人以视觉上的美感,尤其当比例尺较小、注记过多时,还需进行综合取舍。空间上的几何配置问题已

被证明是 NP 难度问题(Marks and Shieber, 1991),所谓 NP 难度问题是指在多项式时间内无法求解的复杂问题,当问题规模加大时,问题复杂性急剧增加,存在组合爆炸的危险。

注记问题也引起了许多计算机科学工作者的兴趣。ACM 计算几何任务组(Cha,1996)已将该问题作为要研究的一个具有挑战性的课题。他们认为,注记其实包含着很多几何优化问题,即使只将注记限定在点特征周围的几个固定位置,其自动配置也是一个典型的 NP 难度问题。对注记问题的研究和成功解决也将推动计算几何、优化理论的进一步完善和发展。

§ 1.2 地图自动注记的国内外研究现状

国外从 20 世纪 50 年代就开始了制图自动化的研究。1964 年联合国教科文组织下的国际地图委员会设立了第三委员会(制图自动化委员会),负责协调、交流各国制图自动化的活动。1959 年,成立了国际制图协会(ICA),每两年召开一次国际制图学术研讨会。国际制图协会(ICA)在 1964 年建立制图自动化专业委员会,该自动化专业委员会从 1966 至 1983 年组织召开了多次专题研讨会。从 20 世纪 70 年代中期起,每两年一次成功主办的名为 AUTOCARTO 的学术会议,成为国际上最重要的“计算机辅助制图”会议。欧洲也组织了同样专题的称为 EUROCATO 的学术会议。在自动化制图的研究中,自动注记的研究是一个重要的分支。在这些自动制图及相关的国际会议以及制图(如 Cartographica, The Cartographical Journal, Cartography and GIS 等)、人工智能(如 Artificial Intelligence, Pattern Recognition 等)等相关国际性期刊上发表的论文有数百篇之多。

下面将从地图自动注记所涉及的注记规则、配置算法、算法复杂性、注记质量评价等几个方面,简要评述这一领域的研究概况。

1.2.1 注记规则方面的研究

Yoeli 最早在 1972 年提出了注记放置的通用原则,他将注记分为点、线、面 3 种类型分别加以考虑,指出:

- (1)注记和所对应要素之间应有精确的图形关系;
- (2)注记和注记之间以及注记和地图其他要素之间的相互冲突最小化;
- (3)注记在地理内容“按现实放大”后保持最优的位置关系。

Yoeli 还定义了点状要素的优先级位置,提出区域的注记放在过重心的位置,并且落在区域的外接矩形内的原则。

Imhof 1975 年提出了地图注记的 3 个基本规则:易读性、清晰性和美学平衡性。同时给出了详细的注记规则。Imhof 还提出了一组指导线状要素的注记原则,这些原则分成两类,称为“硬限制”和“软限制”,分别给出了注记的基本要求和一些符合美学原则的高级要求。

Hirsch 1982 年认为地图注记应该更加简洁和容易理解,他使用点周围的缓冲区圆,通过禁止注记与这些缓冲区圆相交以防止注记与要素之间关系的模糊性。

Ahn 和 Freeman 1984 年研究了面状注记,首次提出将面状注记添加到面状地物的骨架线上的注记方法。

Langran 和 Poiker 1986 年将注记和点的选择相结合,通过在拥挤的区域删除不太重要的注记,使余下的注记没有重叠。

以上所有这些注记规则的探讨是以西文注记为对象的,并没有考虑中文注记的特殊性,也没有考虑不同比例尺、不同地图类型和不同地物类型的特殊性。不能完全解决地图中文注记问题。

1.2.2 点状要素自动注记

点状要素自动注记的研究一直是注记自动化研究的重要内容。我们很容易看出在地图包含数以千计靠得很近的点时,点状注记将变得十分复杂。

Joe Marks 等(Marks and Shieber, 1991)证明了即使简单类型的点状问题或者通过增加注记的自由度后更复杂的地图注记问题,都是 NP 难度问题,这个结论在当一个注记的可选位置由一个有限的离散值增加为无穷大时也同样成立。

Yoeli 1972 年是最早进行点状注记自动化配置的学者之一,其早期的研究中采用了简单的搜索方法。美国人口调查局地理部提出了用“基于回溯尽量减少回溯”的方法解决人口统计结果自动注记问题的方案(Lee R. Ebinger, 1990),但这些方法在复杂的情况下往往无法保证注记质量。

20 世纪 80 年代中期,专家系统的研究非常活跃,许多学者试图采用基于规则的系统或专家系统来解决这个问题(Ahn, 1984a; Ahn and Freeman, 1984; Basoglu, 1984; Freeman and Ahn, 1984; Pheferkorn, *et al.* 1985; Mower 1986; Freeman and Ahn, 1987; Doerschler and Freeman, 1988; Cook 1988; Doerschler and Freeman, 1989; Johnson and Basoglu, 1989; Jones 1989; Jones and Cook, 1989; Mower 1989; Cook and Jones, 1990)。英国伦敦大学测量与制图系利用专家系统技术建成基于规则的系统 NAMAX;美国 Freeman 等建立名为 Autonap 的专家系统(Freeman, 1983, 1984, 1989);Intergraph 公司的研究(Johnson, 1989)也采用了专家系统技术。

专家系统技术的特点是效率低,它采用的基于问题状态空间的顺序搜索带回溯的策略,在问题出现组合爆炸时,无法搜索到最优解。当专家系统遇到困境后,有学者考虑采用启发式搜索算法。

Hirsch 和 Ahn 1983 年提出了一种称为物理松弛法的启发式策略,他考虑了要素点可以在注记边界上任何位置的情形,注记根据注记冲突产生的虚拟的力量移动。

Zoraster 1986, 1989 年利用 0,1 整数程序设计,把注记自动配置问题看成优化组合问题,用整数程序方法解决石油基础图注记问题。他为每个注记的候选位置打分,通过迭代优化来反映不同位置之间的相对要求。

Christensen 1995 年提出了一种称为梯度下降的方法,即先生成一个随机的注记,然后考虑每个注记的所有候选位置,让注记移动到能最大限度改善注记整体质量的位置。Christensen 后来发展了一种模拟退火方法,该方法综合了梯度下降方法,允许注记移动到使注记质量下降的位置,以使其跳出局部最优解。1995 年 Christensen 的实验认为模拟退火方法要优于上述其他算法。这类猜测式的启发式算法被认为是最有前途解决注记自动配置问题的算法。

有关点状注记问题的研究还有一些,如注记的点位可以定位在注记边界上的任何点位时,这种情况的注记问题称为滑动注记问题(sliding labels problem)。Van Kreveld 等 1998 年研究了这种问题,提出了解决它的一个近似算法。

1.2.3 线状要素自动注记

线状要素自动注记研究的文献相对于点状要素要少。一些研究(Doerschler and Freeman, 1992; Barrault and Lecordix, 1995; Alexander and Hantman, 1995; Edmondson *et al.*, 1997; Kramer, 1997)采取了由点定位的矩形注记方式而没有考虑曲线注记方式。

Freeman 1988 年给出了一组类似于 Imhof 1975 年的注记配置规则和关于算法的粗略描述。其中,河流名被分裂成短的线段,然后放在平行于河流的线段上。每个注记片段努力寻找较好的位置直至遇到河流或离河流位置太远时结束。

Barrault (1997)考虑了曲线的注记。首先,线状要素根据它的长度和分叉分裂成一些短的线段(Barrault and Lecordix, 1995),然后对河流的折线运用数学形态学的递包算子,如侵蚀和扩张等。这些运算产生一个不会弯曲太急的曲线作为注记的参考线(算法实现细节不太清楚)。最后,用模拟退火算法来寻找更好的注记位置,使尽可能多的地图要素能加上注记,同时保证每个注记的质量。

Wolff 在 1999 年也提出了一种简单而快速的线状要素注记算法,它用大于指定曲率的曲线来拟合原折线的缓冲区线,然后将注记添加到该曲线上。

笔者认为,对于技术地图或道路图(如道路需要加上道路等级和编号),点定位矩形注记是可以接受的,但曲线注记是高质量线状要素注记所必须的。

1.2.4 面状要素自动注记

面状要素注记的研究文献相对较少, Yoeli 在 1972 年的研究中采用了将注记放在通过重心的水平直线且落在面域的外接矩形内的方法, 后来很多研究都采用了这种方法。

Ahn 和 Freeman 1984 年开发的地图注记系统 Autonap 提供了面状要素注记功能, Autonap 将注记添加到面状要素的骨架线上。

Lee R. Ebinger and M. Goulette 1990 年在处理美国人口普查图时也采用了沿骨架线注记的算法。他们提出了一种切割平行线中点连线算法来求取骨架线。

还有其他一些研究。Kakoulis and Tollis 1997 年研究了层次图的注记问题, 这种情况下的一条边可以有多个注记。Doddi 1997 年提出了用不同形状和不同方向的注记来解决注记问题的近似算法。Kakoulis and Tolis 1998 年提出了解决点、线、面问题的通用框架, 允许使用任何形状和方向的注记。Ingo 在 1999 年研究了需动态更新的屏幕地图的注记问题。

1.2.5 实验系统的研制

在实验系统的研制方面, 有一些大学前后研制过一些。如: 英国伦敦大学测量与制图系利用专家系统技术建成的基于规则的系统 NAMAX; 美国 Freeman 等建立的名为 Autonap 的专家系统 (Freeman, 1983, 1984, 1989) 等。

比较成功的是英国 Wales 理工大学在 20 世纪 80 年代初研制的地图注记自动配置软件 Maplex。Wales 理工大学在 20 世纪 80 年代初就开始了全自动地图注记的研究, 许多研究生参与了该问题的研究, 直到 1989 年才有了初步的结果。1994 年, Maplex 第一次投入商业地图生产, 由 HollyBnsh 软件公司维护和销售。Maplex 软件可运行于 Unix 和 Windows NT 等操作系统上 (Maplex, 2000), 现在这个软件正和 ESRI 公司的 Arc/Info 一起捆绑销售, 但它目前还只能支持西文的注记, 无法支持汉字的注记。

1.2.6 国内的研究情况

我国地名自动注记的研究工作始于“七五”期间。“七五”末, 我国已有一些机助制图系统问世, 有的已具有初步的注记自动定位功能, 但功能很不完善, 主要表现为定位不够恰当、注记产生压盖时不能很好解决。

国家“八五”重点科技攻关项目“数字地图设计生产系统”, 将“地图注记系统”作为一个子专题来加以研究, 取得了一系列研究成果 (技术报告, 1996; 刘镜年, 1996; 杜瑞颖, 1996; 陈孔哲, 1997), 大大推进了地图自动注记系统的研究。但研制的实验系统仍不能满足生产实践的复杂要求。

1996—1998 年, 张祖勋教授、杜道生教授、张剑清教授等和他们的研究生在国家测绘局科技发展基金资助下开展了地图自动注记的研究, 笔者也参与了其中的工作。笔者对地图自动注记的研究得到了国家自然科学基金和武汉大学测绘遥感国家重点实验室开放基金的支持。

国内在地名配置自动化的理论与方法的研究方面也取得了一系列的成果。其中, 包括原武汉测绘科技大学 (现并入武汉大学)、解放军测绘学院的一些学位论文研究的这一领域的问题, 取得了一些研究成果。

杜瑞颖 1994 年重点探讨了面状要素注记的问题, 提出了先对面状地物进行修整, 再用平行线切割中点连线法求取主骨架线进行注记的方法。1996 年, 解放军测绘学院的李艳等 (1996) 探讨了注记问题的基本分类和解决方案; 刘镜年、胡启平等 (1996) 提出了一种采用矢量数据结构的线状要素注记方案; 马飞 (1996a, 1996b) 研究了数学形态学在地图注记问题中的应用, 提出了用数学形态学求取主骨架线的算法; 陈孔哲 (1997 年) 重点探讨了点状要素注记问题, 提出了采用冲突—回溯法解决点状要素注记问题的方案。杜世宏 (2000, 2001 年) 提出了一种求取主骨架线的算法。笔者同张祖勋等 (1998 年) 提出了注记问题的整体最优解理论及应用神经元网络算法解决点状要素自动注记问题的方案。笔者同杜道

生、张祖勋等(1999年)全面探讨了地图自动注记基本规则及其实现策略;笔者同张祖勋、张剑清等(1999年)提出了一种基于矢量平行线,利用栅格数据结构进行冲突压盖检测的线状要素注记方案。笔者同张祖勋等(2001年)提出了遗传算法解决点状要素注记问题的方案,通过比较实验证明了遗传算法具有优良的性能。

1.2.7 我国地图自动注记研究存在的问题和不足

(1)研究思路和方法有待改进。注记问题是一个复杂的优化组合问题,对问题的难度应有足够的认识。在研究的方法与思路上,以前多数研究是基于传统的人工智能算法。例如专家系统方法;基于状态空间问题求解的启发式搜索策略,如爬山法、梯度下降法等。这些算法称为“穷尽搜索”或“局部搜索”算法。“穷尽搜索”算法在问题变得复杂时,性能急剧下降,而“局部搜索”算法搜索能力有限,很容易陷入局部最优解。

(2)注记规则的研究有待加强。注记规则的建立是一项十分复杂的系统工程,尤其是具有汉字特征的注记规则的研究需进一步加强。

(3)注记质量评价体系有待完善。注记结果好坏的评价仍带有一定的主观随意性,特别是面状要素注记、线状要素注记结果质量如何评价,目前仍没有一种很好的形式化评价体系。

(4)核心算法的难题有待解决。一些核心算法如求平行线、求面状要素的骨架线和求散列式面域的轮廓线等,一直是计算几何和GIS界的难题,未能得到很好的解决。

(5)研究的实用性有待加强。研究要面向应用,许多研究使用的数据过于简单化,没有深入研究制图生产中丰富而复杂的实例,导致实验系统解决生产实际问题的能力不强,实用化的系统或软件研制不多。

§ 1.3 本书研究的主要问题及其主要成果

1. 注记规则和专家知识的系统总结、概括和规则库的表达、建立 提出了规则库的组织 and 实现策略,根据地形图图式规范和编图规范,结合专家经验,建立了1:25万地形图和1:5万地形图两个样本规则库,同时提供了规则库维护工具。

2. 注记问题的分类和表达模型的建立 对地图注记问题进行抽象,提出了描述地图自动注记的8元组表达模型。将地形图主要注记问题归纳为7大基本模式。同时深入探讨了每种注记模式下的地形图实例及其注记规则。

3. 注记评价模型的建立 分析了影响地图注记质量的一些基本因素,提出了一个可操作的地图注记质量评价模型,并建立了地图注记评价函数。同时讨论了评价模型在计算机中的实现。

4. 数据存储和数据组织策略 提出了一整套以矢量、动态栅格数据结构相结合的地图注记的数据组织框架,实现了包括矢栅转换、信息编码存储和提取、多层要素的叠加、注记冲突和压盖的快速检测的基本策略。

5. 整体最优解理论和算法 提出了注记问题的整体最优解理论。将注记问题看成是空间上进行竞争的优化组合问题,提出了使用神经网络、遗传算法等“全局搜索”算法求取点状要素注记问题的整体最优解方案。同时将该方案与爬山法、模拟退火法等进行了对比实验,证明了神经网络算法具有较好的性能,其中遗传算法是一种高速、稳健、通用且具有强壮性和良好扩展性的算法,是最有潜力的解决方案之一。

6. 生成参考定位图形的有效算法

(1)研究了求取线状要素平行线的矢量算法。线状要素的平行线可以作为线状要素自动注记的定位线。求取定位线后,其注记问题就可以用各种优化算法来求解。

(2)提出了基于Delaunay三角网提取面状要素骨架线的快速而有效的算法,以及基于骨架线树的搜索求取主骨架线的算法。主骨架线可以作为面状要素注记的定位线,从而使面状要素的注记问题转

化为线状要素(沿骨架线)注记问题来求解。

(3) 提出了基于 Delaunay 三角网求取散列式面域凸壳作为面域轮廓线的算法。利用求取的凸壳、散列式面域的注记问题可以很容易地转化为单连通面域的注记问题来解决。

7. 实验系统的研制 结合本书的理论和算法研究,开发了实用的地图自动注记系统 MapLabel,通过规则库的建立和评价模型的实施,支持中、小比例尺地形图基本要素类型的自动注记,也支持专题图的点、线、面等基本要素类型的自动注记。