

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.02.039

基于 Canny 算子的农田线状工程地物自动提取方法*

张超^{1,2} 王志浩¹ 杨建宇^{1,2} 朱德海^{1,2}

(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)

摘要: 以 0.5 m 分辨率的 WorldView-2 为数据源, 根据田间道路和沟渠在该影像中的特点, 基于 Canny 算子, 设计了一种适合云环境下自动检测农田沟渠、道路等线状工程地物的方法。在 Canny 算子边缘检测的基础上, 首先通过设计连接断点算法, 抑制单像素断点现象; 然后, 利用种子点生长法, 通过判定欧氏距离, 识别疑似线状工程地物片段, 并拟合疑似片段所在直线方程; 进一步利用低长度阈值过滤, 连接疑似地物片段; 再通过高长度阈值筛滤伪线状片段, 最终实现线状工程地物的提取。以内蒙古达拉特旗土地整治工程区为研究区, 对提出的方法进行了验证, 实验结果表明, 提取长度精度优于 95%, 对于地物简单的区域正确率优于 95%, 满足土地整治工程等建设监管的基本需求。

关键词: 高空间分辨率遥感 土地整治 线状工程地物 自动提取 Canny

中图分类号: S28; TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)02-0270-06

Farmland Linear Project Feature Auto-extraction Method Based on Canny Algorithm

Zhang Chao^{1,2} Wang Zhihao¹ Yang Jianyu^{1,2} Zhu Dehai^{1,2}

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

2. Key Laboratory for Agricultural Land Quality and Monitoring, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

Abstract: Farmland roads and ditches are the majority of land consolidation project and construction of a high standard of basic farmland, which can be monitored by the high spatial resolution remote sensing. An approach of automatic linear project feature extraction with WorldView-2 high-resolution image based on Canny edge detection algorithm was presented, which was designed especially for field roads and ditches detection in the farmland. Firstly, based on the Canny edge binary images, single-pixel gap was connected by matching one of eight masks summarized. Secondly, the suspect linear feature was identified by Euclidean distance judgment. Each pixel of enhanced images was scanned with the seed growth method. Thirdly, each line was joined into the intact linear project feature with a lower length threshold. Fourthly, redundant features were deleted with a higher length threshold. The steps listed above were divided into two directions including vertical direction and horizontal direction and the final results were formed by combining results from the two directions. Experiments were designed in the land consolidation area of Dalad Banner, Inner Mongolia. The accuracy assessment was presented, the precision was above 95% and the correctness in the simple conditions was above 95%, which also met the basic needs of land consolidation project monitoring. Based on Canny edge detection, the algorithm of this paper can be realized in a fast and efficient way. All the procedures of this algorithm were realized automatically by adjusting operators without requiring artificial interpretation.

Key words: High-resolution remote sensing Land consolidation Linear project feature Auto extraction Canny

收稿日期: 2014-10-10 修回日期: 2014-12-04

* 国土资源部公益性行业科研专项资助项目(201011006-4)

作者简介: 张超, 教授, 博士生导师, 主要从事农业与国土资源监测研究, E-mail: zhangchaobj@cau.edu.cn

引言

土地整治等农田建设工程是保障我国粮食安全,改善农业生产条件,促进农业现代化的重要举措。国家每年投入土地整治经费超千亿,土地整治工程监管意义重大^[1]。遥感技术,特别是高空间分辨率遥感,为土地整治工程监管提供了基础。

在土地整治过程中,农田道路工程、灌排沟渠等农田水利工程,以及农田林网等生态防护工程等均以前述线状工程地物为主,因此线状工程地物的准确识别是土地整治工程遥感监测的基础。遥感影像线状地物识别的相关研究总体上可分为自动、半自动提取。半自动提取方法是通过人机交互的方式,手动选取关键点,在此基础上,以一定的算法规则实现提取。自动提取方法根据线状地物在遥感影像上的特征,利用预先设定的参数和算法实现提取,具体包括基于边缘检测的提取法、基于平行线提取法、面向对象法、数学形态学法等。由于高分辨率遥感数据量巨大,而土地整治工程地物分布分散,人工交互式提取工作量大,因此非常有必要研究和更优的自动提取方法。道路是典型的线状地物,已经开展了大量研究^[2-10]。以上相关研究在自动化程度、提取精度以及适用性等方面都存在不足之处,如平行线提取法,在道路规则组网的城市及乡镇效果较好,在农田区域中受树木等影响,提取精度不高。而面向对象法需影像分割形成对象,并对影像对象的特征综合评价后建立知识库,实现过程较为繁琐。数学形态学对结构元素大小敏感,结构元素的变化可使提取结果产生改变。农田作物行检测相关研究也为高分辨率遥感线状工程地物提取提供借鉴^[11-16]。本文针对农田道路和灌排沟渠等土地整治线状工程地物在高分辨率遥感影像中的特点,在Canny边缘检测基础上^[17],设计一种自动提取土地整治线状工程地物算法,并利用土地整治区的WorldView-2卫星遥感数据,对算法开展实验验证。

1 研究区与数据

研究区位于内蒙古自治区达拉特旗,地处黄河冲积平原南部,鄂尔多斯高原北部,地势南高北低,呈阶梯状,南部为低山丘陵沟壑区。水系主要以黄河及10条季节性河流为主,灌排沟渠较密集,且多为明渠。该区域的土地整治项目包括农村土地整治工程和国家基本农田保护示范项目,共两期,其中一期66.67 km²,二期133.33 km²。

采用WorldView-2的0.5 m全色数据和2 m的多光谱数据,融合后得到0.5 m的多光谱数据。针

对研究区土地整治工程地物的特点,本文选择了4个不同实验子区域,研究区包含了较多的干、支、斗渠以及田间道路。4个研究子区的遥感影像大小均为800像素×1000像素。研究区的道路宽度2.5~10 m,沟渠宽度1.5~5 m。

2 研究方法

根据研究区高分遥感影像中田间道路与灌排沟渠特点,首先将该融合后多光谱影像转换成灰度图像,利用Canny算子检测地物边缘;并连接单像素断点;进一步按照长度低阈值提取疑似线状工程地物,将其在延伸方向进行连接,并通过高阈值删除冗余线段,最终提取农田线状工程地物。最后利用土地整治区的高分辨率遥感数据对本文提出的算法进行验证,流程图如图1所示。

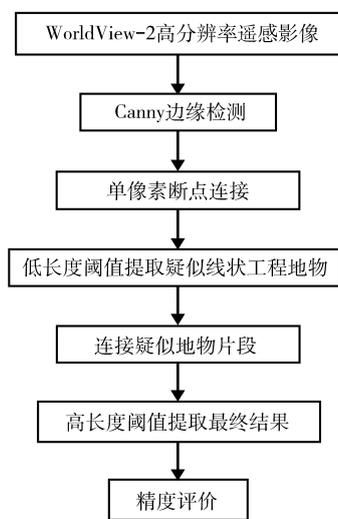


图1 算法流程图

Fig. 1 Flow chart

2.1 Canny 边缘检测

Canny边缘检测算子依据信噪比准则、定位精度准则和单边缘响应准则,实现地物边缘检测步骤为:①利用高斯函数,对图像卷积,实现平滑降噪。②计算图像梯度方向与幅值。③非极大值抑制,保留局部最大值,抑制非极大值,判断可疑边缘点。④双幅值阈值连接边缘,得到二值化的地物边缘图像^[17]。

2.2 单像素断点连接

通过分析Canny边缘检测结果,在提取后的地物边缘连接处存在单像素间断现象。

图2a为Canny边缘检测图局部。图2b为连接后结果。以3×3模板连接断点,如图中圆形区域,单像素断点被较好连接。根据断点边缘的结束类型,可分为8类断点,如图3所示,其中点B为断点,依据边缘局部方向不变性,沿箭头所示搜索三邻域。

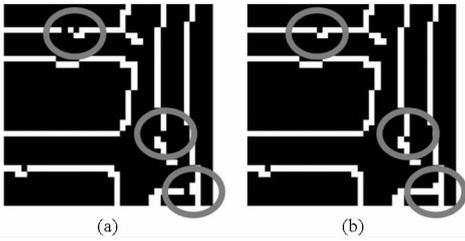


图2 单像素断点连接示意图

Fig. 2 Illustration of joining the single-pixel gap

(a) 连接前 (b) 连接后

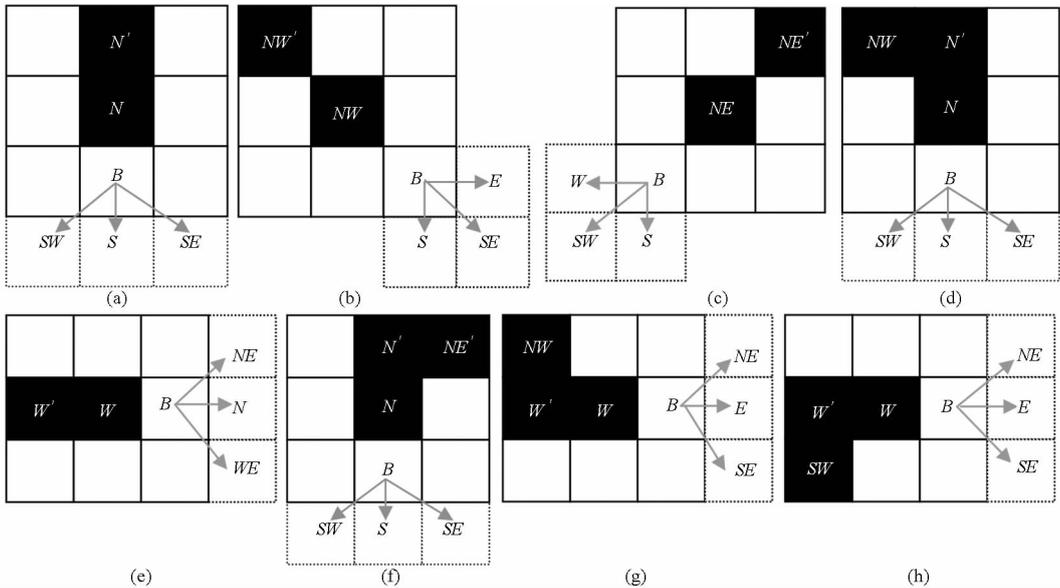


图3 8类单像素断点

Fig. 3 Eight classes of single-pixel gap

(a) 第1类 (b) 第2类 (c) 第3类 (d) 第4类 (e) 第5类 (f) 第6类 (g) 第7类 (h) 第8类

对于某一线状片段,起点设为 a ,按照该点的 SE 、 S 、 SW 邻域搜索其终点 b ; a 、 b 两点所在直线为 l ,沿方向 $a \rightarrow b$,从 b 点开始,搜索在 l 上 T_h 范围内像素为 1 的像素点 c ,并连接线段 bc ,将 ac 作为新片段搜索终点 d ,并连接,重复上述过程,直至 T_h 范围内像素值均为零时停止。此时不连续的细小线状片段连接成完整的道路或沟渠的边缘。

2.4 高长度阈值提取线状工程地物

对于低阈值提取结果,仍然存在非线状工程地物,因此需要进一步采用更高阈值。采用与 2.3 节相似的遍历方式,将连接之后的线状工程地物与高长度阈值 T_2 比较,把包含点的个数大于 T_2 的地物作为竖直走向线状工程地物结果。

分别将以上过程的 SE 、 S 、 SW 邻域改为 NE 、 E 、 SE 邻域,即可得到水平走向的线状工程地物,进而得到完整线状工程地物。

3 实验结果与分析

3.1 实验结果

利用内蒙古达拉特旗 0.5 m 分辨率的

2.3 低长度阈值提取疑似线状工程地物

单像素断点连接结果中,包含了大量细碎地物,需删除并保留可能的线状工程地物。自原点遍历搜索首个边缘点,以该点为种子点,向 SE 、 S 、 SW 方向生长,直至该点的三邻域为空时停止。当一次生长结束后,首末两点坐标分别为 (x_0, y_0) 和 (x_i, y_i) 。将首末两点的欧氏距离 $\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}$ 与 T_1 比较,若大于阈值 T_1 则可能为线状工程地物,否则舍弃。遍历上述过程得到影像中的疑似线状工程地物。

WorldView-2 遥感影像,对 4 个不同子区域,采用本文构建的方法开展土地整治工程线状工程地物的提取实验。

图 4a 为子区域 1 的原始影像,图 4c 为提取的最终线状工程地物。在图 4c 中,3 条线状工程地物边缘基本提出,但在道路和沟渠的连接处有误差。经过查阅土地开发整理标准,最短沟渠长为 50 m,通过实际调查发现,研究区存在 30 m 田间道路,故把低阈值 T_1 设为 25 m,连接长度阈值 T_h 设为 10 m,高阈值 T_2 设定为 110 m,最大程度保证了沟渠和道路的完整性。

在实际操作时,对于同一分辨率遥感影像,阈值 T_1 可设为固定值,在 T_h 和 T_2 相互配合下,提取较为理想的线状工程地物。图 5~7 为研究区其他 3 个子区域提取结果,其中参数 T_1 均设为 25 m。

在图 5 与图 6 中,包含了道路、沟渠和田埂等线状工程地物,通过长度阈值有效过滤了道路和沟渠以外的小地物。图 7 中均为斜向线状工程地物,可以看出该算法不仅适用于水平、竖直走向的线状工程地物,同样也适用于斜向线状工程地物提取。另

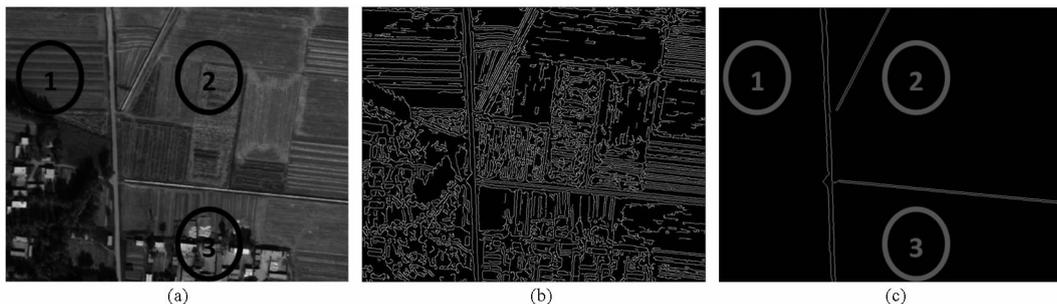


图 4 典型线状工程地物区域 1

Fig.4 Typical areas with first linear feature

(a) 原始影像 (b) Canny 边缘检测结果 (c) 提取结果

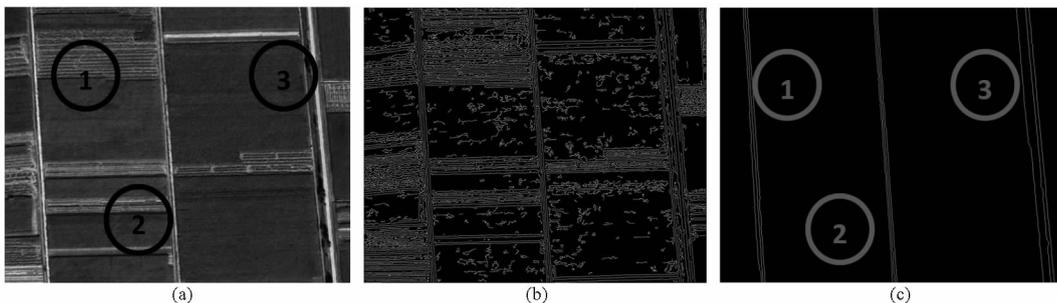


图 5 典型线状工程地物区域 2

Fig.5 Typical areas with second linear feature

(a) 原始影像 (b) Canny 边缘检测结果 (c) 提取结果

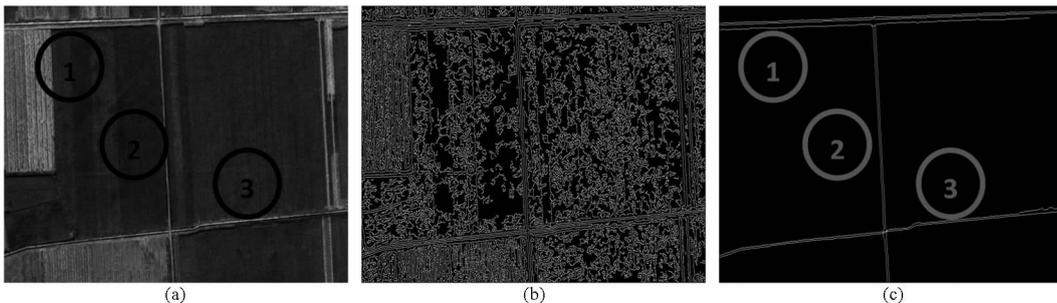


图 6 典型线状工程地物区域 3

Fig.6 Typical areas with third linear feature

(a) 原始影像 (b) Canny 边缘检测结果 (c) 提取结果

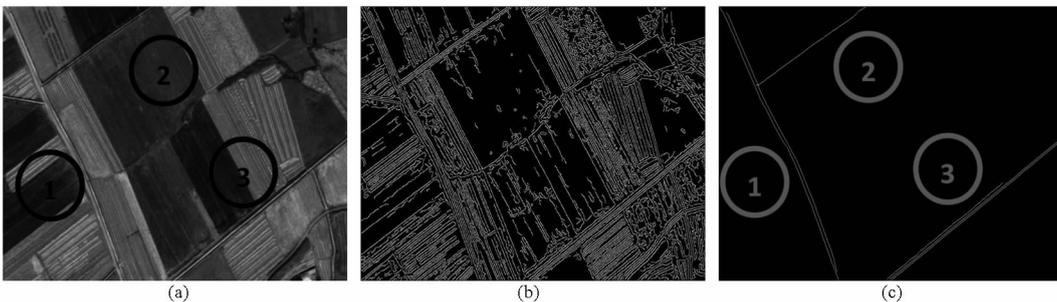


图 7 典型线状工程地物区域 4

Fig.7 Typical areas with fourth linear feature

(a) 原始影像 (b) Canny 边缘检测结果 (c) 提取结果

外由于部分小分支被删除,说明该算法对长度敏感。 误率

3.2 精度评价

以 4 个子区域中的道路与沟渠高分辨率遥感影像目视解译为依据,采用提取长度精度、正确率与错

$$P = T_p / (T_p + F_p) \times 100\% \quad (1)$$

$$C = T_p / (T_p + F_N) \times 100\% \quad (2)$$

$$E = (F_p + F_N) / (T_p + F_N) \times 100\% \quad (3)$$

式中 P ——提取长度精度, %
 C ——正确率, % E ——错误率, %
 T_p ——正确提取线状工程地物部分
 F_p ——错误提取部分

F_N ——未提取部分
 对每个子区域的不同宽度的线状工程地物提取进行精度评价, 精度评价如表 1 所示。

表 1 提取结果精度
 Tab. 1 Accuracy of extracted results

图像名称	线状工程地物编号	宽度/m	提取长度精度/%	正确率/%	错误率/%
图 4 典型线状工程地物区域 1	1	4.5	99.01	98.84	2.15
	2	2.5	98.67	98.67	2.65
	3	2.5	97.98	99.79	2.27
图 5 典型线状工程地物区域 2	1	3.5	99.74	99.74	0.52
	2	2.5	99.74	99.74	0.52
	3	5	99.74	99.87	0.39
图 6 典型线状工程地物区域 3	1	2	99.16	99.89	0.96
	2	3	98.89	99.81	1.31
	3	2	99.26	99.89	0.85
图 7 典型线状工程地物区域 4	1	5	99.30	98.28	2.41
	2	2.5	97.60	99.39	3.05
	3	2.5	99.77	99.77	0.46

从表 1 中可以看出, 4 个子区域典型线状工程地物的提取长度精度均优于 95%, 说明不存在误提现象; 4 个子区域正确率也优于 95%。但在图 7 中, 区域 4 右下方部分不规则线状工程地物未被提取。

4 结论

(1) 以 WorldView-2 遥感影像为数据源, 在 Canny 边缘检测的基础上, 进一步通过断点连接, 高、低双长度阈值过滤, 提取了满足精度要求的土地整治区线状工程地物。

(2) 参照我国土地开发整理标准, 结合土地整治区道路、沟渠实际长度, 设定相应阈值, 本文低长度阈值 T_1 为 25 m, 阈值 T_b 为 $T_1/2$, 高长度阈值 T_2 设定为 T_1 的 7~10 倍, 获得了理想的结果。

(3) 该算法具有运行过程中人工干预少、自动化程度高等优点, 适合海量数据云环境下多计算机并行处理。提取结果精度可满足土地整治工程和高标准基本农田工程监测的实际需求, 可为土地整治区相关工程监管、耕地质量等级评定等工作提供支撑。

参 考 文 献

- 李少帅, 陈原, 张超, 等. 基于多时相高分辨率遥感影像的土地整治项目进展评价模型研究[J]. 中国土地科学, 2014, 28(3): 83-88.
Li Shaoshuai, Chen Yuan, Zhang Chao, et al. Study on evaluation progress model in the implementation of land consolidation projects based on multi-temporal high-resolution remote sensing data[J]. China Land Sciences, 2014, 28(3): 83-88. (in Chinese)
- Shao Yuanzheng, Guo Bingxuan, Hu Xiangyun, 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 and Remote Sensing, 2011, 4(3): 626-631.
- Nevatia R, Ramesh K. Linear feature extraction and description[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1980, 13(3): 257-269.
- Meer P, Georgescu B. Edge detection with embedded confidence[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis Machine Intelligence, 2001, 23(12): 1351-1365.
- 雷小奇, 王卫星, 赖均. 一种基于形状特征进行高分辨率遥感影像道路提取方法[J]. 测绘学报, 2009, 38(5): 457-465.
Lei Xiaoqi, Wang Weixing, Lai Jun. A method of road extraction from high resolution remote sensing images based on shape features[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2009, 38(5): 457-465. (in Chinese)
- Rafael G, Jakubowicz J, Morel K, et al. A fast line segment detector with a false detection control[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(4): 722-732.
- Poullis C, You S. Delineation and geometric modeling of road networks[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2010, 65(2): 165-181.
- Yan Dongmei, Zhao Zhongming. Road detection from quickBird fused image using HIS transform and morphology [C] // Proceedings of the 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2003.

- 9 曾发明, 杨波, 吴德文, 等. 基于 Canny 边缘检测算子的矿区道路提取[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(4): 72-78.
Zeng Faming, Yang Bo, Wu Dewen, et al. Extraction of roads in the mining area based on Canny edge detection operator[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(4): 72-78. (in Chinese)
- 10 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, 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)
- 11 沈明霞, 姬长英, 张瑞合. 基于小波变换的农田景物边缘检测[J]. 农业机械学报, 2001, 32(2): 27-29.
Shen Mingxia, Ji Changying, Zhang Ruihe. Edges detection of a cropland scenery using wavelet transform[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 32(2): 27-29. (in Chinese)
- 12 张红霞, 张铁中, 陈兵旗. 基于模式识别的农田目标定位线检测[J]. 农业机械学报, 2008, 39(2): 109-111.
Zhang Hongxia, Zhang Tiezhong, Chen Bingqi. Detection algorithm for orientation lines based on pattern recognition[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(2): 109-111. (in Chinese)
- 13 姜国权, 柯杏, 杜尚丰, 等. 基于机器视觉和随机方法的作物行提取算法[J]. 农业机械学报, 2008, 39(11): 85-88, 93.
Jiang Guoquan, Ke Xing, Du Shangfeng, et al. Detection algorithm of crop rows based on machine vision and randomized method [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(11): 85-88, 93. (in Chinese)
- 14 赵瑞娇, 李民赞, 张漫, 等. 基于改进 Hough 变换的农田作物行快速检测算法[J]. 农业机械学报, 2009, 40(7): 163-165.
Zhao Ruijiao, Li Minzan, Zhang Man, et al. Rapid crop-row detection based on improved Hough transformation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(7): 163-165. (in Chinese)
- 15 李伟涛, 彭道黎, 吴见. 基于改进边缘分割算法的幼苗信息提取[J]. 农业机械学报, 2014, 45(4): 259-263.
Li Weitao, Peng Daoli, Wu Jian. Extraction of seedlings information based on improved edge segmentation algorithm [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(4): 259-263. (in Chinese)
- 16 刘炜, 王聪华, 赵尔平, 等. 基于面向对象分类的细小河流水体提取方法研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(7): 237-244.
Liu Wei, Wang Conghua, Zhao Erping, et al. Extraction of small river information based on object-oriented classification [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(7): 237-244. (in Chinese)
- 17 Canny J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Transactions on pattern Analysis Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698.

(上接第 269 页)

- 28 Pearson R L, Miller D L. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short-grass prairie [C]// Proceedings of the Eighth International Symposium on Remote Sensing of Environment. Michigan: Ann Arbor, 1972, 2: 1357-1381.
- 29 Huete A R. A soil vegetation adjusted index (SAVI) [J]. Remote sensing of Environment, 1988, 25(3): 295-309.
- 30 Huete A R, Justice C, Liu H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS [J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 49(3): 224-234.
- 31 Sim D A, Gamon J A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 81(2): 331-354.
- 32 Richardson A J, Wiegand C L. Distinguishing vegetation from soil background information [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1977, 43(12): 1541-1552.
- 33 吴炳方, 曾源, 黄进良. 遥感提取植物生理参数 LAI/FPAR 的研究进展与应用[J]. 地球科学进展, 2004, 19(4): 585-590.
Wu Bingfang, Zeng Yuan, Huang Jinliang. Overview of LAI/FPAR retrieval from remotely sensed data [J]. Advance in Earth Sciences, 2004, 19(4): 585-590. (in Chinese)
- 34 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- 35 Gamon J A, Surfus J S. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer [J]. New Phytologist, 1999, 143(1): 105-117.
- 36 Gamon J A, Penuelas J, Field C B. A narrow waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency [J]. Remote Sensing of Environment, 1992, 41(1): 35-44.
- 37 Hatfield J L, Kanemasu E T, Asrar G, et al. Leaf area estimates from spectral measurements over various planting dates of wheat [J]. International Journal of Remote Sensing, 1985, 6(1): 167-175.