

doi: 10.3788/gzxb20144305.0504003

一种改善直耦增强数码相机静态成像时间 响应特性的方法

王雪梅¹, 曹峰梅¹, 崔志刚²

(1 北京理工大学 光电学院 光电成像技术与系统教育部国家重点实验室, 北京 100081)

(2 北京利云技术开发公司, 北京 100191)

摘 要:理论上分析了 CIDC1816 型直耦增强数码相机在采集静态图像过程中像增强器阴极电压衰减时间对电子光学系统横向位移的影响. 实验证明了阴极电压衰减时间会对荧光屏亮度衰减时间产生影响. 提出了利用电子开关的高速响应特性来减小阴极电压衰减时间, 以改善该类型相机时间响应特性的方法. 研究表明, 当外界光照条件大于 10^{-4} lx 时, 阴极电压衰减时间由 80~130 ms 减小到 50~60 ns, 电子光学系统的横向位移受阴极电压衰减特性的影响减小, 荧光屏亮度衰减时间由 12~26 ms 减小到了 3~4 ms. 研究结果证明了该方法能够有效地减小像增强器阴极电压衰减时间和荧光屏亮度衰减时间, 为提高该类型相机静态成像质量提供参考.

关键词:微光夜视; 像增强器直耦; 像增强器; 阴极电压; 衰减时间; 电子开关

中图分类号: TN223

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2014)05-0504003-5

Improvement of Time Response Characteristics of Direct Coupling-enhanced Digital Camera Static Imaging

WANG Xue-mei¹, CAO Feng-mei¹, CUI Zhi-gang²

(1 Key Laboratory of Photoelectronic Imaging Technology and System, Department of Optic Engineering,
Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

(2 Beijing Liyun Technology, Beijing 100091, China)

Abstract: When CIDC1816 direct coupling-enhanced digital camera was collecting still images, the effects of image intensifier cathode voltage decay time on the electron-optical systems were analyzed in theory, and it was proved that cathode voltage decay time also had impact on screen brightness decay time. A method was proposed using the high-speed response characteristics of electronic switches to reduce cathode voltage decay time and improve this kind of digital camera time response characteristics. Using this method during the period of collecting still images, the results show that image intensifier cathode voltage decay time was reduced from 80~130 ms to 50~60 ns, the impact on the electron-optical systems by cathode voltage decay time was reduced, and the screen brightness decay time was reduced from 12~26 ms to 3~4 ms, when the outside light conditions was greater than 10^{-4} lx. The results prove that this method can effectively reduce the image intensifier cathode voltage decay time and screen brightness decay time and be used as reference scheme for improving this kind of camera still-picture quality.

Key words: Low light level night vision; Image intensifier direct coupling; Image intensifier; Cathode voltage; Attenuation characteristics; Electronic switch

OCIS Codes: 040.3780; 040.1490; 040.5160

基金项目: 教育部国家重点实验室基金(No. 2010OEIF01)资助

第一作者: 王雪梅(1989-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为微光、红外与紫外成像技术. Email: 809986395@qq.com

导师(通讯作者): 曹峰梅(1970-), 女, 副教授, 博士, 主要研究方向为光电成像、光电检测. Email: liuba@bit.edu.cn

收稿日期: 2013-08-27; 录用日期: 2013-11-08

<http://www.photon.ac.cn>

0 引言

CIDC1816 (Compact Intensify Digital Camera With 18mm cathode diameter and 1/1.6" CMOS, CIDC1816) 是北京利云技术开发公司生产的一款直耦增强数码相机, CIDC1816 型直耦增强数码相机采用先进的光纤耦合技术将数码相机和像增强器集成为一体, 形成了新一代的低照度数字化高性能夜视设备. 该设备结构紧凑、灵敏度高、成像清晰, 适合夜间微弱光目标探测行动^[1]. 微光像增强器是直耦增强数码相机的核心器件^[2-3], 能把微弱的光学图像转换为清晰可见的光学图像. 像增强器同时又兼做相机机械快门的的功能, 通过控制像增强器电源从而实现对曝光时间的控制.

微光像增强器的工作特性直接影响该型相机整个系统的成像特性. 目前, 国内外对像增强器的高压电源、光阴极、微通道板和荧光屏等主要部件、管体, 开展了理论、技术及产品制造工艺上的研究^[4-10], 不断提高像增强器的性能指标. 但未对 CIDC1816 型直耦增强数码相机静态成像中像增强器电源电压的衰减特性对性能的影响进行分析.

本文从应用的角度出发, 分析了国内 CIDC1816 型直耦增强数码相机静态成像中, 像增强器的阴极电压衰减特性对其电子光学系统和荧光屏亮度衰减时间的影响, 提出了利用电子开关高速响应特性的方法, 减小阴极电压的衰减时间. 并利用 MAXIM 公司生产的 MAX339 电子开关进行了实验分析.

1 CIDC1816 对像增强器的控制原理

CIDC1816 型直耦增强数码相机引入了像增强器同步控制电路, 即通过增加像增强器同步控制电路微处理器, 使像增强器的电源和相机测光系统快门控制电路同步, 如图 1.

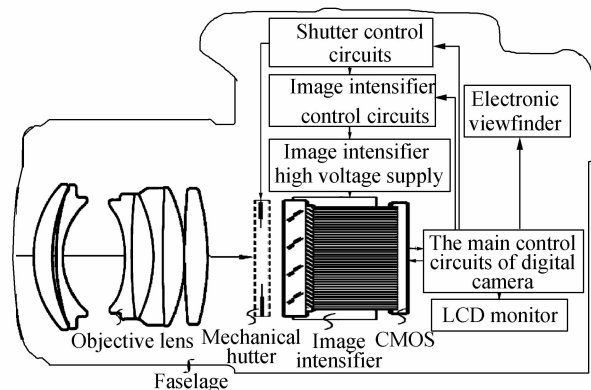


图 1 CIDC1816 型直耦增强数码相机结构

Fig. 1 The schematic of image intensifier direct coupling-enhanced digital camera

当相机实时显示时, 开通像增强器的电源, 使像增强器进入正常工作状态; 当微处理器检测到相机测光

系统快门控制电路关闭快门的脉冲信号时, 关闭像增强器的电源, 并持续 400~700ms, 相机图像传感器的静态图像信号在闭光条件下正常转移^[11], 然后再次开像增强器的电源, 使像增强器再次进入正常工作状态, 控制时序图如图 2.

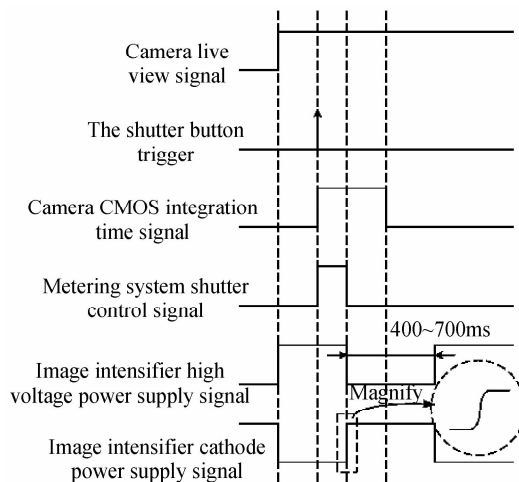


图 2 CIDC1816 型直耦增强数码相机对像增强器电源控制时序图

Fig. 2 Sequence diagram of CIDC1816 direct coupling-enhanced digital camera controlling image intensifier power

但是, 在关闭像增强器电源的过程中, 由于像增强器高压电源电路中的充放电, 导致阴极电压不能立刻降为零, 而是逐渐衰减为零, 这一衰减特性将会对像增强器电子光学系统以及荧光屏的亮度衰减产生影响.

1.1 基本概念

由于 CIDC1816 型直耦增强数码相机静态成像中对像增强器电源的控制原理与一般微光夜视系统对像增强器的控制原理不同, 因此, 本文需引入两个基本概念, 以区别于一般情况下像增强器工作模式.

阴极电压衰减时间: 该类型直耦增强数码相机采集静态图像过程中, 像增强器阴极由工作负电压的 90% 衰减到 10% 所经历的时间.

荧光屏亮度衰减时间: 该类型直耦增强数码相机采集静态图像过程中, 像增强器电源断电时刻 (像增强器阴极电压最低值转折时刻) 到荧光屏亮度衰减到最大值的 10% 时所经历的时间.

1.2 阴极电压衰减特性对电子光学系统的影响

在像增强器阴极与微通道板 (Microchannel Plate, MCP) 入射端的近贴式电子光学系统中, 横向位移 Δr 与极间电压 V_B 的关系式为^[12-13]

$$\Delta r = 2d \sin \theta \sqrt{\frac{V_0}{V_B}} \quad (1)$$

一般情况下, 微通道板入射端电压默认为零, 极间电压 V_B 即为阴极电压的绝对值, d 为系统近贴距离, θ 为电子初射角, V_0 为电子逸出阴极的等效初电位. 本

文将阴极电压衰减模型视为线性衰减,则极间电压 V_B 可以表示为

$$V_B = |V_{B0} + kt| \quad (2)$$

横向位移 Δr 表示为

$$\Delta r = 2d \sin \theta \sqrt{\frac{V_0}{|V_{B0} + kt|}} \quad (3)$$

式中 V_{B0} 为近贴电子光学系统的初始极间电压,即阴极正常工作电压的绝对值, k 为衰减因子, t 为阴极电压衰减时间. 如图 3 所示,在平面阴极前距离 d 处为微通道板入射端,其上所加加速电位为 V_B . 由式(3)可知,在阴极电压衰减过程中,阴极仍有光电子发射, V_B 逐渐减小, Δr 逐渐变大,这将导致成像系统产生离焦,使图像质量变劣.

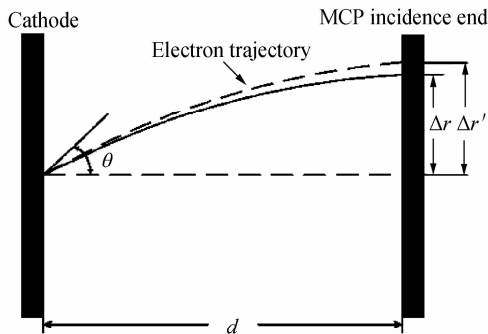


图 3 阴极与 MCP 入射端形成的近贴系统

Fig. 3 The proximity system formed by cathode and MCP incidence end

1.3 阴极电压衰减特性对荧光屏亮度的影响

在阴极电压衰减过程中,逸出阴极表面的光电子打向微通道板,倍增后打向荧光屏,导致荧光屏持续发光, CMOS 在电荷转移过程中继续感光产生电荷,并叠加在原始图像所产生的电荷上,将导致图像过曝,使

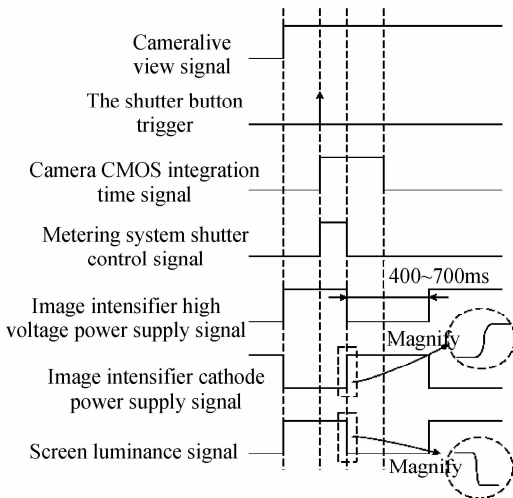


图 4 CIDC1816 型直耦增强数码相机积分时间与像增强器阴极电压、荧光屏亮度时序图

Fig. 4 Sequence diagram of CIDC1816 direct coupling-enhanced digital camera integration time, image intensifier cathode voltage, and screen brightness

图像质量变劣,如图 4 所示.若成像过程中相机产生抖动,也将导致图像模糊,图像质量变劣.

2 高速电子开关

分析可知,合理控制像增强器阴极电压衰减时间是改善像增强器整体衰减特性的关键.本文在像增强器阴极与微通道板入射端之间的电路加入电子开关,来控制像增强器阴极电压衰减时间^[14].

像增强器工作时,阴极电流为 nA 级,像增强器阴极电压为负电压,因此,要求设计的电子开关漏电流要小于 1nA,支持负电压工作,导通电阻尽量低,开关速度尽量快.

高速电子开关 MAX339^[15] 是 MAXIM 公司生产的低漏电流、导通内相对较低的四路电子开关,导通电阻 $< 400 \Omega$,漏电流 $< 20 \text{ pA}$,开关速度 $< 500 \text{ ns}$,单电源供电电压范围 $4.5 \sim 30 \text{ V}$,双电源供电电压范围从 $\pm 4.5 \text{ V}$ 到 $\pm 20 \text{ V}$.

实验中选用 MAX339 中的两个工作状态, NOB_1 与 NOB_2 作为输入端, COMB 作为输出端,使能端 EN 一直保持高电平.当控制端 A_1 、 A_0 同时为低电平时,选通 NOB_1 ,当 A_1 、 A_0 同时为高电平时,选通 NOB_2 , MAX339 的真值表如表 1.

表 1 MAX339 真值表

Table 1 MAX339 truth table

A_1	A_0	EN	ON SWITCH
0	0	1	NOB_1
1	1	1	NOB_2

将 NOB_1 与高压电源阴极电压输出端连接, NOB_2 与地连接, COMB 与像增强器阴极电压输入端连接,则该电子开关可实现以下功能:EN 一直保持高电平,当 A_1 、 A_0 同时为低电平时,像增强器阴极于高压电源阴极导通,像增强器工作;当 A_1 、 A_0 同时为高电平时,像增强器阴极电压为零,停止工作.高压电源、电子开关和像增强器电路连接如图 5.在该电路中,电子开关产生的分压为 0.08 V ,对像增强器的工作条件影响很小,满足实验要求.

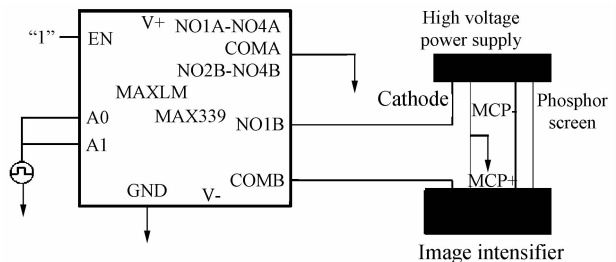


图 5 高压电源、电子开关和像增强器电路连接

Fig. 5 Circuit connection diagram of high voltage power supply, electronic switch and image intensifier

3 实验装置

以国内两个超二代微光像增强器为研究对象,在 $60 \sim 2.5 \times 10^{-4} \text{ lx}$ 范围内的外界光照条件下,分别测量了像增强器阴极加入电子开关前后阴极电压、荧光屏亮度衰减时间的变化,测量装置如图 6.

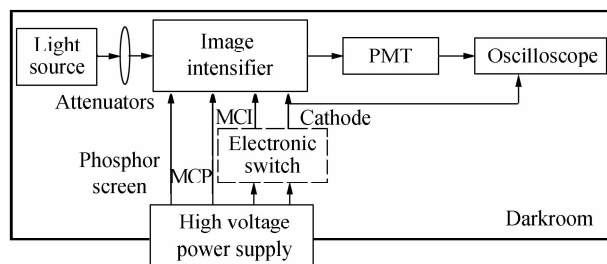


图 6 实验装置

Fig. 6 The block diagram of experimental setup

加入电子开关前,高压电源与像增强器的各连线直接相连,像增强器接收的光照度通过滤光片的变化来改变,荧光屏亮度由光电倍增管(Photomultiplier Tubes, PMT)接收,并将光信号转换成电信号,最终由示波器 CH_1 通道接收并显示.同时,示波器的另一通道 CH_2 与像增强器阴极连接,接收并显示阴极电压.当像增强器电源关闭时,根据示波器 CH_1 和 CH_2 通道记录的数据,可以得到加入电子开关前,在 $60 \sim 2.5 \times 10^{-4} \text{ lx}$ 范围内的外界光照条件下,像增强器阴极电压、荧光屏亮度的衰减时间.

加入电子开关后,电子开关位置如图 5 中虚框所示,像增强器阴极电压、荧光屏亮度衰减时间的测量方法与加入电子开关前测量方法一致.

4 结果及分析

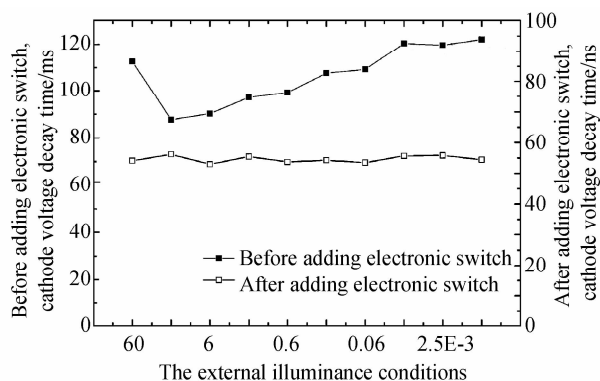
通过对国内两个超二代微光像增强器的反复测量,发现其测量结果基本一致.取每组数据的平均值作为最终结果,测量结果见图 7.

由图 7(a)可以看出,在 CIDC1816 型直耦增强数码相机在静态成像的工作模式中,当外界光照条件在 $60 \sim 2.5 \times 10^{-4} \text{ lx}$ 范围内变化时,像增强器阴极电压衰减时间达 $80 \sim 130 \text{ ms}$,其衰减时间随光照变化而变化,当外界光照逐渐减小到 10 lx 时,阴极电压衰减时间逐渐减小,当外界光照由 10 lx 逐渐减小到 $2.5 \times 10^{-4} \text{ lx}$ 时,阴极电压衰减时间逐渐增加;当加入电子开关后,像增强器阴极电压衰减时间仅为 $50 \sim 60 \text{ ns}$,并且其值随外界环境光照条件变化很小,围绕平均值周围无规则变动.

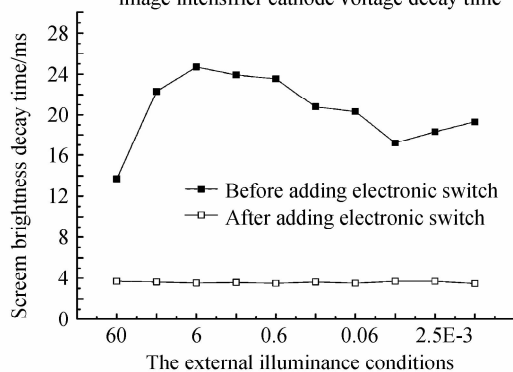
由式(3)可知,加入电子开关后,像增强器阴极电压衰减时间为加入电子开关前的衰减时间的 10^{-6} 倍,

当阴极停止工作时,电子光学系统横向位移 Δr 变化减小.

从图 7(b)可以看出,加入电子开关前,像增强器荧光屏亮度衰减时间达 $12 \sim 26 \text{ ms}$,并且随光照变化而变化,无固定变化趋势;加入电子开关后,荧光屏亮度衰减时间仅为 $3 \sim 4 \text{ ms}$,并且其值随外界环境光照条件变化也不是很大,围绕平均值周围无规则变动.



(a) Before and after using the electronic switches, image intensifier cathode voltage decay time



(b) Before and after using the electronic switches, image intensifier phosphor screen decay time

图 7 加入电子开关前后,像增强器阴极电压、荧光屏亮度衰减时间测量结果

Fig. 7 Before and after adding electronic switch, decay time measurements of image intensifier cathode voltage, screen brightness

加入电子开关后,阴极电压衰减时间减小,在衰减过程中,逸出阴极表面的光电子个数减少,荧光屏持续发光时间变短,CMOS 在电荷转移过程中继续感光产生电荷数减少,可提升成像质量.图 8 中放大区域实线表示的是加入电子开关前的信号边沿,虚线表示的是加入电子开关后的信号边沿.

实验数据表明:在像增强器阴极与电源之间加入高速电子开关,可以减少阴极电压衰减时间的现象及衰减过程中阴极发射的光电流以及荧光屏亮度的衰减时间,并使阴极电压衰减时间与荧光屏亮度衰减时间趋于稳定,受外界光照条件影响减小.

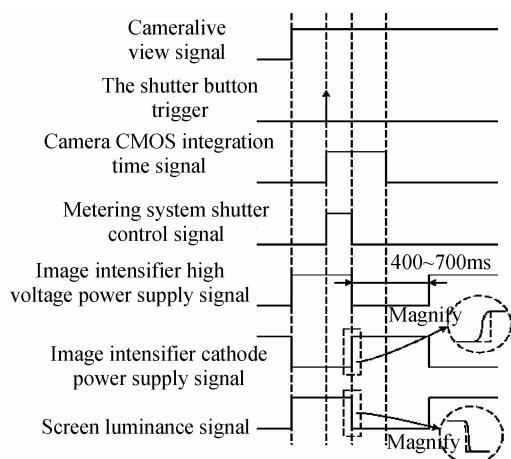


图8 加入电子开关前后,像增强器阴极电压、荧光屏亮度衰减信号对比时序图

Fig. 8 Before and after adding electronic switch, sequence comparison diagram of image intensifier cathode voltage and screen brightness decay signals

5 结论

提出一种改善 CIDC1816 型直耦增强数码相机静态成像过程的时间响应特性方法,该方法利用电子开关的高速响应特性,在微光像增强器阴极与其电源阴极连线之间加入高速电子开关对阴极电压衰减时间加以控制,使阴极电压衰减时间从 80~130 ms 减小到了 50~60 ns,使荧光屏亮度衰减时间从 12~26 ms 减小到 3~4 ms.

参考文献

[1] 崔志刚. 像管直耦增强数码相机: 中国, 201120302203. 8[P]. 2012-08-22.

[2] GUO Hui, XIANG Shi-ming, TIAN Min-qiang. A review of the development of low-light night vision technology [J]. *Infrared Technology*, 2013, **35**(2): 63-68.
郭晖, 向世明, 田民强. 微光夜视技术发展动态评述[J]. 红外技术, 2013, **35**(2): 63-68.

[3] ZOU Yong-xing, ZHOU Ren-kui, YANG Song-ling. Study of night vision instrument at low light level based on gen II+ image intensifier[J]. *Infrared Technology*, 2005, **27**(6): 446-448.
邹永星, 周仁魁, 杨松龄. 微光夜视技术发展动态评述[J]. 红外技术, 2005, **27**(6): 446-448.

[4] LI Xiao-feng. Photoemission process study of multi-alkali photocathode in the super second generation image intensifier

[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2013, **42**(1): 7-12.

李晓峰. 超二代像增强器多碱阴极光电发射特性研究[J]. 光子学报, 2013, **42**(1): 7-12.

[5] LI Xiao-feng, YANG Wen-bo, WANG Jun, et al. Photoemission mechanism of multi-alkali photocathode by photoluminescence[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(12): 1435-1440.
李晓峰, 杨文波, 王俊, 等. 用光致荧光研究多碱阴极光电发射机理[J]. 光子学报, 2012, **41**(12): 1435-1440.

[6] CUI Dong-xu, ZHENG Shao-cheng, QIU Ya-feng, et al. Effect of electron rinse on output snr and electron gain of the microchannel plates[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(8): 962-966.
崔东旭, 郑少成, 邱亚峰, 等. 电子清刷对微通道板增益及输出信噪比的影响[J]. 光子学报, 2012, **41**(8): 962-966.

[7] YIN Hao, LIU Guang-rong, JIN Wei-qi, et al. Analysis of the resolving power of ICCD system [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **39**(S1): 96-100.
阴浩, 刘广荣, 金伟其等. 像增强型 CCD 成像系统的分辨力分析 [J]. 光子学报, 2012, **39**(S1): 96-100.

[8] BAI Xiao-hong, LIU Jin-yuan, BAI Yong-lin, et al. Study of the phosphor screen with the transparent conducting film[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(2): 176-179.
白晓红, 刘进元, 白永林等. 高效透明导电膜荧光屏的研究 [J]. 光子学报, 2006, **35**(2): 176-179.

[9] WANG Ji-hui, JIN Wei-qi, WANG Xia. General performance evaluation for direct viewing low light level imaging systems based on minimum resolvable contrast [J]. *Acta Armamentarii*, 2010, **31**(2): 184-190.
王吉晖, 金伟其, 王霞. 基于最小可分辨对比度的直视微光夜视系统综合性能评价[J]. 兵工学报, 2010, **31**(2): 184-190.

[10] BAI Xiao-feng, SU Jun-hong, SHI Feng, et al. Illumination effect on MTF of 3rd generation low-light-level image intensifier[J]. *Journal of Applied Optics*, 2010, **31**(2): 297-300.
拜晓峰, 苏俊宏, 石峰等. 照度对测量三代微光像增强器 MTF 的影响分析[J]. 应用光学, 2010, **31**(2): 297-300.

[11] 崔志刚. 具有微光成像或紫外成像功能的数码相机及其制造方法: 中国, 200810171998[P]. 2009-03-11.

[12] 白廷柱, 金伟其. 光电成像原理与技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006.

[13] 邹异松, 刘玉凤, 白廷柱. 光电成像原理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997.

[14] 康华光. 电子技术基础数字部分[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.

[15] Maxim Integrated Products. MAX338-MAX339 Datasheets [EB/OL]. (2012-07-03) [2013-07-11]. <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX338-MAX339.pdf>.