文章编号：1007-2780(2011)02-0250-05

机载可见光摄像机调光方法研究

刘志国[1,2]，刘晶红[1*]
(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所，吉林 长春　130033，E-mail：liu1577@126.com；
2. 中国科学院 研究生院，北京　100039)

摘　要： 针对机载光电平台可见光摄像机在执行任务时所面临的场景多样性的特点，对现有调光方法进行了研究，提出一种灰度平均值与区域信息熵相结合的调光方法。方法分为 3 个步骤，首先是灰度平均值法初调，获得大致清晰的图像；其次是地面人员提取感兴趣目标区域；最后是目标区域内利用信息熵法进行调光。实验结果表明，利用此方法可以获得亮度合适、目标区域清晰的图像，同时此方法具备较好的场景适应性，能够满足机载光电平台可见光摄像机的使用需求。

关　键　词： 机载可见光相机；灰度平均值法；信息熵；目标区域
中图分类号： TP391　　**文献标识码：** A　　**DOI：** 10.3788/YJYXS20112602.0250

Automatic Exposure Algorithm for Airborne Visible Light Camera

LIU Zhi-guo[1,2], LIU Jing-hong[1*]
(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun*　130033, *China*, *E-mail*: *liu1577@126.com*;
2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing*　100039, *China*)

Abstract: The airborne visible light camera may face kinds of different senses when carrying out missions, so it needs an automatic exposure algorithm that can adapt to the changing environments. After researching on the present methods, a method based on gray-level mean value and partial information entropy is proposed. This method is divided into three steps. First, get an image which is clear enough to identify the main objects using the gray-level mean value method. Then, the ground staff chooses the interested area. In the end the airborne equipment gets an optimal image using the partial information entropy method. The results show that images obtained by this method have appropriate luminance and the object area is clearly displayed. It can meet the requirements of the airborne visible light camera.

Key words: airborne visible light camera; gray-level mean value method; information entropy; target area

1　引　　言

机载光电平台中可见光摄像机在执行任务时，由于季节、天气、太阳高角和景物特征的不同，入射光强度变化很大[1]，如果曝光时间和光阑大小固定的话，则在许多场景下会出现曝光过度和曝光不足的问题。因此，机载光电平台可见光摄像系统必须具备自动调节曝光量的能力，这样才

收稿日期： 2010-09-06；**修订日期：** 2010-11-09
基金项目： 国家“973”基金资助项目(No. 2009CB72400105)
作者简介： 刘志国(1986－)，男，湖北天门人，硕士研究生，主要从事机载可见光摄像机的研究。
*通讯联系人，E-mail：liu1577@126.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

能适应光强变化较大的环境。

目前较常见的调光技术主要分为两类：基于 CCD 电压的调光方法和基于数字图像的方法。

常见的基于 CCD 电压的方法有整场积分法、峰值法和真有效值法。这些方法通过硬件电路提取 CCD 信号的整场平均值、峰值或真有效值，以此作为反馈信号，通过调节光阑的大小来控制 CCD 的靶面照度和通过控制电子快门的触发脉冲来控制曝光时间，目标是使得 CCD 信号的整场平均值、峰值或真有效值在预期的范围之内。整场平均法在某些特殊场景下不能给出精确的反馈量，致使调光系统自激振荡；峰值法在图像噪声较严重时无法正确曝光；真有效值电路复杂、价格昂贵[2]。

常见的基于数字图像的方法有灰度平均值法、基于人眼视觉机制的图像分区法、信息熵法、二次均值法[3]等。灰度平均值法其实质是整场平均法；图像分区法分区时凭借的是经验和大量的实验数据，图像分区不一定合理。

机载光电平台可见光摄像机在摄像时面对的场景多样性使得现有算法存在适应性的问题。本文提出一种灰度平均与目标域信息熵相结合的方法，使得机载光电平台可见光摄像机具备场景适应性，在各场景下能够准确曝光。

2　现有方法研究分析

2.1　灰度平均值法

灰度平均值法以图像灰度平均值作为反馈量，通过调节光阑大小或曝光时间长短，使目标图像平均灰度值处在合理范围内。

在实际使用时，搜索时间的长短与诸多因素有关，存在下述关系：

$$N = f(E, \delta, \Delta) \tag{1}$$

其中 N 表示搜索步数，E 表示环境亮度，δ 表示灰度允许偏差，Δ 表示曝光时间步长大小。上式可以这样解释：在环境亮度为 E 的情况下，若曝光时间步长大小为 Δ，则经过 N 步搜索可以使预期得到的图像平均灰度值在$(128-\delta, 128+\delta)$内。

E、δ、Δ 都将影响搜索步数 N 的大小，在某种情况下甚至会出现 $N \propto \infty$ 的可能，此时调光系统振荡。一般而言，Δ 大则易调光，系统易振荡；Δ 小则搜索费时。δ 越大，调光越易完成；δ 越小，搜索越费时，且越易振荡。

为了使 N_{max} 尽量不受 E 的影响且尽量小，可以使用变步长的搜索方法并使 δ 较大。

通过使用变步长的方法，并通过经验确定预期图像的均值范围，灰度平均值法可以在 1 s 以内完成调光，而且基本消除了自激振荡的可能。但是灰度平均值法的应用场景是有限的，一般而言，灰度平均值法在普通场景情况下能够较好地曝光；但是在图 1 所示的几种特殊场景下，灰度平均值法所获取的平均灰度值主要反映的是背景的亮度，以此为依据将导致曝光不够准确。图 2 中，(a)表示初始曝光下的图像，(b)是由灰度平均值法调光得到的图像，(c)是曝光比较合适的图像。可以看出，整场平均值法在背景过暗的情况下，会使目标曝光过度。

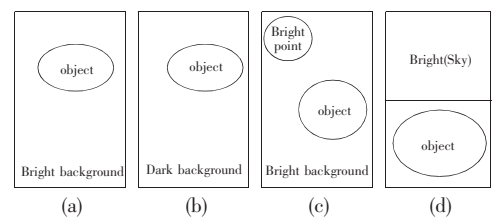


图 1　不适用于灰度平均值法的几种特殊场景

Fig. 1　Several special senses not suitable to the gray-level mean value method

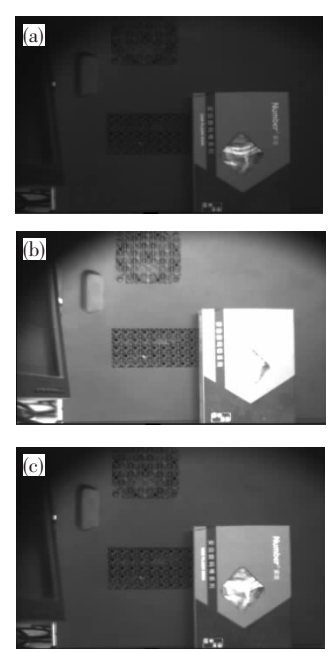


图 2　暗背景下灰度平均值法实验

Fig. 2　Experiment of the image under dark background using gray-level mean method

2.2　信息熵法

熵是从信息论角度反映影像信息丰富程度的

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

一种度量方式，根据香农(Shannon)信息论原理，信息熵定义为

$$H(X) = -\sum_{i=0}^{L-1} P_i \lg(P_i) \tag{2}$$

式中，L 为影像的最大灰度级，P_i 为影像 x 上像元灰度值为 i 的概率。

对于获取的一帧 $M\times N$ 的灰度图像而言，图像有 256 个灰度级，因此 L 取值为 256；通过统计每一个灰度级的像素个数 $sum_{[i]}$，可以得到每个灰度级的概率

$$P_i = Sum_{[i]}/(M\times N) \tag{3}$$

计算出 P_i 之后，由式(2)可以求出图像的信息熵。

根据信息熵的定义，可以得到信息熵的特点：当各个灰度级均匀分布时，$H(X)$具有最大值；当只有某一灰度级时，$H(X)$具有最小值 0。可以认为，图像信息越丰富则 $H(X)$ 越大[4]。

实验表明图像的信息熵与曝光量之间存在着曲线关系[5]。如图 3 所示，曲线存在着峰值点，而且曲线两侧均单调上升或下降，利用一定的搜索算法，可以找到最大值。

图 4(a)和图 4(b)分别是利用灰度平均值法和信息熵法调光获取的图像。对比可以发现：普通场景时，利用信息熵法可以获得图像细节明显的图像；但是在背景占据 CCD 大部分靶面时，最大信息熵图像不一定能够清晰地显示目标区域(见本文第 4 节实验)。

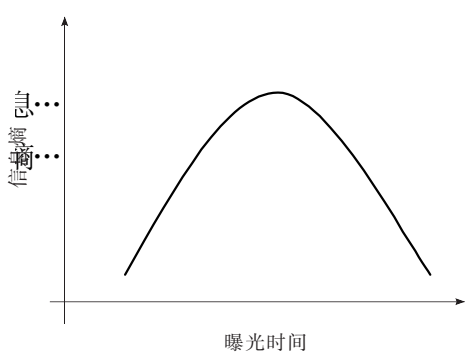


图 3 曝光时间与信息熵的关系

Fig. 3 Relation between exposure time and information entropy

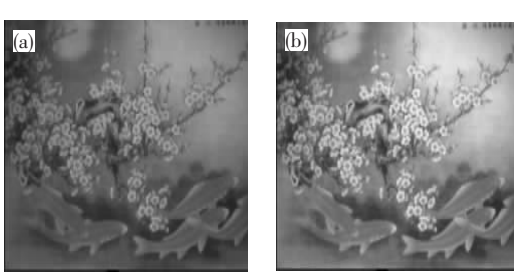


图 4 灰度平均值法与信息熵法对比实验

Fig. 4 Contrast of gray-level mean value method with information entropy method

2.3 图像分区法

根据人类的视觉机制，可将图像分为若干区域，将中间区域定为目标区域，背景区域为不感兴趣区域，对每一个区域赋予不同的权值，从而计算图像的加权亮度均值[6]。由此方法已衍生出很多方法，都是对图像进行分区求加权平均亮度。这类方法的局限性在于图像的分区不一定合理，特别是对机载设备而言，很多时候目标并没有出现在中间区域；其次加权系数的确定更多的是凭感觉与经验，系数的选择不一定合理。

3 灰度平均值和区域信息熵相结合的调光方法

机载光电平台在执行任务时，传统的工作流程是由地面控制台操作单杠，控制光电平台大范围搜索目标，或用目标框锁定目标，对目标进行跟踪[7]。在这个过程中，由于空对地面临许多复杂场景，传统的整场积分方法调光效果不尽理想，因此不妨在地面站收到的图像画面上选定一个感兴趣区域，并将该区域位置解算出来通过无线电链路传给光电平台，光电平台进行该区域的局部调光，这样可以排除一些无用场景的干扰，进行有用场景的精确计算，能够达到更加理想的调光效果。

根据机载光电平台执行摄像任务时的场景特性，以及对现有调光方法的特点分析，结合地面工作人员在机载光电平台执行跟踪时任务的特点，本文提出一种灰度平均值和区域信息熵相结合的调光方法。

该方法的基本原理如图 5 所示，可以分解为以下几个步骤：

(1)灰度平均值法初调

可见光摄像机在初始曝光时间下获取图片，如果外界光过亮或者过暗，将使初始图像过亮或者过暗，以至于图像细节信息不明显。如果将此图片返回至地面，地面工作人员可能无法提取目标。灰度平均值法初调的目的在于使图像不致过亮或者过暗，即要求使图像处在$(128-\delta, 128+\delta)$，在此过程中，图像的预期亮度范围值可以设得较大，即 δ 值可以取得比较大。根据经验，δ 取值为 30 左右会使初调花费的时间较少。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

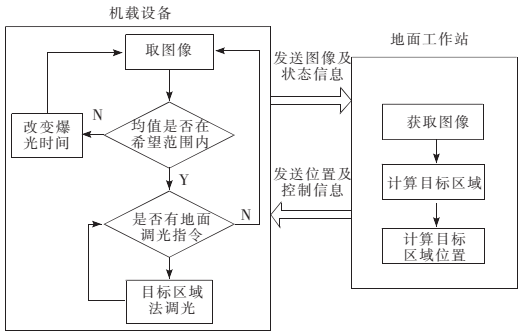


图 5　灰度平均值和区域信息熵相结合的方法原理

Fig. 5　Principle of method based on gray-level mean value and partial information entropy

(2)地面工作人员提取感兴趣目标

地面工作人员利用输入设备(鼠标)在屏幕上将感兴趣目标画在目标框内，然后程序计算目标框内像素的存储位置，计算方法如下：

$$(x,y)_{客户} \rightarrow (x,y)_{屏幕} \rightarrow (x,y)_{显示} \rightarrow (x,y)_{像素} \rightarrow (x,y)_{存储} \tag{4}$$

画目标框时，程序捕捉鼠标起始点位置(目标框起始位置)，此坐标为客户坐标，通过调用 MFC 内坐标转化函数，完成客户坐标至显示坐标的转化。由于在图像显示时采用原始比例，所以得到的客户坐标即为像素坐标。至此，完成了鼠标位置到像素矩阵坐标的转化。

根据图像的存储特点，以及每帧图像的大小，设为 $M\times N$，可以完成像素坐标到存储坐标的转换，转换的公式如下：

$$(x,y)_{存储} = (x_{像素}, M - y_{像素}) \tag{5}$$

(3)目标区域内信息熵法调光

地面工作站计算机将目标区域内像素的坐标通过无线电链路传送至机载光电平台，机载设备获取目标区域的图像，计算信息熵并决定是否改变曝光时间。如果需要改变曝光时间，则以新的曝光时间进行曝光，通过几次搜索，能够得到预期的目标图像。

搜索流程如图 6 所示。搜索流程可以简单解释如下：当 $C_i > C_{i-1}$ 时，增加曝光时间；当 $C_i < C_{i-1}$ 时，表明曝光时间超过了最大值，则设置 b 值，改变步长为 δ/b，减少曝光时间；重复上述过程直至 $C_i = C_{i-1}$。为了控制搜索过程，设置误差值 e_0，当 C_i 与 C_{i-1} 的差值小于 e_0 时，调光完成[4]。

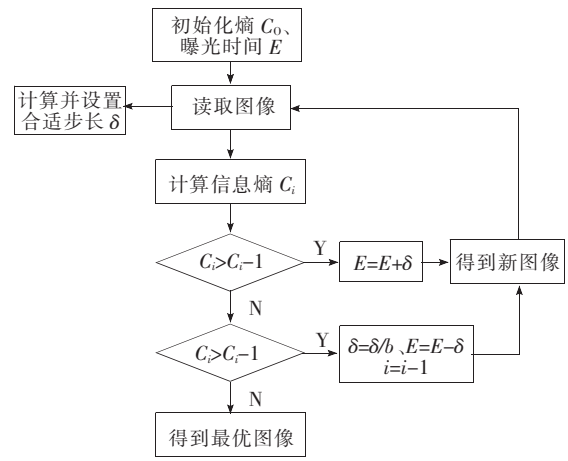


图 6　信息熵法搜索流程

Fig. 6　Algorithmic flow of information entropy

区域信息熵法的目的在于找到使目标区域内信息熵最大的曝光时间，使目标区域内细节显示清晰；相比其他方法而言，调光目的更加明确，调光针对性更强。同时由于有地面人员的参与，该方法在特殊场景下也能够准确曝光，场景适应性更强。

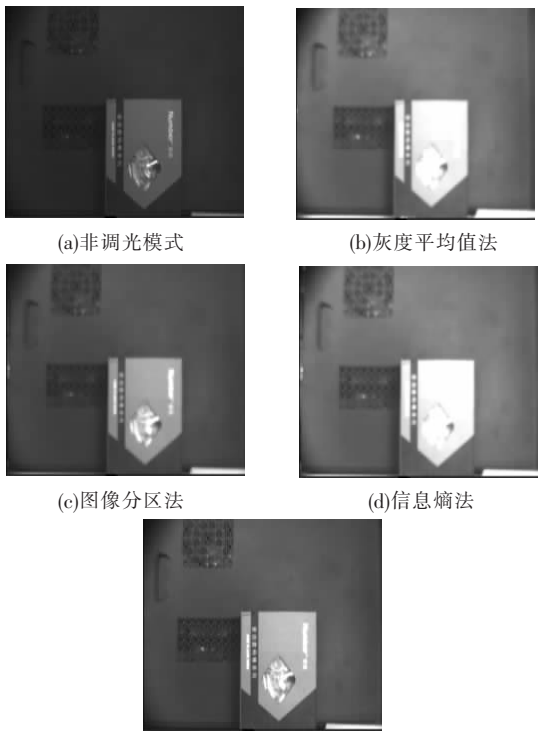
4　实验结果

结合机载设备的特点，本文做了一系列的地面试验。普通场景时，此方法有两种退化模型：如果地面人员圈取整幅图像作为感兴趣区域，则此方法就是信息熵法；如果地面人员不圈取任何目标，则方法退化为灰度平均值法。由于在普通场景时灰度平均值法和信息熵法均能够满足调光的要求，所以本文主要针对背景占据 CCD 大部分靶面面积的场景做了一些实验。

在黑背景下，以盒作为目标对象，采用不同的曝光方法得到如图 7 所示的图像。

表 1 显示了各图像的有关参数，其中灰度平均值法得到的图像 7(b)的平均灰度值在预期的范围内，但是此时目标曝光过度。事实上当背景占据大部分 CCD 靶面面积的时候，目标容易被湮没。图像分区法在一定程度上可以改进灰度平均值法，但是不同的加权系数得到的图像将不一样，同样的加权系统对不同的场景效果也不一致。信息熵法得到的图 7(d)具有最大的信息熵，但是在此场景下，目标却不能够得到很好的曝光。灰度平均值与区域信息熵相结合的调光方法对这几种方法加以综合与改进，使得图像整体亮度合适，目

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(a)非调光模式 (b)灰度平均值法

(c)图像分区法 (d)信息熵法

(e)灰度平均与信息熵法

图 7 不同方法得到的结果

Fig. 7 Results of different methods

表 1 不同方法得到的图像参数

Table 1 Parameters of different images

图像	灰度平均值	信息熵	目标域内信息熵
(a)	49.677 5	3.598 5	3.35
(b)	125.058 9	4.415 8	3.85
(c)	83.175 7	4.206 8	3.81
(d)	121.826 2	4.470 5	3.74
(e)	90.025 9	4.355 4	3.93

标区域内具有最大的信息熵，目标区域细节明显，如图 7(e)所示。

5 结 论

灰度平均值与区域信息熵相结合的调光方法充分利用了灰度平均值法、图像分区法、信息熵法的特点并加以综合改进，使获得的图像具有平均亮度合适、目标区域内信息丰富的特点，地面人员可以获得感兴趣区域的清晰图像。由于有地面人员的参与，该方法的调光针对性更强、调光目的更加明确，可适应的场景更加广泛。

参 考 文 献：

[1] 金龙旭，吕增明，熊经武. CCD 摄像机全自动调光系统 [J]. 光学 精密工程，2002，10(6)：984-987.

[2] 戴明，凌丽青，孙丽娜，等. 采用外触发方式实现 CCD 摄像机的全自动调光控制 [J]. 光学 精密工程，2008，16(11)：2257-2262.

[3] 关澈，王延杰. CCD 相机实时自动调光系统 [J]. 光学 精密工程，2008，16(2)：358-366.

[4] 楚广生. 一种基于信息熵的自动调光方法 [J]. 光机电信息，2010，27(1)：20-22.

[5] ZHANG Chi，YOU Zheng，YU Shijie. An automatic exposure algorithm based on information entropy [J]. *Proceedings of SPIE*，2006，6357：63570Q.

[6] 甘玉泉，高伟. 一种基于图像分区的自动曝光算法 [J]. 微计算机信息，2009，25(4-3)：303-304.

[7] 张宇，赵贵军，李国宁，等. 用于目标跟踪的大视场 CCD 相机自动调光方法及实现 [J]. 液晶与显示，2009，24(6)：928-933.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net