

激光成像系统图像几何失真校正算法

李自勤, 李琦, 成向阳, 王 骐

(哈尔滨工业大学 光电子技术研究所 可调谐激光技术国家级重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:激光主动成像系统具有分辨率高、抗干扰能力强、能成三维像等特点。为了满足成像系统对扫描速度的要求,行扫描器采用了正弦扫描方式,但激光器等时发射经过扫描器后将形成扫描方向上光点的空间分布不均匀,从而造成系统所成图像的几何失真。分析了几何失真的形成机理,并根据此机理提出了两种校正算法。将这两种算法应用于仿真图像和实际的激光图像,取得了满意的效果。比较两种算法表明:采用算法 2 进行激光成像系统图像几何失真的校正更为合适。

关键词:激光成像系统; 非线性扫描; 几何失真; 校正算法

中图分类号: TN958.98 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)02-0146-05

Image geometry amending algorithm for laser imaging system

LI Zi-qin, LI Qi, CHENG Xiang-yang, WANG Qi,

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Institute of Opto-Electronic
of Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: Laser imaging system which can give anti-interference high-resolution three-dimensional image has been applied widely. For the sake of scan rate in imaging system, line scanner adopts sine scanning, at the same time isochronous laser pulses output, and spatial light-spot distribution is not asymmetry. As a result, imaging geometry distortion occurs. In this paper, reason for geometry distortion is analyzed, and two amending algorithms are presented. It is satisfied that these algorithms are used in artificial image and lidar image. Comparison shows that the second algorithm fits further to image amending in lidar imaging system.

Key words: Laser imaging system; Nonlinear scanning; Geometry distortion; Amending algorithm

0 引言

激光扫描成像系统是当前的一个研究热点^[1,2],而光束扫描器是激光扫描成像系统中不可缺少的一部分,由于激光扫描成像系统要求小角度、宽光束、高帧频的扫描技术,所以它要求扫描系统具有较多的像素点和高的扫描速度^[3,4]。以本文为例,成像系统要求

几百行/秒的扫描速度。为此,利用通用扫描公司生产的 M3 系列检流计式大振镜扫描器,构成了二维扫描系统,在大量实验的基础上,提出了简谐振动扫描方案,即行扫描器采用简谐运动方式,帧扫描器采用阶梯式锯齿运动方式,用此扫描方案实现了所需的扫描速度,大大超出了振镜标称的 40 行/s 扫描速度,满足了激光主动成像系统的要求。图 1 给出了简谐扫描时

扫描系统两个指令信号之间的关联关系。

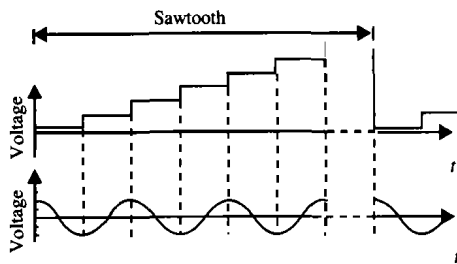


图 1 扫描系统两个指令信号之间的关联

Fig.1 Two demand signals in scanning system

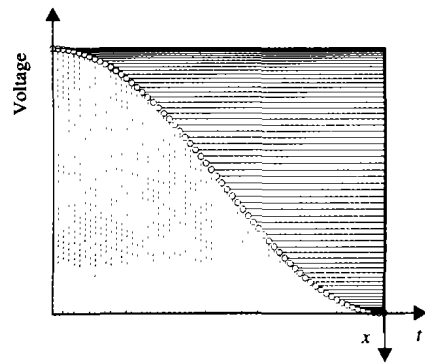
由于行扫描器做简谐振动,此时如果激光器均匀发射脉冲,经过扫描后,其在空间排列上将呈现不均匀状态。这种扫描状态称为非均匀扫描,而与之相对应的扫描点在空间排列均匀的扫描方式为均匀扫描。

为了得到空间均匀扫描的图像,一种方法是采用激光器不等时发射^[5,6]。然而,不等时发射对激光器的性能有很高的要求,特别是对于气体激光器来说,很难实现。同时,经过分析得知,采用非均匀扫描时,虽然降低了成像系统对目标的定位精度,但这种降低并不严重,因其实现简单,因此在实际应用中仍然值得考虑^[7]。采用非均匀扫描时,可以通过对激光成像系统所成的因扫描的非均匀性造成的几何失真图像进行校正得到正确的扫描图像。图 2 给出了激光器不等时发射形成非均匀扫描和激光器不等时发射实现均匀扫描的示意图。图中 t 代表时间轴, x 轴代表行扫描器的扫描方向。

1 几何失真的机理和校正原理

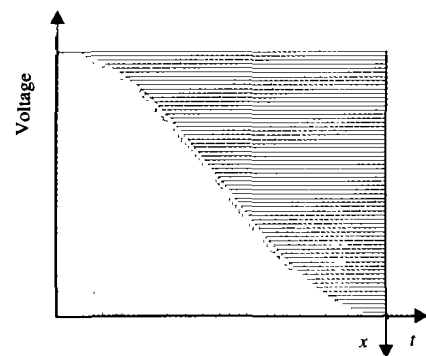
扫描点的空间分布不均匀将引起成像系统所成图像的几何失真。图像的几何失真在广义上讲是一种图像的退化,需要通过几何变换来校正失真图像中的各像素位置以重新得到像素间原来的空间关系,从而正确解读目标信息。

恢复退化的图像最重要的一点就是找出它的退化模型,对几何失真问题来说就是找出几何失真的模型。由于几何失真的形成与成像系统的结构、成像方式等直接相关,每种几何失真都有其自身特有的模型,因此其校正方法也是各不相同的^[8,9],为此需要寻找成像系统特有的几何失真模型。



(a) 非均匀扫描

(a) Nonuniformity scan



(b) 均匀扫描

(b) Uniformity scan

图 2 均匀扫描与非均匀扫描

Fig.2 Uniformity and nonuniformity scan

图3、图 4 给出了一个矩形和五角星目标采用非均匀扫描和均匀扫描的情形。图中网格的交叉点代表扫描点的照射位置。图 5、图 6 为非均匀扫描和均匀扫描所成的像。可以看出,非均匀扫描所成的像其两端被拉伸,而中间则被压缩。这种几何失真的图像不能给出准确的目标信息,不利于进行目标的特征提

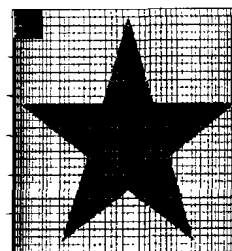


图 3 非均匀扫描目标

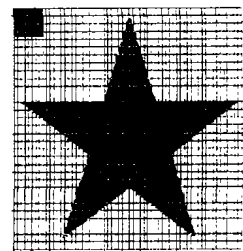


图 4 均匀扫描目标

Fig.3 Object in nonuniformity scan Fig.4 Object in uniformity scan

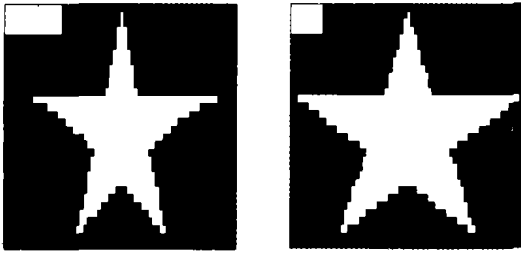


图 5 非均匀扫描所成的像 图 6 均匀扫描所成的像

Fig.5 Image in nonuniformity scan Fig.6 Image in uniformity scan

取识别,也不利于进行目标的定位,因此有必要对它进行校正。

1.1 校正算法 1

为了进行校正,需要得到非均匀扫描点与均匀扫描点之间的对应关系。设整个扫描范围为 $[-\alpha, \alpha]$,对于非均匀扫描,其第 n 点的扫描对应的偏转角度为 θ_n ,则有:

$$\theta_n = -\alpha \cos\left(\pi \frac{n-1}{N-1}\right) \quad n=1, 2, \dots, N \quad (1)$$

式中 N 为扫描的列数。

均匀扫描两扫描点之间的偏转角度是固定的,这个固定的偏转角度 θ_0 为:

$$\theta_0 = 2\alpha / (N-1) \quad (2)$$

如果均匀扫描第 k 点对应的非均匀扫描点位置为 m ,则下式成立:

$$-\alpha + (k-1)2\alpha / (N-1) = -\alpha \cos\left(\pi \frac{m-1}{N-1}\right) \quad (3)$$

所以有:

$$m = (N-1) \frac{\arccos\left(1 - \frac{2(k-1)}{N-1}\right)}{\pi} + 1 \quad (4)$$

表 1 给出了以 $N=64$ 为例的这种对应关系(部分)。

表 1 均匀扫描点与非均匀扫描点的对应关系

Tab.1 Uniformity and nonuniformity scanning spot

Uniformity (k)	1	2	3	4	5	6	7
Nonuniformity (m)	1	6.1	8.2	9.8	11.2	12.5	13.6

从表中可以看出均匀扫描点与非均匀扫描点存在着如下三种关系:重合或非常接近、较接近、中间。

设均匀扫描点 k 所对应的 m_0 位于非均匀扫描点 n_1 和 n_2 之间,定义:

$$\begin{aligned} l_1 &= |m_0 - n_1| \\ l_2 &= |m_0 - n_2| \\ l &= \min(l_1, l_2) \end{aligned} \quad (5)$$

当 $l < 0.2$ 时定义为重合或非常接近,如表 1 所示的 1 点、2 点。此时因为两个光斑非常接近,直接将非均匀扫描所得的值赋给均匀扫描即可。

当 $0.2 \leq l < 0.4$ 时定义为较接近。此时首先需要判断与它左右相邻的两列非均匀扫描点的均值是否相当,如果两者的均值较接近,则表示这两列均位于背景区或目标区,此时进行线性插值得到校正后的灰度。如果两者的均值相差很大,则表示这两列一列位于目标,一列位于背景,此时将距 m_0 较近的那一列作为校正后的灰度。

当 $0.4 \leq l \leq 0.5$ 时定义为中间。此时如果它左右相邻的两列非均匀扫描点的均值较为接近,则以方差较小的那一列为高权值进行加权平均,将其作为校正后的灰度值,因为方差较小意味着受噪声影响较小。如果相邻两列的均值相差较大,则选择均值较小的那一列作为校正后的灰度。这是因为均值较小的这一列通常位于背景区,这样可以避免目标扩展,通常目标区小于背景区,因此目标扩展带来的误差大于背景扩展带来的误差。整个校正算法可表示为:

$$I_{m_0} = \begin{cases} = I_{n_1} & l = |m_0 - n_1| < 0.2 \\ \begin{cases} I_{n_1} & |I_{n_1} - I_{n_2}| > T \\ I_2 I_{n_1} + I_1 I_{n_2} & |I_{n_1} - I_{n_2}| \leq T \end{cases} & 0.2 \leq l < 0.4 \\ \begin{cases} I_n (\langle I_n \rangle = \min(\langle I_{n_1} \rangle, \langle I_{n_2} \rangle)) & |I_{n_1} - I_{n_2}| > T \\ p I_{n_1} + (1-p) I_{n_2} \left(\begin{matrix} \sigma(I_{n_1}) > \sigma(I_{n_2}) & p < 0.5 \\ \sigma(I_{n_1}) \leq \sigma(I_{n_2}) & p > 0.5 \end{matrix} \right) & |I_{n_1} - I_{n_2}| \leq T \end{cases} & 0.4 \leq l \leq 0.5 \end{cases} \quad (6)$$

1.2 校正算法 2

上述算法完全是根据非均匀扫描点与均匀扫描

点在空间的位置进行的,每个扫描点仅代表其所在位置的目标(或背景)信息。其实,对于扫描成像,还有一种理解,就是每一个扫描点代表的是一定张角空间范围内的目标(或背景)信息。比如第 k 点均匀扫描,可理解为是中心位于 $(k-1)\theta_0$,张角范围为 $\pm\theta_0/2$ 空间内的目标(或背景)信息。根据这一思想,提出了校正算法 2。此算法利用了非均匀扫描获得的所有信息。

由公式(1)和(2),可得到非均匀扫描第 n 点所属的均匀扫描区域 k :

$$k = \left\lceil \frac{\theta_n}{\theta_0} + 0.5 \right\rceil + 1 \quad (7)$$

式中 $[x]$ 表示对 x 求取整运算,即求不大于 x 的最大整数。

表 2 给出了以 $N=64$ 为例的非均匀扫描点与均匀扫描区域的部分对应关系。

由此对应关系可以看出,非均匀扫描两相邻扫描点对应的均匀扫描区域之间存在三种情况:相同(如 12、13 点均属于均匀扫描的第 6 区域)、相邻(如 14、15 点分别属于均匀扫描的 7、8 区域)和相隔(如 16、17 点分别对应均匀扫描的 9、11 区域,中间缺少了第 10 区域)。

表 2 非均匀扫描点与均匀扫描区域的对应关系
Tab.2 Uniformity and nonuniformity scanning spot

Nonuniformity (n)	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Uniformity (k)	5	6	6	7	8	9	11	12	13

对于第一种情况,将所有对应于同一区域的非均匀扫描线取平均放入相应的列作为校正后的数据。

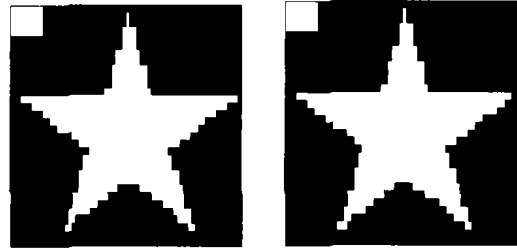
对于第二种情况,将两列非均匀扫描的数据分别放入对应的两列作为校正后的数据。

对于第三种情况,除了需将这两列放入对应的两列作为校正后的数据外,还需根据这两列的数据产生缺少的那一列数据。基于与上述同样的考虑,根据这两列非均匀扫描的均值和方差来产生缺少的那一列均匀扫描:如果两列非均匀扫描点的均值较为接近,则以方差较小的那一列为高权值进行加权平均,将其作为所缺列灰度值,如果相邻两列的均值相差较大,

则选择均值较小的那一列作为所缺列灰度值。

2 校正结果

采用上述校正原理,首先对图 5 所示的仿真图像进行了校正处理,其结果如图 7 所示。



(a) 算法 1 校正结果 (b) 算法 2 校正结果
(a) Amending result by algorithm 1 (b) Amending result by algorithm 2

图 7 对图 5 仿真图像的校正结果
Fig.7 Image amending for Fig.5

由图 7 可以看出,两种算法均较好地恢复了原图像的信息,消除了几何失真。

为了检验校正方法的有效性,将其应用于一真实的激光主动成像系统图像,图 8 为目标建筑物照片,可以看出,目标建筑物两侧为砖墙,中间为幕玻璃,整个建筑物呈现左右对称结构。图 9 为行扫描采用简谐振动的激光主动成像系统所成的几何失真的图像。对比目标建筑物照片和所成的像可以看出,因为几何失真,目标左侧砖墙明显窄于右侧,完全失去了原有的左右对称结构。经过校正算法校正后,左右对称特征得到了恢复,目标的几何形状变得与原目标相似,利于对目标进行准确的定位和辨识。

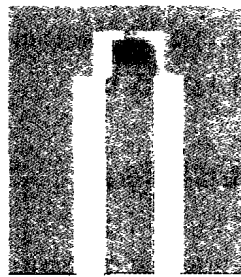


图 8 目标建筑物照片
Fig.8 Building photograph

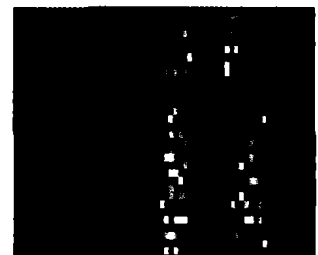
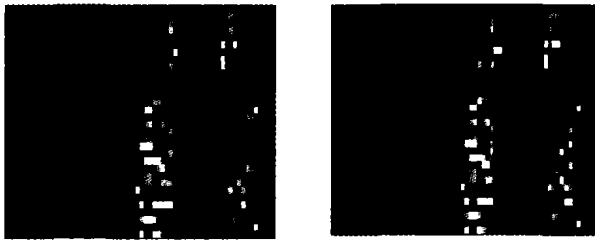


图 9 激光主动成像系统所成几何失真图像
Fig.9 Geometry distortion image in active laser image system



(a) 算法1 校正结果 (b) 算法 2 校正结果
 (a) Amending result by algorithm 1 (b) Amending result by algorithm 2

图 10 校正后的图像
 Fig.10 Amending image

3 结论

本文分析了当行扫描器为简谐振动,激光器等时发射时成像系统所成图像几何失真形成的原因,并根据其成因提出了两种校正方法,将其应用于实际的激光图像,均取得了满意的效果。经校正后的图像正确地反映了目标的信息,保证了进一步的目标特征提取、目标定位处理的准确性。比较两种算法,算法 2 充分利用了非均匀扫描获得的所有信息,因此,采用算法

2 进行激光成像系统图像几何失真的校正更为合适。

参考文献:

[1] Bryan W Coles, William Radzelovage, Pierre Jean-Laurant, et al. Processing techniques for multi-spectral laser line scan images[A]. PCEANS'98 Conference Proceedings[C].1998,3.1766-1779.
 [2] 李自勤,王骐,李琦.激光成像系统图像散斑抑制常用算法比较[J].红外与激光工程.2003,32(2):130-133.
 [3] 熊辉丰.激光雷达[M].北京:宇航出版社,1994.285-290.
 [4] 简莉.军用 CO₂ 激光系统[M].北京:机电部兵器科学技术情报所,1989.77-87.
 [5] 成向阳,王海虹,李宁.光速扫描检测法及二维快速激光扫描系统[J].激光与红外,2000,30(4):211-213.
 [6] 成向阳,李宁,王海虹.半导体激光快速扫描雷达成像实验[J].中国激光,2001,28(7):658-660.
 [7] 李自勤,李琦,尚铁梁.激光成像系统非均匀扫描对目标定位精度的影响[J].激光与红外,2003,33(2):98-100.
 [8] 费旭东,荆仁杰.几何校正的 Systolic 实现[J].电子学报,1992,20(4):8-16.
 [9] 廖士中,高培焕,苏艺.一种光学镜头摄像机图像几何畸变的修正方法[J].中国图像图形学报,2000,5A(7):593-596.

“2005 年全国光电技术学术交流会暨第十七届全国红外科学技术交流会”联合征文通知

中国宇航学会光电技术专业委员会会同各协办单位将于 2005 年四季度召开“全国光电技术学术交流会暨第十七届全国红外科学技术交流会”(会议地点待定)。会议将邀请国内光电领域的院士、知名专家及学科带头人到会作专题技术报告。会议宗旨是重视学术交流会的质量及成效,扩展各学科及技术领域之间的讯息交流,最大限度地提供互动互助及协作机会。大会设优秀论文奖、优秀组织奖,并奖励优秀编委、优秀委员,同时还将获奖论文推荐到《红外与激光工程》等刊物上发表。

征文内容:

1. 国内外光电技术发展综述
2. 光电技术在国民经济各部门及军事上的应用
3. 红外探测器、焦平面阵列及材料技术
4. 热成像技术及其应用
5. 光电系统测试评价及可靠性技术研究
6. 光电探测、识别与制导技术
7. 光电信息处理技术(包括图像处理、数据融合、模式识别与智能控制等)
8. 光电成像传感器和系统
9. 红外遥感和成像光谱仪技术
10. 新型光学系统设计、加工及测试技术
11. 红外头罩材料、设计与制造技术
12. 随动控制系统及光学陀螺技术
13. 新型激光器、先进激光技术及其应用
14. 大气传输、目标建模及系统仿真技术
15. 光通信技术、全光网络技术

截止日期:2005 年 6 月 30

联系人:杨明 刘艳 王红琨 李瑾

联系电话:022-23669275,022-23009708,022-23009840

通信地址:天津市 225 信箱 32 分箱(300192)

传真:(022)23666400 电子邮箱:office9info@vip.sina.com