

引用格式:Gao Lipeng, Shi Wenzhong, Lv Zhiyong, *et al.* Road Network Extraction based on Airborne LiDAR and High Resolution Remote Sensing Imagery[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28(4): 562-568. [高利鹏, 史文中, 吕志勇, 等. 基于机载 LiDAR 和高分辨率遥感影像的城市道路网提取[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(4): 562-568.]

# 基于机载 LiDAR 和高分辨率遥感影像的城市道路网提取

高利鹏<sup>1,2</sup>, 史文中<sup>3</sup>, 吕志勇<sup>4</sup>, 张 华<sup>1,2</sup>

(1. 中国矿业大学(徐州)国土环境与灾害监测国家测绘局重点实验室, 江苏 徐州 221116;

2. 中国矿业大学(徐州)环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116;

3. 香港理工大学土地测量及地理资讯学系, 香港;

4. 武汉大学遥感信息工程学院, 湖北 武汉 430079)

**摘要:**利用单个数据源的数学形态学道路提取方法不能充分利用道路的特征,提取的道路信息不完整。针对这一缺陷,并考虑到机载 LiDAR 数据可以提供高程信息,提出了将机载 LiDAR 数据和高分辨率遥感影像数据结合起来的道路网的提取方法。以徐州市的机载 LiDAR 数据和高分辨率遥感影像数据作为实验数据,首先将两者进行精确配准,然后利用伪道路信息去除的方法分别将植被信息和建筑物信息等去除,得到基本的道路轮廓,再利用形态细化算法提取道路的中心线,最后,在 ArcGIS 和 Matlab 编程环境下实现了改进的道路修剪算法(IRT),利用该算法进行道路修剪,得到了平滑和连贯的城市道路网。经过精度评价可以看出:利用该方法可以较好地避免建筑物阴影、低矮植被群等对道路提取的影响,道路的识别精度达到 84% 以上。

**关键词:**LiDAR; 高分辨率遥感影像; 道路网提取; 伪信息去除; 数学形态学; 影像配准

**中图分类号:**TP 751 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2013)04-0562-07

## 1 引 言

随着航空和航天遥感技术的快速发展,遥感技术逐渐成为当今社会信息化高速发展不可或缺的重要工具。遥感影像中的城市道路网是国家基础地理信息的一个主要来源,也是地理信息系统应用中建立空间数据库的基础数据。遥感影像中道路信息的提取对 GIS 数据获取、遥感影像理解、制图以及空间数据库更新等方面都有深远的意义<sup>[1-3]</sup>。

机载激光雷达系统(Light Detection And Ranging, LiDAR)是一种新型的综合应用激光测距仪、

IMU、GPS 的快速测量系统,可以直接联测地面物体各个点的三维坐标。机载 LiDAR 数据经过相关软件数据处理后,可以生成高精度的数字地面模型 DTM、等高线图等 4D 产品,具有传统摄影测量和地面常规测量技术难以比拟的优越性,在地形测绘、环境检测、三维城市建模等诸多领域具有广阔的发展前景和应用需求<sup>[4]</sup>。

由于利用机载 LiDAR 数据可以获得地面目标的高程信息,但不能获得地物的语义信息,而高分辨率遥感影像只有平面信息和光谱信息,因此,将 LiDAR 数据与高分辨率遥感影像结合研究道路信息

收稿日期:2012-06-29; 修订日期:2013-03-15

基金项目:国家 863 计划项目(2012AA12A305),国家“十二五”科技支撑技术项目(2012BAJ15B04),江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目(CX10B\_143Z、CXLX12\_0956),江苏高校优势学科建设工程资助项目。

作者简介:高利鹏(1989-),男,河南平顶山人,硕士研究生,主要从事高分辨率遥感影像处理与特征提取方面的研究。

E-mail:gaolipengcumt@163.com。

的提取已经成为国内外众多学者的研究热点。如 Mumtaz 等<sup>[5]</sup>提出了一种融合 LiDAR 数据和遥感影像的分层提取的方法,完成道路信息的提取;Samadzadegan 等<sup>[6]</sup>提出了一种基于多分类器融合(MCS)提取 LiDAR 数据中道路信息的方法;Gong 等<sup>[7]</sup>提出了一种基于聚类的从 LiDAR 数据和遥感影像中自动提取道路信息的方法;Zhan<sup>[8]</sup>提出了一种分层的基于对象的研究土地覆盖/利用的方法,同时也适用于遥感影像的道路提取。这些方法对利用多源数据的道路提取进行了深入探索,大都能取得比较好的效果,但是在充分获取和利用多源数据中道路特征方面还有待提高。

本文将利用伪信息去除和数学形态学的理论和方法,根据高分辨率遥感影像中道路的特点,并结合机载 LiDAR 数据,对高分辨率卫星遥感影像中的道路信息提取方法进行研究,试图获得一种比较合适的道路目标提取方法,进而完善遥感图像道路提取的理论与方法,并获得应用成果。

文章首先介绍了数学形态学的基本运算及其扩展运算,然后对本文提出的道路网提取过程进行了详细的描述并提出了一种改进的道路中心线修剪算法,利用徐州市 0.61 m 空间分辨率的 QuickBird 遥感影像和 LiDAR 数据进行了道路中心线的提取实验,最后对提取结果进行了精度评价和结果分析。

## 2 数学形态学基本理论

数学形态学(Mathematical Morphology)或简称形态学,是一种分析空间结构的理论,之所以称之为形态学是因为其目的在于分析目标的形状和结构。在数学意义上,形态学基于集合理论、积分几何和网格代数。其基本思想是基于像素间的逻辑关系而非代数关系对数字图像进行分析处理,它的一个很大的特点是将大量复杂的影像处理算法用基本的位移和逻辑运算组合来描述和实现,使得运算更加灵活快捷,数学形态学作为一门强大的图像分析技术,越来越广泛地运用于图像处理领域<sup>[9]</sup>。

### 2.1 基本运算

本文所用到的二值数学形态学的基本运算有:腐蚀(或侵蚀)、膨胀(或扩张)、开运算和闭运算,其他运算都基于上述运算<sup>[10]</sup>。

腐蚀:

$$A \ominus B = \{x \mid b \in B, b+x \in A\} \quad (1)$$

膨胀:

$$A \oplus B = \{a+b \mid a \in A, b \in B\} \quad (2)$$

开运算:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

闭运算:

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

其中: $A$ 为待处理二值图像, $B$ 为结构元素。

形态膨胀可以填充图像中的小孔(相对于结构元素较小的孔洞),还有对图像外部滤波的作用;而腐蚀可以消除图像中成分,有对图像内部滤波的作用,并可以缩小图像;开运算具有消除细小物体、在纤细处分离物体的作用;闭运算具有填充细小孔洞、连接临近物体的作用,同时开运算和闭运算都有平滑物体边界的作用<sup>[11]</sup>。

### 2.2 扩展运算

#### 2.2.1 击中击不中变换

击中击不中变换是建立在腐蚀运算基础之上的一种形态变换。它不仅仅局限于探测图像的内部结构或图像外表形状,而是能够对图像的内、外构型同时探测,对于图像中物体与背景的结构分析具有独到之处<sup>[12]</sup>。

利用结构元素对  $B$  对图像  $A$  作击中击不中运算,用符号  $A * B$  表示,其定义为:

$$A * B = (A \ominus E) \cap (A^c \ominus F) \quad (5)$$

其中:结构元素对  $B = (E, F)$ ,  $E$  和  $F$  分别探测图像的内部和外部。

#### 2.2.2 形态细化

形态细化就是把输入的具有一定宽度的图像轮廓用逐次去掉边缘的方法最终变为宽度仅为一个像素的骨架。利用形态细化算法可以获取一个像素宽度的道路中心线。

对于结构元素对  $B = (E, F)$ ,利用  $B$  细化图像  $A$  记为  $A \otimes B$ ,其定义为:

$$A \otimes B = A - A * B \quad (6)$$

利用形态细化算法可以获取一个像素宽度的道路中心线,如图 7(b)所示,为利用形态细化算法在基本的道路轮廓的基础上提取出的道路中心线。

## 3 道路网提取过程

本文的道路提取过程分为 4 个步骤,包括 LiDAR 点云数据和高分辨率遥感影像的配准、伪道路信息的去除、非道路图斑噪声的去除以及道路中心线的提取。提取流程如图 1 所示。

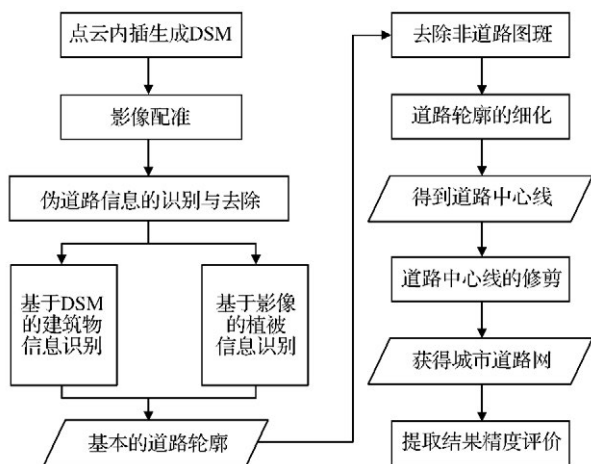


图 1 结合 LiDAR 数据和高分辨率遥感影像的道路网提取方法流程图

Fig. 1 The flow chart of the road network extraction method using LiDAR data combined with high resolution remote sensing imagery

### 3.1 数据的预处理

#### 3.1.1 点云数据内插

由于激光采样点的密度限制了由 LiDAR 点云数据制作的 DSM 或者 DEM 的空间分辨率,因此有必要以原始激光采样点为基础进行插值运算,通过重采样来补充采样点数量和密度上的不足,以达到提高空间分辨率的目的。本文采用反距离加权插值法进行点云数据的插值,从而生成 DSM 数据。

反距离加权插值法(Inverse Distance Weighted Interpolation, IDW)以插值点与样本点之间的距离为权重,其权重值与距离成反比,插值点越近的样品点赋予的权重越大。具体表示为:

$$\tilde{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (7)$$

其中: $\tilde{Z}(s_0)$  为  $s_0$  点的预测值, $N$  为  $s_0$  点周围已知点的数量, $\lambda_i$  为已知点的权重, $Z(s_i)$  为已知样本点  $s_i$  的测量值。在式(1)中,权重  $\lambda_i$  可以表示为:

$$\lambda_i = d_{i0}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p} \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (9)$$

其中: $d_{i0}$  为已知点  $s_i$  到插值点  $s_0$  的距离, $p$  为权重指数,它的作用是控制权重随着距离  $d_{i0}$  的增大而下降的程度。

本文采用反距离加权插值法对 LiDAR 点云数据进行重采样生成规则的灰度影像 DSM,以便于影像配准。

#### 3.1.2 遥感影像配准

图像配准在数学上的定义为:给定两幅待配准的图像,其中之一为基准图像,另一个为待配准图像,则称图像配准为两幅图像在坐标位置和灰度级上的双重映射变换。其目的是达到两个图像的内容在拓扑上的对应和几何上的对齐,即建立两幅图像内容的对应关系,并使相对应的内容在位置上对齐<sup>[3]</sup>。

由于机载 LiDAR 和遥感影像所采用的光学系统不同,而且具有不同的空间坐标系统,因此要首先对其进行空间配准。本文采用控制点法进行坐标变换,为了防止配准后影像的扭曲和变形,如图 1 所示,本文采用仿射变换公式,通过最小二乘法拟合对控制点进行操作,具体为:

$$\begin{cases} x' = Ax + By + C \\ y' = Dx + Ey + F \end{cases} \quad (10)$$

其中: $x$  和  $y$  分别为影像空间中的列数和行数, $x'$  和  $y'$  分别为坐标空间中的水平值和垂直值, $A$  为以地图单位计的像元宽度, $B$  为旋转项, $C$  为左上角像元中心的  $x'$  值, $D$  为旋转项, $E$  为以地图单位计的像元负高度, $F$  为左上角像元中心的  $y'$  值。

其残差计算公式为:

$$\text{RMS} = \sqrt{(x' - x_{\text{orig}})^2 + (y' - y_{\text{orig}})^2} \quad (11)$$

其中, $x_{\text{orig}}$  和  $y_{\text{orig}}$  是影像中 GCP 的原始行列坐标, $x'$  和  $y'$  是由变换公式计算出的坐标。

### 3.2 伪道路信息的识别与去除

违背信息根本特征的信息称为伪信息<sup>[13]</sup>。而本文研究的伪道路信息是指容易与高分辨率遥感影像中的道路信息造成混淆的非道路信息,如建筑物及其阴影、植被群、孔洞等。伪道路信息的去除也是对遥感影像的预处理过程,为后续道路中心线的提取扫清了一些障碍<sup>[14]</sup>。

#### 3.2.1 基于 DSM 的建筑物信息的提取

由图 2 可以看出,建筑物轮廓在用 LiDAR 点云数据构建的 TIN 上很明显,因为建筑物相对于地面来说,具有较高的高程。根据这一点,首先将配准后的点生成 DSM,如图 2(a)所示,然后将生成的 DSM 转换成灰度深度影像,利用深度直方图分割提取建筑物边缘信息,结果如图 2(b)所示。

#### 3.2.2 基于遥感影像的植被信息提取

植被信息在高分辨率遥感影像上表现为深绿色或浅绿色的区域<sup>[15]</sup>。

本文采用基于监督分类的植被提取方法。首先,选择样本数据(Sample Data),然后选择分类器,

这里分别选择最小距离分类器、最大似然分类器、马尔科夫距离分类器和神经网络分类器 4 种分类器进行分类,获得的提取结果如图 3 所示。

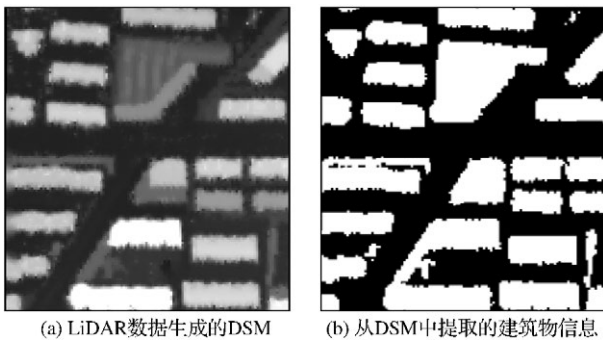
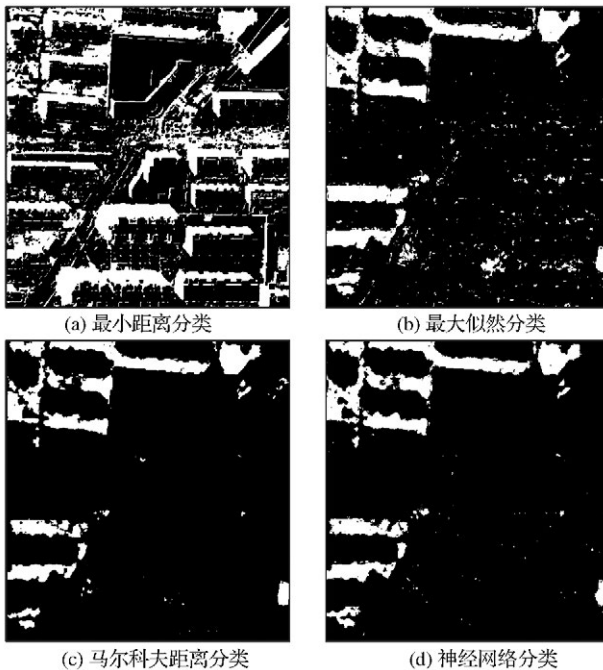


图 2 基于 DSM 的建筑物信息的提取

Fig. 2 Building information extraction based on the DSM



(白色部分为植被,黑色部分为非植被区域)

图 3 监督分类结果

Fig. 3 The supervised classification results, in which the white part is vegetation, the black part is non-vegetation

### 3.2.3 提取道路轮廓

在以上步骤的基础上,将获得的建筑物信息(图 2(b))和植被信息(图 3(c))通过图像相加使之叠加到一幅图像上,获得一幅二值图像,如图 4(a)所示;然后用同样大小的图像减去叠加图像,就得到了基本的道路轮廓,结果如图 4(b)所示。

### 3.2.4 图像非道路图斑的去除

经过以上处理,图 4(b)中的非道路图斑主要表现为尺寸较小的点状信息。为了去除这些细小的点

状图斑,可以根据图像的特征选择尺寸逐渐增大的圆形结构元素进行形态滤波处理,处理后的结果如图 7(a)。

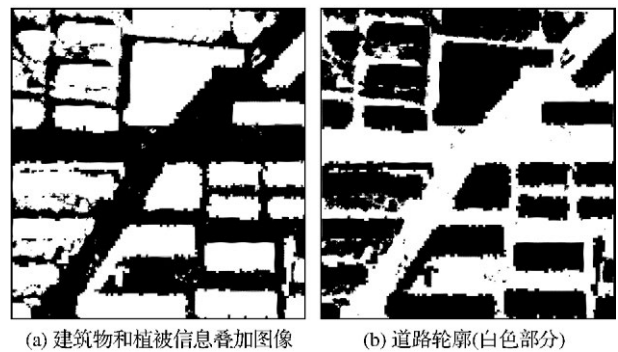


图 4 道路的初始轮廓

Fig. 4 The road initial contour

### 3.3 道路的细化和修剪

利用形态滤波将非道路图斑去除后,道路的轮廓被提取出来。但是道路网络信息中仍存在着一些不足,如道路截断、道路中的孔洞和边缘存在“毛刺”等现象,因此需要对道路做进一步的完善。

#### 3.3.1 道路细化

道路提取的最终目的是得到量化的地理信息并添加到数据库中,在完善道路的基础上提取道路中心线构成矢量道路网络。形态细化可以获取一个像素宽度的道路中心线,利用式(6)的形态细化算法,在 Matlab 编程环境下实现对道路图像进行形态学细化,其结果如图 7(b)所示,得到了量化的道路网络。

#### 3.3.2 道路修剪

经过细化后得到的道路中心线有许多“毛刺”,这些“毛刺”或者是非道路部分,或者是一些小的岔路,因此,为了便于显示主要道路,需要将小于一定阈值的“毛刺”删去。在这里,本文规定:一个 T 型结点是有一个小临域的连接了 3 条线段的结点;而一个十字型结点代表了有一个小临域的 4 条线段的交叉点。

基于道路知识,本文提出一种改进的连接缝隙和去除短线段的道路修剪算法(Improved Road Trimming Algorithm)<sup>[16]</sup>,具体流程如图 5 所示。

## 4 实验案例

### 4.1 数据准备

本文的研究采用徐州市城区的遥感影像和机载 LiDAR 点云数据进行实验。其中遥感影像采用空间分辨率为 0.61 m 的 QuickBird 多光谱影像(包括

R、G、B 3 个波段, 已完成影像融合), 机载 LiDAR 点云数据的航带间距为 5 m, 如图 6 所示, 图 6(a) 为徐州地区的高分辨率遥感影像, 图 6(b) 为徐州地区的 LiDAR 点云数据。

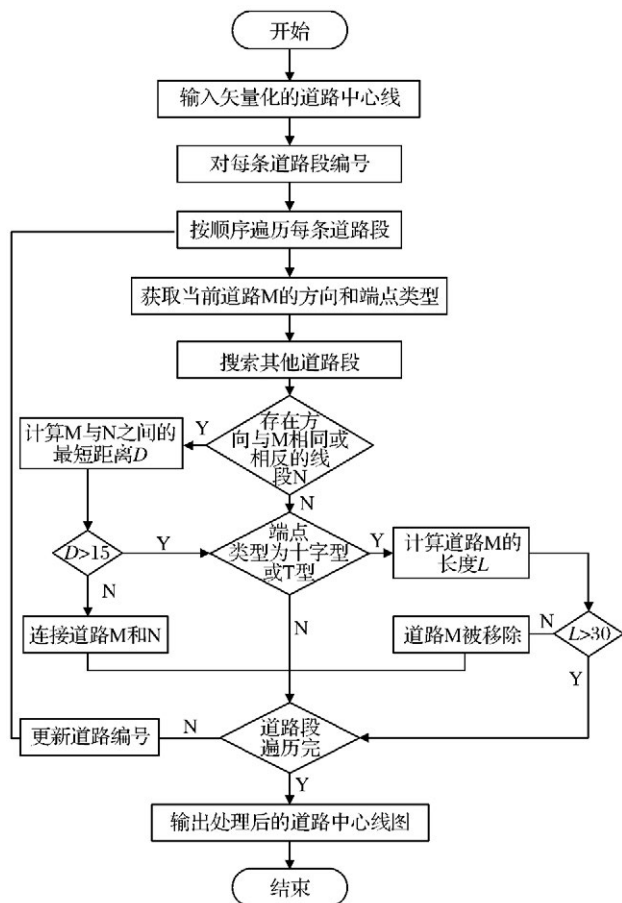


图 5 IRT 算法流程图

Fig. 5 The flow chart of the Improved Road Trimming algorithm

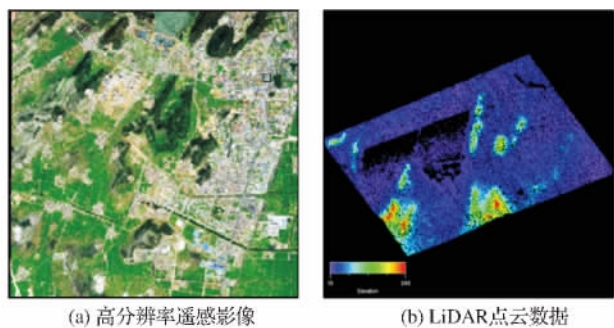


图 6 徐州地区的两种数据

Fig. 6 The two source data of Xuzhou

#### 4.2 道路网提取结果

利用本文提出的道路提取过程和 IRT 算法, 最终提取的道路中心线如图 7(c) 所示, 叠加图像如图 7(d) 所示。

比较和分析实验结果图可以看出, 经过伪道路

信息去除后的道路图像在经过噪声滤除、道路连接、孔洞填充、边缘点的毛刺去除和缝隙连接等一系列步骤后, 较好地实现了从高分辨率遥感影像中快速准确地提取道路中心线的目的。

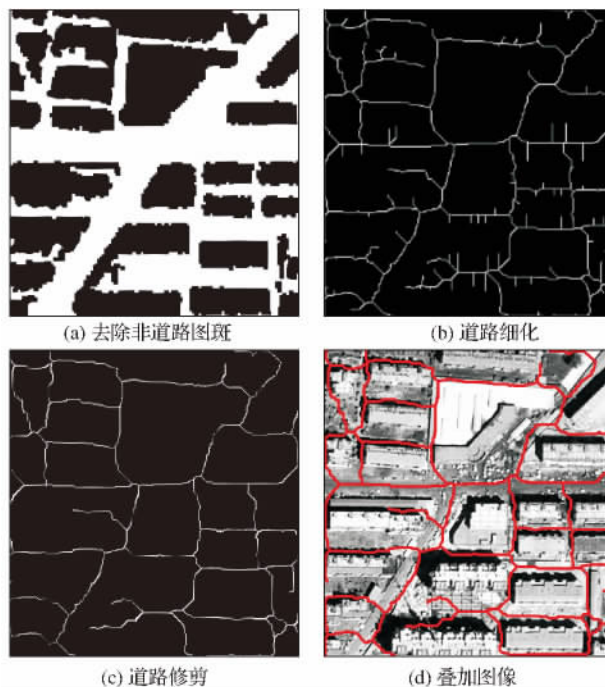


图 7 道路提取结果

Fig. 7 The road-centerline extraction result

#### 5 精度评价

根据道路等线性目标的长度, 本文在文献[15]中识别精度、遗漏误差、冗余误差 3 个评价因子的基础上, 增加提取误差评价因子, 并根据这 4 个评价因子评价提取方法的优劣。这 4 个参数的计算公式如下:

$$\text{识别精度} = \frac{\text{正确识别的道路长度}}{\text{提取道路的总长度}} \quad (12)$$

$$\text{遗漏误差} = \frac{\text{遗漏的道路长度}}{\text{提取道路的总长度}} \quad (13)$$

$$\text{错分误差} = \frac{\text{错分的道路长度}}{\text{提取道路的总长度}} \quad (14)$$

$$\text{提取误差} = \frac{|\text{提取道路的总长度} - \text{真实道路的总长度}|}{\text{真实道路的总长度}} \quad (15)$$

这里, 遗漏的道路是错误地被识别为背景的道路, 错分的道路是被错误地定义为道路的背景。提取道路的总长度是指利用本文的方法提取出的道路的总长度; 真实道路的总长度是指实测的道路网的总长度, 它利用一种更为精确的方法从原始图像中测量。基于两种数据源提取得到的道路网的统计结果和根据以上 4 种误差指标计算的结果, 如表 1 和表 2 所示。

表1 基于两种数据源提取的道路网的统计信息 (单位:m)

Table 1 The statistic information of the road network extracted by two data sources (Unit:m)

数据源	提取道路总长度	正确识别的道路长度	遗漏的道路长度	错分的道路长度
Image	1 263.25439	1 111.266184	2034.29910000	151.9882058
Image+LiDAR	4 258.09248	3 585.879955	83.00510268	672.2125283

表2 道路提取精确度的统计信息(真实道路总长度为 3 646.165719 m)

Table 2 The statistic information of the extracting accuracy of the road network

数据源	识别精度/%	遗漏误差/%	错分误差/%	提取误差/%
Image	65.85	54.03	34.15	12.47
Image+LiDAR	84.21	1.95	15.79	16.78

如图 7(d)所示,从叠加目视分析和统计结果的定量分析可以看出,利用本文提出的方法加入机载 LiDAR 信息以后,提取出的道路网络具有很高的识别精度以及较低的遗漏误差和提取误差,但同时错分误差相对较大,这是由于在道路提取的过程中对遥感图像进行的过分割造成的。

## 6 结 语

本文主要实现了综合利用机载 LiDAR 和高分辨率遥感影像两种数据源的城市道路网的提取,从中可以发现:利用本文提出的方法,能够显著提高道路网络中心线提取的精确度和效率,该方法的主要思想是基于影像对象的分层提取,它的关键点在于 LiDAR 点云数据和高分辨率遥感影像的空间配准。

研究结果表明,基于 LiDAR 和高分辨率遥感影像的道路信息提取方法可以高效准确地提取出城区道路的中心线矢量图,将其和原始遥感影像叠加发现:提取出的道路网络与城区道路基本吻合。另外,由于分层提取和综合利用两种数据源的原因,在分别从两种数据源中提取建筑物信息和植被信息的过程中,容易造成误差的积累,将会最终增加道路网络提取的不确定性。因此,如何降低道路中心线提取过程的不确定性,如何进一步提高道路信息提取的精确度和自动化程度,将是未来需要深入研究的主要内容。

### 参考文献 (References):

- [1] Shi Wenzhong, Zhu Changqing, Wang Yu. Road Feature Extraction from Remotely Sensed Images: Review and Prospect [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2001, 30(3): 257-261. [史文中, 朱长青, 王昱. 从遥感影像提取道路特征的方法综述与展望[J]. 测绘学报, 2001, 30(3): 257-261.]
- [2] Zuo Juan. Urban Road Extraction from High Resolution Remote Sensing Imagery based on Mathematical Morphology [D]. Nanchang: Jiangxi University of Science and Technology, 2009. [左娟. 基于数学形态学的高分辨率遥感影像城市道路提取[D]. 南昌: 江西理工大学, 2009.]
- [3] Yang Xianwu, Chi Zhifeng, Yao Gaowei. A Shape Reconstruction Method Road Extract from High Resolution Remote Sensing [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(6): 758-762. [杨先武, 崔志锋, 姚高伟. 一种形态重建的遥感影像城市道路提取方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(6): 758-762.]
- [4] Wu Jiguang. Research of the Land Feature Extraction based On the Fusion of LiDAR and Remote Sensing Images [D]. Beijing: Capital Normal University, 2009. [武继广. 基于 LiDAR 与遥感影像融合的地物提取研究[D]. 北京: 首都师范大学, 2009.]
- [5] Mumtaz S A, Kevin M. Fusion of High Resolution LiDAR and Aerial Images for Object Extraction [C]//2nd International Conference on Advances in Space Technologies. Islamabad, 2008: 137-142.
- [6] Farhad S, Michael H, Behnaz B. Automatic Road Extraction from LiDAR Data based on Classifier Fusion [C]//2009 Urban Remote Sensing Joint Event. Shanghai, 2009: 1-6.
- [7] Gong L, Zhang Y S, Li Z G. Automated Road Extraction from LiDAR Data based on Intensity and Aerial Photo [C]//3rd International Congress on Image and Signal Processing. Yantai, 2010: 2130-2133.
- [8] Zhan Q M. A Hierarchical Object-based Approach for Urban Land-use Classification from Remote Sensing Data [D]. Wageningen: Wageningen University, 2003.
- [9] An Ru, Feng Xuezhi, Wang Huilin. Road Feature Extraction from Remote Sensing Classified Imagery based on Mathematical Morphology and Analysis of Road Networks [J]. Journal of Image and Graphics, 2003, 8(7): 798-804. [安如, 冯学智, 王慧麟. 基于数学形态学的道路遥感影像特征提取及网络分析[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(7): 798-804.]
- [10] Zheng Li, Pan Jianping. Extraction of Roads from Remote Sensing Images based on Mathematical Morphology [J]. Railway Investigation and Surveying, 2010, (1): 12-15. [郑丽, 潘建平. 基于数学形态学的遥感影像道路提取[J]. 铁道勘察, 2010, (1): 12-15.]

- [11] Hu Haixu, Wang Wen, He Houjun. City Road Extraction from High Resolution Remote Sensing Imagery based on Texture and Mathematical Morphology[J]. Geography and Geo-Information Science, 2008, 24(6): 46-49. [胡海旭, 王文, 何厚军. 基于纹理特征与数学形态学的高分辨率影像城市道路提取[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24(6): 46-49.]
- [12] Li Liwei, Liu Jiping, Yin Zuwei. Road Extraction from High Resolution Remote Sensing Image based on Mathematic Morphology[J]. Remote Sensing Information, 2005, (5): 9-11. [李利伟, 刘吉平, 尹作为. 基于数学形态学的高分辨率遥感影像道路提取[J]. 遥感信息, 2005, (5): 9-11.]
- [13] Xiao Lequn. The Causes, Harm and Countermeasures of Pseudo Information[J]. Knowledge of Library and Information Science, 1994, 3: 33-34. [肖乐群. 伪信息产生的原因、危害及消除对策[J]. 图书情报知识, 1994, 3: 33-34.]
- [14] Zhu Xiaoling, Wu Qunyong. Study on the Method of Extracting City Roads from the High Resolution Remote Sensing Image[J]. Resources Environment & Engineering, 2009, 23(3): 296-299. [朱晓铃, 邬群勇. 基于高分辨率遥感影像的城市道路提取方法研究[J]. 资源环境与工程, 2009, 23(3): 296-299.]
- [15] Zhang Haixia, Bian Zhengfu. Method for Vegetation Information Extraction from Remote Sensing Images[J]. Geospatial Information, 2007, 5(6): 65-67. [张海霞, 卞正富. 遥感影像植被信息提取方法研究及思考[J]. 地理空间信息, 2007, 5(6): 65-67.]
- [16] Zhu C, Shi W, Pesaresi M. The Recognition of Road Network from High Resolution Satellite Remotely Sensed Data Using Image Morphological Characteristics[J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(24): 5493-5508.

## Road Network Extraction based on Airborne LiDAR and High Resolution Remote Sensing Imagery

Gao Lipeng<sup>1,2</sup>, Shi Wenzhong<sup>3</sup>, Lv Zhiyong<sup>4</sup>, Zhang Hua<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory for Terrestrial Environment and Geohazards Monitoring of State Bureau of Surveying and Mapping, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

2. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 3. Department of Land Surveying and Geo-Informatics,

The Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong;

4. School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** The conventional mathematical morphology method using single data source to extract road network which could not take full advantage of the road characteristics, the extracted road information was not complete. In view of this drawback, and base on the airborne LiDAR data can provide elevation information, this paper proposes a method which combines the airborne LiDAR data with high resolution remote sensing images to extract city road network. The airborne LiDAR data and high resolution remote sensing QuickBird images of Xuzhou were taken as the experimental data, the precise registration between them were first done, then the FRIR (False Road Information Removing) method was used to remove the vegetation and buildings separately, so the basic road contour was displayed. Finally, this paper achieved an Improved Road Trimming (IRT) algorithm under the ArcGIS and Matlab programming environment, the road network was trimmed by the algorithm, then a smooth and continuous city road network was obtained. The result of the accuracy evaluation indicates that the method was proposed can be used to avoid the influence of the building shadow, city squares, parking lots and the vegetation groups on both sides of the road to the road centerlines extraction well, and the recognition accuracy of the road network is more than 84%.

**Key words:** LiDAR; High resolution remote sensing images; Road network extraction; False road information removing; Mathematical morphology; Image registration