引文格式：辛成, 蔡忠亮, 包雨睿, 等. 基于映射规则的多尺度地图符号变换模型[J]. 地理空间信息, 2023, 21(8): 18-22. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2023.08.005

基于映射规则的多尺度地图符号变换模型

辛　成[1]，蔡忠亮[1*]，包雨睿[1]，李伟凡[2]
（1. 武汉大学资源与环境科学学院，湖北 武汉 430072；2. 长江航道测量中心，湖北 武汉 430010）

摘　要：总结了空间多尺度地图符号变换规则，提出了一种多比例尺地图符号自动转换方法。该方法根据地图符号分类和视觉变量，依据符号的几何、语义、特殊效果等联合特征将符号变换转化为几何变换、语义变换、特效变换及其3种形式的组合，将其抽象为变换规则，并从逻辑上构建知识规则库，基于规则建立多尺度地图符号变换模型，实现不同比例尺地图符号变换。以1∶10 000和1∶50 000两种尺度国家标准地形图符号为例，进行了实验验证，验证了方法的有效性和高效性。

关键词：空间多尺度；视觉变量；符号变换模型；知识规则
中图分类号：P283　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）08-0018-05

Multi-scale Map Symbol Transformation Model Based on Mapping Rules

XIN Cheng[1], CAI Zhongliang[1], BAO Yurui[1], LI Weifan[2]
(1. School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072, China;
2. Changjiang Waterway Bureau Survey Center, Wuhan 430010, China)

Abstract: In this paper, we summarized the rules for transforming map symbols of multi-scale and proposed an automatic conversion method for multi-scale map symbols. According to map symbol classification and visual variables, the method converted symbol transformation into geometric transformation, semantic transformation, special effects transformation and their combinations, and abstracted the different forms into transformation rules and logically constructed a knowledge rule base.Then, this methodbuilta multi-scale map symbol transformation model based on the rules to realize different scale map symbol transformations. We carried out experimental validation with two scales of 1∶10 000 and 1∶50 000 national standard topographic map symbols to verify the effectiveness and efficiency of the method.

Key words: spatialmulti-scale, visual variables, symbolic transformation model, knowledge rule

随着大数据时代的到来，空间数据量剧增，用户在多尺度观察地理现象、分析空间特征及变化规律等方面的需求也急剧增加[1]，空间数据的多尺度实现与表达成为GIS领域研究的热点问题之一[2]。地图符号是空间数据多尺度表达的主要方式，是传递地图信息的重要载体，是构成地图的基石[3]。因此，研究地图符号的空间多尺度表达具有重要意义。

不少学者对多尺度表达进行了大量的研究，吴凡[4]等较早的利用小波多分辨率分析原理对地貌数据进行了多尺度处理与表达；江南[5]等建立了中小比例尺的多尺度显示模型并用多尺度国界电子地图验证了模型的可行性；曹亚妮[6]等从要素选取、数据综合、地图可视化、要素关系处理4个方面进行分析，提出电子专题地图多尺度表达的解决策略；任福[7]等完善了应急灾害专题图的符号库，按照尺度、区域以及灾害种类为用户提供多样化的符号方案。地图尺度的变化必然会引起符号的变化，为了应对这种变化，张金禄[8]等创建了树结构的自适应地图符号模型，实现了地图符号的差异化表达；刘海燕[9]等则是用静态瓦片地图模型和实时渲染地图模型实现了在线专题地图集的符号变换。语义转换与综合方面，雷振[10]等创建 了数据语义转换模型，实现了空间数据的复杂语义转换；殷红梅[11]创建了概念层的空间、语义尺度联合的地图综合策略，扩展了专题地图综合特别是语义特征数据的尺度变换。

尽管有如此多的研究成果，对地理数据空间多尺度表达尤其是多尺度符号的研究仍存在问题。针对问题，本文分析了空间多尺度符号变换原因，探讨符号变换形式，总结归纳了针对空间多尺度地图符号变换理论与方法，将变换知识形式化为变换规则，从逻辑层创建几何属性、语义属性、特殊效果等联合特征约

收稿日期：2022-02-11；修回日期：2022-07-03。
项目来源：国家重点研发计划项目（2017YFB0503500）。
第一作者简介：辛成（1997—），硕士研究生，研究方向为自动化制图，E-mail：xinc326@whu.edu.cn。
通信作者：蔡忠亮（1971—），博士研究生，教授，研究方向为地图学与地理信息系统，E-mail：zlcai@whu.edu.cn。

束的面向空间多尺度的符号变换模型，兼顾地图符号标准化、个性化与自适应的关系[8]，以满足多类型、多尺度、个性化的制图需求。

1　多尺度符号差异分析

空间尺度发生变化时，地图的内容、表达会发生变化，地图符号也会相应的发生变化。这种变化并非完全一致的，不同类型地图的内容以及表达对空间尺度变化有不同的响应，这种差异化的响应使不同类型地图之间的符号变化有不同的表现形式（表1）。

表1　多空间尺度下不同类型地图内容、表达以及符号变化

地图类别	内容与表达的变化	符号变化
标准地形图	兼顾制图标准变更带来的制图变化	大小（线宽）、形状、颜色
影像地形图	兼顾影像分辨率变更带来的制图变化	大小（线宽）、颜色、透明度、阴影、掩膜
专题地图	地图主题、专题变量、数据统计方式[7]变化	大小（线宽）、形状、颜色、密度、亮度
普通地理图	地图用途、要素分类、级别层次变化	大小（线宽）、形状、偏移、颜色、方向

1）制图综合引起的符号变换。制图综合通过操作要素，求其进行取舍、简化、重分类、概括、必要的位移及其组合操作，特定情况下辅以夸大和分割[12]，以满足不同空间尺度的制图表达需求。地图符号作为空间要素可视化的主要方式，必然会随着要素的变化发生变化。面向制图综合研究符号变换，除了要考虑地图符号的几何基础变量外，更应考虑空间尺度变化带来的语义内容的变换[13]，以灾害应急图为例，空间尺度变换后符号的大小、形状等几何信息以及色彩深度等语义信息发生变换[7]。

2）需求变更引起的符号变换。符号的变换还需要适应需求的变化，不同尺度的数据源以及不同用途催生出标准地形图、影像地形图、专题图以及其他地理图等不同类型的地图，当这些地图空间尺度变更时，符号的变换除了要顾及制图综合引起的变化外，还要兼顾特殊的变化需求，如上表所示，标准地形图的符号要满足不同空间尺度的图式要求；影像地形图的符号要与影像底图相适应，以便区分，同时影像中已详细显示的地物可适当舍弃；专题图以及其他普通地形图的符号应突出地图的专题信息或某种用途。

2　符号变换类型分析

2.1　地图符号变量

基本图元以及图元的配置规则共同构成了地图符号[14]。除尺寸、形状、颜色、方向（角度）、密度、亮度等图元基本视觉变量[15]外，地图符号还有偏移、阴影、掩膜、透明度等特殊图元配置变量。以国家基本比例尺地图图式为例，其中，1∶10 000符号库共计符号273种，1∶50 000共计246种，当比例尺由1∶10 000变换至1∶50 000时，符号发生的变化情况如表2所示。

表2　比例尺变更引起的符号变化统计/种

变化类型	点符号	线符号	面符号
尺寸	109	42	24
形状	2	4	1
颜色	0	0	8
密度	0	19	6
删除	15	16	5
新增	9	0	0

多空间尺度情况下，这些符号变量发生单一或组合变化，其中，尺寸的变化是空间多尺度符号变换中最主要的形式，可体现符号的动态、层级、立体等效果[16]。

在不同类型的地图中，比例尺由1∶10 000变更至1∶50 000时，大部分点符号、线符号尺寸以及面符号密度发生变化，少部分符号颜色、形状等发生变化。符号尺寸、形状、颜色、方向等基本视觉变量多见于标准地形图中，符号亮度、掩膜、偏移等特殊样式多见于部分影像地形图、专题地图等色彩鲜明的地图中。不同类型的地图部分符号变化如表3所示。

表3　比例尺变更引起的符号变化展示

点符号	线符号	面符号
医院	高速公路	体育馆
加油站	铁路	沙泥滩
温室	溢洪道	防风固沙方格
山峰	主干道	水系面
…	…	…

由表可见，当比例尺变小时，图式符号“医院”、“高速公路”尺寸相应减小，“体育馆”面填充颜色改变，“加油站”、“铁路”和“沙泥滩”符号结构或密度改变，“温室”、“溢洪道”和“防风固沙方格”符号形状改变。在影像地形图中，点符号需要进行掩膜或者描边以使其与底图形成对比，道路水系按

照规范需要进行透明处理。

2.2 地图符号变换

基于上述对地图符号变量的研究与分析，依据符号在空间尺度变更时随之变化的变量，可将符号的变换归为几何类、语义类、特效类3种变换类型[17]。几何类变换包含尺寸、形状、方向、密度、偏移5种变量；语义类变换包含亮度、颜色2种变量；特效类变换包含阴影、掩膜、透明度3种变量。不同变换类型与10种地图符号变量之间的关系如表4所示。

表4 变换类型与变量关系

变量	几何类	语义类	特效类
尺寸	1	0	0
形状	1	0	0
方向	1	0	0
亮度	0	1	0
颜色	0	1	0
密度	1	0	0
偏移	1	0	0
阴影	0	0	1
掩膜	0	0	1
透明度	0	0	1

在同一空间尺度下，存在符号尺寸、密度等几何属性表示语义信息的情况，例如不同尺寸的点符号表示不同的重要性，但是在多空间尺度变换中，强调符号的变换方式，变换前后语义保持一致，因此无需考虑几何属性与语义属性交叉的问题。此外，还应考虑空间尺度变更时要素合并与增加、删除等综合操作带来的符号的新增与删除，将此类变换归为其他类变换。实际生产制图过程中，空间尺度的变化引起的地图符号变换类型不是单一的。几何变换与语义变换相辅相成，既相互独立又有内在联系。因此，需要一种能够模型将这些变换进行组合与管理，为地图符号实现空间多尺度变换提供支持。

3 符号变换模型

为了将地图符号实现多空间尺度变换，结合对空间多尺度引起的地图符号的变化以及对地图符号变量的分析与归类，构建符号变换模型。模型构建关键步骤如图1。构建模型过程中兼顾地图不同类型、场景用户的特殊需求[18]，将地图符号库或符号文件中的符号按照规则进行转换。

3.1 规则库定义

想要通过计算机实现地图符号自动变换，需要将变换知识形式化为变换规则。本文借鉴本体表达模型思想对变换规则进行形式化表达，引入本体的知识

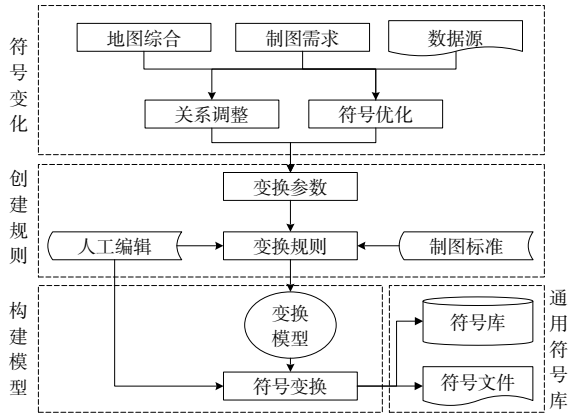


图1 符号变换模型构建过程

表示方法，更好的突出层次概念关系[19]。依据Nicola Guarino的理论，本体可记作：

$$C=<D,W,R> \tag{1}$$

式中，D为本体领域；W为领域中事务状态的集合；R为领域空间（D，W）内的概念关系集合[20]。知识库可以对领域知识进行展示、组织和管理，本体则侧重展示领域内概念和关系，将本体和知识库结合起来可实现知识的合理表达、发挥本体优势，实现规则库的创建与管理。

在本文中，本体领域为制图领域，即制图概念的集合；规则类及符号变量等规则属性为1事务状态的集合，类与变量的层次关系为关系集合。本体中各集合内容以及层次关系如图2所示。

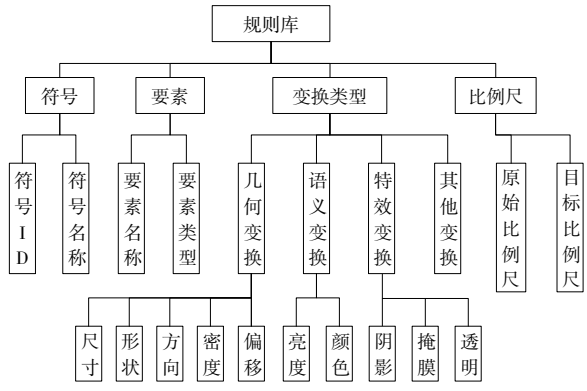


图2 变换规则本体框架及关系

规则库的组织遵循以下规定：①符号与规则保持一对多关系，以符号ID为标识，每种符号可以实现多规则组合变换；②若存在其他变换（符号删除），已设定的变换规则不生效；③对于尺寸、颜色等基本变量，可实现多个符号对应同样的规则批量转换，但是如形状等每种符号不同的变量需单个操作，依次转换。

在变换过程中，除了要记录变量以及参数，还需记录符号所在要素图层及该图层的关键属性，变换前后比例尺，以便将符号与图层、规则关联挂接，实现

自动转换。

基于以上对规则库的分析，将规则库中记录进行如下结构化表达设计：

TransRule<RuleID, Symbol, Feature, Trans, Scale>　（2）

式中，RuleID为规则编码；Symbol为符号属性映射，包括符号名称与符号ID；Feature为要素属性映射，包括要素名称以及点、线、面要素类型，Scale表示变换比例尺的映射，包含目标比例尺与原始比例尺；Trans为符号变换映射，包含几何变换GeoTrans、语义变换SemTrans、特效变换SpeTrans和其他变换OtherTrans的单一或组合变换参数。

3.2　模型构建

确定规则库组织、管理方式之后根据规则库内容构建地图符号变换的逻辑模型。设符号库或符号文件中的所有符号集合 $S=\{S_i:i=1,2\cdots n\}$，S_{new} 为变换后的新的符号集合，依据规则参数创建基础变量变换矩阵 $\boldsymbol{T}$，得到符号变换方法：

$$S_{\text{new}}=p\times\boldsymbol{T}\times S_i(\text{Attri}) \tag{3}$$

式中，p 为检验参数：

$p=1$ 表示该符号进行正常变换，

$p=0$ 表示该符号为新增符号，

$p=-1$ 表示该符号为删除符号。

Attri为描述原符号需要转换变量的具体参数，S_i(Attri)为原符号1×3阶变量参数矩阵，$\boldsymbol{T}$ 为3×1阶变换矩阵。

$$\boldsymbol{T}=\begin{bmatrix}\boldsymbol{T}_{\text{Geo}}\\ \boldsymbol{T}_{\text{Sem}}\\ \boldsymbol{T}_{\text{Spe}}\end{bmatrix} \tag{4}$$

式中，$\boldsymbol{T}_{\text{Geo}}$, $\boldsymbol{T}_{\text{Sem}}$, $\boldsymbol{T}_{\text{Spe}}$ 分别对应几何变换、语义变换、特效变换的参数1×3阶矩阵。

$$\boldsymbol{T}_{\text{Geo}}=\begin{bmatrix}G_L & G_S & G_A\end{bmatrix} \tag{5}$$

$$\boldsymbol{T}_{\text{Sem}}=\begin{bmatrix}S_B & S_C & S_D\end{bmatrix} \tag{6}$$

$$\boldsymbol{T}_{\text{Spe}}=\begin{bmatrix}\boldsymbol{E}_S & \boldsymbol{E}_M & \boldsymbol{E}_T\end{bmatrix} \tag{7}$$

式（5）、（6）、（7）中，对于点状与线状符号，G_L 为尺寸或线宽变换参数，G_S 为形状变换参数，G_A 为符号角度或方向变换参数；对于面状符号，G_L 为填充点尺寸或填充线线宽，G_S 为填充样式参数，G_A 为填充符号角度，S_B 为符号亮度变换参数，S_C 为符号或符号填充颜色变换参数，S_D 为符号颜色或填充颜色深度变换参数；$\boldsymbol{E}_S$ 为符号阴影变换参数矩阵，$\boldsymbol{E}_M$ 为符号掩膜变换参数矩阵，$\boldsymbol{E}_T$ 为符号透明度变换参数。

模型构建完成后，从规则库中提取比例尺、变换参数等重要规则作的具体参量，创建变换矩阵，完善参数，实现地图符号的转换。

4　实验分析

本文以Visual Studio为开发平台，基于.NET Framework 4.0技术框架，以C#为开发语言，使用Addin插件进行二次开发实现上述思想，构建符号变换模型，实现原型系统，并将系统作为加载项嵌入ArcGIS桌面端软件。空间多尺度地图符号变换规则使用XML进行结构化存储。

XML标签的嵌套结构能简明、清晰地表现本体框架中的层次关系，规则的增、删、改等操作简单、方便。XML模板示意图如下，其中，涉及尺寸、间隔、偏移等变量单位均为毫米，亮度、透明度采用百分比制，颜色使用RGB色彩系统。

原型系统从逻辑上划分为符号预览、规则创建、规则管理3个模块。符号预览模块作为规则创建的基础，可用于确定符号来源：样式文件中的符号或者当前界面中的符号，将符号添加至符号列表进行预览、选择，以便创建或者应用变换规则，实现符号的变换。规则创建与管理涉及几何变换规则、语义变换规则、特效变换规则以及符号新增、删除等其他变换规则，原型系统将规则变换参数可视化，方便组织管理。

用我国某市1∶10 000和1∶50 000地形图数据进行实验，将以上原型系统用于符号的变换。结合国家基本比例尺地图图式规范以及不同尺度符号变换需求，以点符号“高等院校”变换规则为例，将1∶10 000地图符号变换至1∶50 000，此时式（2）中的RuleID为“0001”；Symbol={“高等院校”，“0481”}，表示符号信息；Feature={“教育培训”，“Multipoint”}，表示要素图层信息。

Trans=[1 $\boldsymbol{T}_{\text{Geo}}$ 1 1]

上式用于记录转换参数，其中第一个参数 p 即式（3）中的检验参数，后3个参数对应式（4）中的3个参数，其中：

$$\boldsymbol{T}_{\text{Geo}}=\begin{bmatrix}0.741 & 1 & 1\end{bmatrix}$$

式中，尺寸变换系数为0.741，形状、角度参数不变；Scale={“10 000”，“50 000”}，表示变换前后比例尺分母。将以上规则应用于变换模型，再将其他多个变换后的符号应用于多空间尺度数据，实现单套符号在多空间尺度下的复用。

为了使图面更清晰，将1∶50 000地形图在Arc-

GIS布局视图下进行放大，与1∶10 000比例尺保持范围一致。在2种尺度的地形图中，与图面和不同尺度数据相适应，符号变换主要表现为尺寸的变换与增删，小部分符号颜色改变。符号变换原型系统在规则的引导下，从几何、语义等多方面实现地图符号的多尺度变换，变换过程清晰明了，速度快，效果好，可大大提高多尺度制图效率。

5 结 语

本文通过研究空间多尺度地图符号变换理论与方法，将符号变换参数抽象为知识规则，创建基于映射规则的多尺度地图符号变换模型，该模型可将地图符号的几何、语义、特效等多种参数进行单一或组合变换，以满足不同空间尺度的制图需求。创建了符号变换原型系统，使用不同空间尺度数据进行实验验证，取得了较好的成图效果。地图符号作为制图表达的重要内容，本文的研究对多尺度表达具有重要参考意义。

参考文献

[1] 贾奋励,游雄,刘芳. 多尺度表达的地图设计模型[J]. 测绘科学技术学报,2011,28(2):153-156

[2] 张昊,江南,曹亚妮. 网络电子地图多尺度显示的分析与研究[J]. 测绘通报,2014(1):90-93

[3] 贾奋励. 电子地图多尺度表达的研究与实践[D]. 郑州:信息工程大学,2010

[4] 吴凡,祝国瑞. 基于小波分析的地貌多尺度表达与自动综合[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2001,26(2):170-176

[5] 江南,白小双,曹亚妮,等. 基础电子地图多尺度显示模型的建立与应用[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2010,35(7):768-772

[6] 曹亚妮,吴芳华,江南,等. 电子专题地图多尺度表达的相关问题及策略[J]. 测绘通报,2014,44(3):58-62

[7] 任福,严涵,龚丽芳,等. 多空间尺度的灾害应急动态制图规则[J]. 测绘地理信息,2020,11(3):1-7

[8] 张金禄,王英杰,余卓渊,等. 自适应地图符号模型与原型系统的实现[J]. 地球信息科学学报,2009(4):468-474

[9] 刘海燕,庞小平,黄洪纤,等. 在线专题地图集内容与符号的尺度变换[J]. 地理空间信息,2010,8(1):139-141

[10] 雷振,邓跃进,吉建培. GDC支持下的空间数据语义转换模型[J]. 地理空间信息,2010,8(5):27-30

[11] 殷红梅. 空间尺度与语义尺度联合控制下的地理国情地图综合[J]. 测绘学报,2021,50(3):426

[12] 武芳,巩现勇,杜佳威. 地图制图综合回顾与前望[J]. 测绘学报,2017,46(10):1 645-1 664

[13] 张婷婷. 比例尺驱动的地质图符号自适应研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2020

[14] 王欣蕊. 地图符号自适应加载技术研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2016

[15] Bertin J. Graphics and Graphic Information Processing[M]. Berlin,Boston: De Gruyter,1981

[16] 张薇,江南,白小双. 基础电子地图符号设计的研究与实践[J]. 测绘科学,2008,27(增刊):237-239

[17] 田江鹏,游雄,贾奋励,等. 地图符号的认知语义分析与动态生成[J]. 测绘学报,2017,46(7):928-938

[18] 卢丹丹,彭清山,孙雅庚,等. 基于实景三维模型的多源数据集成技术研究[J]. 地理空间信息,2020,18(3):9-11

[19] 马健,崔虎平,霍梦秋,等. 专题制图规则及本体表达模型的研究[J]. 测绘科学技术学报,2013,30(5):540-544

[20] Guarino N. Formal Ontology and Information System [M]. Trento: IOS Press,1998

[21] 王海荣. 面向快速制图的多尺度地图数据库设计与建设[J]. 地理空间信息,2021,19(10):76-79

本刊声明

为适应我国信息化建设，扩大本刊及作者知识信息交流渠道，本刊数据已被《中国核心期刊（遴选）数据库》《CNKI 中国期刊全文数据库》和《中文科技期刊数据库（全文版）》等收录。在《地理空间信息》发表的论文均默认将其在著作权保护期内的复制权、发行权、汇编权、翻译权以及网络传播权授权给《地理空间信息》编辑部，编辑部可将上述权利转授给第三方使用。作者不再许可他人以任何形式使用该篇论文，但可以在其后续作品中引用（或翻译）该论文中部分内容或将其汇编在作者的非期刊类文集中。如不同意，请事先声明，本刊另作处理。其文章的著作权使用费与本刊稿酬一次性给付（已在收取发表费时折减和换算为杂志赠阅）。

（本刊编辑部）