

文章编号: 2096-1618(2023)04-0410-04

自研制天空成像仪云量提取算法研究

胡亚宁, 卢会国, 刘雨馨, 刘梦琪
(成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都 610225)

摘要:云在大气的能量分配、辐射传输、水循环以及极端天气的形成过程中有着不可忽视的作用。云量指云遮蔽天空的成数,是云最重要的宏观物理特征之一,对于云的研究具有重要意义。针对项目组成员自行研制的天空成像仪进行云量提取算法的开发和应用,经过实验对比,将天空成像仪拍摄图像根据灰度分为黑屏、较暗和较亮3类,并基于分类结果采用传统红蓝比阈值法与全局阈值法相结合的方法进行云量提取。根据云量提取结果,2021年成都地区云量年均值为0.69,月均值0.55~0.85,春夏季相较于秋冬季云量较低,且云量日变化特征存在一定差异。

关键词:天空成像仪;云量;成都平原

中图分类号:P413.21

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2023.04.006

0 引言

云在大气的能量分配、辐射传输,尤其是在水循环系统以及强降雨等天气的形成中有着不可忽视的作用,研究云的分布对于研究气候变化、天气预报、云物理、航空航天以及人工影响天气等领域都具有重要的意义^[1]。云量则是指云遮蔽天空视野的成数^[2],是研究云的一种量化指标,因此分析云量对于云的研究具有重要意义。目前,已经有一系列的探测手段对云的各个要素进行观测分析,如飞机穿云观测云中微物理特征^[3],卫星遥感为云的分布及微物理特征量的研究提供了重要依据^[4],以及地面对云的目测或使用地基测云仪测量云量、云高等^[5]。而近几十年来,基于地面的天空成像仪得到快速发展,探测天空的手段变得多种多样,此时更加需要找到一种较为准确的分割云与晴空的手段来对云量进行分析。

在探测云量时,不同天空状况对云的成像作用不同。一般情况下,当气溶胶散射程度或雾霾污染程度都不严重时,人眼看到的晴空是蓝色的;而阴天的图像比晴空的图像明显偏暗,找到一种适应于不同天空状况的云量算法迫在眉睫。Long等^[6]针对观测云量的自动化仪器——全天空成像仪,提出一种固定阈值算法,利用图像中红色和蓝色通道值的比率从天空图像中识别云。但该方法使用的单一阈值被证明在多种情况下(阴天及污染),存在一定缺陷^[7]。周文君等^[8]针对传统全天空成像仪所使用的红蓝比阈值法在大气污染情况下的云量高估现象,提出了全局阈值法,用于提

高全天空成像仪云识别的准确率。该方法是在概率分布的基础上进行计算,在计算出晴空和云在同一张图像中的概率分布后,进行阈值分割,改进传统阈值法的单一阈值决定,从而更准确地分离出云点与晴空点。Xie等^[9]提供了一种全新的深度CNN模型SegCloud,已经被应用到基于地面观测的精确云层划分上面。该方法使用卷积神经网络(CNN)进行目标识别,已被广泛应用于许多领域,如计算机视觉和模式识别。Liu等^[10-11]提出的超像素分割法和自动图像分割法也被应用于天空图像中的云提取。

四川盆地作为封闭盆地,地势由西北向东南倾斜,东南和西南气流输入的水汽不易从北方输出,导致四川盆地常年处于相对湿度接近饱和的状态,有利于云的形成^[12]。成都地处四川盆地西部边缘,位于整个四川盆地总云量的高值区^[13]。然而,现有的全天空成像仪多由国外公司研发,成本较高,成都地区阴天较多,天空亮度有限,云识别算法误差较大。因此,成都地区目前仍然缺少基于地基仪器的云和太阳辐射的长期高精度区域性综合观测数据。

针对上述问题,研发了一款低成本的天空成像仪,可用于成都地区的云量特征地基观测工作。该天空成像仪结构、设置及维护简单,有助于云量特征地基观测的推广工作。本研究基于自研制天空成像仪的观测图像,进行云量提取算法开发,并进一步对成都平原的云量特征进行统计分析。

1 数据和方法

1.1 数据

使用的天空成像仪为成都信息工程大学教师自行

研发的全自动天空图像拍摄装置,由摄像头和图像采集模块两部分构成,如图 1 所示。

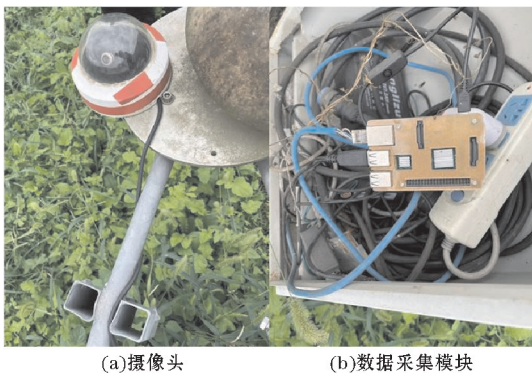


图 1 自研制天空图像记录仪

仪器自 2019 年 8 月 17 日开始观测,7-19 时(北京时间)每 10 分钟拍摄一张 680×480 像素、大小为 100±20 KB 的天空图像(.jpg 格式),以 2021 年 9 月 7 日 14:00 拍摄的图像为例,如图 2 所示。该仪器被设置在成都信息工程大学气象观测场东南角,为排除太阳直射光影响,仪器相机视场角具有 45°的倾斜。



图 2 2021 年 9 月 7 日 14:00 拍摄的图像

研究使用的自研制天空成像仪在观测云特征信息方面具有低成本、高精度等优点,但仍需进行算法设计,将拍摄图像转化为云量数据,从而达到较高的推广应用价值。

1.2 方法

研究基于传统全天空成像仪的云识别方法——红蓝比阈值法,结合自研制天空成像仪拍摄图像情况及成都地区的云特征,建立了云识别方法。首先将图像转化为灰度图,并根据拍摄图像的亮度(灰度平均值)情况进行预处理,将图像分为 3 类:黑屏(黑夜或照相机故障)、较暗和较亮。其中黑屏图像由于无法肉眼辨别云作为参照,不进行云识别处理。较暗和较亮两类图像采用红蓝比阈值法和全局阈值法组合的方法进行云识别,具体方法如图 3 所示。

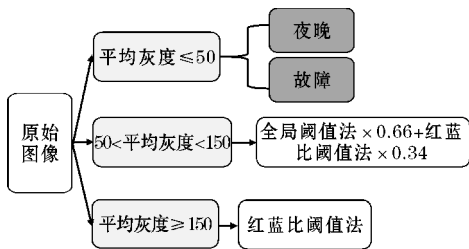


图 3 自研制天空成像仪云识别算法

图像亮度无法由肉眼分辨,仅能通过算法计算得到。较暗图像代表图像亮度较小,较亮图像代表图像亮度较大。为更好地识别云,采用不同的思路对两类图像进行处理。由于成都以阴天为主且较常出现大气污染,算法中的红蓝比阈值要高于传统方法,为 1.08。对于较暗图像,全局阈值法能更好地区分偏白天空和云,红蓝比阈值法在多云情况下识别较为准确,经实验,采用全局阈值法(占比 0.66)和红蓝比阈值法(占比 0.34)相结合的方法进行识别;对于较亮图像,对阈值进行调整后,传统红蓝比阈值法即可较好地识别云。

1.2.2 红蓝阈值法

由于自然界中的可见光由红(Red:R)、绿(Green:G)、蓝(Blue:B)3 种颜色光按照一定比例混合得到,RGB 值在一定程度上反映了红、绿、蓝(中心波段分别为 650 nm、570 nm、450 nm)3 个波段的辐射强度^[8]。根据瑞利散射理论,空气分子对于蓝光的散射程度远远高于对红光的散射程度,而云粒子对 3 色的散射程度均一。因此,可以通过计算图像中每个像素点的红蓝比(R/B)阈值对比的方法识别云和天空像素。

1.2.1 全局阈值法

全局阈值法是利用全局信息(例如整幅图像的灰度直方图)对整幅图像求出最优分割阈值^[14],此方法按照每张图像本身的灰度特征分布,把图像分为背景与目标两部分,通过判断类间方差的值是否为最大,决定该阈值是否为最优阈值^[15]。首先利用初始阈值对图像进行处理,再利用分组后的数据计算新阈值,多次迭代得到合适的阈值。具体方法如下:

初始阈值 k 将由 0 迭代至 255。根据式(1)计算出 $0 \sim k$ 中灰度级前景图像的灰度累计和 $P_1(k)$,进而可以由式(2)计算出前景像素(灰度值在 $0 \sim k$ 范围内的像素被称为前景像素)的平均灰度 $m_1(k)$;此外,由式(1)计算 $k \sim 255$ 灰度级背景像素(灰度值在 $0 \sim k$ 范围内的像素被称为背景像素)的灰度累计和 $P_2(k)$,并由式(3)和式(4)计算背景像素的平均灰度 $m_2(k)$ 和图像全局灰度阈值 mg 。

$$P_1(k) = \sum_{i=0}^k P_i = 1 - P_2(k) \tag{1}$$

$$m_1(k) = \frac{1}{P_1(k)} \sum_{i=0}^k (P_i \times i) \tag{2}$$

$$m_2(k) = \frac{1}{P_2(k)} \sum_{i=k+1}^{255} (P_i \times i) \quad (3)$$

$$mg = \sum_{i=0}^{255} P_i \quad (4)$$

其中 mg 为图像全局灰度均值。

最终由式(5)得到使 $b^2(k)$ 最大的全局阈值 k 。若使 $b^2(k)$ 达到最大值的 k 不唯一,则全局阈值为多个 k 的平均值(k^*)。

$$b^2(k) = P_1(k) \times (m_1(k) - mg)^2 + P_2(k) \times (m_2(k) - mg)^2 \quad (5)$$

2 结果与讨论

2.1 云识别结果

图4和图5分别展示了较暗和较亮的云识别样例。图4由于没有明显光源,红蓝比阈值法估算的云量存在一定程度上的高估,而全局阈值法能较好地弥补红蓝比阈值法高估的部分。图5存在较明显光源(如图5(a)右上角所示),导致天空颜色发白,全局阈值法会大幅度高估云量,仅调整红蓝比阈值法的阈值即可较为准确地估算云量。

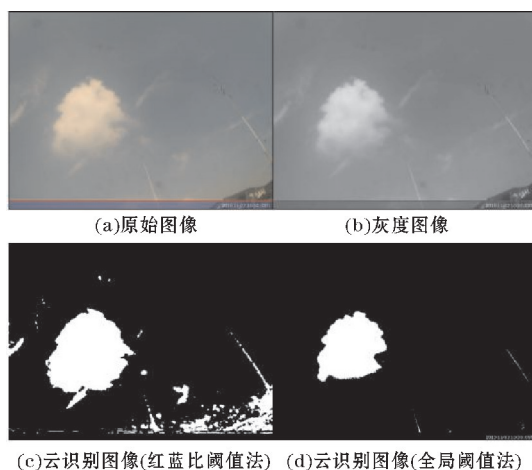


图4 较暗云识别样例

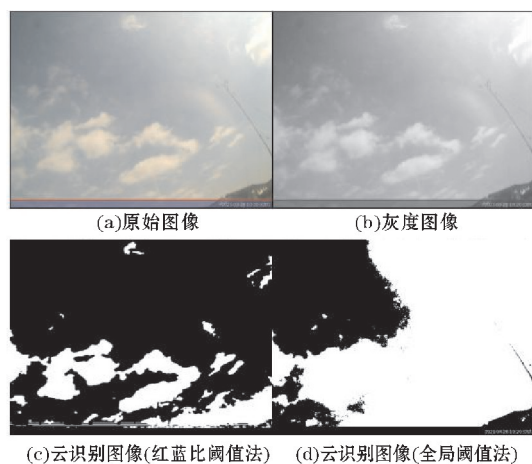


图5 较亮云识别样例

2.2 成都平原云量特征分析

2021年,成都地区年平均云量为0.69。对2021年成都地区日均云量及月均云量分析可知(图6),月均云量在2-8月偏低,约为0.6~0.7,秋季(9-11月)月均云量逐渐升高,冬季云量基本保持在0.8以上。此外,春夏季相对于秋冬季,日均云量的变化较为剧烈,跨度在0.2以上,7月和8月日均云量差异甚至达到了0.3以上,而秋冬季日均云量变化约为0.1左右。此外,成都地区2021年全年日均云量均在0.35以上,不存在能持续全天的晴朗无云天气。

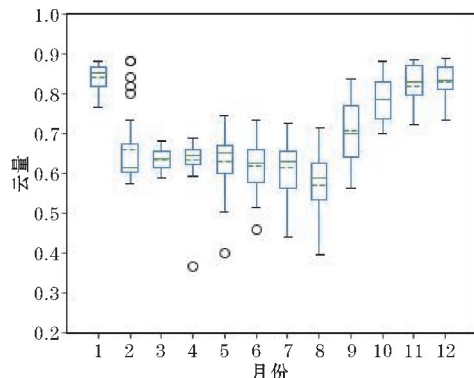


图6 2021年成都地区云量月变化(绿色实线和绿色虚线分别代表中值及平均值,黑色圆圈代表奇异点)

从图7可以看出,成都地区全年平均云量的日变化不明显,在0.65~0.72波动。从季节变化来看,春(3月、4月、5月)夏(6月、7月、8月)和秋(9月、10月、11月)冬(1月、2月、12月)的云量日变化特征略有不同,春夏季云量整体低于秋冬季。春夏季早晨和傍晚云量偏低(0.5~0.65),正午云量偏低(>0.6)。秋冬季则相反,早晨和傍晚云量偏高(0.75~0.8),正午云量偏高(0.7左右)。其中,春季平均云量略高于夏季,而秋冬季云量随时间变化的特征虽存在一定差异,但整体量级较接近。

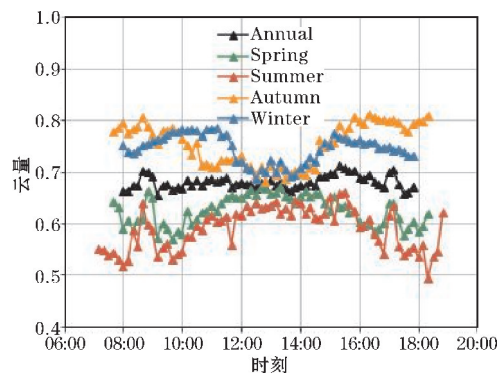


图7 2021年成都地区年及季节平均云量日变化

3 结束语

针对自研制天空成像仪进行了云量提取算法的研

究和应用。经过实验,最终选取全局阈值法与红蓝比阈值法相结合(较暗图像)和红蓝比阈值法(较亮图像)对天空图像进行云识别处理。云识别和云量计算结果表明,2021年成都地区年平均云量为0.69,秋冬季月均云量(>0.7)高于春夏季($0.6 \sim 0.7$)且日均云量的波动范围较小(0.1 左右)。云量平均日变化较不明显,春夏季与秋冬季云量日变化趋势存在一定差异,春夏季早晨和傍晚云量较低,正午较高,而秋冬季恰好相反。

参考文献:

- [1] 仲凌志,刘黎平,葛润生.毫米波测云雷达的特点及其研究现状与展望[J].地球科学进展,2009(4):36-44.
- [2] 蒋海安.用相同观测方法提高云量观测质量[J].陕西气象,2004(4):5.
- [3] 陈渭民,边多,郁凡.由卫星资料估算晴空大气太阳直接辐射和散射辐射[J].气象学报,2000(4):457-469.
- [4] 宋庆利,陈渭民,周学军,等.利用卫星资料研究云对地面净辐射的影响[J].气象,2005(1):29-32.
- [5] Martins F R, Souza M P, Pereira E B. Comparative study of satellite and ground techniques for cloud cover determination[J]. Advances in Space Research, 2003, 32: 2275-2280.
- [6] Long C N, Sabburg J M. Retrieving cloud characteristics from ground-based daytime color all-sky images[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2006, 23: 633-652.
- [7] Liu M, Zhang J, Xia X. Evaluation of multiple surface irradiance-based clear sky detection methods at Xianghe—A heavy polluted site on the North China Plain[J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2021, 14(2): 100016.
- [8] 周文君,牛生杰,许满锋.全天空成像仪云量计算方法的改进[J].大气科学学报,2014,37(3):289-296.
- [9] Xie W, Liu D, Yang M, et al. A novel cloud image segmentation model[J]. Atmospheric Measurement Techniques, 2020, 13: 1953-1961.
- [10] Liu S, Zhang Z. Automatic cloud detection for all-sky images using superpixel segmentation[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2014, 12: 354-358.
- [11] Liu S, Zhang Z. Ground-based cloud detection using automatic graph cut[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2015, 12: 1342-1346.
- [12] 林丹.成都地区云水资源分布特征及其与降水的关系[J].成都信息工程大学学报,2021,36(3):330-335.
- [13] 徐文嘉,胡文东,丁禹钦,等.成都地区一次极大暴雨天气过程成因初步分析[J].成都信息工程大学学报,2022,37(3):344-350.
- [14] 韩思奇,王蕾.图像分割的阈值法综述[J].系统工程与电子技术,2002(6):91-94.
- [15] 陈晓丹,李思明.图像分割研究进展[J].现代计算机(专业版),2013(33):33-36.

Cloud Fraction Extraction Algorithm for an Independently-developed Sky Imager

HU Yaning, LU Huiguo, LIU Yuxin, LIU Mengqi

(College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: Clouds play an important role in the Earth-Atmosphere system, affecting the radiation budget, weather patterns, and global water cycle. Cloud Fraction (CF) is the percentage of a sky image that is covered with clouds, which is one of the key macro-physical parameters of cloud and has a significant influence on relative studies. In this study, the cloud fraction extraction algorithm was developed and applied to an independently-developed sky imager located in Chengdu. In this algorithm, sky images are divided into three categories: black, relatively gray, and relatively white, and detected by the Red/Blue Threshold method and/or Global Threshold method. The annual cloud fraction at Chengdu in 2021 is 0.69, and the monthly mean cloud fraction ranges from 0.55 to 0.85. The cloud fraction in spring and summer is relatively lower than that in autumn and winter, and there are differences in the diurnal variation characteristic in these two periods.

Keywords: sky imager; cloud fraction; Chengdu Plain