

# 面向光伏发电功率预报的云层图像采集与分割研究

吴颖东,穆清萍,董 霏,侯北平,黄 俊

(浙江科技学院 自动化与电气工程学院,杭州 310023)

**摘 要:** 设计了一种跟踪太阳的机械装置,能够利用全景相机采集天空图像,并确保太阳在图像的中心区域,以获取更多更有效的云层信息。依据采集图像中白色云层与蓝色天空所含颜色分量的不同,提出一种基于颜色特征的云层检测方法,可以将云层从全景图像中分割出来,并对不同类型的云层进行处理。试验结果表明,设计的图像采集装置能有效获取太阳能电站区域的天空全景图像,设计的图像处理算法能有效分割云层区域,从而为后续的太阳能预报打下基础。

**关键词:** 天空全景图像;云层图像;颜色特征;图像分割

**中图分类号:** TP317.4;TM615

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-8798(2018)05-0391-07

## Research on cloud image acquisition and segmentation for photovoltaic power forecast

WU Yingdong, MU Qingping, DONG Fei, HOU Beiping, HUANG Jun

(School of Automation and Electrical Engineering, Zhejiang University of  
Science and Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

**Abstract:** This paper designed a novel mechanism committed to tracing the movement of the sun and acquiring the sky image with the panoramic camera, ensuring that the sun is located in the central area of camera's view so as to access more effective information of clouds. According to the assumption that the color components differ between white clouds and blue sky in the collected images, this paper put forward a cloud detection method based on color feature. Furthermore, various clouds could be segmented from the panoramic images for treatment. The experimental results indicated that the designed image acquisition device could effectively obtain the panoramic image of the sky in the solar power plant area, and the designed image processing algorithm could effectively segment the clouds area, which would provide a foundation for the subsequent photovoltaic power forecast.

**Keywords:** sky panorama images; cloud image; color feature; image segmentation

---

**收稿日期:** 2018-01-19

**基金项目:** 浙江省公益性技术应用研究计划项目(2017C33119)

**通信作者:** 侯北平(1976—),男,山东省日照人,教授,博士,主要从事图像处理、机器视觉研究。E-mail: bphou@zust.edu.cn。

目前太阳能作为清洁高效的再生资源已成为世界各国重要的发展产业。中国太阳能资源丰富且分布广泛,合理有效地利用太阳能资源成为国家发展绿色能源、建立绿色能源体系的重要标志。中国正处在太阳能光伏发电建设的黄金时期<sup>[1-2]</sup>。通过对太阳的跟踪和云层遮挡太阳的预测能够更有效地利用太阳能光伏发电,因此,近几年随着图像处理技术的发展与进步,针对太阳跟踪、处理云层图像的研究成为一个热点<sup>[3-4]</sup>。

由于光伏发电系统的实际输出功率主要受太阳辐射的影响,而太阳辐射又受气温、云层等气象要素随机变化的影响,具有明显的波动性和不确定性。光伏发电系统相对于地区电网而言是一个不可控源,其发电的波动性和随机性会对地区电网造成巨大冲击,导致输出功率的不连续和不确定,从而影响电网稳定、降低电力质量<sup>[5-6]</sup>。Edward<sup>[7]</sup>的研究表明,光伏发电量在电力系统中比例的突然增大会引起电网的波动,当出现大的波动(如比例超过 15%)时,将引起电网瘫痪。因此提供准确的短期太阳能光伏发电预测就成了光伏电站并入电网系统的重要问题<sup>[8]</sup>,而研究云层运动对分析光伏发电的功率预测则具有重要意义。目前对太阳和云层的自动识别跟踪已取得一些进展。耿其东等<sup>[9]</sup>利用位置敏感探测器(PSD)来实现自动跟踪太阳。谢永华等<sup>[10]</sup>提出采用多尺度分析的地基云图自动识别算法,通过改进的增强云图的局部特征描述能力,其云层图分类识别率达到 86.7%。胡学岭等<sup>[11]</sup>在提取云层灰度共生矩阵和 Gabor 变换特征的基础上计算云图的多纹理组合特征,从而获得 85% 的云层识别效果。陈锦源等<sup>[12]</sup>利用小波和纹理特征分析方法提取所需的特征参数,设计合适的分类器识别检测云层的种类,使分类准确率高于单一识别分辨率。在跟踪太阳采集全景图像过程中,重要的是能够实时准确定位太阳。由于实际地理环境条件和机械装置所造成的误差,往往不能够精确定位并跟踪太阳,导致采集的图像效果不理想,因此需要进行矫正。本研究在对太阳跟踪采集全景天空图像的基础上,通过对比云层天空颜色特征,提出了一种基于颜色通道信息对运动云层进行实时分类的方法,以增加鲁棒性。

## 1 总体设计

为实现上述研究目标,设计了能跟踪太阳的机械装置,利用所在地的经纬度位置信息与太阳方位信息控制云台工作,跟踪太阳,并利用高速相机与全景鱼镜头采集全景天空图像;对采集的天空图像提取颜色信息,通过分析计算出合适的阈值对图像进行分割。总体设计如图 1 所示。

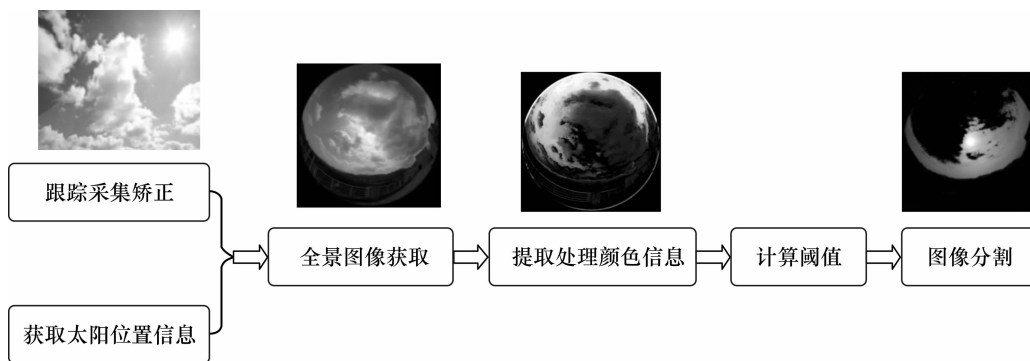


图 1 总体设计

Fig. 1 Overall design

## 2 全景天空图像采集装置设计

利用全景相机采集天空全景图像,将太阳置于镜头的中心,使用工控机通过 RS-485 串口控制云台跟踪太阳并采集天空图像。天空图像采集装置放置在空旷场地内,以减少非天空信息的影响,得到更多更准确的天空云层图像信息。如图 2 所示,跟踪太阳的机械装置在跟踪采集图像过程中,通过获取地理位置、计算太阳高度角与时间等信息确定太阳在天空中的位置,并控制云台跟踪采集图像。将采集的图像经过图像处理后,利用太阳在图像中的位置信息进行区域提取定位补偿,以便在受到外界干扰情况下能够进行自我矫正。图 2 中, $\sigma$  为太阳圆心与采集图像中心的中心偏差。

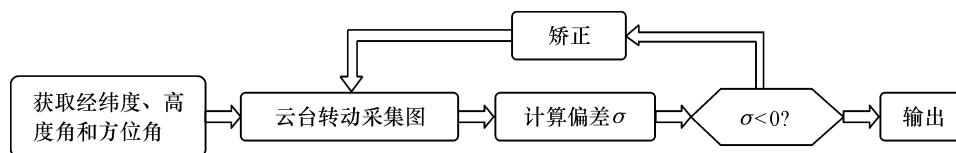


图2 实时采集的太阳跟踪校正方法流程图

Fig. 2 Flow chart of solar tracking correction method for real-time acquisition

## 2.1 装置结构

如图3所示,设计的天空全景图像采集系统包括支撑机构、调节机构、工控机、二维运动控制云台、高清相机等。

设计机械固定装置,支撑装置与水平面成 $30^\circ$ 夹角。二维运动云台采用双电机分别控制水平转动和垂直转动,其中水平转动角度范围为 $-180^\circ \sim +180^\circ$ ,垂直转动角度范围为 $-45^\circ \sim +45^\circ$ ,能够确保一年当中太阳最大高度角和最小高度角位置都能够使用云台跟踪。

将太阳置于中心点位采集的天空云层图像,能够尽可能多地显示太阳附近的云层信息;而垂直于天空采集的云层图像,在广角镜头边缘部分由于相机自身原因,云层发生很大程度的畸变,影响后续的云层遮挡太阳的预测。因此我们将鱼眼镜头中心对准太阳采集图像,如图4(a)所示。而传统方法<sup>[13]</sup>中都是将相机垂直于天空放置,太阳在不同时刻出现于全景天空图像的不同位置,如图4(b)所示。从将太阳放置图像中心位置与传统方法这两种不同采集方式获取的积云、积层云、卷云3幅图像中可以看出,太阳越靠近天空边缘,太阳与天空边缘之间的云层变化越难以观测。通过跟踪装置采集图像可以获取更多的云层有效信息,即使在太阳位于靠近天空边缘部位时也能够较好地获得边缘区域云层的信息。在云层从边缘部位开始到靠近太阳,通过本研究设计的装置采集的云层图像也比传统方法采集的全景天空图像更精确地显示云层信息。

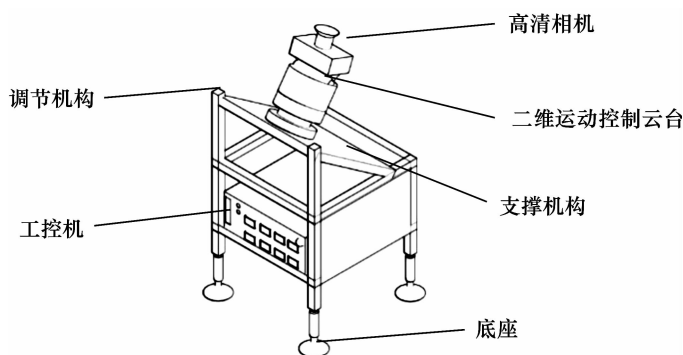
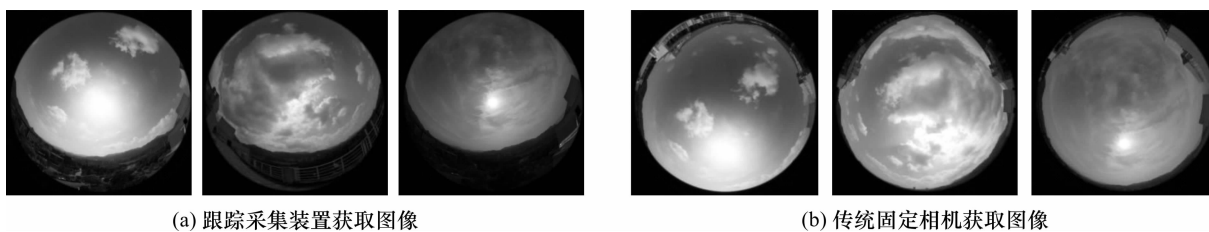


图3 太阳跟踪校正系统装置

Fig. 3 Solar tracking correction system



(a) 跟踪采集装置获取图像

(b) 传统固定相机获取图像

图4 两种方法采集天空的图像比较

Fig. 4 Comparison of two kinds of sky image acquisition

## 2.2 基于经纬度信息的太阳自动跟踪

机械装置跟踪太阳采集图像需要通过经纬度等方位信息来确定天空中太阳的准确位置,因此要计算出太阳相关地理信息和经纬度信息。太阳高度角是地平线与太阳光线入射方向的夹角,太阳方位角是太阳在地面投影和地经线的夹角。太阳高度角和方位角相结合能够确定太阳在天空中的具体方位,利用太阳高度角和方位角来确定太阳在天空中的位置是太阳定位的常用方法<sup>[14-16]</sup>。

当前时刻太阳的日角 $\beta$ 为:

$$\beta = \frac{360 \times (n - 1)}{365} \quad (1)$$

式(1)中: $n$ 为检测当天对应的一年中累积总天数,例如以公历为例,1月1日为天数 $n=1$ ,1月2日为天数 $n=2$ ,以此类推,12月31日为天数 $n=365$ 。

计算当地真太阳时的时间  $t_1$  :

$$e = 0.0172 + 0.4281 \cos \beta - 7.3175 \sin \beta - 3.3495 \cos 2\beta - 9.3619 \sin 2\beta, \quad (2)$$

$$t_1 = t - \frac{(120 - \lambda) \times 60}{15} + e. \quad (3)$$

式(3)中:  $\lambda$  为当地的地理位置经度信息;  $t$  为北京时间, min。

计算当地此刻的太阳高度角  $\alpha$  及方位角  $\gamma$  :

$$\alpha = \arcsin(\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \psi), \quad (4)$$

$$\gamma = \arcsin \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha}.$$

式(4)中:  $\psi$  为太阳时角。

根据太阳高度角  $\alpha$  及方位角  $\gamma$  来确定太阳当前的位置, 并通过控制单元控制二维运动控制平台和摄像机采集太阳图像。

### 2.3 基于太阳图像提取定位补偿方法

跟踪太阳的机械装置受到外界因素干扰后对太阳跟踪产生偏差, 因此, 采用太阳区域提取定位补偿能够更好地对太阳进行跟踪采集图像。图像经过形态学处理、灰度化、二值化后, 根据连通域的最小外接圆筛选出太阳对应的连通域。确定太阳的圆心  $O$ , 太阳的圆心就是太阳对应的连通域的质心:

$$x_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=a_0}^a \sum_{j=b_0}^b x_i, \quad (5)$$

$$y_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=a_0}^a \sum_{j=b_0}^b y_i. \quad (6)$$

式(5)~(6)中:  $a_0$  和  $a$  分别为太阳对应的连通域的起始行和结束行;  $b_0$  和  $b$  分别为太阳对应的连通域的起始列和结束列,  $m$  为太阳对应的连通域内像素点个数;  $x_0$  和  $y_0$  分别为太阳的圆心  $O$  的坐标;  $x_i, y_i$  分别为太阳对应的连通域内像素点的横坐标和纵坐标。计算出太阳圆心与图像中心点的中心偏差  $\sigma$ , 由于太阳遮挡板是通过透明支撑杆固定在鱼镜头前方, 即在采集的太阳图像的中心, 因此偏差  $\sigma(\sigma_x, \sigma_y)$  就是太阳圆心与采集的太阳图像中心  $(\bar{x}, \bar{y})$  的偏差:

$$\sigma_x = \bar{x} - x_0,$$

$$\sigma_y = \bar{y} - y_0.$$

通过上述补偿计算后, 跟踪太阳的机械装置即使在受到外界晃动干扰后, 跟踪采集图像太阳未在中心区域, 或在采集图像过程中由于机械转动和人为调整出现跟踪采集图像不精确等, 这些情况都能够通过自身矫正来调整机械装置恢复到正常采集。

## 3 云层图像分割

在图像采集的基础上, 有效提取云层信息至关重要。一般对图像预处理包括灰度信息处理、HSV 信息处理和 RGB 信息处理。通过对比分析发现, 图像中 RGB 信息对分割云层与天空有很好的效果, 一幅普通 RGB 彩色云层图像可以看作是彩色像素的一个  $m \times n \times 3$  的数组, 每个彩色像素点在特定的空间位置对应彩色图像中的红色通道(R)、绿色通道(G)、蓝色通道(B)。

### 3.1 颜色通道分离

通过像素通道 G 和 B 两通道相减, 得到云层灰度图像。由于太阳附近受到阳光的干扰难以很好地分割附近云层, 并且相机通过鱼镜头采集天空云层图像时, 难免将地面建筑和山峰拍摄到, 因此均会对云层图像处理产生影响, 需要对图像的非云层信息进行分割处理。

将采集图像分别提取云层图像的 RGB 三通道像素。通过对比单通道图像信息, 在图像中天空显示蓝色, 云层基本上显示白色。因此采集的图像中云层和天空所包含的三通道颜色信息存在差别, 根据三通道中存在的颜色通道信息的差别可以有效地将云层与天空分割。因此, 可以通过阈值分割提取云层的

位置和形状信息<sup>[17-19]</sup>。如图5所示,对采集的积云、积层云、卷云、层积云4幅图像进行归一化处理,分别提取RGB图像的红色通道图像、蓝色通道图像和绿色通道图像。从绿色通道信息与蓝色通道信息的对比可知,在云层中绿色通道与蓝色通道的像素值差值的绝对值很小,天空中蓝色通道像素值远大于绿色。因此,使用蓝色分量值减去绿色分量值的绝对值能够很好地将云层与天空分割。

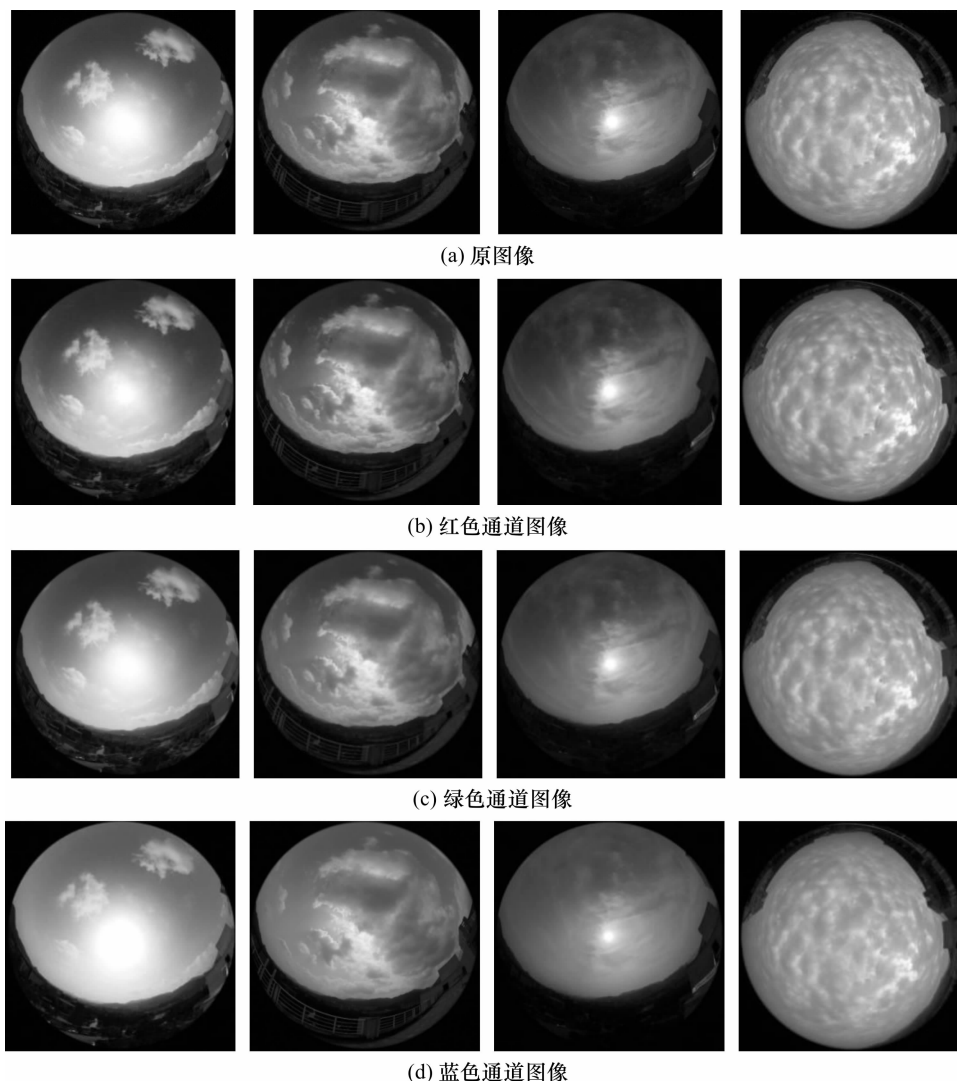


图5 单通道图像处理结果比较

Fig. 5 Comparison of single channel image processing results

### 3.2 分割阈值的确定

通过最大类间方差法(OTSU)找到合适的阈值,对于单通道图像,前景(云层)和背景(天空)的分割阈值记作  $T$ ,则有:

$$\mu = \omega_0 \mu_0 + \omega_1 \mu_1, \quad (7)$$

$$g = \omega_0 (\mu_0 - \mu)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu)^2. \quad (8)$$

式(7)~(8)中: $\omega_0$  为前景的像素点数占整幅图像的比例,其平均灰度  $\mu_0$ ;  $\omega_1$  为背景像素点数占整幅图像的比例,其平均灰度为  $\mu_1$ ;  $\mu$  为图像的总平均灰度;  $g$  为类间方差。图像的前景较暗,并且图像的大小为  $M \times N$ ,通过分析得到等价公式:

$$g = \max \{ \omega_0 \omega_1 (\mu_0 - \mu_1)^2 \}.$$

采用遍历的方法得到最大类间方差  $g$  即为所求最大的阈值  $T$ 。经过对比后通过形态学处理,使用合适阈值进行图像二值化,结果如图6所示。

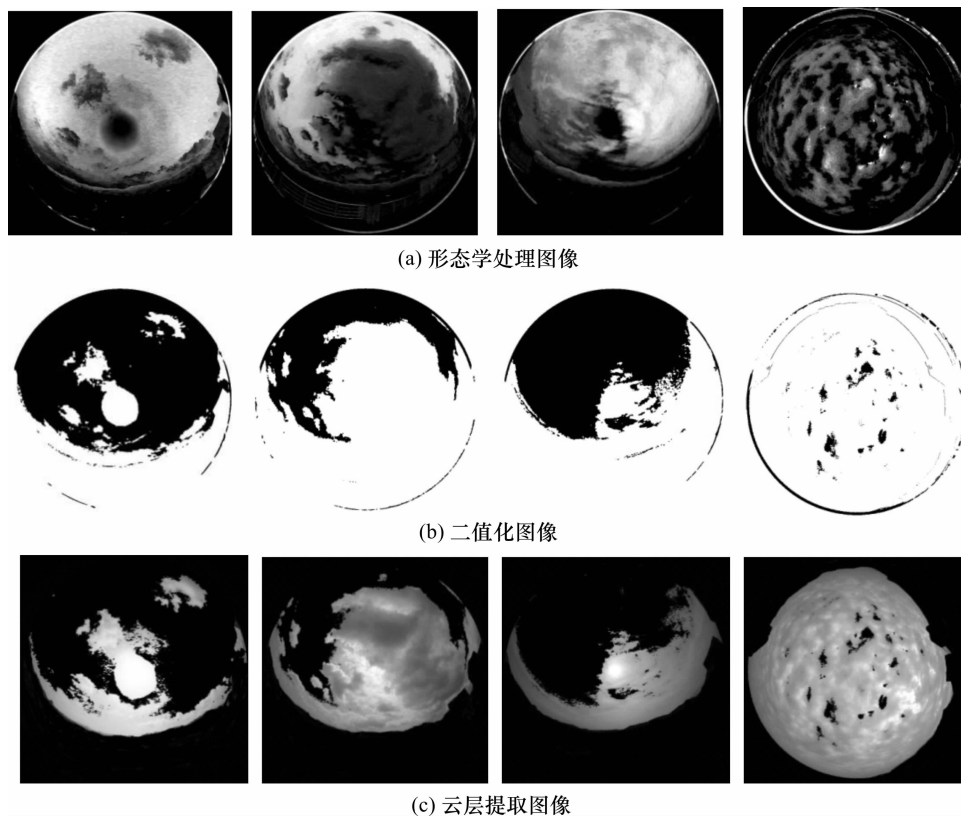


图 6 不同处理结果图像比较

Fig. 6 Image comparison of different processing results

### 3.3 试验结果分析

由 3.1 应用处理,通过 3 种颜色分量对比运算得到云层与天空的对比处理图像,如图 7 所示。

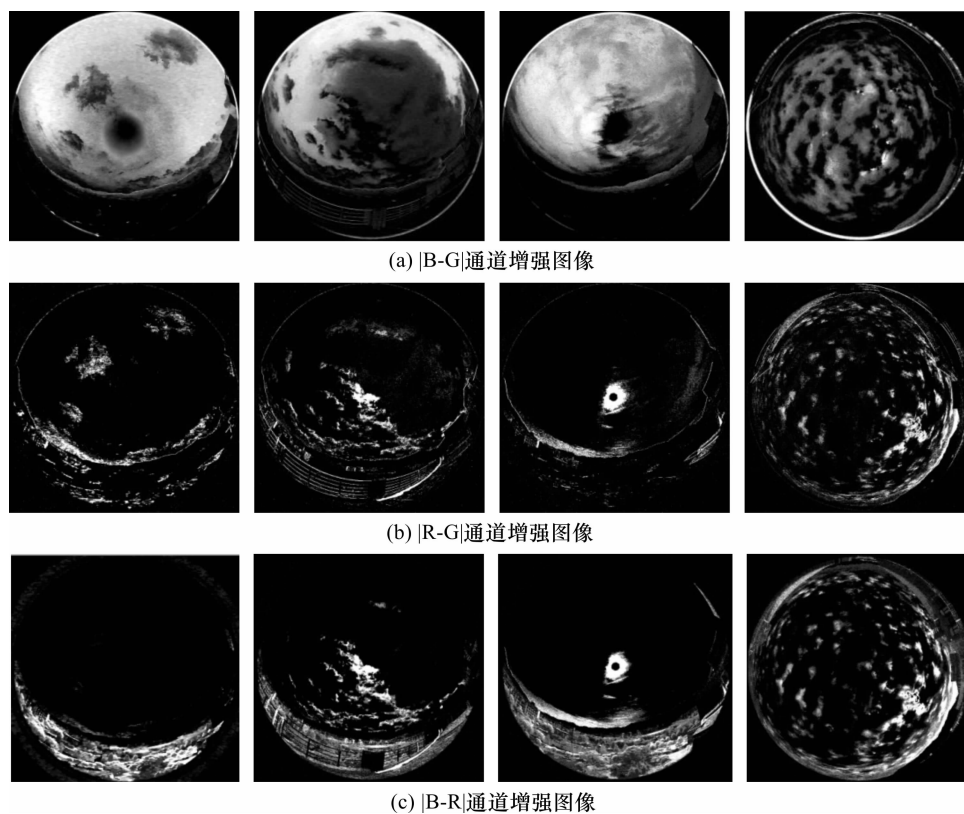


图 7 处理结果图像

Fig. 7 Image of processing results

选取各种类型云层的 50 张图片进行测试,人工分割每张图片的云层图像,并计算云层像素点个数。经过 3 种通道相互运算后分割云层图像,计算像素点个数。对计算颜色信息处理后的云层像素点所占原图像云层像素点数的比例进行分析,如表 1 所示。通过分析可知,G(绿色)分量与 B(蓝色)分量差值运算得到的处理效果在积云、积层和卷云天气情况下明显优于其他通道运算所得效果。在层积云的处理结果中,B 分量与 G 分量的差值运算与其他通道运算处理结果基本上相同。

4 结 论

本研究设计出的太阳跟踪矫正采集天空图像系统,将采集的天空云图像进行预处理分割提取,通过采集系统实时采集图像,经过灰度化、二值化后,根据提取出所有连通域拟合出太阳轮廓,找到太阳中心点,进行跟踪矫正,并对不同云层采用不同处理方法,经过图像形态学、最大类间方差法等对图像进行预处理,能够较好地提取云层信息。

参考文献:

[1] 孟浩,陈颖健.我国太阳能利用技术现状及其对策[J].中国科技论坛,2015,2009(5):96.

[2] 张宪昌.中国新能源产业发展政策研究[D].北京:中共中央党校,2014.

[3] International Energy Agency. Technology roadmap:solar photovoltaic energy[C]. Paris:IEA,2010.

[4] 朱彪,杨俊,吕伟涛,等.基于 KNN 的地基可见光云图分类方法[J].应用气象学报,2012,23(6):721.

[5] 卢冬冬,郑莆燕,袁言周,等.基于天气预报的光伏发电预测研究[J].硅谷,2014(15):43.

[6] 路欣怡,刘念,陈征,等.电动汽车光伏充电站的多目标优化调度方法[J].电工技术学报,2014,29(8):46.

[7] EDWARD S C. 可持续能源的前景[M]. 北京:清华大学出版社,2002.

[8] 芦浩.太阳能光伏发电技术应用研究与普及[J].中国新技术新产品,2016(16):28.

[9] 耿其东,李春燕.双轴式太阳跟踪装置控制系统的研究[J].机械与电子,2011(3):54.

[10] 谢永华,胡学岭,张恒德.基于多尺度分析的地基云图自动识别的研究[J].计算机仿真,2014,31(11):212.

[11] 胡学岭,谢永华,张恒德.基于多纹理特征和 PCA 的地基云图识别研究[J].科学技术与工程,2013,13(32):9477.

[12] 陈锦源,高太长,刘磊,等.基于小波变换与纹理特征分析的地基云图识别[J].气象水文海洋仪器,2014,31(1):2.

[13] 冯小强,宋伟峰,宋婉贞,等.太阳跟踪装置[J].电子工业专用设备,2010,39(11):18.

[14] MARQUEZ R, COIMBRA C F M. Intra-hour DNI forecasting based on cloud tracking image analysis[J]. Solar Energy,2013,91:327.

[15] CHI W C, BELONGIE S, KLEISSL J. Cloud motion and stability estimation for intra-hour solar forecasting[J]. Solar Energy,2015,115:645.

[16] CHU Y, URQUHART B, GOHARI S M I. Short-term reforecasting of power output from a 48 MWe solar PV plant[J]. Solar Energy,2015,112:73.

[17] CHOW C W, URQUHART B, LAYE M, et al. Intra-hour forecasting with a totalsky imager at the UC San Diego solar energy testbed[J]. Solar Energy,2011,85(11):2881.

[18] 李树珍,石磊,张亮,等.基于视日运动轨迹的太阳跟踪装置控制系统的研究[J].中国农机化学报,2012(5):143.

[19] GONZALEZ R C, WOODS R E. 数字图像处理[M]. 3 版. 阮秋琦,阮宇智,等译. 北京:电子工业出版社,2017:249.