

赵建鹏, 杨秀峰, 李国洪, 等. 基于面向对象的设施蔬菜高分遥感影像提取[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(4): 911-918.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.04.023

基于面向对象的设施蔬菜高分遥感影像提取

赵建鹏¹, 杨秀峰^{1,2,3}, 李国洪^{1,2,3}, 李旭青^{1,2,3}, 金永涛^{1,2,3}, 刘世盟¹

(1. 北华航天工业学院, 河北 廊坊 065000; 2. 河北省航天遥感信息处理与应用协同创新中心, 河北 廊坊 065000; 3. 河北省航天遥感信息工程技术研究中心, 河北 廊坊 065000)

摘要: 以河北省廊坊市香河县五百户镇为研究区, 综合利用高分二号(GF-2)遥感影像的光谱、纹理特征, 并结合边缘检测、阈值分割、数学形态学算法, 设计了面向对象的多特征融合设施蔬菜面积提取方法。首先对影像进行增强处理, 结合影像中光谱和纹理特征剔除建筑物和道路干扰。然后采用阈值分割算法将边缘检测后的“噪声”进行删除, 并使用数学形态学方法提高影像分割效率。最后对于一些难以去除的“噪声”采用面积(Ar)、周长(Per)、圆形度(Rd)、长宽比(Pwl)、矩形比(Pr)这5个形状特征参数进行剔除, 实现利用高分遥感影像提取设施蔬菜面积。精度验证结果表明, 该方法在试验区野外核查的精度为86.02%, 随机样本点的总体分类精度为84.5%, Kappa系数为83.1%。

关键词: 设施蔬菜; 影像提取; GF-2; 多特征融合; 面向对象

中图分类号: S127 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)04-0911-08

Object oriented extraction of high resolution remote sensing images of facility vegetables

ZHAO Jian-peng¹, YANG Xiu-feng^{1,2,3}, LI Guo-hong^{1,2,3}, LI Xu-qing^{1,2,3}, JIN Yong-tao^{1,2,3},
LIU Shi-meng¹

(1. North China Institute of Aerospace Engineering, Langfang 065000, China; 2. Hebei Province Space Remote Sensing Information Processing and Application Cooperative Innovation Center, Langfang 065000, China; 3. Hebei Province Space Remote Sensing Information Engineering Research Center, Langfang 065000, China)

Abstract: Taking Wubaihu Town of Xianghe County, Langfang City, Hebei province as the research area, an object oriented multi-feature fusion facility vegetables area extraction method was designed based on the spectral and texture features of GF-2 remote sensing image, and combined with edge detection, threshold segmentation and mathematical morphology algorithms. Firstly, the image was enhanced, and the spectral and texture features were used to remove the buildings and roads. Then the “noise” after edge detection was deleted by threshold segmentation, and the efficiency of image segmentation was improved by using mathematical morphology. Finally, for some noise which was difficult to remove, five shape characteristic parameters, area (Ar), perimeter (Per), round degree (Rd), percentage of width and length (Pwl) and percentage of rectangle

(Pr) were used to eliminate the noise, so that the area of facility vegetables could be extracted from high resolution remote sensing images. The verification result showed that the accuracy of field verification in the test area was 86.02%, the overall classification accuracy of random sample points was 84.5%, and the Kappa coefficient was 83.1%.

Key words: facility vegetable; image extraction; GF-2; multi-feature fusion; object oriented

收稿日期: 2018-09-19

基金项目: 高分共性应用技术规范和高分遥感数据云平台处理应用
共性关键技术项目(67-Y20A07-9002-16/17); 高分辨率对
地观测系统重大专项省(自治区)域产业化应用项目(67-
Y40G09-9002-15/18)

作者简介: 赵建鹏(1992-), 男, 河北邯郸人, 硕士研究生, 研究方向为
遥感应用技术。

通讯作者: 杨秀峰, (E-mail) Yangxf1987anyang@126.com

随着中国城镇化的快速发展,对蔬菜的需求也在不断增长,设施蔬菜的出现缓解了城市蔬菜供应紧张的问题。设施蔬菜受外界环境干扰较小,蔬菜供应周期长,产量也较高^[1]。但是设施蔬菜生产中也存在设施的建造不能有效监控,化肥的大量使用造成土壤肥力下降,塑料废物的随意掩埋造成环境污染等问题^[2]。因此,需要及时、准确地监控和获取设施蔬菜的空间分布信息,提供给当地农业管理、环境保护等部门。传统设施蔬菜分布信息统计方法是人工野外调查,存在时间周期长、主观性强、人力和物力资源浪费等问题。应用遥感技术可以远距离对地物进行电磁波探测,获得丰富的地物光谱信息,快速获得大范围地物分布情况^[3-4]。因此,国内外学者已开始利用遥感技术研究设施蔬菜分布信息的提取方法。马群采用 TM 遥感影像对山东省寿光市的设施菜地进行分类统计^[5]。李黔湘采用 ZY-3 遥感影像,通过构建大棚指数模型获取北京市大兴区设施大棚的空间分布信息^[6]。黄振国等通过分析地物光谱特征,并结合相关专家知识在 HJ-1 影像上对设施菜地进行提取^[7]。李静等通过分析设施菜地的光谱特征,采用 TM 影像中的波段组合构建指数模型,得到提取结果^[8]。杨良闯等基于 SPOT5 影像,通过 eCognition 软件建立多尺度分割分类规则,完成村级作物地块信息提取^[9]。马倩倩基于 RapidEye 影像采用面向对象和构建知识规则相结合的方法得到研究区的作物空间分布面积等信息^[10]。Novelli 等以 Landsat-8 遥感影像,采用构建的 4 个有关地面典型地物的归一化指数进行农业大棚提取^[11]。上述研究采用的遥感影像绝大多数空间分辨率低,存在混合像元,易导致错分漏分现象。目前国内 GF-2 遥感影像全色波段空间分辨率为 0.8 m,可以对地物进行准确分类。但是空间分辨率的提升会丢失一定的光谱信息,如果采用光谱像素法进行分类,精度则会降低。因此本研究综合利用 GF-2 影像的光谱、纹理特征,并结合边缘检测、阈值分割、数学形态学算法,设计面向对象的多特征融合设施蔬菜面积提取方法,为县域尺度下设施蔬菜建筑面积提取提供技术支持。

1 研究方法

1.1 研究区概况及数据预处理

研究区位于河北省廊坊市香河县,大陆季风性气候,四季分明,年平均气温 11.5℃,年降水量

548.6 mm,无霜期 188 d。该县下辖的五百户镇为传统农业大镇,设施蔬菜种植面积大,是北方重要的蔬菜集散地。本研究采用 GF-2 遥感影像,影像幅宽 45 km,重访周期 5 d(侧摆)或 69 d(不侧摆),包含 4 个多光谱波段(空间分辨率为 3.2 m)和 1 个全色波段(空间分辨率为 0.8 m),多光谱波段的波长分别为 0.45~0.52 μm (蓝光)、0.52~0.59 μm (绿光)、0.63~0.69 μm (红光)、0.77~0.89 μm (近红外光),全色波段的波长为 0.45~0.90 μm ^[12]。

本研究采用的 GF-2 遥感影像获取时间为 2016 年 12 月 6 日。首先对多光谱波段进行 RPC 正射校正,然后根据中国资源卫星应用中心网站公布的 GF-2 定标参数和光谱响应函数对正射校正后的多光谱影像进行辐射定标,根据基准影像进行几何校正。采用 Gram-Schmidt Pan Sharpening(GS)融合方法对全色影像与多光谱影像进行融合处理,使其空间分辨率提高至 0.8 m。最后根据香河县行政边界对影像进行裁剪,完成预处理工作。试验区位于香河县五百户镇,其位置以及预处理后的单波段遥感影像见图 1。

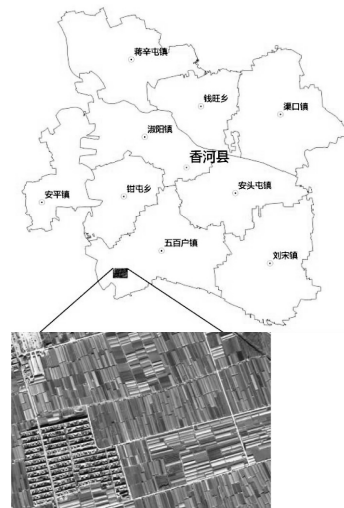


图 1 试验区位置及 2016 年 12 月 GF-2 遥感影像

Fig.1 The location of test area and the GF-2 remote sensing image in December 2016

1.2 技术流程

为解决采用遥感软件进行地物提取过程中存在的“误提取”和“漏提取”问题,通过 2 个途径减少分类误差和提高精度:一是选用高空间分辨率的遥感影像,提高地物的识别精度,更准确地统计地物纹理

信息;二是综合应用多种分类方法,或者结合运用有共性的分类方法。因此本研究选取 GF-2 遥感影像,采用面向对象的多特征融合方法提取设施蔬菜面积。主要提取步骤包括:收集数据、影像预处理、图像增强、分类规则建立、精度评价、矢量/栅格转换。最终得到设施蔬菜面积统计结果和空间分布,技术流程如图 2 所示。

1.3 研究方法

1.3.1 纹理特征的提取 采用直方图均衡化方法

提高影像中设施蔬菜的显示效果。由于影像的波段对于纹理特征统计分析作用一致^[13],因此采用单波段进行图像增强与纹理信息提取。纹理特征提取是在影像地物结构、影纹和纹形等纹理基元基础上进行的信息挖掘,光谱和纹理的结合可更好地体现地物宏观性质和微观信息。采用灰度共生矩阵(Gray-level co-occurrence matrix, GLCM)进行纹理特征提取,选择蓝波段进行纹理特征提取并量化压缩至 16 级,以减小生成的 GLCM 尺寸、计算量和计算时间。

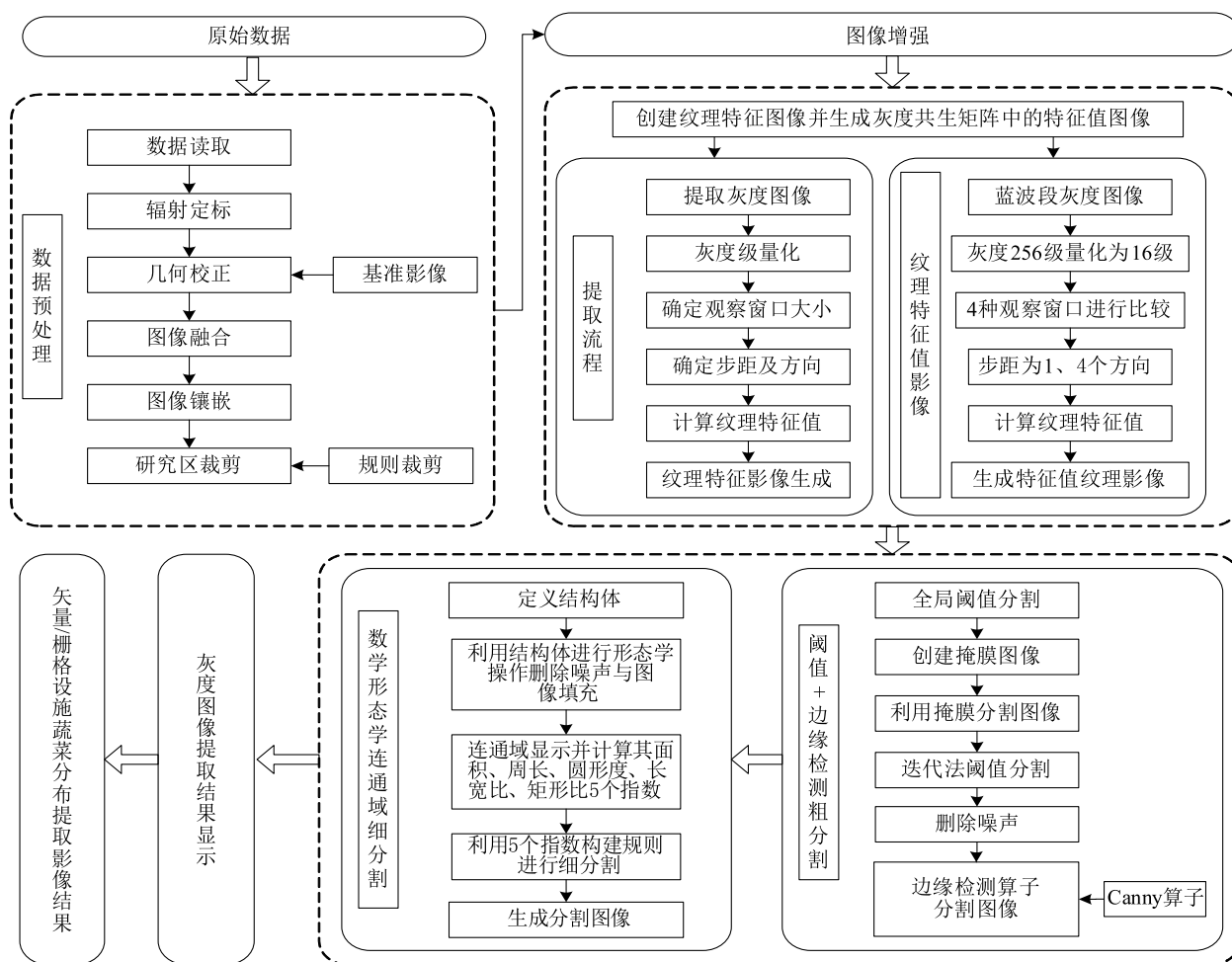


图 2 设施蔬菜面积自动提取技术流程图

Fig.2 Technical flowchart of automatic extraction for facility vegetable area

1.3.2 最适观察窗口的确定 纹理信息在空间上是一个区域概念,体现着一致性。大的观察窗口,检测同一性的能力强,但会造成在每类的边界区域误识率增大,且计算量随着增大;小的观察窗口可以兼

顾不同纹理的边界对应与区域纹理同一性的跃变,能准确定位地类边界,但极易造成误分割。因此本研究采用长序列观察窗口(5×5、7×7、9×9、11×11)进行纹理特征提取,将各个窗口扫描整张影像后的

结果进行对比,确定最适观察窗口并制作设施蔬菜覆膜图像,将只利用光谱信息难以去除的建筑物和道路干扰进行去除。

1.3.3 纹理特征值的计算 GLCM 纹理分析方法由 Haralick 提出, GLCM 为方阵,灰度级数代表矩阵维数,纹理通过计算各灰度级之间的联合条件概率密度 $P(i,j|d,\theta)$ 表示,即图像中相邻距离为 d ,方向为 θ 的 2 个灰度值为 i,j 的像素出现的概率。数学表达式如下:

$$P(i,j|d,\theta) = \phi \{ (x,y) | f(x,y) = i, f(x+dx,y+dy) = j; x,y=0,1,2,\dots,N-1 \}$$

式中 ϕ 表示 1 幅影像像素的集合, d 代表像素之间的相对距离,若 $d=1$,则代表像素相邻。 θ 为计算 GLCM 的方向,实际应用中,一般取 0° 、 45° 、 90° 、 135° ; (x,y) 代表图像中像素位置信息, N 代表图像灰度级数目。利用 GLCM 可以得到各种纹理特征值,Robert 通过研究 GLCM 中的各种统计特征,提出可以得到 14 种统计量^[14]。在本研究中主要用到以下 5 个公式。

$$\text{熵}, ENT = - \sum_i \sum_j \{ p(i,j) \cdot [\lg(p(i,j))] \}$$

$$\text{对比度}, CON = \sum_{n=0}^{N_g-1} n^2 \left[\sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_g} P(i,j) \right]$$

其中, $|i-j|=n$ 。

$$\text{自相关}, COR = \frac{1}{\delta_x \delta_y} \left[\sum_i \sum_j ij P(i,j) - \mu_x \mu_y \right]$$

其中, μ_x, μ_y 和 δ_x, δ_y 分别为 m_x, m_y 的均值和标准差, m_x 和 m_y 分别代表矩阵 P 中每行和每列元素之和。

$$\text{能量}, ENE = \sum_i \sum_j P^2(i,j)$$

$$\text{同质性}, HOM = \sum_i \sum_j \frac{1}{1+(i-j)^2} P(i,j)$$

上述的 5 个公式中 $P(i,j)$ 表示 GLCM 中的元素值。

1.4 阈值分割和边缘检测算法

高分辨率遥感影像中,同一地类内部细节信息丰富,在统计光谱和纹理信息时易出现“椒盐”现象,导致影像在信息提取后存在大量空白点和“噪声”,表现为大小不一、形状不规则的图斑,有的独立存在,有的与道路相连等^[15]。通过阈值分割算法可将“噪声”有效去除,但阈值分割后的影像中存在大量设施蔬菜与周边地类连成片,不易分离现象。因此分割过程中采用 Canny 边缘检测算子将其提取,然后针对其中 2

个及以上设施蔬菜连接较少的地方,采用形态学的运算操作进行分离,达到期望结果。

1.5 数学形态学算法和连通域

在遥感影像中应用数学形态学可得到地物的拓扑和结构参数,将地物类别与已定义的结构元素进行特定运算,最终可得到地物的本质形态,实现遥感影像中的地物识别和分类。形态学操作是一种基于目标形状进行的操作,在操作过程中,像素的结果值主要取决于临近区域像素的值^[16]。

1.5.1 结构元素的选取 结构元素主要应用在图像形态学运算中,同滤波类似。结构元素中的类型(形状)主要包括: arbitrary、pair、line、square、rectangle、diamond、disk 等类型。对于设施蔬菜而言,该地类形状规则,不存在显著的各向异性特点。disk 结构元素具有各向同性的特征,可以有选择地去除设定尺度的噪声和不相关影像目标,最终留下有价值信息,因此 disk 结构元素在处理 GF-2 影像中具有很大的优势。同时针对不同的地物类别选择合适的结构元素,在计算图斑连通域面积时也使用了 square 结构元素。

1.5.2 数学形态学的基本运算 一般形态学的基本运算包括:膨胀、腐蚀、开运算、闭运算等,公式如下。

$$\text{膨胀}: A \oplus B = \{x | B+x \subseteq A\}$$

$$\text{腐蚀}: A \ominus B = \{x | B+x \cap A \neq \emptyset\}$$

$$\text{开运算}: A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$

$$\text{闭运算}: A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B$$

其中, A 为输入影像, B 为结构元素, x 为运算窗口移动的距离。

膨胀运算可以将与目标地类相连的所有背景点融合,且可填充目标地类中的空洞。腐蚀运算可以使目标缩小,且删除小于结构元素的噪声。开运算为依次通过腐蚀和膨胀运算,平滑图像中明亮的细节特征,将比定义的结构元素小的毛刺滤掉,平滑较大地类的边缘,切断细长搭接而起到分离作用,同时并不明显改变图斑面积。闭运算为依次通过膨胀和腐蚀运算,平滑图像中较暗的细节特征,同时保证总的位置和形状不变。因此将开运算和闭运算结合使用,一起平滑图像并去除噪声。

1.5.3 连通域确定形状特征 图像分割后采用形态学运算操作可提高设施蔬菜的提取精度,但是仍存在少量道路与建筑物等地物相混淆的误分割现

象。因此利用面积(Ar)和周长(Per) 2 个参数去除其中一些面积小、形状不规则的图斑。设施蔬菜地物呈现矩形特征,误分割的建筑物表现为方形,采用连通域中的圆形度(Rd)、矩形比(Pr)和长宽比(Pwl)参数进一步剔除。

$Rd = 4\pi S/P^2$, 式中, S 和 P 分别代表图斑连通域面积和周长。 $0 < Rd \leq 1$, Rd 越大则区域越接近圆形。

$Pwl = a/b$, 式中, a 和 b 分别代表图斑连通域的长边和短边长度。

$Pr = S/S_0$, 式中, S 为图斑区域面积, S_0 表示图斑最小外接矩形面积。

Pr 可度量区域矩形的相似程度,反映图斑在其外接矩形中的充满程度。取值范围为 $[0, 1]$, 矩形度越大表示区域越接近矩形。可很好地区分设施蔬菜与建筑物。

1.6 混淆矩阵精度验证

将人工野外核查的结果与自动提取的结果进行混淆矩阵运算,验证自动提取算法的准确性和可靠性。

总体分类精度: $(TP+TN)/(TP+FN+FP+TN)$

错分误差: $FP/(TP+FP)$

漏分误差: $FN/(TP+FN)$

制图精度: $TP/(TP+FN)$

用户精度: $TP/(TP+FP)$

式中,度量指标 TP 表示准确分到设施蔬菜类别中的像元数目,称作真正类; TN 表示准确分到非设施蔬菜类别的像元数目,称作真负类; FN 表示本属于设施蔬菜,但是误分为非设施蔬菜类别的像元数目,称作假负类; FP 表示本属于非设施蔬菜,但是误分为设施蔬菜类别的像元数目,称作假正类。

$$\text{Kappa 系数: } K = \frac{N \sum_k \sum_k^x \sum_k^x - \sum_k \sum_k^x \sum_k^x}{N^2 - \sum_k \sum_k^x \sum_k^x}$$

式中, $N = TP + FN + TN + FP$,代表像元总数; x 表示类别数目, k 表示对角线上的值, \sum_k^x 表示混淆矩阵中对角线的和, $\sum_k \sum_k^x \sum_k^x$ 表示类别中真实参考像元总数与该类中被分类像元总数之积对所有类别求和的结果。总体分类精度指数和 Kappa 系数能较好反映分类方法的优劣准确性,数值越高,说明分类方法越好。

2 结果与分析

2.1 影像纹理特征提取的最适观察窗口

采用长序列(5×5 、 7×7 、 9×9 、 11×11)方法确定最适观察窗口尺寸,最终生成覆膜图像,消除建筑物、道路干扰因素。以纹理局部熵特征值影像进行试验,其中 5×5 、 7×7 、 9×9 、 11×11 4 种观察窗口的纹理分割及全局阈值分割效果如图 3 所示。结果表明,窗口过小会造成误提取,造成覆膜时设施蔬菜提取的完整度降低;窗口过大则增加计算量和计算时间。从全局阈值处理后的图像可看出,随着观察窗口的增大,建筑物、道路信息愈加明显,设施蔬菜误分割概率下降。兼顾计算量和分割效果,最终选用 9×9 的观察窗口作为最适观察窗口。

2.2 结合纹理和光谱信息的影像分割结果

单波段遥感影像直方图均衡化增强后对地物光谱信息进行统计,得到分类结果如图 4 所示。纹理和光谱信息结合可以更好地体现地物的宏观性质和细微信息,将纹理信息和光谱信息结合后提取的设施蔬菜地物结果如图 5 所示。可以发现,仅利用光谱信息的提取结果中存在设施蔬菜与建筑物、道路相混淆的现象。将光谱和纹理信息结合使用可以大面积剔除建筑物、道路干扰。

2.2.1 基于阈值分割和边缘检测算法的分类结果

采用基于最大熵纹理特征优化准则实现图像分割,创建覆膜图像。采用迭代法阈值二次分割后采用 Canny 边缘检测算法得到设施蔬菜地块轮廓和最终结果(图 6、图 7)。但仍存在微小地块和道路与设施蔬菜地块相连。

2.2.2 基于形态学和连通域形状特征的提取结果

根据设施蔬菜形状特征并结合数学形态学运算细分割,利用尺度大小为 4 像元的结构元素‘disk’执行开运算,将设施蔬菜地块与道路的微小连接分离。采用连通域显示所有图斑(图 8),其中一些微小图斑是分离出来的道路,大块图斑为连接在一起的多个设施蔬菜地块。采用连通域中的形状特征参数面积(Ar)、周长(Per)、圆形度(Rd)、长宽比(Pwl)、矩形比(Pr)去除非设施蔬菜图斑。去除方案为:(1) $Ar < 90$ 的细小斑块作为孤立图斑噪声去除;(2) $Ar > 90$ 且 $Per < 60$ 时去除形状规则的小图斑噪声;(3) $Rd < 0.8$ 、 $Pwl < 5$ 、 $Pr < 0.1$ 时去除图中剩余的“噪声”和不规则图斑。最终提取结果如图 9 所示。

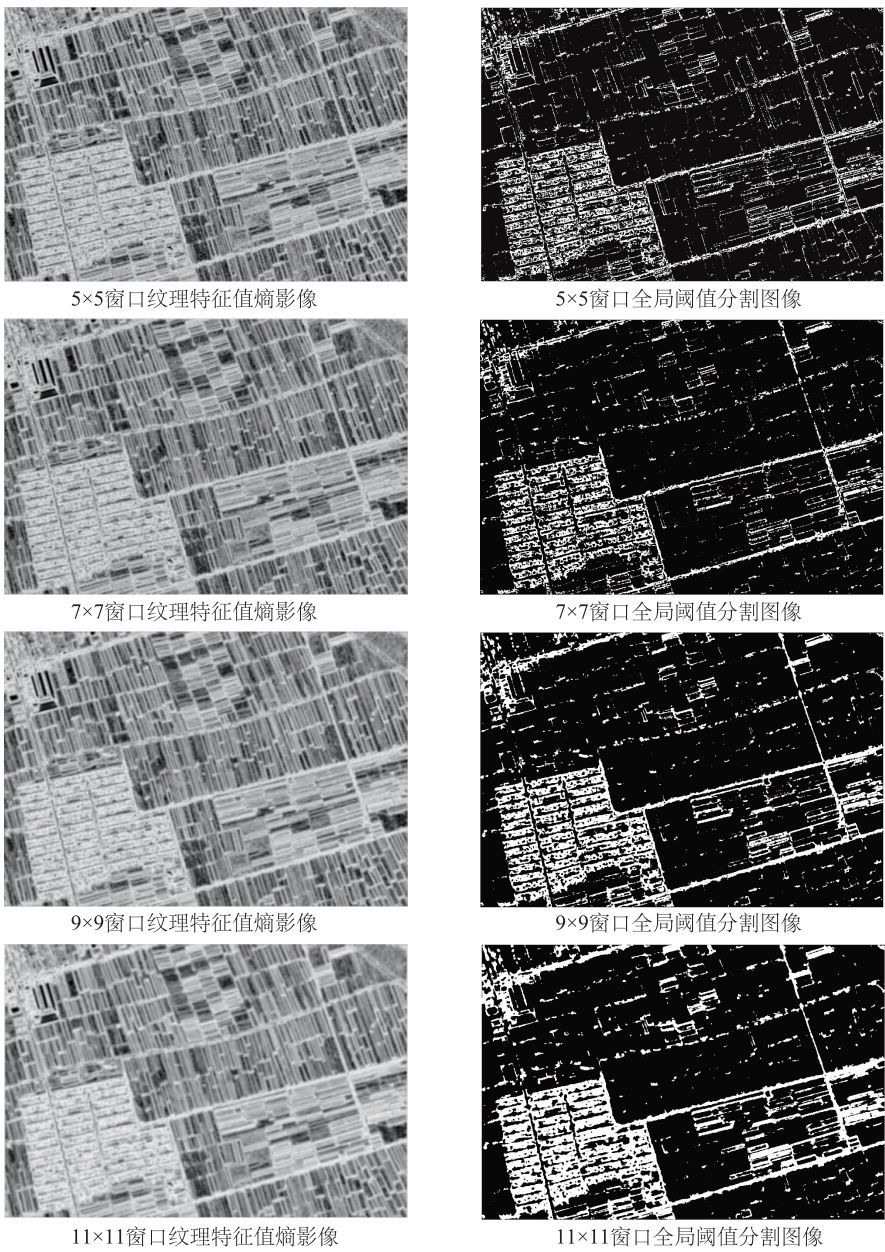


图 3 长序列观察窗口得到的纹理(熵)和阈值分割图像
Fig.3 The texture (entropy) and threshold segmentation images based on long sequence observation windows

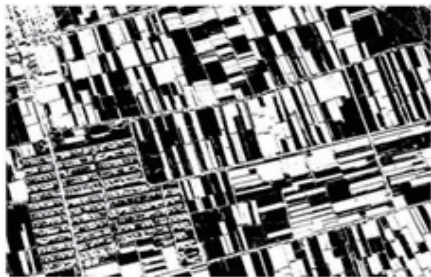


图 4 仅利用光谱信息的设施蔬菜地块分割提取
Fig.4 Segmentation and extraction of facility vegetable plots based on spectral information

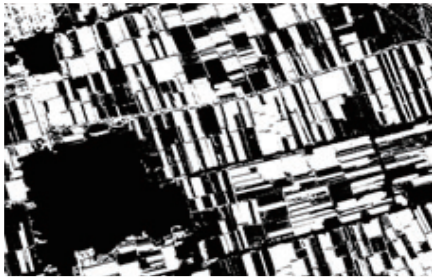


图 5 结合纹理与光谱信息的设施蔬菜地块分割提取
Fig.5 Segmentation and extraction of facility vegetable plots based on texture and spectral information



图6 设施蔬菜地块的边缘检测

Fig.6 Edge detection result of facility vegetable plots

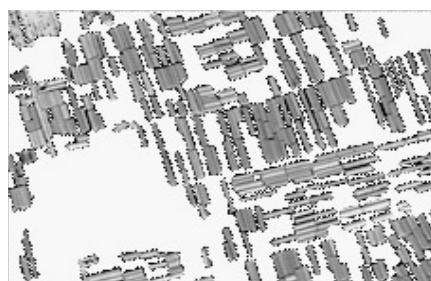


图9 设施蔬菜地块的最终提取结果

Fig.9 The final extraction result of facility vegetable plots

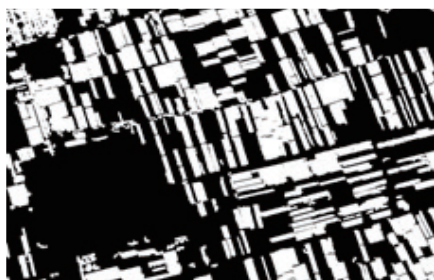


图7 阈值分割和边缘检测算法提取的设施蔬菜地块

Fig.7 Facility vegetable plots extracted by threshold segmentation and edge detection algorithm

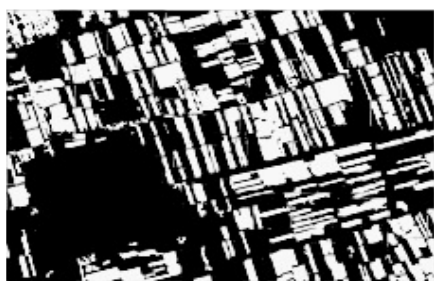


图8 连通域算法显示设施蔬菜地块的图斑

Fig.8 Displaying the patches of facility vegetables plots based on connected domain algorithm

2.3 自动提取算法的精度验证

采用 ArcGIS 软件栅格转矢量功能将分类结果转换为 shp 格式,选择投影后角度不变形的通用横轴等角割圆柱面投影方式(Universal transverse mercator projection, UTM),统计自动提取的设施蔬菜面积。

采用混淆矩阵中总体分类精度、错分误差、漏分误差、Kappa 系数等指标进行精度评价,利用 ArcGIS 软件随机生成 200 个样本点(图 10)。通过统计图 10 中落在设施蔬菜和其他区域的随机点数量,得到

TP 、 TN 、 FP 、 FN 数据,并制作混淆矩阵(表 1)。表 2 为最终精度分析结果。



边框部分为自动提取的设施蔬菜分布,斑块部分为野外核查的试验区中设施蔬菜分布。

图10 200个随机验证样本点的分布

Fig.10 The distribution of 200 random verification sample points

表1 分类和验证结果的混淆矩阵

Table 1 The confusion matrix of verification and classification result

样本	设施蔬菜	非设施蔬菜
设施蔬菜	43(TP)	8(FP)
非设施蔬菜	23(FN)	126(TN)

TP 表示准确分到设施蔬菜类别中的像元数目, TN 表示准确分到非设施蔬菜类别的像元数目, FN 表示本属于设施蔬菜,但是误分为非设施蔬菜类别的像元数目, FP 表示本属于非设施蔬菜,但是误分为设施蔬菜类别的像元数目。

3 结论

本研究综合利用 GF-2 影像的光谱、纹理特征,并结合边缘检测、阈值分割、数学形态学算法,设计了面向对象的多特征融合设施蔬菜面积提取方法。通过在试验区野外核查,该方法的精度为 86.02%,随机样本点的总体分类精度为 84.5%,Kappa 系数为 83.1%。

表2 野外核查精度和混淆矩阵精度评价指标

Table 2 The evaluation index for field verification accuracy and confusion matrix accuracy

分割方法	自动提取面积 (hm^2)	野外核查面积 (hm^2)	野外核查总体分类精度 (%)	随机样本点					
				总体分类精度 (%)	错分误差 (%)	漏分误差 (%)	制图精度 (%)	用户精度 (%)	Kappa 系数 (%)
阈值分割和边缘检测算法	34.463 104	29.644 470	86.02	84.5	34.8	15.6	65.2	84.3	83.1

基于连通域得到设施蔬菜地块图斑形状特征,采用面积(Ar)、周长(Per)、圆形度(Rd)、长宽比(Pwl)、矩形比(Pr)5个特征参数进行细分割,最终得到自动提取的设施蔬菜面积。本研究中参数设置需要人为经验尝试,如何实现自动选择并进行提取是下一步研究方向。

参考文献:

- [1] 王殿友.我国塑料大棚的类型及特点[J].农业科技与装备, 2012(8):49-50.
- [2] 耿林,张蓉鑫,张舒婷,等.基于高空间分辨率遥感数据建立典型地物分类数据库[J].林业科技情报,2014,46(3):1-4.
- [3] 黄启厅,曾志康,谢国雪,等.基于高时空分辨率遥感数据协同的作物种植结构调查[J].南方农业学报,2017,48(3):552-560.
- [4] 王晓梅,张玉钧,刘文清,等.基于光谱特征的植被遥感探测及应用研究[C].贵阳:第十五届全国遥感技术学术交流会, 2005.
- [5] 马群.大棚菜区土地利用信息遥感提取及其不同方式的土壤质量效应[D].泰安:山东农业大学, 2011.
- [6] 李黔湘.基于高分遥感数据的农业大棚面积提取及分析——以北京市大兴区为例[J].北京水务,2016(6):14-17.
- [7] 黄振国,陈仲新,刘芳清,等.基于HJ-1影像的大棚菜地遥感监测技术研究——以山东寿光市为例[J].中国农业资源与区划,2013,34(5):102-106.
- [8] 李静,赵庚星,李涛,等.TM影像中大棚菜地信息提取技术研究[J].水土保持学报,2004(1):126-129.
- [9] 杨良闯,程先富.基于高分数据的村级地块面向对象分类方法研究[J].资源开发与市场,2014,30(5):515-518.
- [10] 马倩倩.基于RapidEye遥感影像的农作物种植面积提取研究[D].济南:山东师范大学, 2012.
- [11] NOVELLI A, TARANTINO E. Combining ad hoc spectral indices based on LANDSAT-8 OLI/TIRS sensor data for the detection of plastic cover vineyard [J]. Remote Sensing Letters, 2015, 6(12): 933-941.
- [12] 潘腾.高分二号卫星的技术特点[J].中国航天, 2015(1): 3-9.
- [13] 田琼花.遥感影像纹理特征提取及其在影像分类中的应用[D].武汉:华中科技大学, 2007.
- [14] ROBERT M H. Statistical and structural approaches to texture [J]. Proceedings of the IEEE, 1979, 67(5): 786-804.
- [15] 丛思安,王星星.K-means算法研究综述[J].电子技术与软件工程,2018(17): 155-156.
- [16] 黄昕.高分辨率遥感影像多尺度纹理、形状特征提取与面向对象分类研究[D].武汉:武汉大学, 2009.

(责任编辑:张震林)