

云量分割在空间目标观测中的研究

王恩旺¹ 王恩达² 樊亮¹ 旃进伟¹ 黄学海¹

(中国科学院紫金山天文台中国科学院空间目标与碎片观测重点实验室 南京 210008)¹

(楚雄师范学院信息科学与技术学院 云南 楚雄 675000)²

摘要 空间碎片观测过程中,云层干扰是光学望远镜观测的一个瓶颈。提出一种新的云量计算方法,把云量仪检测到的云层分布图像分成 24 个区块,分别对每个区块的像素值进行统计,如果统计结果大于一个给定的阈值 T ,则表示该区块的云比较多;如果小于阈值 T ,则表示该区块内没有云层覆盖,可以将望远镜引导到该区块的对应位置。研究表明,该方法简单易行,具有较高的使用价值,可以实现对望远镜的自动引导,提高望远镜的观测效率。

关键词 云图分割,二值化,云量判断,望远镜定向

中图分类号 TP123 文献标识码 A

Research of Cloud Segmentation in Space Target Observation

WANG En-wang¹ WANG En-da² FAN Liang¹ ZHANG Jin-wei¹ HUANG Xue-hai¹

(Key Laboratory of Space Object and Debris Observation, Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)¹

(School of Information and Science Technology, Chuxiong Normal University, Chuxiong, Yunnan 675000, China)²

Abstract In the process of space debris observation, interference with clouds is a bottleneck of optical telescope. This paper presented a new calculation method of the cloud amount, dividing the detected cloud image into twenty-four octants. The pixel values of each octant are counted, if the statistical results are greater than a given threshold T , it represents that the clouds of this octant are much more. If they are less than the threshold T , it indicates that there is no clouds covering in this octant, the telescope can be guided to the corresponding position of this octant. The research shows that this method is simple and easy to implement, it can realize the automatic guidance of the telescope and improve the observation efficiency.

Keywords Cloud image segmentation, Binaryzation, Cloud judgment, Telescope orientation

1 引言

光学观测是空间运动目标观测的重要手段,光学望远镜的观测效率对空间运动目标的观测至关重要,光学望远镜的投资大、设计制造难、数量少等一直是空间碎片观测中的难题^[1-2]。在每年的 5 月至 10 月,全国大范围处于阴雨天气或局部多云,根据中国科学院紫金山天文台姚安观测站的观测情况统计,局部天气不佳的时间每年约持续 60 天左右,在这段时间内光学望远镜部分夜间观测时间处于未观测状态,从而使望远镜的观测时间和效率大大下降。通过云量仪引导望远镜自动定向观测,可提高望远镜的使用效率。将云量仪检测到的图像分为 24 个区块,以正北为 0° ,每个区块跨度为 45° ,而俯仰值进行不均等的划分,然后对每个区块的像素值进行统计,如果统计结果小于阈值 T ,则表示该区块内没有云层覆盖;若统计结果大于给定的阈值 T ,则说明该区块大部分区域被云层覆盖,如果望远镜正在对该区域进行观测,无法观测到该区域的目标,这一段时间内望远镜将处于空闲状态,降低了望远镜的观测效率,这时可根据云量仪 24 个区块的统计

信息,自动将望远镜引导到没有云覆盖的区块,以观测到更多的空间目标,提高望远镜的观测效率^[3-5]。

2 云量仪

云量仪是一种云层分布传感器,用来监测天空中的云层分布情况,可进行 360° 全方位监测。由于配置了红外传感器,它可对非可见光内容进行检测,在夜间也可以工作,实现全天候、自动化监测。国内比较好的云量仪有:位于中科院云南天文台丽江天文观测站自主设计的全天相机、位于中国科学院紫金山天文台姚安天文观测站的 ALL SKY 340 相机和非制冷面阵列式红外测云相机;国际上,位于美国亚利桑那州图森市霍普金斯山顶的弗雷德·劳伦斯·惠普尔天文台(Fred Lawrence Whipple Observatory)、位于基特峰顶的基特峰国家天文台(Kitt Peak National Observatory)、位于智利的拉斯坎帕纳斯天文台(Las Campanas Observatory),以及欧洲南方天文台(ESO)在世界上的多个观测基地等均配备有云量仪相机。图 1(a)展示了位于中国科学院紫金山天文台姚安天文观测站,由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所研制

本文受中科院国防与科技创新基金(292015312311034034)资助。

王恩旺 男,工程师,主要研究方向为空间目标与碎片探测识别, E-mail: ewwang@pmo.ca.cn; 王恩达 男,硕士,讲师,主要研究方向为图形图像处理、物联网、系统结构; 樊亮 硕士生,主要研究方向为空间目标与碎片探测识别; 旃进伟 助理研究员,主要研究方向为空间目标与碎片探测识别、系统编程; 黄学海 工程师,主要研究方向为空间目标与碎片探测识别。

的非制冷面阵列式红外测云相机云量仪,图 1(b)为观测图。

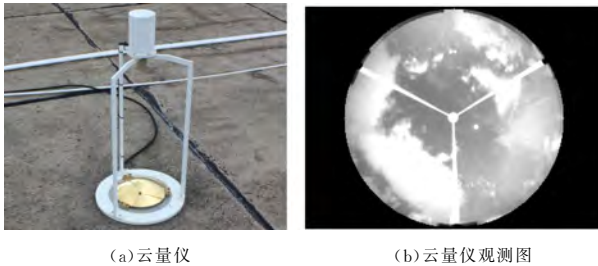


图 1

在空间观测过程中,当望远镜被引导到一个确定的方位和俯仰后,如果该方位对应的天空区域被云覆盖,在这段时间内就无法有效观测到目标,望远镜处于未观测目标状态,此时可以使用云量仪实时观测云量分布情况,为望远镜摆动及定向提供决策依据,引导望远镜到无云的方位进行观测,实现更高效的观测。

3 云量计算及定标

3.1 云量图二值化

对云量仪观测到的云层分布图进行二值化处理,可以使云量分布图更直观、清晰,便于后续的分析 and 处理。图像二值化就是把彩色图像、灰度图像等转换为只有两种像素值的黑白图像,即二值图。在云量图中所有灰度大于或等于阈值的像素被判定为属于特定物体,其灰度值为 255,在图像中显示为白色;小于阈值的所有像素点,其灰度值设置为 0,在图像中显示为黑色^[6-7]。设二值化后的像素值为 $x(i, j)$, t 为给定的阈值。二值化方法如下:

$$y(i, j) = \begin{cases} 255, & x(i, j) \geq t \\ 0, & x(i, j) < t \end{cases} \quad (1)$$

空间观测图像主要为黑白图,黑色为星空背景,白色为云层,针对这一特点,把观测图像二值化,可有效地增强图像的清晰度。阈值 t 的选取比较关键,在不同的场景中,图像的像素值变化比较大,需要使用不同的阈值来更加准确地分割出星空背景和云层,比较理想的方式是采用自适应阈值法来满足不同的场景需求。图 2 为云量仪的二值化图。



图 2 二值化云量仪图

3.2 云量图分割和坐标计算

为了确定云量方位和俯仰分布,有效地引导望远镜摆动,将云量仪观测到的云量图分成多个区块,本文提出的方法把云量图方位均分成 8 个区块,每个区块跨度为 45° ,俯仰划分为固定的 3 个块,总共 24 个区块。如果某个区块无云,可把望远镜引导到该区块。下面给出各个区块的方位计算方式:

$$\theta_{x_n} = n * 45^\circ - 22.5^\circ \quad (2)$$

其中, θ_{x_n} 为望远镜在该方位的中心位置, x 代表方位, n 为区块编号, $n=1, 2, \dots, 24$ 。通过式(1)计算的方位角度,可把望远镜引导到每个区块方位角的任意位置。

本文对俯仰角进行细分,仰角也可分为若干块,而在空间目标观测过程中,大部分目标分布在低仰角区域,因此分区更注重对低仰角区域的划分,根据空间目标观测需求,可将仰角划分为 3 个区块:从 40° 至 90° 为俯仰的第一块 θ_{y_1} ,从 20° 至 45° 为俯仰的第二块 θ_{y_2} ,从 0° 至 20° 为俯仰的第三块 θ_{y_3} ,这样将整个云量仪图分为 24 块,分块结果如图 3 所示。

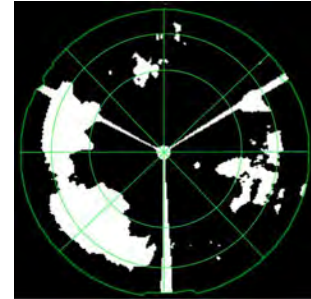


图 3 对云量仪图分块

3.3 云量计算

把云量图分成 24 个区块,经过二值化后就可以对每个区块的云量进行统计,黑色部分为没有云覆盖的天空,像素值为 0,白色部分为云,像素值为 255,将每一个扇形区域内的像素值进行累加,就可以统计出该区块的云量。设 $sum1, sum2, \dots, sum24$ 分别为 24 个扇形区块的云量值, n 表示每一个扇形区块内的像素点个数, $pix(1), pix(2), \dots, pix(n)$ 表示各个像素点的像素值,每个扇形区块的云量计算式如下:

$$sum1 = \sum_{i=1}^{n-1} pix(i), i=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$sum2 = \sum_{i=1}^{n-1} pix(i), i=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

...

$$sum24 = \sum_{i=1}^{n-1} pix(i), i=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

在得到云量值后,就可以对每一块区域的云量进行判断。给定一个阈值 T ,如果每一块扇形区域的云量值大于阈值 T ,表示该区域覆盖的云较多,需要引导望远镜摆位到其他区域,不再对该区块进行观测;如果该区块的值小于阈值 T ,表示该区块的云量较少,或者该区块没有云覆盖,可见性非常好,可对该区块进行观测,这时通过预报引导望远镜摆动到该角度进行观测。云量判断公式如下:

$$cloud = \begin{cases} 0, & sum1 \geq T \\ 1, & sum1 \leq T \end{cases} \quad (6)$$

其中, $cloud$ 表示云量值,其值为 0 表示覆盖的云较多,其值为 1 表示云较少或没有。

4 实验结果

4.1 云量计算

把云量图分成 24 个区块,利用 opencv 技术,以云量图中心为圆心,在该云量图上设置 24 个区块的区域^[8-11]。图 5 为区块分块图,图 6 为像素统计图。接着分别对这 24 个区域的像素值进行统计。

图 4 是对二值化并分块的云量仪观测图进行编号。从图 5 的实验结果可以看出,云量判断阈值 T 的值可以设置为 5000, $cloud$ 的值为 1,可以把望远镜摆动到对应的角度,并且在该区块按观测预报给定的时间进行观测。如果 $cloud$ 的值为 0,则把望远镜摆动到其他 $cloud$ 值为 1 的区块进行观测。图 5 的云量统计结果如表 1 所列。



图 4 区块划分

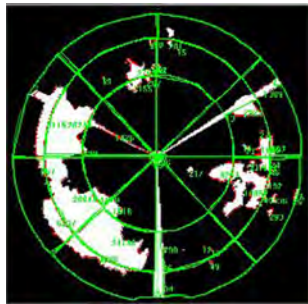


图 5 云量统计

表 1 云量统计结果

(单位:像素)

block	sum	Cloud value	Is it observable?
1	0	1	yes
2	1410	1	yes
3	3420	1	yes
4	270	1	yes
5	1818	1	yes
6	1520	1	yes
7	1616	1	yes
8	1422	1	yes
9	216	1	yes
10	4827	1	yes
11	10682	0	no
12	391	1	yes
13	23146	0	no
14	20044	0	no
15	20238	0	no
16	2820	1	yes
17	400	1	yes
18	1986	1	yes
19	992	1	yes
20	233	1	yes
21	4911	1	yes
22	6504	0	no
23	8115	0	no
24	0	1	yes

阈值的选取可根据情况而变化,可以设置多个阈值,当多个区域的 sum 值都比较小时,观测时可根据预报要求在 cloud 值为 1 的区块随机观测;当整个天空的各个区块阈值都比较高时,可选择恰当的大阈值重新确定可观测区域,这样可以提高望远镜的观测效率。

4.2 云量计算引导望远镜定向观测的过程

1)提前 1 小时开机检查望远镜是否能正常运行,若有故障则及时处理故障。

2)根据预报引导望远镜定向观测。

3)当夜间出现局部天气不佳和多云的情况时,启动云量检测程序。

4)将云量仪中的云量观测图分割成 24 块。

5)对云量仪中的每块云量观测图进行云量计算。

6)从云量观测图中选择 10 张相邻的相同间隔时间的云量观测图,根据前后 10 张图片中云量随时间的变化趋势,确定空间云量的运动方向。

7)根据云量统计结果和云层的变化趋势,在整个天空中选择云量最少和远离的区块作为优先观测区域,当整个天空云量较多时则选择云量最少的区块作为优先观测区域,如图 5 中可优先选择编号为 1,9,12,17,19 和 24 的区块为观测区域。

8)通过重先预报或选择备份预报,将望远镜引导到可优先观测的区域。鉴于当前通过云量仪引导望远镜自动预报的技术还未成熟,当前的应用更多的是根据云量计算确定分布情况,在主预报和多颗备份预报中选择可观测空间运动目标,比如在同一时间段可观测的空间运动目标有 6 颗,第 1 颗为主预报,剩余 5 颗为备份预报,根据云量分布情况,当主预报的观测区域被云层覆盖后不可观测时,根据云量仪观测图观测分布图,从 5 颗备份预报中选择可优先观测的一颗进行观测。

4.3 统计模拟仿真观测情况

姚安站对 2014 年和 2015 年夜间天气情况和观测目标情况进行统计。其中 2014 年观测时没有备份预报,也没有应用云量仪进行观测;而 2015 年将备份预报和云量仪结合使用,备份预报是指同一时间段可以选择性地观测多颗预报中的一颗。因局部天气不佳使光学望远镜的有效观测效率远低于晴天的观测效率,而云量仪的自动预报模式还没有正式投入使用,实验以备份预报结合云量仪图的统计情况为准,统计结果如表 2、表 3 所列。其中表 2 为 2014 年姚安站夜间观测情况的统计结果,表 3 为备份预报结合云量仪后 2015 年观测情况的统计结果。

表 2 2014 年的观测统计结果

weather	Observation days	Average nightly observation time	Average theoretical observation target per night	Average actual observation target per night	Telescope observation efficiency/%
全年	225	8.87	152	131	86
晴天	164	10.5	180	165	91
局部天气不佳	61	4.5	77	40	51.2

表 3 2015 年备份预报结合云量仪后的观测统计结果

天气	Observation days	Average nightly observation time	Average theoretical observation target per night	Average actual observation target per night	Telescope observation efficiency/%
全年	228	9.1	151	136	89
晴天	164	10.5	180	165	91
局部天气不佳	64	5.5	77	60	77.9

从表 2 和表 3 中可以发现,使用本文提出的方法后,在局部天气不佳的情况下,2015 年平均每晚的观测圈数比 2014

年平均每晚的观测圈数多 20,观测效率从 52.2% 提高到了 77.9%,增加了 25.7 个百分点;而 2014 年全年的观测效率为

86%,2015年的观测效率为89%,增加了3个百分点。用云量仪引导望远镜观测后,观测设备得到有效利用,观测到的目标更多,观测效率显著提高。因此,用云量仪引导望远镜观测将更具实用性。

结束语 光学望远镜的弱点之一就是光路不能透过云层观测空间运动目标,导致在局部天气不佳的状况下光学望远镜的使用效率大大降低。针对这一问题,本文将云量图分为24个区块,再对每一个区块进行云量计算,根据云量计算的结果,把望远镜优先引导到无云区域或云量相对较少的区域,使望远镜在布局天气不佳的情况下进行有效观测。

通过云量仪引导望远镜定向,实现简单、方法可行、资金投入低,具有较大的研究空间和较高的使用价值。针对未来规模化的空间运动目标观测网具有实际的应用价值,特别是对自动跟踪和自动搜索的光电筒望远镜和光电望远镜阵能够发挥很好的效应,下一步的研究计划就是利用云量仪上的云层分布特性,进行周期性的自动预报更新,以保证预报能够引导望远镜在无云和避开月亮的空间区域进行观测,当云量分布图发生变化时再次进行预报更新和引导望远镜定向,以保证在局部多云天气不佳的情况下有效提高望远镜的观测效率。

参考文献

[1] 孙航,张海波,曹立华,等.大口径光电探测设备主镜晃动的误差补偿[J].光学精密工程,2014,22(1):85-91.

[2] YANG J,ZUO Y X,LOU Z, et al. Conceptual design studies of the 5 m terahertz antenna for Dome A, Antarctica[J]. Research in Astronomy and Astrophysics, 2013, 13(12): 1493-1508.

[3] 王玥,周城,熊承义,等.基于纹理自适应全变分滤波的图像分块压缩感知优化算法[J].计算机科学,2016,43(2):307-310,315.

[4] 王荣芳,焦李成,刘芳,等.利用纹理信息的图像分块自适应压缩感知[J].电子学报,2013,41(38):1506-1514.

[5] 邓莉,鲁瑞华.一种基于三角形网格的图像分块盲复原算法[J].计算机科学,2008,35(9):237-238.

[6] 王恩旺,王恩达.改进的帧差法在空间运动目标检测中的应用[J].天文研究与技术,2016(9):29.

[7] 杨芳,滕桂法,田学东.视觉乐谱图像动态多阈值二值化方法[J].计算机科学,2016,43(1):310-314.

[8] YIN H J. Blind Source Separation and Genetic Algorithm for Image Restoration[C]//Proceedings of IEEE Conference on Advances in Space Technologies, 2006:167-172.

[9] WONG J, SHENG Y, LING Z. Study on the application of ROI, [J]. Computer Block Matching Panoramic Image Mosaic Method Based on Robust, 2007, 24(1): 229-231.

[10] OHM J R, GRUNEBERG K, HENDRIKS E, et al. A Realtime Hardware System for Stereoscopic Video Conferencing with Viewpoint Adaptation[J]. Signal Processing Image Communication, 1998, 14: 147-171.

[11] 王恩旺,王恩达.运动目标检测中光流扰动效应应用研究[J].计算机系统应用,2017,26(3):1-7.

(上接第145页)

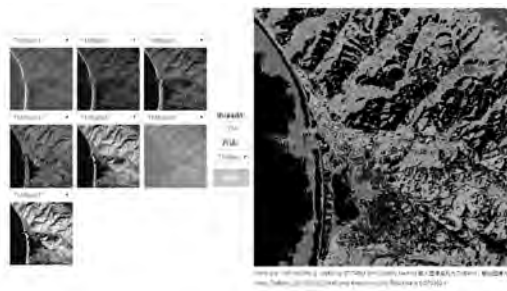


图8 SNN分类的图像处理结果

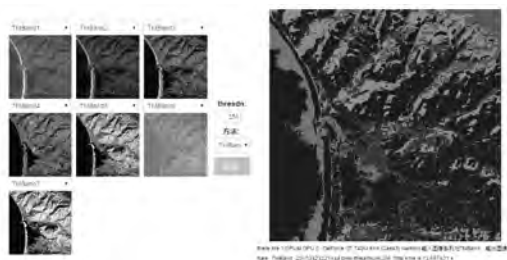


图9 KNN图像的分类处理结果

结束语 通过基于GPU的遥感图像简单贝叶斯分类、KNN和SNN分类并行处理,得到图像大小为 50×50 的3个分类算法的并行加速比,分别为5.467,1.7525和4.389,图像大小为 512×512 的3个分类算法的并行加速比分别为125.39,72.472和149.536。最大加速比149.536为图像大小 512×512 的SNN算法结果,最小加速比1.7525是图像大小 50×50 的KNN算法结果,实验结果证明了3个并行算法的合理性,对遥感图像分类处理的加速起到了一定的作用。

最后利用自己编写的B/S结构系统进行测试,并得到了所需要的图像分类结果。同时,本文利用并行得到的图像效果和串行计算得到的图像效果大致相同。由此可见,提出的3个基于GPU的遥感图像分类算法符合精度要求,本文实现的并行算法是正确的,计算得出的加速比也较为理想。在这3个算法中,KNN算法最合适进行基于GPU的图像处理并行化,这是因为KNN算法有大量的矩阵计算,适合密集计算的GPU。

参考文献

[1] 沈欣.光学遥感卫星轨道设计若干关键技术研究[D].北京:清华大学,2012.

[2] 林前.图像分割质量的协同评价框架设计与实现[D].成都:西南交通大学,2011.

[3] 严蔚敏,吴伟民.数据结构(C语言版)[M].北京:清华大学出版社,2011.

[4] 史春.基于遥感处理的交通信息提取研究和实现[D].北京:清华大学,2008.

[5] 陈锦伟.遥感图像配准和拼接技术研究[D].杭州:浙江大学,2004.

[6] 陈忠.高分辨率遥感图像分类技术研究[D].北京:中国科学院遥感应用研究所,2006.

[7] 赵春晖,刘春红.超谱遥感图像降维方法研究现状与分析[J].中国空间科学技术,2004(5):28-36.

[8] 周海芳,赵进.基于GPU的遥感图像配准并行程序设计及存储优化[J].计算机研究和发展,2012,49(2):281-286.

[9] 陈志远,黄少滨,韩丽丽.现代模式逻辑在计算机科学中的应用研究[J].计算机科学,2013,40(S1):70-76.