引文格式：梁雄乾,冯一军,黄婧萍,等. 基于无人机影像识别数据的道路网自动生成方法[J]. 地理空间信息, 2025, 23(10):20–23. doi:10. 3969/j. issn. 1672–4623.2025.10.005

基于无人机影像识别数据的道路网自动生成方法

梁雄乾[1,2]，冯一军[1,2*]，黄婧萍[1]，任　毅[3]，杨　敏[3]
（1. 广西壮族自治区自然资源调查监测院，广西 南宁 530219；
（2. 自然资源部北部湾经济区自然资源监测评价工程技术创新中心，广西 南宁 530219；3. 武汉大学，湖北 武汉 430079）

摘　要：随着人工智能技术在遥感图像解译领域的成功应用，基于无人机影像数据提取道路实体并实施现有地理数据库更新成为关注的热点课题。然而，从影像解译获得的道路数据通常表达为面状数据，同时存在几何图形表达不完备、拓扑连通性破坏等问题，难以直接用于道路制图及数据更新任务。基于此，提出一种基于影像识别数据的完整道路生成方法，通过运用中心线提取算法获取线状道路数据，并修复不同情形的连通性问题，同时发展道路实体的综合选取方法获得不同比例尺表达的道路网数据，满足后续不同尺度道路数据建库与更新的需求。本研究方法可与前端影像识别技术无缝衔接，从而形成完备的道路数据识别提取与融合更新技术体系。

关键词：无人机影像数据；道路实体提取；道路更新；道路网综合
中图分类号：P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672−4623（2025）10−0020−04

Automatic Generation Method for Road Network Based on UAV Image Recognition Data

LIANG Xiongqian[1,2], FENG Yijun[1,2], HUANG Jingping[1], REN Yi[3], YANG Min[3]
(1. Guangxi Institute of Natural Resources Survey and Monitoring, Nanning 530219, China;
2. Technology Innovation Center for Natural Resources Monitoring and Evaluation of Beibu Gulf Economic Zone, Ministry of Natural Resources, Nanning 530219, China;3. Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: With the successful application of artificial intelligence technology in the field of remote sensing image interpretation, extracting road entities based on UAV images to update existing geographical databases has become a hot topic of concern. However, road data obtained by image interpretation is usually expressed as planar data, and there are problems such as incomplete geometric representation and topological connectivity damage, making it difficult to directly apply to road mapping and data update tasks. On basis of these, we proposed a complete road generation method based on image recognition data, using centerline extraction algorithm to obtain linear road data and fix connectivity issues in different situations, and developing a comprehensive selection method for road entities to obtain road network data expressed at different scales, which could meet the construction and update needs of road database at different scales in the future. The proposed method can be seamlessly integrated with image recognition technology, forming a complete technical system for road data recognition, extraction, and fusion update.

Key words: UAV image data, road entity extraction, road update, road network comprehensiveness

基于无人机影像识别道路时，结果通常组织为道路面数据，难以直接用于现有地理数据库中道路目标的更新，而需要进一步提取道路面中心线生成线状路网数据。针对道路面提取道路中心线的问题，关键在于探测边界之间的邻近关系，并正确识别在不同区域与道路边界的配对关系[1−6]。

此外，无人机影像提取的道路面中心线适用于大比例尺表达，面向中小比例尺的制图表达和数据更新任务需要进行制图综合处理[7−9]。与常规道路网数据不同，影像识别的道路数据往往缺乏等级等属性信息，需要在指标选择与规则制定方面进行专门的研究分析[10−13]。

本研究针对不同比例尺道路数据更新的任务需求，提出了一种基于无人机影像识别数据的完整道路生成方法。该方法充分考虑无人机影像识别的道路面数据特点与存在的数据质量问题，通过对经典的道路

项目来源：广西省重点研发计划资助项目（桂科 AB22080077）。
第一作者简介：梁雄乾（1986—），本科，高级工程师，研究方向为自然资源调查监测、测绘地理信息技术应用，E-mail：121971770 @qq.com。
通信作者：冯一军（1976—），本科，高级工程师，研究方向为基础测绘、自然资源调查监测，E-mail：154065@qq.com。

中心线提取方法与综合选取模型进行改造与集成，从而为实现不同比例尺道路网数据的快速生成提供完整的技术解决方案。同时，利用真实数据对本文提出方法进行试验，验证方法的有效性。

1　方　法

如图1所示，本文提出方法主要包括线状道路网生成和道路网综合选取2个基本步骤。前者主要对影像识别的道路面数据提取中心线，并进行拓扑连通性的修复等处理，继而生成线状道路网数据；后者采用综合选取方法对提取得到的道路网数据进行综合简化，从而生成不同尺度表达的道路网数据。

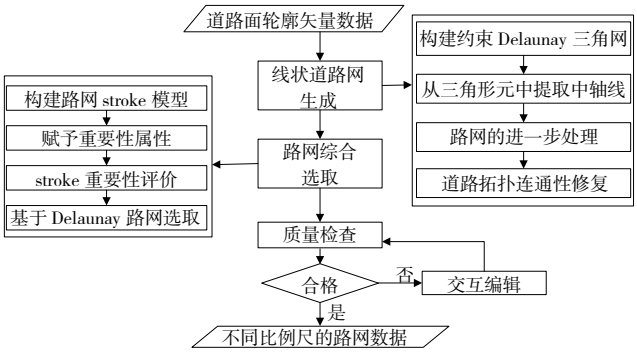


图1　技术框架

1.1　基于约束Delaunay三角网的道路面中轴线提取

Delaunay三角剖分由一系列连续且不重叠的三角形构成，每个三角形的外接圆中都不包含点集中的其他任意点，且具有最大化最小角、最小化外接圆的性质，最大程度的避免了狭长三角形的出现[14]。本文将道路面边界作为约束条件，基于道路面边界点构建约束Delaunay三角网，在此基础上提取道路中心线。为了避免在约束条件下生成的三角网存在细长三角形，预先对道路面边界点进行加密处理。假设道路边界点的集合为$\{P_i\}$，如果$P_iP_{i+1}>\omega$（ω为道路平均宽度，可以根据经验预设定），则加密点集$\{Q_k\}$有：

$$\begin{cases} X_k=-\dfrac{X_i+\lambda_k X_{i+1}}{1+\lambda_k} \\ Y_k=-\dfrac{Y_i+\lambda_k Y_{i+1}}{1+\lambda_k} \end{cases} \tag{1}$$

其中

$$\lambda_k=-\frac{k\omega}{|P_iP_{i+1}|-k\omega}\ (k=1,2,3,\ldots)$$

1.1.1　构建Delaunay三角网

1）将构成道路边界的点集$\{P_i\}$按x坐标排序，并构建一个超级三角形。其中，超级三角形的计算步骤如下：

①遍历点集$\{P_i\}$，分别获得x坐标最小值$x_{\min}$和最大值$x_{\max}$，y坐标最小值$y_{\min}$和最大值$y_{\max}$。

②设超级三角形的3个顶点分别设为P_1、P_2、P_3，计算方法如下：

$$\begin{cases} P_1.x=x_{\min}-\delta;P_1.y=y_{\min}-\delta \\ P_2.x=x_{\max}+\delta;P_2.y=y_{\min}-\delta \\ P_3.x=\dfrac{x_{\min}+x_{\max}}{2};P_3.y=y_{\max}+2\delta \end{cases} \tag{2}$$

式中，δ为一个预设的足够大的距离，以保证所有的道路边界点被包含在超级三角形范围之内。建网时，上述3个顶点首先加入到三角网集合中。

2）按照次序遍历道路边界点集中的每个点p，将该点插入到三角网集合中。

按照上述方法生成Delaunay三角网后，仅保留道路面区域内部的三角形（如图2所示），用于后续道路面中心线的提取。

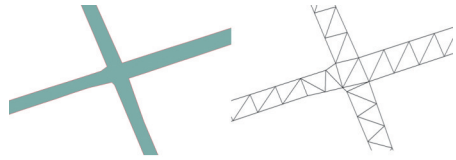


图2　道路面构建Delaunay三角网

1.1.2　三角形类型分析与中心线生成

生成的Delaunay三角网集合由众多相邻的三角形构成，根据三角形之间的邻近关系，可以将集合中的三角形分为三类：① Ⅰ类三角形：只有一条边有邻近的三角形。② Ⅱ类三角形：2条边有邻近的三角形。③ Ⅲ类三角形：3条边均有邻近的三角形。

将2个邻近三角形的公共边称为共享边。第Ⅰ类三角形连接共享边的中点和相对的顶点，第Ⅱ类三角形连接2条共享边的中点，第三类三角形分别将三角形的重心和3条共享边的中点进行连接。依次将这些中点、桥接点连接起来，即可得到道路面的中心线，如图3所示。

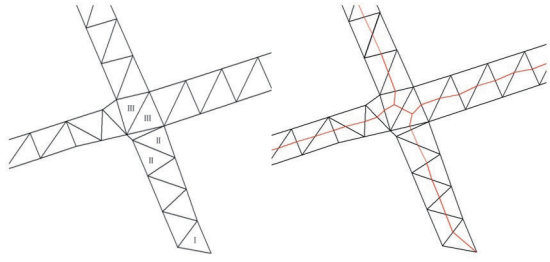


图3　Delaunay三角网的三角形类型分析与中心线提取

1.2　道路网拓扑连通性修复

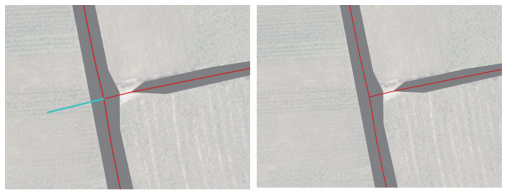
如图4所示，在影像识别阶段部分道路由于受到各种因素影响未被准确识别，导致提取的道路中心线

存在连通性破坏问题。因此，提取的中心线不能直接作为线状道路网数据，需要进行专门的连通性冲突探测与一致性处理。



图4 识别道路连通性破坏示例

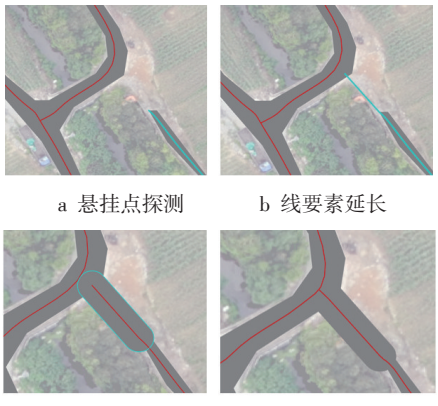
针对上述问题，本研究采用基于缓冲区的方法对道路中心线拓扑连接破坏位置进行探测，并实施补充修复。如图5所示。



a 过连接部分 b 处理后结果

图5 过连接现象处理

将缓冲区与探测到的道路面和原中心线附属的道路面进行融合，对形成的新的整体面要素局部重新提取其中心线，如图6所示。



a 悬挂点探测 b 线要素延长

c 创建缓冲区 d 局部重新生成中心线

图6 提取道路中心线的连通性破坏修复方法

1.3 基于stroke的道路网选取方法

连通性修复后的道路网数据并不能直接应用，需要结合尺度信息进行综合变换处理，以满足不同层次可视化以及更新不同比例尺地理数据库的需求。为此，本研究进一步发展了基于stroke的道路网综合选取方法。

1.3.1 建立道路stroke连接

基于stroke的选取方式即从人的视觉感官出发，根据良好延续性原则，将连通性较好的道路弧段连接为一个“stroke”[15]。适宜的连接策略以方向一致性判断为主，通过相邻弧段之间夹角的大小，提出如下stroke连接步骤：

1）根据已有的道路中心线构建道路网图结构，线要素构成弧段集合 $E\{e_1, e_2, \ldots, e_n\}$，线段顶点构成结点集合 $P\{p_1, p_2, \ldots, p_m\}$

2）逐个遍历结点集合中点的 p_i，如果 p_i 连接的弧段个数大于1，则继续执行。

3）依据弧段间的stroke连接关系将 E 中弧段分组，得到stroke集合 $S\{s_1, s_2, \ldots\}$，其中 $s_i=\{e_j, e_k\}$。

1.3.2 道路弧段等级划分

在道路网的选取过程中，道路等级信息是重要的约束条件，该属性缺失则难以评估道路的重要性。通过深度学习分类技术仅可判别要素大类，无法针对道路要素的类别进行细分，例如主干道路、次要道路等。因此，本文将道路面要素宽度和长度的几何属性转化为道路中心线的重要性属性，作为道路选取过程中的一个约束性条件。

道路弧段的长度属性可以通过计算中心线的长度获得，宽度属性则通过使用道路Delaunay三角网中的Ⅱ类三角形进行近似模拟，具体方法是利用三角形中没有相邻边的高进行计算，然后将宽度按范围阈值进行分类，并将该宽度属性赋予与道路面相交的弧段要素。如图7所示，依据道路的宽度和长度，为对应的中心线赋予的重要性等级，宽度和长度与重要性等级成正比，道路越宽越长，则重要性越大，反之亦然。

本文结合已有数据，按照如图7将道路弧段大致划分为三类：宽度大于10 m，且长度大于100 m的道路弧段为主要道路（Ⅰ类）；宽度小于10 m，且长度大于100 m的道路弧段为次要道路（Ⅱ类）；其余所有长度小于100 m的道路弧段，例如街区内部的狭短道路（Ⅲ类）。



图7 按宽度和长度对弧段进行重要性分组

注：红色表示等级类型为Ⅰ类、黄色表示等级类型为 类、紫色表示等级类型为Ⅲ类。

1.3.3 道路stroke重要性排序与选取

stroke连接完成后，需要按照stroke的重要性进行

选取处理，在综合选取的时候，对于在上一步骤中划分的三类stroke，进行以下操作：Ⅰ类主要道路全部保留，Ⅲ类低等级的道路弧段全部舍弃，而Ⅱ类次要道路在路网中所占比例最多，因此作为路网综合选取的主要对象。同等级的Ⅱ类道路弧段按照道路的连通度越高、长度越长，则重要性越高的优先级[16]，根据一定的比例进行线性选取。

这样的路网选取方式保证了高等级道路被保留，一定程度上也较好地兼顾道路网区域分布密度上的差异，最终得到满足一定比例尺需求下的路网数据。

2　实验结果

本文基于ArcGIS Pro环境，开发了中心线提取插件，并通过缓冲区探测的方式对道路断开处的中心线进行补充，以南宁市某区域的无人机影像解译后的道路面数据为例，生成的中心线结果如图8所示。



图8　部分区域道路中心线

图9和图10展示了不同的选取率下生成的多尺度道路网结果示例。其中，红色表达的弧段代表选取的道路，白色表达的弧段代表舍弃的道路。总体上看，重要道路在综合选取结果中能够得到有效保留，这与本文方法采用Stroke进行道路弧段组织，并同时考虑道路长度和宽度信息有密切关系。同时，实验区域道路网的分布密度在不同比例尺综合结果中也能够得到较好的保持。

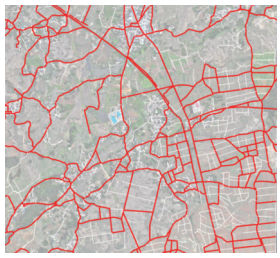
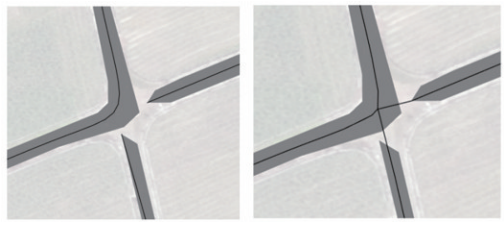


图9　1∶2.5万选取结果（选取率65%）



图10　1∶5万选取结果（选取率40%）

本文方法与ArcGIS提供的相关工具相比较，在以下2个方面存在优势。首先，影像解译得到的道路面数据通常存在局部缺失、断开的现象。图11分别展示了采用本文方法和ArcGIS中心线提取工具获得的线状道路数据。可以发现，本文方法在十字路口区域存在道路面提取不完整的情况下，仍然能够建立正确的拓扑关系。原因在于本文方法设计了专门的缓冲区探测与处理策略。而ArcGIS中心线提取工具缺乏相关考虑，难以解决这一问题。



a　ArcGIS工具提取结果　　b　本文方法提取结果

图11　本文方法与ArcGIS工具中心线提取结果比较

其次，本文将道路弧段组织为stroke单元，能够更好地考虑道路实体的完整信息。同步计算道路面宽度信息并与长度一起作为道路重要性评价指标，使得选取结果更加合理。图12展示了采用本文方法和ArcGIS道路网选取工具获得的结果示例。可以发现，ArcGIS选取工具获得的结果中，一段较宽的主要街道被舍弃，而本文方法由于考虑了道路宽度信息保留了该部分道路弧段。



a　ArcGIS工具选取结果　　b　本文方法选取结果

图12　本文方法与ArcGIS工具选取结果比较

3　结　语

本研究通过缓冲区探测的方法实现道路几何图形不完整导致的连通性问题，根据道路面宽度等识别道路目标的等级属性，并作为道路网选取的决策条件，同时发展基于Stroke的道路网选取模型，最终实现不同比例尺道路网数据的生成。研究结果可为相关工作提供参考。

参考文献

[1]　王安东,武芳,巩现勇,等. 一种城市路网多层次复合网格模式识别方法[J]. 测绘学报,2023,52(11):1 994-2 006

[2]　张俊鑫,郭海京,唐孝培,等. 基于卷积神经网络模型的照片精细化识别研究[J]. 地理空间信息,2023,21(2):11-16

[3]　申传庆,王凯,王文杰. 基于ResNet-UNet的地表覆盖自动

（下转第28页）