

一种基于图像处理技术的视距估算方法

李升才¹ 周广恩¹ 赵宝升²

(1 北京特种车辆研究所, 北京 100072)

(2 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

摘 要 围绕视距估算, 基于微光下的视觉探测方程和图像阈值对比度, 利用图像处理技术和最小二乘数据拟合方法, 提出了一种比较客观的夜视系统野外视距估算方法. 为了验证该方法的有效性, 针对六种夜视系统, 分别进行了野外比较试验. 试验结果表明: 该方法有效地提高了微光夜视仪的视距检测速度, 具有较高的估算准确度和很好的实用性. 因此, 该方法对于夜视系统性能分析具有科学的指导意义.

关键词 视距估算; 夜视系统; 图像处理; 图像阈值对比度; CCD 摄像机; 调制传递函数

中图分类号 TN223 **文献标识码** A

0 引言

视距是夜视系统的一个重要综合指标, 夜视系统性能的好坏最终都将体现在观察距离上, 视距的大小直接决定着夜视系统的总体性能. 因此, 怎样客观、有效地评价系统的视距是生产者 and 使用者共同关心的问题^[1,2]. 传统的夜视系统视距估算方法一般有二种: 第一种方法是根据夜视系统的已知性能参量、像管的分辨力曲线图、大气条件和约翰逊准则等知识, 利用理论分析和计算机模拟的方法估算夜视系统能够达到的理论视距; 第二种方法是, 在一定的白天自然光照明条件下, 观察者恰好能分辨出(50%的概率)特定目标时的距离来确定对应条件下实际系统所能达到的实际视距. 前一种方法比较适用于夜视系统的设计阶段, 也是目前学术界讨论比较多的方法; 后一种方法属于主观测量, 在样本数充分的情况下测量结果更具说服力, 是野外的定型试验常用的方法. 但是, 由于主观测量总是需要大量的观察者参与, 给测试带来一定的不便.

本文在研制开发夜视系统视距估算系统的基础上, 利用图像处理技术^[3]、数据拟合和微光下的视觉探测方程等知识, 提出了一种比较客观的夜视系统视距估算方法, 该方法对于夜视系统性能分析、技术指标的确定、对夜视系统性能的改进、提高和发展都具有科学的指导意义.

1 视距估算系统

新近研制的视距估算系统包括: 被测微光夜视仪、CCD 摄像机、微光电视分系统、激光测距系统、

云台随动系统和计算机处理系统 6 个部分. 被测微光夜视仪把距离为 R_i 的目标(如装甲车辆)成像在夜视仪的荧光屏上, 然后由 CCD 摄像机把图像采集下来送给微光电视分系统和计算机处理系统; 同时激光测距系统把测得的目标距离送给计算机处理系统. 计算机根据采集一系列由近及远的图像信息分析出夜视系统的视距, 从而完成对夜视系统的视距估算.

2 视距估算理论依据

2.1 人眼视觉理想探测方程

根据弗里斯(H. L. DeVrice)^[4]、罗斯(A. Rose)^[5]和夏根(P schagn)^[6]提出的微光下的视觉探测理论, 只有当图像的信噪比大于阈值信噪比时, 信号才能被探测到. 根据夏根方程, 对任意系统来说, 当阈值信噪比确定后, 有

$$L_m \alpha^2 c_T^2 = K_c \quad (1)$$

式中: L_m 为目标与背景的平均亮度 $(L_1 + L_2)/2$, L_1 和 L_2 分别为目标与背景的亮度; α 为物体元对系统的张角; c_T 为对比度 $(L_1 - L_2)/(L_1 + L_2)$; K_c 是一个与探测器光阴极积分灵敏度、积分时间、人眼视觉阈值信噪比、物镜孔径、物镜透射比有关的常量.

通常, 夜视仪器的接收器是人眼. 人眼的阈值对比度是指在一定的亮度和视角下, 人眼刚好能分辨出目标和背景的临界对比度. 文献[7]给出了人眼阈值对比度与背景亮度、视角关系. 但由于式(1)在推导时将条件一再简化, 使其未能反映系统调制传递函数、系统放大率、以及像管亮度增益等许多因素的影响, 导致阈值常量 K_c 在用于实际工程计算时存在较大偏差. 因此, 仅仅根据夏根方程来确定微光夜视系统的探测距离有一定的局限性.

2.2 图像阈值对比度的确定

由于本文的视距估算系统的终端接收器是计算机处理系统,其接收的信号是电子图像.显然,人眼的阈值对比度特性已不能满足需求.

根据视觉探测理论,为了实现视距估算的需要,首先需确定图像阈值对比度.研究表明^[8],图像阈值对比度是一个与探测器信号转换、光学系统和系统噪声有关的常量,从理认上来确定比较困难.实际操作过程中,以草地为背景、装甲车辆为目标,本文对基于两个不同像管的微光夜视仪的图像阈值对比度 C_{th} 进行了测量.例如,以 20 人为样本,测得物镜 (D_0, τ_0) + 某一型号像管的被测微光夜视仪图像阈值对比度 C_{T-0} 约为 6.41%. 对于特定物镜 (D_1, τ_1) + 同一型号像管的被测微光夜视仪,根据夏根方程,其图像阈值对比度 C_{T-1} 为

$$C_{T-1} = \frac{D_0}{D_1} \sqrt{\frac{\tau_0}{\tau_1}} C_{T-0} \quad (2)$$

2.3 图像阈值对比度的计算

根据微光下视觉探测理论和光度学理论,系统视距和图像对比度的关系可表示为

$$R^2 \propto C \quad (3)$$

式中: R 为目标距离, C 为目标背景对比度.

基于视距估算系统,目标距离由激光测距系统测得并直接装定给计算机处理系统.而目标背景对比度的获得相对比较复杂,为此,定义:目标背景对比度 C 为图像中目标与背景的灰度之比,即

$$C = \left| \frac{\sum_{x_1}^{x_2} \sum_{y_1}^{y_2} g_t(x, y) - \sum_{x_3}^{x_4} \sum_{y_3}^{y_4} g_b(x, y)}{\sum_0^{x_{max}, y_{max}} g(x, y)} \right| \quad (4)$$

式中: $g_t(x, y)$ 为目标在图像中点 (x, y) 处灰度值, $g_b(x, y)$ 为背景在图像中点 (x, y) 处灰度值.那么,如何从原始图像中获得 $g_t(x, y)$ 、 $g_b(x, y)$ 是本文的关键问题.

本文采用图像处理技术从原始图像中提取出目标和背景,从而计算目标背景对比度.实际工作过程中,由 CCD 摄像机采集到的图像信号是相当弱的.为了从原始图像中提取出目标和背景,本文采用的图像处理技术为:首先对图像进行了灰度拉伸,用中值滤波和高斯滤波对图像去噪,用阈值变换使图像二值化;然后用二值化的图像与原图像进行“点乘”操作,即可从原始图像中提取出目标 $g_t(x, y)$;用二值化的图像作“非”操作,再与原图像作“点乘”操作,即可从原始图像中提取出背景 $g_b(x, y)$.最后,根据式(4),用提取到的目标和背景灰度值计算目标背景对比度 C .整个过程如图 1.

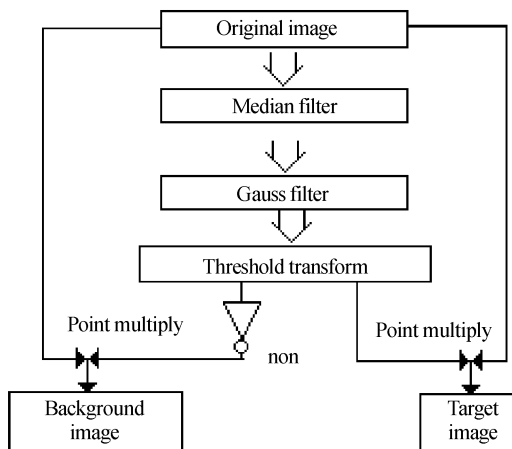


图 1 目标和背景提取流程
Fig. 1 Flow of target and background pick-up

2.4 系统视距估算的实现

根据式(3)可假定目标背景图像对比度与视距的关系为

$$C = a_0 + a_1 R + a_2 R^2 \quad (5)$$

根据实际的试验图像(图像个数不少于 3 幅),用最小二乘法拟合方程(5).

对于具体目标,基于野外试验,本文实际采集了大量不同距离的目标图像,利用最小二乘法拟合目标背景图像对比度相对于目标距离变化的曲线.该曲线建立了被测微光夜视仪的图像对比度和目标距离的关系,为视距估算系统实现视距估算提供了技术支持.综上所述,视距估算系统计算流程如图 2.

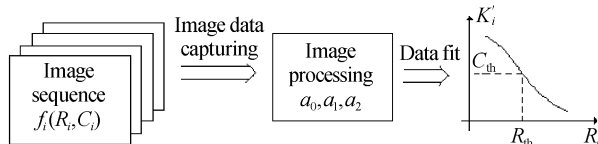


图 2 视距估算系统计算流程图
Fig. 2 Calculation flow of view range evaluation system

3 视距估算实例

图 3 是对 YS02 实际系统的采样图像序列作图

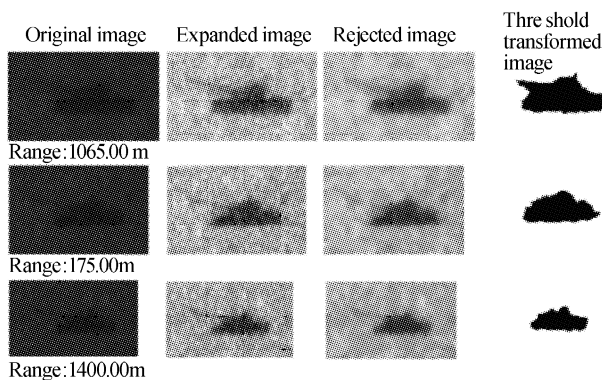


图 3 图像处理实例
Fig. 3 Example of image processing

像处理的实际结果. 其中原始图像是 YS02 夜视系统野外视距试验时采样的图像序列, 对原始图像作灰度拉伸、滤波和阈值变换后所得图像处理的实际结果为拉伸后图像、去噪后图像和阈值变换后图像.

用目标背景对比度与目标距离用最小二乘法作数据拟合, 得到图 4 目标背景灰度对比度和目标实际距离拟合曲线. 利用拟合曲线和被测微光夜视仪图像阈值对比度 C_{th} 对 YS02 夜视系统视距估算结果为: 1058 m. 在同样夜条光条件下, 本文以 20 人为观察者, 对 YS02 夜视系统进行视距实测, 试验结果为: 对应 50% 分辨概率时装甲目标距离为 1100 m. 则视距估算绝对误差为 -42 m; 相对误差为 3.8%. 因此, 估算结果与试验结果比较吻合.

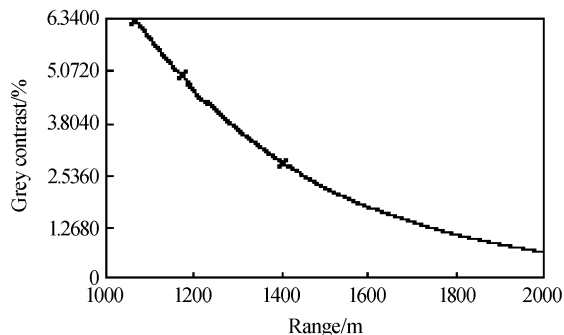


图 4 目标背景对比度-目标距离拟合曲线图

Fig. 4 Fitting curve of target-background contrast and range

为了进一步验证本文提出的视距估算方法的有效性, 分别对 6 种不同夜视系统的视距进行了估算. 表 1 给出了 6 种系统视距估算结果与试验结果.

表 1 6 种实际系统的视距估算结果与试验结果的比较

被测夜视仪	人眼观察距离/m	视距估算结果/m	绝对误差/m	相对误差/%
YS00	1777	1832	55	3.1
YS01	1975	2022	47	2.3
YS02	1100	1058	-42	3.8
YS03	1139	1129	-10	0.8
YS04	1855	1828	-27	1.5
YS05	942	906	-36	3.8

从实际视距估算的绝对误差和相对误差结果来看, 该方法所得视距估算结果的绝对误差和相对误差较小.

4 结论

本文通过图像处理技术、光度学理论和最小二乘法拟合目标距离与图像对比度之间的关系曲线, 利用图像阈值对比度来估算系统可能达到的视距. 文中提出的方法不仅有效地提高了微光夜视仪的视距检测速度, 而且大大地减少了检测过程对样本数目的依赖性, 成功地解决了微光夜视仪视距估算客观检测的难题. 试验结果表明: 该方法适用于野外条件下夜视系统的视距估算, 具有较高的准确度和很好的实用性.

参考文献

- 孙传东, 陈良益, 高立民等. 水下微光高速光电成像系统作用距离的研究. 光子学报, 2000, **29**(2): 185~190
Sun C D, Chen L Y, Gao L M, *Acta Photonica Sinica*, 2000, **29**(2): 185~190
- 高稚允, 高岳. 微光夜视仪系统的视距估算. 光学技术, 1995(Z): 46~48
Gao Z Y, Gao Y. *Optical Technology*, 1995(Z): 46~48
- 李勇量, 倪国强, 陈小梅. 基于尺度相关性的微光图像降

噪算法及其硬件实现. 光子学报, 2003, **32**(6): 749~752
Li Y L, Ni G Q, Chen X M. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(6): 749~752

- Devrice H L. The quantum character of light and its bearing upon the threshold of vision, the differential sensitivity, and visual acuity of the eye. *Physica*, 1954, **44**(7): 553~564
- Rose A. The sensitivity performance of the human eye on an absolute scale. *JOSA*, 1948, **38**(5): 196~208
- 张敬贤, 李玉丹, 金伟其. 微光与红外成像技术. 北京: 北京理工大学出版社, 1995. 18~19
Zhang J X, Li Y D, Jin W Q. *Imaging Technology of Low-Light-Level and Infrared*. Beijing: Beijing Institute Technology Press, 1995. 18~19
- 周立伟, 刘玉岩. 目标探测与识别. 北京: 北京理工大学出版社, 2002. 76~77
Zhou L W, Liu Y Y. *Target Detection and Recognition*. Beijing: Beijing Institute Technology Press, 2002. 76~77
- 邹异松. 电真空成像器件及理论分析. 北京: 国防工业出版社, 1989. 234~251
Zou Y S. *Electricity Vacuum Imaging Devices and its theory Analysis*. Beijing: National Defense Industry Press, 1989. 234~251

A Method of View Range Evaluation Based on Image Processing Technology

Li Shengcai¹, Zhou Guang'en¹, Zhao Baosheng²

¹ Beijing Special Vehicle Institute, Beijing 100072

² Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS, Xi'an 710068

Received date: 2004-12-07

Abstract View range is one of the main integrated performance indexes for night view systems, and is also the important performance index needed to give when night view systems leave factory. Finally the performance of night view systems express as view range. So the size of view range directly determines integrated performance of night view systems. Therefore, how to evaluate view range of systems objectively and effectively is the main problem that both producers and users concern. Based on low night level view detection function and image threshold contrast, a new objective view range evaluation method of night view system is proposed in this article with image processing technology, least-square polynomial fitting, vision sense formula under glimmer light circumstance and other knowledge. For validating the method, six groups experimentation with field situation of six kinds' night view system have been finished respectively. The results of experiment indicates that the new method has effectively improved the speed of view range measurement of night view system with good precision and practicability. Therefore, the method has scientific guidance meanings to analyze low night level night view system performance, make technique index sure, improve and develop the night view system performance.

Keywords View range evaluation; Night view system; Image processing; Image threshold contrast; CCD camera; MTF(modulation transfer function)

Li Shengcai male, Ph. D. His research interests include low-light-level and infrared imaging technology, image processing technology, photo-electric test technology, photo-electric imaging system performance and fire control system demonstration, etc.

