

目标捕获能力检测装置静动态目标源对比度的标定

黄欣^{1,2} 沈湘衡¹ 叶露¹ 赵玉艳³ 王素华⁴

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 中国科学院大学, 北京 100049; ³ 中国白城兵器实验中心, 吉林 白城 137001
⁴ 长春职业技术学院, 吉林 长春 130033

摘要 为了实现低对比度目标捕获能力检测装置静动态目标源对比度的标定,搭建了目标源对比度测量系统,对图像对比度和光学对比度的对应关系进行研究。对静态目标源图像对比度进行了分析和标定,采用最小二乘法得出标定的拟合曲线。借鉴国军标细则和静态标定方法,针对动态目标源特有的“形变效应”和“灰度渐变效应”而造成目标灰度缺少统一准确的提取方法,采用判别分析的数理统计方法对提取框尺寸进行归类分析,借助散点图将提取框尺寸和灰度分布的关系进行可视化处理,明确了提取框的合理尺寸,排除了效应对标定的不良影响。绘制出不同速率条件下动态目标源对比度标定曲线。实验结果表明,提取框选择的准确率在 94% 以上,静动态标定方程评价参数 R^2 和 R_{adj}^2 均优于 99%, 标定精度 S 均优于 0.006。满足了对检验装置中目标源对比度标定的需要。

关键词 测量; 可调目标源; 对比度标定; 数理分析; 判别分析; 曲线拟合

中图分类号 TB96; TH89 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS201434.1123001

Static and Dynamic Contrast Calibration of Target Source for Target Acquisition Capability Detecting Equipment

Huang Xin^{1,2} Shen Xiangheng¹ Ye Lu¹ Zhao Yuyan³ Wang Suhua⁴

¹ Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130033, China
² University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
³ China Baicheng Ordnance Test Center, Baicheng, Jilin 137001, China
⁴ Changchun Vocational Institute of Technology, Changchun, Jilin 130033, China

Abstract In order to realize the static and dynamic contrast calibration of the adjustable contrast optical target device for measuring the low-contrast target capture capability of photoelectric tracker, a target sources contrast measurement system is established for researching the relationship between image contrast and optical contrast. The static target sources image contrast is analyzed and the static calibration curve based on the least squares method is obtained. The military standard rules and the static calibration method, according to the dynamic target sources unique “deformation effect” and “gray gradual change effect”, which leads to the problem of lacking uniform and accurate target gray extraction method; discriminant analysis based on mathematical statistical methods is used to classify target gray extraction frame dimensions by different gray values. Then, the scatterplots are applied to visualize the relationship between the extraction frame size and gray distribution, which makes the extraction frame size clear and exclude harmful effects from the above two effects on calibration. Dynamic contrast calibration curves are mapped out under different rates conditions. Experimental results indicate that the accuracy of extraction frame selected is more than 94% and the evaluation parameters of the static and dynamic calibration fitting equations: R^2

收稿日期: 2014-05-20; 收到修改稿日期: 2014-06-19

基金项目: 国家 863 计划(2012AA040503)、国家自然科学基金重点基金(11034007)

作者简介: 黄欣(1983—),男,博士研究生,主要从事光学设备检测技术方面的研究。

E-mail: huangx_1234@sina.com

导师简介: 沈湘衡(1952—),男,研究员,博士生导师,主要从事光电测量设备精密检测技术和方法方面的研究。

E-mail: shenxiangheng@163.com.cn

and R_{adj}^2 are both better than 99%, calibration precision S is better than 0.006, which demonstrates that the method is feasible and can satisfy contrast calibration demands in the equipment.

Key words measurement; adjustable contrast; contrast calibration; mathematical analysis; discriminant analysis; curve fitting

OCIS codes 230.6080; 100.2960; 120.4800

1 引 言

跟踪与捕获能力是光电跟踪设备重要的评价指标,体现设备的总体性能。如国军标 GJB1830—93 中给出了与跟踪性能有关的六项指标的定义和要求^[1],其中最小跟踪目标、最小跟踪对比度和跟踪速度是衡量设备捕获能力基础指标,因为定义一个待捕获具体目标源均离不开这三个物理量,国军标中其他三项指标,目标捕获时间、目标捕获概率和跟踪误差也是在上述基础指标具体设定下测试的。所以建立稳定可靠的待捕获目标源是测试和验证光电跟踪设备捕获与识别能力的关键环节。目前,有关待捕获目标源的建立,国内通行的做法是设置一个信噪比已知的模拟电信号目标源,赋予一定的灰度对比度、目标大小及速度,通过被检设备能否捕获此信号来评价设备的跟踪性能^[1]。该方法实现简单,操作方便;但是没有将光学系统、电荷耦合器件(CCD)噪声等实际影响因素考虑在内^[2-5],缺少一定的真实性和客观性。

针对上述状况,建立目标源的一种新做法是搭建可调对比度光学无穷远目标源装置,提供对比度可度量的光学目标源。例如美国的 Optical 公司和哈尔滨工业大学相继推出了可调目标对比度装置。该装置的特点是:采用两个首尾连接的积分球分别模拟天空均匀背景和背景,背景积分球在前,目标积分球在后,通过调节两个积分球的辐亮度来实现实际目标源对比度值的变换,改变目标积分球出口处目标板孔径的大小可实现目标源大小的变换,被测跟踪设备本身的伺服系统可以提供速度变换。其中目标大小和跟踪速度相对容易实现测量及标定,可是对比度就要视具体情况分别讨论了。静态目标对比度标定相对简单,但是动态目标对比度标定就相对复杂,尤其在暗背景条件下,目标会出现拖尾现象,引起图像变形和图像灰度分布的变化,造成图像对比度的下降^[2]。因为在暗背景条件下 CCD 需要一定的曝光时间^[3],同时考虑到光学目标具备一定的速度,造成单帧图像成像时间较长,目标明显移动了一段距离,引起拖尾现象,并且速度越快,拖尾越严重,对动态目标源对比度的标定造成了不利影响。

本文针对目标源对比度标定问题开展相关研

究,搭建了光学目标源对比度检测环境,其主要由可调对比度目标源装置及高速摄像机组成。在此检验环境下,采用判别分析的数理统计方法,对目标源对比度进行标定,给出相应的拟合方程,目的是建立光学目标对比度和图像目标对比度的对应关系,通过对光学目标对比度的准确标定,为被检设备提供基准目标,使检测装置可以用于光电跟踪设备跟踪与捕获能力的检验。

2 静动态对比度标定环境的建立

2.1 光学目标源对比度检测环境

光电跟踪设备图像捕捉的算法,通常采用重心法和相关法。重心法适用于均匀背景单一目标,如空中火箭尾焰和夜空恒星的捕捉;相关法适用于复杂背景或多目标的情况,如在地面物体干扰的背景对低空飞机的捕捉。考虑到国军标中相关要求及日常检测和验收细则,实验主要研究均匀背景单一目标的对比度标定。

图 1 为光学目标源对比度检测环境示意图^[6]。它主要由背景积分球、目标积分球、目标板和精密转台组成。设置两积分球光阑可实现目标对比度连续可调,目标板可提供不同尺寸规格的目标大小,精密转台可为待检光电设备与目标之间提供相对速度,这样在检验环境中为光学目标源提供了三个基础物理量。

其中光学目标对比度测量仪器采用的是美国 Photo Research 公司生产的 PR735 光谱辐亮度计,

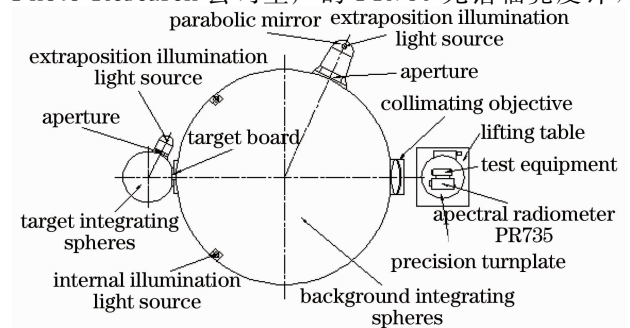


图 1 光学目标源对比度检验环境示意图
Fig. 1 Sketch map of testing environment on optical target contrast

分别对目标和背景积分球辐亮度值进行测量,可建立准确的光学目标对比度,精密转台采用光电编码器来保证角速度的稳定输出,目标板可提供不同尺寸规格的目标。考虑到光电跟踪设备主光学系统采用的是高速摄像机,实验中图像提取设备选用加拿大 Mega Speed 公司生产的 MS50K,特点是整幅图像灰度稳定,符合本测量系统的采样要求。

2.2 图像目标对比度和光学目标对比度

目前,依据国军标 GJB1830-93 检验光电设备捕获能力的细则^[1],其中对比度的定义是基于图像的灰度值计算的,即

$$C_T = \frac{V_T - V_B}{V_W - V_{BL}}, \quad (1)$$

式中 C_T 为目标与背景之间的对比度, V_T 为目标灰度值, V_B 为背景灰度值, $V_W - V_{BL}$ 为 CCD 的灰度等级,是一个常数。本实验中获取的图像为 8 bit 位图, $V_W - V_{BL} = 2^8 = 255$ 。

目标捕获能力检测装置所定义的光学对比度为

$$C = \frac{N_T - N_B}{N_B}, \quad (2)$$

式中 C 为物方目标源对比度, N_T 为目标辐亮度值, N_B 为背景辐亮度值,在测试过程中通常保持不变。

比对(1)式和(2)式可知,两种对比度定义截然不同,各自具有重要意义。在光电跟踪设备图像处理、捕获算法编撰等方面^[7-10], C_T (图像对比度)不可或缺,在整机设备捕获性能评价方面, C (光学对比度)更具全面和客观性。因此,将两者的关系建立起数学模型,统一起来评价设备捕获性能更加合理。

3 静动态目标源对比度数理分析及标定

3.1 静态对比度的标定

检测设备捕获性能多数都是在低对比度条件下进行的,借鉴以往工作经验^[11-13]及相关测试要求,具体检测数据如表 1 所示,其中 N_T (背景辐亮度值)为测试当天太阳最高点天空背景辐亮度。

表 1 静态对比度标定数据

Table 1 Static contrast calibration data

Target radiance / [W/(sr·m ⁻²)]	Background radiance / [W/(sr·m ⁻²)]	Object contrast /%	Target gray	Background gray	Image contrast /%
34.76	34.39	1.08	177	175	0.7843
35.42	34.39	3.00	178	175	1.1765
36.13	34.39	5.06	181	175	2.3529
36.83	34.39	7.10	184	175	3.5294
37.49	34.39	9.01	185	175	3.9216
38.56	34.39	12.13	186	175	4.3137
39.56	34.39	15.03	188	175	5.0980
34.03	34.39	-1.05	173	175	-0.7843
33.35	34.39	-3.02	172	175	-1.1765
32.67	34.39	-5.00	169	175	-2.3529
31.96	34.39	-7.07	166	175	-3.5294
31.25	34.39	-9.13	162	175	-5.0980
30.24	34.39	-12.07	159	175	-6.2745
29.20	34.39	-15.09	154	175	-8.2353

在 N_T 保持不变条件下,背景灰度也保持不变,结合(1)式和(2)式,可以分析出 C 和 C_T 实际上只受 N_T 影响依据误差理论及实际计算, N_T 与 C_T 残差曲线, C 与 C_T 残差曲线应当完全一致。基于上述分析,尽管定义不同, C 与 C_T 存在简单的对应关系。在静态条件下, C_T 只受 C 的影响。因此,根据实际需要,以 $\phi 4$ mm 目标孔为例,分别计算不同条件下的 C 与 C_T ,具体测量结果如表 1 所示,并将表 1 数据中的 C 作为输入变量, C_T 作为响应变量,运用最小二乘

法建立拟合方程,拟合结果如图 2 所示。

图 2 中显示实际测量点均匀地分布在拟合曲线附近,依据回归方程相关系数 $R^2 = 99.4\%$ 、 $R_{adj}^2 = 99.3\%$ 及 C 关于 C_T 估计的标准误差(拟合误差) $S = 0.0035808$,说明拟合状况良好,拟合方程为 $C_T = -0.000769 + 0.4559C - 0.7143C^2$ 。光谱仪 PR735 精度优于 1%,通过 PR735 测量获得的光学对比度 C 可以作为测量基准使用,所以 C 和 C_T 标定曲线(拟合曲线)的精度,可以用拟合精度 S 表示。

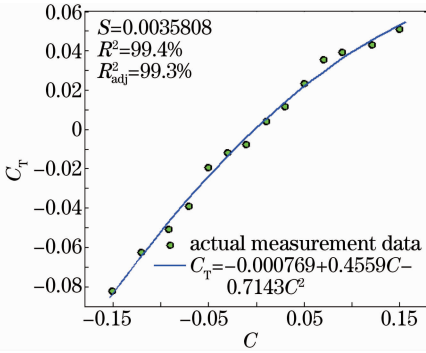


图 2 静态对比度标定曲线

Fig. 2 Fitting curve of static contrast calibration curve

3.2 动态对比度的标定

基于设备成像要求, CCD 存在一定的曝光时间; 当物体以一定速度运动时, 目标往往会造成拖尾现象, 因形变效应引起 C_T 的快速下降, 尤其在暗背景低对比度条件下这种现象非常明显。与静态目标条件下的状况不同, 此时 C_T 受目标大小、目标速度和 C 综合作用影响; 因此动态 C_T 的计算与静态 C_T 计算不同, 需要综合考虑以上因素与 C_T 的关系。高速摄像机 MS50K 在暗背景条件下, 对静态和动态

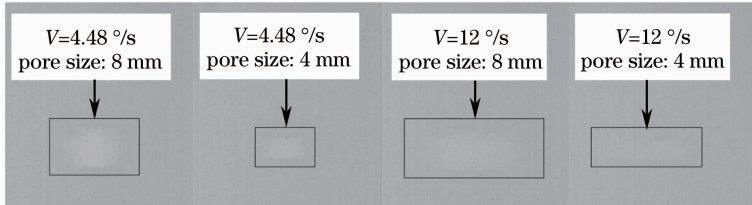


图 4 目标速度和大小的综合影响示意图

Fig. 4 Sketch map of integrative effect based on target velocity and size

图中可以看出, 即使在 C 和速度相同的条件下, 目标大小不同其 C_T 也不尽相同, 越小的动态目标就越容易湮没在背景之中。然而, 在实际测试和验收设备过程中, 往往对测试选用的目标源大小及速度进行了具体规定, 所以可以将上述可变因素视为按规定所需的常量, 这样与静态标定类似, 在规定的条件下, C 和 C_T 也存在简单的对应关系。

动态静态图像灰度数据采集方式如图 5 所示。通过实际测量, 背景灰度稳定, 其灰度提取窗口大小对背景灰度值计算无显著影响, 实验过程中取 $21 \text{ pixel} \times 21 \text{ pixel}$, 测量位置位于目标上下两侧, 取

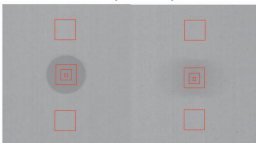


图 5 灰度提取框示意图

Fig. 5 Sketch map of gray extraction frame

目标成像效果如图 3 所示。

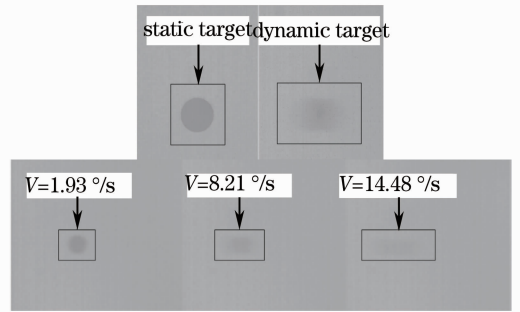


图 3 暗背景低对比度条件下静态动态光学目标成像示意图

Fig. 3 Sketch map of static and dynamic optical target under the low-contrast and dark background condition

在 C 和目标大小相等条件下, 动态光学目标由于速度影响, 在成像过程中出现了明显的拖尾现象, 导致图像对比度的下降, 并且速度越快, 形变效应和灰度渐变效应越显著, 关于目标的提取及 C_T 的准确测量也就越困难。如果再考虑目标大小的影响, 即目标速度和大小两个可变因素, 动态对比度标定相对静态标要复杂得多, 其影响效果如图 4 所示。

其均值作为背景灰度。对于静态目标, 不存在形变效应和灰度渐变效应, 所以目标灰度值稳定, 图中 3 个窗口大小, 如: $3 \text{ pixel} \times 3 \text{ pixel}$ 、 $11 \text{ pixel} \times 11 \text{ pixel}$ 、 $21 \text{ pixel} \times 21 \text{ pixel}$, 对目标灰度值计算无显著差异影响。对于动态目标, 目标灰度提取窗口大小对计算其灰度值则存在显著差异影响。所以在标定动态对比度过程中, 确定合理的窗口大小是计算对比度的关键。大量实验证明, 尤其动态目标, 图像中目标的视觉中心往往可能不是其灰度值的重心。所以窗口越大, 其包含目标的信息也就越多, 同时重心法对目标的定位也就越准确, 不会受局部灰度差异影响。

为了对目标提取框大小和目标灰度值归属关系作出判断, 采用数理统计中“判别分析”的方法进行相关数据处理, 同时为了便于分析, 结合散点图将归属关系进行可视化的图表处理。

为了使分析具有一定的适用性, 选用 3 个条件各

不相同的目标源来提取相关数据,具体条件参见表 2。具体做法是,以图像重心为提取框中心,提取框边长从 3 开始奇数递增直到接近目标的上下边缘,针对不同大小的提取框获取目标灰度值。以临近目标上下边缘为提取框最大值是为了减小动态目标形变效应的影响,

如果以运动方向的目标左右边缘为最大值界限,那么提取框大小会随速度不同而变化,前者是仅以目标大小为参考界限,后者则是以目标大小和速度为参考界限。为了明确分析提取框大小与上述数据的对应关系,将所有数据绘制成散点图,如图 6 所示。

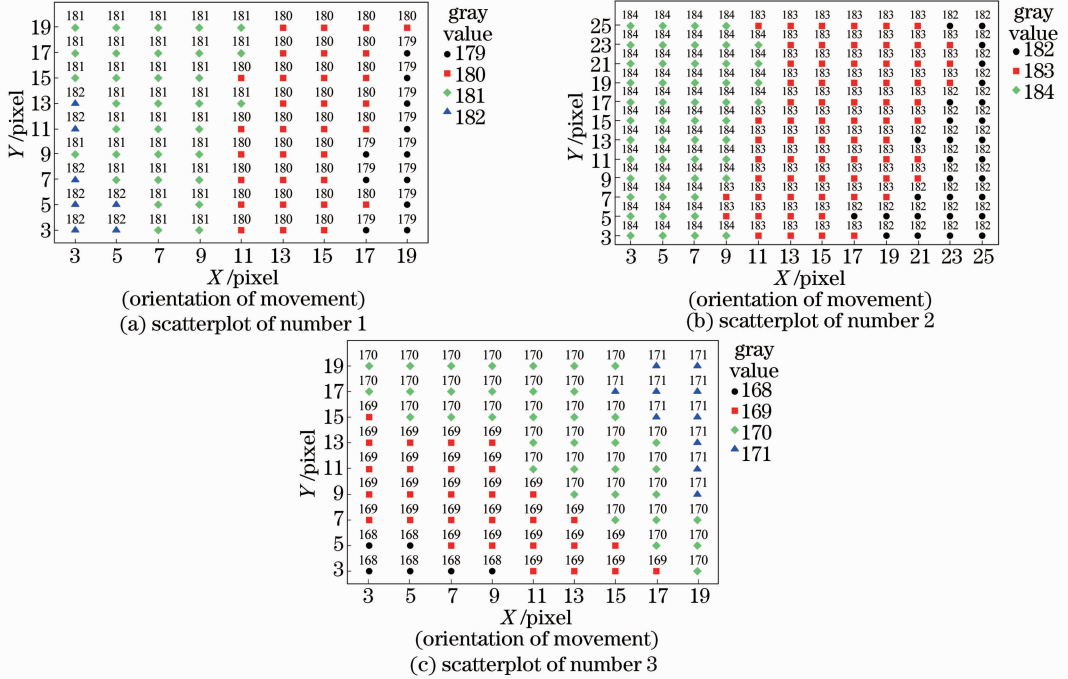


图 6 基于提取框尺寸和目标灰度关系的散点图

Fig. 6 Scatterplot of relationship based on extraction frame size and target gray

可以看出目标灰度最大值和最小值所对应的点数最少,其对应的提取框分别为尺寸较小和较大的,如 3 pixel×3 pixel、5 pixel×5 pixel 和 19 pixel×15 pixel、25 pixel×21 pixel。上述的灰度分布状况符合实际现象,如图 3 所示。拖尾现象导致灰度值

在重心附近出现相对缓慢的渐变效应,而在目标边缘附近渐变效应相对显著。采用“判别分析”的数理分析方法来进一步分析提取框大小与目标灰度值的归属关系,分析结果如表 2 所示。

表 2 判别分析数据

Table 2 Data of discriminant analysis

Number 1					Number 2				Number 3				
Pore size/mm: 4 C: 0.15		Velocity / [(°/s): 12.0 Light target			Pore size /mm: 6 C: 0.17		Velocity / [(°/s): 8, 21 Light target		Pore size /mm: 4 C: 0.15		Velocity / [(°/s): 12.0 Dark Target		
Group	179	180	181	182	Group	182	183	184	Group	168	169	170	171
179	11	3	0	0	182	27	8	0	168	6	1	0	0
180	0	27	1	0	183	1	55	1	169	0	27	0	0
181	0	1	28	0	184	0	3	49	170	0	1	33	0
182	0	0	3	7	Total N	28	66	50	171	0	0	3	10
Total N	11	31	32	7	N correct	27	55	49	Total N	6	29	36	10
N correct	11	27	28	7	Proportion	0.946	0.833	0.980	N correct	6	27	33	10
Proportion	1.000	0.871	0.875	1.000					Proportion	1.000	0.931	0.917	1.000
N=81	N correct: 73 Proportion correct: 0.901			N=144	N correct: 131 Proportion correct: 0.910			N=81	N correct: 76 Proportion correct: 0.938				

从表 2 分析结果可以看到,灰度值最大和最小的两类极值数据都具有较高的正确率,同时参照散点图,可以明确得出高正确率的提取框类型,即应该取灰度值最低和最高所对应的提取框来计算目标灰度会更加准确,现在对这两类提取框分别进行讨论。需要特别说明的是,确定提取框的具体大小只是能够说明其灰度取值相对准确稳定,利于图像灰度值标定. 因为与静态目标不同,动态目标图像形变效应导致其灰度值随提取框大小不同而准确度不同。

鉴于动态目标图像灰度受目标大小、目标速度和 C 的共同影响,同时考虑到每帧图像的 C_T 数据最好可以涵盖上述影响因素的信息,因为准确且富含所需信息的数据是分析问题的基础,即将三个影响因素作用效果综合的体现在 C_T 上,分析其变化

表 3 实验设计

Table 3 Experimental design

Factor	Name	Type	Low level	High level	Units
A	Target velocity	Numeric	4, 5	12.0	(°)/s
B	Pore size	Numeric	4.00	8.00	mm
C	Dark or light target	Text	-1(dark)	1(light)	
D	Optical target contrast	Numeric	0.10	0.15	

在动态目标图像灰度提取过程中,发现以质心为中心的大尺寸提取框获取的灰度值可以涵盖实验设计中 4 个显著影响因素,如图 7 所示。而以质心为中心的小尺寸提取框只能涵盖部分影响因素。因为动态目标质心附近灰度渐变效应缓慢,4 个因素对其影响效果不显著,即灰度对其敏感度较低。同理,大尺寸提取框接近目标边缘,渐变效应显著,体现了 4 个因素对其影响,即灰度对其敏感度较高。大尺寸提取框获取的灰度值残差统计如图 8 所示,体现了较好的正态性、随机性和等方差性。

规律并建立拟合方程,为光电设备图像捕获程序编撰提供一定的动态图像灰度变化参考,比如图像增强、分割和目标提取等^[14]。

综合以上考虑,为了更深入细致的分析,采用全因子实验设计方法^[15],通过数理分析,证明目标大小、目标速度和光学对比度在数据提取过程中是显著影响因子。具体做法是:分别采用两类灰度极值所对应的提取框类型进行灰度取值,然后对测量数据进行正态性、随机性、等方差性以及主效应分析,目的是证明数据采集合理和存在显著影响因子。通过表 1 数据发现,目标的亮暗类型对所测量的结果存在影响,因此在实验设计中再加入目标亮暗这个影响因子,实验设计具体参数如表 3 所示,将 C_T 作为实验设计响应变量,4 个影响因子作为输入变量。

经过相关实验并依据目标占 CCD 像元数,认为选取 $\phi 4$ mm 孔与高速摄像机 MS50K 比较搭配,采用大提取框进行数据获取;目标速度分别选取 $1.5^\circ/s$ 、 $3.0^\circ/s$ 、 $4.5^\circ/s$ 、 $6.0^\circ/s$,在上述条件下对 C 和 C_T 进行动态标定,标定曲线如图 9 所示,拟合方程评价系数如表 4 所示。

可以看出静态对比度标定曲线(图 2)和不同速率的动态对比度标定曲线线型,即拟合方程类型完全一致,只是系数及评价系数略有不同,说明该动态对比度标定方法实现了预期的设想:与静态标定类似,在动态条件下, C 和 C_T 也存在简单的对应关系。同时,也说明在整体宏观上,该方法具有一定的可靠性,因为静态对比度标定是理想的最稳定的目标对比度标定状态,动态对比度标定曲线与其线型一致,说明实验中所采用的相关数理分析方法有效地避免了动态目标因为速度影响,而产生的形变效应和灰度渐变效应,对动态目标对比度标定带来不利的影响。与静态标定精度分析一样,动态目标源标定精度详见表 4 中的 S 参数,可以看出动态目标源标定精度低于静态目标源的标定精度,并且随着速度增大,标定精度有逐渐变差的趋势。

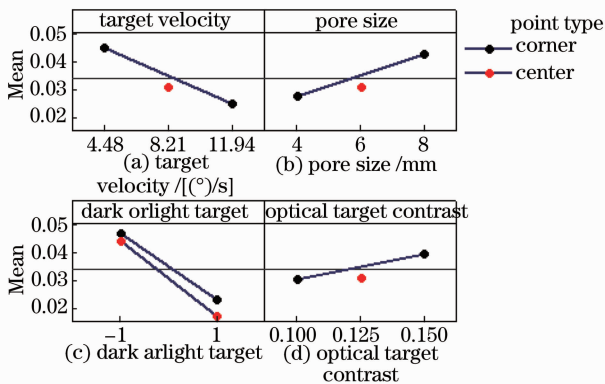


图 7 影响 C_T 的主效应图

Fig. 7 Main effects plot about the C_T

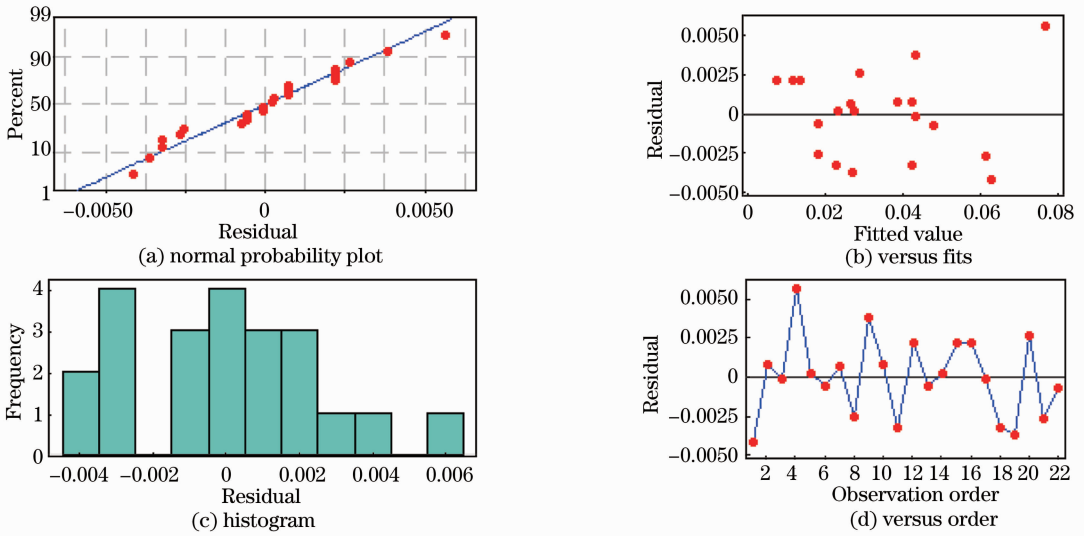


图 8 C_T 残差统计分析图

Fig. 8 Residual plots of the C_T

表 4 方程评价参数

Table 4 Evaluation parameters of fitting equations

	$V=1.5^\circ/s$	$V=3.0^\circ/s$	$V=4.5^\circ/s$	$V=6.0^\circ/s$
S	0.0048067	0.0050864	0.0056006	0.0052124
$R^2/\%$	99.8	99.8	99.6	99.4
$R_{adj}^2/\%$	99.8	99.7	99.5	99.4

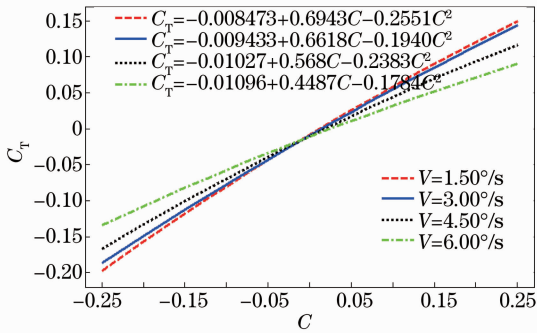


图 9 动态标定曲线

Fig. 9 Dynamic calibration curve

4 结 论

根据目标捕获能力检测装置的需要,以及暗背景低对比度动态目标因为拖尾导致形变效应和灰度渐变效应,而造成目标对比度标定困难的问题,提出了静动态目标源图像对比度标定方法。以静态目标对比度标定为基础和参考,运用“判别分析”的方法,并结合散点图将测量数据进行可视化图表处理,分析出动态图像目标对比度大小与目标灰度提取框大小存在密切关系,并依据目标灰度准确率的最高值来确定选择提取框的原则。运用“实验设计”的方法,明确了在指定大尺寸提取框类型的前提下,动态

图像目标对比度与目标大小、目标速度和光学对比度之间能够存在显著的对应关系,即此时目标对比度数据涵盖信息最多。依据指定的选取框类型、按照目标大小和目标速度绘成动态目标标定曲线。实验结果证明:提取框选择的准确率在 94% 以上,静动态标定曲线评价参数: R^2 和 R_{adj}^2 均优于 99%,标定精度 S 均优于 0.006,该方法基本满足了检测装置的标定要求。

参 考 文 献

- National Defence Science Technical Committee. GJB 1830-93, General Specification for Video Tracker [S]. Beijing: China Standard Press, 1993.
- 国防科学技术工业委员会. GJB 1830-93, 电视跟踪器通用规范 [S]. 北京: 中国标准化出版社, 1993.
- Huo Jinming, Shen Xiangheng, Ye Lu, *et al.*. Testing of low-contrast target acquisition for photoelectric tracket [J]. Acta Optica Sinica, 2013, 33(5): 0512004.
霍金明, 沈湘衡, 叶 露, 等. 光电跟踪设备低对比度动态目标捕获能力检验[J]. 光学学报, 2013, 33(5): 0512004.
- Wang Chong, You Zheng, Xing Fei, *et al.*. Image motion velocity field for wide view remote sensing camera and detectors exposure integration control [J]. Acta Optica Sinica, 2013, 33(5): 0511002.
王 翀, 尤 政, 邢 飞, 等. 大视场空间遥感相机的像速场及图像传感器曝光积分控制[J]. 光学学报, 2013, 33(5): 0511002.
- Ye Lu. Testing of low-contrast target acquisition for photoelectric tracket [J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(11): 1115001.

- 叶 露. 光电跟踪设备低对比度目标捕获能力检验方法研究 [J]. 光学学报, 2012, 32(11): 1115001.
- 5 Wang Suhua, Sheng Xiangheng, Ye Lu. Calibration of contrast for adjustable contrast optical target equipment [J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(5): 949-956.
王素华, 沈湘衡, 叶 露. 可调对比度目标源装置中对比度的标定[J]. 光学精密工程, 2012, 20(5): 949-956.
- 6 Ye Lu, Gu Lishan, Shen Xiangheng. Design of adjustable contrast optical target [J]. Appl Opt, 2010, 31(5): 681-684.
叶 露, 谷立山, 沈湘衡. 可调对比度光学无穷远目标源设计 [J]. 应用光学, 2010, 31(5): 681-684.
- 7 Sun Lianming. The Research of Moving Object Tracking System Based on Embed Image Process Unit [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2008.
孙连明. 基于嵌入式图像处理单元的运动目标跟踪系统研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.
- 8 Shao Wenkun, Huang Aimin, Wei Qing. Research on moving object tracking with background motion [J]. Computer Simulation, 2006, 23(5): 181-184.
邵文坤, 黄爱民, 韦 庆. 动态场景下的运动目标跟踪方法研究 [J]. 计算机仿真, 2006, 23(5): 181-184.
- 9 Ding Xuemei, Wang Weiya, Huang Xiangdong. New method for detecting and tracking of moving target based on difference and invariant [J]. Optics and Precision Engineering, 2007, 15(4): 570-576.
丁雪梅, 王维雅, 黄向东. 基于差分和特征不变量的运动目标检测与跟踪[J]. 光学精密工程, 2007, 15(4): 570-576.
- 10 Qian Feng, Jia Jianjun, Zhang Liang, *et al.*. Positioning accuracy of spot-detecting camera in acquisition, tracking, pointing system [J]. Acta Optica Sinica, 2013, 40(2): 0205007.
钱 锋, 贾建军, 张 亮, 等. 捕获、跟踪、瞄准系统中光斑探测相机的定位精度[J]. 光学学报, 2013, 40(2): 0205007.
- 11 Jiang Dengbiao, Li Bo, Chen Qimei. CCD irradiance calibration algorithm for HDR image acquisition [J]. Optics and Precision Engineering, 2013, 21(11): 2980-2988.
江登表, 李 勃, 陈启美. 用于高动态范围图像生成的 CCD 辐照度标定[J]. 光学精密工程, 2013, 21(11): 2980-2988.
- 12 Hu Hao, Liang Jin, Tang Zhengzong, *et al.*. Global calibration for muti camera videogrammetric system with large-scale field-of-view [J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(2): 369-378.
胡 浩, 梁 晋, 唐正宗, 等. 大视场多像机视频测量系统的全局标定[J]. 光学精密工程, 2012, 20(2): 369-378.
- 13 Liu Hongxing, Sun Jingxu, Liu Zexun, *et al.*. Design of integrating sphere solar spectrum simulator based on xenon lamp and LEDs [J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(7): 1447-1454.
刘洪兴, 孙景旭, 刘则洵, 等. 氙灯和发光二极管作光源的积分球太阳光谱模拟器[J]. 光学精密工程, 2012, 20(7): 1447-1454.
- 14 Jin Yongliang, Wang Yanjie, Liu Yanying, *et al.*. Pre-detection method for small infrared target [J]. Optics and Precision Engineering, 2012, 20(1): 171-178.
靳永亮, 王延杰, 刘艳滢, 等. 红外弱小目标的分割预检测[J]. 光学精密工程, 2012, 20(1): 171-178.
- 15 Wang Jianjun. Optimized design of parameters affecting the accuracy of airborne LIDAR by using orthogonalization-based experiments [J]. Chinese J Lasers, 2013, 40(2): 0214003.
王建军. 基于正交化实验对影响机载激光雷达测量精度的工作参数进行最优化设计[J]. 中国激光, 2013, 40(2): 0214003.

栏目编辑: 韩 峰