

文章编号:1671-8879(2011)02-0038-04

基于 CCD 的公路照明测量系统

王 磊^{1,2}, 周 伟^{1,2}

(1. 交通运输部 公路科学研究院, 北京 100088; 2. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064)

摘 要:分析了 CCD 测量对比度的原理及特点,研究了公路照明质量评价指标,提出了以调整对比度作为评价指标的照明质量评价方法,设计了基于 CCD 的公路照明测量系统,并成功予以实施。研究表明:新设计的测量方法有效地提高了公路照明质量测试的精度与效率,减少了测量误差;与传统方法相比,测量精度提高约 20%,测试效率提高 3 倍以上。

关键词:道路工程;公路照明;测量;CCD;数字图像处理

中图分类号:U453.7 **文献标志码:**A

Measurement system of highway lighting based on CCD

WANG Lei^{1,2}, ZHOU Wei^{1,2}

(1. Academy of Highway Science, Ministry of Transportation, Beijing 100088, China;

2. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: The CCD measuring principle and characteristics were studied, the highway lighting quality rating targets were researched, an evaluation method of road lighting measurement system based on CCD was presented. The result shows that the new measuring method can effectively reduces the measurement errors and make the measurement more reasonable and accurate. Compared with tradition technology, the measuring accuracy can be promoted 20% and the measuring efficiency can be increased 3 times. 6 figs, 9 refs.

Key words: road engineering; highway lighting; measurement; CCD; digital image processing

0 引 言

近年来,随着公路建设事业的快速发展,公路照明建设和照明质量越来越受到人们的重视,特别在一些车流密集的高速公路(如机场高速公路)、服务区及收费站、隧道内等特殊地段,通过照明改善,可使交通事故的概率降低约 30%。道路照明是一门专业性很强的学科,为此,CIE(国际照明委员会)成立了专业委员会从事这方面的研究,并发布了大量的相关文件。中国制定的《公路照明技术条件》标准,是在 CIE pub No 12-2 (TC4-6) 相关内容的基

础上,并根据中国国情制定的,实用性很强^[1-3]。

公路照明测量技术是公路照明质量评价的关键,目前,公路照明的测试,主要以使用照度计并结合不同路面的经验系数的方法,换算出该区域面积的亮度^[4]。这种测试只能得到一个平均的亮度指标,并且实际误差较大。如果使用亮度计来测量,由于被测区域是圆形,在采用大视场角的条件时,只能是一个内切被测区域的圆形区域,精确度不高;如果采用小视场角,则需要反复移动亮度计逐点测试,测量繁琐,并产生测量误差。因此,在现场测试过程中反复移动亮度计,无论从效率或安全角度都是不合

收稿日期:2010-07-14

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2009BAG13A0)

作者简介:王 磊(1984-),男,陕西西安人,交通运输部公路科学研究院助理工程师,长安大学工学硕士研究生,E-mail:3stone.wang@gmail.com。

适的。近年来,随着数字成像技术的发展,特别是 CCD/COMS 感光器件的出现,无论是分辨力、灵敏度还是动态范围都有了很大的提高,其价格也越来越低。由于数字图像更容易进行计算机分析处理,因此,利用数字成像技术进行公路的照明验收是一种精度高且方便可行的测试方法,本文对此进行了研究分析。

1 CCD 成像测试亮度原理

CCD 是基于金属、氧化物和半导体(metal-oxide-semiconductor) 技术的光电转换器件。它是在 P 型(或 N 型) 硅衬底的表面用氧化方法形成一层厚度约为 $0.1\ \mu\text{m}$ 的二氧化硅层,再在二氧化硅上蒸镀一层金属膜,并用光刻方法制成栅状电极,基本工作原理是信号电荷的产生、存储和传输。当栅极施加正偏压后,空穴被排斥,产生耗尽区;偏压继续增加,耗尽区将进一步向半导体内延伸,将半导体电子吸引到表面,形成一层极薄($2\sim 10\ \mu\text{m}$) 但电荷浓度很高的反型层。CCD 中电荷从一个位置转移到另一个位置,在开始时刻,有一些电荷存储在偏压为 $10\ \text{V}$ 的第一个电极下的势阱中,其他电极上均加有大于阈值的较低电压。经过一定时刻后,各电极上的电压发生变化,电荷包向右移动;将按一定规则变化的电压(如外部的时钟电压) 加到 CCD 各电极上,电极下的电荷包就沿半导体表面按一定方向转移到输出端,实现图像的自扫描,从而将照射在 CCD 上的光学图像转换成电信号图像,直接显示图像全貌^[5]。CCD 成像原理如图 1 所示。

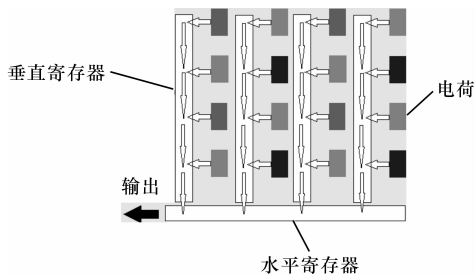


图 1 CCD 成像原理

公路照明能否使得一定距离内的目标物清晰,能否把目标物从背景中分辨出来,是研究公路照明的核心目的。人们总是依据视野范围内各部分之间的亮度或颜色的差异,从环境中识别目标物。根据 Purkinje 效应可知,对视觉来说,在观察物体时,起决定作用的是物体和背景的亮度差异,所以,目标识别与探测的理论一般都是基于目标与背景的亮度对比展开的^[6]。目标背景对比度与目标物的形态、发光或反射特性、大气传输特性和人眼或仪器的接收

特性等因素密切相关。

CCD 电荷耦合器件是以电荷作为信号,基本功能是电荷的存储和电荷的转移。CCD 成像系统检测目标各点的亮度分布是基于像面上所获得照度正比于物体亮度,而且不随距离和视场的变化而变化。CCD 测光原理如图 2 所示。

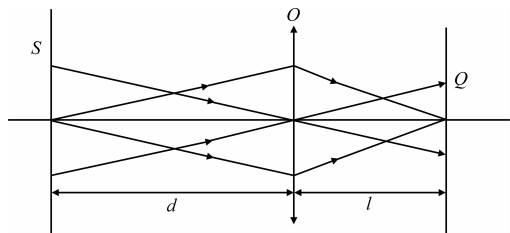


图 2 CCD 测光原理

由光学系统出射的光通量 ϕ 为

$$\phi = LS \frac{A}{d^2} \tau \quad (1)$$

式中: L 为发光面的亮度; S 为待测物面; d 为物距; A 为光学系统的出瞳面积; τ 为光学系统的透过率。

像面上的照度 E 为

$$E = \frac{\phi}{Q} = LS \frac{A\tau}{d^2 Q} \quad (2)$$

式中: Q 为像面。

由图 2 中的几何关系,可得

$$\frac{S}{d^2} = \frac{Q}{l^2} \quad (3)$$

式中: l 为像距。

将式(3)代入式(2),可得

$$E = L\tau \frac{A}{l^2} \quad (4)$$

出瞳面积 A 为

$$A = D^2 \frac{\pi}{4} \quad (5)$$

式中: D 为相对孔径。

物象关系为

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d} + \frac{1}{l} \quad (6)$$

式中: f 为焦距。

把式(5)、式(6)代入式(4),可得

$$E = L \frac{\tau \pi}{4} \left(\frac{D}{f} \right)^2 \left(1 - \frac{f}{d} \right)^2 \quad (7)$$

由式(7)可知,只要在检测过程中保持相应的参数不变,则像面上的照度值仅与物面亮度值 L 成正比。因此,可以通过测试像面的照度得到物面的实际亮度。

目标与背景亮度对比度 C 的定义有 2 种^[7]。

(1) 反衬对比度

$$C = \frac{|L_r - L_b|}{L_b} \tag{8}$$

式中: L_r 为目标亮度 (cd/m^2); L_b 为背景亮度 (cd/m^2)。

(2) 调整对比度

$$C = \frac{|L_r - L_b|}{L_r + L_b} \tag{9}$$

当以黑白格栅对摄像机测试时,常采用这一定义。这时 L_r 是对应白线条输出的信号峰值,而 L_b 是对应黑线条输出的信号谷值。本文采用第 2 种定义。

2 系统组成与效果实测

2.1 照明测量系统的组成

CCD 的公路路面照明测量系统的组成如图 3 所示。

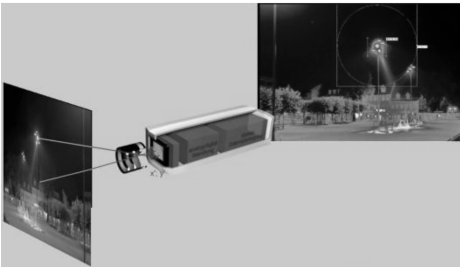


图 3 公路路面照明测量系统的组成

被测路面经过光学系统,在 CCD 感光面上成像,经过光电转换、量化读出后,通过数据传输总线传到计算机的采集卡中。最后,经过软件系统对图像进行分析,计算获得亮度值。也就是说,先对这些图像进行灰度提取,然后通过程序和已标定数值比对,根据图片的灰度值和曝光时间,计算出该图像所对应路面每一个点的亮度值,再根据这些亮度值就可以描绘出原物的亮度分布。

2.2 亮度测量点布设

公路照明的亮度测量具有其特殊性,由于公路照明要满足驾驶安全的需要,因此亮度测量也要以驾驶人的视觉行为特点为参考^[8-9]。按照统计学规律,驾驶人的视觉水平高度为 1.5 m,注视点为前方 60 m 以外。因此,亮度测量的观测点应为水平高度 1.5 m 处,而被测量点应为车行方向前方 60 m 至 160 m 区域。该区域纵向至少包括同一侧的 2 根灯杆,横向应为整条路宽。

在纵向两灯间距小于等于 50 m 的情况下,按照两灯间距平均布置 10 个测点;若两灯间距大于 50 m,则应该按照两被测点之间小于 5 m 间隔来划分。在横向可按照每条车道布置 3 个点,中间点位于车道中心线,其余 2 点分别在车道两侧边线内侧

1/6 车道宽度处,如图 4 所示。

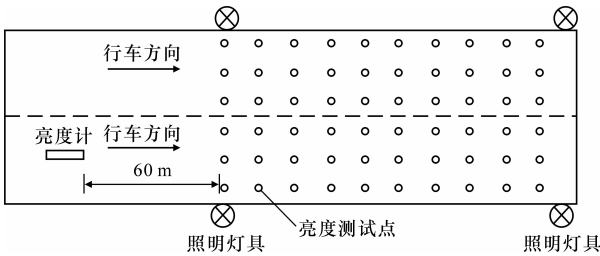


图 4 公路照明测量范围及点位

2.3 效果实测

以某高速公路隧道照明测试为例,为了避免中间标线对测试结果的影响,分别取单个车道来测试亮度,实际拍摄的照片如图 5 所示。被测区域通过几何变形,使其成为矩形后,按照布点原则在该车道布置 3×10 个测试点,这时可从软件中读取每个测试点的亮度值,如图 6 所示。



图 5 路面亮度实拍照片

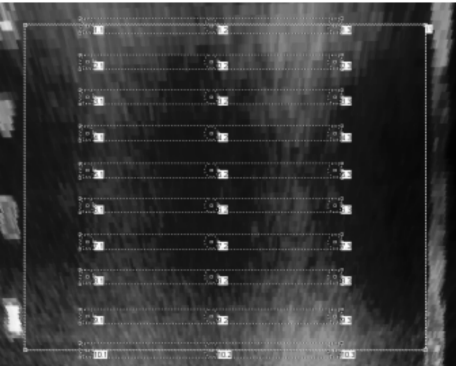


图 6 实拍图片转换后的测试效果

实践表明,本文方法与传统方法相比:①可以直接得到路面亮度指标,较之现在普遍使用的、通过照度转换为亮度来说,精度提高约 20%;②增加了测量效率,在测试现场仅需拍摄一张照片,即可得到该区域实际亮度相对于原先 30 次的亮度,测试效率提高 3 倍以上。

3 结 语

(1)新设计的公路照明测量系统利用计算机对图像进行处理,可得到较为准确的被测目标的对比

度,较传统测量方法更为科学合理。

(2)提出的测量方法可以直接得到路面亮度指标,较之传统方法精度提高约 20%。

(3)提高了测量效率,在测试现场仅需拍摄一张照片,即可得到该区域实际亮度,与传统方法相比,测试效率提高 3 倍以上。

参考文献:

References:

[1] 姚 凯,万淑云.高速公路照明设计探讨[J]. 灯与照明,2003,27(4):20-22.
YAO Kai,WAN Shu-yun. Research on highway lighting designing[J]. Light and Lighting,2003,27(4):20-22.

[2] 朱传征.公路照明测量技术[J]. 公路交通科技,2007,24(7):151-153.
ZHU Chuan-zheng. Measuring technique of highway lighting[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development,2007,24(7):151-153.

[3] 赵振民.照明工程设计手册[M]. 北京:天津科学技术出版社,1984.

[4] 李 郁.关于数码相机图像传感器的工作原理[J]. 高等函授学报:自然科学版,2002,15(5):20-23.
LI Yu. Operating principle of digital camera image sensor[J]. Journal of the Higher Orrespondence Edu-

cation; Natural Science Edition,2002,15(5):20-23.

[5] 韩 静,吴俊林.CCD 传感器工作原理及光强分布的测量[J]. 陕西师范大学学报:自然科学版,2006,34(增 2):44-45.
HAN Jing,WU Jun-lin. Principle of CCD and the measurement of luminous intensity distribution[J]. Journal of Shaanxi Normal University; Natural Science Edition,2006,34(S2):44-45.

[6] Colombo C,Bimbo A D. Interacting through eyes [J]. Robotics and Autonomous Systems,1997,19:359-368.

[7] 郭 涛,陈 伟,严新平,等.单片式 CCD 彩色摄像机颜色处理原理与实现[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2007,31(3):488-490.
GUO Tao,CHEN Wei,YAN Xin-ping,et al. Research on colorful camera image processing with one CCD chip[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering,2007,31(3):488-490.

[8] 赵忠杰.高等级公路隧道照明工程设计与研究[J]. 西安公路交通大学学报,1999,19(2):55-57.
ZHAO Zhong-jie. Illuminating engineering design for highway tunnel[J]. Journal of Xi'an Highway University,1999,19(2):55-57.

[9] 章毓晋.图像工程(上)[M]. 北京:清华大学出版社,1999.



(上接第 32 页)

[4] Poston T,Stewart I. Catastrophe theory and its application[M]. London: Pitman,1978.

[5] Aerts D,Czachor M,Gabora L,et al. Quantum morphogenesis;a variation on Thom's catastrophe theory [J]. Physical Review E,2003,67(5):1-13.

[6] Britol,Fiolhais M,Paixaoj. Cylinder on an incline as a fold catastrophe system [J]. European Journal of Physical,2003,24(2):115-123.

[7] Anthony N K. Dynamic buckling of simple two-bar frames using catastrophe theory [J]. International Journal of Nonlinear Mechanics,2002,37:1249-1259.

[8] 左宇军,李夕兵,马春德,等.动静组合载荷作用下岩石失稳破坏的突变理论模型与试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(5):741-746.
ZUO Yu-jun,LI Xi-bing,MA Chun-de,et al. Catastrophic model and testing study on failure of static loading rock system under dynamic loading[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2005,24(5):741-746.

[9] 罗红明,唐辉明,胡 斌,等.基于突变理论的反倾层状岩石边坡稳定性研究[J]. 中国农村水利水电,2007(10):58-60.
LUO Hong-ming,TANG Hui-ming,HU Bin,et al.

Study on the stability of the counter-tilt stratified rock slope based on catastrophic theory[J]. China Rural Water and Hydropower,2007(10):58-60.

[10] 龙 辉,秦四清,万志清.降雨触发滑坡的尖点突变模型[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(4):502-508.
LONG Hui,QIN Si-qing,WAN Zhi-qing. Catastrophe analysis of rainfall-induced landslides [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2002,21(4):502-508.

[11] 赵志锋,徐卫亚.基于突变理论的边坡安全性综合评价[J]. 岩石力学与工程学报,2007,26(增 1):2707-2712.
ZHAO Zhi-feng,XU Wei-ya. Comprehensive assessment of slope safety and stability based on catastrophe theory[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2007,26(S1):2707-2712.

[12] 梁桂兰,徐卫亚,何育智,等.突变级数法在边坡稳定综合评判中的应用[J]. 岩土力学,2008,29(7):1895-1899.
LIANG Gui-lan,XU Wei-ya,HE Yu-zhi,et al. Application of catastrophe progression method to comprehensive evaluation of slope stability[J]. Rock and Soil Mechanics,2008,29(7):1895-1899.