doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.03.026

基于无人机遥感与面向对象法的田间渠系分布信息提取

韩文霆[1,2]　张立元[1]　张海鑫[1]　师志强[1]　苑梦婵[1]　王紫军[1]

(1.西北农林科技大学机械与电子工程学院,陕西杨凌 712100;
2.西北农林科技大学水土保持研究所,陕西杨凌 712100)

摘要:针对目前农田灌排系统识别研究中遥感影像分辨率不足,难以提取田间毛渠且对无水或少水灌排沟渠识别不足等问题,以内蒙古河套灌区磴口县坝楞村为研究区域,利用固定翼无人机搭载 520~920 nm 多光谱相机进行航拍试验,采用基于面向对象法的特征组合分层分类的提取方法对获取的高分辨率单幅多光谱影像数据进行解译,采用分割阈值为 65、合并阈值为 90 的遥感影像最佳分割参数。利用含水田间毛渠和无水、少水田间毛渠在光谱、几何、空间关系等特征参量中表现出的与其它地物的特异性,建立不同分类层次的规则提取田间毛渠分布信息。提取结果表明,由于水体对近红外波段光谱的强烈吸收,含水毛渠提取效果很好,精度达到 97.8%;无水、少水田间毛渠提取精度为 75.7%。无人机遥感技术和面向对象法的特征组合分层分类方法为灌区田间渠系识别提供了一种新途径。

关键词:灌区渠系分布;信息提取;无人机遥感;多光谱遥感图像;田间毛渠;面向对象法

中图分类号:S127;TP79　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2017)03-0205-10

Extraction Method of Sublateral Canal Distribution Information Based on UAV Remote Sensing

HAN Wenting[1,2]　ZHANG Liyuan[1]　ZHANG Haixin[1]　SHI Zhiqiang[1]　YUAN Mengchan[1]　WANG Zijun[1]

(1. *College of Mechanical and Electronic Engineering*, *Northwest A&F University*, *Yangling*, *Shaanxi* 712100, *China*
2. *Institute of Soil and Water Conservation*, *Northwest A&F University*, *Yangling*, *Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: In order to solve the problem that difficult to extract distribution information of sublateral canal without water or with less water caused by low resolution of remote sensing image, a hierarchical classification method of feature combination was proposed, which was based on object-oriented classification method. Bangleng village in Hetao Irrigation District was chosen as the study region, and multi-spectral images were obtained by using fixed-wing unmanned aerial vehicle (UAV) which carried multi-spectrum camera (520~920 nm). After a lot of experiments, finally, the segmentation threshold value of 65 and the combined threshold value of 90 were chosen as the best remote sensing image segmentation parameters, then can interpret the obtained high resolution multi-spectral image data. By comparing the spectrum, geometry, spatial relationships between sublateral canal and the other surface features, different levels of classification rules were established to extract sublateral canal distribution information. And 14 sublateral canals in the study region were extracted. The results showed that due to the strong absorption in near infrared spectrum of water, the extraction accuracy of sublateral canal with water was 97.8%; the extraction accuracy of sublateral canal with less water or no water was 75.7%. Using UAV remote sensing techniques and combination of features object-oriented hierarchical classification method provided a new way to identify sublateral canal in irrigation area. And future research should focus on eliminating the effect of trees, weeds and gate, as well as extracting canal which in both sides had surface features with close spectrum.

Key words: distribution of canal system in irrigation districts; information extraction; UAV remote sensing; multispectral remote sensing image; sublateral canal; object oriented method

收稿日期:2016-07-01　修回日期:2016-09-12

基金项目:科技部国际合作项目(2014DFG72150)和杨凌示范区工业项目(2015GY-03)

作者简介:韩文霆(1972—),男,研究员,博士生导师,主要从事无人机遥感与精准灌溉技术研究,E-mail:hanwt2000@126.com

引言

农田灌溉渠系作为灌溉农业最主要的水利设施,通过干、支、斗、农、毛等多级灌溉渠系高效、合理地分配农业水资源,是现代灌溉农业赖以生存和发展的基础[1-7]。随着遥感技术的应用越来越广泛[8-9],农田灌溉渠系遥感监测已经成为灌溉信息化技术的重要内容和研究热点。目前,农田灌排系统分布信息提取研究主要基于卫星遥感影像数据[10-16],数据获取受重访周期限制且相应多光谱遥感影像分辨率没有达到亚米级,难以提取渠顶宽度小于 2 m 的田间毛渠;所采用的光谱特征参量依赖于水体对近红外波段的强烈吸收作用,进而对无水或少水灌排沟渠识别不足。无人机遥感系统凭借其运载便利、灵活性高、作业周期短、影像数据分辨率高等优势,在各领域遥感监测中得到越来越多的应用[17-24]。高分辨率低空无人机遥感影像在表达地物几何、纹理、拓扑关系等特征参量方面更加细致,增强了对地物类型的识别能力,使得农田灌溉渠系分布信息的提取更加快捷、细致[25-26],使得田间毛渠分布信息的遥感监测成为可能。

农田灌溉渠系现有的提取方法主要为监督分类法与目视解译的结合[15-16]、自组织分类[14]、支持向量机[10]及面向对象法[11-13]等。监督分类法与目视解译结合的方法虽然识别精度较高,但自动化程度低;目前,自组织分类方法在试验区域地表覆盖情况简单,地物异质情况不复杂的情况下效果较好;面向对象法通过影像分割较好地解决了噪声问题并且可以充分利用渠系的几何、光谱和空间关系等特征参量,在地表覆盖情况复杂时也具有较高的识别精度,可以满足灌溉渠系遥感监测快速、准确的工作要求[12,27]。许迪等[16]利用监督分类、NDVI 指数对山东簸箕李灌区的灌排沟渠进行自动化探测,效果不甚理想,无法识别无水及少水沟渠、农毛渠等。郭云开等[14]采用自组织分类方法对土地复垦工程中的灌排沟渠干渠进行提取,根据目视解译结果通过图斑合并或修改的方式得到最终提取结果。吴健生等[12]采用面向对象分类的方法,基于渠系的有水特征、几何特征对土地整理区农田灌排沟渠进行识别,识别精度为 89.64%,但未对田间毛渠进行识别研究。乔贤哲等[13]采用面向对象分类的方法对农田灌排沟渠进行了提取,但对于行道树遮挡或阴影区域、无水或少水沟渠识别不足。

针对上述农田灌排渠系识别研究中遥感影像分辨率低,难以提取田间毛渠且对无水或少水灌排渠系识别不足等相关问题,本文利用无人机遥感技术和基于面向对象法的特征组合分层分类的提取方法,结合田间毛渠与各地物在光谱、几何、空间关系等特征参量上的特异性,构建规则进行田间毛渠的提取方法研究。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况及渠系分布

无人机航拍飞行试验于 2015 年 6 月 27 日在内蒙古自治区河套灌区磴口县坝楞村进行,地理范围为东经 107°1′41″ ~ 107°3′44″,北纬 40°24′4″ ~ 40°25′48″,多云天气。试验区从沈乌干渠引水通过分干渠、支渠、斗渠、毛渠等的分布进行农田浇灌,主要种植作物为玉米、向日葵、小麦,灌溉面积约为 688 hm^2。通过实地考察确定了研究区内渠系的类型和分布,利用卷尺对实验区灌渠内主要灌溉渠的空间结构进行了实地测量,确定了部分干渠、支渠、斗渠、毛渠的结构参数,统计结果见表 1。由实地测量结果可以看出,研究区内的干渠、支渠在宽度和深度上都明显大于田间斗、毛渠;田间斗、毛渠多为人工挖凿,结构参数上没有统一的标准,其渠顶宽度一般小于 2 m,为田间渠系分布信息提取方法研究重点。

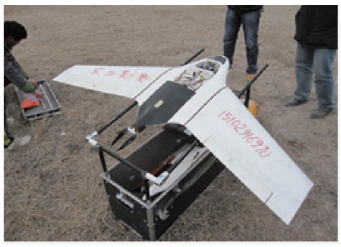
表 1 研究区渠系结构参数

Tab.1 Canal structural parameters of study area m

渠的类型	渠顶宽度	渠底宽度	渠深度	渠底海拔高度
干渠	17.0	15.0	2.0	1 035
支渠	6.5	3.6	1.5	1 017
支渠	7.5	2.9	2.0	1 023
斗渠	2.2	1.1	0.6	1 019
斗渠	1.9	1.4	0.6	1 042
斗渠	1.9	0.6	0.7	1 044
斗渠	1.8	0.6	0.4	1 012
毛渠	1.0	0.6	0.3	1 042
毛渠	1.3	0.5	0.2	1 044
毛渠	2.1	0.6	0.9	1 038
毛渠	1.6	0.6	0.7	1 038

1.2 基于无人机遥感系统影像数据的获取

试验采用北京天宇创通科技有限公司生产的 T-EZ(特易飞)固定翼无人机,搭载 ADC Micro 多光谱相机作为遥感数据采集平台,如图 1 所示。无人机及机载传感器主要参数见表 2 和表 3。航拍飞行相对航高为 495 m,共获取高分辨率多光谱遥感影像 359 幅,地面分辨率为 0.19 m,波段范围为 520 ~ 920 nm,单幅图像覆盖面积约为 11.11 hm^2,图像主体部分为灌溉渠系、作物植被等。本文主要利用单幅多光谱遥感影像进行田间毛渠的提取方法研究。



(a) T-EZ固定翼无人机



(b) ADC Micro多光谱相机

图 1　无人机及机载传感器

Fig. 1　Unmanned aerial vehicle and airborne sensor

表 2　无人机主要参数

Tab. 2　Main parameters of UAV

参数	数值
翼展/m	1.6
起飞质量/kg	4
有效载荷/g	500
续航时间/min	80 ~ 90
通讯半径/km	10
巡航速度/(km·h^{-1})	70
最大平飞速度/(km·h^{-1})	120

表 3　ADC Micro 多光谱相机主要参数

Tab. 3　Main parameters of ADC Micro

参数	数值
相机型号	Tetracam ADC Micro
分辨率/(像素 × 像素)	2 048 × 1 536
传感器尺寸/(mm × mm)	6.55 × 4.92
波段/nm	520 ~ 920
焦距/mm	8.43
光圈	f/3.2
质量/g	90
尺寸/(mm × mm × mm)	75 × 59 × 33

2　面向对象的田间渠系分布信息提取方法

采用面向对象法的特征组合分层分类方法提取田间渠系分布信息。该方法以影像对象为最小分类单元,充分利用影像中地物的特征,在较高层次上对遥感影像进行分类[28-29]。影像对象是指影像分割后若干“同质”像素的集合,具有丰富的语义信息,弥补了传统的基于像元的分类方法存在的语义信息缺陷,使得分类结果更加精确[30]。其技术流程如图 2 所示,关键步骤包括影像分割、特征选取、建立规则及分类。

2.1　田间渠系无人机遥感影像分割方法及分割参数确定

面向对象田间渠系信息提取的关键是影像分割,影像分割的目的是把图像分成若干个有意义的连续区域,使得每个区域有着均匀一致的光谱、纹理、形状性质且区域间互不重叠,分割结果的质量直接影响后续信息识别提取的精度[31-32]。在高分辨率无人机遥感影像中,渠系表现为具有一定长度及宽度的面状地物,与周边地物的差异较为明显,适合应用边缘检测分割方法。然而,由于边缘检测分割方法较差的抗噪性及高分辨率遥感影像中丰富的细节信息,使得单纯的边缘检测方法不会取得较好的效果[33],因此本研究采用将边缘检测与合并算法相结合的方法实现遥感影像的多尺度分割。在 ENVI 软件平台上利用面向对象特征提取模块(feature extraction)实现了上述方法。目前,图像分割的评价方法主要有目视解译、定量评价和间接评价,其中目视解译方法应用最广[34-36]。目视解译是主观的、定性的,通过人为判断分割结果的好坏,没有定量化的判别标准;但是由于信息提取精度与分割质量有很大的相关性,所以目前提取精度可以作为影像分割结果的一个评价指标[37]。本文采用目视解译的方法对影像分割结果进行初步评判,通过田间毛渠的提取精度反映通过目视解译方法得出的分割参数是否为该分辨率下的无人机遥感影像田间毛渠信息提取最佳分割参数。

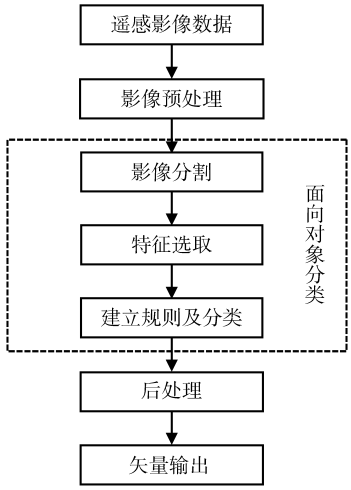


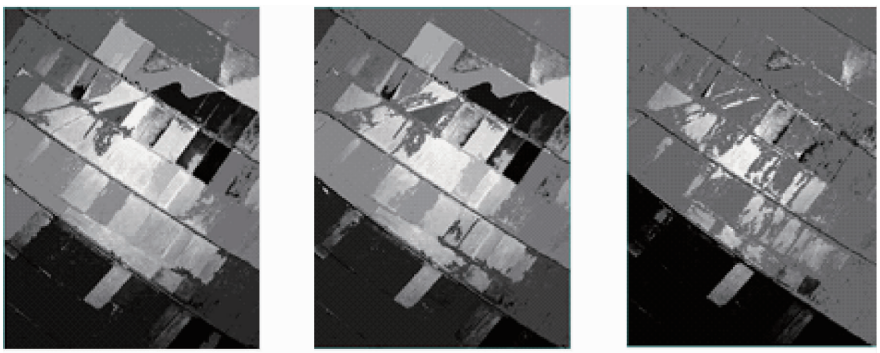
图 2　面向对象特征提取流程图

Fig. 2　Flow chart of object-oriented feature extraction

面向对象特征提取模块具有分割结果实时预览功能,因此可以通过实时预览分割效果选择一个适当的分割阈值,尽可能好地分割出边缘特征。如果选择小尺度进行影像分割,则分割后的遥感影像小图斑较多,而小图斑在一定程度上会增大渠系提取难度,并在对其去除时会造成对渠系小段的误去除从而降低提取精度;如果选择的分割尺度太大,则遥感影像分割不完全。综合不同分割尺度的分割效果,预览对比分析后,本研究在遥感影像分割时初步选用 3 种分割尺度。由图 3 可知,相比于图 3b,图 3a 分割出小图斑较多;而分割尺度为 70 时分割

后的遥感影像分割不完全,如图 3c 中左下方就明显存在分割不完全的现象。因此,本文在遥感影像分割时选择的分割尺度为 65。

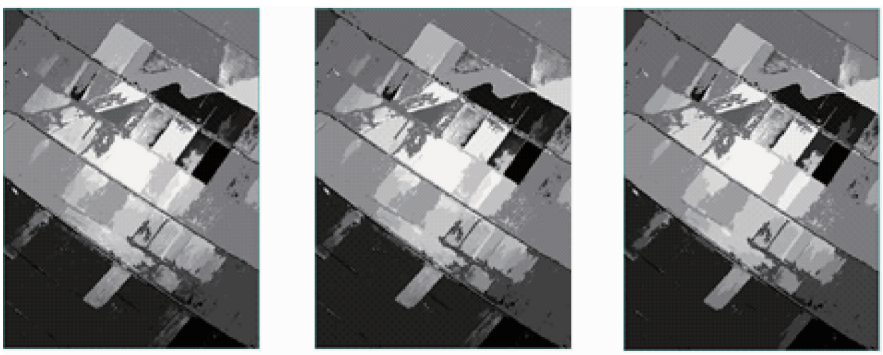
分割尺度为 65 时的遥感影像分割结果中仍存在同一特征对象被分割及特征对象的错分现象。可以通过合并算法在一定程度上解决这些问题。综合不同合并尺度分割效果预览,初步对比分析后,本研究在遥感影像分割时初步选用图 4 所示 3 种合并尺度。由图 4 可知,相比于合并尺度 90,合并尺度为 85 时的图像分割结果中仍存在较多错分小图斑,而合并尺度为 95 时的图像分割结果中会造成小图斑的过合并,即造成渠系与周围光谱特征特异性小的地物合并。因此,本文在遥感影像分割时选择的合并尺度为 90。



(a) 分割尺度60 (b) 分割尺度65 (c) 分割尺度70

图 3 不同分割尺度的效果对比

Fig. 3 Comparison of segment effect with different sizes



(a) 合并尺度85 (b) 合并尺度90 (c) 合并尺度95

图 4 不同合并尺度的效果对比

Fig. 4 Comparison of merging effect with different sizes

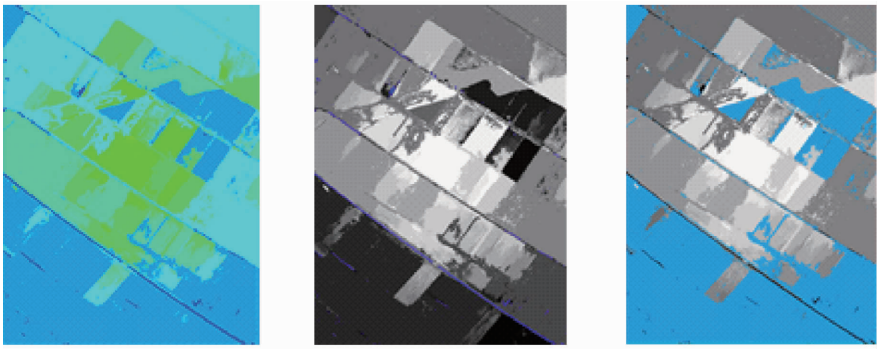
通过以上对比试验分析,初步判断(65,90)的分割尺度和合并尺度最适合该分辨率下的无人机多光谱遥感影像的田间毛渠信息提取。

2.2 田间渠系无人机遥感影像特征选取及规则建立

影像分割将影像划分成若干影像对象,包含许多可以用于分类的特征参量:光谱特征、几何特征、空间关系等。特征分析是面向对象分类提取成功的先决条件,由于“维数灾难”的存在,需要以最少的特征数量实现地物信息的提取[38-39]。目前,能够指导特征选取的解析方法几乎不存在,多数情况是凭借经验的引导选择几个可能有用的特征,然后采用试错法进行规则建立[40-41]。光谱特征是影像中最直观的信息,不同地物的表面特性和化学组成不尽相同,光谱曲线也是不同的,其代表着地物反射的电磁波能量与波长的关系,包含了大量的辨别信息且田间毛渠在图 5a 中表现出的光谱值与部分耕地的特异性较大,因此可以作为一个特征来提取田间毛渠信息。然而对于高分辨率遥感影像来说,其自身拥有的波段数较少,光谱信息是比较有限的,因此只利用光谱特征来分析解译是不足的。鉴于在高分辨率无人机遥感影像中田间毛渠具有空间形状呈线状分布的特点,因此可以选择几何特征和空间关系来进一步提取田间毛渠信息。综上分析,本研究综合利用影像对象的光谱特征、几何特征和空间关系来提取田间毛渠信息。由于多光谱图像上存在多级渠系且含水情况不同,所以采用通过在不同分类层次建立相应的规则进行田间毛渠的分层提取,每个层次都由若干规则组成,通过属性表达式定义各层田间毛渠的特征参数并利用模糊化函数设定特征参数的阈值实现渠的提取,然后将不同层次提取的渠进行组合实现田间毛渠的提取。本试验图像中包含田间有水毛渠和田间无水、少水毛渠,所以通过有水毛

渠和无水、少水毛渠这两个分类层次建立相应的规则实现田间毛渠的提取。

利用 ENVI 中的 Raster Color Slices 将分割后遥感影像的光谱量化值范围[18.6,246.3]用不同的颜色划分区间，如图 5a 所示。通过反复试验对田间毛渠光谱区间进行调整，最终确定有水毛渠光谱量化值区间为[25,50]，如图 5b 所示；无水、少水毛渠光谱量化值区间为[50,90]，如图 5c 所示。



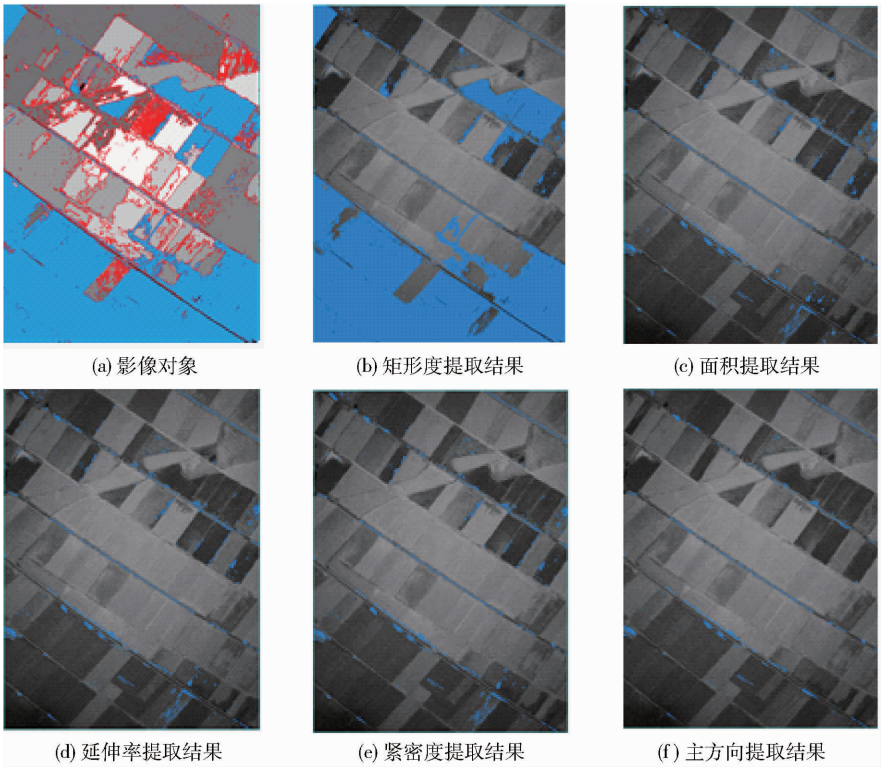
(a) 光谱分布图　(b) 有水渠光谱范围　(c) 无水、少水渠光谱范围

图 5　田间毛渠光谱范围

Fig. 5　Spectral range of sublateral canal

对于田间有水毛渠来说，由于水体对近红外波段的强烈吸收作用，造成其光谱量化值较低且与影像中的其它地物特异性大。因此，仅利用其光谱量化值就可以对田间有水毛渠有较好的提取效果，如图 5b 所示。但图中仍存在少量非渠系小图斑，多为耕地残留，具有面积小、在空间上与渠系垂直分布等特性。因此，可以利用其与田间有水毛渠在面积及空间关系上的特异性进行进一步的去除。经过反复试验，最终确定田间毛渠的具体提取规则为光谱量化值在[25,50]之间，面积大于 350，其主方向与试验区渠系分布有关。

对于田间无水、少水毛渠来说，其光谱量化值与部分耕地处于同一区间，如图 5c 所示，因此不能仅依赖光谱量化值提取田间无水、少水毛渠。高分辨率无人机遥感影像中渠系表现为具有一定长度及宽度的细长面状地物，在分割后遥感影像中毛渠影像对象与同光谱量化值的其它地物影像对象的几何特征特异性较大，如图 6a 所示。因此，首先利用其在矩形度上的特异性进一步剔除非渠系地物，经过反复试验，最终确定田间无水、少水毛渠的矩形度区间



(a) 影像对象　(b) 矩形度提取结果　(c) 面积提取结果

(d) 延伸率提取结果　(e) 紧密度提取结果　(f) 主方向提取结果

图 6　田间无水、少水毛渠提取规则

Fig. 6　Extraction rules of anhydrous and little water sublateral canal

为[0.40,0.73],进一步提取结果如图 6b 所示。在图 6b 中可以明显看出,田间无水、少水毛渠影像对象相比于其它地物面积较小,因此利用其在面积上的特异性进一步剔除非渠系地物,经过反复试验,最终确定田间无水、少水毛渠面积区间为[20,1 000],进一步提取结果如图 6c 所示。在图 6c 中可以明显看出,提取结果中还残留一定数量的小图斑,考虑到小图斑形状各异且多为作物残留与渠系在空间分布上垂直,所以进步一利用延伸率、紧密度及主方向建立规则提取田间无水、少水毛渠信息,经过反复试验,最终确定相应延伸率应大于 1.5,紧密度应小于 0.2,针对试验区域 1 主方向为[15°,45°],相应提取结果如图 6 所示。综上分析,田间无水、少水毛渠具体提取规则为光谱量化值在[50,90]之间,矩形度在[0.40,0.73]之间,面积在[20,1 000]之间,延伸率大于 1.5,紧密度小于 0.2,主方向与试验区渠系分布有关。

2.3 田间渠系错提小图斑去除方法

利用无人机遥感技术与面向对象法分层分类的田间毛渠分布信息提取方法得到的田间毛渠分布信息初步提取结果中,还存在占总提取像元数 50.1% 的错提小图斑,错提小图斑的存在是分类提取过程中不可避免的,需要将其剔除。根据数据获取的实际情况可以采取 3 种措施改进:①修改分类规则,重新提取,进一步减少漏提、错提。②增加其它的辅助数据,如数字高程模型(DEM)。③人工参与,判读人员对错提进行修改。

由于杂草、行道树、泥沙、道路、耕地等的影响是不可避免的,因此重新修改提取规则只会使提取变得更复杂,而且并不一定能够提高提取的精度。又由于田间毛渠的渠深小于 1 m 且获取的 DEM 数据在垂直方向上的绝对误差为 1.5 m 左右,用其作为辅助数据不会取得较好的效果。因此,研究最终采用人工判读的方式将错提小图斑进行剔除,并将不同层次的提取结果与原图进行叠加。

2.4 提取精度定义

根据道路等线状地物提取的精度分析结果[42-43],将农田灌排系统单条沟渠的识别精度定义为

$$P_i = \frac{T_i}{T_i + F_i} \times 100\% \tag{1}$$

总的平均提取精度计算公式为

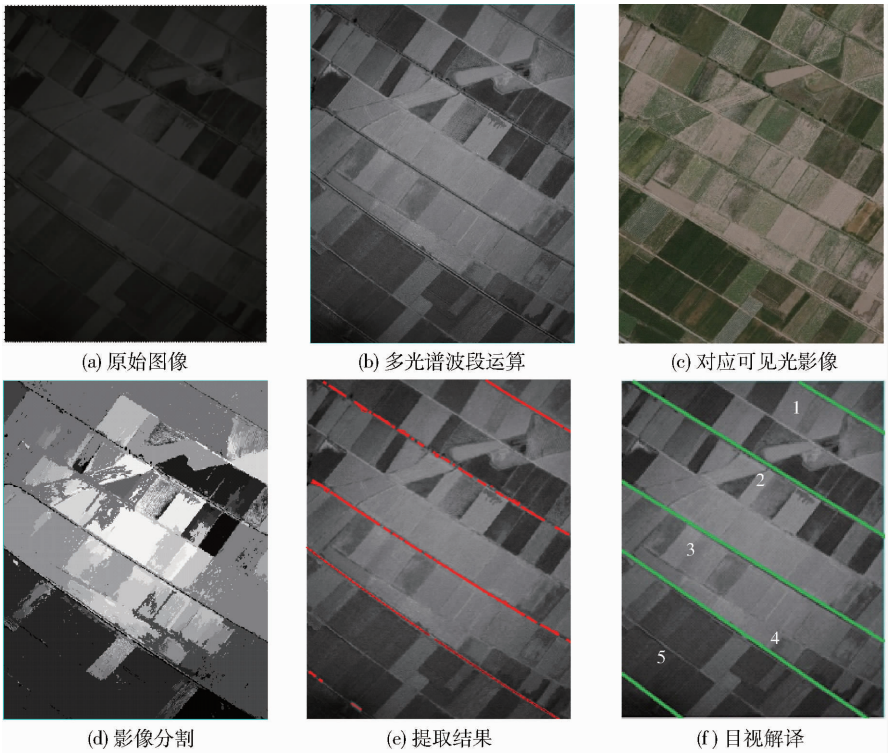
$$P = \frac{\sum_{i=1}^{N} T_i}{\sum_{i=1}^{N} T_i + \sum_{i=1}^{N} F_i} \times 100\% \tag{2}$$

式中,T_i 表示第 i 条毛渠提取出的像元个数,F_i 表示第 i 条毛渠未提取出的像元个数,N 为提取毛渠的个数。

3 结果与分析

3.1 田间渠系提取结果

基于面向对象法的特征组合分层分类提取方法的田间毛渠提取结果如图 7~9 所示,图中序号 4 为

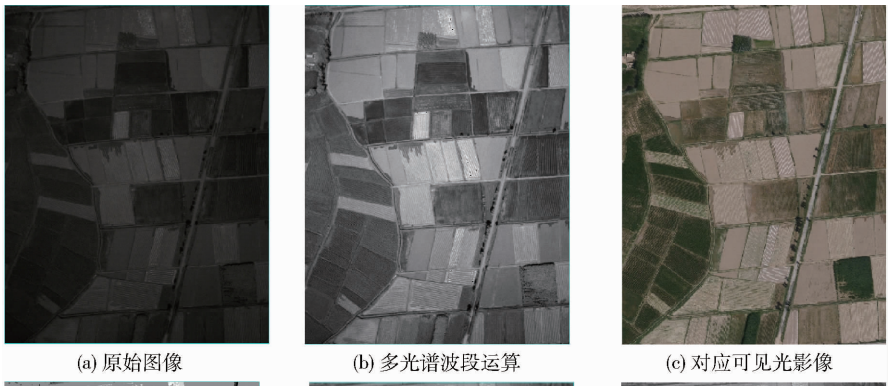


(a) 原始图像 (b) 多光谱波段运算 (c) 对应可见光影像

(d) 影像分割 (e) 提取结果 (f) 目视解译

图 7 试验区 1

Fig. 7 Test area 1

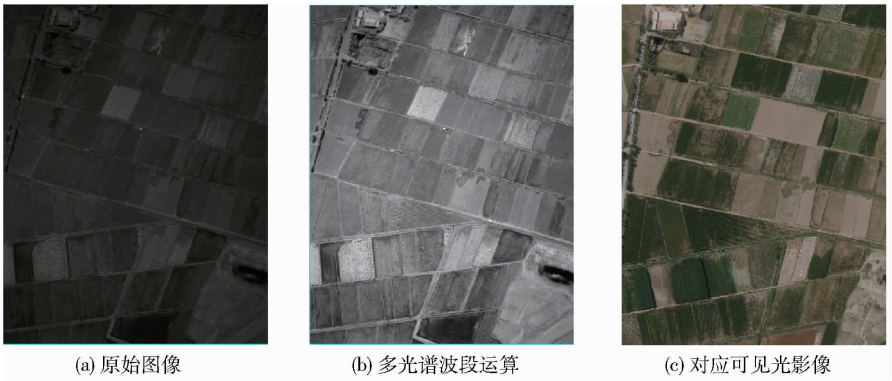


(a) 原始图像　(b) 多光谱波段运算　(c) 对应可见光影像

(d) 影像分割　(e) 提取结果　(f) 目视解译

图 8　试验区 2

Fig. 8　Test area 2



(a) 原始图像　(b) 多光谱波段运算　(c) 对应可见光影像

(d) 影像分割　(e) 提取结果　(f) 目视解译

图 9　试验区 3

Fig. 9　Test area 3

有水渠,其余为无水、少水渠。提取结果中的漏提主要由 4 方面的原因造成:

(1)随着空间分辨率的增加,同一类别的类内光谱差异性将增大,不同类别的类间异质性将减小[44]。因此,田间渠系中存在与非渠系部分特异性小的区段。

(2)田间渠系中杂草、泥沙及边沿行道树等使得部分渠系在光谱特征上与部分作物、裸露耕地、道路的特异性较小。

(3)田间毛渠与道路在几何特征上具有很大的

相似性。

(4)云层对部分渠系的遮挡,使得受云层影响的渠系与其两旁地物在光谱特征上特异性小。

3.2 提取精度评价及分析

按上述精度分析方法,以目视解译结果为实测值,对采用基于面向对象法的特征组合分层分类方法提取的 14 条田间毛渠进行提取精度计算,结果如表 4 所示。

表 4 田间毛渠提取精度

Tab.4 Extraction accuracy of sublateral canal

序号	总像元数	提取像元数	未提取像元数	漏提取精度/%	提取精度/%
1	587	567	20	3.4	96.6
2	1 696	1 196	500	29.5	70.5
3	1 797	1 587	210	11.7	88.3
4	1 807	1 768	39	2.2	97.8
5	494	146	348	70.4	29.6
6	1 344	979	365	27.2	72.8
7	1 140	888	252	22.1	77.9
8	908	697	211	23.2	76.8
9	1 167	1 033	134	11.5	88.5
10	1 418	1 011	407	28.7	71.3
11	879	786	93	10.6	89.4
12	1 184	1 088	96	8.1	91.9
13	1 507	820	687	45.6	54.4
14	3 245	2 353	892	27.5	72.5
合计	19 173	14 919	4 254	22.2	77.8

影像中存在有水毛渠和无水、少水毛渠这两类田间渠系,采用基于面向对象法的特征组合分层分类方法的总体提取精度为 77.8%,对其进行如下分析:

(1)影像中的第 4 条田间渠系为有水渠,由于水体对近红外波段光谱的强烈吸收,所以采用基于面向对象法的特征组合分层分类方法的提取效果很好,精度达到 97.8%。渠的漏提是由影像中渠上的白斑造成的,如图 7a 所示。实际上,白斑是渠中的闸门,由于影像不是正摄影像及无人机飞行速度快且 ADC Micro 多光谱相机快门时间长等原因造成闸门在影像中的拉长,最终造成渠的漏提。

(2)其余渠系为无水、少水田间毛渠,不能依赖于近红外波段对其进行提取,采用基于面向对象法的特征组合分层分类方法的总体提取效果较好,提取精度达到 75.7%。当受多云天气等影响时,影像中渠系光谱将会跟耕地等地物的光谱混在一块,造成光谱特征特异性很小,使得在去除耕地信息时造成不可避免的误去除,进而造成提取精度较差,如试验区域 1 中的第 5 条渠,其提取精度只有 29.6%。当田间毛渠两边存在大量的行道树及渠中存在大量杂草时,就不可避免地会造成利用光谱特征提取时对受行道树、杂草影响部分渠的漏提,进而造成渠系断裂严重且存在大量形状各异的小图斑,使得在进一步利用几何特征去除耕地信息与其它小图斑时,对渠系小图斑产生大量误去除,最终降低田间毛渠提取精度,如试验区中的第 2 条、第 6 条、第 10 条及第 14 条,其提取精度为 70% 左右。在图 9c、9d 中可以明显看出第 13 条渠有一段泛白区段,其光谱特征与渠系光谱特征明显不一致,因此造成漏提,使得提取精度较低,只有 54.4%。

4 结论

(1)利用影像中田间毛渠与其它各地物在光谱特征、几何特征及空间关系的特异性,可以构建不同类别田间渠系的相应提取规则。

(2)利用无人机遥感系统获取高分辨率遥感影像时,多云天气会造成云层对部分渠系的遮挡,进而造成受云层影响的渠系与其它地物在光谱特征上的特异性小,最终造成较差的提取精度。

(3)采用基于面向对象法的特征组合分层分类的方法提取田间毛渠时,田间毛渠两边行道树及渠中杂草会造成提取结果的断裂,进而降低提取精度。

(4)采用基于面向对象法的特征组合分层分类的提取方法及错提小图斑去除方法,综合利用田间毛渠的光谱特征、几何特征和空间关系,可以很好地提取田间有水毛渠,以及可以较好地提取田间无水、少水毛渠。

(5)采用无人机遥感技术和面向对象法的特征组合分层分类方法为灌区田间渠系识别提供了一种新途径,对田间渠系分布信息提取具有一定的参考价值。

参 考 文 献

1 李梦洁. 陕南旬阳坝地区不同地类土壤养分空间变异特征研究[D]. 西安:陕西师范大学, 2014.
LI Mengjie. Research on spatial variability of different class soil nutrients in southern Shaanxi Xunyang Dam Area[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2014. (in Chinese)

2 毕凯. 无人机数码遥感测绘系统集成及影像处理研究[D]. 北京:中国测绘科学研究院, 2009.
BI Kai. Research on UAV digital remote sensing mapping systems integration and image processing[D]. Beijing: Chinese Academy of Surveying & Mapping, 2009. (in Chinese)

3 郭文强. 稳定分布噪声下的盲信号处理方法及应用研究[D]. 大连:大连理工大学, 2007.

GUO Wenqiang. Research on method and application of blind signal processing under the noise of stable distribution[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2007. (in Chinese)

4 HUANG Y, FIPPS G, MAAS S J, et al. Airborne remote sensing for detection of irrigation canal leakage[J]. Irrigation and Drainage, 2010, 59(5): 524 - 534.

5 GADALLA M, ZAFAR S. Analysis of a hydrogen fuel cell-PV power system for small UAV[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2016, 41(15): 6422 - 6432.

6 胡晓利,卢玲,马明国,等. 黑河中游张掖绿洲灌溉渠系的数字化制图与结构分析[J]. 遥感技术与应用, 2008,23(2): 208 - 213.
HU Xiaoli, LU Ling , MA Mingguo, et al. The irrigation channel system mapping and its structure analysis for the zhangye oasis in the middle heihe river basin[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 23(2): 208 - 213. (in Chinese)

7 胡宁科,李新. 居延绿洲古遗址的遥感识别与分析[J]. 遥感技术与应用, 2013,28(5): 890 - 897.
HU Ningke, LI Xin. Identification and analysis of archeological remnant using remote sensing data in Juyan oasis of northwestern China[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28(5): 890 - 897. (in Chinese)

8 李德仁,王艳军,邵振峰. 新地理信息时代的信息化测绘[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2012,37(1): 1 - 6.
LI Deren, WANG Yanjun, SHAO Zhenfeng. Geo-informatization of new geographic information era[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University,2012, 37(1): 1 - 6. (in Chinese)

9 李德仁,龚健雅,邵振峰. 从数字地球到智慧地球[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2010,35(2): 127 - 132.
LI Deren, GONG Jiangya, SHAO Zhenfeng. From digital earth to smart earth[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2010, 35(2): 127 - 132. (in Chinese)

10 易珍言,赵红莉,蒋云钟,等. 遥感技术在河套灌区灌溉管理中的应用研究[J]. 南水北调与水利科技, 2014,12(5): 166 - 169.
YI Zhenyan, ZHAO Hongli, JIANG Yunzhong, et al. Application and research of remote sensing in irrigation management of hetao district[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014,12(5): 166 - 169. (in Chinese)

11 顾振伟,张超,杨建宇,等. 基于高分辨率遥感影像的灌排沟渠提取方法[J]. 农业工程, 2014,4(3): 64 - 67.
GU Zhenwei, ZHANG Chao, YANG Jianyu, et al. Method of extracting irrigation and drainage ditches based on high remote sensing image[J]. Agricultural Engineering, 2014,4(3): 64 - 67. (in Chinese)

12 吴健生,刘建政,黄秀兰,等. 基于面向对象分类的土地整理区农田灌排系统自动化识别[J]. 农业工程学报, 2012,28(8): 25 - 31.
WU Jiansheng, LIU Jianzheng, HUANG Xiulan, et al. Automatic identification of irrigation and drainage system in land reclamation area based on object-oriented classification[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(8): 25 - 31. (in Chinese)

13 乔贤哲,张超,杨建宇,等. 高分辨率遥感影像中农田灌溉设施的提取[J]. 测绘通报, 2012(增刊 1): 372 - 374.
QIAO Xianzhe, ZHANG Chao, YANG Jianyu, et al. Extraction of high resolution remote sensing images of irrigation facilities [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2012(Supp. 1): 372 - 374. (in Chinese)

14 郭云开,陈正阳,彭悦,等. 土地复垦工程的遥感评价[J]. 遥感技术与应用,2008,23(3): 249 - 254.
GUO Yunkai, CHEN Zhengyang, PENG Yue, et al. Evaluation of land reclamation based on RS[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 23(3): 249 - 254. (in Chinese)

15 冯秀丽,王珂,施拥军,等. 基于遥感的土地整理研究[J]. 科技通报, 2006,22(2): 258 - 262.
FENG Xiuli, WANG Ke, SHI Yongjun, et al. Land consolidation study based on RS[J]. Bulletin of Science and Technology, 2006, 22(2): 258 - 262. (in Chinese)

16 许迪,李益农,蔡林根,等. 卫星遥感影像在农田灌排系统识别中的应用研究[J]. 农业工程学报, 2004,20(2): 36 - 39.
XU Di, LI Yinong, CAI Lingen, et al. Applied study of satellite image in identification of irrigation and drainage system[J]. Transactions of the CSAE, 2004,20(2): 36 - 39. (in Chinese)

17 汪小钦,王苗苗,王绍强,等. 基于可见光波段无人机遥感的植被信息提取[J]. 农业工程学报, 2015,31(5): 152 - 159.
WANG Xiaoqin, WANG Miaomiao, WANG Shaoqiang, et al. Extraction of vegetation information from visible unmanned aerial vehicle images[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(5): 152 - 159. (in Chinese)

18 吴玮,秦其明,范一大. 基于无人机可见光遥感影像的救灾帐篷信息提取[J]. 地理与地理信息科学, 2015,31(2): 20 - 23.
WU Wei, QIN Qiming, FAN Yida. Information extraction of disaster relief tents in uav visible light remotely sensed image[J]. Geography and Geo-information Science, 2015, 31(2): 20 - 23. (in Chinese)

19 董梅,苏建东,刘广玉,等. 面向对象的无人机遥感影像烟草种植面提取和监测[J]. 测绘科学, 2014,39(9): 87 - 90.
DONG Mei, SU Jiandong, LIU Guangyu, et al. Extraction of tobacco planting areas from UAV remote sensing imagery by object-oriented classification method[J]. Science of Surveying and Mapping, 2014, 39(9): 87 - 90. (in Chinese)

20 刘峰,刘素红,向阳. 园地植被覆盖度的无人机遥感监测研究[J/OL]. 农业机械学报, 2014,45(11): 250 - 257. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no = 20141139&flag = 1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.11.039.
LIU Feng, LIU Suhong, XIANG Yang. Study on monitoring fractional vegetation cover of garden plots by unmanned aerial vehicles [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(11): 250 - 257. (in Chinese)

21 TORRES-SANCHEZ J, PENA J M, DE CASTRO A I, et al. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 103: 104 - 113.

22 MESAS-CARRASCOSAY F J, NOTARIO-GARCIA M D, MERONO DE LARRIVA J E, et al. Validation of measurements of land

plot area using UAV imagery[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2014, 33: 270 – 279.

23 GOMEZ-CANDON D, DE CASTRO A I, LOPEZ-GRANADOS F. Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat[J]. Precision Agriculture, 2014, 15(1): 44 – 56.

24 汪沛,罗锡文,周志艳,等. 基于微小型无人机的遥感信息获取关键技术综述[J]. 农业工程学报, 2014,30(18): 1 – 12.
WANG Pei, LUO Xiwen, ZHOU Zhiyan, et al. Key technology for remote sensing information acquisition based on micro UAV [J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(18): 1 – 12. (in Chinese)

25 何少林,徐京华,张帅毅. 面向对象的多尺度无人机影像土地利用信息提取[J]. 国土资源遥感, 2013,25(2): 107 – 112.
HE Shaolin, XU Jinghua, ZHANG Shuaiyi. Land use classification of object-oriented multi-scale by UAV image[J]. Remote Sensing for Land & Resources,2013, 25(2): 107 – 112. (in Chinese)

26 田新光,张继贤,张永红. 基于 IKONOS 影像的海岸带土地覆盖分类[J]. 遥感信息, 2007,93(5): 44 – 47.
TIAN Xinguang, ZHANG Jixian , ZHANG Yonghong. Land use/land cover classification of coastal zone using object-oriented method based on IKONOS imagery[J]. Remote Sensing Information,2007,93(5): 44 – 47. (in Chinese)

27 胡进刚,张晓东,沈欣,等. 一种面向对象的高分辨率影像道路提取方法[J]. 遥感技术与应用,2006,21(3): 184 – 188.
HU Jingang, ZHANG Xiaodong, SHEN Xin, et al. A method of road extraction in high-resolution remote sensing imagery based on object-oriented image analysis[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2006, 21(3): 184 – 188. (in Chinese)

28 BENZ U C, HOFMANN P, WILLHAUCK G, et al. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2004, 58(3 – 4): 239 – 258.

29 BLASCHKE T, LANG S, LORUP E, et al. Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications[M] // CREMERS A, GREVE K. Environmental Information for Planning, New York: Politics & the Public, 2000.

30 周成虎. 高分辨率遥感影像地学计算[M]. 北京: 科学出版社, 2009.

31 张建国,李宪文,吴延磊. 面向对象的冬小麦种植面积遥感估算研究[J]. 农业工程学报, 2008,24(5): 156 – 160.
ZHANG Jianguo, LI Xianwen, WU Yanlei. Object oriented estimation of winter wheat planting area using remote sensing data [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(5): 156 – 160. (in Chinese)

32 章毓晋. 图像分割[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

33 程臻. 面向对象的高分辨率遥感影像全要素分类研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2015.
CHENG Zheng. Object-oriented total factor classification of high resolution remote sensing imagery[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology,2015. (in Chinese)

34 YANG J, HE Y, CASPERSEN J, et al. A discrepancy measure for segmentation evaluation from the perspective of object recognition[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2015, 101: 186 – 192.

35 ZHANG H, FRITTS J E, GOLDMAN S A. Image segmentation evaluation: a survey of unsupervised methods[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(2): 260 – 280.

36 ZHANG Y J. A review of recent evaluation methods for image segmentation[C] // Sixth International Symposium on Signal Processing and Its Applications, 2001, 1: 148 – 151.

37 LI P, GUO J, SONG B, et al. A multilevel hierarchical image segmentation method for urban impervious surface mapping using very high resolution imagery[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2011, 4(1): 103 – 116.

38 张秀英,冯学智,江洪. 面向对象分类的特征空间优化[J]. 遥感学报, 2009,13(4): 664 – 669.
ZHANG Xiuying,FENG Xuezhi,JIANG Hong. Feature space optimization of object-oriented classification[J]. Journal of Remote Sensing, 2009,13(4): 664 – 669. (in Chinese)

39 申真. 基于面向对象的高分辨率遥感影像道路提取研究[D]. 南昌:江西理工大学, 2012.
SHEN Zhen. Road extraction from high-resolution remote sensing images based on object-oriented[D]. Nanchang: Jiangxi University of Science and Technology, 2012. (in Chinese)

40 郑毅,武法东,刘艳芳. 一种面向对象分类的特征分析方法[J]. 地理与地理信息科学, 2010,26(2): 19 – 22.
ZHENG Yi,WU Fadong,LIU Yanfang. A feature analysis approach for object-oriented classification[J]. Geography and Geo-information Science, 2010,26(2): 19 – 22. (in Chinese)

41 王浩宇. 面向对象高分辨率遥感影像城区道路及车辆信息提取研究[D]. 北京:北京交通大学, 2015.
WANG Haoyu. Study on urban road and vehicle information extraction from high spatial resolution remote sensing image based on object oriented: a case study[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2015. (in Chinese)

42 曾静静,卢秀山,王健,等. 基于 LIDAR 回波信息的道路提取[J]. 测绘科学, 2011,36(2): 142 – 143.
ZENG Jingjing, LU Xiushan, WANG Jian, et al. Road extraction based on the echo information of LIDAR[J]. Science of Surveying and Mapping, 2011, 36(2): 142 – 143. (in Chinese)

43 张中,鲍远律,屈静. 彩色公路地图的道路自动提取[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006,18(1): 21 – 26.
ZHANG Zhong, BAO Yuanlv, QU Jing. Automatic road extraction from color road map[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2006, 18(1): 21 – 26. (in Chinese)

44 ZHONG Y, ZHAO B, ZHANG L. Multiagent object-based classifier for high spatial resolution imagery[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2014, 52(2): 841 – 857.