

基于像素差值的非接触位移测量技术研究

李艳芳 杨松 徐欣歌 陈文芴

(厦门大学物理与机电工程学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 针对接触式位移测量系统中, 由于存在磨损或打滑等原因造成精度降低的现象, 利用图像传感器, 通过比较前后两帧图像像素差值的方法设计了一种非接触式位移测量系统。着重分析了该系统的测量精度, 指出了非接触式测量误差的主要来源, 并给出解决方案。实验结果表明, 该方法可在 10cm 垂直距离上测量位移, 平均测量误差仅有 0.208%。

关键词: 非接触式; 位移测量; 误差来源

中图分类号: TP212 TP274⁺.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-4801(2011)03-021-03

在需要检测运动物体的动态位移的场合, 传统的靠接触摩擦进行测量的方法会由于设备的磨损降低精度, 同时测量速度太快或是测量物较光滑时又会出现打滑的现象^[1-3], 严重制约了设备的测量速度和应用场合^[2]。为了解决这一问题, 提出非接触式位移测量的理念, 采用图像传感器, 通过比较前后两帧图像像素差值的方法实现非接触式运动位移的测量。为了验证非接触式测量的检测精度, 寻找其测量误差的来源, 本文在实现了非接触式测量系统的设计后, 着重分析了其测量精度, 发现这种测量方法中存在着一种系统误差, 该误差是影响系统测量精度的最主要因素。然后通过分析该系统误差的产生规律找出了解决方案, 使非接触式测量方法真正满足了高精度的测量要求。

1 非接触式位移测量原理

非接触位移测量系统由光源、图像传感器、DSP 数据处理等部分构成(如图 1 所示)。当被测物体以某一个速度移动时, 图像传感器捕捉到的相邻两帧图像之间会存在差异, 对该差异进行分析计算, 就可得到被测物体移动距离。

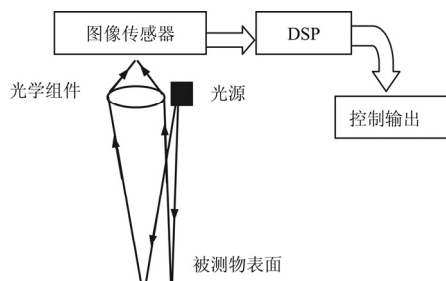


图 1 系统原理图

两帧图像之间的差异可以通过图像匹配算法求得, 本系统采用速度快、可靠性高的基

于灰度相关的匹配算法^[4,5], 并结合序贯相似性检测算法^[6,7]进行计算, 进一步提高了匹配速度, 基本原理如下:

设前后两帧图像分别为 S_1 、 S_2 , 假定 S_1 为搜索图, 从 S_2 的中心提取 5×5 的子集 T 为模版图。如图 2 所示, 将 T 叠放在搜索图 S_1 上平移, 其覆盖下的图像称为 S_1 的子图 $S_1^{x,y}$ 。

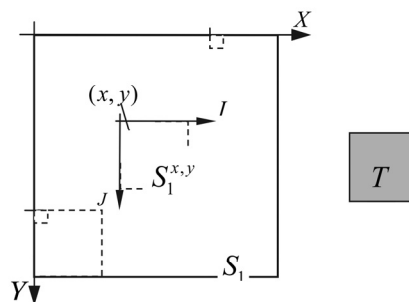


图 2 图像匹配算法的示意图

定义搜索子图 $S_1^{x,y}$ 和模版图 T 之间像素差值的平方和为相似度 $D(x,y)$, $D(x,y)$ 的值越小, 相似程度越高, 当 $D(x,y)$ 为零时图像完全匹配。 $D(x,y)$ 的表达式如下:

$$D(x,y) = \sum_{j=1}^5 \sum_{i=1}^5 [S_1^{x,y}(i,j) - T(i,j)]^2 \quad (1)$$

其中 $S_1^{x,y}(i,j)$ 与 $T(i,j)$ 分别是 $S_1^{x,y}$ 、 T 在 (i,j) 处的灰度值, i 和 j 取值范围 $1 \leq i, j \leq 5$ 。

求解最佳匹配点问题可归结为搜索 $D(x,y)$ 最小值问题, 计算过程为:

(1) 设定一个相对大的 D_0 , 定义一个最佳匹配点坐标存储单元 (x_0, y_0) ;

(2) 从 S_1 左上角开始计算相似度 $D(x,y)$, 并与 D_0 大小比较, 若 $D(x,y) \geq D_0$, 进入下一扫

描点执行步骤(1),若 $D(x,y) \cong D_0$,则 $D_0 = D(x,y)$,将该点坐标值替换最佳匹配点坐标值 (x_0, y_0) 。

将以上步骤进行到右下角。完成图像匹配搜索后,将最佳匹配点坐标 (x_0, y_0) 与 S_2 中心坐标相比,即可得到被测物运动方向及相对位移。

2 误差分析及解决方案

利用上述测量系统,对相同测量高度下运动物体进行了多次测量,测量结果表明,测量数据具有很好的线性但存在重复性误差,且该误差随着总位移的增加呈上升趋势。

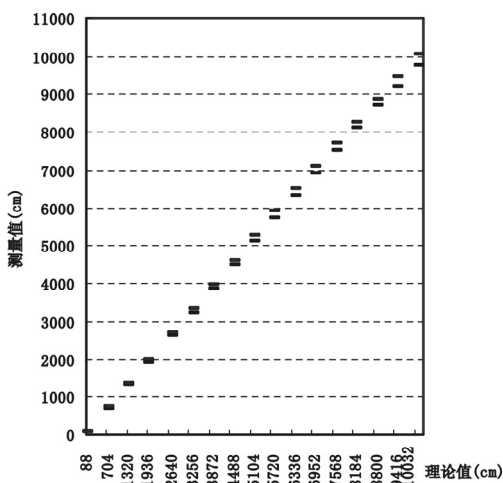


图3 测量数据比较图1

为清楚的显示出这一规律,图3给出了单步测量距离为88cm,总长为100m的条件下测得的重复性误差最大的两组数据。从图中可以看出,重复性误差在数据的最大值处达到最大,数据的最大相对误差为1.3%。

分析表明,该误差是非接触式测量方法的固有误差,与测量原理有着密切关系。如图4所示,在图像撷取系统中,图像传感器中位移实际是被测物面上位移经反射和透镜聚焦后的位移。

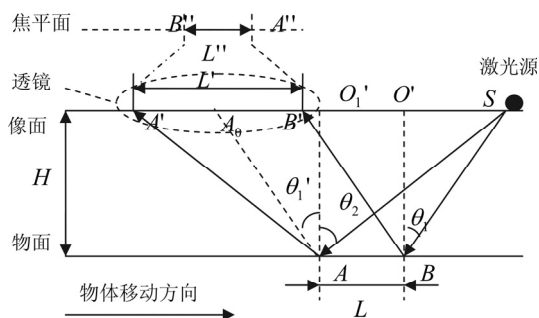


图4 位移变化示意图

在反射过程中,前后两次扫描间隔内,待测物面上物点从A移动到B,移动距离为L,反射到透镜的像点对应的从A'移动到B'点,移动距离为L',根据光学反射定律可得:

$$L + B'O_1' = O_1'O' + O'S \quad (2)$$

$$B'O_1' + O_1'O' = O'S \quad (3)$$

联立(2)(3)式可得: $L' = 2O_1'O' = 2L$

在聚焦过程中,像面上的A'、B'点经过凸透镜聚焦在焦面上的A''、B''点,位移对应为L''。显然,L'和L''之间的比例关系符合凸透镜成像原理,两者关系可用式(4)表示:

$$L'' = \frac{1}{\frac{u}{f} - 1} \times L' \quad (4)$$

u为物距, f为透镜焦距,令u和f之比为K,图像传感器测得位移与实际位移关系为:

$$L'' = \frac{1}{K-1} L' = \frac{2}{K-1} L \quad (5)$$

进而得:

$$L = \frac{K-1}{2} L'' = \alpha L'' \quad (\alpha \text{ 定义为比例系数}) \quad (6)$$

由于物距u与高度H直接相关,当不同测量行程中H出现偏差,必然导致了重复性差的结果。为了消除这个偏差,只需要在每次测量前对式(6)中的比例系数alpha进行一次标定即可。

按照上述分析结果,对算法进行改进,在单步位移1.38 m,测量高度10 cm条件下,基于式(6)进行了实测,总测长度100 m。实验结果如图5和表1所示。

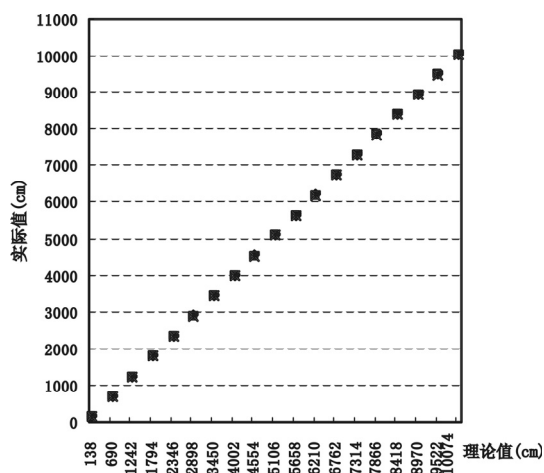


图5 测量数据比较图2

表1 长度实时测量结果

实际值/m	测量值/m							
	数据一	差值一	数据二	差值二	数据三	差值三	数据四	差值四
1.38	1.38	0	1.38	0	1.37	-0.01	1.38	0
11.04	11.03	-0.01	11.02	-0.02	11.00	-0.04	11.00	-0.04
20.70	20.69	-0.01	20.69	-0.01	20.62	-0.08	20.65	-0.05
30.36	30.33	-0.03	30.34	-0.02	30.26	-0.10	30.30	-0.06
40.02	39.99	-0.03	39.98	-0.04	39.90	-0.12	39.94	-0.08
51.06	51.02	-0.04	51.03	-0.03	50.94	-0.12	50.97	-0.09
60.72	60.67	-0.05	60.67	-0.05	60.59	-0.13	60.61	-0.11
70.38	70.32	-0.06	70.30	-0.08	70.20	-0.18	70.24	-0.14
80.04	79.96	-0.08	79.95	-0.09	79.84	-0.20	79.88	-0.16
91.08	90.98	-0.10	90.96	-0.12	90.84	-0.24	90.88	-0.20
100.74	100.60	-0.14	100.59	-0.15	100.44	-0.30	100.49	-0.25
最大相对误差	0.139%		0.149%		0.298%		0.248%	
最大平均相对误差	0.208%							

由图5可以看出数据的重复性误差明显减小,通过表1的进一步分析可知改进后系统的测量误差有了显著改进,最大平均相对误差值仅有0.208%,能很好的满足各应用场合对测量精度的要求。

3 结语

参考文献:

- [1] 吴成进, 陈跃华. 纺线速度的非接触式测量方法的研究. 纺织学报, 2001, 22 (1): 15-18.
- [2] 林邓伟, 刑文生. 光电鼠标芯片组在无接触检测运动物体中的应用[J]. 单片机开发与应用, 2006(07): 132-133.
- [3] Barbara Zitova, Jan Flusher. Image registration methods: survey [J]. Image and Vision Computing, 2003(21): 977- 1000.
- [4] Du Zhiguo, Bo Ruifeng, Han Yan. Fast algorithm of image matching based on projection [J]. Journal of Test and Measurement Technology of NCIT, 2000, 14(1): 1820.
- [5] 刘晓光, 陈曦等. 基于图像灰度的SSDA 匹配算法. 航空计算技术, 2010(01):54-57.
- [6] 沈慧玲, 戴本祁. 一种基于序贯相似性检测算法(SSDA) 的加速算法. 光电技术应用, 2006(08):60-63.

本文设计了一种非接触式位移测量系统,并着重对测量误差的产生原因进行了分析,针对误差来源提出了解决方案,有效的减小了误差,提高了检测精度。该系统测量高度可在10cm以上,能更好的满足各应用场合的需求,且该系统电路简单无需增加补偿电路、稳定性好、速度快,满足了各种工业应用场合对不同材质物品的检测需求。