

# 基于机器视觉的全自动换电机器人定位系统<sup>①</sup>

燕小强<sup>1</sup>, 罗 华<sup>1</sup>, 林洪怡<sup>1</sup>, 李汉舟<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(航天科技集团第九研究院 第十六研究所, 西安 710100)

<sup>2</sup>(西北工业大学 自动化学院, 西安 710072)

**摘 要:** 全自动换电机器人代替人工, 实现了电动汽车内电池的自动更换。其定位系统解决了电动汽车停放随机性导致的电池定位难题, 是换电机器人成功换电池的关键。该定位系统以机器视觉技术为基础, 通过单目相机拍照, 获取电池的姿态信息, 实现了对电池的精确定位。介绍了全自动换电机器人视觉定位系统的设计方案、组成及工作步骤, 并通过实验证明该系统具有较高的精度和准确性, 安全可靠。

**关键词:** 机器视觉; 换电; 定位

## Location System of Full-automatic Replacing Batteries Robot Based on Machine Vision

YAN Xiao-Qiang<sup>1</sup>, LUO Hua<sup>1</sup>, LIN Hong-Yi<sup>1</sup>, LI Han-Zhou<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(The 16th Institute, China Aerospace Science and Technology Corporation, Xi'an 710100, China)

<sup>2</sup>(College of Automation, Northwest Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** The full-automatic replacing batteries robot instead of human, can automatically replace the batteries in the Electric Vehicles (EV). The positioning system, which solves the problem of the battery localization due to the EV's random position, is the key of replacing the batteries successfully for a full-automatic robot. The positioning system utilizes monocular camera to get the pose information of batteries, and achieves the goal of accurate positioning for the batteries. In this paper, we introduce the design proposal, constitution and working procedures of vision location system of the full-automatic replacing batteries robot. Experimental results validate that our proposed system works with high accuracy, robustness and safety.

**Key words:** machine vision; battery-replacing; battery location

## 1 引言

随着当今社会对于降低能源消耗和减少环境污染的要求不断提高, 发展新能源汽车已经成为世界各国保证能源安全的重要战略趋势。新能源汽车包括混合动力汽车(FCEV)、纯电动汽车(BEV)、燃料电池电动汽车(PCEV)以及其它新能源汽车等。在我国, 国家863计划提出将新一代电动汽车技术作为汽车科技创新的主攻方向。纯电动汽车具有噪音小, 行驶稳定性高, 零排放等优点, 已在全国许多城市投入使用。电动汽车的电池尺寸和重量都较大, 靠人工换电不仅耗费效率低, 还存在人身安全问题, 为避免电池的换电环节成为阻碍电动汽车产业普及和推广的因素, 需要利用专门的电池更换设备, 取代人力, 自动为电动汽

车更换电池。航天16所研制的电动汽车全自动换电机器人在无人值守的情况下, 将电动汽车耗尽的电池组更换为充换电站内已充满电的电池组, 实现了电动汽车电池的全自动更换。

由于电动公交车每次停放时的位置不可避免的存在差异, 要实现蓄电池的自动更换, 首先需要解决目标的位姿测量问题。事实上, 在包括航空航天、工业制造、手术医学、测控测绘等众多领域之中都面临着如何准确快速地测定目标物体的空间位置和空间姿态这一问题, 因此这一问题有着非常重要的研究价值。目前常用的位姿测量方法有基于磁场的方法<sup>[1]</sup>和基于机器视觉的方法<sup>[2,3]</sup>两种。与基于磁场的位姿测量方法相比, 基于机器视觉的位姿测量方法无论在应用领域的广泛

① 收稿时间:2015-01-08;收到修改稿时间:2015-03-09

性还是操作的简便性上都有着显而易见的优势,因此受到国内外学者的广泛关注.

将机器视觉定位技术成功应用于换电机器人中,解决了电动汽车进入换电站时因电动汽车停放的随机性所导致的电池定位难题.全自动换电机器人开始工作后,视觉定位系统通过 CCD 拍照处理来获取精确的电池坐标位置信息,使机器人可以快速准确的完成电池的更换,大大减少了换电时间,提高了换电的安全性和可靠性.图 1 为换电机器人实物图.

全自动换电机器人视觉定位系统,利用俯视加侧视相机拍照,通过标定、图像处理、定位、计算等步骤对电动汽车内电池进行三维重构,获取电池的空间三维坐标和偏转方位角,从而实现对任意停放的电动汽车内电池的精确定位功能.



图 1 换电机器人系统实物图

## 2 系统原理

### 2.1 问题描述

电动汽车的蓄电池箱位于车辆后备箱处,电池入口宽 282.5mm、高 220mm,在装入电池时,两侧空隙少于 5mm,因此需要对电池的空间位姿进行较为准确的定位计算.

通常情况下,需要 6 个分量(3 维平移向量和三个角度分量)来描述一个目标的空间位姿,但在电动汽车换电的实际问题中,可以近似的认为蓄电池底部与地面保持水平,这样只要计算出电池中心点的三维坐标  $(x, y, z)$  以及平行地面方向上的旋转角  $\theta$  即可完成对电池的定位.

### 2.2 方案设计

由电动汽车全自动换电机器人系统设计图(图 3)

可以看出,电动汽车停车区域较大,停车时角度不定,如果将拍摄电池的相机位置固定,则无法保证电池出现在相机的视野范围内,因此相机的拍摄位置必须随汽车的停放位置做相应调整.通过对现场环境分析考虑,最终确定利用俯视加侧视三维重构视觉定位方案.

具体实施:在汽车停放区域的中心线(X 方向)上方固定一台相机,用来拍摄电动汽车,通过对汽车顶部图像特征的分析,获取电动汽车的偏转角度  $\theta$  和车顶标志点  $x$ 、 $y$  方向的坐标,此时可获知电动汽车内电池  $x$  的坐标范围和  $y$  的准确值;将侧视相机安装在换电机器人的换电机构上,调整偏转角度并移动到电池后方,对电池进行拍照,通过对电池图片中 Mark 点的检测与分析,获取电池中心点在  $x$ 、 $z$  方向的位置坐标,与标准取电位的坐标进行比较,调整偏差量,从而得到换电机器人更换电池的准确坐标.

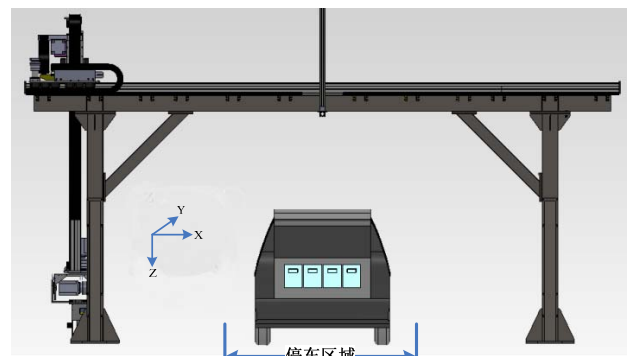


图 2 换电机器人系统设计图

### 2.3 核心技术

为了从图片中提取感兴趣的特征信息,需要对图像做一系列处理,从而使图像特定特征突出明显,易于检测.在视觉定位系统中为获取电池的 MARK 点位置,主要对图像做以下处理:

#### 1) 图像增强

图像增强主要用来改善图像的视觉质量.根据图像的模糊情况和应用范围不同,对于一幅给定的图像,可以采用特定的图像增强手段使得图像中某些我们感兴趣的信息更加容易获取,同时对其他不感兴趣的信息部分进行弱化或隐藏<sup>[4]</sup>.

本系统采用二维中值滤波器对图像进行增强.中值滤波的原理是把序列(Sequence)或数字图像(digital image)中一点的值.用该点邻域中各点值的中值来替代.二维中值滤波器的定义如下:

设窗口  $A$  的尺寸为  $N = (2k + 1)(2k + 1)$ , 二维信号  $x_{ij}, (i, j) \in Z^2$  是中心位置  $(i, j)$  的邻域, 则二维中值滤波器的输出定义为:

$$y_{ij} = \text{med} \{x_{i+r, j+s}; (r, s) \in A\}$$

定义中通常假设窗口  $A$  按行从左向右, 按列从上向下移动. 不失一般性, 通常设二维数字信号的尺寸为  $K \times L, 0 \leq i \leq K - 1, 0 \leq j \leq L - 1$ . 二维中值滤波器还心须满足下面的条件:

$$0 \leq i + r \leq K - 1, 0 \leq j + s \leq L - 1, (r, s \in A)$$

为使中值滤波器输出的二维数字信号尺寸仍保持为  $K \times L$ , 我们在二维数字信号的行、列的开始端和结尾端分别扩展  $k$  个点. 我们称在窗口  $A$  下进行中值运算的二维中值滤波器为常规二维中值滤波器. 例如,  $N = 3 \times 3$  窗口, 窗口  $A$  内共有 9 个观测值, 于是计算 9 个观测值的一维中值就求得了二维中值.

### 2) 边缘检测

应用梯度算子进行边沿增强, 并且设定相应的阈值, 保留图像中重要信息, 去除多余信息, 尽量减少运算量, 完成边缘检测<sup>[5]</sup>. 二维函数  $f(x, y)$  的梯度定义为向量

$$\nabla f = [G_x \quad G_y]^T = \left[ \frac{\partial f}{\partial x} \quad \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T$$

该矢量的幅度(也常常称为梯度)是

$$\begin{aligned} \nabla f &= \text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \\ &= [( \partial f / \partial x )^2 + ( \partial f / \partial y )^2]^{1/2} \end{aligned}$$

为简化计算, 该数值有时通过省略掉平方根的计算来近似, 即

$$\nabla f \approx G_x^2 + G_y^2$$

或通过取绝对值来近似, 即

$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y|$$

梯度向量的基本性质是它指向  $f$  在  $(x, y)$  处的最大变化率方向. 最大变化率出现时的角度为

$$\alpha(x, y) = \arctan(G_y / G_x)$$

以上各式中的偏导数需要对每个象素位置计算, 在实际运算中常用小区域模板进行卷积来近似计算.

对  $G_x$  和  $G_y$  需各用一个模板, 所以需要两个模板组合起来以构成一个梯度算子. 本系统所用的 Sobel 算子使用两个  $3 \times 3$  模板, 如图 3 所示.

-1	0	1	-1	-2	-1
-2	0	2	0	0	0
-1	0	1	1	2	1

图 3 Sobel 算子

### 3) 特征提取

在俯视相机拍摄图片中, 为方便提取车顶标志线中心点的像素坐标, 先找到车顶对称的两个矩形, 以此为基准划定标志线的范围, 如图 4 所示.

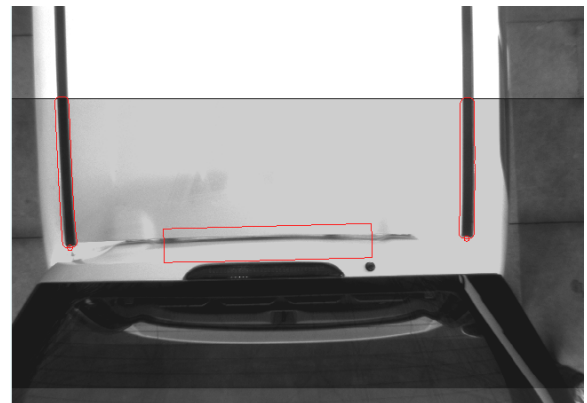


图 4 车顶标志线范围定义示意图

在侧视相机拍摄图片中, 检测电池附近的 MARK 点, 根据 MARK 点四个顶点坐标求其中心点的像素坐标, 然后根据 MARK 点中心点坐标和电池尺寸求出电池的中心点位置, 具体如图 5 所示.



图 5 电池中心点位置提取示意图

### 3 系统设计

该测量系统由 CCD 照相机、补光灯、千兆交换机、工控机、图像处理软件、相应的接口网线以及相机安装工件等硬件组成,系统具体现场安装如图 6 所示.



(a)俯视图相机安装图



(b)侧视图相机安装图

图 6 系统相机安装图

#### 3.1 工业镜头

电动汽车车宽为 1718 mm, 视场应控制在 1800\*1350mm, 镜头离目标的距离在 1500mm 左右, 故选择工作距离为 1500mm, 焦距 5mm, 视场 1800\*1350mm 的镜头.

#### 3.2 工业相机

换电机器人定位精度要求为 1mm, 理论上要求相机分辨率为  $1800/1 = 1800$  像素, 也即相机分辨率至少需要 1920\*1080(200 万像素). 为使目标特征清晰, 选用宽动态(HBR)相机, 对目标的光照反射适应能力较强.

#### 3.3 补光灯

由于换电机器人需要昼夜工作, 必须使用补光灯, 使拍摄目标清晰且特征突出. 由于相机工作距离较大, 目标视场范围较广, 因此选择 ITS 补光灯, 安装在相机附近, 具有高亮、稳定、PWM 调光等特性.

#### 3.4 其他

选用研华工控机, 作为上位机, 通过千兆网交换机接入所有相机, 获取相机所采集到的图像, 并进行图像处理、标定、测量、定位等.

### 4 系统工作过程

由于要对目标进行精确的定位, 所以在试验前要对摄像机的内外参数进行标定测量. 视觉定位系统的工作过程为: 当电动汽车停放在换电工作区域时, 俯视 CCD 启动拍照, 将图像采集到工控机里, 图像处理软件通过处理分析获取电动汽车的偏转角度和偏移量, 计算得到侧视 CCD 的拍照位置. 上位机控制侧视 CCD 移动到拍照位置, 对电动汽车内的待换电池拍照, 采集待换电池的图像, 图像处理得到电池的位置坐标, 进行二次定位.

#### 4.1 标定

##### 4.1.1 标定相机内外参数

摄像机标定是通过摄像机获取物体的一系列二维像片来确定摄像机内外参数, 解决三维物点与二维像点的对应关系问题<sup>[6]</sup>, 它是计算机视觉领域里从二维图像提取三维空间信息必不可少的关键一步.

本定位系统采用介于传统标定方法和自标定方法之间的张正友的平面标定方法. 简单实用, 而且在标定过程中考虑了镜头畸变, 标定结果相对准确, 符合充换电站内现场的标定要求. 利用立体标定算法来计算旋转矩阵  $R$  和平移向量  $T$ , 在检测时对目标坐标进行补偿.

##### 4.1.2 标定关系

标定视觉像素角度与机器人手臂角度的关系, 以及像素长度与物理长度关系, 视觉定位系统正常工作时上位机直接输出已转换坐标.

##### 1) 角度关系

通过图像处理软件触发俯视相机拍照, 对所得图片进行分析, 求出电动汽车的偏转方位角度. 利用平行原理获取机器人手臂取放电池时的方位角, 重复多次, 利用最小二乘法拟合视觉原始角度和机器人手臂方位角之间的关系  $y = Ax^2 + Bx + C$ , 最终视觉系统

直接输出机器人取放电池方位角度。

图 7 所示为某次试验数据拟合图，拟合关系是  $y = 0.050993 \times x^2 + 0.95912 \times x + 1.82249$ ，通过分析可知，角度拟合以后和实际值差别很小，误差最大为 0.1°，相对于机器人的移动来说可以忽略。

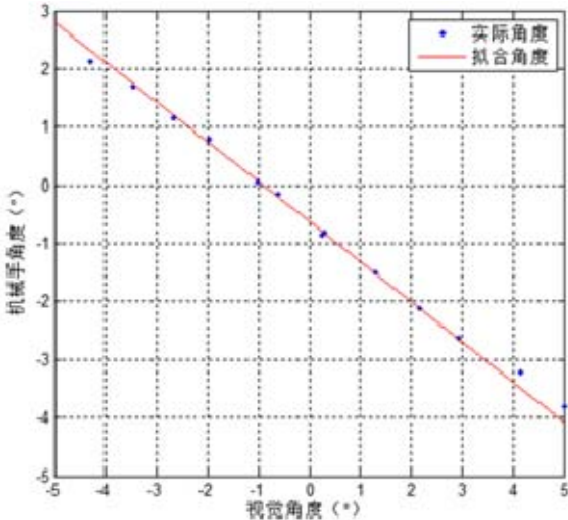


图 7 视觉角度与机器人角度拟合曲线

2) 比例系数 K

在机器人手臂上加 MARK 板，手动控制机器人向 X 轴正方向移动，每次 10mm，共十次，拍 10 张照片，根据每相邻两张照片中 MARK 点的视觉坐标差值  $\Delta x$  和机器人的坐标差值  $\Delta X$ ，求出 X 方向的比例系数

$$k_x = \frac{\Delta x}{\Delta X}$$

用同样方法标定出  $k_y$  和  $k_z$ 。表 1 为某次标定数据，在验证试验中，视觉利用 K 值计算出相对于零位的空间坐标差值，与机器人移动的距离差值进行比较，误差都在 0.5mm 以内，满足机器人误差范围要求。

表 1 比例系数标定数据

	像素差值 a(Pixel)	机器人差值 b(mm)	K=b/a
X 轴	17.056	10	0.58630394
	17.448	10	0.573131591
	17.35	10	0.576368876
	17.504	10	0.571297989
	17.361	10	0.576003686
	17.659	10	0.566283482
	17.537	10	0.570222957

Z 轴	18.001	10	0.555524693
	17.195	10	0.581564408
	17.2268	10	0.580490863
	17.2328	10	0.580288752
	34.3986	10	0.581419011
	17.2496	10	0.579723588
	17.4238	10	0.573927616
Kz 平均值: 0.594403654			
Y 轴	9.964109	10	1.003602
	10.14962	10	0.985259
	10.11272	10	0.988854
	9.975223	10	1.002484
	10.04277	10	0.995741
	9.971546	10	1.002854
	9.981774	10	1.001826
Ky 平均值: 0.993344591			

4.2 初定位

当视觉系统接收到全自动换电机人系统的定位请求后，触发俯视相机拍照，通过图像处理分析<sup>[7,8]</sup>获取电动汽车的偏转角度  $\theta$  及顶部中心点的坐标  $(x_v, y_v)$ 。根据坐标转换得到电动汽车内电池的位置  $(X_1, Y_1, Z_1)$ ，即侧视相机的拍照位置，其中  $Z_1$  为固定值。图 8 是俯视相机定位检测结果展示。

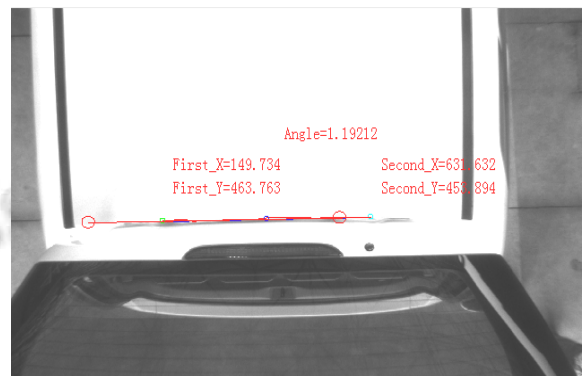


图 8 俯视相机检测图

4.3 二次定位

换电机人控制侧视相机移动到指定拍照位置，视觉系统触发侧视相机拍照，采集电动汽车内的待换电池的图像，经过图像分析处理，获取电池中心点的坐标  $(x'_v, z'_v)$ <sup>[9]</sup>，对电池 x 方向进行再次调整，z 方向确定坐标值，进行二次定位，通过上位机经过坐标转换得到更精确的电池坐标  $(X_2, Y_2, Z_2)$ 。图 9 是侧视相机定位结果展示。



图 9 侧视相机检测图

## 5 结论

本视觉定位系统利用俯视加侧视相机对目标进行三维重构,提前标定相机,并通过图像分析和坐标转换获取电动汽车内待换电池的姿位信息和坐标数据,简便快捷,精度高,速度快.多次试验验证其位置误差不超过 1mm,角度误差不超过 0.1 度,满足全自动换电机器的定位要求.经过长期的实际运营统计,利用该视觉定位系统定位电池,为全自动换电机器提供了精确的电池姿位信息,保证了换电机器的运行稳定性,换电成功率达到 99%.

## 参考文献

- 1 Schepers HM, Roetenberg D, Veltink PH. Ambulatory human motion tracking by fusion of inertial and magnetic sensing with adaptive actuation. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 2010, 48(1): 27–37.
- 2 姚凌飞.空间运动目标姿态测量系统研究[硕士学位论文].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
- 3 刘洪伟.基于单目视觉的移动机器人目标识别与定位[硕士学位论文].济南:山东大学,2011.
- 4 Lowe DG. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(2): 91–110.
- 5 冈萨雷斯等著,阮秋琦等译.数字图像处理(MATLAB 版).北京:电子工业出版社,2008.
- 6 冯焕飞.三维重建中的相机标定方法研究[硕士学位论文].重庆:重庆交通大学,2013.
- 7 张宇.基于计算机视觉的姿态测量方法及测量精度分析[硕士学位论文].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.
- 8 Szeliski R. *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer, 2010.
- 9 赵月.单目位姿测量目标中心定位算法研究[硕士学位论文].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2011.