

一种基于立体视觉的车轮中心测量方法

陈旭¹ 林国余²

摘要

在车辆尺寸参数测量系统中,车轮中心是一个很重要的过程参数,目前该参数都是由人工进行手动测量,为此提出一种基于立体视觉的车轮中心高精度测量方法.该方法以车轮钢圈作为处理对象,首先根据边缘分组算法和椭圆拟合判别算法提取出车轮钢圈的圆形特征;其次利用立体匹配算法获取车轮钢圈圆形特征上点的三维坐标;最后通过三维平面拟合、坐标转换以及平面圆拟合算法获取车轮中心的三维坐标.实验结果表明:该方法能够有效地获得车轮中心的三维坐标,为后续车辆尺寸参数的测量奠定良好基础.

关键词

立体视觉;车轮中心;尺寸测量

中图分类号 TP391.4

文献标志码 A

0 引言

对于车辆几何尺寸参数中的车轮静力半径、车轮自由半径以及车辆轴距等参数而言,车轮中心是一个很重要的过程测量参数.假设已事先获取车辆同一侧前后两个车轮的中心点的三维坐标,通过欧式距离公式即可获取车辆轴距参数;同样,假设已事先获取车辆某个车轮的中心点的三维坐标,则在车辆满载和车轮空载条件下,通过分别计算车轮中心到车辆支承平面的距离,即可获取车轮的静力半径和自由半径.假设轮胎的外廓形状是标准的圆形^[1-2],本文认为车轮中心即为轮胎圆形轮廓的中心.由于假设车轮轮廓形状呈圆形,因此文献中提到的车轮中心测量算法多采用基于 Hough 变换^[3]的圆检测算法,比如,文献[1-2]首先采用基于 Hough 变换的圆检测算法对轮胎外廓形状进行圆形特征提取,然后通过拟合圆方程从而获得车轮中心,进而获取中心点的三维坐标.在实际测量过程中采用 Hough 圆检测算法对车轮进行圆特征检测存在如下不足.

首先,利用 Hough 圆检测算法对车轮圆形轮廓特征进行检测有两个重要的前提条件,即:1)被测车轮的圆形轮廓所在平面必须平行于相机的成像面;2)被测车轮的圆形轮廓中心和相机中心的连线必须垂直于相机的成像面.只有在满足上述2个条件的前提下,才能保证车轮的圆形轮廓在相机成像面上所成的像是标准的圆形.文献[1-2]中就采用了基于视觉伺服的方式来保证相机在拍摄过程完全或近似正对车轮,从而达到提高 Hough 圆检测算法精度的目的,但是在实际车辆几何尺寸参数测量过程中,由于司机驾驶车辆自行上下车辆支承平台,且采用视觉伺服方式无法从根本上保证测量时车轮和相机满足上述2个前提条件,因此车轮的圆形轮廓在相机成像面上往往表现为类似椭圆特征.

其次,由于车轮胎面具有一定宽度,当相机无法正对车轮时,轮胎胎面使得图像上可能出现多个圆形边缘,从而造成 Hough 检测失败.

最后,轮胎往往由于车辆负载而发生变形,此时图像中车轮外廓形状会发生改变,不再是圆形.

基于上述原因,如果直接采用 Hough 圆检测算法对轮胎轮廓进行检测,则获得的圆形特征可能完全偏离实际车轮的轮廓形状,由此获得的车轮中心位置也是完全错误的.本文拍摄了几幅车轮图像,并

收稿日期 2010-06-07

资助项目 南京信息工程大学科研基金(2008-0307);江苏省交通厅项目(7622000008)

作者简介

陈旭,女,博士,副教授,主要研究检测技术与仪器. sonia.chen@163.com

1 南京信息工程大学 信息与控制学院,南京,210044

2 东南大学 仪器科学与工程学院,南京,210096

按照 Hough 圆检测算法对其进行圆特征提取,得到的结果如图 1 所示,其中白色圆形曲线表示对图像进行边缘提取后,利用 Hough 圆检测算法获得的结果。

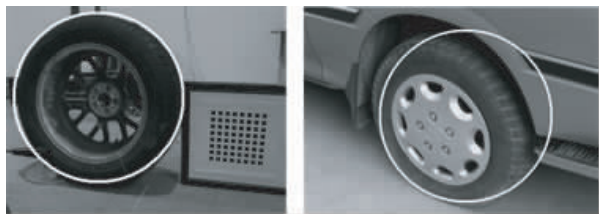


图 1 利用 Hough 圆检测算法对车轮进行检测

Fig. 1 Wheel detection with algorithm of Hough circle detection

从图 1 可以看到,采用 Hough 圆检测算法无法准确提取出轮胎的圆形外廓特征,也就无法获得正确的车轮中心.为此,本文提出一种基于立体视觉的车轮中心测量方法,该方法以车轮钢圈作为处理对象,首先根据边缘分组算法和椭圆拟合判别算法提取出车轮钢圈的圆形特征,其次利用立体匹配算法对车轮钢圈圆形特征进行三维重建,最后通过平面拟合、坐标转换以及平面圆拟合等算法获取车轮中心的三维坐标.实验过程中本文对模拟圆图像以及实际车轮图像进行测试和比较,获得理想的结果。

1 椭圆自动提取算法

1.1 车轮中心区域确定

实验过程中对多种类型车辆的轮胎进行了观察和分析,发现多数车辆的轮胎钢圈,都存在较为明显的圆形特征,图 2 列出了轮胎钢圈图像。

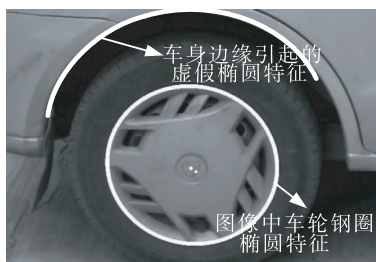


图 2 轮胎钢圈以及虚假椭圆特征

Fig. 2 Characteristics of tyre rim ellipse and hull rim imaginary ellipse

从图 2 中可以看出轮胎钢圈具有如下特点:

- 1) 圆形特征明显,利用图像处理方法可以很容易检测到圆形特征;
- 2) 这些圆形特征受到位置因素影响较小,从不

同视角拍摄的图像中,这些圆形特征只会变成椭圆形状,不会发生其他变形,利于后续图像处理;

3) 在安装良好的情况下,轮胎钢圈的圆形特征中心可以认为就是车轮中心。

可见,利用轮胎钢圈的圆特征作为检测对象,要比直接采用整个车轮作为检测对象更具优势,特征更为明显,更适合作为实际测量的处理对象.因此本文通过对轮胎钢圈圆形特征的检测,进而实现对车轮中心的测量。

1.2 基于边缘点的椭圆参数拟合算法

实际情况中,轮胎钢圈的圆形特征在图像中以椭圆特征表现出来,故本文采用了椭圆参数拟合算法对椭圆特征进行提取.由于椭圆属于二次曲线的一种,因此本文使用二次曲线方程来表示椭圆方程,二次曲线方程可表示为

$$A'x^2 + 2B'xy + C'y^2 + 2D'x + 2E'y + F = 0. \quad (1)$$

式(1)中: (x, y) 为椭圆上点的像素坐标; A', B', C', D', E', F' 分别是二次曲线方程的参数.若 A', B', C' 满足式(2)的不等式,则认为该二次曲线方程表示椭圆方程。

$$B'^2 - A'C' < 0. \quad (2)$$

为了后续拟合计算方便,本文对式(1)进行归一化处理,并利用图像中椭圆边缘离散数据构造如下的方程组:

$$\begin{bmatrix} x_1^2 & x_1y_1 & y_1^2 & x_1 & y_1 \\ x_2^2 & x_2y_2 & y_2^2 & x_2 & y_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_i^2 & x_iy_i & y_i^2 & x_i & y_i \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n^2 & x_ny_n & y_n^2 & x_n & y_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

式(3)中: (x_i, y_i) 表示图像中椭圆特征上边缘点的二维图像坐标; n 为椭圆特征边缘点的数量; A, B, C, D, E 表示归一化后的椭圆曲线方程参数.式(3)中的每一个方程均表示一个椭圆方程,在上述方程组中,实际方程数目多于待求未知数的数目,所以式(3)表示一个超定方程组.本文采用奇异值分解(SVD)技术^[4]的线性最小二乘算法求解椭圆参数,进而获得椭圆的各个参量,包括椭圆几何中心、长轴、短轴等参数。

1.3 噪声背景下的椭圆自动提取算法

由于测量现场环境复杂且车辆类型多样,拍摄的图像中可能存在较大的噪声和易混淆的椭圆特

征^[5],因此必须对图像进行预处理,初步提取出可能的椭圆特征边缘,以便于后续检测,本文采用如下的预处理步骤:

- 1) 对待测量的图像进行高斯平滑,去除图像生成过程中产生的高斯噪声;
- 2) 对平滑后图像进行 Canny 算法提取二值化边缘图像;
- 3) 跟踪边缘图像中每条连续边缘,得到连续边缘上像素点的数量,记为 n_i ;
- 4) 如果 n_i 小于一定的阈值,说明该边缘属于噪声,则将其从边缘图像中删除,否则予以保留。

在预处理后的边缘图像中,利用前文所述的椭圆参数拟合算法分别对各段连续边缘 l_i 进行椭圆拟合,可以获得和连续边缘 l_i 相对应的椭圆拟合参数 P_i . 该椭圆参数集合中包含由椭圆特征边缘点拟合获得的椭圆参数以及由错误特征边缘点拟合获得的椭圆参数,因此必须通过一定的判别准则对其进行选择. 通过对实际测量图像的分析和对椭圆性质的研究,本文认为测量图像中目标钢圈椭圆特征应该具有如下特征.

1) 对于椭圆而言,椭圆上点到 2 个焦点的距离之和等于一个常数(该常数等于椭圆长轴值),假设拟合椭圆的 2 个焦点为 F_1 和 F_2 ,长半轴等于 a ,则椭圆上的点 p 应满足如下等式:

$$|pF_1| + |pF_2| - 2a = v_i. \quad (4)$$

其中, v_i 为残差,对于椭圆特征而言,残差 v_i 应等于 0. 因此可以推导如下式子:

$$Err = \sum v_i/n. \quad (5)$$

式(5)中 Err 表示参与椭圆拟合的边缘点的残差平均值. 对于不属于椭圆特征的连续边缘而言, Err 值较大;而对于属于椭圆特征的连续边缘而言, Err 相对会较小;

2) 钢圈椭圆特征的长半轴和短半轴长度必须在一定的阈值范围内.

根据上述两个特征可以从图像中提取出正确的椭圆特征. 然而在实际测量过程中发现有时候会提取出多个椭圆特征,造成该问题的因素主要有 2 个: 一个是在预处理过程中,由于光照不足、边缘模糊等因素造成目标椭圆边缘出现断裂,使得一个完整的椭圆目标边缘分裂成两条甚至多条弧线;另一个是背景中可能存在和目标椭圆特征类似的伪椭圆边缘,常见情况是轮胎附近的车身挡板上椭圆形特征(图 2). 因此,还需要对获得的椭圆参数进行进一步

分类处理.

假设此时获得的椭圆参数集合为 P_i ,以第 1 个椭圆参数 P_0 为基准,遍历椭圆参数集合中所有的 P_i ,如果某一拟合椭圆参数中的各个参数与 P_0 中的各个参数相差不大,则认为它们属于同一个椭圆特征,将它们归为一类,并标记该椭圆特征,这样可以找到所有和 P_0 类似的椭圆参数. 遍历所有未标记的椭圆参数,按照上述方法可以对不同椭圆参数进行分类.

如果获得的分类数目为 1,则表示这些椭圆参数同属于一个椭圆特征,则将这些椭圆参数所对应的边缘特征点归为一类,重新拟合椭圆参数,并将其作为轮胎钢圈的椭圆参数;如果获得的分类数目大于 1,表示此时测量图像中存在多个椭圆特征. 从实际测量图像上看,这往往是由于车轮附近的车身挡板边缘形状也存在较明显的椭圆特征造成的,尤其在被测车辆的车身颜色为浅色的情况下,这种特征尤其明显,如图 2 所示,这些伪椭圆特征经过上述图像处理后被提取出来,并认为是目标椭圆特征.

在这种情况下,必须加入其他判别措施,本文采用一种基于经验的颜色判别方法^[6]. 其依据如下:对于大多数车轮而言,轮胎钢圈的颜色往往为浅色,因此在图像中表现为灰度值较高,而轮胎颜色往往为黑色,在图像中表现为灰度值较低. 基于该经验,可以在提取获得的椭圆特征附近一定区域内进行阈值分割,得到二值化图像,此时车轮钢圈附近的区域具有如下特点:

- 1) 在拟合椭圆特征区域内,由于钢圈灰度值较高,因此二值化图像中该椭圆区域内的大部分像素的灰度值等于 255;
- 2) 在拟合椭圆特征区域外的一定范围内,由于轮胎灰度值较低,因此二值化图像中该区域大部分像素的灰度值等于 0.

依照上述判别准则,即可很好地剔除虚假的椭圆特征,获得图像中车轮钢圈的椭圆特征.

2 车轮中心三维坐标精确测量算法

2.1 车轮中心三维坐标测量误差分析

通过上述算法可以获得左右图像中轮胎钢圈椭圆特征的椭圆拟合参数,在理想的情况下,左右两幅图像上的椭圆特征是相互对应的,它们是空间圆形特征在摄像机成像平面上的准确投影. 为了获取空间圆形特征中心的三维坐标,文献[7]认为左右图像

平面上椭圆特征曲线的中心构成一对匹配点,根据点的三维重建算法即可得到轮胎钢圈中心的三维坐标,即车轮中心的三维坐标.然而实际测量中,该方法获得的的车轮中心三维坐标,实际上只是对真实车轮中心空间坐标的一种近似,存在一定的误差和不确定性,而这是由所采用的摄像机模型所造成的.基于小孔模型的摄像机模型是一种透视投影变换模型,透视投影对于圆形特征而言,并不是一种保形变换,只有当空间圆所在的平面和摄像机成像平面平行时,由上述方法恢复得到的空间圆圆心才是真实准确的,如果空间圆所在平面和摄像机成像平面不满足平行关系,则图像中椭圆曲线中心点同空间圆中心在摄像机成像平面上的实际成像点之间并不完全对应,如果不考虑两者之间的区别,必然会引起后续测量的误差^[8-9].

为了能够进一步提高车轮中心的定位精度,本文根据空间解析几何原理,通过数学推导,提出一套完整的车轮中心三维坐标精确测量算法,有效地提高了测量精度.

2.2 车轮中心精确定位算法

假设通过上述轮胎钢圈椭圆特征提取算法^[10-12],获得左、右相机拍摄的轮胎钢圈边缘上点的图像坐标,记为 p_{1i} 和 p_{2i} ,由于相机事先已经标定,通过外极线约束、左右序一致约束和三维重构算法可以获得轮胎钢圈圆形特征上点的三维坐标,记为 $P_{1i} = [X_{1i}, Y_{1i}, Z_{1i}]^T$,则车轮中心三维坐标的具体测量算法如下.

首先,由于轮胎钢圈圆形特征可以近似认为位于某个空间平面上,因此可以对特征三维点 P_{1i} 进行空间平面拟合,并获得归一化后的平面参数 $[A, B, C, 1]$,将该拟合平面记为 L_0 .

其次,将轮胎钢圈圆形特征上的点 P_{1i} 投影到该拟合平面上,并获取投影点三维坐标.假设 $P_{2i} = [X_{2i}, Y_{2i}, Z_{2i}]^T$ 是 P_{1i} 在拟合平面上投影点的坐标,为了计算投影点 P_{2i} 的坐标,根据解析几何理论可知, P_{1i} 和 P_{2i} 两点之间的向量与拟合平面的法向量平行,即满足如下等式:

$$\begin{cases} X_{2i} = X_{1i} + At, \\ Y_{2i} = Y_{1i} + Bt, \\ Z_{2i} = Z_{1i} + Ct. \end{cases} \quad (6)$$

其中, t 表示直线标准方程中的等公比,因此式(6)表示由空间点 P_{1i} 和 P_{2i} 所构成空间直线的参数方

程.此外由于 P_{2i} 位于拟合平面上,因此同时满足:

$$AX_{2i} + BY_{2i} + CZ_{2i} + 1 = 0. \quad (7)$$

联合式(6)和式(7)即可获得参数 t ,再代入式(6)即可获得投影点 P_{2i} 的三维坐标.

再次,由于 P_{2i} 在拟合平面 L_0 上,因此在拟合平面内进行圆拟合.由空间解析几何可知,空间平面曲线可表示为两个不同空间曲面的交线,无法用固定的解析公式表示,因此也就无法根据解析公式直接拟合空间圆的方程.本文提出一种间接获取空间圆中心的方法,该方法在空间拟合平面上构建一个新坐标系 $O'X'Y'Z'$,在新坐标系下,拟合平面上所有点的 Z 坐标为0,即 $Z' = 0$,构建新坐标系的步骤如下.

1) 计算过拟合平面 L_0 上某点且和拟合平面 L_0 相互垂直的某个平面 L_1 的平面方程.假设平面 L_1 的平面法向量为 $[A_1, B_1, C_1, D_1]$,本文设置 $A_1 = -A, B_1 = 2B$,同时在拟合平面 L_0 上取某空间点 $p_i = [X_0, Y_0, Z_0]^T$,根据空间平面相互垂直关系和空间平面的点法式方程,可得平面 L_1 的平面方程参数为:

$$\begin{cases} A_1 = -A, \\ B_1 = 2 \times B, \\ C_1 = -(A \times A_1 + B \times B_1) / C, \\ D_1 = -(A_1 \times X_0 + B_1 \times Y_0 + C_1 \times Z_0). \end{cases} \quad (8)$$

2) 计算与拟合平面 L_0 以及平面 L_1 都垂直的某个平面 L_2 的平面方程.假设平面 L_2 的平面法向量为 $[A_2, B_2, C_2, D_2]$,且平面 L_2 也通过点 $p_i = [X_0, Y_0, Z_0]^T$,则根据空间平面相互垂直关系和平面的点法式方程,可得平面 L_2 的平面方程参数为

$$\begin{cases} A_2 = B \times C_1 - C \times B_1, \\ B_2 = C \times A_1 - A \times C_1, \\ C_2 = A \times B_1 - B \times A_1, \\ D_2 = -(A_2 \times X_0 + B_2 \times Y_0 + C_2 \times Z_0). \end{cases} \quad (9)$$

3) 根据上面步骤获取拟合平面 L_0 、平面 L_1 和平面 L_2 的平面方程参数后,可创建新的坐标系 $O'X'Y'Z'$,将拟合平面 L_0 作为 $O'X'Y'$ 平面,平面 L_1 作为 $O'X'Z'$ 平面,平面 L_2 作为 $O'Y'Z'$ 平面,这三个相互垂直的空间平面之间的两两交线构成了 X' 、 Y' 、 Z' 坐标轴,且 p_i 就是该坐标轴的原点.由于投影点 P_{2i} 在 $O'X'Y'$ 平面中,因此通过一定的转换关系可以将 $OXYZ$ 坐标系下 P_{2i} 的三维坐标转换为 $O'X'Y'$ 平面坐标系下的平面坐标.假设 $O'X'Y'$ 平面坐标系下点的平面坐标为 (x_0', y_0') ,则通过空间解析几何理论可知,投影点 P_{2i} 到 $O'X'Z'$ 平面的距离构成了新坐标系

下 $O'X'Y'$ 平面的 y 轴坐标, 投影点 P_{2i} 到 $O'Y'Z'$ 平面的距离构成了新坐标系下 $O'X'Y'$ 平面的 x 轴坐标, 具体计算公式为

$$\begin{cases} x'_i = \frac{A_2 X_{2i} + B_2 Y_{2i} + C_2 Z_{2i} + D_2}{\sqrt{A_2^2 + B_2^2 + C_2^2}}, \\ y'_i = \frac{A_1 X_{2i} + B_1 Y_{2i} + C_1 Z_{2i} + D_1}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2 + C_1^2}}. \end{cases} \quad (10)$$

这样即将轮胎钢圈圆形特征上点 P_{1i} (在 $OXYZ$ 坐标系下) 转化为 $O'X'Y'$ 平面下的平面坐标 P_{3i} , 此时由平面点 P_{3i} 所构成的特征曲线真实地表现出轮胎钢圈的圆形特征, 因此可在 $O'X'Y'$ 平面中进行圆特征曲线拟合, 进而获取 $O'X'Y'$ 平面中圆的圆心二维坐标, 记为 $\mathbf{O}_c' = [x_c', y_c']^T$.

最后, 将平面上的圆心 O' 重新转换为 $OXYZ$ 坐标系下的三维坐标表示. 由于 $O'X'Y'Z'$ 坐标系中的 $O'Y'Z'$, $O'X'Z'$ 和 $O'X'Y'$ 平面的法向量已知 (在 $OXYZ$ 坐标系下表示), 分别为 $\mathbf{n}_1 = [A_1, B_1, C_1]^T$, $\mathbf{n}_2 = [A_2, B_2, C_2]^T$ 和 $\mathbf{n}_3 = [A, B, C]^T$, 因此可以获得其基本向量分别为

$$\begin{aligned} \frac{\mathbf{n}_1}{|\mathbf{n}_1|} &= [A'_2, B'_2, C'_2]^T, \\ \frac{\mathbf{n}_2}{|\mathbf{n}_2|} &= [A'_1, B'_1, C'_1]^T, \\ \frac{\mathbf{n}_3}{|\mathbf{n}_3|} &= [A', B', C']^T. \end{aligned} \quad (11)$$

根据空间解析几何原理, 可以由

$$\begin{aligned} X_c &= A'_2 x_c + A'_1 y_c + X_0, \\ Y_c &= B'_2 x_c + B'_1 y_c + Y_0, \\ Z_c &= C'_2 x_c + C'_1 y_c + Z_0 \end{aligned} \quad (12)$$

获得轮胎钢圈圆形特征中心的三维坐标 $\mathbf{O}_c = [X_c, Y_c, Z_c]^T$.

3 实验

为了验证本论文所提出的算法的有效性, 本文

设计了 2 组实验. 第 1 组实验, 采用电脑模拟的空间圆图像作为目标进行试验, 部分模拟空间圆图像如图 3 所示, 模拟空间圆图像的真实圆心用十字标出; 另一组采用实际的车轮图像进行实验.



图 3 实验中采用的模拟空间圆图像

Fig. 3 Images of dimensional circle in experiment

3.1 模拟空间圆的圆心提取实验

对于每一组图像, 本文从 5 个不同视角按照先标定再拍摄的测量顺序, 分别利用椭圆拟合曲线的中心计算空间圆圆心的方法以及本文算法提取空间圆圆心的三维坐标. 表 1 列出了采用这 2 种方法对模拟空间圆图像进行测量所获得的空间圆圆心三维坐标以及与真实圆心之间的误差.

表 1 中模拟圆圆心的真实三维坐标是通过对模拟圆图像中的圆心十字架交点进行三维重建后计算获得, 本文认为该三维坐标代表着空间圆圆心的真实三维坐标. 从表 1 中可以看出, 由于图像处理和三维重建等过程中的误差使本文方法获得的圆心和真实圆心相比仍然存在着一一定的误差, 但是相对于由拟合椭圆曲线中心获得圆心算法, 本文方法获得的圆心精度更高, 更接近于真实空间圆圆心. 因此本论文采用该方法获取车轮的中心, 并将其用于后续其它参数的计算.

3.2 轮胎钢圈中心提取实验

图 4 列出了实验中某些车轮的钢圈圆形特征以及钢圈中心检测结果, 其中钢圈中心附近的 2 个点分别表示图像中钢圈拟合椭圆中心以及钢圈中心三维坐标经过重投影后在图像上的成像点. 从图 4 中可以看出本文提出的算法确实很好地反映出轮胎钢

表 1 两种方法获取空间圆圆心方法的试验

Table 1 Dimensional circle center detection with two different algorithms

mm

视角	空间圆圆心真实三维坐标			本文算法				拟合椭圆中心获取空间圆圆心			
				三维坐标		误差		三维坐标		误差	
1	207.42	54.43	136.04	206.29	55.77	136.93	1.965 9	203.99	50.74	131.97	6.476 6
2	151.88	33.45	87.29	150.87	32.21	89.61	2.341 3	150.87	30.21	89.61	4.110 9
3	357.79	40.15	278.68	355.87	39.82	281.12	3.281 0	362.36	45.15	283.66	8.527 4
4	97.85	87.87	200.41	99.22	87.49	202.49	2.519 5	100.22	89.49	203.29	4.066 4
5	190.04	51.85	170.07	191.51	49.15	171.97	3.613 9	186.71	46.11	166.39	7.588 1

圈的圆形特征,并且可以较为准确地获得车轮中心.此外,本文利用测量车轮静力半径和车辆轴距的方法间接验证轮胎钢圈中心的定位精度.表2和表3列出了车轮轴距参数和车轮静力半径的测量值.



图4 部分车轮的钢圈圆形特征以及钢圈中心检测结果

Fig.4 circular characters and centers of some tyre rims

表2 丰田 VIOS 汽车轴距参数测量数据

Table 2 Measurement results of Toyota VIOS wheelbase mm

右前轮圆心	左前轮圆心	轴距值	手工测量值
315.921 6	360.903 2		
142.853 0	155.219 6	2 506.559 2	2 503
-1 129.764 6	1 376.360 4		

表3 VIOS 汽车4个车轮的半径测量数据

Table 3 Measurement results of VIOS wheel radius mm

测量方法	右前轮	右后轮	左前轮	左后轮
本论文方法 平均测量值	267.3	283.8	265.3	283.5
人工测量值	265.9	282.5	267.7	281.6

从表2和表3中可以看出,根据本文提出方法获得的轮胎中心测量获得的轮距值和车轮静力半径值较之于手工测量值而言,绝对误差在2 mm左右.考虑到整个立体视觉测量系统中,包括靶标、相机标定以及三维点恢复都存在一定误差,因此可以认为本文提出的车轮中心测量方法具有较高精度.

4 结论

为了准确获取车轮中心三维坐标,本文提出一种基于立体视觉的车轮中心高精度测量方法.该方法以轮胎钢圈作为处理对象,首先根据边缘分组算法和椭圆拟合判别算法提取出车轮钢圈的圆形特征;其次利用立体匹配算法获取车轮钢圈圆形特征上点的三维坐标;最后通过三维平面拟合、坐标转换以及平面圆拟合算法获取车轮中心的三维坐标.实验结果表明:该方法能够有效地获得车轮中心的三维坐标,为后续车辆几何尺寸参数的测量奠定了良好的基础.此外,通过再投影方法,该方法还可以准确获取空间圆或椭圆的参数,具有一定实用性^[13].

参考文献

References

- [1] 卞小东. 基于机器视觉的车辆几何尺寸测量系统研究[D]. 南京:东南大学仪器科学与工程学院,2005
BIAN Xiaodong. Research on vehicle dimensions measuring system based on machine vision[D]. Nanjing: Dept. of Instrument Science and Engineering, Southeast University, 2005
- [2] 苏建,翟乃斌,刘玉梅,等. 汽车整车尺寸机器视觉测量系统的研究[J]. 公路交通科技,2007,24(4): 145-149
SU Jian, ZHAI Naibin, LIU Yumei, et al. Research on vehicle dimensional measurement based on machine vision[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24(4): 145-149
- [3] Risse T. Hough transform for line recognition; complexity of evidence accumulation and cluster detection[J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1989, 46(3): 327-345
- [4] Alter O, Brown P O, Botstein D. Singular value decomposition for genome-wide expression data processing and modeling[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2000, 97(18), 10101-10106
- [5] 魏崑,孙长库,张效栋,等. 车轮定位参数的线激光非接触方法研究[J]. 光电子·激光,2004,15(12): 1479-1482
WEI Wei, SUN Changku, ZHANG Xiaodong, et al. Study on non-contact measurement method based on line-structured laser for vehicle wheel alignment parameters[J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2004, 15(12): 1479-1482
- [6] 孙长库,王志雄,张效栋,等. 激光视觉车轮定位系统中胎冠3D坐标的求取[J]. 光电子·激光,2002,13(9): 959-961
SUN Changku, WANG Zhixiong, ZHANG Xiaodong, et al. 3D measurement method for the tire tip in the laser vision alignment system for automobile wheels[J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2002, 13(9): 959-961
- [7] Zhang Z Y. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330-1334
- [8] 魏振忠,张广军. 视觉检测中椭圆中心成像畸变误差模型研究[J]. 北京航空航天大学学报,2003,29(2): 140-143
WEI Zhenzhong, ZHANG Guangjun. Distortion error model of image of ellipse center in 3D visual inspection[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2003, 29(2): 140-143
- [9] 魏振忠,张广军. 透视投影变换中椭圆中心畸变误差模型及其仿真研究[J]. 仪器仪表学报,2003,24(2): 160-164
WEI Zhenzhong, ZHANG Guangjun. A distortion error model of the perspective projection of ellipse center and

- its simulation [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2003, 24(2):160-164
- [10] Feng J F, Shi Q Y, Chen M D. New approach for quadric curves based stereo [C] // Proceedings of SPIE on Vision Geometry IV, 1995, 2573:190-195
- [11] 周富强, 张广军, 江洁. 空间圆几何参数的非接触高精度测量方法[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(5):604-607
ZHOU Fuqiang, ZHANG Guangjun, JIANG Jie. High accurate non-contact method for measuring geometric parameters of spatial circle[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2004, 25(5):604-607
- [12] Ma S D. Conics-based stereo motion estimation and pose determination [J]. International Journal of Computer Vision, 1993, 10(1):7-25
- [13] 胡兴军, 唐向阳, 张勇. 机器视觉技术及其在汽车制造质量检测中的应用 [J]. 现代零部件, 2005(11):96-100
HU Xingjun, TANG Xiangyang, ZHANG Yong. Machine vision technology and its application in quality inspection of automobile production [J]. Modern Components, 2005(11):96-100

A wheel center measurement method based on stereo vision

CHEN Xu¹ LIN Guoyu²

1 School of Information and Cybernetics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 School of Instrument Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096

Abstract As an important dimensional parameter, wheel center is always measured manually, therefore a high precision measurement method based on stereo vision is proposed in this paper. The edge grouped algorithm and ellipse fitting algorithm are applied to extract the circle shape of the steel ring, then the subsection stereo matching algorithm is used to acquire the 3D coordinate of interest points in the circle shape. Finally through the 3D plane fitting algorithm, coordinate transformation algorithm and circle fitting algorithm, the 3D coordinate of the wheel center is calculated. Measurement experiment results show that the method can acquire the 3D coordinate of the wheel center efficiently, thus lay a foundation for other vehicle parameter measurement.

Key words stereo vision; wheel center; dimension measurement