

基于 IconMap 的可视化技术及其在土壤肥力分析中的应用

张显峰¹ 宋 莎^{1,2} 李廷轩²

(1 北京大学遥感与 GIS 研究所,北京市海淀区颐和园路 5 号,100871)
(2 四川农业大学资源环境学院,雅安市雨城区新康路 46 号,625014)

摘 要:基于 IconMap 可视化技术,将传统以像元为架构的栅格数据结构扩展为 icon 图形设计,使得简单的栅格数据层能够在每个位置表达多个地理空间变量,从而揭示彼此协同作用产生的空间模式,达到挖掘地理空间信息的目的。在 IconMapper 原型系统软件支持下,进行了成都双流县土壤有机质及养分的可视化研究实验,结果表明,静态 IconMap 能够较好地显示土壤有机质及各养分高分值分布趋势,而动态 IconMap 既能反映有机质及养分之间的协同关系,又能综合表达土壤肥力的质量水平。

关键词:icon; IconMap; 可视化; 多元地理数据; 土壤养分

中图法分类号:P208

地理信息科学一个重要的关注点是如何对海量地理空间信息进行处理,并从中提取特征,通过可视化工具揭示地理模式^[1-3]。传统的图像或栅格 GIS 数据由一组像元镶嵌而成,每个像元在一次显示中只能表达一个地理属性^[4]。为了协同表达多个地理空间变量,往往采用将三个数据层以假彩色合成图像的形式表达,或将多个变量叠置分析后进行线性加权计算,得到一个融合后的综合指数来表达多个空间变量的协同作用。这两种方法虽然能在一定程度上解决多元地理空间变量的协同表达问题,但不能满足空间数据日益复杂化和数据分析的多种需求^[5,6]。

目前,科学可视化包括几何、基于 icon、基于像元、三维、动态、虚拟(增强)现实以及混合可视化等方法^[7-12]。基于 icon 的方法在计算机界面设计^[13]、科学计算可视化、物理实验模拟^[14]以及医学诊断^[15]中都得到了广泛的应用。本文以分析土壤有机质及养分的分布特征为例,实现了静态 icon 和动态 icon 的可视化表达。

1 基于 IconMap 的可视化原理

按照 Horton^[13]的定义,icon 是与数据相关

联的一小块影像或者一个符号表达。icon 的功能是通过符号化的表达展示数据域的关键特征或特点。与传统基于 icon 的可视化方法不同的是,基于 IconMap 的方法中,每一个 icon 除包含有专题意义的图形设计外,还与一定的地理空间位置对应,是传统 icon 表达在栅格 GIS 环境下发展的结果^[5,6]。icon 作为一个图形单元,将传统的二元图像结构“影像-像元”扩展为“影像-icon-像元”的 3 层栅格 GIS 表达结构。每一个 icon 由数个 icon 分量组成,每个分量由数个像元组成,且具有一定的几何形状和属性。如果每个 icon 分量的几何属性不随着变量取值的不同而变化,只是用不同的颜色来表达变量取值的不同,则被称为静态 icon。如果 icon 分量的几何形状随着变量取值的不同而有所变化,则被称为动态 icon。如图 1 所示,图1(a)代表一个由 3 个 icon 分量(1 代表植被,2 代表坡度,3 代表道路可达性)组成的静态 icon;图1(b)则构成一个动态 icon 序列,每个 icon 分量的图形为柱状图形设计,其长度随所表示的变量取值的变化而变化,总共有 8 个 icon 分量和 1 个背景。相反,静态 icon 的图形设计保持不变,而用颜色的变化来与所表示的数据集的变化建立关联,建立揭示地理空间变量的空间或时间分布

模式^[5,6]。icon 背景是用来分离各 icon 图形分量的,它本身也可以表示一个专题变量。

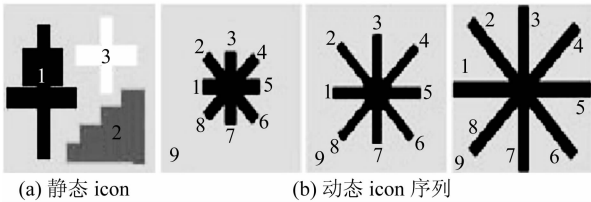


图 1 icon 模板示意图
Fig. 1 icon Templates

icon 影像地图就是按照上述 icon 模板将待分析的几个地理空间变量映射到一个以所设计的 icon 模板为架构的影像地图中,从而达到在一个栅格 GIS 层中可以表达多个地理变量的目的。如用静态 icon 模板图可以将植被覆盖度、道路可达性、地形坡度三个数据层分别映射到 3 个 icon 分量中,背景则可以表示从 DEM 数据生成的地势起伏信息,这样在一个栅格 GIS 图层中可表示 4 个地理变量。

icon 影像地图除可以以非融合形式在一个栅格图层中表达多个地理空间变量外,icon 本身作为一个具有一定几何形状的图形设计,还可以“形象地”表达某些专题变量,比以像元作为基本单元的影像地图能传达给地图阅读者更多的信息^[5,6,13]。icon 之间以及 icon 的分量之间在视觉上可形成一些效果,从而揭示所表达的变量之间的相互作用而产生的空间分布模式。

icon 影像地图的生成过程就是将几个待可视化的栅格数据层根据所设计的 icon 模板,将数据层中每个像元中的值映射到一个 icon 块的过程。对于静态 icon,每个 icon 分量中的颜色“继承”于每个栅格数据层该像元的颜色信息;对于动态 icon,则每个 icon 分量的图形设计的大小或长短与该分量所表示的数据层相应像元处的取值大小相关联。这样,原数据层中所有的像元都被映射为 icon 块,从而生成 icon 影像地图。

2 研究区与方法

研究区位于四川省成都市双流县中部,涵盖 11 个镇级单位,是全国测土配方施肥示范地区。参照四川省测土配方施肥技术规程布点原则进行布点取样,并用 GPS 记录中心点位置。每个土样以一个取土点为中心,取 0~20 cm 深度 5 点混合而成,共 836 个样点。实验室测定土壤有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾五个指标。土壤有机

质及养分是土壤类型、地形地貌、气候、地表覆盖类型以及耕作制度等因子综合作用与历史演化的结果,揭示其分布模式对多变量施肥配方方案的制定具有重要意义。

2.1 数据预处理

为了将土壤有机质及养分数据层用基于 IconMap 的可视化技术进行可视化信息挖掘,首先需要对运用 GPS 获取的点位数据进行空间统计插值分析,以获得其空间分布规律。土壤有机质及养分数据的常规统计分析采用 SPSS 软件包,半方差函数分析在 GS+ 5.3 中完成。为减小特异值对数据分析的影响,本文采用域值识别特异值。以 ArcGIS 9.2 作为 GIS 平台,对收集到的所有图件资料进行数字化和配准,得到研究区行政区划图和土壤类型图,并利用地统计分析功能中的普通克里格方法和析取克里格方法进行插值,生成研究区土壤有机质及养分含量分布的栅格 GIS 数据层。完成数据预处理后,针对需可视化分析的多元地理变量的具体特征来设计相应具有表达效果的 icon 模板,然后运用基于 IconMap 的可视化方法将各地理变量的每个像元值映射为 icon,生成 icon 影像地图。

2.2 icon 模板设计

icon 模板设计是决定可视化效果优劣的关键,好的 icon 设计能够有效地表达多元数据间的协同作用,通过宏观和微观两个层面显示出这种协同作用的空间分异和模式。每个 icon 模板均由 icon 图形分量和背景两部分组成,其中,icon 分量是指用来表示多元地理数据的 icon 图形设计,每个 icon 分量又由一系列像元构成,具有特定的几何形状和属性;背景是指除 icon 分量像元以外的空白像元区,其属性可以与其他某个地理变量关联,也可以是空白像元。icon 本身只是一个表现地理变量的图形符号,在 icon 影像地图中显示出来的颜色和属性均是从每个 icon 分量所表示的地理变量数据层相应像元位置的颜色映射而来,反映的是所表示的地理变量在相应像元处的值的变化。

本文所设计的静态 icon 模板由 10 像元×10 像元组成,有 5 个 icon 分量,分别表示土壤有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾,icon 背景用来表示土壤类型。为了保证最终的可视化效果,icon 中每个分量的像元数量尽量保持一致,避免因几何图形的大小不同带来 icon 影像地图中每个分量的比例差异。本研究中,静态 icon 模板除土壤有机质分量由 16 个像元表示外,其他每个

icon分量为 15 个像元构成的图形,背景像元个数为 24 个。由于静态 icon 分量在变量值发生变化时,其几何形状保持不变,只是色彩随着变量值的高低发生渐变,因此,在生成 icon 影像地图之前,需要对每个地理变量图层赋予一个颜色序列,以表征该变量的空间分异。其实该过程也可以理解为对单一地理数据层在栅格 GIS 环境下运用颜色进行可视化的过程,以表达数据特征。根据所要可视化的每个变量的数据直方图特征,结合目视效果判断,最终选择以黑-红、黑-绿、黑-黄、黑-品红、黑-蓝几个色系分别表示土壤全氮、速效氮、速效磷、速效钾和有机质从低值到高值的变化规律。

动态 icon 模板仍然采用 10 像元×10 像元大小,icon 分量仍然是 5 个,分别表示土壤有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾 5 个地理变量,图形设计见封二彩图 1。动态 icon 模板设计中,使用长短变化的柱子来表示 icon 分量变化的动态等级:当变量取值大时,相对应的柱子长;取值小时,柱子短。每个 icon 分量的几何设计(如柱子)的几何属性随所表示的地理变量在该像元处值的大小不同而变化,这就是动态 icon 中“动态”一词的含义。在最终生成的影像地图中,每个分量的颜色继承自所表示的地理变量数据层。本研究在动态 icon 模板设计中,采用 3 个等级水平(分别表示差、中等和好三个级别)的柱子来表示各元素含量的动态变化,将红、绿、黄、品红、蓝五种颜色分别赋予土壤全氮、速效氮、速效磷、速效钾、有机质五种元素的数据层。

2.3 可视化模拟:IconMap 的生成

完成 icon 模板设计和各 icon 分量数据层的赋色后,就可以进行可视化模拟,生成 icon 影像地图。该项工作就是根据已设计模板,将完成预处理后的数据层中的每个像元处的值转换为该处 icon 分量的值。对于静态 icon,每个 icon 分量的几何形状不变,但颜色随着每个像元处的数据值的不同而不同;对于动态 icon,每个分量的几何形状(如封二彩图 1 中的柱子)随所表示的数据层相应像元处的值的变化而发生变化,icon 分量的颜色也继承于该处的像元颜色。由于原来的土壤有机质及养分数据层的每个像元最后都扩展为一个 icon,所以这种转换很耗时,而且目前尚没有商用的 GIS 软件具有此功能,因此,这里采用笔者专门开发的原型系统 IconMapper 来实现基于 IconMap 的多元地理空间变量可视化。icon 模板可以在栅格 GIS 软件环境下完成,可视化模拟与 IconMap 的生成则可以通过该原型软件自动进

行。该系统还提供了一些辅助工具帮助 icon 模板的设计,如结果显示、可视化查询等。

3 结果与分析

3.1 静态 IconMap

从宏观层面来看,土壤有机质及各养分含量的高值区在静态 icon 成果图中有明显的可视化效果,封二彩图 2(a)中的区域 A 突出地呈现蓝色,根据每个 icon 分量的颜色赋值原则可知,A 处的有机质含量较高;同理,区域 B 呈现出的红色表明该处土壤全氮的含量较高,区域 C 的绿色说明土壤速效氮的高值主要分布在此,区域 D 和区域 E 呈现的黄色和品红色则代表土壤速效磷和速效钾的高值分布区。结合分量所表示的地理变量插值分布图可以看出,静态 icon 成果图所显示出的分量分布规律与单变量插值结果一致,并且能够在一个栅格 GIS 图层中很好地反映多元地理数据的协同信息。

静态 icon 影像地图除了可以在宏观层面上表达研究对象自身的特有属性外,还可以在微观层面反映出对象之间的协同关系。根据静态 icon 模板设计,代表土壤全氮和速效磷的红、黄两色在封二彩图 2(b)的区域中呈高亮显示,而土壤有机质、速效氮和速效钾所对应的蓝、绿、品红三色则呈暗显示,这说明此处土壤全氮和速效磷含量较高,是土壤肥力的重要贡献因子,而有机质含量相对较低,应注意通过有效措施增加有机质含量,避免其含量持续下降。

由于静态 icon 的特点是通过每个 icon 分量的颜色变化序列来反映其变化规律,且设计中均采用黑色作为最低值的显示颜色,因此,从 icon 影像地图的整体来看,除两端高值和低值区域易于识别外,中间的颜色难以给出定量或半定量的识别。为了实现多元地理数据可视化更好的效果,使研究对象的属性更直观地显示出来,需要采用动态 icon 成果图进一步分析。

3.2 动态 IconMap

将上面设计的动态 icon 模板和土壤养分地理变量数据层输入 IconMapper 系统中,即可完成从多个栅格 GIS 图层到单个以 icon 为架构的影像地图的映射和转换,生成“模式化”的 icon 影像地图。

封二彩图 3 是用 IconMapper 系统生成的 icon 影像地图的一部分,用以分析可视化效果。结合动态 icon 模板设计的特点来看,封二彩图

3(a)中,“1”所指示的区域呈品红色为主,表明该处土壤速效钾含量为高值区;“2”所指示的区域以绿色为主,表明第 2 个 icon 分量速效氮含量在这些地方相对较高;而“3”所指示的区域红色和黄色起主导,表明这些地区主要是第 1 和第 3 个 icon 分量所代表的速效磷与全氮含量相对较高;其他颜色视觉效果不明显的区域,说明土壤营养成分的总体水平不高,土壤有机质和养分含量都较低。相反,颜色饱和区域,icon 背景元素的像元个数较少,其他元素所占的像元总个数占主导地位,说明土壤有机质及养分元素的含量较高,综合肥力水平偏高。

从封二彩图 3(b)来看,每一个 icon 都随着变量值的不同而变化,柱状几何图形的长短反映了各元素在不同地理位置上的含量。由封二彩图 3(c)可知,此区域土壤肥力中等偏低,整体来看,土壤速效磷和速效钾的含量为中等水平,土壤有机质、全氮和速效氮的含量都较低,而西南一角除有机质含量较低以外,其余土壤养分的含量处于中等水平。

与静态 icon 影像地图相比,动态 icon 可以直接通过几何图形的变化来表达变量值的分布规律,直观性更强,可视化效果更明显,便于从图形中分析变量之间的协同关系,寻找影响土壤肥力水平的限制因子,在农业生产中具有较强的实用性。

4 讨论与结论

4.1 非融合与融合的可视化方法比较

为了验证基于 IconMap 的可视化技术能否有效地反映研究区土壤有机质及养分含量的分布情况,揭示土壤肥力状况,对研究区相同的数据集进行了传统的融合可视化方法分析,即综合指数方法分析,通过两种方法的比较说明基于 Icon-Map 方法的可行性。

对土壤有机质及养分的数据融合处理主要是求取土壤肥力质量综合指标值(integrated fertility indicator, IFI),按照 IFI 的大小判断土壤肥力水平。计算公式为:

$$IFI = \sum w_i \times NV_i$$

式中, w_i 为指标权重; NV_i 为标准化后的土壤养分变量数据。考虑到土壤有机质及养分含量插值与其变异程度的关系密切,因此在指标权重确定上选择变异系数法,对各指标的变异系数进行归一化处理,得到各指标的权重。本文得到土壤有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾的权重值分别为0.148、0.153、0.172、0.311、0.216,然后计算研究区土壤

肥力质量综合指标值 IFI,并插值生成 IFI 分布图。

与动态 icon 影像地图对比分析可以发现,如封二彩图 4(a)所示,IFI 综合指数图中颜色较亮的斑块(表示 IFI 值较低)正好对应相同位置处的动态 icon 影像图(封二彩图 4(b))中的暗色斑块,而 IFI 综合指数图中突出的几个红色斑块(表示 IFI 值较高)也与动态 icon 影像图中的亮色斑块位置较为相符,也就说明基于 IconMap 技术的土壤有机质及养分可视化研究结果与采用传统的融合方法所得的结果基本一致,都能较好地反映土壤肥力质量的水平。但在微观层面,IFI 方法无法知道是哪种养分在该处含量高,而 icon 影像地图则能知道哪几种土壤养分含量相对较高,可以给用户提供更多的信息,这也是非融合可视化方法的一个优点。

封二彩图 4(c)是以 IFI 作为 icon 背景重新生成的 icon 影像地图,可以看出,当背景颜色较浅,即 IFI 值较低时,动态 icon 中每个元素的柱子图形(icon 分量)都很短,说明土壤有机质及养分含量值均较低,与背景值的表达一致。但通过进一步分析发现,动态 icon 影像图与 IFI 图所反映的变量值的分布规律并不是逐一对应的,说明不同方法在多元空间地理数据可视化研究中存在一定的差异。对传统的融合方法而言,确定指标权重方法的不同对最终 IFI 计算结果的影响较大,不能直接看出变量之间的协同关系;而采用 Icon-Map 技术通过动态 icon 不仅能从宏观上反映综合性的土壤肥力水平,还可以从微观上直接表达土壤有机质及养分之间的协同关系,找出影响某一地区土壤肥力的关键因素。因此,将 icon 方法用于土壤有机质及养分的可视化研究是可行的。

4.2 结论与将来的工作

本文通过研究传统基于 icon 的科学可视化方法,创新性地将 icon 的概念纳入栅格 GIS 数据显示中。不足之处是,icon 影像地图的阅读比常规地图的阅读相对困难,需要对 icon 模板有清楚的了解方能正确“阅读”。今后的研究可放在如何设计更有效的静态和动态 icon 模板方面。此外,如何在 icon 影像地图中表达多元地理变量的时空变化,也是今后研究的重点之一。

参 考 文 献

[1] Wood M, Brodli K. VISC and GIS: Some Fundamental Considerations [C]//Hearbshaw H, Unwin D. Visualization in Geographical Information Systems. England:John Wiley & Sons, 1997

[2] 廖克. 地球信息科学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2007:240-274

[3] MacEachren A, Bishop I, Dykes J, et al. Introduction to Advances in Visualizing Spatial Data [C]// Hearbshaw H, Unwin D. Visualization in Geographical Information Systems. England: John Wiley & Sons, 1997

[4] Tomlin C D. Geographic Information Systems and Cartographic Modeling [M]. USA: Prentice Hall, 1990

[5] Zhang X, Pazner M. The Icon Imagemap Technique for Multivariate Geospatial Data Visualization: Approach and Software System [J]. Cartography and Geographic Information Science, 2004, 31(1): 29-41

[6] Pazner M, Lafreniere M. GIS Icon Maps[C]. AC- SM/ASPRS Annual Convention and Exposition, Seattle, WA, 1997

[7] 贾泽露, 刘耀林, 张彤. 可视化交互空间数据挖掘原型系统设计与实现[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2006, 31 (10): 916-919

[8] 龚建华, 林辉, 肖乐斌, 等. 地学可视化探讨[J]. 遥感学报, 1999(3): 236-244

[9] 宁津生, 郭金来. 地球重力场可视化数据挖掘平台 WHU-3Dgravity 的设计与实现[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(17): 945-949

[10] Schroeder W, Martin K, Lorensen B. The Visualization Toolkit [M]. 2nd ed. USA: Prentice Hall Inc, 1997

[11] Grinstein G, Sieg J C, Smith S, et al. Visualization for Knowledge Discovery[J]. International Journal of Intelligent Systems, 1992,7: 637-648

[12] Dovey D. Vector Plots for Irregular Grids [C]. IEEE Conference on Visualization, Atlanta, GA, USA, 1995

[13] Horton W. The Icon Book: Visual Symbols for Computer Systems and Documentation [M]. New York: John Wiley & Sons, 1994

[14] Van Walsum T, Post F H, Silver D, et al. Feature Extraction and Iconic Visualization [J]. IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, 1997,2(2):111-119

[15] Rangayyan R M, Zuffo M K. Iconographic Display of Mammographic Features for Computer-aided Diagnosis of Breast Cancer [C]. IEEE International Conference on Information Technology Applications in Biomedicine, Washington D C, USA, 1998

第一作者简介:张显峰,博士,副教授,现从事生态遥感、高光谱遥感数据处理与应用以及地理空间可视化等领域的研究。
E-mail:xfzhang@pku.edu.cn

IconMap Visualization Technique and Its Application
to the Analysis of Soil Nutrients

ZHANG Xianfeng¹ SONG Sha^{1,2} LI Tingxuan²

(1 Institute of Remote Sensing and GIS, Peking University, 5 Yiheyuan Road, Haidian District, Beijing 100871, China)
(2 Faculty of Resource and Environmental Studies, Sichuan Agriculture University, 46 Xinkang Road, Yucheng District, Ya'an 625014, China)

Abstract: The IconMap visualization technique is an icon-based approach for multivariate geospatial data sets by extending the pixels of traditional images to icon images. The extension from pixels to icons in the IconMap technique enables raster GIS to represent multiple variables at a single location in the simple' raster data model. A very large number of adjacent icons in an icon map form geographic patterns that are based on interrelations between the individual variables. To demonstrate the usefulness of the technique, the IconMap approach was used to visualize the soil organic matter and nutrient contents in the Shuangliu County, Sichuan province under IconMapper system. The result indicates that the static icon map can well identify the distribution trend of the soil nutrient variables while the dynamic icon map can reflect the co-occurrence relationships between them and the fertility quality of the soil synthetically.

Key words: icon; IconMap; visualization; multiple geographic variables; soil nutrients

About the first author: ZHANG Xianfeng, Ph. D, associate professor, majors in remote sensing for ecology, hyperspectral data processing and application, and geospatial data visualization, etc.
E-mail: xfzhang@pku.edu.cn