

文章编号: 1001-3806(2006)06-0657-04

基于智能相机的高速三维表面信息获取

王 磊^{1,2}, 伯 梅^{1,3}, 高 隽^{1,3*}, 偶春生¹, 黄元庆²

(1. 合肥工业大学 计算机与信息学院 图像信息处理研究室, 合肥 230009; 2. 厦门大学 机电工程系, 厦门 361005; 3. 中国科学院 合肥智能机械研究所 仿生感知与控制研究中心, 合肥 230031)

摘要: 为了大幅度提高三维信息获取速度, 提出了一种基于智能相机和激光三角法的高速三维信息获取与表面重建的系统, 介绍了该系统的硬件架构和信号处理。实验结果表明, 采用数字信号处理器和并行处理方式, 该系统获取三维表面信息速度可达 5600 点 /s 以上。

关键词: 仪器测量与计量; 三维信息获取; 激光三角法; 智能相机

中图分类号: TN247 **文献标识码:** A

Fast 3-D surface information acquisition based on smart camera

WANG Lei^{1,2}, BOMei^{1,3}, GAO Jun^{1,3}, OU Chun-sheng¹, HUANG Yuan-qing²

(1. Laboratory of Image Information Processing, School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 3. Center for Biometric Sensing and Control Research, Institute of Intelligent Machines, the Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract Acquiring 3-D surface information by means of laser triangulation is a kind of active vision measurement. In order to improve the measurement speed, a fast 3-D information acquisition and surface reconstruction system based on smart camera and laser triangulation was presented. The hardware construction and data processing flow of the system was introduced. Because of applying of the digital signal processor (DSP) and parallel processing, the result of experiment shows that the speed of acquisition can reach 5600 dots/s.

Key words instrumentation measurement and metrology; 3-D information acquisition; laser triangulation; smart camera

引 言

随着工业测量领域的不断扩展以及对测量精度和测量速度的不断提高, 传统的接触式测量已经无法满足业界的需求。基于激光三角法的非接触测量由于其良好的精确性和实时性, 已经成为测量领域的热点。激光三角法是光电检测技术的一种, 因该方法结构简单、测试速度快、使用灵活方便等优点, 在工业中的长度、距离以及三维形貌等检测中有着广泛的应用^[1-5]。

随着仿型和数控加工技术的结合和不断发展, 基于光学三角法的三维表面测量技术也不断提高。为了获得更快的测量速度, 从最初的单光点测量逐步发展

到采用线结构光、多线条结构光以及二维网格结构光等。但是由于被测物体的表面特性差别较大, 还存在表面倾斜和遮挡等问题, 实际获得的结构光图像往往包含很多缺陷, 这就使得采用复杂的结构光系统在后期数据处理上遇到很多困难; 因而目前大多数实用系统仍然采用线结构光方式^[3,4,6-8]。

作者提出了一种基于智能相机的高速三维表面信息获取系统。由于智能相机是一种基于数字信号处理器 (digital signal processor, DSP) 结构的图像传感器, 其 CCD 曝光、信号读出和图像数据处理可以并行操作, 从而大大地提高了三维信息获取的速度。作者使用 Vision Components 公司的 VC2038 智能相机构造的高速三维测量系统, 经实验表明, 其测量速度可达 5600 点 /s 以上。

1 激光三角法的基本原理

在激光三角法中, 由光源发出的一束激光照射在待测物体平面上, 通过反射最后在检测器上成像。当物体表面的位置发生改变时, 其所成的像在检测器上也发生相应的位移。通过像移和实际位移之间的关系

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60375011); 安徽省自然科学基金青年科技基金资助项目 (04042044); 国家自然科学基金国际合作项目 (2005 年度中德合作 PPP 基金资助项目 60416312); 新世纪优秀人才支持计划资助项目 (NCET-04-0560)

作者简介: 王 磊 (1977-), 男, 助教, 博士研究生, 现主要从事机器视觉测量、图像信息处理的研究。

* 通讯联系人。E-mail: gaojun@hfit.edu.cn

收稿日期: 2005-10-27; 收到修改稿日期: 2005-12-26

式,真实的物体位移可以由对像移的检测和计算得到。激光三角法的框图如图1所示。

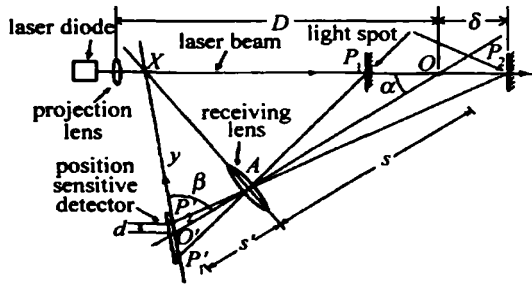


Fig 1 The principle chart of laser triangulation

图中, α 是投影光轴与成像物镜光轴的夹角; β 是光电探测器受光面与成像物镜光轴的夹角, 而 s 和 s' 分别是物距和像距, d 是传感器上的成像点的偏移, 而 δ 为实际的物体表面的偏移。

为了实现完美聚焦, 光路设计必须满足斯凯普夫拉格条件: 成像面、物面和透镜主面必须相交于同一直线, 如图1中 X 点所示。系统的非线性的输入输出函数为:

$$\delta = \frac{d s s' \sin \beta}{s' \sin \alpha - d \sin(\alpha + \beta)} \quad (1)$$

当物体偏移 δ 较小时, (1) 式可以近似为线性关系:

$$\delta = \frac{d s s' \sin \beta}{s' \sin \alpha} \quad (2)$$

2 基于智能相机的高速三维表面测量系统的硬件架构和信号处理

2.1 硬件体系结构

该测量系统采用直射式光路布局, 即投射激光束垂直于待测物体表面, 检测器主要接收漫反射光, 适用于表面粗糙度较高的被测面。系统构成如图2所示。

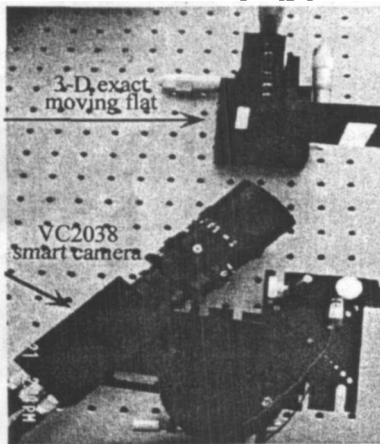


Fig 2 Laser triangulation and calibration based on smart camera

图2中的 VC2038 智能相机, 由德国 Vision Components 公司生产。它使用的是 $1/3''$ 640×480 逐行扫描 CCD; 由于它采用 DMA 方式的总线控制, 因而 CCD 曝光 (电荷积累时间)、CCD 信号读出 (图像采集) 和图像的处理可以并行操作, 从而大大增加了数据处理的

速度, 主要限制因素为 CCD 信号读出时间。在该系统中, 最大处理速度可达 40 帧 /s, 每帧中的有效测量点数可达 480 点, 对于三维表面的测量速度理论上可达 16000 点以上。VC2038 内置的 DSP 是 TI 公司的 TMS320C6211 DSP 处理器, CPU 采用了高性能超长指令字 (very long instruction word VLW) 的 VelocTI 结构, 使用了 3 段共 11 级的流水线操作, 同时简化流水线的控制以消除互锁, 指令执行速度高达 1200 MIPS, 使得其十分适合于图像信息的处理。其操作系统为 Vision Components 公司自行开发的基于 LINUX 的 VCRT 实时操作系统。VCRT 提供了大量图像采集、控制和处理的内核函数与库函数^[9]。

2.2 信号处理

三维表面信息获取系统信号处理的任务就是从图像中提取出激光光条的中心, 然后根据传感器标定的结果计算出该光条上的一系列被测点的三维坐标, 从而获得表示物体表面的点云。光条中心提取的算法有很多种, 如灰度质心法、高斯拟合法、线性内插法等^[10], 考虑到算法的性能和较适合于 DSP 的处理, 文中使用了 Blais and Rioux detectors 算子 (BR4)。在该算法中用到光条峰值左右共 7 个像素的灰度值, 使用了 3 个顺序线性滤波器算子: $g_4(x-1) = f(x-3) + f(x-2) - f(x) - f(x+1)$, $g_4(x) = f(x-2) + f(x-1) - f(x+1) - f(x+2)$, $g_4(x+1) = f(x-1) + f(x) - f(x+2) - f(x+3)$, 其中 $f(x)$ 为峰值处的像素灰度。峰值位置 δ 的计算公式为:

当 $f(x+1) > f(x-1)$ 时:

$$\hat{\delta} = \frac{g(x)}{g(x) - g(x+1)} \quad (3)$$

当 $f(x+1) < f(x-1)$ 时:

$$\hat{\delta} = \frac{g(x-1)}{g(x-1) - g(x)} - 1 \quad (4)$$

该传感器的标定技术借鉴了文献 [11] 中提出的 y 方向和 z 方向分开标定的方法, 为了补偿光学系统的畸变、像差、CCD 的制造误差以及电子系统的残余非线性, 使用一个三阶模型将图像坐标 r 和 c 映射到 3-D 世界坐标 y 和 z

$$\begin{bmatrix} r^3 & c^3 & r^2 c & r c^2 & r^2 & c^2 & r c & r c & 1 \end{bmatrix} \cdot M_z = z \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} r^3 & c^3 & r^2 c & r c^2 & r^2 & c^2 & r c & r c & 1 \end{bmatrix} \cdot M_y = y \quad (6)$$

式中, M 是标定矩阵, 在一系列已知的位置 (包括 y 和 z) 拍摄图像, 并提取光条中心坐标 r 和 c , 通过求该超定方程组的最小二乘解, 可以得到 M 。实际测量时只要将提取的光条中心位置分别代入 (5) 式和 (6) 式, 即可求出对应点的三维空间坐标。

扫描系统的数据处理流程如图 3 所示。

运动速度不够,无法达到最大的数据获取速度,但实验结果表明,该方案有极大的应用前景。

4 小结

提出了一种基于智能相机的高速三维信息获取传感器,介绍了智能相机的构成和功能,指出这种基于DSP的集成图像获取和处理系统在高速激光三角测量和三维信息获取方面的应用前景。在Vision Components公司的VC2038智能相机平台上,构建了高速三角测量系统。实验结果表明,其三维信息获取速度可达5600点/s。

由于被测物表面的物理特性影响,对激光三角测量的结构形式也在不断改进,进一步的工作包括研究开发其它不同结构形式的基于智能相机的高速测量系统;进一步完善测量系统的控制以及实现测量系统产业化。

参 考 文 献

- [1] WANG X J, GAO J, WANG L. Survey on the laser triangulation [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument 2004, 25(4): 601~604 (in Chinese).
- [2] WANG DM, ZHU ZhH, YANG ShD. The research and realization on profile numerical controlled profiling system [J]. Machinery & Electronics 2000(6): 50~52 (in Chinese).
- [3] ZHANG B, ZHANG R J. Research on the technology of initiation measurement and 3-D forming in engrave system [J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 1999, 21(2): 163~168 (in Chinese).
- [4] WANG P J, CHEN JH, ZHOU J *et al*. Digital profiling and manufacturing system based on laser probe [J]. China Mechanical Engineering 1998, 9(5): 45~48 (in Chinese).
- [5] DU L B, GAO XH, XIA J J *et al*. Research of a novel 3-D laser scanning system [J]. Laser Technology, 2005, 29(4): 366~369 (in Chinese).
- [6] ZOU X P, SU JY, ZHANG Q C. Methods of improving the depth resolution in optical 3-D profilometry with laser sheet [J]. Laser Technology, 2004, 28(2): 196~198 (in Chinese).
- [7] ZHANG X B, QI J, ZHANG Y *et al*. A research on the method of calibrating parameters of laser triangulation of long displacement [J]. Chinese Journal of Quantum Electronics 2002, 19(1): 74~77 (in Chinese).
- [8] LI J, WU Zh J. Laser double triangulation method measurement for 3-D surface based on image processing [J]. Laser & Infrared 2001, 31(2): 87~89 (in Chinese).
- [9] Vision Components. Document and software overview VCM sensor cameras [M]. Germany: Vision Components GmbH, Ettlingen, 2003, 4~10.
- [10] FISHER R B, VAIDY D K. A comparison of algorithms for subpixel peak detection [OL/EB]. <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/PAPERS/peaktest.ps.gz> 2005-12-09.
- [11] dePIERO FW, TRIVEDI M. 3-D computer vision using structured light: design, calibration and implementation issues [OL/EB]. http://www.ee.calpoly.edu/~fdepiero/fdepiero_publications/papers/prime_aic.pdf 2005-12-09.

(上接第 637 页)

手性液晶盒传输后的激光束变成了近似的圆偏振光。

3 结 论

从理论分析、数值计算结果和实验结果可知,由于液晶的双折射传输效果、手性液晶的旋光作用和微光束的叠加作用,通过连续改变入射激光的传输距离,楔型手性液晶盒可以有效地改变入射激光束的偏振状态,使之从初始的线偏振状态变成了不依赖偏振方向的近似圆偏振光,且同初始的入射偏振方向无关。

参 考 文 献

- [1] SHARP R C, RESLER D P. Electrically tunable liquid crystal wave plate in the infrared [J]. Opt Lett 1990, 15(1): 87~89.
- [2] MAO Ch Ch, XU M. Liquid-crystal applications in optical telecommunication [J]. SPIE, 2003, 5003: 121~129.
- [3] WANG W, LI GH, HAO D Zh *et al*. Experimental study of electric-optic effect of nematic liquid crystal [J]. Laser Technology 2004, 28(3): 275~277 (in Chinese).
- [4] KHOO IC, WU ST. Optics and nonlinear optics of liquid crystals [M]. Singapore: World Scientific, 1993, 106~108.
- [5] deGENNES P G. The physics of liquid crystals [M]. Oxford: Clarendon Press, 1974, 263~268.
- [6] CHANDRASEKHAR S. Liquid crystals [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1992, 213~215.
- [7] St JOHN W D. Bragg reflection from cholesteric liquid crystals [J]. Phys Rev, 1995, E51(2): 1191~1198.
- [8] DREHER R. Optical properties of cholesteric liquid crystals [J]. Phys Rev, 1973, A8(3): 1616~1623.
- [9] COLLINGS P J. Handbook of liquid crystal research [M]. Oxford: Oxford University Press, 1997, 29~30.