引文格式：毕一鸣,赵西亭,谢宜霖,等. 一种基于高分影像的矢栅融合地图瓦片构建方法[J]. 地理空间信息, 2025, 23(12):7-11. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2025.12.002

一种基于高分影像的矢栅融合地图瓦片构建方法

毕一鸣[1]，赵西亭[2]，谢宜霖[1]，谢威夷[1]，朱家声[1]，芮小平[1*]，王　赟[3]
（1. 河海大学地球科学与工程学院，江苏 南京 211100；2. 北方信息控制研究院集团有限公司，江苏 南京 211106；
3. 南京水利科学研究院，江苏 南京 210029）

摘　要：针对以高分辨率遥感影像为主、且矢量数据使用较少却又不可缺少的地图应用场景，提出了一种新方法来融合矢栅数据并构建地图瓦片。基于瓦片的地图服务是目前WebGIS的主流模式，不同的瓦片构建方案会影响地图的渲染与缓存效率。现有方案通常适用于需要处理大量矢量和栅格数据的场景，须发布多套瓦片，增加了构建和发布的复杂度。提出的方法通过依据地物特征设计配色方案，对矢量要素数据进行配色及栅格化，并用对应栅格单元替换遥感影像中相应位置的像素值，最终生成栅格数据并进行切片发布。实验结果表明，该方法能有效构建少量矢量要素和遥感影像数据融合后的地图瓦片，确保不同缩放级别下矢栅数据无缝衔接清晰直观的显示效果。

关键词：WebGIS；地图瓦片；矢栅融合；地图配色；遥感影像；影像地图
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）12-0007-05

Construction Method of Vector and Raster Fusion Map Tile Based on High-resolution Images

BI Yiming[1], ZHAO Xiting[2], XIE Yilin[1], XIE Weiyi[1], ZHU Jiasheng[1], RUI Xiaoping[1], WANG Yun[3]
(1. College of Earth Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China;
2. North Information Control Research Institute Group Co., Ltd., Nanjing 211106, China;
3. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: For map application scenarios where high-resolution remote sensing images were dominant and vector data was used less but indispensable, we proposed a new method to fuse vector and raster data and construct map tiles. Map services based on tile are currently the mainstream mode of WebGIS. Different tile construction schemes will affect the rendering and caching efficiency of map. Existing solutions are generally suitable for scenarios that require processing large amounts of vector and raster data, requiring the release of multiple tiles, which increases the complexity of construction and release. The proposed method designs a color scheme based on the characteristics of terrain features, colors the vector element data, replaces the corresponding pixel values in the remote sensing imagery with the corresponding grid units, and generates the raster data and performs slicing and publishing. The experimental results show that this method can effectively construct map tiles that fusing a small amount of vector element and remote sensing image, ensuring seamless integration of vector and raster data at different zoom levels, and providing clear and intuitive display effects.

Key words: WebGIS, map tile, vector and raster fusion, map coloring, remote sensing image, image map

近年来，矢量瓦片地图作为一种新兴的互联网电子地图服务方式，应用广泛，具有显示效果好、互动性强、一源多样等优点[1]。但相比于栅格瓦片地图，矢量瓦片由于数据量分布的不均匀性会带来浏览器加载和渲染效率问题[2-4]，维护矢量地图瓦片的工作量通常更大；且在性能、可视化[5-6]、数据安全性及设备兼容性等方面矢量瓦片也存在一些问题。

基于此问题，本文提出一种仅需构建一套栅格瓦片地图即可实现矢量数据与遥感影像数据融合的瓦片生成方法。该方法利用遥感影像中的地物特征和颜色特征设计配色方案，对矢量数据配色并栅格化，以替换遥感影像相应的像素，最后进行切片发布。从而实现以遥感影像为主、且矢量数据使用很少却又不可缺少的地图应用场景下，进行矢栅数据融合并构建地图瓦片[7-9]。

1　矢栅数据融合方法与实验

1.1　矢量数据与遥感影像数据的融合方法

矢栅一体化思想主要采用张欣[10]研究提出的矢栅

项目来源：江苏省水利科技项目（2022057）；国家自然科学基金资助项目（42376180）。
第一作者简介：毕一鸣（2001—），硕士，研究方向为地理信息系统，E-mail：biyiming2001@163.com。
通信作者：芮小平（1975—），博士，教授，研究方向为遥感地理信息系统理论与应用，E-mail：ruixp@hhu.edu.cn。

一体化结构。本文借鉴该矢栅一体化结构的思想，提出了一种新的融合方法。该方法通过格网形式表示矢量数据，旨在降低操作复杂性并提升遥感地图的可视化效果。

矢量数据一般用来表示点、线、面状地物[11-13]。不同类型的地物有不同的处理方法。按照处理的复杂程度来说，面状地物最为容易、线状地物和点状地物次之。

1）面状地物具有明确的形状和面积，融合后的影像能够有效避免遮挡其他非面状地物的区域，同时又能清晰表达遥感影像中的面状地物特征。

2）线状地物具有明确的形状，但不具备面积。由于栅格数据最小的单元为像素，在线状地物与之融合时，最小线宽占据一个像素宽度。这一特性会引发两个问题：一是当线状地物的线宽所占像素数目较少时，底层瓦片显示效果良好，但随着瓦片级别的降低，重采样后生成的低级别瓦片显示效果逐渐变差；二是当线状地物的线宽占用像素较多时，尽管可以改善低级别瓦片的显示效果，但过宽的线状地物可能会干扰其他遥感影像信息的展示，甚至破坏线状地物的“有形状无面积”的特性。因此，本文提出了一种多级瓦片叠加线状地物的处理方法。

3）点状地物不具备形状和面积，与遥感影像融合时面临的问题与线状地物相似，主要体现在不同级别的地图瓦片融合时需要考虑合适的像素半径。为此，本文采用与线状地物类似的处理方法：在选择若干适当级别后，生成其对应分辨率的遥感影像，叠加不同像素半径的点状地物，并直接生成对应级别的地图瓦片，其余低级别的瓦片则由这些瓦片进行重采样生成。

在地图切片发布过程中，由于屏幕分辨率和可视区域的限制，不同级别的地图瓦片所展示的矢量要素会有所不同。低级别瓦片通常覆盖更广泛的地理范围，而高级别瓦片则展示更详细的地物信息。在低级别的地图瓦片上，为确保地图的简洁性和可读性，通常仅突出显示主要特征和重要地物。通过在不同缩放级别下筛选并展示对用户更为重要的矢量要素，可以显著提高矢量要素在遥感影像中的可视化效果。

1.2 矢量数据与遥感影像数据融合方法实验验证

为了验证矢量数据与遥感数据融合方法的实际效果，本文设计并开展了融合方法实验，旨在探索待叠加的线要素和点要素在不同级别地图瓦片上的适宜像素宽度或像素半径。

在实验过程中，根据地图瓦片相关标准确定了瓦片等级的选取原则。遥感影像作为以像元为单位的栅格数据，其分辨率对制图效果具有重要影响。在地图制图过程中，若成图比例尺过大，可能导致影像模糊甚至失真。同样，在制作网络地图时，采用金字塔技术生成缩放地图瓦片时，需确保原始影像具备适宜的分辨率。对此，OSM（open street map）对于地图瓦片缩放级别的标准也做出了明确规定[11]。

相关学者也提出了一定比例尺地图对遥感影像空间分辨率的需求范围[12]，如表1所示。

表1 一定比例尺对应的影像空间分辨率需求范围

序号	比例尺	空间分辨率
1	1∶1 000	0.2~0.4
2	1∶2 000	0.4~0.8
3	1∶5 000	1.0~2.0
4	1∶10 000	2.0~4.0
5	1∶25 000	2.5~10.0

结合规定中[11]不同缩放级别对应的空间分辨率及比例尺的关系，以及表2中一定比例尺对应的影像空间分辨率需求范围，对于高分二号遥感影像而言，其星下点多光谱相机拍摄的影像空间分辨率为3.24 m，因此，该遥感影像适用于制作15或16层级的地图瓦片。在本文设计的融合方法实验中，选取原始遥感影像生成第15层地图瓦片，并将第15层地图瓦片作为底层瓦片，通过重采样得到上层层级的地图瓦片，以探究分级叠加矢量要素时，不同层级瓦片上线状地物要素适宜的像素宽度及点状地物要素适宜的像素半径。

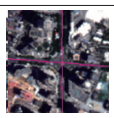
由于本实验之前未进行配色方法的专门实验，矢量要素的颜色设置采用以下原则：统计整幅影像的 H（色相）、S（饱和度）、V（明度）均值，从色相环中选择与平均色相相差180°和120°的2个色相，并将饱和度和明度调整至最高，以此确定本实验中矢量要素的颜色。

1.3 融合方法验证实验结果

首先，确定本实验中矢量要素的配色方案。统计整幅影像的HSV均值为（147.26，67.82，89.05），其中 $H\in[0°,360°)$，$S\in[0,255]$，$V\in[0,255]$，转换后RGB值为（66，89，76）。根据色相环上相距180°的色相，并调节饱和度、亮度至最高后的颜色HSV值为（327.26，255，255），转换后RGB值为（255，0，144）。另外，色相环上与原色相差120°的色相之一，在调节饱和度和亮度至最高后的颜色HSV值为（27.26，255，255），转换后RGB值为（255，111，0），即为本实验中另一矢量要素的颜色。融合方法实验结果如表2、3、4、5所示。

表3中展示了不同像素宽度在13~15层级的显示效果。由对比结果可见，当线要素宽度占2~4个像素

表2　不同像素宽度的线状地物要素在13~15瓦片层级的显示效果对比

像素层级	瓦片层级 15	瓦片层级 14	瓦片层级 13
1~2			
2~3			
3~4			
5~6			
6~7			

宽度时，能够在尽量减少对其他地物的遮挡的同时，较好地表达线状地物的特征，同时在13~15层级的瓦片上较好地显示。因此，该设置兼顾了可视化效果和制作切片的效率。由于低级别地图瓦片层级的空间分辨率逐级降低，每个像素代表的地面范围逐渐增大，因此在12级瓦片中，仅需叠加一个像素宽度的线状地物即可清晰表达。其他低级别瓦片则可以通过重采样12级瓦片生成。

表3展示了在12层级中叠加一个像素宽度的线状地物，以及由12层级瓦片重采样生成的10、11层级瓦片的显示效果。根据表中图像，10~12层级均呈现出较好的显示效果。

表3　在12层级瓦片叠加线状地物要素后10~1瓦片2层级的显示效果

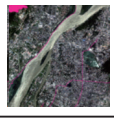
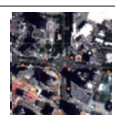
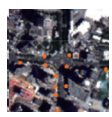
像素层级	瓦片层级 12	瓦片层级 11	瓦片层级 10
1			

表4中展示不同像素半径的点状地物要素在13~15切片层级的显示效果，通过对不同像素半径的点状地物叠加到影像上的对比分析可知，当点要素半径占据3~5个像素宽度时，能够在尽量减少对其他地物遮挡的同时，较好地表达点状地物的特征，并且在14~15层级瓦片上有较好的显示效果。若点要素的分布较为密集，建议在低级别瓦片中减少次要点要素，仅保留主要点要素；若点要素分布较为稀疏，则应适当增大点要素所占的像素半径。通过在13层级瓦片上叠加

表4　不同像素半径的点状地物要素在13~15瓦片层级的显示效果对比

像素层级	瓦片层级 15	瓦片层级 14	瓦片层级 13
2			
3			
4			
5			
6			
7			

3个像素半径的点状地物，并以此为基础重采样生成其他层级的瓦片，可以清晰地表达点状地物。

表5　在13层级瓦片叠加点状地物要素后11~13瓦片层级的显示效果

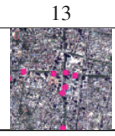
像素层级	瓦片层级 13	瓦片层级 12	瓦片层级 11
1			

表5展示了在13层级瓦片上叠加点状地物要素后，11~13层级瓦片的显示效果。从表中图像可以看出，11~13层级均呈现出较好的显示效果。

2　矢栅数据配色方法与实验

2.1　矢量数据与遥感影像数据融合时的配色方法

在使用图形图像表达空间对象时，通常通过符号的位置来表示要素的空间位置，并结合符号与视觉变量的组合来展示要素的属性数据。地图符号系统中的视觉变量包括形状、大小、纹理、图案、色相、色值和彩度。然而，形状和大小这2个视觉变量不适用于栅格数据，而纹理和图案适用于较低分辨率的制图要求，但在像元较小的情况下，则不再适用。因此，栅格数据的表达主要依赖于不同颜色和颜色阴影的变化[13]。正如引言中所提到的，经过数据融合后，信息的表达主体仍然是遥感影像数据。在遥感影像上表达

少量矢量数据时，采用不同颜色和颜色阴影来区分矢量数据与遥感影像数据之间的差异，或区分不同地物之间的差异，能够实现较好的可视化效果。

地图的配色一般来说要遵循以下原则。首先，地物要素颜色的选择应符合人们的用色习惯：例如，蓝色通常用来表示河流、湖泊，黄色和棕色用于表示沙漠，绿色用于表示植被等。其次，图像整体配色要考虑不同类型要素颜色的协调性：大面积的面要素通常采用饱和度较低的颜色，以避免视觉上的过度刺激；而小面积、少量分布的面要素则可以使用饱和度较高的颜色，以突出显示；线状地物由于形态细长，通常采用饱和度较高的颜色，以便与背景形成明显的对比；点状地物则通常选择与背景有显著对比的颜色，数量较多的点要素可以选择色调较深的颜色，而数量较少的点要素则适宜使用色调较浅的颜色。

在进行地物要素的配色工作时，选择合适的颜色空间十分必要。RGB颜色空间适用于计算机屏幕显示和图像处理，但HSV颜色模型比RGB颜色模型更符合人类对颜色的感知，能非常直观地表达颜色的色调、鲜艳程度和明暗程度。因而在进行配色方法的研究时，首先将影像从RGB颜色空间转换到HSV颜色空间，以进行矢量要素的配色；再将配色结果转换到HSV颜色空间。其转换关系如公式1所示：

$$\begin{cases} H=\arccos\dfrac{2R-G-B}{2\sqrt{(R-G)^2+(R-B)(G-B)}} \\ S=1-\dfrac{3}{(R+B+G)}\min(R+G+B) \\ V=\dfrac{1}{3}(R+G+B) \end{cases} \tag{1}$$

式中，H 为色相，用以反映像元的颜色信息；S 为饱和度，用以反映颜色的深浅程度；V 为明度，用以反映人眼感受彩色光过程中颜色的强弱程度；R、G、B 分别为地物反射的红、绿、蓝3个波段的亮度值。

由于色彩原理十分复杂，在地物要素配色时，本文主要遵循的是使要素与背景之间形成明显对比的原则。鉴于不同地物之间存在种类差异，确定初步配色方案时需特别注意这一点，以确保配色的混淆可能性较小，从而保持较强的对比关系。

在地物要素的配色过程中，主要考虑要素与周围地物之间的颜色对比关系。本文提出的配色方法的基本思路是：根据矢量数据中点、线、面要素在遥感影像上的位置以及颜色特征，统计待配色地物临近区域图像样本的颜色信息，从而确定待叠加要素的大致配色区间。同时，结合根据配色原则预设的若干初步配色方案，最终确定地物的配色方案。

1）在确定面状地物的配色时，首先选取面状地物周围具有代表性的样本图像并将其转换到HSV颜色空间，统计样本的平均色相、饱和度和明度。根据平均色相，选择与之具有明显对比关系的颜色区间，并结合初步配色方案，最终确定面状地物的配色方案。

2）在确定线状地物的配色时，一般有2种情况：一是线状地物两侧颜色差异较大，如河岸线和海岸线，此时可以选取线状地物两侧各占图像50%面积的样本图像，并按面状地物配色方法处理；二是线状地物两侧颜色差异较小或相同，如田埂和乡间小路，此时仅需选择线一侧的代表性样本图像，并按面状地物的配色方法进行处理，最终得到线状地物的配色方案。

3）在确定点状地物的配色时，选取以点为中心并包含邻近地物的样本图像，采用与面状地物相同的配色方法，最终确定点状地物的配色方案。

2.2 矢量数据与遥感影像数据融合时的配色方法实验验证

在配色方法实验中，根据点状、线状和面状三类地物要素的不同特点，从遥感影像中选取相应的样本图像。通过分析这些样本图像的颜色信息，确定待叠加矢量要素的大致配色区间。随后，结合地物的属性特征以及配色的基本原则，制定初步配色方案。最终，结合已确定的配色区间与初步配色方案，形成最终的地物配色方案。

2.3 配色方法实验结果

本实验根据配色原则及矢量要素的特征，制定了初步配色方案，具体内容如表6所示。

表6 初步配色方案

要素类型	名称	特征	配色习惯	深浅色调	饱和度	明度
线	河岸线	细长	蓝	–	高	–
线	地铁线路	细长	–	–	高	–
点	地铁站	数量多	–	深	–	较亮
点	汽车站	数量较多	–	较浅	–	亮
点	市政府	数量为1	–	浅	–	高亮
面	森林	面积大	绿	深	低	–

通过对样本图像在HSV颜色空间中的统计分析，获得了各样本图像的HSV值，并据此确定了对比色色相区间。结合初步配色方案，最终得出了优化后的配色方案。

基于最终配色方案，应用于第15层级地图瓦片上进行颜色渲染。在渲染过程中，线状地物采用2~4像素宽度，点状地物采用3~5像素半径。最终的显示效果如图1所示。

从图1中的图像显示效果可以看出，所采用的配



a 地铁线路和地铁站　b 地铁线路和地铁站以及长途汽车站　c 市政府　d 河岸线　e 森林

图1　显示效果

色方案能够有效地在第15层级地图瓦片上展示不同的地物要素，且显示效果清晰直观。

3　实验与结果讨论

3.1　实验区与数据来源

本文选取中国江苏省南京市作为实验区，使用的遥感影像数据来源于2021年7月31日高分二号卫星多光谱相机拍摄的影像，影像覆盖范围为118.655 656°~118.845 997°E，32.167432°~31.956417°N。矢量数据则选择南京市地铁线路作为线状要素，以及地铁站点作为点状要素。尽管这些矢量要素在遥感影像中难以直接识别，但它们在城市规划、交通管理等领域具有重要的应用价值。

3.2　实验与实验结果

根据前述融合实验和配色实验，采用在第15层级地图瓦片上，将线状要素的像素宽度设置为2~4个像素，点状要素的像素半径设置为3~5个像素的渲染方案进行颜色处理。最终，得到如图1所示的显示效果，其中左侧大图展示了矢量要素在13层级瓦片上的地图显示效果，右侧小图则展示了相同矢量要素在15层级瓦片上的地图显示效果。



图2　矢量要素融合在13与15层级的显示效果

根据图2中的显示效果，不同类型的地物要素在13层级和15层级的地图瓦片上均能够以清晰、准确的方式呈现，显示效果良好。

4　结　语

本文提出了一种较为有效的新方法，该方法通过仅生成一套栅格瓦片，实现遥感影像与矢量数据的融合。实验验证提出的分级叠加方法能够精确处理不同类型的矢量数据在影像中的映射关系，确保了数据的准确融合。此外，配色方案的优化实验是通过选取具有代表性的样本图像，对其在HSV颜色空间进行特征分析，有效地提升了不同地物的视觉辨识度和地图的可读性。

鉴于实验结果的局限性，未来的研究可聚焦于探索更加精细化的叠加算法，和基于数据驱动的自动样本选择和配色优化方法，以提高方法的普适性与自动化水平。

参考文献

[1] 陈举平,丁建勋. 矢量瓦片地图关键技术研究[J]. 地理空间信息,2017,15(8):44-47

[2] Li G, Li J. An Adaptive-size Vector Tile Pyramid Construction Method Considering Spatial Data Distribution Density Characteristics[J]. Computers & Geosciences, 2024, 184: 105 537

[3] 朱笑笑,张丰,杜震洪,等. 顾及要素空间分布特征的稠疏矢量瓦片构建方法研究[J]. 浙江大学学报(理学版),2017,44(5):591-598

[4] Xue Z L, Wu S, Li M, et al. A Novel Method for Regional Prospecting Based on Modern 3D Graphics[J]. Minerals, 2024,14(4):354

[5] Open Street Map Wiki Contributors. (2023). Zoomlevels [EB/OL].(2023-07-01)[2024-06-22]. http://wiki.openstreetmap.org/w/index.php?title=Zoom_levels&oldid=2553097

[6] 李莉,强跃,何泽平. 卫星遥感制图最佳空间分辨率与地图比例尺的适配关系研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(30):18 996-18 997

[7] 汤国安. 地理信息系统教程(第二版)[M] . 北京:高等教育出版社,2019

[8] 祝国瑞,郭礼珍,尹贡白,等. 地图设计与编绘(第二版)[M] . 武汉:武汉大学出版社,2010

[9] Darbyshire J E, Jenny B. Natural-color Maps Via Coloring of Bivariate Grid Data[J]. Computers & Geosciences, 2017,106:130-138

[10] 张欣,王尔琪,陈国雄. GIS中地图配色、显示优化策略与方法实践[C]//中国地理信息系统协会,2 009中国地理信息产业论坛暨第二届教育论坛就业洽谈会论文集,2009

[11] 林翠翠. 基于HIS色彩空间的可见光影像色彩平衡方法[J]. 北京测绘,2023,37(8):1 085-1 089

[12] 国家基础地理信息中心.天地图API[EB/OL]. (2024-01-12) [2024-06-22].http://lbs.tianditu.gov.cn/server/MapService.html.

[13] 王晓辉,吴克河,肖湘宁,等. 电力WebGIS平台研究[J]. 电网技术,2012,36(4):174-178