DOI: 10.13382/j.jemi.B2104555

基于改进的 Bernsen 秸秆覆盖率图像处理算法研究*

杨 光 丁 博 宋 昕

(长春理工大学电子信息工程学院 长春 130022)

摘 要:针对当前秸秆覆盖率自动识别准确率低的问题,提出了一种更加准确,适应性更强的秸秆覆盖率检测方法。首先,基于彩色分量空间距离灰度化算法对摄像头采集的秸秆图像进行目标背景分离;其次,再将彩色图像灰度化;最后,使用基于改进的 Bernsen 算法对图像进行二值化处理并计算秸秆覆盖率。在实验中,选取了秸秆覆盖率区间在 20%~30%、30%~40%、40%~50%、50%~60%、60%~70%、70%~80%和 80%~90%各 200 张图片,采用改进前和改进后的 Bernsen 算法分别计算秸秆覆盖率,结果表明秸秆覆盖率为 30%~80%时,采用改进后的 Bernsen 算法计算秸秆覆盖率更为准确,误差小于 5%,而在其他情况下,秸秆覆盖率计算误差在 5%~10%。

关键词: 秸秆覆盖率;灰度化;图像处理;二值化算法

中图分类号: S24;TP751 **文献标识码**: A **国家标准学科分类代码**: 520.60

Research on image processing algorithm of straw coverage based on improved Bernsen

Yang Guang Ding Bo Song Xin

(School of Electronic Information Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: Aiming at the problem of low accuracy of straw coverage automatic recognition, it is proposed that a more accurate and adaptive method is used to detect straw coverage rate. Firstly, based on the color component spatial distance graying algorithm, the object and background of straw image collected by camera are separated; Secondly, the color image is grayed; Lastly, the straw image is binarized by improved Bernsen algorithm, and the straw coverage rate is calculated. In the experiment, 200 pictures of straw coverage are selected with coverage range of 20%~30%, 30%~40%, 40%~50%, 50%~60%, 60%~70%, 70%~80% and 80%~90% respectively. The straw coverage rate is calculated respectively by the improved Bernsen algorithm and unimproved Bernsen algorithm. The result shows that the improved Bernsen algorithm is more accurate when the straw coverage is between 30% and 80%, and the error is less than 5%. In other cases, the calculation error of straw coverage rate is between 5% and 10%.

Keywords: straw coverage; graying; image processing; binarization algorithm

0 引 言

秸秆覆盖率检测是保护性耕作[1-8]和农业质补的一项重要参考依据,目前,秸秆覆盖率主要是以人工检测为主,这就导致检测时,存在着较大的人为因素。图像自动识别秸秆覆盖率法是对获取的田间图像进行分析处理后计算出秸秆覆盖率[2]。目前对秸秆覆盖率的检测,比较典型的有“纹理法”以及基于秸秆和土壤亮度不同作为检测基础的二值化方法[2-8]。文献[2]提出了一种 Sauvola 和 Otsu 相结合的方法对图像进行二值化处理,然后再计算秸秆覆盖率,检测速度快,能比较准确地测算秸秆覆盖率,但对光照变化带来的影响适应性较差。文献[5]提出了一种语义分割的秸秆检测,并将语义分割算法(DSRA-UNet)融合进了检测算法之中,实现了一种高精度的秸秆覆盖率检测方法,但是算法需要训练,不同

收稿日期: 2021-07-23 Received Date: 2021-07-23

*基金项目:吉林省教育厅科学计划(JJKH20190545KJ,JJKH20200778KJ)、吉林省科技厅科学计划(20180201090GX)项目资助

的实际情况可能都需要重新训练权值,效率偏低。文献[6]使用自动阈值分割算法的秸秆覆盖率检测,这种方法主要是根据土壤和秸秆亮度不同进行二值化来算出覆盖率,对于光照不均的情况适应性较差。

针对以上存在的问题,提出一种秸秆覆盖率检测方法,首先运用彩色分量空间距离灰度化方法进行目标与背景分离,然后再将目标与背景分离之后的图像进行彩色图像灰度化,并使用基于改进 Bernsen 二值化算法对图像进行二值化处理,然后再测算秸秆覆盖率。在耕作现场光照不均匀,自然环境复杂的情况下,这种方法适应性更强,识别速度更快,精度更高,更适合使用各种嵌入式处理器实现以降低硬件开销,减小系统硬件体积和复杂度,提高系统的可靠性以及处理的实时性。

1　田间秸秆覆盖率测算方法

1.1　秸秆覆盖率人工测量方法

根据农业部发布的《保护性耕作实施效果监测规程》规定地表秸秆覆盖率的测定方法为用 50~100 m 长的绳子,每隔 20 cm 做一个记号。测定时,沿地块的对角线铺放绳子,数记号下有秸秆的点数再除以总记号数即为覆盖率。验收时,以每个地块为单位,选择不同方位测定 5 次,取其平均值作为验收结果,测量图示如图 1 所示。

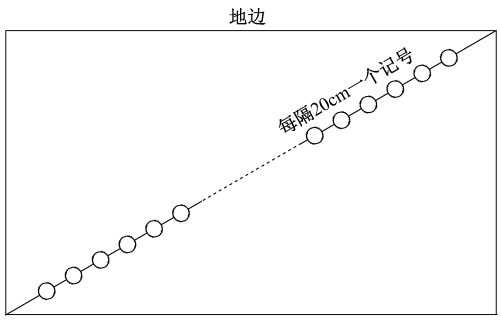

图 1　拉绳法测量秸秆覆盖率

Fig. 1　Measurement of straw cover rate by the rope pulling method

1.2　秸秆覆盖率自动识别方法

在农机在田间作业时,处理秸秆图像存在着一些影响图像处理算法准确性的客观因素,主要因素包括,摄像头采集到图像的光照分布不均匀,有些位置土壤和秸秆的颜色十分接近,导致目标与背景难以识别,细碎的秸秆和粗壮的秸秆分布稀疏并且与土壤颜色接近或者反光而难以识别[9-13]。针对上述问题,本文提出先使用彩色分量空间距离法对识别目标与背景进行分离,区分完成之后再进行灰度化处理,然后再采用改进的 Bernsen 算法进行二值化处理[14-17],而在改进的 Bernsen 算法中融合了高斯算子,增强了对图像上的一些噪声的抗干扰性,并且能够克服光照不均匀带来的影响,算法处理框图如图 2 所示。

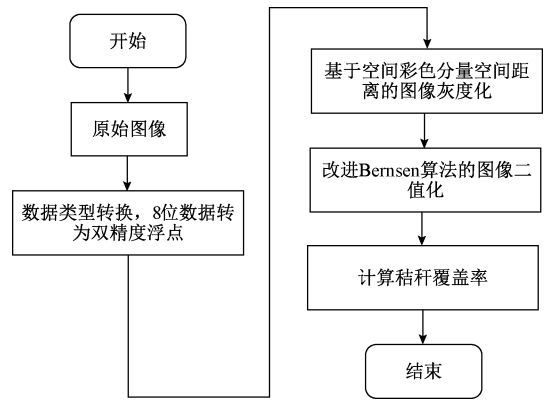

图 2　秸秆覆盖率检测算法框图

Fig. 2　Block diagram of straw cover rate detection algorithm

2　基于彩色分量空间距离的灰度化方法

彩色分量空间距离目标区分法的原理是根据彩色图像是由 R、G、B 3 基色组成的,是将 R、G、B 三种颜色在一幅图片中的统计特性计算出来,再利用其统计特性对彩色图像进行处理,通过其空间距离以区分目标和背景,如图 3~6 所示。

1)计算 R、G、B 各分量的平均值 Avg_i,如式(1)所示。

$$sum_i = \sum_{ij} f_{ij}(x,y)$$
$$Avg_i = \frac{Sum_i}{Im\ ageSize} \tag{1}$$

式中:i 表示 R、G、B;Sum_i 表示被测图像的颜色分量之和;$ImageSize$ 表示图像的长宽乘积,即图像的大小;$f_{ij}(i,j)$ 表示彩色图像颜色分量。

2)计算 R、G、B 各分量的权重,如式(2)所示。

$$Coe_i = \frac{Sum_i}{Sum}$$
$$Sum = \sum_i Sum_i \tag{2}$$

式中:i 表示 R、G、B 分量;Sum 表示整幅图像中各个颜色分量之和;Coe_i 表示 R、G、B 各分量的权重。

3)计算 R、G、B 各分量的标准差,如式(3)所示。

$$Std_i = \left(\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(X_j - \overline{X})^2\right)^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

式中:i 表示 R、G、B 分量;n 表示图像尺寸;X 表示当前像素颜色分量的值;$\overline{X}$ 表示图像中该颜色分量的平均值。

在各个统计量计算完成之后按照式(4)所示规则重新遍历图像并计算,以获得新的 R、G、B 分量,在获得新

的 R、G、B 分量之后再重新合成为新的彩色图像，经过算法运算之后目标和背景分离。

4）对整幅图像进行遍历，按照式（4）计算其空间距离。

$$D_i = | f(x,y)_{ij} - Avg_i | \tag{4}$$

式中：$f(x,y)_{ij}$ 表示目标区分前的像素值；Avg_i 表示被测图像的颜色分量的平均值。

根据式（4）计算空间距离之后，根据式（5）执行。

$$g(x,y)_{ij} = \begin{cases} f(x,y)_{ij} \times (Coe_i + 1), D_i > Std_i \text{ 且 } f(x,y)_{ij} > Avg_i \\ f(x,y)_{ij} \times Coe_i, \text{其他} \end{cases} \tag{5}$$

式中：$g(x,y)_{ij}$ 表示目标区分后的像素值。

5）图像的目标与背景区分完成后，再使用灰度化算法对图像进行灰度处理，采用经典的权重灰度化算法，R、G、B 的权重按照 0.299、0.587、0.144 进行计算。

$$g'(x,y) = [0.299 \quad 0.578 \quad 0.144] \times \begin{bmatrix} g_R(x,y) \\ g_G(x,y) \\ g_B(x,y) \end{bmatrix} \tag{6}$$

式中：$g'(x,y)$ 表示灰度化后的图像。

图3　秸秆原始图像

Fig. 3　Original image of straw

图4　彩色空间距离目标背景分离

Fig. 4　Color space distance target background separation

从图3和4可知，经过彩色空间距离目标与背景分离之后，彩色图像的对比度得到了显著提高，目标与背景区别明显加大。

图5　直接权重灰度化

Fig. 5　Direct weight graying

图6　目标背景区分后灰度化

Fig. 6　Grayscale after target background differentiation

从图5和6可以看出，目标背景区分后图像的灰度化比直接权重灰度化，有效地增强了图像的对比度，目标和背景的区别更加突出，这使得二值化后的图像，目标和背景区分更加明显。

根据图5和6获取其直方图，如图7和8所示，从图7和8可以看出，彩色分量空间距离灰度化方法的灰度直方图有明显双峰趋势，这对二值化图像，区分前景和背景图像带来了很大的优势。

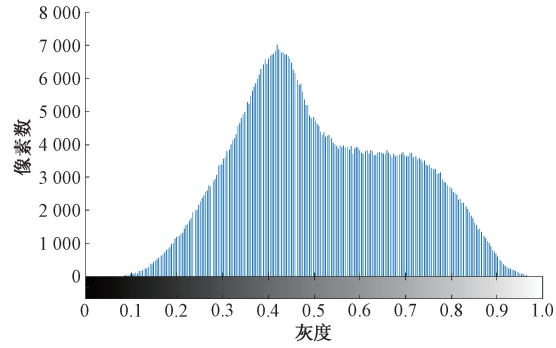

图7　直接权重灰度化对应的灰度直方图

Fig. 7　Histogram of grayscale corresponding to direct weight graying

3　改进的 Bernsen 二值化算法以及秸秆覆盖率计算

Bernsen 二值化算法[18-22]凭借其优秀的性能，在二值

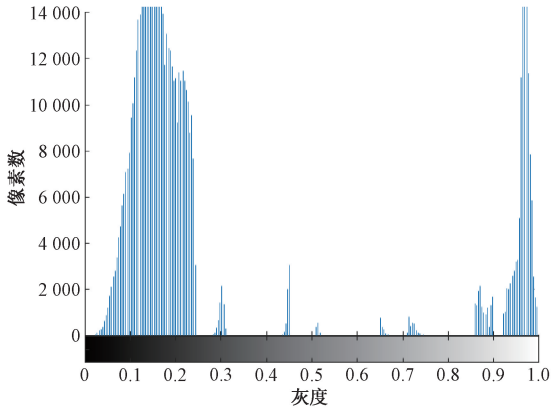

图 8　彩色空间距离目标背景分离灰度化直方图

Fig. 8　Color spatial distance target background separation grayscale histogram

化算法中占有很重要的地位,尤其解决光照不均匀导致的问题具有明显的优势。基本原理是以整幅图像中的某个点(x,y)为中心取一个$(2w+1)\times(2w+1)$的窗口,并以一定的规则计算二值化阈值。

Bernsen 算法具有较好的效果,但传统的 Bernsen 二值化算法容易受到噪声干扰,在实际秸秆检测算法中,细碎秸秆的检测效果较差[23-27]。因此,在实践中引入高斯算子对 Bernsen 算法进行改进,有效滤除了噪声的干扰并且获得了较为平滑的图像。

3.1　改进的 Bernsen 算法

1)对窗口内的像素运用式(7)进行高斯模板滤波。

$$h(x,y) = \sum_{x,y\in s} f(x,y) \times \exp\left(\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \times \frac{1}{(2\omega+1)^2} \tag{7}$$

式中:$h(x,y)$为该点通过高斯滤波之后的值。

2)求 $h(x,y)$窗口内所有像素的最大值 Max 和最小值 Min,取得两者的均值记为 T。

3)按照该阈值遍历图像,进行二值化计算。

如图 9 和 10 所示,改进的 Bernsen 二值化算法中融合了高斯算子,以及腐蚀膨胀,更加能滤除噪声以及光照不均等引起的各种干扰,对细碎秸秆和粗秸秆的识别能力更强。

3.2　秸秆覆盖率计算

秸秆覆盖率计算是将图像进行二值化处理后,再统计数值为 1 的点和数值为 0 的点,计算如式(8)所示。

$$J = \frac{n}{N} \times 100\% \tag{8}$$

式中:J 表示秸秆覆盖率;n 表示数值为 1 的像素个数;N 表示图像中总的像素数。

采用改进的 Bernsen 算法、未改进的 Bernsen 算法,

图 9　未改进的 Bernsen 二值化结果

Fig. 9　Binarization results of unimproved Bernsen

图 10　改进的 Bernsen 二值化结果

Fig. 10　Binarization results of improved Bernsen

人工识别 3 种方法分别计算秸秆覆盖率,得到该图像的秸秆覆盖率分别为 46.2%、41.3%、48%,改进的 Bernsen 算法与人工识别的误差为 1.8%,具有较高的精度。

4　实验与分析

选取秸秆覆盖率区间在 20%~30%、30%~40%、40%~50%、50%~60%、60%~70%、70%~80%和 80%~90%各 200 张图片,采用改进前和改进后的 Bernsen 算法以及人工识别的方法分别计算秸秆覆盖率并根据测试数据绘制不同识别方法的对比曲线图以及误差曲线图如图 11~24 所示。

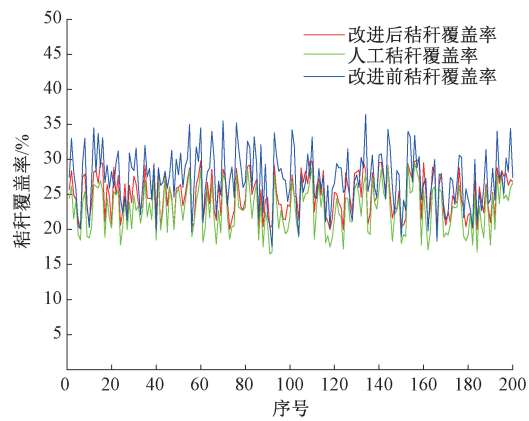

图 11　秸秆覆盖率 20%~30%

Fig. 11　Straw coverage of 20%~30%

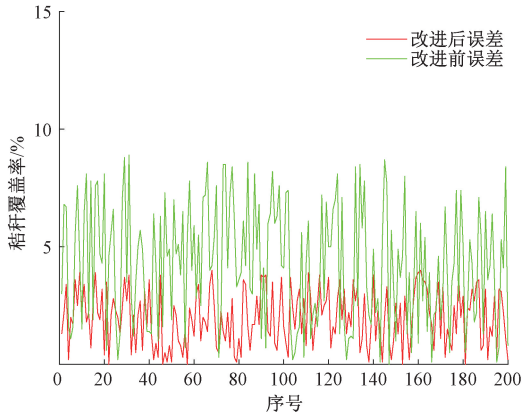

图12　秸秆覆盖率20%~30%误差对比曲线

Fig. 12　Error curve comparison graph of 20%~30% straw coverage

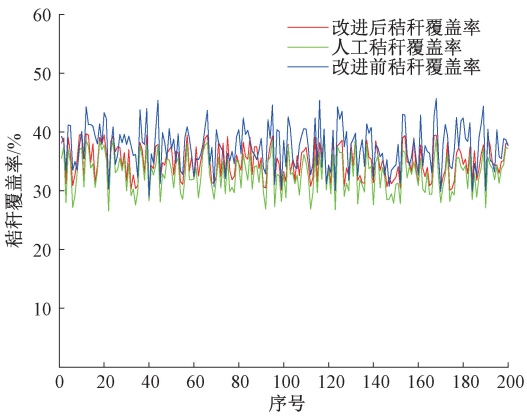

图13　秸秆覆盖率30%~40%

Fig. 13　Straw coverage of 30%~40%

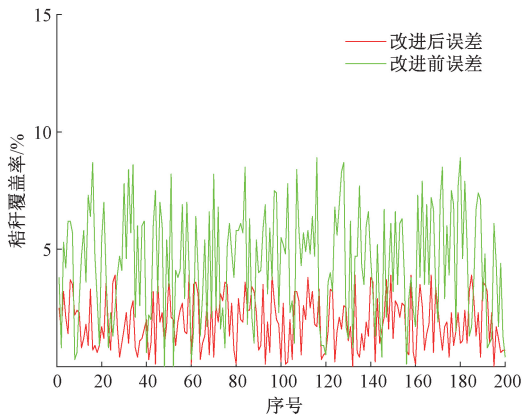

图14　秸秆覆盖率30%~40%误差对比曲线

Fig. 14　Error curve comparison graph of 30%~40% straw coverage

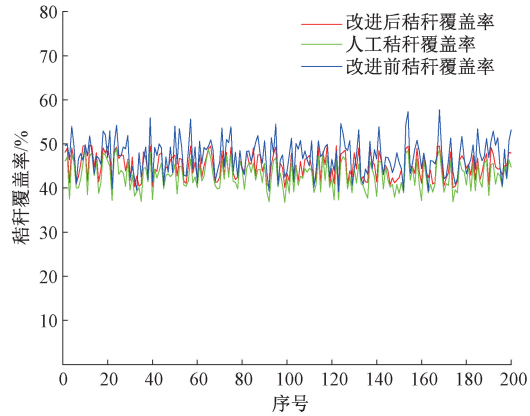

图15　秸秆覆盖率40%~50%

Fig. 15　Straw coverage of 40%~50%

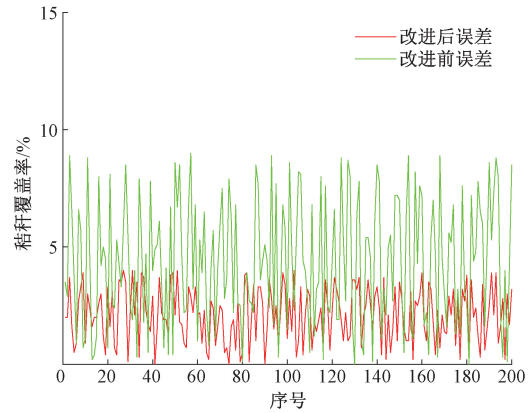

图16　秸秆覆盖率40%~50%误差对比曲线

Fig. 16　Error curve comparison graph of 40%~50% straw coverage

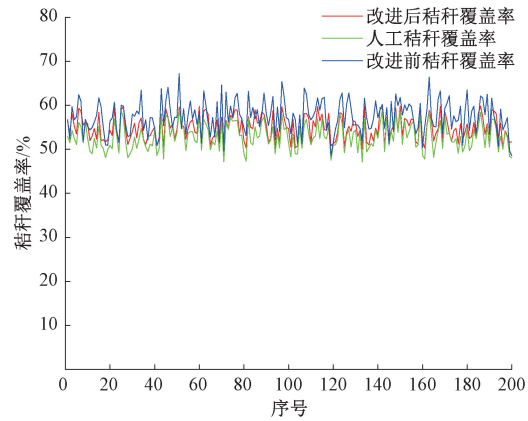

图17　秸秆覆盖率50%~60%

Fig. 17　Straw coverage of 50%~60%

实验结果表明秸秆覆盖率为30%~80%时,采用改进后的Bernsen算法计算秸秆覆盖率更为准确,误差小于5%;而在其他情况下,秸秆覆盖率计算误差在5%~10%。从图11~24可以看出,采用改进的Bernsen算法对秸秆覆盖率进行识别时,对细碎秸秆进行了比较精确的计算,

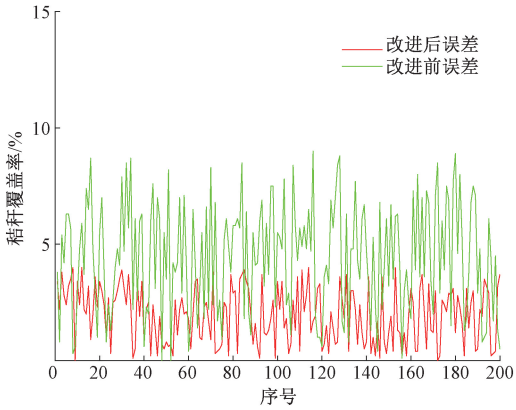

图 18　秸秆覆盖率 50%～60%误差对比曲线

Fig. 18　Error curve comparison graph of 50%～60% straw coverage

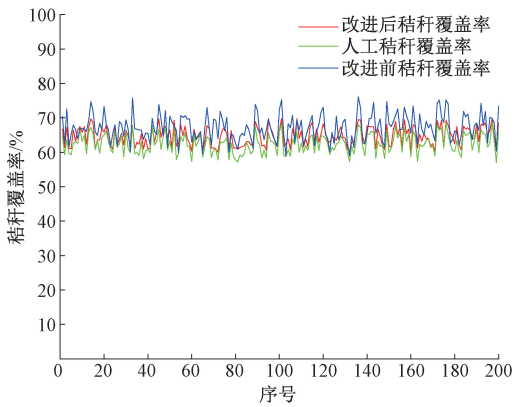

图 19　秸秆覆盖率 60%～70%

Fig. 19　Straw coverage of 60%～70%

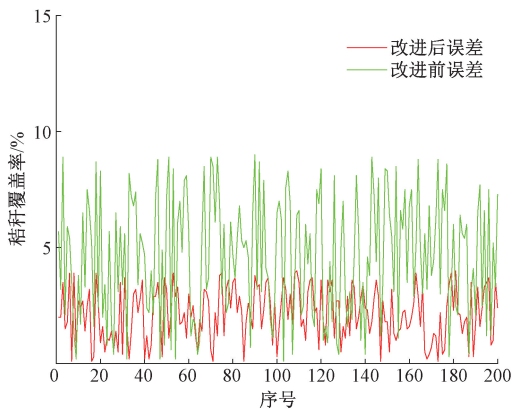

图 20　秸秆覆盖率 60%～70%误差对比曲线

Fig. 20　Error curve comparison graph of 60%～70% straw coverage

导致计算得到的秸秆覆盖率数值比人工识别的数值要大。

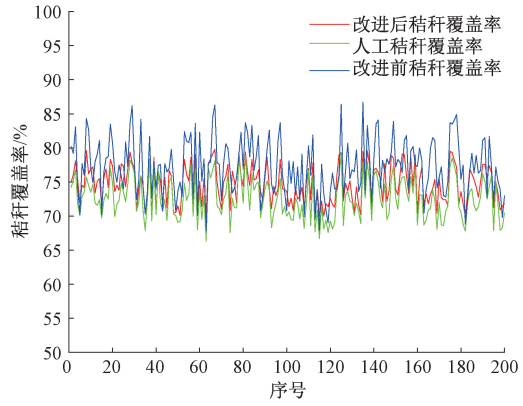

图 21　秸秆覆盖率 70%～80%

Fig. 21　Straw coverage of 70%～80%

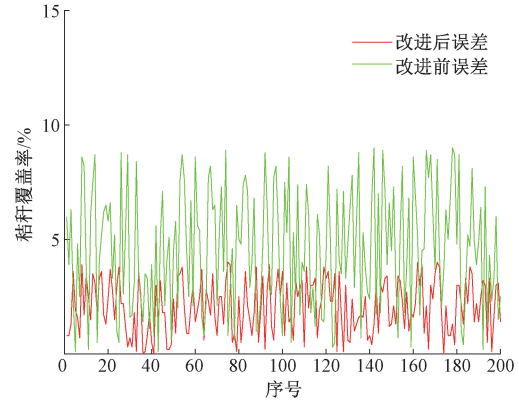

图 22　秸秆覆盖率 70%～80%误差对比曲线

Fig. 22　Error curve comparison graph of 70%～80% straw coverage

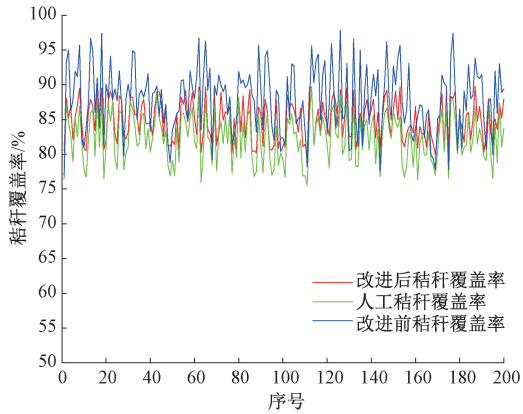

图 23　秸秆覆盖率 80%～90%

Fig. 23　Straw coverage of 80%～90%

5　结　论

本文提出了采用了彩色分量空间距离灰度化方

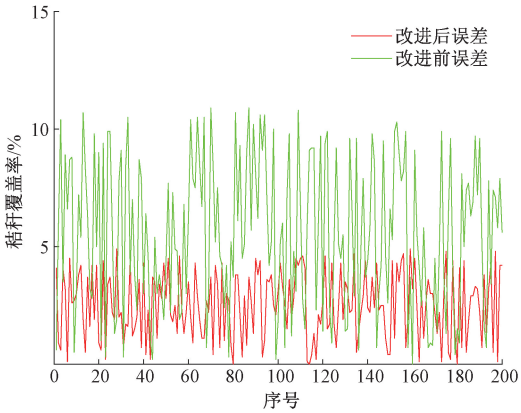

图24　秸秆覆盖率80%~90%误差对比曲线

Fig. 24　Error curve comparison graph of 80%~90% straw coverage

法分离目标与背景,再采用改进的Bernsen算法对图像进行二值化处理并计算秸秆覆盖率,这种方法与以前的算法相比较,具有适应性更强,精度更高,对细碎以及粗壮秸秆漏检以及光照不均匀的问题都得到了很好的改善,经实验验证,秸秆覆盖率为30%~80%时,采用改进后的Bernsen算法计算秸秆覆盖率差小于5%。

参考文献

[1] 孙力,盖志佳,王谦玉,等. 中国秸秆覆盖研究现状及展望[J]. 安徽农学通报,2015,21(7):96-98.
SUN L, GAI ZH J, WANG Q Y, et al. Advances in straw mulch technology and its prospect in China[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2015, 21(7): 96-98.

[2] 王丽丽,徐岚俊,魏舒,等. 基于Sauvola与Otsu算法的秸秆覆盖率图像检测方法[J]. 农业工程,2017,7(4):29-35.
WANG L L, XU L J, WEI SH, et al. Straw coverage detection method based on Sauvola and Otsu segmentation algorithm[J]. Agricultural Engineering,2017,7(4): 29-35.

[3] 汪可欣,付强,张中昊,等. 秸秆覆盖与表土耕作对东北黑土根区土壤环境的影响[J]. 农业机械学报,2016,47(3):131-136.
WANG K X, FU Q, ZHANG ZH H, et al. Effects of straw mulching mode and tillage methods on soil environment of root zone in northeast black soil[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2016,47(3): 131-136.

[4] 刘之榆,刘忠,万炜,等. SAR与光学遥感影像的玉米秸秆覆盖度估算[J]. 遥感学报,2021,25(6):1308-1323.
LIU ZH Y, LIU ZH, WAN W, et al. Estimation of maize residue cover on the basis of SAR and optical remote sensing image[J]. National Remote Sensing Bulletin, 2021,25(6):1308-1323.

[5] 刘媛媛,张硕,于海业,等. 基于语义分割的复杂场景下的秸秆检测[J]. 光学精密工程,2020,28(1):200-211.
LIU Y Y, ZHANG SH, YU H Y, et al. Straw detection algorithm based on segmentation in complex farm scenarios[J]. Optics and Precision Engineering,2020, 28(1):200-211.

[6] 苏艳波,张东远,李洪文,等. 基于自动取阈分割算法的秸秆覆盖率检测系统[J]. 农业化研究,2012,34(8)138-142.
SU Y B, ZHANG D Y, LI H W, et al. Measuring system for residue cover rate based on automation threshold[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2012,34(8):138-142.

[7] 肖明霞,鲁昌华,韦海成,等. 基于航拍图像去雾增强的秸秆焚烧监测技术研究[J]. 电子测量与仪器学报,2017,31(4):57-62.
XIAO M X, LU CH H, WEI H CH, et al. Study on monitoring technology of straw burning based on UAV aerial image dehazing enhancement algorithm[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2017,31(4):57-62.

[8] 冯登超,秦焕禹,杨晓冬,等. 基于资源三号卫星影像的秸秆焚烧火点监测研究[J]. 电子测量与仪器学报,2015,29(4):158-163.
FENG D C, QIN H Y, YANG X D, et al. Research on straw burning fire point monitoring based on ZY-3 satellite image[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015,29(4):158-163.

[9] 郝若帆. 基于分散样本图像的区域秸秆覆盖率估算研究[D]. 石家庄:河北科技大学,2019.
HAO R F. Research on estimation of regional straw coverage based on scattered sample images[D]. Shijiazhuang: Hebei University of Science and Technology,2019.

[10] 于国庆,郝若帆,马洪涛,等. 基于图像处理和支持向量机的粉碎性秸秆覆盖率的图像识别方法研究[J]. 河南农业科学,2018,47(11):155-160.
YU G Q, HAO R F, MA H T, et al. Research on image recognition method based on SVM algorithm and ESN algorithm for crushed straw mulching rate[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences,2018,47(11):155-160.

[11] 徐胜勇,彭程里,陈可,等. 基于扇环形区域图像分割的小麦秸秆截面参数测量方法[J]. 农业机械学报,

2018,49(4):53-59.
XU SH Y, PENG CH L, CHEN K, et al. Measurement method of wheat stalks cross section parameters based on sector ring region image segmentation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2018,49(4):53-59.

[12] 郑智旗,王树东,何进,等. 基于自动监测径流场的秸秆覆盖坡耕地产流产沙过程[J]. 农业机械学报,2014,45(12):160-164,138.
ZHENG ZH Q, WANG SH D, HE J, et al. Process of run off and sediment yield in straw covered sloping fields based on automatic run off monitoring field [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machiny,2014,45(12):160-164,138.

[13] 殷文,柴强,胡发龙,等. 干旱内陆灌区不同秸秆还田方式下春小麦田土壤水分利用特征[J]. 中国农业科学,2019,52(7):1247-1259.
YIN W, CHAI Q, HU F L, et al. Characteristics of soil water utilization in spring wheat field with different straw retention approaches in dry inland irrigation areas[J]. Scientia Agricultura Sinica,2019,52(7):1247-1259.

[14] 孙元,彭小奇,宋彦坡. CCD 比色测温中辐射图像滤波与分割[J]. 中国图象图形学报,2017,22(1):20-28.
SUN Y, PENG X Q, SONG Y P. Radiation image filtering and segmentation in CCD-based colorimetric thermometry[J]. Journal of Image and Graphics,2017,22(1):20-28.

[15] 张洁玉. 基于图像分块的局部阈值二值化方法[J]. 计算机应用,2017,37(3):827-831.
ZHANG J Y. Binarization method with local threshold based on image blocks [J]. Journal of Computer Applications,2017,37(3):827-831.

[16] SUDEEP D T, PIYUSH R C, RIK D. Identifying land usage from aerial image using feature fusion of Thepade's sorted n-ary block truncation coding and bernsen thresholding with ensemble methods[J]. International Journal of Engineering and Advanced Technology,2020,9(3):2612-2621.

[17] 徐胜勇,段宏兵,李东臣,等. 小麦茎秆截面参数显微图像测量系统[J]. 农业机械学报,2017,48(7):46-52.
XU SH Y, DUAN H B, LI D CH, et al. Measurement system for parameters of wheat stem section based on microimage processing[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2017,48(7):46-52.

[18] 张琦,王淑兰,王浩,等. 深松与免耕频次对黄土旱塬春玉米田土壤团聚体与土壤碳库的影响[J]. 中国农业科学,2020,53(14):2840-2851.
ZHANG Q, WANG SH L, WANG H, et al. Effects of subsoiling and no-tillage frequencies on soil aggregates and carbon pools in the Loess Plateau[J]. Scientia Agricultura Sinica,2020,53(14):2840-2851.

[19] 程科,李军,毛红玲. 不同轮耕模式对黄土高原旱作麦田土壤物理性状的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(18):3800-3808.
CHENG K, LI J, MAO H L. Effects of different rotational tillage patterns on soil physical properties in rainfed wheat fields of the Loess Plateau[J]. Scientia Agricultura Sinica,2013,46(18):3800-3808.

[20] 傅敏,郝敏敏,胡恒宇,等. 土壤有机碳和微生物群落结构对多年不同耕作方式与秸秆还田的响应[J]. 应用生态学报, 2019,30(9):3183-3194.
FU M, HAO M M, HU H Y, et al. Responses of soil organic carbon and microbial community structure to different tillage patterns and straw returning for multiple years[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019,30(9):3183-3194.

[21] 朱晓晴,安晶,马玲,等. 秸秆还田深度对土壤温室气体排放及玉米产量的影响[J]. 中国农业科学,2020,53(5):977-989.
ZHU X Q, AN J, MA L, et al. Effects of different straw returning depths on soil greenhouse gas emission and maize yield [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020,53(5):977-989.

[22] 李新华,朱振林,董红云,等. 玉米秸秆不同还田方式下麦田温室气体排放特征[J]. 农业资源与环境学报,2016,33(2):176-181.
LI X H, ZHU ZH L, DOGN H Y, et al. Characteristics of greenhouse gas emissions from the wheat fields with different returning methods of maize straws[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2016,33(2):176-181.

[23] 叶丽丽,王翠红,彭新华,等. 秸秆还田对土壤质量影响研究进展[J]. 湖南农业科学, 2010(19): 52-55.
YE L L, WANG C H, PENG X H, et al. Effect of straw returning on soil quality [J]. Hunan Agricultural Sciences,2010(19):52-55.

[24] 张善文,黄文准,师韵. 基于改进 Bernsen 二值化算法的植物病害叶片病斑检测[J]. 广东农业科学,2016,43(12):129-133.
ZHANG SH W, HUANG W H, SHI Y. Improved Bernsen binary algorithm for spot detection of plant disease leaves [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2010(19):52-55.

[25] WANG J J, ZHANG W, LIU L Z. Summary of plant diseases and pests image recognition technology [J].

Computer Engineering and Science, 2014, 36(7): 1363-1369.

[26] JIANG S G, LI H, QING Z, et al. A new method for soybean leaf disease detection based on modified salient regions[J]. International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering, 2015, 10(6): 45-52.

[27] AHMED M, AHMED T, HUANG Z C, et al. An enhanced bernsen algorithm approaches for vehicle logo detection[J]. International Journal of Signal Processing Image Processing & P, 2014, 7(4): 203-210.

作者简介

杨光,分别在 2000 年于吉林建筑大学获得学士学位,2004 年和 2016 年于长春理工大学获得硕士学位和博士学位,现为长春理工大学副教授,主要研究方向为智慧农机和汽车非标设备开发。

E-mail: guangyang1975@126.com

Yang Guang received B. Sc. from Jilin Jianzhu University in 2000, M. Sc. and Ph. D. from Changchun University of Science and Technology in 2004 and 2016, respectively. He is an associate professor at Changchun University of Science and Technology. His main research interests include Intelligent agricultural machinery and development of automobile non-standard equipment.

丁博,2020 年于长春理工大学获得学士学位,现为长春理工大学在读硕士研究生,主要研究方向为传感与信号处理。

E-mail: 2523124029@qq.com

Ding Bo received B. Sc. from Changchun University of Science and Technology in 2020. He is currently a M. Sc. candidate at Changchun University of Science and Technology. His main research interests include sensing and signal processing.