



DOI: 10.12086/oe.2018.180033

一种空间相机快速自动曝光技术

解静^{1*}, 胡永富², 唐琦², 张原野²¹航天东方红卫星有限公司, 北京 100094;²北京空间机电研究所, 北京 100094

摘要: 基于 CMOS 传感器的高集成小型相机在航天器上得到了越来越广泛的应用。空间相机能够完成航天器关键动作记录、对地遥感、近地天体观测等任务, 并且具有体积小、重量轻、智能化的特点。为了实现良好的成像效果, 适应于空间环境特点的自动曝光技术不可或缺。本文针对空间环境的特殊性及空间任务的不可逆性, 提出了一种快速自适应曝光算法。该算法以能量分析为基础, 进行目标与背景分离, 针对目标进行加权统计, 根据图像的统计结果, 采用最速查表法, 计算获得最佳曝光时间。设置双重目标调整范围, 使得自动曝光算法收敛性较好。实验结果表明, 该算法能够快速稳定地获得最佳曝光时间, 曝光收敛速度快, 稳定性高, 资源占用少, 非常适合空间场景探测。相关算法已成功应用于多个在轨型号。

关键词: 空间相机; 遥感; 自动曝光**中图分类号:** TH741; TP391.7**文献标志码:** A**引用格式:** 解静, 胡永富, 唐琦, 等. 一种空间相机快速自动曝光技术[J]. 光电工程, 2018, 45(11): 180033

Automatic exposure technology for space camera

Xie Jing^{1*}, Hu Yongfu², Tang Qi², Zhang Yuanye²¹DFH Satellite Co., Ltd., Beijing 100094, China;²Beijing Institute of Space Mechanics and Electricity, Beijing 100094, China

Abstract: Highly integrated miniature cameras based on CMOS sensors have been used more and more widely in spacecraft. Space camera can accomplish the key operation record, remote sensing and near celestial observation of spacecraft, and has the characteristics of small volume, light weight and intelligent. In order to achieve a good imaging effect, automatic exposure technology which is suitable for the space environment is indispensable. In this paper, a fast adaptive exposure algorithm is proposed for the particularity of space environment and the irreversibility of spatial tasks. The algorithm is based on energy analysis, weighting statistics on the target according to the statistics of the image, and using the lookup table method to calculate the optimal exposure time. The double objective adjustment range is set, so that the automatic exposure algorithm converges better. The experimental results show that the algorithm can obtain the best exposure time quickly and stably. The speed of exposure is fast and the stability is high. It is very suitable for space scene detection. The correlation algorithm has been successfully applied to multiple on orbit models.

Keywords: space camera; remote sensing; automatic exposure**Citation:** Xie J, Hu Y F, Tang Q, *et al.* Automatic exposure technology for space camera[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2018, 45(11): 180033

收稿日期: 2018-01-09; 收到修改稿日期: 2018-07-12

作者简介: 解静(1985-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事遥感相机的研究。E-mail: xie0jing0@126.com

1 引言

自动曝光技术通过调整相机的曝光时间来控制传感器的感光能量,从而控制图像的成像亮度,使得成像适合目视观察。在航天领域,基于 CMOS 图像传感器的空间相机由于其集成度高、体积小、重量轻得到了广泛的应用,在航天器关键动作记录、对地遥感、近地天体观测等方面起到了非常重要的作用^[1-2]。由于空间环境的特殊性,空间任务的不可逆性,以及人工干预的滞后性,要求相机能够实现星上自主化,能够快速调整成像参数,第一时间获得最佳的成像效果。因此,适用于航天应用的快速自动曝光技术至关重要。

空间成像场景与地面成像不同,由于在太空成像,图像通常具有大面积的真空背景;太空中没有大气,部分目标景物会存在剧烈的反射,且大视场观测时,经常会遇到太阳进入视场的情况。这就要求自动曝光算法能够识别过亮或全暗的非目标背景,并能够尽可能降低其对成像参数设置的影响。另一方面,空间观测任务多数都是不可逆的,如发动机点火、着陆下降等,动作时间短,成像机会仅有一次,要求自动曝光能够迅速稳定地调整到位^[2-4]。另外,由于太空辐照环境的恶劣性以及资源的限制,相机的重量体积也必须考虑,电子学芯片的选用非常受限,所以自动曝光算法要求简单可靠,便于单芯片实现。

本文针对空间环境的特殊性及空间任务的不可逆性,提出了一种快速自适应曝光算法,能够在占用极少的资源的情况下,进行目标与背景的分离,并且快

速稳定地调整曝光时间,非常适用于深空探测及遥感等领域。

2 成像链路仿真

在成像过程中,曝光时间的初始值设置非常重要。在一些高反差的特殊场景下,初值的确定可能会影响目标的发现。例如图 1 所示场景,若曝光时间较小,则可以观察到窗外亮场景但窗内场景非常暗,若曝光时间较大,则可以观察室内暗场景,而窗外场景处于饱和状态。针对这种一幅图像内存在高反差的两部分场景的现象,自动曝光搜索过程可能会出现两个稳态,而曝光的初值决定搜索将会达到哪个稳态。为了使得曝光结果满足我们的需求,需要进行成像链路仿真结果,计算成像场景亮度,预估曝光参数,保证曝光参数初值与目标能够匹配,令后续自动曝光调整能够稳定于希望的效果。

由于成像目标的多样性,以对地遥感成像为例,进行成像链路仿真介绍。在对地遥感成像过程中,太阳光的照射是最主要的光照来源,太阳辐射的强弱直接影响到成像的亮暗;场景的反射特性也对成像有较大的影响,反射率高图像亮度大;大气的吸收、散射和湍流的作用会使光信号强度减弱;光学系统收集光线的能力与透射率也是影响因素之一;图像传感器对光学系统所成的像进行光电转换,决定了最终的图像亮度。在已有的遥感仿真基础上,根据卫星的特点,利用数学建模方法模拟遥感成像模型,遥感成像链路如图 2,遥感成像链路流程如图 3^[5-6]。由成像链路仿

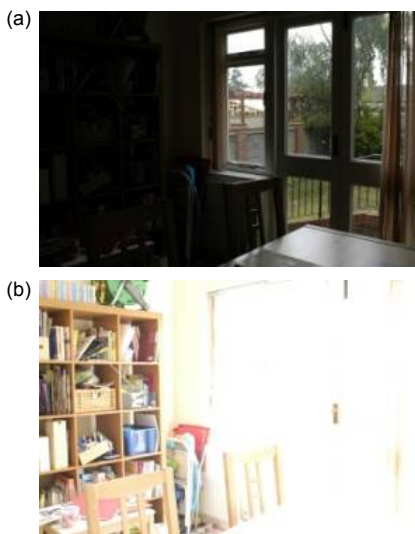


图 1 高反差场景图像
Fig. 1 High contrast scene image

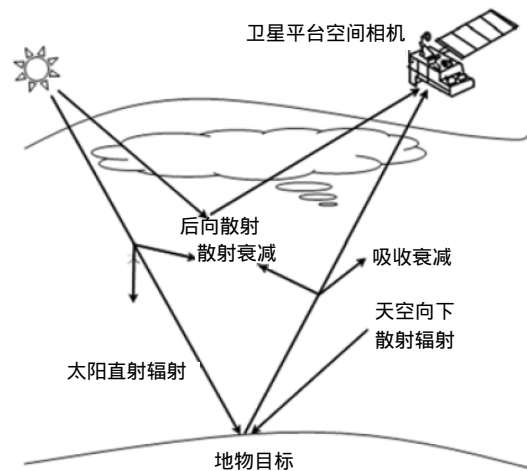


图 2 空间相机成像链路图
Fig. 2 Imaging link of space camera

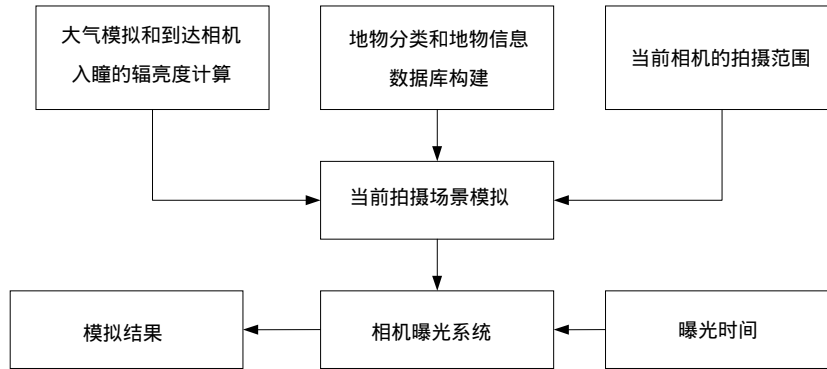


图 3 空间相机成像链路模拟流程

Fig. 3 Simulation process of imaging link of space camera

真，可以得到观测目标的预计曝光时间，由此可以制定曝光的初始参数^[7]。

6s 大气辐射传输模型由法国里尔科大学大气光学实验室开发，该软件用于模拟地球大气系统中太阳辐射的传输过程并计算光学卫星入瞳处的辐射亮度，为遥感成像量化分析提供了便利。本文运用 6s 大气辐射传输模型，通过设置需要的大气参数获取到达入瞳处的辐亮度。遥感卫星拍摄范围广、地物种类多，需要

根据经验值设定计算的参数条件及范围。在这里设定相机使用的镜头 F 数为 9.2 其他设定参数条件如表 1。

经分析，太阳高度角和地面反射率是影响辐亮度最主要的两个因素。表 2 给出了不同太阳高度角和地面反射率下，中纬度夏季天气、0.5 μm~0.9 μm 谱段范围条件下的入瞳辐亮度(单位：W/(m²·sr·μm))。

获得了相机入瞳辐亮度后，成像图像的亮度就由相机本身特性来决定。选用 CMOS 图像传感器作为成

表 1 相机入瞳辐亮度计算条件

Table 1 Calculation conditions for the radiance of the camera pupil

项目	要求
轨道高度/km	1100
时间	6月23日
太阳高度角/(°)	20~70
大气模型	中纬度夏季
气溶胶模型	海面
能见度/km	23
地物反射率/%	5~70
谱段宽度/μm	0.5~0.9

表 2 遥感成像辐亮度计算结果

Table 2 Calculation results of radiance of remote sensing imaging

太阳高度角/(°)	地面反射率(谱段范围：0.5 μm~0.9 μm)									
	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70
20	13.11	18.36	29.02	39.89	50.98	62.30	68.05	73.86	79.73	85.66
30	17.08	25.54	42.71	60.22	78.09	96.33	105.59	114.95	124.41	133.96
40	20.83	32.23	55.36	78.96	103.04	127.61	140.09	152.70	165.45	178.32
50	24.88	38.82	67.11	95.96	125.41	155.47	170.73	186.15	201.73	217.48
60	29.47	45.47	77.93	111.05	144.85	179.34	196.86	214.56	232.45	250.53
70	31.98	49.49	85.03	121.28	158.28	196.04	215.21	234.59	254.17	273.96

像器件，传感器输出信号计算式：

$$S_{DN} = L_F \cdot \frac{\pi d^2}{4F^2} \cdot \tau \cdot \frac{\lambda}{hc} \cdot \eta \cdot t_{int} \cdot (1-A) \cdot \cos^4\left(\frac{\omega}{2}\right) \cdot k \quad (1)$$

式中： S_{DN} —CMOS 图像传感器在积分期间产生的电压值对应的 DN 值；

- d^2 —像元面积；
- F —光学系统 F 数；
- L_F —到达传感器镜头前的辐射亮度；
- τ_0 —光学系统的透过率；
- λ —光谱段的平均波长；
- h —普朗克常数(6.626×10^{-34} J·S)；
- c —光速($c=3 \times 10^8$ m/s)；
- η —量子效率×填充因子；
- t_{int} —积分时间；
- A —遮拦面积比；
- ω —半视场角；
- k —由电子到 DN 的转换系数。

根据所选 CMOS 图像传感器的具体参数及镜头设计参数，可以计算出在给定辐亮度条件下的传感器输出情况，即图像的亮度^[7]。

由式(1)可知，不考虑增益时，曝光时间的大小决定了图像的亮度。设定合适的图像亮度，即可反推计算得到对应的曝光时间。当图像亮度取 50%饱和值时，计算得出相机传感器所需的曝光时间如表 3 所示(单位：ms)。

由表 3 可知，不同目标在不同太阳高度角条件下，曝光时间设置范围很大。在太阳高度角 $20^\circ \sim 70^\circ$ 、地面反射率 0.005~0.7 条件下，相机曝光时间范围约为 0.38 ms ~7.9 ms。典型条件为太阳高度角 30° 、地面率 0.3 的情况，对应曝光时间为 1.72 ms。据此，设置曝

光初始时间参数为 1.72 ms。

3 快速自动曝光策略

获得了成像初始参数后，将进行成像曝光实时调整。自动曝光调整的目的是通过改变曝光参数，使得图像目标景物亮度适中，层次分明。所以自动曝光算法最重要的判据就是目标景物的图像亮度均值，图像亮度均值较小时需要增加曝光时间，图像亮度均值较大时需要减少曝光时间，即曝光时间与图像亮度均值间存在一定关系，利用该关系，获得曝光时间的调整系数就是本文的目的之一。

对于 8 bit 量化的图像来说，图像平均值到达 110~128 是比较好的。但如何快速有效地去除空间成像环境下的背景只对目标景物进行统计呢。本文提出一种简单的基于直方图分布加权统计的方法来弱化背景对统计的影响。

针对空间场景的特点，认为黑暗区域为真空暗背景，高亮区域为全反射或阳光直射部分，这两部分都不是关心的目标，图像均值统计时不统计或降低其权重。亮暗区域都可以由直方图显现出来，在均值统计时，对相关部分分配不同的权值，就可以大大降低过亮、过暗部分的影响，从而获得一个尽可能接近理想状态的统计均值^[8-9]。

加权系数的分配为

$$\begin{cases} K = 0 & DN < 16 \\ K = 0.0274 \times DN - 0.313 & 16 \leq DN < 32 \\ K = 1 & 32 \leq DN < 216 \\ K = -1/64DN + 4.25 & 216 \leq DN < 235 \\ K = 0.5 & DN \geq 236 \end{cases} \quad (2)$$

其中： K 为加权系数， DN 为 8 bit 图像灰度值。

根据当前图像(以 8 bit 量化为例)，当图像灰度值

表 3 相机成像所需的曝光时间

Table 3 Exposure time required for camera imaging

太阳高度角/(°)	地面反射率									
	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70
20	7.90	5.64	3.57	2.59	2.03	1.67	1.53	1.41	1.30	1.21
30	6.07	4.05	2.43	1.72	1.33	1.08	0.98	0.90	0.83	0.77
40	4.97	3.21	1.87	1.31	1.00	0.81	0.74	0.68	0.62	0.58
50	4.16	2.67	1.55	1.08	0.83	0.66	0.61	0.56	0.51	0.48
60	3.51	2.28	1.33	0.94	0.72	0.58	0.52	0.48	0.45	0.41
70	3.24	2.09	1.22	0.85	0.65	0.52	0.48	0.45	0.40	0.38

小于 15 时, 认为为暗背景, 分配权重为 0, 不进行统计; 当灰度值大于 235 时, 认为为高光区域, 分配权重为 0.5, 降低局部高光反射对计算的影响。灰度值分布于 32~215 之间时认为是有效图像, 权值分配为 1。但在该设置下, 可能出现如下情况: 图像最初加权统计值较小, 曝光时间需要继续增大使得图像变亮, 变亮的图像中更多的区域大于 15 成为可统计区域, 造成统计基数的变化, 此时有可能出现统计值变大的情况, 曝光时间需要再次调小, 若调小统计区域变小, 恢复到开始状态, 则曝光震荡的现象就发生了。为了避免这一现象的发生, 我们在设置权重时避免突变的存在, 设置了过渡区间, 使得整个加权系数为连续变化的函数, 从而避免在图像调整过程中的加权系数突变引起图像曝光反复调整^[10-11]。加权系数曲线如图 4 所示。

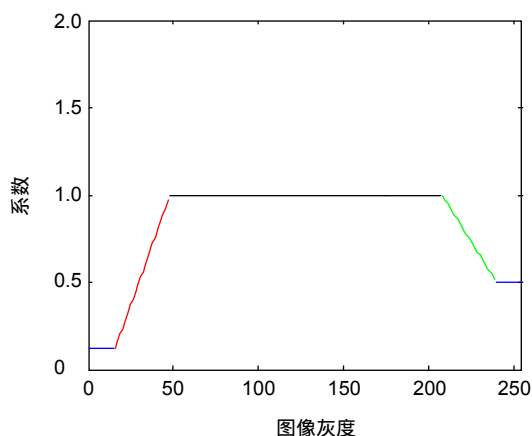


图 4 加权系数设置

Fig. 4 Weighting coefficient setting

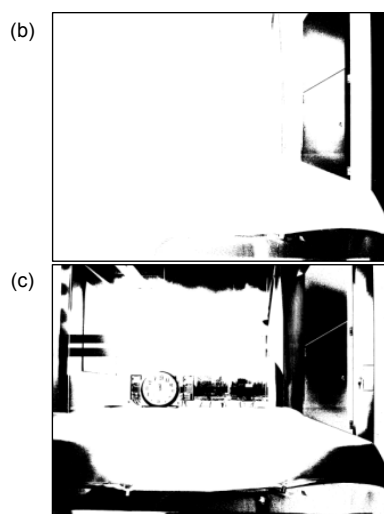
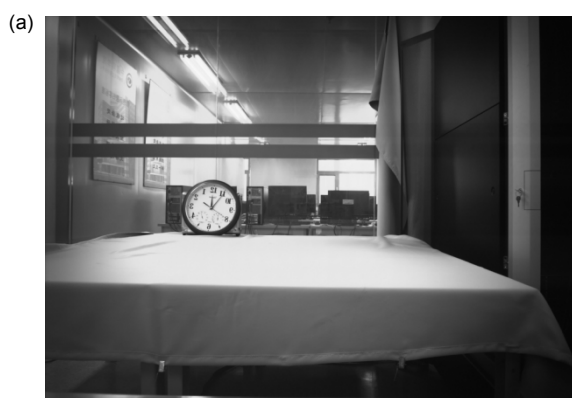


图 5 拍摄图像背景识别区域。(a) 相机拍摄图像; (b) $DN < 16$ 暗背景区域; (c) $16 \leq DN < 32$ 背景过渡区域

Fig. 5 The background recognition area of the image. (a) The image taken by a camera; (b) $DN < 16$ dark background area; (c) $16 \leq DN < 32$ background transition region

图 5 给出了依据直方图分布判断背景的例子, DN 值小于 16 的背景部分如图 5(b)所示, 确实是实际观察所不感兴趣的部分, 说明了算法的有效性。

确定统计权重后, 根据整幅图像的灰度值, 计算图像的加权平均值。计算公式如下:

$$D_{avr} = \left(\sum_{i=1}^N K_i \cdot DN_i \right) / \left(\sum_{i=1}^N K_i \right), \quad (3)$$

其中: D_{avr} 为图像统计平均值, i 表示第 i 个像元, N 为图像像元总数。

获得了图像亮度统计均值后, 需要根据其与目标平均亮度的差异来确定曝光参数的调整。文献[12]给出了曝光时间与图像亮度均值间的关系:

$$DN = M \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{K \cdot G \cdot T}{M} \right) \right), \quad (4)$$

其中: DN 为成像灰度值, M 为最高图像灰度值, K 为曝光时间为 1 个单位时, 成像获得的图像灰度, T 为曝光时间, G 为增益。上式变换得到:

$$C = \frac{T_{target}}{T_1} = \frac{G_1}{G_{target}} \cdot \frac{\ln(M - DN_{target}) - \ln(M)}{\ln(M - DN_1) - \ln(M)}, \quad (5)$$

其中: T_{target} 为理想图像曝光时间, T_1 为当前图像曝光时间, DN_{target} 为目标灰度, DN_1 为根据式(3)计算得到的当前图像统计平均值, G_1 为当前图像增益, G_{target} 为理想图像增益, 在本文中增益 G_1 、 G_{target} 均设置为固定值 1, 不做讨论。

由式(5)可知, 已知当前图像的曝光参数及图像统计均值, 就可以根据目标亮度求得理想曝光时间 T_{target} 。

为了达到较快的调整速度，本文采用基于查找表的自动曝光算法，即依据式(5)，给出不同图像统计均值对应的调整系数 C ，曝光计算时，直接根据计算出来图像统计均值的查表获得调整系数 C ，依据式：

$$T_2 = T_1 \times C, \quad (6)$$

计算得到下一帧图像的曝光时间。图像查找表系数 C 曲线如图 6 所示。

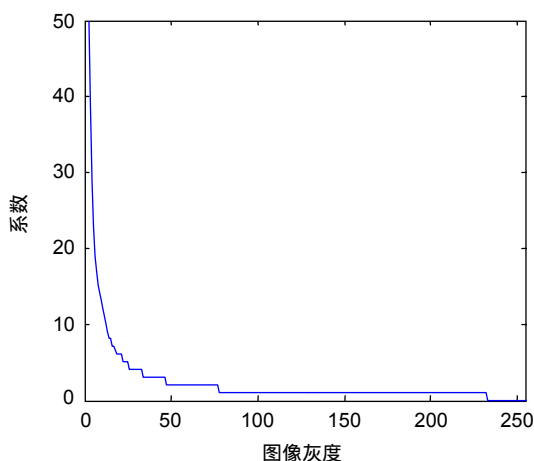


图 6 图像查找表系数

Fig. 6 Coefficient of image lookup table

采用查表的方式，能够迅速根据当前图像，判断相机曝光计算系数，直接得到下一幅图像预计的曝光时间，做到了快速准确，大大减少了反复迭代次数，根据相机实际特性设置的查找表能够准确地计算出曝光参数，从而实现快速自动曝光。

快速自动曝光算法最容易出现的问题在调整时不能迅速收敛。为了避免自动曝光出现反复调整震荡，设置了双重目标调整范围：自动曝光开始调整时，需要将图像统计均值调整至到范围较小的严格区间后表明当前一轮调整完成，当图像统计均值超出范围较大的宽松区间后才进行第二轮调整，否则保持当前曝光时间不变。通过严格、宽松两重区间的设置，保证曝光计算能够一次调整到较为精确的目标值，并能够避免反复震荡，曝光不稳定的现象。

综上，自动曝光算法控制流程如图 7 所示。

4 FPGA 片上实现

为了实现空间相机的轻小型高集成化，相机的控制核心一般采用一片 FPGA 实现。FPGA 同时完成图像传感器控制、遥测遥控与数据输出功能，其自动曝

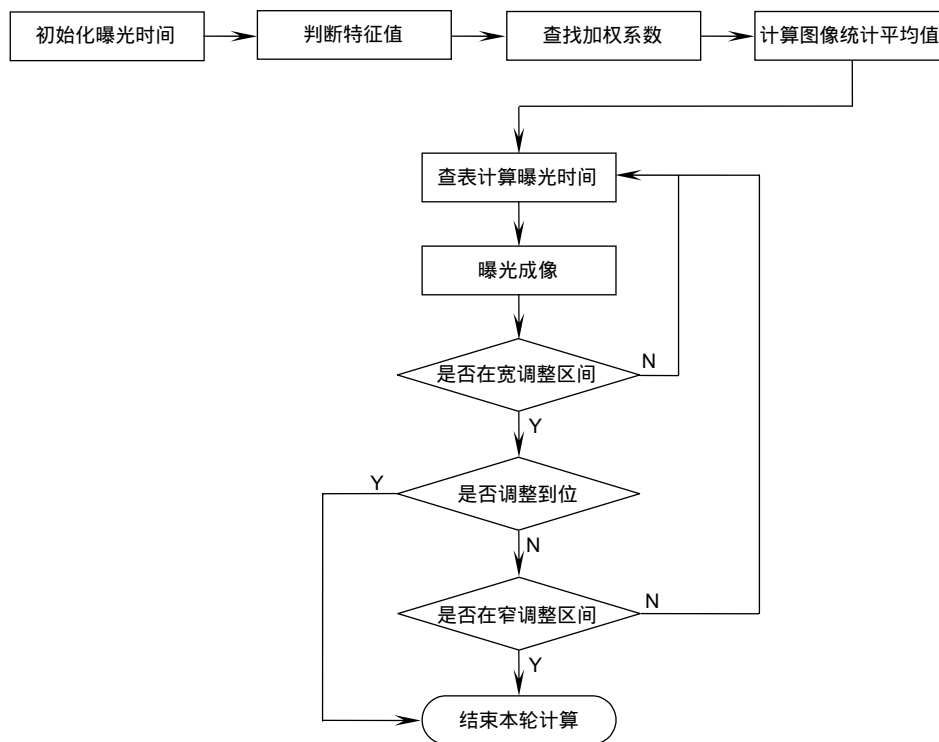


图 7 自动曝光控制流程图

Fig. 7 Automatic exposure control flow chart

光功能也由 FPGA 实现, 整个设计具有数据吞吐量大、处理速度快、集成度高的特点。

自动曝光算法基于 FPGA 实现的原理框图如图 8 所示。为了有效提高时序, 降低延时, 便于优化升级, 在 FPGA 设计时采用模块化流水线设计方法。算法由数据加权统计模块、统计均值计算模块、条件判断模块、曝光计算模块以及查找表组成。在模块实现时, 采用并行算法和流水线技术, 使得软件具有较高的执行效率与数据处理速度。FPGA 选用 Xilinx 公司 Virtex-2 系列 XQR2V3000 型号芯片。实现后占用 FPGA 资源 slice 479 个, 占用比例为 3%、blockRAM 资源 6 个, 占用比例为 6%, 时钟主频可达 100 MHz。程序可处理 640 Mb/s 速率输入的图像数据。

5 实验结果及分析

对自动曝光算法进行了外景成像测试。针对不同场景进行了测试, 测试结果表明, 相机能够在 5 帧图像之内完成自动曝光调整, 在极端条件下能够在 15 帧内完成调整, 自动曝光调整后图像亮度适宜, 能够良好地反映观察物体的特征。外景成像自动曝光效果及对比图像如图 9~图 13 所示。通过拍摄窗口景物营造出高反差场景, 经测试, 自动曝光能够很好地再现窗外场景, 证明了算法在高反差场景下的有效性。

目前, 该算法已经成功应用于多个在轨型号, 包含监视相机、遥感相机以及科学探测相机等, 在轨应用效果良好, 获得了效果良好的图片。部分在轨图像如图 14 所示。

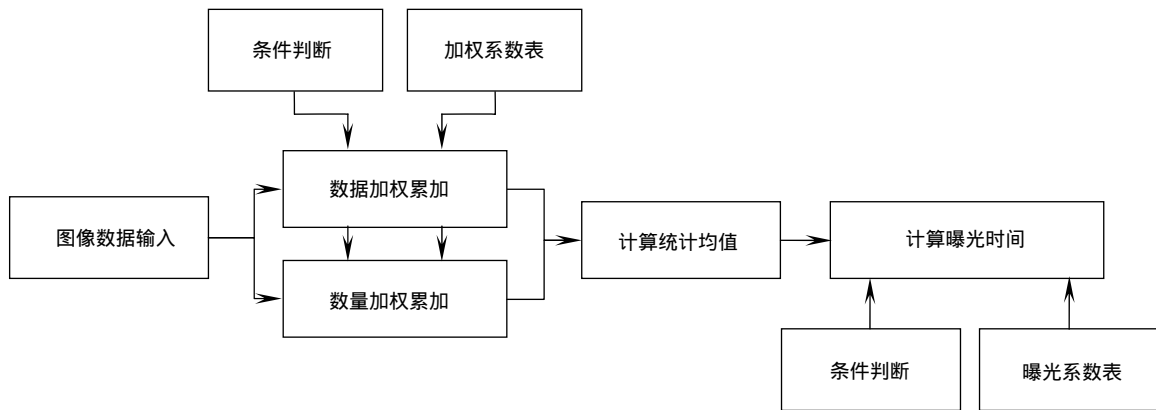


图 8 基于 FPGA 的自动曝光实现框图

Fig. 8 Block diagram of automatic exposure based on FPGA

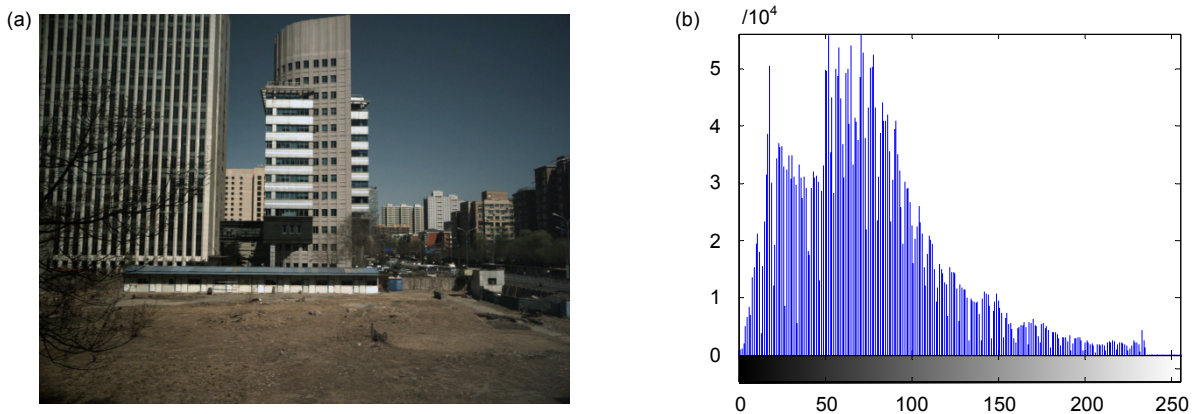


图 9 相机自动曝光效果

Fig. 9 Automatic exposure image of camera

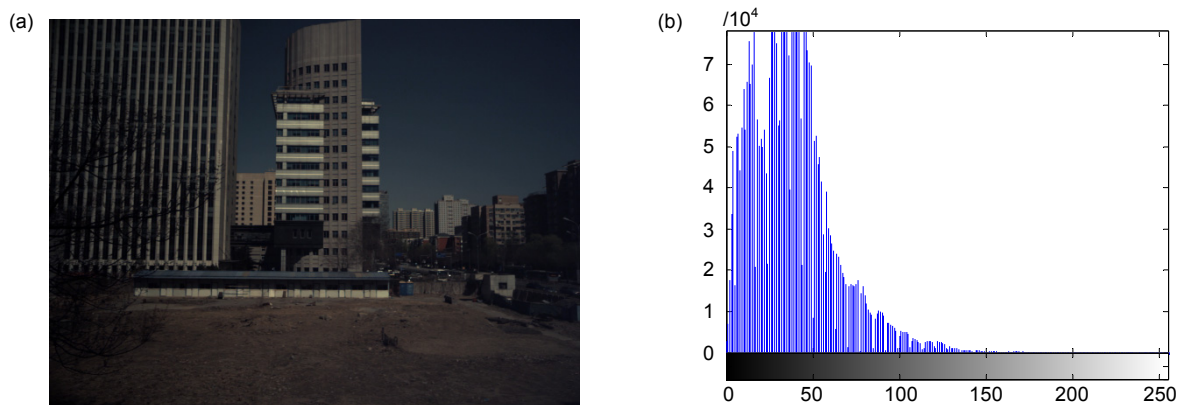


图 10 相机欠曝光图像效果
Fig. 10 Image effect of under exposure

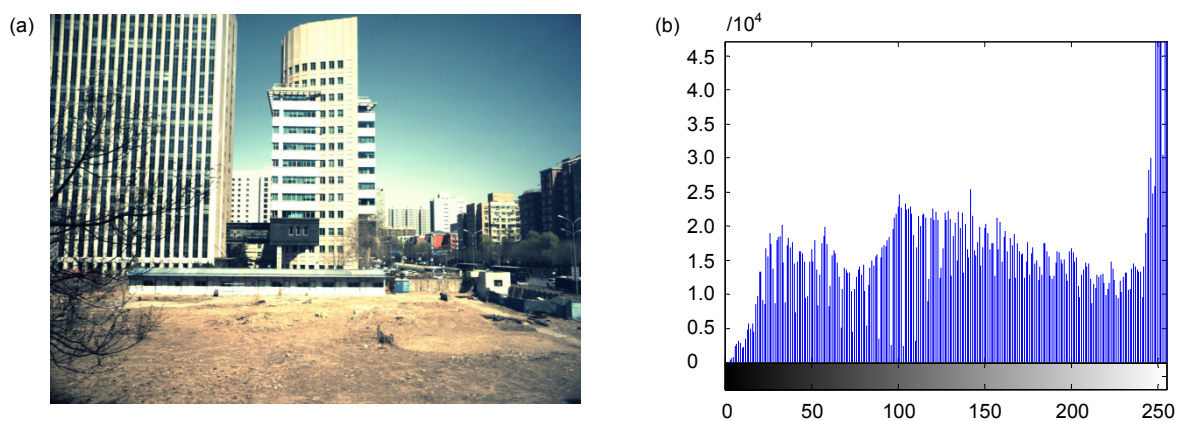


图 11 相机过曝光图像效果
Fig. 11 Image effect of overexposure

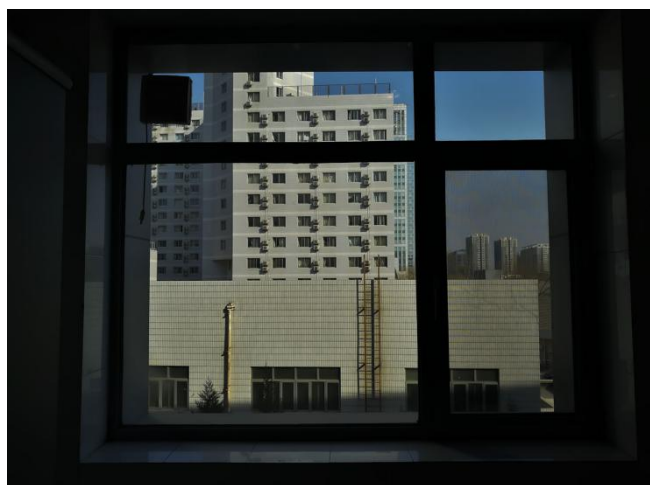


图 12 相机拍摄的特殊场景图像(窗外场景)
Fig. 12 A special scene image taken by a camera (outside scene)

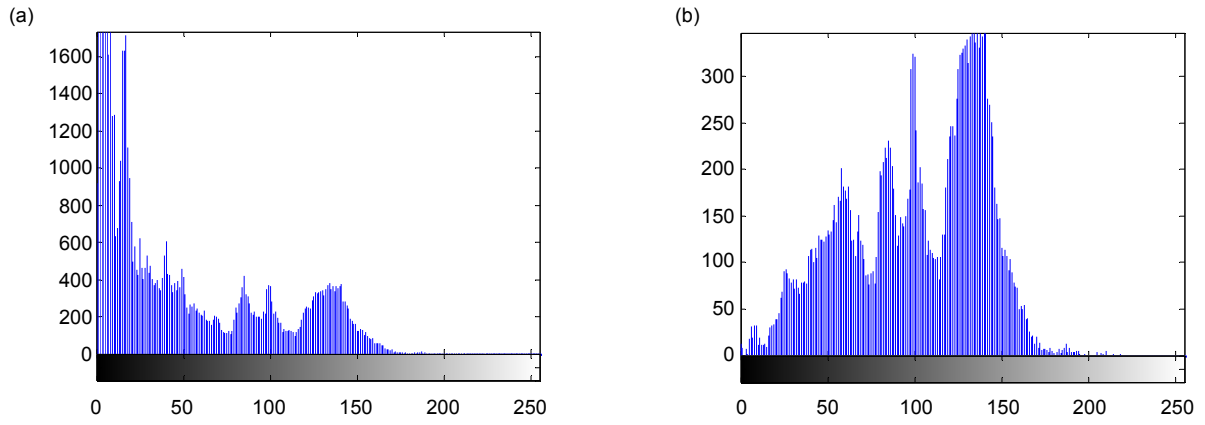


图 13 相机拍摄特殊场景直方图。(a) 全图像直方图; (b) 剔除背景后的直方图
Fig. 13 The histogram of a special scene. (a) Full image histogram; (b) Remove background histogram

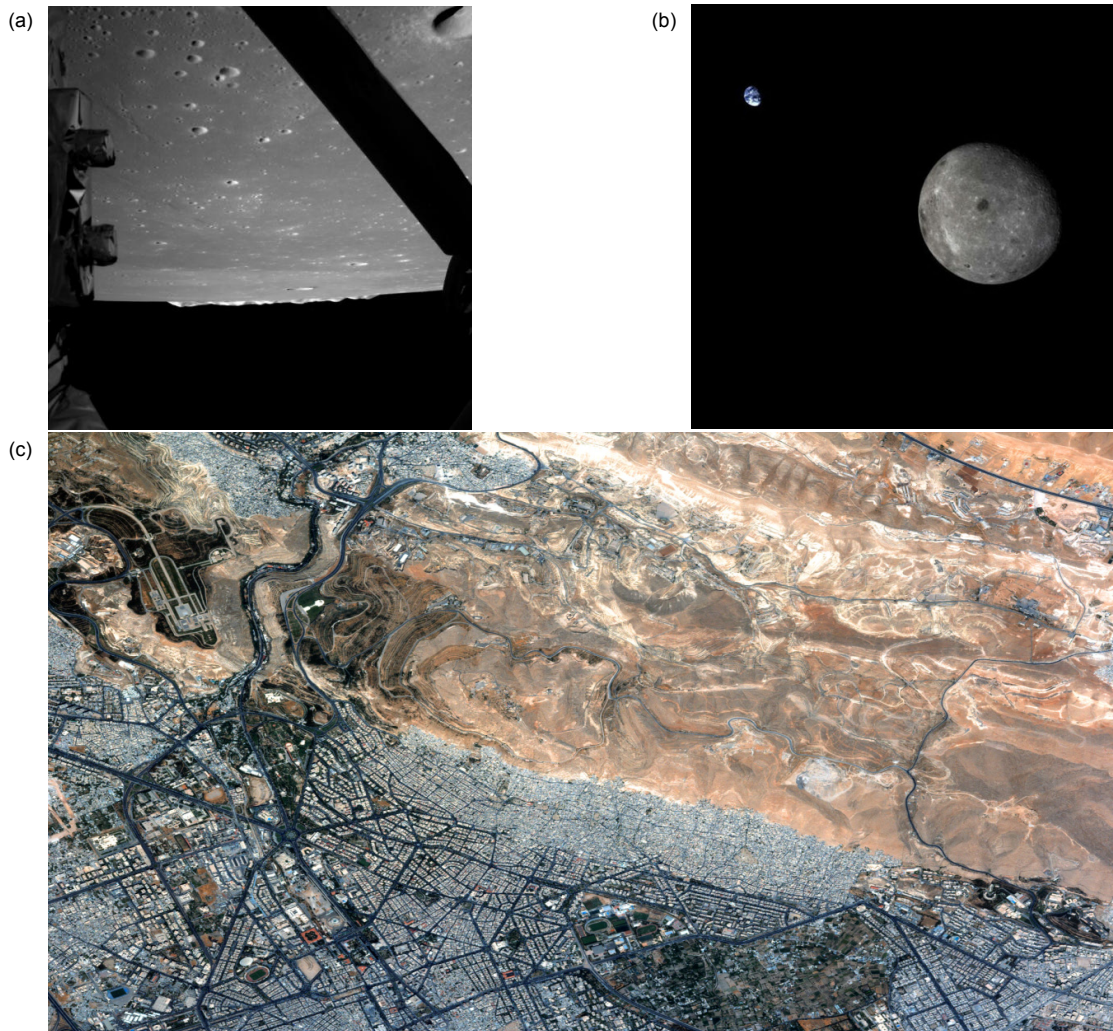


图 14 自动曝光在轨测试图像。(a) 嫦娥三号降落相机在轨成像效果; (b) 探月三期再入返回飞行试验器技术试验相机在轨成像效果; (c) 珠海一号视频相机在轨自动曝光成像效果
Fig. 14 An on-track image taken by an automatic exposure. (a) Imaging effect of Chang'e three landing camera; (b) Imaging effect of technical test camera in orbit; (c) Automatic exposure imaging effect of video camera on orbit

6 结 论

本文针对空间环境的特殊性,提出了一种快速自适应曝光算法。该算法以能量分析为基础,进行目标与背景分离,针对目标进行加权统计,根据图像的统计结果,采用最速查表法,计算获得最佳曝光时间。设置双重目标调整范围,使得自动曝光算法收敛性较好。实验结果表明,该算法能够快速稳定地获得最佳曝光时间,曝光收敛速度快,稳定性高,硬件资源占用少,非常适合空间探测。

参考文献

- [1] Yue T, Zhang H W, Huang C N, et al. The application of Chang'E-2 CMOS camera technologies[J]. *Spacecraft Recovery & Remote Sensing*, 2011, **32**(2): 12–17.
岳涛, 张宏伟, 黄长宁, 等. “嫦娥二号”卫星 CMOS 相机技术及应用[J]. *航天返回与遥感*, 2011, **32**(2): 12–17.
- [2] Gu Z, Yang M F, Xue B, et al. Research on visual telemetry method for spacecraft motion status[J]. *Manned Spaceflight*, 2017, **23**(2): 185–190.
顾征, 杨孟飞, 薛博, 等. 航天器动作状态的可视化遥测方法研究[J]. *载人航天*, 2017, **23**(2): 185–190.
- [3] Yang Z T. The auto exposure technology of the panoramic camera on lunar exploration[D]. Xi'an: Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics Chinese Academy of Science, 2012: 12–19.
杨作廷. 基于月球探测全景相机自动曝光技术的研究[D]. 西安: 中国科学院西安光学精密机械研究所, 2012: 12–19.
- [4] 张振华. 一个大面阵 CMOS 图像传感器高速航天相机的设计与基于 FPGA 的实现[D]. 北京: 北京大学, 2014: 11–19.
- [5] Chen R Q, Cao G, Mao Z H. Computation method of exposure time for space array CCD imaging[J]. *Computer Engineering*, 2012, **38**(12): 1–4.
陈绕青, 曹国, 毛志红. 一种空间面阵 CCD 成像的曝光时间计算方法[J]. *计算机工程*, 2012, **38**(12): 1–4.
- [6] Li X S, Ren J Y, Ren J W, et al. Establishment of image model for on-board space camera[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2015, **23**(7): 1852–1858.
李宪圣, 任建岳, 任建伟, 等. 空间相机在轨成像模式的建立[J]. *光学精密工程*, 2015, **23**(7): 1852–1858.
- [7] Li Z Y, Yang X J. Consideration on designing of dynamic range for TDICCD camera on remote sensing satellites[J]. *Spacecraft Recovery & Remote Sensing*, 2011, **32**(1): 24–27.
李志勇, 杨校军. 关于遥感卫星 TDICCD 相机动态范围设计的思考[J]. *航天返回与遥感*, 2011, **32**(1): 24–27.
- [8] Hou X L, Luo H B, Zhou P P. Multi-exposure control method based on maximum local information entropy[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2017, **46**(7): 263–269.
侯幸林, 罗海波, 周培培. 基于局部信息熵最大的多曝光控制方法[J]. *红外与激光工程*, 2017, **46**(7): 263–269.
- [9] Ma Z L, Gao H B, Yu Y, et al. Auto exposure control for high frame rate camera using image histogram feature function[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2017, **25**(4): 1026–1035.
马泽龙, 高慧斌, 余毅, 等. 采用图像直方图特征函数的高速相机自动曝光方法[J]. *光学精密工程*, 2017, **25**(4): 1026–1035.
- [10] Yang H T, Chang Y L, Wang J, et al. A new automatic exposure algorithm for video cameras using luminance histogram[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(5): 841–847.
杨海涛, 常义林, 王静, 等. 一种基于亮度直方图的自动曝光控制方法[J]. *光学学报*, 2007, **27**(5): 841–847.
- [11] 梁佳毅. 高性能数码相机自动曝光算法研究与实现[D]. 上海: 复旦大学, 2008: 51–68.
- [12] You M Q, Liu Y. Method for implementing automatic exposure: 200410102536.0[P]. 2008-01-09.
游明琦, 刘勇. 一种自动曝光实现方法: 200410102536.0[P]. 2008-01-09.

Automatic exposure technology for space camera

Xie Jing^{1*}, Hu Yongfu², Tang Qi², Zhang Yuanye²

¹DFH Satellite Co., Ltd., Beijing 100094, China;

²Beijing Institute of Space Mechanics and Electricity, Beijing 100094, China



Automatic exposure imaging effect of video camera on orbit

Overview: The automatic exposure technology controls the imaging brightness by adjusting the exposure time of the camera, so that the image is suitable for visual observation. In space field, space camera based on CMOS image sensor has been widely used for its high integration, small volume and light weight. It plays a very important role in spacecraft key action records, earth remote sensing and near earth observation. Because of the particularity of space environment, the irreversibility of space tasks and the lag of manual intervention, the camera can be intelligent and autonomous, which is very important. The camera can quickly and automatically adjust the imaging parameters and get the best imaging results for the first time. In view of the particularity of space environment and the irreversibility of space tasks, a fast adaptive exposure algorithm is proposed, which can separate the target from the background and adjust the exposure time quickly and steadily. It is very suitable for deep space exploration and remote sensing. First of all, taking the remote sensing image as an example, the imaging link simulation is carried out. Special software is used to analyze the imaging link and get the target radiance. On the basis of the simulation analysis of the imaging link, according to the imaging characteristics of the lens and the sensitivity of the image sensor, the energy of the target to reach the image sensor and the number of electrons converted from the lens are calculated to estimate the exposure time range, thus setting the initial exposure value. The target and background are separated by simple histogram distribution statistics. The different weights are applied to the target and the background. The luminance characteristics of the image are calculated by the weighted statistics. The exposure time is obtained by the look-up table method according to the result of the luminance characteristic. In the process of adjusting the exposure time, a dual target adjustment range is set up to make the auto exposure algorithm converge well. The algorithm can be conveniently implemented on FPGA with less resource occupancy and no complex operation. The algorithm is fast in computing speed and large in throughput, and can be easily transplanted on various platforms. The experimental results show that the algorithm can quickly and stably obtain the best exposure time, fast convergence speed, high stability, and less resource occupancy, which is very suitable for space scene detection. The correlation algorithm has been successfully applied to multiple on orbit models, and a large number of effective images have been obtained.

Citation: Xie J, Hu Y F, Tang Q, *et al.* Automatic exposure technology for space camera[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2018, 45(11): 180033

* E-mail: xie0jing0@126.com