

基于单目视觉的机械手三维定位

谭 伟, 徐钦桂, 李 勇

(东莞理工学院 计算机系, 东莞 523808)

摘 要: 提出了一种利用单目视觉识别目标并且进行精确的三维定位, 用于机械手对目标的精确定位. 首先通过模板匹配的方法在图像中识别出目标并计算其中心坐标, 然后分别在相同高度和水平的四个相隔一定距离的位置上采集目标图像, 根据目标在图像中的位置变化, 结合平行双目视觉原理与小孔成像的缩放比例关系, 计算摄像头距离目标的深度距离. 该系统易搭建、成本低, 定位精度较高.

关键词: 机器视觉; 单目视觉; 机械手; 模板匹配; 定位

中图分类号: TP24

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)02-0129-03

3D Locating of Robot Manipulator Based on Monocular Vision

TAN Wei, XU Qing-gui, LI Yong

(Department of Computer Science, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China)

Abstract: An active monocular vision for 3D stereo recognition and location system is built to work on robot manipulator. First to recognize and locate the target in 2D using area-based matching, then compute the depth distance using the method which combines stenopaic imaging arithmetic and parallel two eyes visual model. Test result showed that this method can correctly recognize the object and compute the 3D location. It can achieve high rates of 3D locating.

Key words: machine vision; monocular vision; robot manipulator; template match; 3D locating

1 引言

三轴机械手在化学应用、医学化验、工业装配的众多自动化应用已经得到了广泛的使用, 但是机械手的定位精度一直制约着其使用. 目前采用的主要是三种方法: (1) 电机上安装编码器; (2) 机械臂上安装光栅尺; (3) 安装摄像头进行视觉定位. 前两种的应用具有一定的通用性, 却成本相对较高. 视觉定位主要是使用双目立体视觉, 其受立体匹配方法的约束, 具有很大的局限性.

文中提出了一种使用普通 USB 摄像头构建的单目视觉三维定位的方法. 首先运用模板匹配的方法, 在图像中识别出目标物体, 然后在相同水平与垂直位置的四个位置拍摄图像, 结合平行双目视觉与小孔成像比例缩放的原理, 计算出目标物体与摄像

机的距离. 通过机械手的实验证明, 此方法的定位精度在 XY 平面达到 0.05mm, Z 方向能达 0.5mm, 可以满足一般的机械手应用需要.

2 系统的组成及其理论根据

2.1 系统的组成

本系统是在现有的三轴机械手上搭建的单目视觉定位系统, 如图 1 所示. 摄像头是安装在 Z 轴末端, 垂直拍摄工作台. 同时 Z 轴末端还安装了一根针, 为以后测量定位精度准备.

2.2 目标识别

文中采用基于区域的模板匹配方法来识别目标物体. 它是把一幅图像中的某一点的灰度领域作为模板, 在另一幅图像中搜索具有相同(或相似)灰度值分布的对应点领域, 从而实现两幅图像的匹配. 在

收稿日期: 2010-02-06; 修回日期: 2010-04-05

基金项目: 国家“八六三”计划项目(2007AA04Z111); 东莞市科技计划项目(2007108101014)

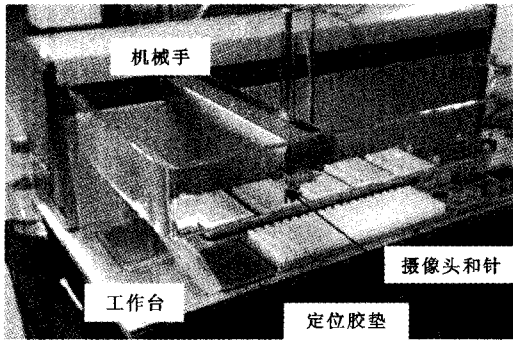


图1 机械手的单目视觉定位系统实物图

基于区域相关的算法^[1]中,要匹配的元素是固定尺寸的图像窗口,相似准则是两幅图像中窗口间的相关性度量.当搜索区域中的元素使相似性准则最大化时,则认为元素是匹配的^[2].

定义 $P(i, j)$ 是模板图像中一点,取以 $P(i, j)$ 为中心的某一邻域作为相关窗口 K , 大小为 $(2w + 1)$, 假设 K 在原始图中, 水平方向平移 Δu , 垂直方向平移 Δv 后, K 所覆盖下的那块搜索区域叫做子图 S^k , 若 K 和 S^k 相同, 则它们的差为零, 否则不为零. 由此定义 K 和 S^k 的相关函数为:

$$D(K, S^k) = \sum_{i=-w}^w \sum_{j=-w}^w [S^k(i, j) - K(i, j)]^2 \quad (1)$$

当 $D(K, S^k)$ 达到最小, K 与 S^k 达到最佳匹配. 为了使匹配精度更高, 模板匹配的时候还使用了亚像素检测技术^[3].

2.3 单目视觉的深度距离计算

2.3.1 小孔成像原理

透视投影^[4]是计算机视觉中常用的成像模型, 它可以通过针孔成像近似, 其特点是所有来自场景的光线均通过一个投影中心(对应透镜的中心).

如图2所示, AB 成像为 CD ; AB 向右移动后, A_1B_1 成像为 C_1D_1 . 物体在 AB 时的物距为 U , 相距为 V , 物体在 A_1B_1 时的物距为 U_1 , 由相似三角形关系可得:

$$\frac{CD}{C_1D_1} = \frac{U_1}{U} = \frac{U-d}{U} \quad (2)$$

物体距离镜头的远近与焦距 f 及像距无关, 只与物体移动距离及其成像大小倍数有关^[5]. 在保持镜头垂直于被测量物体时, 镜头移动后, 成像的大小及形状不变, 这样不需要校订图像之间的坐标, 只要测量物体同一方位的两个坐标的差值, 并根据测量前后移动的距离, 就能求出物体与镜头的距离.

2.3.2 平行双目视觉原理

当两个摄像头参数(摄像头的焦距 f) 相同且光

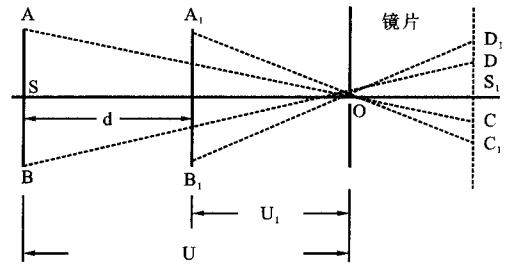


图2 小孔成像比例缩放原理图

心平行放于一条直线上, 就构成平行双目视觉系统. 通过各个部分的几何关系分析, 就能够计算出目标物体的深度距离^[6]. 图3为不考虑畸变情况下的典型的双目视觉成像模型^[7].

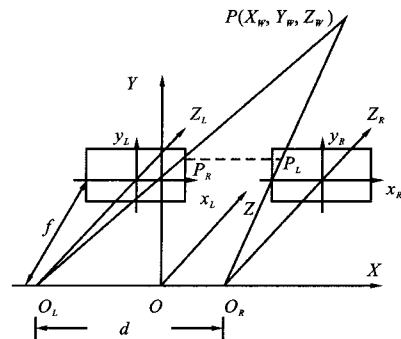


图3 双目视觉成像原理图

Z 轴与两摄像头的光轴平行, 摄像头的焦距为 f , 他们的光心距离是 d . 在图示的坐标系中, 空间点 $P(X_w, Y_w, Z_w)$ 在左右两个像平面上的投影是 $P_L(x_L, y_L)$ 和 $P_R(x_R, y_R)$, 由相似三角形关系可得^[7]:

$$Z_w = \frac{df}{x_L - x_R} \quad (3)$$

即可由该点在左右图像的投影点求得深度距离.

2.3.3 单目视觉的深度计算

由小孔成像和平行双目视觉的原理可知, 单目视觉也能够得到深度距离.

为了使单目视觉能够模拟平行双目视觉, 并消除摄像头本身的影响, 文中结合了小孔成像的比例缩放. 如图4所示, 分别在两个不同的高度上模拟平行双目视觉, 通过模板匹配找到目标物体, 以目标的中心为匹配点, 于是可得:

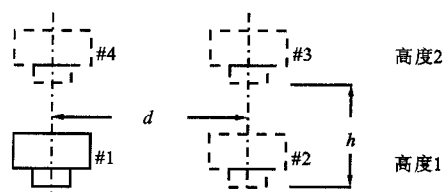


图4 单目视觉模拟双目视觉示意图

$$Z_{w1} = \frac{df}{x_{L1} - x_{R1}}$$
$$Z_{w2} = \frac{df}{x_{L2} - x_{R2}}$$

(4)

因为 $Z_{w2} = Z_{w1} + h$, 所以

$$Z_{w1} = \frac{(x_{L2} - x_{R2})h}{(x_{L1} - x_{R1}) - (x_{L2} - x_{R2})}$$

(5)

即可由目标中心点在四个图像的投影点求得深度距离。

3 实验与结果

3.1 算法实现流程

本系统采用的是普通 USB 摄像头,精度较差,因此使用前必须进行校正,采集来的图像都需要进行预处理,这主要包括摄像头的畸变校正、噪声的去除和灰度处理。算法实现流程如图 5 所示。

本系统根据摄像头的视场把机械手工作台划分成若干的区域以及相对应的拍摄位置,保证机械手在各个拍摄位置都可以整体捕捉到目标物体。机械手从初始位置开始,按顺序逐一在每个识别位置上拍摄工作台的图像,对该图像预处理后立即进行模板匹配,识别目标。如果能够找到目标,移动机械手到四个保证目标在图像中心附近的位置,就按照上面介绍的方法来计算目标的深度距离;如果没有找到目标,机械手移动到下个识别位置。

如图 5 所示,当机械手水平移动一定距离 d 后,

图像中目标的某一方向的坐标也跟着变化 $\Delta x = x_L - x_R$,因此可得图像与世界坐标的对应比例关系为 $d/\Delta x(\text{mm/pixel})^{[8]}$ 。

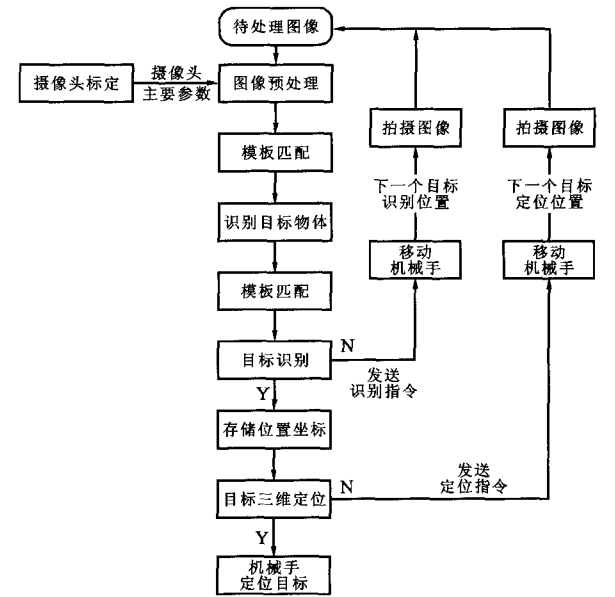


图 5 算法实现流程图

3.2 实验结果与分析

本系统的实验是在三轴机械手的末端装上一根针,工作台上固定一个红色方形胶垫,系统定位完成后控制机械手把针扎到胶垫的角点,纪录每次的位置偏差如表 1 所示。

表 1 实验数据表

	小孔成像模型				平行双目视觉模型				文中算法			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
x	0.03	0.02	0.01	-0.02	-0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	-0.01
y	0.03	0.01	0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	-0.01
z	4.8	3.9	3.4	2.5	0.9	1.9	1.8	2.1	0.5	0.4	0.3	0.1

实验结果表明,模板匹配的方法能够精确定位。第一种方法的精度主要受成像条件与图像测量精度影响,尽管使用亚像素检测技术;第二种方法除了受图像影响外,焦距偏差也会严重影响深度计算的精度;文中算法能够有效的解决前两种方法的局限性,提高深度距离的测量精度。

4 结束语

使用普通 USB 摄像头构建了基于单目视觉的机械手三维定位系统,在短距离内实现了较为精确的三维定位,并通过实验验证了运用单目测量面积

的可行性,具有广泛的实用性。同时,本系统的测量具有很好的实时性和较小的测量误差,在 XY 平面达到 0.05mm,Z 方向能达 0.5mm,如果提高实验设备性能,误差将会更小。

参考文献:

[1] Kuo S S, Chen E J, Sellikson P L, et al. Modeling continuous flow with discrete—event simulation [C]// Proc of the 2001 Winter Simulation Conference. Washington, DC, USA: IEEE, 2001: 1099—1103.

[2] 张广军. 机器视觉[M]. 北京:科学出版社,2005.

误差 σ_θ 与相位差测量误差 $\sigma_{\Delta\varphi}$ 和频率测量误差 σ_f 之间的误差传递关系为:

$$\sigma_\theta = \sqrt{\frac{1}{1 - \left(\frac{c\Delta\varphi}{2\pi Lf}\right)^2} \frac{c}{2\pi Lf} \sigma_{\Delta\varphi} + \frac{1}{1 - \left(\frac{c\Delta\varphi}{2\pi Lf}\right)^2} \frac{c\Delta\varphi}{2\pi Lf^2} \sigma_f} \quad (11)$$

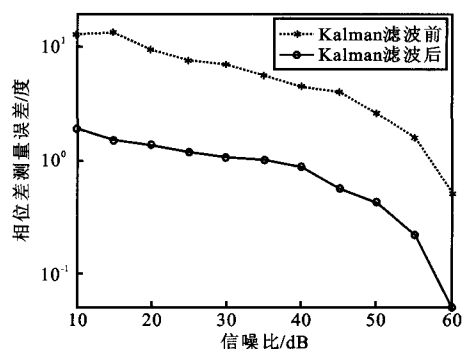


图6 Kalman滤波前后不同信噪比条件下的相位差测量误差

由于相位差测量误差和频率测量误差是相位干涉仪测向误差的主要原因,因此式(11)的误差传递关系可以粗略估计本系统的测向误差。由于从天线端输入确定信噪比的信号难以实现,因此估计系统测向误差的信噪比为AD8302输入端的信噪比。

设定 σ_f 为较大的100MHz,两天线接间距为3厘米。将圆圈连线表示的Kalman滤波后的相位差测量误差带入式(11),可以得到在只考虑相位差和频率测量误差的条件下,本相位干涉仪系统的测向精度在AD8302输入端信号信噪比为10dB时可以达到0.1度;在30dB时可以达到0.05度;在60dB时可以达到0.03度。较现有的相位干涉仪测向精度有较大提高。

6 结束语

文中提出了一种新型软硬件结合式结构的相位干涉仪系统,本系统采用AD8302直接测量射频接收

信号的相位差来替代传统的下变频结构,有效的减小了射频信号处理过程引起的相位差信息的误差。对AD8302硬件相位差测量后输出的等效电压信号数字化后采用Kalman滤波算法进行优化估计,优化效果明显,可以使电压信号的误差降至未优化前的1/10左右。本系统结构充分发挥了硬件在相位差测量方面和软件在信号处理方面的优势,二者结合提高了相位差测量精度,进而提高了相位干涉仪测向精度。

参考文献:

- [1] 单月晖,康文兴.从最近几次局部战争看无源雷达的发展[J].航天电子对抗,2004(3):30-33.
- [2] 李莉,朱伟强.数字干涉仪测向实时鉴相技术[J].航天电子对抗,2005,21(2):50-52.
- [3] 赵勇慧.提高相位干涉仪测向精度与改善测角范围的探讨[J].火控雷达技术,2002(6):34-37.
- [4] 宋长宝,竺小松.AD8302幅相测量芯片的原理与应用[J].国外电子元器件,2003(1):25-27.
- [5] 孙熙,祖峰,李夏苗.基于扩展卡尔曼滤波器的超紧耦合GPS/INS组合导航系统设计[J].微电子学与计算机,2008,25(6):22-25.
- [6] 陈刚,郭立史,洪生.最大平行结构的kalman滤波器的硬件电路设计[J].微电子学与计算机,2006,23(6):34-41.
- [7] Aurobinda Routray, Ashok Kumar Pradhan, Prahallad K. A novel kalman filter for frequency estimation of distorted signals in power systems [J]. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, 2002, 51(3): 469-479.
- [8] Huang Chienhung, Lee Chienhsing, Shih Kuangjung, et al. Frequency estimation of distorted power system signals using a robust algorithm [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2008, 23(1): 41-51.

作者简介:

孟真男,(1983-),博士研究生.研究方向为射频电路设计、系统设计与信号处理。

阎跃鹏男,(1964-),研究员.研究方向为卫星导航通讯、射频微波技术与电子系统总体设计。

(上接第131页)

- [3] 屈玉福,浦昭邦,王亚爱.视觉检测系统中亚像素边缘检测技术的对比研究[J].仪器仪表学报,2003,24(4):462-464.
- [4] 黄颖,周肇飞.机器视觉精密测量系统研究[J].光学技术,2004,30(4):491-494.
- [5] 范秋风,杨国胜,马晓燕,等.基于对应点匹配的物体深度信息测量[J].计算机应用,2006(8):1873-1874.
- [6] 罗世民,李茂西.双目视觉测量中三维坐标的求取方法研

究[J].计算机工程与设计,2006,27(19):3622-3624.

- [7] 田伟刚,郭雷,黄雷.一种应用于图像配准中的点特征匹配算法[J].微电子学与计算机,2008,25(3):51-53.
- [8] 黄华,张小锋,江泽涛.一种双目视觉的匹配模板优化方法[J].微电子学与计算机,2009,26(3):5-9.

作者简介:

谭伟男,(1974-),博士研究生,讲师.研究方向为服务计算、智能Agent、嵌入式系统。