doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.01.020

高分辨率遥感影像农田林网自动识别

吕雅慧[1]　张　超[1,2]　郧文聚[2,3]　李鹏山[4]　桑玲玲[2,3]　陈英义[1]

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 国土资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100035;
3. 国土资源部土地整治中心, 北京 100035; 4. 成都市国土规划地籍事务中心, 成都 610074)

摘要: 以 0.5 m 的 GeoEye-1 卫星遥感影像为数据源,充分利用影像的纹理和光谱信息,研究农田林网高分辨率遥感自动识别方法。首先利用归一化差值植被指数(NDVI)和二维熵值构建分类决策树,并结合辅助数据初步提取出带状的农田林网;其次对该结果进行形态学处理,得到连续、细化的农田林网识别结果。选取甘肃省临泽县河西走廊中部巴丹吉林沙漠南缘绿洲的部分区域为研究区,进行实例验证,结果表明,采用本文构建的方法,农田林网的自动识别精度均在 92% 以上,平均精度达到 92.97%,空间位置吻合度均在 86% 以上,平均吻合度达到 93.13%,满足土地整治等工程监管的实际需求。该方法可为农田林网建设及相关工程监管提供科学支撑。

关键词: 农田林网; 遥感; 高空间分辨率; 决策树; 形态学

中图分类号: F301.21; S19　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2018)01-0157-07

Automatic Recognition of Farmland Shelterbelts in High Spatial Resolution Remote Sensing Data

LÜ Yahui[1]　ZHANG Chao[1,2]　YUN Wenju[2,3]　LI Pengshan[4]　SANG Lingling[2,3]　CHEN Yingyi[1]

(1. *College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing* 100083, *China*
2. *Key Laboratory for Agricultural Land Quality Monitoring and Control, Ministry of Land and Resources, Beijing* 100035, *China*
3. *Land Consolidation and Rehabilitation Center, Ministry of Land and Resources, Beijing* 100035, *China*
4. *Chengdu Land Planning and Cadastre Center, Chengdu* 610074, *China*)

Abstract: Farmland shelterbelt is a major component of land reclamation, farmland protection and the engineering construction of ecological environmental protection. And the information acquisition of farmland shelterbelt is an important approach to supervising engineering, such as land reclamation and so on. The automatic recognition method of farmland shelterbelts was explored by taking full advantages of the spectral and morphological features in high spatial resolution remote sensing data based on GeoEye-1 satellite remote sensing image (0.5 m- resolution). Firstly, the classification decision tree was established by making use of the normalized difference vegetation index (NDVI) and two-dimensional entropy of GeoEye-1 satellite remote sensing image. Secondly, the preliminary extraction results of farmland shelterbelts were found out by combining with the auxiliary data. Thirdly, the preliminary extraction results were processed by morphology operations, including expansion, hole filling, de-noising and thinning, to get the continuous and refined extraction results. The partial region of the oasis in the southern margin of Badain Jaran Desert in Linze County, Gansu Province was taken as a typical study area for instance validation, which is located in the central Hexi Corridor. The experimental result indicated that by using the method the automatic recognition precision of farmland shelterbelts were all above 92% and the average accuracy reached 92.97%, the spatial coincidences were all above 86% and the average anastomosis reached 93.13%. So it can satisfy the actual demand in supervising engineering, such as land reclamation and so on. The method can provide scientific support for the farmland shelterbelts construction and the related engineering supervision.

Key words: farmland shelterbelts; remote sensing; high spatial resolution; decision tree; morphology

收稿日期: 2017-05-07　修回日期: 2017-06-30

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2013AA10230103)

作者简介: 吕雅慧(1993—),女,博士生,主要从事 3S 在土地和农业领域的应用研究,E-mail: lyh_ald@126.com

通信作者: 张超(1972—),男,教授,博士生导师,主要从事遥感在土地和农业应用研究,E-mail: zhangchaobj@cau.edu.cn

0 引言

农田防护与生态环境保护是高标准农田建设和土地整治工程的重要内容,其中农田林网工程是建设重点[1]。农田林网能够降低风速、减小土壤风蚀、平缓温湿变化以及增加农田生物多样性,实现农田生态系统的可持续发展[2]。此外,农田林网的合理布设可以增加土地整治区廊道的数量、长度和密度,丰富廊道类型,提高廊道的连通性,能起到改善土地整治区景观结构、美化景观环境的作用[3-4]。农田林网信息的准确获取可为高标准农田建设和土地整治项目监管及效益评价提供基础数据。

农田林网具有林地的光谱及高分辨率遥感影像纹理特征。任芯雨[5]基于 GF-2 影像,对比时间序列模型和机器学习与多种分类方法相结合的方案,实现了城市森林的有效分类;林雪[6]以 GF-1 影像为基础,结合多尺度纹理特征的面向对象分类方法实现森林资源的有效提取;任冲[7]以 SPOT5、GF-1 和 Landsat TM/OLI 等为主要数据源,综合利用各类信息及辅助数据,对比了多种分类方法在森林精细识别中的适用情况。以上研究均围绕森林提取展开,虽对农田林网识别具有借鉴意义,但农田林网具有条带状、不连续等特点,森林遥感分类的方法并不能完全适用且效果不佳。农田林网与道路、沟渠等具有相似的条带状或线状高分辨率遥感影像特征:VALERO 等[8]利用形态学方法提取了道路;SHAO 等[9]设计了一种适用于道路提取的线状特征快速提取方法;SINGH 等[10]利用道路不透水面的特征,构建了两阶段道路提取架构;吴健生等[11]基于面向对象方法研究了农田灌排沟渠系统自动提取。以上研究多利用地物与背景之间的光谱差异实现分类,不适用于以作物种植农田为背景,且背景与目标地物光谱相近的林网识别。目前,基于遥感技术的农田林网自动识别相关研究较少,WISEMAN 等[12]定量描述了农田防护林网的特征;邓荣鑫等[13]用假彩色合成 LandSat TM 和 ETM+影像,采用人机交互的方法提取农田防护林;姜鲁光等[14]以 LandSat TM 为数据源,通过面向对象分类与目视判读结合的方法提取了林线;幸泽峰等[15]基于 ZY-3 多光谱影像提取了东北地区的农田防护林。以上研究均为高分辨率遥感影像农田林网的识别提供了思路。但在高分辨率遥感影像中,农田林网的纹理等空间信息丰富,且与农田具有相近的光谱特征,已有研究仍难以满足精度和效率需求。

针对农田林网在高分辨率遥感数据中的影像特征,本文拟利用光谱及纹理信息,设计基于归一化差值植被指数(Normalized difference vegetation index, NDVI)和二维熵的决策树分类方法,初步提取条带状农田林网;进一步构建形态学处理[16-18]方法,以期最终实现农田林网的自动识别。

1 数据及研究区概况

采用美国 GeoEye-1 卫星遥感影像作为数据源,采集时间为 2014 年 7 月 13 日,原始影像数据包括 0.5 m 的全色影像和 2 m 的 4 波段多光谱影像。对二者进行融合处理,获得 0.5 m 的多光谱影像,最后通过几何校正,得到研究区的高分辨率遥感影像数据。此外,还采用 1∶10 000 的 2014 年耕地质量等别年度更新数据作为辅助数据。

研究区位于甘肃省临泽县河西走廊中部,巴丹吉林沙漠南缘,地理坐标为 100°12′ ~ 100°15′E,39°16′ ~ 39°18′N。该区域属大陆性荒漠草原气候,干燥少雨,蒸发量大。主要灾害性天气有大风、沙尘暴等。临泽县耕地面积近 20 000 hm^2,主要种植作物为玉米,近些年先后开展农村土地整治项目近 30 余个,形成了现代化生态农业发展格局,农田林网是该区域高标准农田建设和土地整治工程的重要内容之一。该区域农田防护林网目前处于成熟期、过熟期,“缺株断行、缺行断带”的现象突出,防护效能衰退等问题严重[19]。本文基于当地规模化和均一化的生产生活模式,综合考虑在地物种类、面积规模和林地分布等方面的适宜性,最终确定具有区域代表性的 3 块研究区进行实例验证(①、②、③号研究区),位置和数据如图 1 所示。

2 工作流程与研究方法

2.1 技术路线

首先,基于高分辨率遥感影像的光谱及纹理特征进行决策树分类,并通过分类后处理初步提取农田林网:利用多光谱影像计算的 NDVI 区分植被类与非植被类,利用全色影像的二维熵将植被类细分到农田类与林地类,进一步通过分类后处理和辅助数据的筛选,得到条带状农田林网的初步识别结果;其次,针对初步识别结果的不连续问题,采用膨胀、细化等形态学手段,得到连续且抽象成线状的农田林网;最后对识别结果进行精度评价。具体技术路线如图 2 所示。

2.2 农田林网初步识别

7 月是研究区农田作物和树木的生长茂盛期。NDVI 能够反映地表植被覆盖及长势状况,通过设定阈值可有效区分道路、村庄等非植被类和农田、林地等植被类[20-21]。NDVI 计算式为

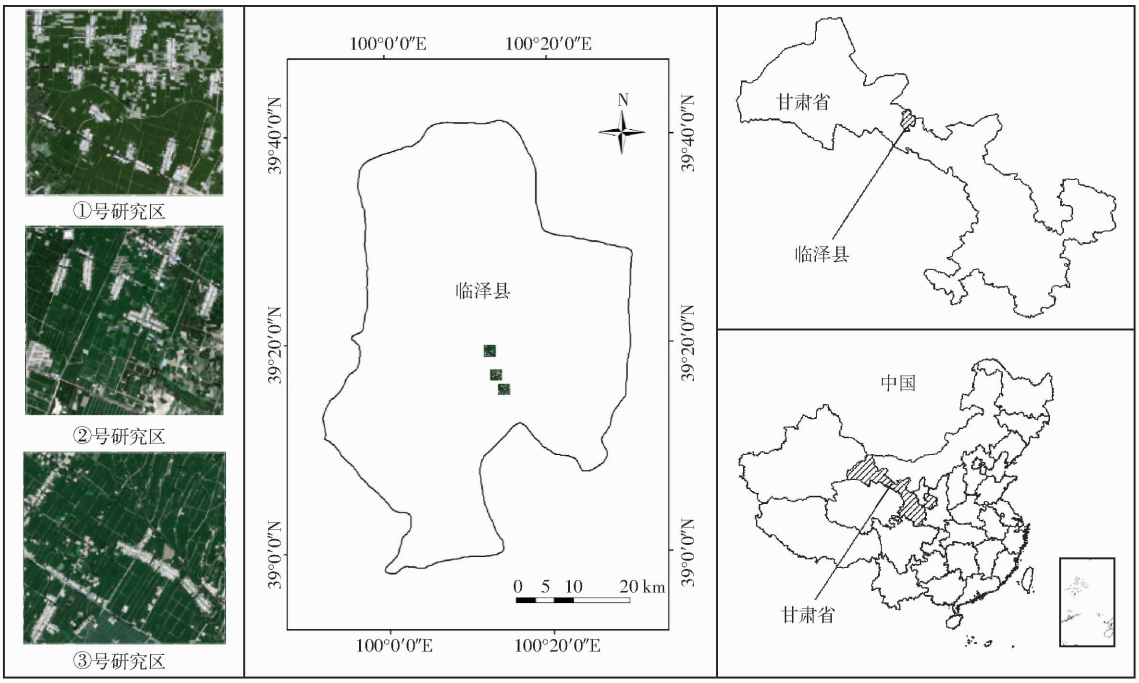

图 1　研究区地理位置和高分辨率遥感影像图

Fig. 1　Geographical position and high-resolution remote sensing image of study region

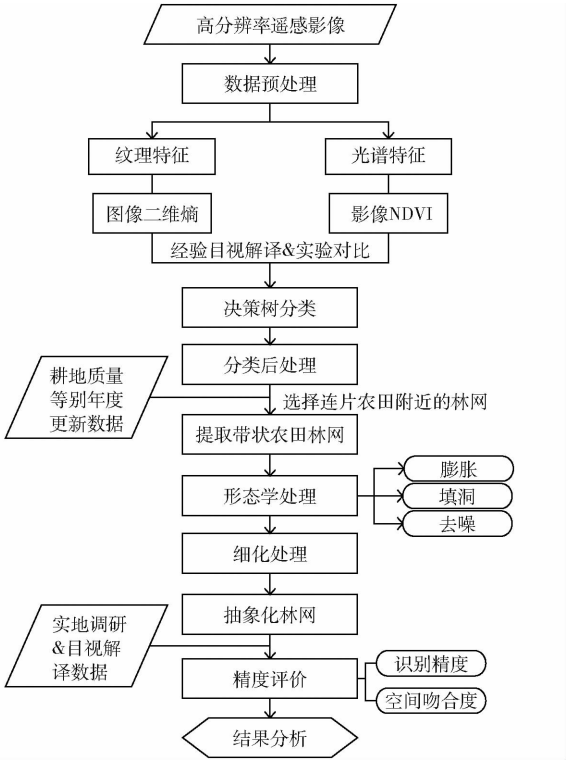

图 2　技术路线

Fig. 2　Technology route

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \tag{1}$$

式中　NIR——近红外波段反射率

R——红光波段的反射率

在高分辨率遥感影像中，农田和林地的纹理特征差异明显：农田作物种植规整且生长状况均一，对应纹理细腻平滑；林木种植零散，对应纹理分异粗糙。图像熵反映了图像的平均信息量，一维熵表示图像中灰度分布聚集特征所包含的信息量，但不能反映其空间特征，二维熵把邻域灰度均值作为图像的空间特征向量，与图像一维特征向量组合成特征二元组，能够定量表达图像的纹理特征[22-23]，从而在植被类中区分农田与林地。二维熵的计算式为

$$H = \sum_{i=0}^{255} p_{ij} \lg p_{ij} \tag{2}$$

其中

$$p_{ij} = \frac{f(i,j)}{N^2}$$

式中　p_{ij}——某像素点灰度与其周围像素灰度分布的综合特征

i——某点像素灰度

j——某点邻域灰度

$f(i,j)$——二元组(i,j)出现的频数

N——邻域尺度

对融合得到的多光谱影像计算 NDVI，对全色影像计算二维熵，并通过实验获得二值化阈值，据此构建分类决策树。林地分类结果中不可避免地存在一些微小图斑，本文采用聚类、过滤等分类后处理予以解决；同时参考耕地质量等别年度更新数据，删除在村庄和农田中零星分布的树木及成片分布的树林，得到条带状农田林网类的初步识别结果。

2.3　基于形态学的精细化处理

膨胀、腐蚀、开变换和闭变换等形态学处理，可有效改善图像识别效果。本文基于农田林网初步识别的二值化图像，通过形态学膨胀、腐蚀等方法实现断线连接和去除噪声等。图像细化是一种受某些条

件约束的收缩算法,要求在保持图像区域连通性的前提下,抽象出图像的中心线,实现线状特征的提取,原理为

$$W = A - A \uparrow B \tag{3}$$

式中 W——二值图像细化后的像素集合

A——原始图像二值化后的像素集合

B——用来进行细化处理的二值结构元素,是有一个中心的任意形状图形

式中,↑表示击中击不中变换。细化处理的实质就是在 A 的全部像素点中,除去击中击不中变换结果之后的集合。图像的击中击不中变换是寻找在待处理图像 A 中结构元素 B 出现位置的运算,是对 B 形状的匹配,击中是指 A 中包含 B,击不中则是指 A 中不包含 B。本文在形态学基本处理的基础上,通过图像细化得到光滑、无毛刺且完全八邻连接的林网线划骨架,即农田林网识别的最终结果。

3 实验结果与分析

3.1 农田林网初步识别结果

通过实验得到如图 3 所示计算结果(以①号研究区为例),当 NDVI 大于 0.6 可以将地物分为道路、村庄等非植被类和农田、林地等植被类;采用 5×5 窗口计算二维熵,利用二维熵值大于 1.6 可将植被类进一步划分为农田类和林地类。据此构建如图 4 所示决策树规则,并结合辅助数据进行分类后处理和条带状林网的筛选,得到如图 5 所示的初步识别结果。在连片性好的农田区域,林网识别情况好,反之则较差。但识别结果中存在明显的断点、离散点和毛刺等问题。

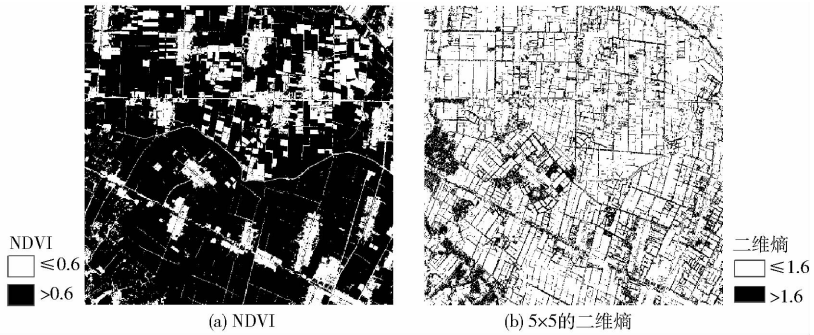

图 3 NDVI 和二维熵的二值化结果(以①号研究区为例)

Fig. 3 Binaryzation results of NDVI and two-dimensional entropy (taking No. ① research area as an example)

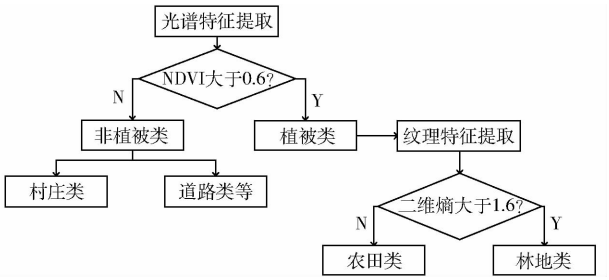

图 4 决策树分类模型

Fig. 4 Decision tree model

3.2 农田林网形态学处理和细化

针对初步识别结果中存在的问题,通过膨胀、腐蚀等基本形态学处理,去除图像噪声及离散点,同时填充断点、平滑边界,结果如图 6(左)所示,尤其是在连片农田区域,实现了林网条带基本几何特征的提取;进一步通过抽取线划骨架,实现农田林网细化处理,结果如图 6(右)所示。由此不仅抽象量化了林网的识别结果,也使其线性特征更加明显,同时有效改良了断点、噪声和毛刺等问题,获得了精细化的农田林网识别结果。

3.3 精度评价

通过实地调研与目视解译相结合的方式,获得各研究区的林网实测数据,并在各研究区内分别选取 2 个样区(即 1 号样区 ~6 号样区),从数量和空间两方面对农田林网的识别结果进行精度评价,如图 7 所示。

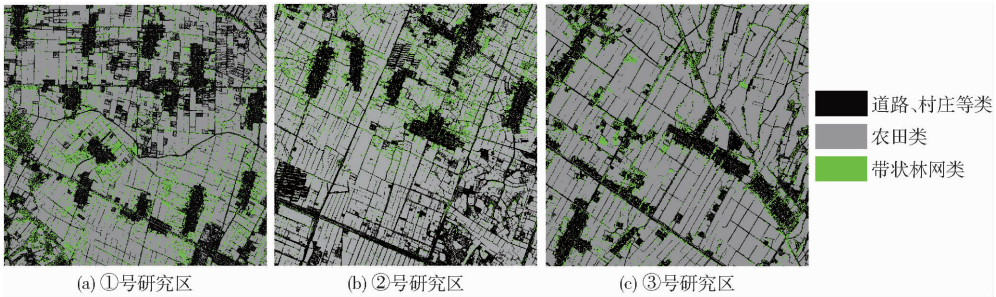

图 5 初步识别结果

Fig. 5 Preliminary extraction results

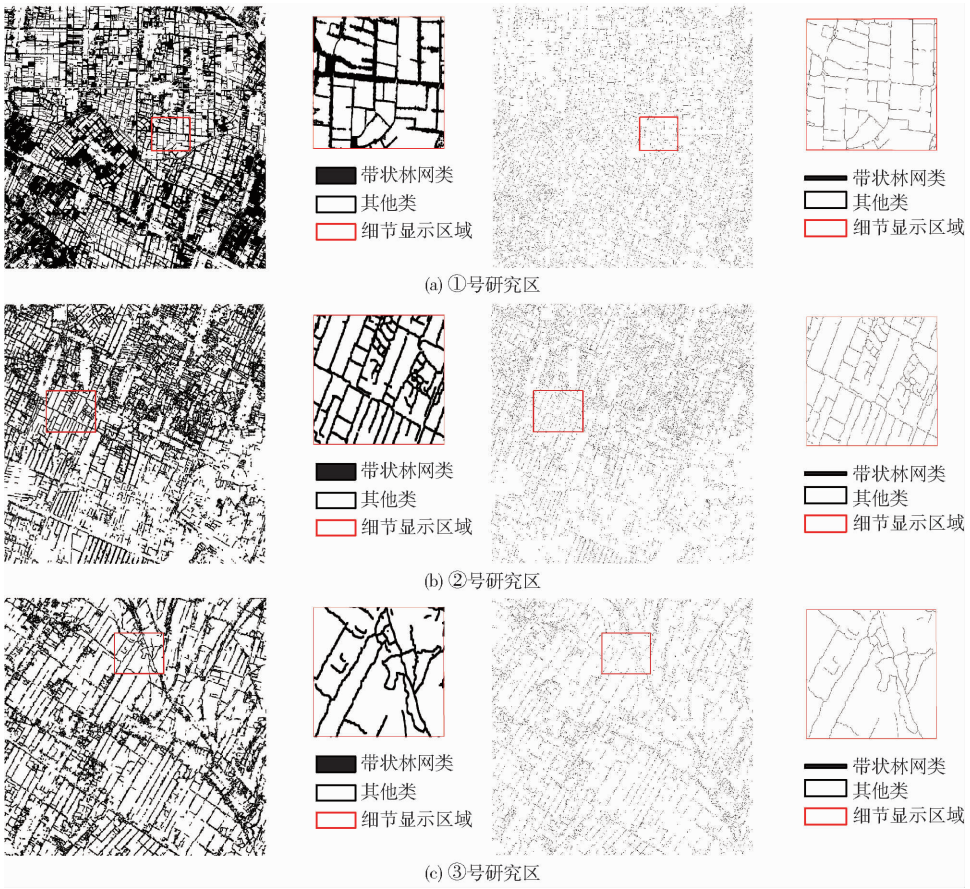

图 6　形态学处理结果(左)和细化结果(右)

Fig. 6　Morphological processing results (left) and thinning results (right)

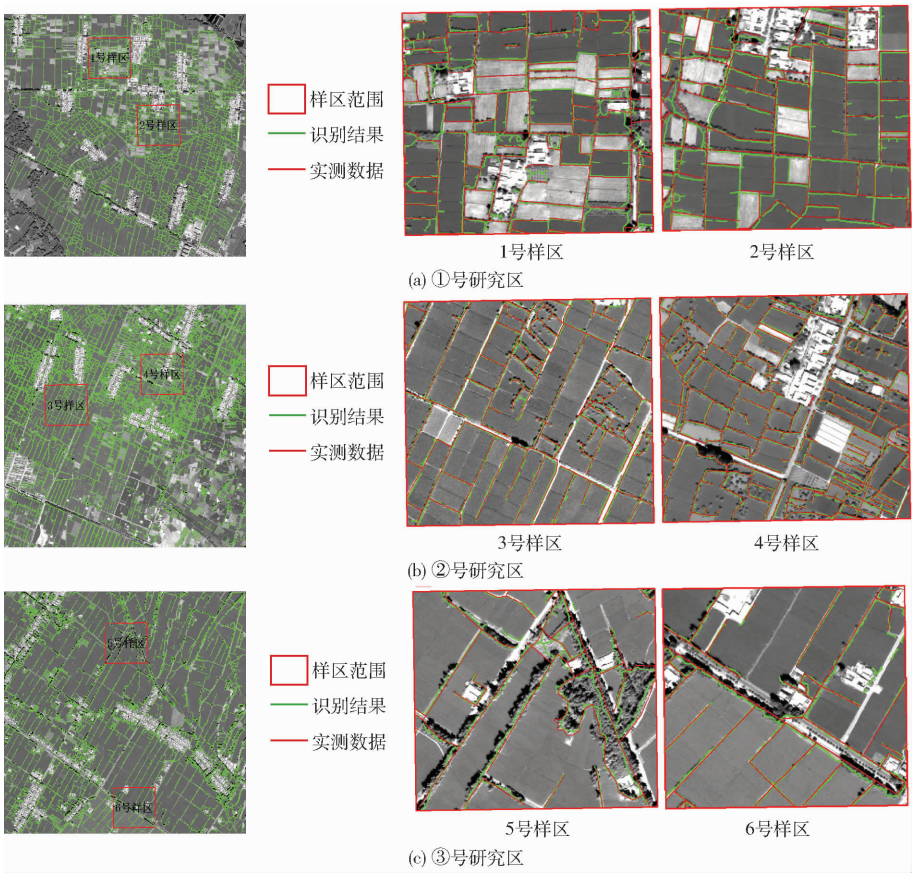

图 7　样区分布(左)及识别结果与实测数据对比(右)

Fig. 7　Distributions of field samples (left) and comparison charts of recognation results with measured data (right)

在数量验证方面,对各样区的识别林网进行长度统计,与相应实测林网总长度进行对比,6 个样区的正确率均在 92% 以上,平均正确率达到 92.97%;在空间验证方面,用缓冲区、叠加分析和标识等手段量化空间吻合度,对林网识别结果做 5 m 阈值的缓冲区,统计实测林网落在识别林网缓冲区内长度与实测林网总长度之比,用于表示识别结果与实测数据的空间吻合度,6 个样区的空间吻合度均在 86% 以上,平均吻合度达到 93.13%,具体如表 1 所示。

表 1 精度统计

Tab.1 Precision statistics

研究区	样区	识别长度/m	实测长度/m	空间吻合长度/m	长度正确率/%	空间吻合度/%
①号	1 号	6 568.60	6 060.57	5 419.19	92.27	89.42
	2 号	6 141.74	5 652.99	5 109.77	92.04	90.40
②号	3 号	5 614.24	5 230.29	5 193.59	93.16	99.30
	4 号	7 632.37	7 306.42	7 243.85	95.73	99.14
③号	5 号	3 192.91	2 940.69	2 546.40	92.10	86.59
	6 号	3 094.57	2 863.68	2 689.08	92.54	93.90
平均					92.97	93.13

4 结论

(1)根据农田林网在高分辨率遥感影像中的光谱和纹理特性,利用研究区不同地类 NDVI 和二维熵的可分性逻辑规则,构建相应决策树,结合分类后处理及耕地图斑等辅助数据,删除分布在村庄和农田中的离散树木和成片树林,实现带状农田林网的初步识别。

(2)针对初步识别结果中的断点、离散点和毛刺等问题,设计了基于膨胀、腐蚀等形态学处理和细化抽象相结合的方法,得到单像素宽度且具有线状特性的最终识别结果,识别精度均在 92% 以上,平均精度达到 92.97%;空间位置吻合度均在 86% 以上,平均吻合度达到 93.13%。

参 考 文 献

1 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化委员会. 高标准农田建设通则:GB/T 30600—2014[S]. 北京:中国标准出版社,2014.

2 刘文平,宇振荣,郧文聚,等. 土地整治过程中农田防护林的生态景观设计[J]. 农业工程学报,2012,28(18):233 - 240.
LIU Wenping, YU Zhenrong, YUN Wenju, et al. Ecological and landscape design of farmland shelterbelt in land consolidation [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(18): 233 - 240. (in Chinese)

3 SHI X, LI Y, DENG R. A method for spatial heterogeneity evaluation on landscape pattern of farmland shelterbelt networks: a case study in Midwest of Jilin Province, China[J]. Chinese Geographical Science, 2011, 21(1): 48 - 56.

4 王军,严慎纯,白中科,等. 土地整理的景观格局与生态效应研究综述[J]. 中国土地科学,2012,26(9):87 - 94.
WANG Jun, YAN Shenchun, BAI Zhongke, et al. Review on landscape patterns of land consolidation and the ecological effects [J]. China Land Sciences, 2012, 26(9): 87 - 94. (in Chinese)

5 任芯雨. 考虑植被季相节律的高分辨率遥感影像城市森林分类[D]. 南京:南京林业大学,2016.
REN Xinyu. Urban forest vegetation classification in consideration of vegetation phenology based on high spatial resolution satellite imagery [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2016. (in Chinese)

6 林雪. 面向林地信息的高分一号遥感影像融合与分类研究[D]. 北京:北京林业大学,2016.
LIN Xue. Study on fusion algorithms and classification methods for GF - 1 data oriented to forestland informmation[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016. (in Chinese)

7 任冲. 中高分辨率遥感影像森林类型精细分类与森林资源变化监测技术研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2016.
REN Chong. Forest types precise classification and forest resources change monitoring based on medium and high spatial resolution remote sensing images[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry Sciences, 2016. (in Chinese)

8 VALERO S, CHANUSSOT J, BENEDIKTSSON J, et al. Advanced directional mathematical morphology for the detection of the road network in very high resolution remote sensing images[J]. Pattern Recognition Letters, 2010, 31(10): 1120 - 1127.

9 SHAO Y, GUO B, HU X, et al. Application of a fast linear feature detector to road extraction from remotely sensed imagery[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations & Remote Sensing, 2011, 4(3): 626 - 631.

10 SINGH P P, GARG R D. A two-stage framework for road extraction from high-resolution satellite images by using prominent features of impervious surfaces[J]. International Journal of Remote Sensing, 2014, 35(35): 8074 - 8107.

11 吴健生,刘建政,黄秀兰. 基于面向对象分类的土地整理区农田排灌系统自动化识别[J]. 农业工程学报,2012,28(8):25 - 31.
WU Jiansheng, LIU Jianzheng, HUANG Xiulan. 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)

12 WISEMAN G, KORT J, WALKER D. Quantification of shelterbelt characteristics using high-resolution imagery[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2009, 131(1): 111 - 117.

13 邓荣鑫,李颖,张树文,等. 农田防护林经营阶段的遥感识别方法[J]. 农业工程学报,2012,28(增刊 2):64 - 68.
DENG Rongxin, LI Ying, ZHANG Shuwen, et al. Recognition of managing phase of shelterbelt by remote sensing[J]. Transactions

of the CSAE,2012,28(Supp. 2):64 - 68. (in Chinese)

14 姜鲁光,刘晓娜,封志明. 三江并流区高山林线的遥感识别及其空间格局分析[J]. 资源科学,2014,36(2):259 - 266.
JIANG Luguang,LIU Xiaona,FENG Zhiming. Remote sensing identification and spatial pattern analysis of the alpine timberline in the three parallel rivers region[J]. Resources Science,2014,36(2):259 - 266. (in Chinese)

15 幸泽峰,李颖,邓荣鑫,等. 基于 ZY - 3 影像的农田防护林自动提取[J]. 林业科学,2016,52(4):11 - 20.
XING Zefeng,LI Ying,DENG Rongxin, et al. Extracting farmland shelterbelt automatically based on ZY - 3 remote sensing images [J]. Scientia Silvae Sinice,2016,52(4):11 - 20. (in Chinese)

16 吴露露,马旭,齐龙,等. 基于叶片形态的田间植物检测方法[J/OL]. 农业机械学报,2013,44(11):241 - 246,240. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20131141&journal_id = jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.11.041.
WU Lulu, MA Xu, QI Long, et al. Field plants detection based on leaf morphology[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(11):241 - 246,240. (in Chinese)

17 李丽,柴文婷,梅树立. 基于自适应全局阈值融合标记的遥感图像建筑群分割[J/OL]. 农业机械学报,2013,44(7):222 - 228. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20130739&journal_id = jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.07.039.
LI Li,CHAI Wenting,MEI Shuli. Segmentation of remote sensing images based on adaptive global threshold and fused markers[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(7):222 - 228. (in Chinese)

18 罗陆锋,邹湘军,王成琳,等. 基于轮廓分析的双串叠贴葡萄目标识别方法[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(6):15 - 22. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20170602&journal_id = jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.06.002.
LUO Lufeng,ZOU Xiangjun,WANG Chenglin, et al. Recognition method for two overlaping and adjacent grape clusters based on image contour analysis[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2017,48(6):15 - 22. (in Chinese)

19 张掖市人民政府. 关于加快农田林网更新改造的意见[R]. 2015 - 05 - 04.

20 申健,常庆瑞,李粉玲,等. 基于时序 NDVI 的关中地区冬小麦种植信息遥感提取[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(3):215 - 220,260. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20170327&journal_id = jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.03.027.
SHEN Jian,CHANG Qingrui,LI Fenling,et al. Extraction of winter wheat information based on time-series NDVI in Guanzhong area[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2017,48(3):215 - 220,260. (in Chinese)

21 黄健熙,侯裔焯,武洪峰,等. 基于时间序列 MODIS 的农作物类型空间制图方法[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(10):142 - 147,285. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag = 1&file_no = 20171017&journal_id = jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.10.017.
HUANG Jianxi,HOU Yuzhuo,WU Hongfeng,et al. Crop type mapping method based on time-series MODIS data in Heilongjiang Province[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2017,48(10):142 - 147,285. (in Chinese)

22 胡清平,张晓晖. 基于熵空间理论和小波变换的红外图像纹理分割[J]. 红外技术,2013,35(8):497 - 501.
HU Qingping,ZHANG Xiaohui. The texture segmentation of infrared image based on the theory of entropy space and CWT[J]. Infrared Technology,2013,35(8):497 - 501. (in Chinese)

23 吴泽鹏,郭玲玲,朱明超,等. 结合图像信息熵和特征点的图像配准方法[J]. 红外与激光工程,2013,42(10):2846 - 2852.
WU Zepeng,GUO Lingling,ZHU Mingchao, et al. Improved image registration using feature points combined with image entropy [J]. Infrared and Laser Engineering,2013,42(10):2846 - 2852. (in Chinese)