

文章编号 1004-924X(2008)11-2257-06

采用外触发方式实现 CCD 摄像机的全自动调光控制

戴明¹, 凌丽青^{1,2}, 孙丽娜¹, 李勇军^{1,2}

- (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;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要:针对传统的 CCD 摄像系统自动调光方法在工程使用中存在的不足,提出了一种新的 CCD 摄像系统的全自动调光方法。该方法采用外触发电子快门和可变光阑相结合的方式调光,外触发电子快门调光为主,可变光阑调光为辅。采用外触发方式实现 CCD 摄像机的电子快门时间调节,由单片机控制电机调节可变光阑的通光口径,以使像面照度适中。由图像目标区域的均值电平获得反馈控制量,从而实现最佳全自动调光。Matlab 仿真结果表明,与传统调光方法相比,新型调光方法拍摄的图像更清晰,对比度更高,目标层次也更加明显,对应的直方图分布更宽广且更均匀,功率谱幅值也更高,达到 7.5 dB 以上,可满足现代 CCD 摄像系统的最佳全自动调光要求。

关键词:CCD 摄像机;调光系统;电子快门;可变光阑;外触发

中图分类号:TB853 **文献标识码:**A

Full-automatic light adjustment control for CCD camera by external trigger

DAI Ming¹, LING Li-qing^{1,2}, SUN Li-na¹, LI Yong-jun^{1,2}

- (1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*
2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: In order to improve the automatic light adjustment for traditional CCD camera system in engineering, a new full-automatic light adjustment method for CCD camera system was presented. In this method, light was adjusted by combining external trigger electronic shutter mainly and iris diaphragm assistantly. For obtaining a moderate image illumination, the electronic shutter time of CCD camera was adjusted by external trigger and the aperture of iris diaphragm was adjusted by motor controlled by single-chip. Feedback control quantity was obtained from the mean level of target region of image, so that the full-automatic light adjustment was implemented. Matlab simulation results show that histogram related to image of new light adjustment system is wide and uniform, and the peak value of its power spectrum is more than 7.5 dB. The image of the new light adjustment system is clean and high-contrast, which shows new system can satisfy requirements of the optimal full-automatic light adjustment for modern CCD camera system.

收稿日期:2008-01-28;修订日期:2008-03-21.

基金项目:国防科技预研基金资助项目(No. 1040603)

Key words: CCD camera; light adjustment system; electronic shutter; iris diaphragm; external trigger

1 引言

由于 CCD 摄像机所具有的各种突出优点,从发明至今它的发展速度惊人。近年来,CCD 摄像机的应用已深入到各个领域,可以说是跨行业、跨专业多方面应用的一种光电产品^[1-2]。在目标和背景亮度变化比较大的环境下,CCD 摄像系统获取的图像特别容易饱和,而且在观察目标时,焦距的改变也会影响摄像机 CCD 靶面上的光照度^[3],所以必须使用高性能的调光系统对 CCD 摄像系统进行调光,才能保证 CCD 摄像系统的正常工作。

CCD 摄像机的调光方式一般有 3 种:改变光学系统的透过率、改变曝光时间和改变通光孔径。传统的 CCD 摄像机调光系统中,通常使用减光片、变密度盘、电子快门和可变光阑进行调光^[3-5]。减光片和变密度盘通过改变光学系统的透过率来调整 CCD 的曝光量,电子快门的原理是改变 CCD 的光积分时间(即改变曝光时间),可变光阑通过改变通光孔径来实现调光。调光系统中调光控制电路主要有开环控制和闭环控制两种,采用闭环控制电路控制调光系统可以实现自动调光。反馈控制量一般由平均电平、峰值电平或真有效值反馈获得。反馈控制量的提取对调光效果影响很大,针对不同的图像目标及背景情况,目前并没有一个通用的最佳控制量提取算法。传统调光方法一般是通过不断获取整场平均电平,然后与参考电平相比较^[6],一旦差值超过所设定的范围,则启动调光控制系统向减少差值的方向进行实时修正。在图像目标整体亮度比较大的场合,峰值调光法是一种行之有效的方法。真有效值可以实现对各种非正弦复杂波形交流信号有效值的精密测量。

本文采用外触发电子快门和可变光阑相结合的方式对 CCD 摄像系统进行调光,调光系统的反馈控制量由图像目标区域的均值电平获得。实验结果表明,该调光方法能够满足现代摄像系统的高调光要求。

2 传统调光方法存在的不足

传统调光方法中,减光片调光分档进行,调节不连续、不灵活,且响应速度慢,中途换挡将丢失目标。变密度盘调光系统存在机构复杂、调光范围不够宽、驱动功率要求大等问题。CCD 摄像机自身的电子调光一般不可控,效果不理想,无法满足现代摄像系统的调光要求。

峰值电平代表图像中的亮点和噪音,在图像目标亮度不太高或噪声干扰比较大的场合不适合作为调光的反馈控制量。真有效值电路的设计十分复杂,价格也十分昂贵。在某些特殊情况下,整场平均电平不能使观察的目标在 CCD 摄像机靶面上照度值适中,因而达不到最佳的调光效果^[6],如图 1 所示。在图 1(a)和(b)两种情况下,背景占据了整个 CCD 靶面的绝大部分,无论是亮背景还是暗背景,积分结果都将以背景为主,目标的成像照度很难达到最佳值。在图 1(c)情况下,虽然目标面积很大,但由于局部区域的照度很高,其对应的视频输出信号的幅值也很高,积分结果将影响到目标的成像质量,无法实现最佳调光。

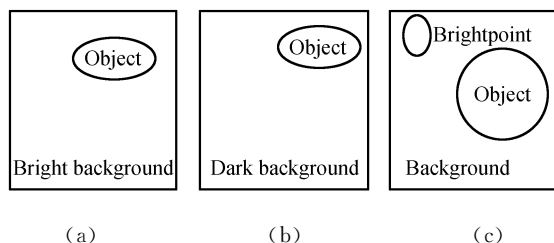


图 1 目标与背景分布情况

Fig. 1 Distributions of objects and backgrounds

3 外触发组合调光方法

为解决传统调光方法中存在的不足,本文提出了一种采用外触发电子快门和可变光阑相组合的新型调光方法,简称外触发组合调光方法。下面对外触发组合调光方法进行详细介绍。

CCD 摄像机调光系统要求调光范围宽、速度快、灵活可靠、适应性强,以满足复杂环境下的调光要求。摄像机输出的视频信号幅值反映了

CCD 靶面上的受光情况。新型的 CCD 摄像机的多种型号中都带有外触发输入,允许外触发,曝光时间可控。

基于上述原理和对调光系统的要求,外触发组合调光系统采用外触发电子快门和可变光阑相结合的方式,控制 CCD 受光情况,使 CCD 获得合适的曝光量,实现最佳全自动调光。该系统采用目标区域均值电平的方法获取反馈控制量,有效地提高了不同背景下全自动调光系统的适应性。外触发组合调光系统的组成框图如图 2 所示。

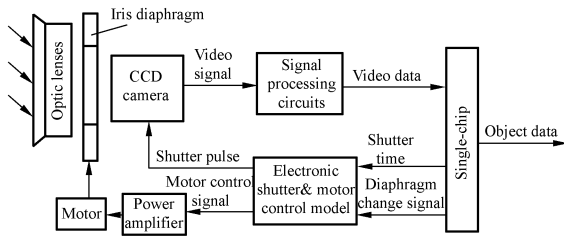


图 2 调光系统组成框图

Fig. 2 Block diagram of light adjustment system

被观察目标的反射光通过光学镜头组及可变光阑照射在 CCD 摄像机靶面上,CCD 将光信号

转换成电信号,输出全视频信号。视频信号经过处理电路进行一系列处理,得到视频数据并送入单片机。单片机根据接收的视频数据获取反馈控制量 U ,并将 U 与存储在单片机中的调光参考电平 U_0 进行比较,可编程逻辑器件 CPLD 根据比较结果进行编程,对外触发电子快门和可变光阑进行控制调节,最终实现 CCD 摄像机的最佳全自动调光。

4 实验及仿真

CCD 摄像机加外触发可以改变电子快门时间,从而改变 CCD 的曝光时间。外触发组合调光系统使用 SONY XC-ES50 型 CCD 摄像机对室外景物进行拍摄。XC-ES50 型 CCD 摄像机光积分时序如图 3 所示,摄像机的正常快门速度是 $1/100 \sim 1/10\ 000$ s,外触发快门速度是 $1/4 \sim 1/10\ 000$ s。外触发电子快门功能启用时,触发脉冲上升沿有效,改变触发脉冲的宽度也就改变了 CCD 的有效积分时间。当外触发脉冲的宽度达到 $1/3$ s 时,输出信号自动恢复为正常视频信号。曝光结束后,视频信号在下一个 VD 输出。

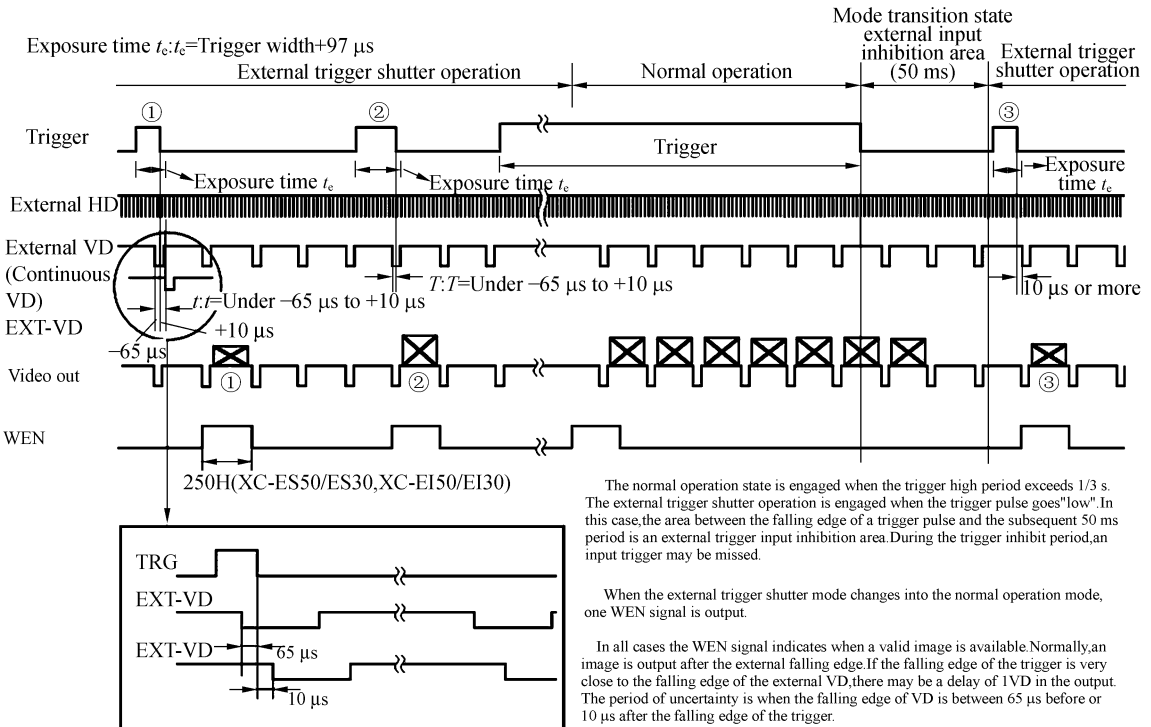


图 3 积分时序图

Fig. 3 Integral timing chart

实际调试过程中发现,光阑不仅可以调整光通量的大小,还可以屏蔽一些产生图像噪声的折射和散射光线。当光阑的孔径开大时,视场边缘的折射和散射光线传到摄像机的靶面上,就会形成噪声,对目标图像产生干扰,降低图像的信噪比;当光阑的孔径关小时,景深拉大,照片的清晰度增加,但光阑的孔径小到一定程度时,光阑的非线性特性就会造成图像不稳定,清晰度降低^[7]。拍摄运动目标时,外触发电子快门曝光时间过长容易产生像移,造成图像模糊。因此,使用时应根据实际情况设置可变光阑通光孔径的最大值、最小值及外触发电子快门的最大曝光时间。

获取图像后,采用图像边缘检测算法提取图像目标边缘^[8],用窗口圈定目标,计算目标窗口区域的灰度均值,获取均值电平,由 $\Delta U = U - U_0$ 。改变触发脉冲的宽度,调节 CCD 曝光时间。设置误差允许值 Allow,当 $\text{Allow} \geq |\Delta U|$ 时开启外触发电子快门脉冲调节系统进行调光,如果外触发电子快门时间已达到所设置的限制值,但调光效果尚未满足要求,则启动可变光阑调光系统调节光阑的通光孔径,以使像面照度适中,达到最佳的全自动调光要求。光阑由电机控制,外触发快门脉冲的宽度和电机的转动由 CPLD 来精确控制,实现外触发组合调光系统的精细调节。

以桥为目标对象进行拍摄,实验图像如图 4 所示。其中,图 4(a)是手动调节摄像机拍摄的图像;图 4(b)是摄像机辅助以可变光阑进行调光拍摄的图像;图 4(c)是外触发组合调光拍摄的图像。可以看出,外触发组合调光方法拍摄的图像图 4(c)比图 4(a)、图 4(b)更清晰,层次对比也更加明显。



(a) 手动调光

(a) Manual adjustment



(b) 可变光阑调光

(b) Diaphragm adjustment



(c) 组合调光

(c) Combination adjustment

图 4 实验图像

Fig. 4 Experimental images

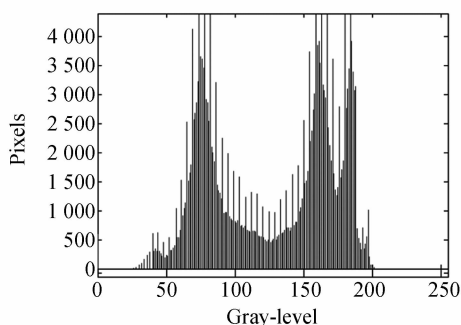
通过 Matlab 进行仿真计算,得到拍摄图像对应的直方图和功率谱,如图 5 所示。直方图是衡量在一个场景中亮区域和暗区域明度对比的尺度,宽广的直方图分布代表较高的对比度,狭窄的直方图分布代表较低的对比度。从直方图来看,外触发组合调光方法拍摄的图像图 4(c)对应的直方图 5(c)分布更宽广且更均匀,图像对比度高。

图像功率谱反映整个图像的性质,一般来说,图像模糊使功率谱幅值衰减,噪声则使图像的功率谱幅值成齿状增加。由式(1)得到图像阵列 $Z_{M \times N}$ 的功率谱 Z_{PS} ,利用 Matlab 将图像的功率谱以式(2)的形式表达出来,如图 5(d)、(e)、(f)所示。

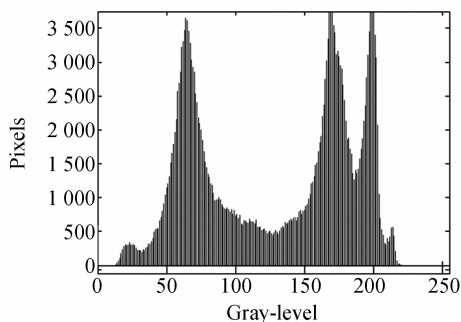
$$Z_{PS} = \frac{|\text{FFT2}(Z)|^2}{M \times N}, \quad (1)$$

$$\text{Power spectrum} = \log(\text{FFTshift}(Z_{PS})). \quad (2)$$

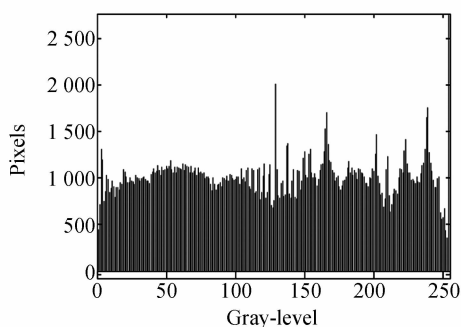
从功率谱来看,外触发组合调光方法拍摄的图像图 4(c)对应的功率谱图 5(f)的幅值更高,达到 7.5 dB 以上,谱图也更平滑,没有明显的齿状增加,图像清晰且噪声得到了很好的抑制。



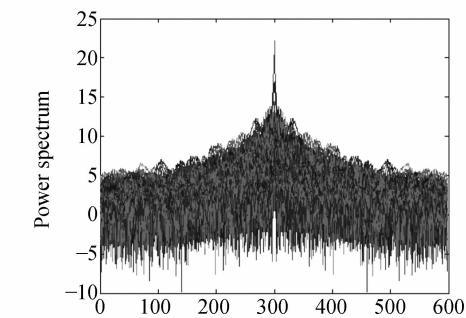
(a)图 4(a)的直方图
(a) Histogram of 4(a)



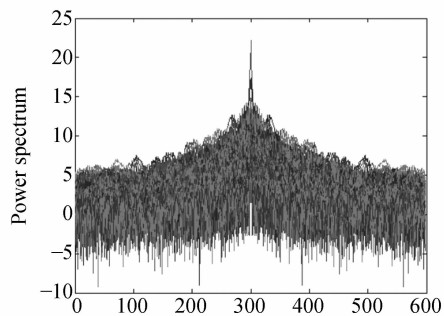
(b)图 4(b)的直方图
(b) Histogram of 4(b)



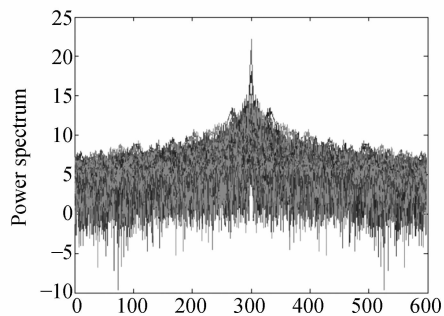
(c)图 4(c)的直方图
(c) Histogram of 4(c)



(d)图 4(a)的功率谱
(d) Power spectrum of 4(a)



(e)图 4(b)的功率谱
(e) Power spectrum of 4(b)



(f)图 4(c)的功率谱
(f) Power spectrum of 4(c)

图 5 实验图像对应的直方图和功率谱

Fig. 5 Histograms and power spectra of the experimental images

由以上分析可以得出:采用外触发电子快门和可变光阑相组合的调光方法对 CCD 摄像系统进行调光,拍摄的图像更清晰,对比度更高,目标层次更加明显,噪声也得到了抑制。而且,外触发组合调光方法调光过程中像面变化平稳,调光速度快,调光系统灵活且性能可靠。

5 结 论

本文采用外触发方式实现 CCD 摄像机的电子快门时间调节,由单片机控制电机调节可变光阑的通光口径,使像面获得了合适的照度。外触发电子快门调光为主,可变光阑调光为辅,克服了单纯使用摄像机自动电子快门和可变光阑调光的不足。反馈控制量由图像目标区域的均值电平获得,有效地提高了不同背景下被观察目标调光的适应性。由 CPLD 编程实现对外触发电子快门和可变光阑的精确控制。Matlab 仿真结果表明,

与手动调节和摄像机辅助以可变光阑调光拍摄的图像相比,外触发组合调光方法调光拍摄的图像对应的直方图分布更宽广且更均匀,功率谱幅值可达到 7.5 dB 以上,谱图也更平滑,没有明显的齿状增加。其图像更清晰,对比度更高,目标层次

更加明显,噪声也得到了有效抑制。

外触发电子快门和可变光阑的组合调光方法调光范围宽,响应速度快,执行机构简单,要求的驱动功率小,系统性能可靠,可满足现代 CCD 摄像系统的最佳全自动调光要求。

参考文献:

- [1] 孙丽娜,汪永阳,戴明,等. 航空光电成像消旋电视数字控制器[J]. 光学 精密工程,2007,15(8):1300-1304.
SUN L N, WANG Y Y, DAI M, *et al.*. Digital controller for aerial camera with despun control[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007,15(8):1300-1304. (in Chinese)
- [2] 刘瑞安,靳世久,吴晓荣,等. 视线跟踪系统中 CCD 摄像机的自适应调节[J]. 光学 精密工程,2007,15(6):966-972.
LIU R A, JIN SH J, WU X R, *et al.*. Adaptive regulation of CCD camera in eye gaze tracking system[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007,15(6):966-972. (in Chinese)
- [3] 李英辉,吴立军. 单片机在详查相机中自动调光变焦控制的应用[J]. 吉林工学院学报,1995,16(2):71-75.
LI Y H, WU L J. Application of single-chip microcomputer in the self-adjusting iris diaphragm and the focus control for xiangcha camera[J]. *Journal of Jilin Institute of Technology*, 1995, 16(2):71-75. (in Chinese)
- [4] 王海涌,申功勋. 基于电子快门实现 CCD 曝光量无级调节技术[J]. 光电工程,2006,33(8):136-139.
WANG H Y, SHEN G X. Technology of stepless adjustment to CCD exposure based on electronic shutter[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2006, 33(8):136-139. (in Chinese)
- [5] 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):588-591.
JIN L X, LV Z M, XIONG J W. Automatic light-adjusting system of CCD video camera[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2002, 10(6):588-591. (in Chinese)
- [6] 苏宏武,杨小君,李哲,等. 基于平均和峰值灰度加权的自动调光系统[J]. 光子学报,2006,35(1):158-160.
SU H W, YANG X J, LI ZH, *et al.*. Automatic adjust light systems based on combined average gray with peak gray[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, 35(1):158-160. (in Chinese)
- [7] 董莉莉,金宏. 采用可变光阑的自动调光系统的稳定性分析[J]. 光学 精密工程,1999,7(1):100-104.
DONG L L, JIN H. The stabilization analysis of automatically adjustable optical intensity system using iris diaphragm[J]. *Opt. Precision Eng.*, 1999, 7(1):100-104. (in Chinese)
- [8] 林玉池,崔彦平,黄银国. 复杂背景下边缘提取与目标识别方法研究[J]. 光学 精密工程,2006,14(3):509-514.
LIN Y CH, CUI Y P, HUANG Y G. Study on edge detection and target recognition in complex background[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006,14(3):509-514. (in Chinese)
- [9] TETSUYA K, HIROAKI S. A new automatic exposure system for digital still cameras[J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 1998, 44(1):192-199.
- [10] 余成波. 数字图像处理及 MATLAB 实现[M]. 重庆:重庆大学出版社,2003.
YU CH B. *Digital Image Processing and MATLAB Implement* [M]. Chongqing:Chongqing University Press, 2003. (in Chinese)

作者简介:戴 明(1965—),男,湖北人,研究员,博士生导师,主要从事光电平台稳定技术和图像稳定技术的研究。E-mail: daim@ciomp.ac.cn

凌丽青(1983—),女,广西人,研究生,主要从事图像拾取及处理方面的研究。E-mail: lingliqing007@163.com