

引文格式:魏智威,杨乃,陈业滨,等.泛地图时代的地图综合方法泛化应用[J].测绘通报,2025(9):118-125. DOI:10.13474/j.cnki.11-2246.2025.0919.

泛地图时代的地图综合方法泛化应用

魏智威^{1,2},杨乃³,陈业滨⁴,郭仁忠^{2,4}

(1. 湖南师范大学地理科学学院,湖南长沙410006; 2. 人工智能与数字经济广东省实验室(深圳),广东深圳518060; 3. 中国地质大学(武汉)地理与信息工程学院,湖北武汉430074; 4. 深圳大学建筑与城市规划学院智慧城市研究院,广东深圳518060)

摘要:地图综合是地图制图的核心之一,随着地图表达形式的不断创新和泛化,地图综合方法亦需要拓展其应用边界以适应泛地图表达需要,并拓展其方法体系服务于泛地图生产。本文结合泛地图科学概念框架,从综合对象、信息抽象和表达维度3方面探讨了综合方法应用边界泛化;其次,探索了传统地图综合方法应用于流图、变形地图和标签地图等泛地图的生产实践,一定程度上拓宽了已有地图综合方法的应用边界,可为后续地图综合方法在泛地图生产中更深入的应用提供参考。

关键词:流图;变形地图;标签地图;可视化

中图分类号:P208

文献标识码:A

文章编号:0494-0911(2025)09-0118-08

Generalized application of map generalization methods in the era of pan-map

WEI Zhiwei^{1,2}, YANG Nai³, CHEN Yebin⁴, GUO Renzhong^{2,4}

(1. School of Geographic Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410006, China; 2. Guangdong Laboratory of Artificial Intelligence and Digital Economy (Shenzhen), Shenzhen 518060, China; 3. School of Geography and Information Engineering, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China; 4. Research Institute for Smart City, School of Architecture and Urban Planning, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract: Map generalization is a fundamental technology in cartography. As the concept of maps evolves, map generalization also needs to expand its conceptual framework and methodologies to meet the requirements of pan-map presentation and production. This paper discusses the expansion of map generalization in terms of generalized objects, content abstraction, and presentation dimensions within the conceptual framework of the pan-map. It also explores the application of traditional map generalization methods to the creation of various pan-maps, such as flow maps, cartograms, and thematic maps. These applications broaden the scope of existing cartographic generalization methods and provide valuable references for further exploration in the field.

Key words: flow map; cartogram; tag map; visualization

地图综合具有悠久的历史,早在4500年以前,古代苏美尔人就以简明的几何符号表达巴比伦地区的城镇分布,上述表达源于人类对于世界的抽象,即从地理实体到地图符号的抽象过程^[1]。15世纪至20世纪中期,随着地理大发现与西方殖民主义热潮的兴起,出现了一大批具有统一规格的实测地形图、航海图等;制图综合作为保证地图分辨率和易读性的重要手段,逐步发展成为现代地图学的基础理论之一,彼时的地图综合则强调地图到地图的生产^[2]。20世纪50年代以后,随着数字化技术的发展,出现了大量数字表达的地图内容,甚至是非地图表达的地理信息,地图综合需要从数字模型到数字

模型,直至地图视觉模型^[3]。近些年来,随着传感器技术和“互联网+”等技术的发展,文献[4—5]则提出了面向大数据的地图综合。由此可见,随着地图概念的扩充,地图综合的概念内涵、技术手段和应用边界也在不断拓展^[6]。因此,面向新型地图表达形式,地图综合概念和方法体系亦需要不断更新和发展。

近年来,人工智能、虚拟现实等新技术的发展进一步解放了地图载体的物理约束,赋予了地图表达极大的自由度,并涌现出变形地图、隐喻地图和游戏地图等创新的泛地图表达形式^[7-10]。上述地图的处理依然可以纳入地图综合的范畴。然而,

收稿日期:2024-12-03

基金项目:国家自然科学基金(42171438);国家重点研发计划(2023YFC3804800)

作者简介:魏智威(1993—),男,博士,讲师,主要研究方向为地理可视化、三维重建等。E-mail:2011301130108@whu.edu.cn

传统地图综合方法多面向标准比例尺地形图或一定技术规范的专题图设计,较难适用于泛地图的生产。面对地图表达对象的变化、地图信息抽象的泛化,以及地图表达维度的扩充等,需要拓展现有地图综合方法处理的边界。另外,地图综合方法在地图学长期的发展过程中形成了较完善的综合原理、变换方法、处理模型等,扩展运用既有地图综合方法对泛地图进行处理,能有力拓宽传统地图综合方法的应用广度。

1 地图泛化扩展地图综合方法应用边界

文献[11]系统论述了泛地图的科学概念,包括表达对象、信息抽象和表达维度等。其中,表达对象确定地图描述的目标对象,该对象也应是地图综合潜在的处理对象;信息抽象则确定地图需表示的内容,地图综合也需处理上述信息内容;表达维度则构建了面向泛化地图表达的维度体系,地图综合有必要在实际应用中结合需要扩展其表达维度。

1.1 综合对象

传统地图综合方法主要针对地理空间中的系列比例尺地形图或附加社会人文属性的专题地图进行处理。随着人类探索边界的扩充,地图综合也逐步扩展了示意性地图生产、网络渐进式传输和众源地理信息变化检测等研究内容^[12-14];同时,综合对象也逐步从室外扩展至室内,从地表扩展至太空星体等^[15-16]。然而,信息空间的介入使得地图的对象空间从地理+人文的二元空间扩展到地理+人文+信息的三元空间。地图综合在关注和扩充原有地理或社会人文对象的同时,也应将数字世界中绘制或构建的所有信息纳入考虑范畴,如社交媒体、赛博网络中的对象。基于上述认识,已有部分研究学者关注并提出了全息位置地图、游戏地图等的表达与综合^[17-18]。

1.2 信息抽象

传统地图综合根据应用目的和制图区域特点,通过应用位移、合并、分割和删除等方法,提取制图主题相关的特征。其信息抽象侧重于图形层面的简化,主要追求目标对象与地图表达内容之间的形态相似性^[5]。但是,泛地图在保留传统地图追求形态相似性特点的同时,有时也需要通过几何抽象、聚合、简化、转换、降维和尺度变换等表达空间对象的分布、时空模式及空间知识,实现面向本质相似性的地图表达^[19]。与传统地图相比,这种信息抽象形式不再局限于图形层面的形态简化,而是根据地图应用目的突出对应空间内容的本质特征。因此,泛地图时代的地图综合也不应仅局限于图形

的综合,而是需要将传统面向图形的处理和空间数据挖掘等相结合,从单纯的空间思维外延至空间-时间-语义等多种维度的联合,如针对轨迹数据部分研究者已开始关注轨迹隐含的时序信息^[20],针对建筑物聚类或道路选取部分研究者开始关注对应要素的语义特征等^[21-22]。

1.3 表达维度

信息时代地图的泛化,使得地图可以进一步实现多类型、多风格、连续性、多感知通道的图形表示。文献[23]基于三元空间对象的时间、空间、属性和用户特征等,提炼形成了泛地图表达的时间结构、对象状态、几何逻辑、空间维数、空间组织、空间参考面、载体介质、表现形式、空间尺度、读图者视点10个维度。面向上述10个维度,地图综合在实际应用中也可以结合需要扩展其处理维度。如在空间组织维度方面,传统地图综合多针对矢量图形进行处理。随着对地观测手段和计算机视觉等技术的发展,图像表达或图形/图像融合的表达更加普遍,地图综合处理的空间组织维度也有必要从图形扩展到图像。如文献[24—26]等发展了基于超像素的图形/图像综合方法,并有效应用于遥感图像处理。另外,在空间维度方面,随着城市管理向更高精度方向发展,涵盖各种地理特征的三维表示正成为各类精细化应用的关键。传统综合方法也需要在已有二维图形处理基础上,将三维要素的处理纳入考虑范畴。如文献[27]研究了用于三维白模的建筑物合并方法,文献[28]发展了用于建筑物三维模型多层次显示的综合方法等。

2 地图综合方法用于泛地图实践

综合是科学认知的基本手段。地图综合在结合新技术进行创新时,继承和发扬已有体系化方法也是应有之义^[6]。本文结合传统地图综合方法中的数据模型、处理算法和评价指标,将其迁移应用于流图、变形地图和标签地图等泛地图表现形式,以验证传统地图综合方法应用于泛地图生产的有效性。

2.1 地图综合数据模型迁移——基于数字高程模型的一对多流图生成

近年来,科技的飞速进步显著加速了全球人口迁徙与贸易流通的进程,利用可视化手段准确反映这些跨区域的流动则成为一项关键任务^[29]。在此背景下,一对多流图凭借其优雅的树枝状结构设计已逐步发展成为一种重要的流数据可视化形式,并被广泛应用于单起点流数据的可视化。鉴于一对多流图树枝状结构和自然界中河流分支结构的相

似性,一个自然的考虑是通过模拟自然河流系统的生成机制构建树枝状的一对多流图。在过去的数十年间,以数字高程模型(digital elevation model, DEM)为基础,已有许多优秀的自动提取自然河流算法被提出^[30]。因此,若将流数据所处的制图空间通过DEM进行建模,就能有效基于DEM水流提取算法生成对应的一对多流图。

基于以上认识,本文设计了一种基于DEM的一对多流图生成方法,流程如图1所示。首先,将流数据所处的制图空间建模为DEM数据,需依据流数据特征确定DEM的分辨率(R)、范围和网格类型。 R 的定义为

$$R = \frac{\bar{D}_{(5\%th)}}{4} \quad (1)$$

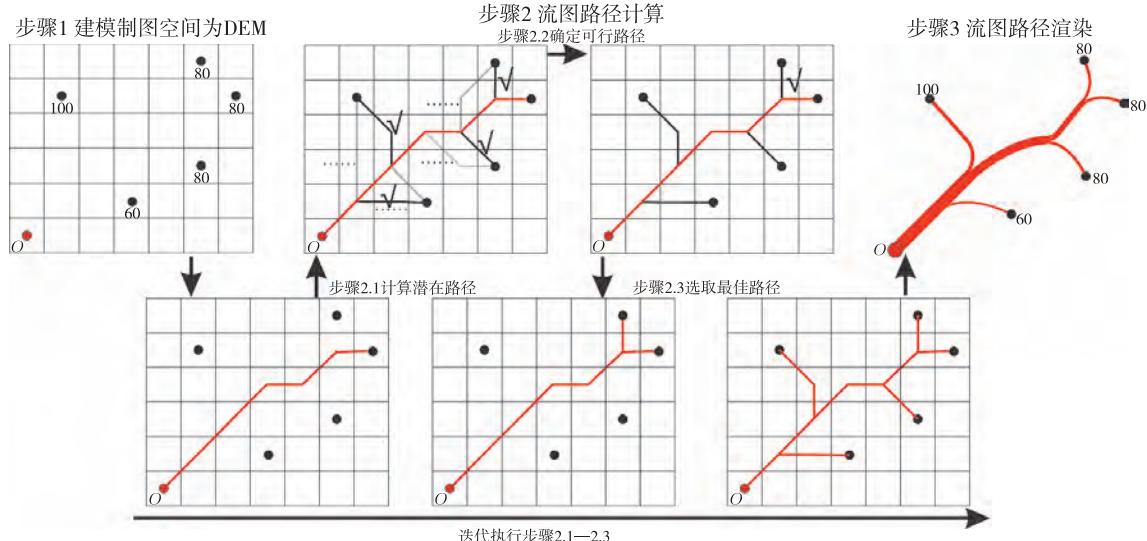
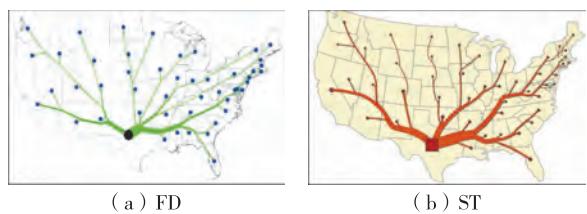


图1 基于DEM的一对多流图生成框架

为了验证本文方法的有效性,采用美国1995—2000年得州迁移至各州的人口数据进行试验,并与力导引(force direct, FD)^[31]、边绑定(stub bundling, SB)^[32]和螺旋树(spiral tree, ST)^[33]方法进行对比,结果如图2和表1所示。为了验证不同参数对于结果的影响,分别设置了3组参数,结果如图2(d)—(f)所示。由图2和表1可知,相比FD、ST和SB,REA-FM₁、REA-FM₂和REA-FM₃在平均光滑程度上均具有优势,这表明本文方法相比已有方法能生成结构更自然的流图;与FD和SB相比,REA-FM₁、REA-FM₂和REA-FM₃中节点相对于边的最小距离更大;与FD、ST和SB相比,节点到边的距离在 100×10^3 m和 70×10^3 m范围内的节点更少,这表明本文方法在保持节点和边之间距离方面具有优势。另外,在流图总长度方面,

式中, $\bar{D}_{(5\%th)}$ 为流数据中前5%最邻近节点对之间的平均距离。该指标是综合考虑效率和准确性设置的经验阈值。依据建模形成的DEM,终点和起点均可由相应的网格表示。其中,终点网格流出流量,其流量最终聚集于起点网格。然后,基于DEM数据,采用用于河流提取的迷宫算法提取流图的流动路径^[29]。为避免流动路径交叉和最小化路径总长度,需要约束迷宫算法的搜索方向和搜索范围,并依据路径长度定义路径重要性迭代求解由起点流向不同终点的流动路径。其中,搜索方向设置为起点朝向终点的方向,以最小化路径总长度;搜索范围则是将已确定为路径的格网从当前搜索范围内删除,以避免路径交叉。最后,为提高流图的美观程度,利用贝塞尔曲线从粗到细地渲染流动路径。

ST的值最小,但REA-FM₂紧随其后,表现出相似的较小总长度,这表明本文方法在最小化流图总长度方面也具有竞争力。此外,ST、SB、REA-FM₁、REA-FM₂和REA-FM₃都有效避免了锐角的流入路径,且避免了边交叉或节点重叠,即均能生成无压盖和无锐角流入路径的布局。综上所述,本文方法相比已有方法能有效地生成更自然、总长度更短且能更好控制节点相对于边长度的一对多流图。



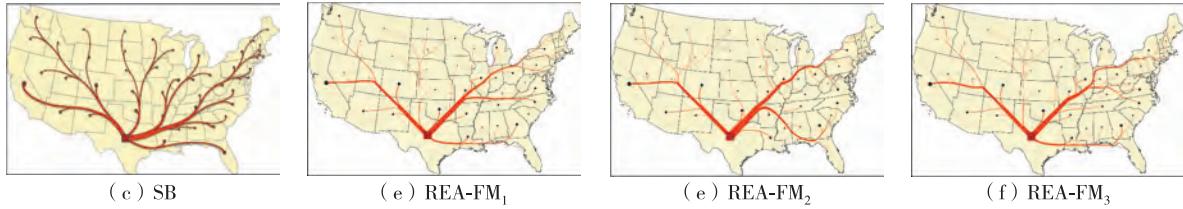


图2 美国本土1995—2000年德州至各州人口迁移流图可视化

表1 美国1995—2000年德州至各州人口迁移流图可视化结果统计分析

指标	FD	ST	SB	REA-FM ₁	REA-FM ₂	REA-FM ₃
TL ($\times 10^6$) ↓/m	23.61	22.01	24.46	24.93	22.30	25.58
MSI ↑	0.625	0.621	0.698	0.717	0.726	0.746
MD ($\times 10^3$) /m						
MD _{min} ↑	7.8	49.7	13.0	22.3	22.3	28.4
N(MD < 100) ↓	29	27	28	13	18	8
N(MD < 70) ↓	27	14	17	6	10	5
N(MD < 40) ↓	5	0	10	1	2	2
N(MD < 20) ↓	1	0	1	0	0	0
N _{aa} (< 120°) ↓	1	0	0	0	0	0
N _{ec} ↓	0	0	0	0	0	0
N _{ov} ↓	1	0	0	0	0	0

注:TL表示流图总长度;MSI表示平均光滑程度^[29];MD表示流图节点到边的最短距离; N_{aa} ($< 120^\circ$)表示路径流入角度小于 120° 的路径数量; N_{ec} 表示边交叉的数量; N_{ov} 表示节点与边重叠的数量。

2.2 地图综合处理算法迁移应用——基于地图移位算法的 Dorling 地图生成

Dorling 地图是一种利用规则图形(如圆或正方形)的面积定量表达区域属性信息的地理可视化方法,如图3所示,其能辅助用户高效认知地理区域统计特征,是人口、资源和大选等地理统计数据可视化的重要手段^[34]。但是,Dorling 地图利用圆或正方形表达对应地理区域,为读者带来新奇可视化外观的同时,也会产生要素压盖并破坏原有地理区域间空间关系。因此,移动图形生成能有效保持圆对应地理区域间空间关系的无压盖布局是 Dorling 地图生成的关键。移位是地图综合的基础操作,将用户需求和制图规范建模为约束控制地图要素移位过程和评估移位结果已有成熟的方法和理论,如 Beams 移位方法等^[35]。鉴于地图移位与 Dorling 地图布局在技术实现层面的相似性,应用地图移位方法在约束控制下移动图形,就能有效依据用户需要生成 Dorling 地图。

基于此,本文采用用于建筑物要素移位的 Beam 移位方法生成 Dorling 地图。其原理是将 Dorling 地图中圆之间的相互关系用邻近图(即 Beam 结构)表达,圆由于不满足可视化条件受外力移动使 Beam 结构变形而产生能量,通过求解能量最小化问题计算圆移位后的位置。本文邻近图的构建综合考虑

了圆对应地理区域间拓扑关系和圆之间的拓扑关系。若两个圆对应地理区域存在邻接关系,则为邻近图添加一条边连接对应的两个圆,如图3(b)所示;若两个圆存在压盖关系,则为邻近图添加一条边连接对应的两个圆,如图3(c)中橙色边所示。另外,还需保证所有圆均被邻近图连接,若存在圆 C_i 不被邻近图连接,则为邻近图添加一条边连接 C_i 与其最邻近的圆 C_j ,如图3(c)中红色边所示^[36]。圆 C_i 和 C_j 的邻近程度由 C_i 和 C_j 间的距离 L 表示,计算公式为

$$L = \text{Dis}(C_i, C_j) - (R_i + R_j) \quad (2)$$

式中, $\text{Dis}(C_i, C_j)$ 为圆 C_i 和 C_j 圆心 O_i 和 O_j 间的距离; R_i 和 R_j 为圆的半径。

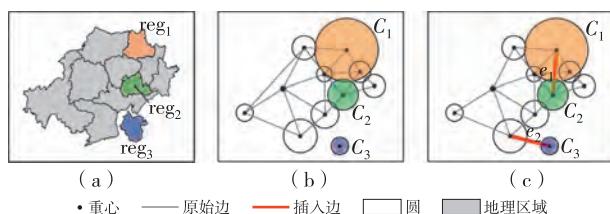


图3 美国本土1995—2000德州至各州人口迁移流图可视化

其次,基于构建的邻近图计算圆的受力,其中包括两种力。若邻近图边连接的两个圆重叠,则需要

添加斥力使它们相互远离以避免重叠,如图 4(a)所示;若邻近图边连接的两个圆对应的地理区域存在邻近关系且两个圆相离,则需要添加吸引力以保持它们对应区域之间的拓扑关系。两个圆 C_i 和 C_j 之间的斥力 ref_i 和 ref_j 、吸引力 atf_i 和 atf_j 的计算公式分别为

$$\text{ref}_i = \frac{\overrightarrow{O_j O_i}}{|\overrightarrow{O_i O_j}|} \cdot \frac{R_j}{R_i + R_j} \cdot |L| \quad (3)$$

$$\text{ref}_j = \frac{\overrightarrow{O_i O_j}}{|\overrightarrow{O_i O_j}|} \cdot \frac{R_i}{R_i + R_j} \cdot |L| \quad (4)$$

$$\text{atf}_i = \frac{\overrightarrow{O_i O_j}}{|\overrightarrow{O_i O_j}|} \cdot \frac{R_j}{R_i + R_j} \cdot L \quad (5)$$

$$\text{atf}_j = \frac{\overrightarrow{O_j O_i}}{|\overrightarrow{O_i O_j}|} \cdot \frac{R_i}{R_i + R_j} \cdot L \quad (6)$$

同时,若一个圆可能受多个力影响,上述力应进行合成,合力的计算方法见文献[29]。基于计算的邻近图及其受力,采用 Beam 移位方法迭代求解直至获取满足要求的圆布局。Beam 移位方法原理详见文献[35]。

为了验证本文方法的有效性,采用 2015 年美国 48 个州(不包括阿拉斯加和夏威夷)的人口数据(数据集 A)和 2021 年美洲各国的人口数据(数据集 B)进行可视化,并与文献[37]的方法进行对比,结果如表 2 和图 5 所示。由表 2 可知,使用两种方法都能有效生成无压盖的布局。相比于 Dorling 方法,本文方法在数据集 A 中区域间邻近关系保持比上提高了 10.10%,在数据集 B 中则提高了 2.56%;同时,本文方法在数据集 A 中的平均相对方向偏差减少了 5.29,在数据集 B 中则减少了 2.94。但是,

本文方法在数据集 A 中的总位移距离则增加了 21.65×10^6 m,在数据集 B 中则增加了 18.67×10^6 m。上述结果表明相比已有方法,本文方法能更好地保持区域之间的拓扑关系和相对关系,但也会导致更大的总位移距离。

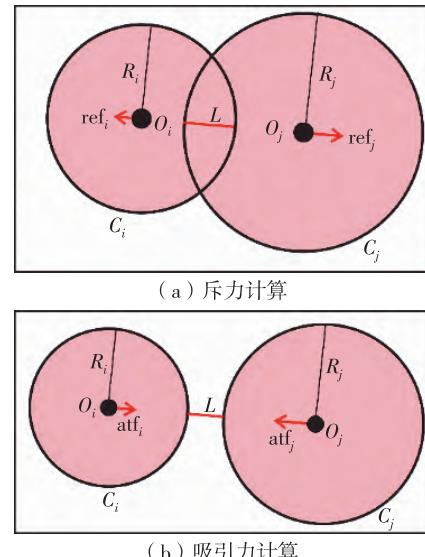


图 4 力的计算

表 2 Dorling 地图可视化结果统计分析

评价指标	本文方法		Dorling 方法	
	数据集 A	数据集 B	数据集 A	数据集 B
NumO	0	0	0	0
RT/(%)	68.81	38.4	58.71	35.90
RMS	34.61	48.35	39.90	51.29
TDD($\times 10^6$)/m	351.81	945.85	330.16	927.18

注:NumO 表示圆重叠个数;RT 表示圆对应区域邻接关系保持比;RMS 表示邻近图各边移位前后平均方向偏差;TDD 表示圆的总移动距离。

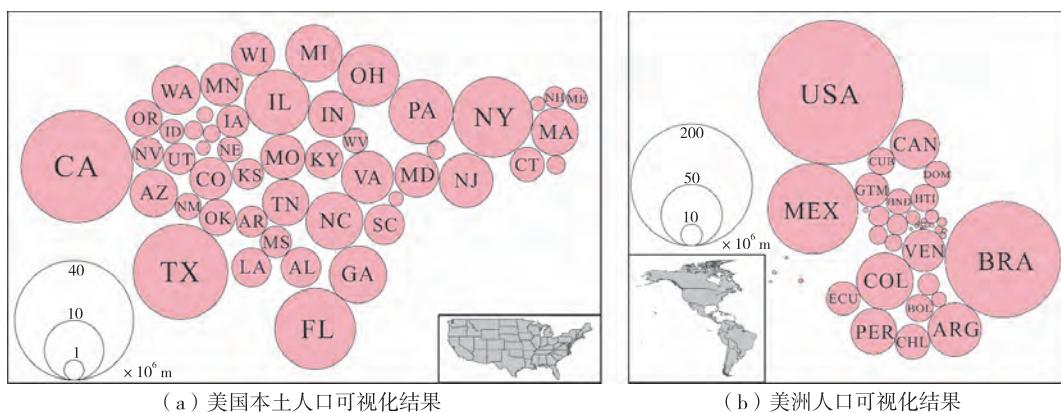


图 5 Dorling 地图可视化结果

2.3 地图综合评价指标迁移应用——基于空间自相关指数的标签地图多尺度显示能力评价与提升

标签地图是一种将文本标签与其表述的地理

位置关联起来,并在地图上以一定布局形式展示相关标签的新型可视化形式^[38],如图 6 所示。用户借助标签地图可以快速获取表达区域概况及关键信

息, 并已在地名制图、人口制图等众多领域应用^[39-41]。但是, 已有标签地图方法多只关注固定尺度上的标签布局, 而忽视了用户进行多尺度探索时标签布局的一致性。如图 6(a)展示了标签布局方法生成的埃塞俄比亚标签地图^[42], 当用户进行多尺度探索时需要动态调整标签大小并删除其中较小的标签, 即图 6(b)和图 6(c)所示结果, 由于未考虑标签尺寸在空间上分布的一致性, 则会出现大面积空白(区域 A、C 和 D)或大标签间距离过近(区域 B)的情况^[43]。因此, 为了提高标签地图的多尺度可视化能力, 有必要设计一种标签布局, 以确保在不同尺度下区域内标签的大小均能够均匀分布。空间自相关指数在地图综合中通常用于衡量数据在空间上的分布^[44], 因此, 可以考虑利用空间自相关指数评估标签尺寸的空间分布。在此基础上, 将该指标作为附加约束嵌入已有标签地图布局方法中, 以提高其多尺度可视化能力。

本文采用空间自相关指数评价标签地图中标签尺寸在空间上分布上的均匀性, 空间自相关指数的计算见文献[44]。在标签地图布局方法^[42]的基础上, 嵌入空间自相关指数以提高标签地图的多尺度可视化能力, 方法流程如图 7 所示。其中, 文献[42]方法是通过三角网对地理区域进行划分, 并采用迭代策略依据标签尺寸从最大到最小依次放置

标签, 如图 7(a)–(d)所示。为了确定每次迭代中标签的放置位置, 文献[42]主要考虑三角形的面积。然而, 在每次迭代中, 一个标签可能有多个可行的候选位置, 仅根据三角形面积可能不足以做出最优决策。如在图 7 中放置“algiers”标签时, 若只关注三角形面积, 可能会将“algiers”放置在邻近于其他大标签的位置, 如图 7(d)所示。与文献[42]方法不同的是, 本文在每次迭代中为每个标签评估所有可行的候选位置, 并综合考虑三角形面积以及标签尺寸在空间上分布的空间自相关指数来选择最佳位置, 如考虑到标签尺寸在空间上分布的空间自相关指数, “algiers”会被放置在如图 7(e)所示的位置, 即远离已有大标签的位置。这种放置方式减少了用户在缩小比例尺时大标签过于接近的风险, 从而增强了多尺度可视化效果。

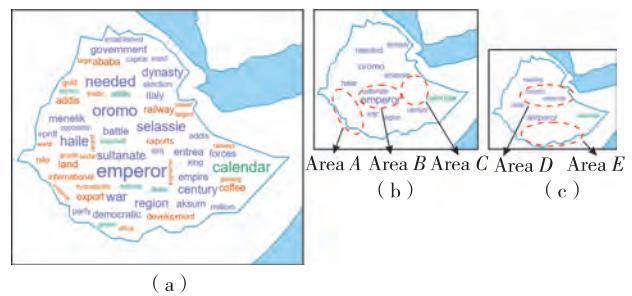


图 6 已有标签地图(埃塞俄比亚)多尺度表达存在的问题

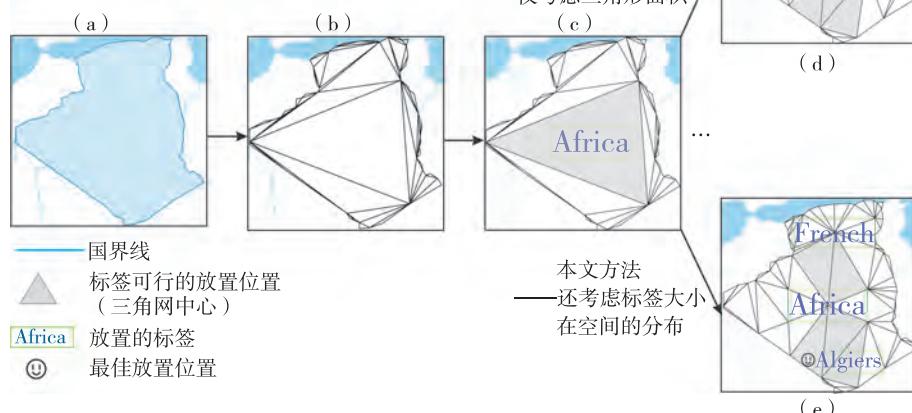


图 7 基于空间自相关指数提高标签地图多尺度表达能力的方法流程

为了验证本文方法的有效性, 使用与文献[42]相同的数据集进行试验。该数据集为基于维基百科收集的各国主题标签。其中, 国家区域多边形的矢量地图数据来源于 OpenStreetMap; 标签主题包括“文化”“历史”和“经济”3类。每个单词都被视为

一个标签, 其出现频率作为权重值。本文在两种不同类型的区域多边形(美国和意大利)中进行了对比, 不同多边形中标签方向设置不一样。其中, 美国内部区域较大, 适宜放置水平方向的标签; 意大利则区域狭长, 需要调整标签方向以实现空间利用

的最大化,结果如图 8 和表 3 所示。

表 3 标签地图可视化结果统计分析

区域	方法	$N \uparrow$	$I \uparrow$	$C \uparrow$	$t \downarrow /s$
美国	文献[42] 方法	75	-0.435	0.505	5.24
	本文方法	75	0.044	0.515	8.43
意大利	文献[42] 方法	90	-0.348	0.616	27.69
	本文方法	80	0.051	0.538	9.33

注: N 表示区域内放置的标签个数; I 表示空间自相关指数; $C = A_{\text{word}}/A_{\text{entire}}$, 表示标签的紧凑性; A_{word} 表示标签总面积; A_{entire} 表示区域面积; t 表示算法耗时。

由图 8(a)可见,本文方法展示了在远离已放置标签的狭窄区域内放置小标签的能力。相反,若区域多边形足够大,文献[42]方法则倾向于选择空间较大的区域,以便于放置较大的标签。这一区别在区域 A 中尤为明显,其中文献[42]方法在该区域放置的标签较少。而随着比例尺的减小,这种效果变得更加明显,如图 8 中 Level 2 时的区域 B 会产生空洞,而 Level 3 时较大的标签则集中在多边形的中心。相比之下,本文方法在区域多边形内实现了不同大小标签的均匀分布。在 Level 2 时,区域 B 未出

现空洞;而在 Level 3 时,标签继续分散在多边形内。在 8(b)中亦可以观察到类似的现象,随着比例尺的减小,文献[42]方法生成的标签布局在 Level 3 时倾向于集中在多边形的中心,留下如区域 D 和 E 等空白区域。相反,本文方法在所有级别上都确保了标签在多边形内的均匀分布。

由表 3 可知,采用本文方法可以提高美国和意大利标签布局的多尺度可视化能力(由自相关指数 I 度量),分别提高了 0.479 和 0.399,且 $I > 0$ 。然而,这种提升会以增加时间或减少标签放置数量为代价。如针对美国的标签布局,两种方法都可以放置 75 个标签,但本文方法多耗时 3.19 s。相反,在意大利标签布局中,本文方法只能放置 80 个标签,而文献[42]方法可以放置 90 个标签。但是,放置较少的标签也可以减少时间成本,即算法耗时减少 9.33 s。此外,在保持与美国布局中标签数量相同的情况下,本文方法亦实现了更高的紧凑性,从 0.505 增加到 0.515。相反,在意大利标签布局中,本文方法实现的紧凑性较小,从 0.616 降至 0.538。这些发现表明,本文提出的策略在一定程度上有效增强了标签地图的多尺度可视化能力,但可能需要额外的时间或放置较少的标签。

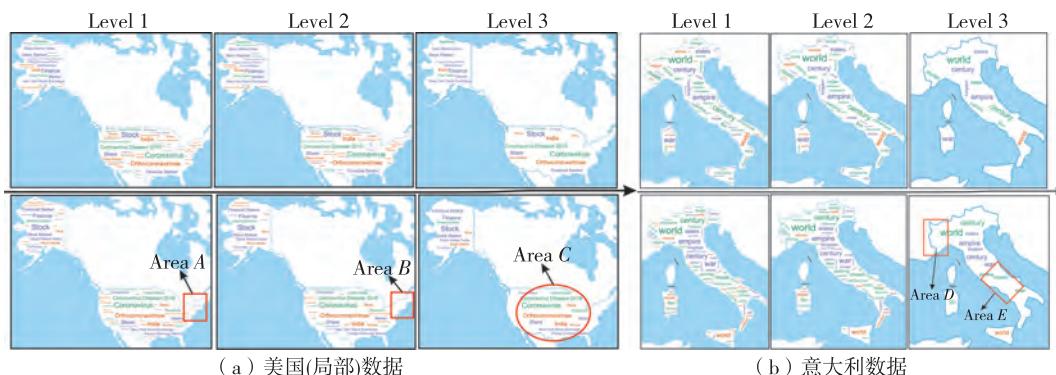


图 8 标签地图多尺度可视化结果

3 结语

综合是人类认识现实世界的基本手段,也是地图应用的核心思想之一。随着新时代下地图内容的泛化,地图综合也需要适应泛地图表达需要。本文结合泛地图科学概念框架初步阐述了泛地图综合的处理对象、信息抽象和表达维度,并探索了传统地图综合方法应用于流图、变形地图和标签地图等泛地图的生产实践,一定程度上证明了传统地图综合方法应用于泛地图生产的能力。持续泛化的地图表达不断促使地图综合技术发展其内涵并扩充其技术外延,但需要注意的是,既有地图综合

方法仍不失其科学性,在积极探索新技术的同时,集成和发扬已有地图综合方法并将之应用于泛地图实践既具有科学性,也具有较大潜力。

参考文献:

- [1] 王家耀,武芳,闫浩文. 大变化时代的地图学[J]. 测绘学报,2022,51(6):829-842.
- [2] 郭仁忠,陈业滨,马丁,等. 论 ICT 时代的泛地图表达[J]. 测绘学报,2022,51(7):1108-1113.
- [3] 郭庆胜. 现代地图学理论的回顾与分析[J]. 地图,1998(2):2-6.
- [4] 王家耀. 时空大数据时代的地图学[J]. 测绘学报,2017,46(10):1226-1237.

- [5] 艾廷华. 大数据驱动下的地图学发展[J]. 测绘地理信息, 2016, 41(2): 1-7.
- [6] 奈河海. 地图信息自动综合基本问题研究[J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(5): 377-386.
- [7] KRONENFELD B J. Manual construction of continuous cartograms through mesh transformation[J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2018, 45 (1): 76-94.
- [8] 信睿, 艾廷华, 晏雄峰, 等. 相似性度量支持下的隐喻地图轮廓设计[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2019, 44(4): 625-632.
- [9] 应申, 侯思远, 苏俊如, 等. 论游戏地图的特点[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2020, 45(9): 1334-1343.
- [10] 魏智威, 刘远刚, 许文嘉, 等. 利用 Snake 移位模型构建中心型地图[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2022, 47(12): 2105-2112.
- [11] 郭仁忠, 陈业滨, 赵志刚, 等. ICT 时代地图的科学概念及表达框架[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2022, 47(12): 1978-1987.
- [12] LI Zhilin, DONG Weihua. A stroke-based method for automated generation of schematic network maps [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(11): 1631-1647.
- [13] YANG Bisheng, PURVES R, WEIBEL R. Efficient transmission of vector data over the Internet [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2007, 21(2): 215-237.
- [14] OLTEANU-RAIMOND A M, HART G, FOODY G M, et al. The scale of VGI in map production: a perspective on European national mapping agencies[J]. *Transactions in GIS*, 2017, 21(1): 74-90.
- [15] 肖屹. 室内地图多尺度表达与分析[D]. 武汉: 武汉大学, 2022.
- [16] 毕杰皓, 应申, 陈驰, 等. 典型地貌特征的行星可视化制图——以火星与月球为例[J]. 测绘通报, 2024 (6): 115-119.
- [17] 应申, 徐雅洁, 李玉. 叙事地图的要素及组织: 基于电子游戏“要素-结构-场景”架构的视角[J]. 测绘学报, 2024, 53(5): 967-980.
- [18] 齐清文, 姜莉莉, 张岸, 等. 全息地图建模与多重表达[J]. 测绘科学, 2018, 43(7): 7-14.
- [19] 陈业滨. 泛地图可视化框架构建与实证研究[D]. 深圳: 深圳大学, 2021.
- [20] YANG Min, YAN Xiongfeng, ZHANG Xiang, et al. Constrained trajectory simplification with speed preservation [J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2020, 47(2): 110-124.
- [21] 邓敏, 陈雪莹, 唐建波, 等. 一种顾及道路交通流量语义信息的路网选取方法[J]. 武汉大学学报(信息科
学版), 2020, 45(9): 1438-1447.
- [22] 刘慧敏, 胡文柯, 唐建波, 等. 顾及功能语义特征的建筑物空间分布模式识别方法[J]. 测绘学报, 2020, 49 (5): 622-631.
- [23] 逄鹏, 侯晓彤, 李志林, 等. 基于可视化维度的泛地图表达机制[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2022, 47(12): 2015-2025.
- [24] 沈意浪. 计算机视觉中的地图要素简化表达[D]. 武汉: 武汉大学, 2019.
- [25] SHEN Yilang, LI Jingzhong, ZHAO Rong, et al. Multiresolution mapping of land cover from remote sensing images by geometric generalization [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2022, 60: 3076798.
- [26] SHEN Yilang, AI Tinghua, CHEN Hao, et al. Multilevel mapping from remote sensing images: a case study of urban buildings [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2022, 60: 1-16.
- [27] 郭庆胜, 黎佳宜, 曹元晖, 等. 建筑物白模多边形的自动合并[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2021, 46 (1): 12-18.
- [28] BILJECKI F, LEDOUX H, STOTER J. An improved LOD specification for 3D building models [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2016, 59: 25-37.
- [29] WEI Zhiwei, DING Su, XU Wenjia, et al. REA-FM: automated generation of natural-looking flow maps through river extraction algorithm [J]. *Cartography and Geographic Information Science*, 2024, 51 (6): 761-781.
- [30] WANG L, LIU H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2006, 20 (2): 193-213.
- [31] DEBIASI A, SIMOES B, DE AMICIS R. Supervised Force Directed Algorithm for the Generation of Flow Maps [C]//Proceedings of 2014 WSCG International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision. Plzen: [s. n.], 2014.
- [32] NOCAJ A, BRANDES U. Stub bundling and confluent spirals for geographic networks [C]//Proceedings of the 21th International Symposium on Graph Drawing. Cham: Springer International Publishing, 2013: 388-399.
- [33] BUCHIN K, SPECKMANN B, VERBEEK K. Flow map layout via spiral trees [J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2011, 17 (12): 2536-2544.

(下转第 145 页)

- 208-214.
- [7] 张海啸,钟若飞,孙海丽.顾及平面特征的车载激光扫描系统外参数标定法[J].测绘学报,2018,47(12):1640-1649.
- [8] 钟振,陈良良,谢国栋.基于特征匹配的机载激光雷达安置参数检校方法[J].现代信息科技,2021,5(17):82-86.
- [9] 褚智慧,段昌龙.车载三维激光扫描系统外参数标定研究[J].北京测绘,2016(2):55-58.
- [10] 俞家勇,程烺,田茂义,等.基于参考面约束的车载移动测量系统安置参数检校方法[J].红外与激光工程,2020,49(7):20190524.
- [11] 曹海滨,王新平,王文斌,等.重载铁路检测装备中三维与二维激光扫描仪检校方法[J].测绘通报,2023(10):105-110.
- [12] 同利,刘华,陈长军,等.无地面控制点的车载激光扫描系统外标定方法[J].武汉大学学报(信息科学版),2015,40(8):1018-1022.
- [13] 李艳红,同建国,王晓燕.基于邻域曲率改进的迭代最近点激光雷达目标点云配准[J].激光与光电子学进展,2023,60(2):0228008.
- [14] 王文博,田茂义,俞家勇,等.改进的迭代最近点点云配准方法[J].激光与光电子学进展,2022,59(2):390-399.
- [15] 马聪聪,李松,曹菁菁,等.基于法向量和密度的点云特征点提取问题研究[J].计算机应用与软件,2020,37(5):256-260.
- [16] 刘强,郑王里,林云汉,等.基于点云关键点分类的特征提取方法[J].计算机与数字工程,2024,52(7):2030-2037.
- [17] 景冬,王爽,阳凡林,等.基于空间前方交会的船载水上下一体化测量系统多传感器坐标转换关系标定研究[J].机械工程学报,2024,60(14):24-33.
- [18] 徐文学,田梓文,杨建昌,等.船载激光扫描点云数据坐标解算方法研究[J].海洋科学进展,2018,36(4):578-585.
- [19] 俞家勇.移动测量系统异构数据高精度融合方法研究[D].青岛:山东科技大学,2020.

(责任编辑:杨瑞芳)

(上接第125页)

- [34] WEI Zhiwei, DING Su, XU Wenjia, et al. Elastic beam algorithm for generating circular cartograms [J]. Cartography and Geographic Information Science, 2023, 50(4): 371-384.
- [35] LIU Y, GUO Q, SUN Y, et al. A combined approach to cartographic displacement for buildings based on skeleton and improved elastic beam algorithm [J]. PLoS One, 2014, 9(12): e113953.
- [36] WEI Zhiwei, GUO Qingsheng, WANG Lin, et al. On the spatial distribution of buildings for map generalization [J]. Cartography and Geographic Information Science, 2018, 45(6): 539-555.
- [37] DORLING D. Area cartograms: their use and creation [M]. West Sussex: John Wiley & Sons, 2011.
- [38] YANG Nai, MACEACHREN A M, DOMANICO E. Utility and usability of intrinsic tag maps [J]. Cartography and Geographic Information Science, 2020, 47 (4): 291-304.
- [39] 姚尧,尹瀚玙,李歆艺,等.基于多源地理数据精细尺度的武汉市人居环境新型冠状病毒肺炎疫情传播风险评估[J].生态学报,2021,41(19): 7493-7508.
- [40] 葛咏,满旺,任周鹏,等.地名制图应用研究:以地名普查成果为例[J].测绘地理信息,2021,46(1): 21-27.
- [41] 江文萍,孙玉洁,黄丽娜,等.民族人口分布专题信息表达的标签云布局方法[J].测绘科学,2019,44(4): 130-138.
- [42] YANG Nai, MACEACHREN A M, YANG Liping. TIN-based tag map layout [J]. The Cartographic Journal, 2019, 56(2): 101-116.
- [43] WEI Zhiwei, YANG Nai. Using a negative spatial auto-correlation index to evaluate and improve intrinsic tag map's multi-scale visualization capabilities [EB/OL]. [2024-11-12]. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2408.12610>.
- [44] MORAN P A P. Notes on continuous stochastic phenomena [J]. Biometrika, 1950, 37(1/2): 17-23.

(责任编辑:马保卫)