

一种应用于人机协作砝码智能检测过程的人员定位识别系统

□苏州市计量测试院 董晨光 邓小伟 黄现云 朱浩 蒋曦初 李家沛 黄一飞

【摘要】目前很多检测机构都引入了砝码自动检测装置，检测过程不可避免的有人员参与。如何确保参与人员的安全，实现人机协作检测，是其中的关键性难题。本文提出了一种应用于人机协作砝码智能检测过程的人员定位识别系统，通过计算机视觉，自动追踪实验室进入人员，进行时间定位追踪，以确保工作人员及自动检测系统可见、可控，已达到人机安全协作。

【关键词】自动检测；人机协作；定位追踪

文献标识码：B 文章编号：1003-1870（2023）07-0036-04

引言

视觉目标跟踪是自动驾驶、监控、机器人和人机界面等计算机视觉领域的一个开放问题，其目标是在不断变化的视频序列中自动定位特定目标，跟踪的一个核心问题是，如何在背景杂乱、遮挡、快速移动、看不见、变形和其他变化的挑战场景中准确有效地检测和定位目标。

目前，我国砝码的检测已经逐步开始向自动化、智能化检测方向发展，通过控制机器人手臂抓取被检砝码和标准砝码在比较仪上按照规程规范做检测，在整个检测过程中，实验室工作人员和自动检测设备需要共同工作，目前的机械臂都是提前设定行动路径后根据系统的控制往复在目标物与起始点之间运动，并不能提前预判人员的运动方向，容易出现机械臂运动撞击人员而造成事故。现有的安全防护均是在机械臂外围设置围栏，当机械臂开始工作时，围栏内禁止进入，该种安全防护方式过于传统，且围栏的设置占用室内空间，不符合智能化时代的需求。

1 方案构架

针对现有技术存在的不足，本发明的目的在于提供一种应用于砝码检测的机械臂避障自检方法，

该种机械臂避障自检方法能够自动检测工作人员，且能够根据图像信息对人员位置进行实时跟踪。

一种应用于砝码检测过程的人员追踪定位方法，步骤如下：

Step 1. 获取环境空间的图像作为指定图像，根据所述指定图像，制定环境空间三维坐标系，根据机械臂移动的路径，在三维坐标系中绘制工作区域。

Step 2. 获取机械臂上的相机拍摄，得到机械臂周围的图像作为待处理图像，根据待处理图像分析得到跟踪对象图像。

Step 3. 分析所述跟踪对象图像在三维坐标系中的轮廓线，根据所述轮廓线分析，得到跟踪对象的朝向和运动预判轨迹。

Step 4. 根据待处理图像分析，得到跟踪对象周围的图像作为干扰图像，根据所述干扰图像分析跟踪对象周围是否存在干扰物。

Step 5. 根据跟踪对象的朝向和运动预判轨迹以及干扰物，确定跟踪对象的实际位置点，判断实际位置点是否落入工作区域内。若落入，则机械臂停止运动且发出警报；若未落入，则机械臂继续运动。

上述过程中的干扰图像需进行归一化处理得到8位灰度图像，将8位灰度图像进行二值化处理得到

二值化图像，将所述二值化图像转换为响应等值线图，根据响应等值线图分析，若具有单峰，则反映跟踪对象周围未有干扰物；若具有多峰，则反映跟踪对象周围具有干扰物。

之后，将二值化图像中的斑点区域进行轮廓逐帧分析，若任意一个轮廓逐帧运动靠近中心轮廓，则反映干扰物正在接近跟踪对象。

上述过程中根据所述二值化图像判断轮廓数量，若为一个轮廓并且该轮廓位于二值化图像的中心部分，则反映跟踪对象周围未有干扰物；若为多个轮廓，则激活干扰物接近分析。根据二值化图像分析得到相邻两个轮廓最接近点，并且通过距离算式计算两点之间的距离。根据二值化图像通过分析算式，分析两个轮廓之间的距离变化趋势。

上述过程中距离算式为：

$$d_{k,i,j} = \sqrt{(x_{k,j}^{c1} - x_{k,j}^{c2})^2 + (y_{k,j}^{c1} - y_{k,j}^{c2})^2}$$

$$d_k = \min\{d_{k,i,j}\}$$

$$i \in (0, N_{c1})$$

$$j \in (0, N_{c2})$$

其中， k ——跟踪序列的第1帧， $c1$ ——响应得分最高的轮廓， $c2$ ——响应得分第二高的轮廓， N_{c1} ——等高线 $c1$ 的总和， N_{c2} ——等高线 $c2$ 的总和， $d_{k,i,j}$ ——第1帧中等线 $c1$ 的第 i 点和等高线 $c2$ 的第 j 点之间的距离， d_k ——等高线 $c1$ 和等高线 $c2$ 之间的最小距离。

其中，分析算式为：

$$MD_k = \frac{\sum_{k-M \leq n \leq k} (d_n - d_{n-1})}{M}$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{Dh}{Dp}\right)$$

其中， M ——具有 M 帧用于分析接近趋势， MD_k ——第 K 帧之前 M 帧中的平均差异距离， Dh 是两个峰之间的高度差， Dp 是两个峰值之间的距离。

工作区域包括二维区域和三维区域，二维区域反映图像中工作区域的框线范围，三维区域反映环境空间中三维的工作空间。

Step1 和Step2 获取环境空间中的摄像头拍摄得到的环境空间图像，根据环境空间图像分析得到跟踪对象与二维区域的相对位置关系，若跟踪对象与二维区域重叠或相邻小于或等于阈值时，则进行Step2，若跟踪对象与二维区域相邻大于阈值时，则机械臂正常运动。

另外，待处理图像通过深卷积神经网络进行处理得到跟踪对象图像，卷积神经网络包括训练模块和测试模块，训练模块根据人物特征进行模型通过训练算式运算得到若干个参考模板，测试模块用于提取目标模板和人物特征，根据目标模板和人物特征通过卷积算式运算得到跟踪对象图像的中间位置点。

其中，训练算式配置为：

$$g_p(x, z) = f_p(x) \times f_p(z) + b$$

$$p' = \arg \max f(x) \times f(z)$$

其中， $f_p(x)$ ——深卷积网络， p ——可学习的参数， b ——标准偏移值， $g_p(x, z)$ —— x 和 z 之间相似性的跟踪对象图像， p' ——跟踪对象图像的中间位置点。

2 试验测试

下面结合附图和实例，对本发明进一步详细说明，其中相同的零部件用相同的附图标记表示。需要说明的是，下面描述中使用的词语“前”“后”“左”“右”“上”和“下”指的是附图中的方向，词语“底面”和“顶面”、“内”和“外”分别指的是朝向或远离特定部件几何中心的方向。

本项目在千克砝码自动检测实验室中测试，自动检测装置包括机器人手臂一套，标准砝码及工位，被检砝码、被检砝码库位及工位，质量比较仪一套。

首先需要获取环境空间（室内）的图像作为指定图像，根据指定图像制定环境空间三维坐标系（即将室内构建为 x ， y ， z 轴的三维坐标系，室内的机械手以及储物台均在三维坐标系中），根据机械臂移动的路径在三维坐标系中绘制工作区域（工作区域包括机械手暂停时储物台处的区域，以及机械手工

作时机械手的区域)。之后,获取机械臂上的相机拍摄得到机械臂周围的图像作为待处理图像,机械手从停止至运动过程中,实时拍摄周围的图像作为待处理图像,根据待处理图像分析得到跟踪对象图像,分析每张待处理图像中的特征,以截取出具有跟踪对象的图像。分析跟踪对象图像在三维坐标系中的轮廓线,根据轮廓线分析得到跟踪对象的朝向和运动预判轨迹(每一张跟踪对象图像中均能够构建出跟踪对象的外部轮廓,根据轮廓线能够初步判断跟踪对象的朝向和即将运动的轨迹,如图1所示。轮廓线为多边形框,则跟踪对象的朝向和运动判断轨迹由相邻两张跟踪对象图像中跟踪对象在三维坐标系中的位置点来判断)。根据待处理图像分析得到跟踪对象周围的图像作为干扰图像,根据干扰图像分析跟踪对象周围是否存在干扰物(由于跟踪对象在室内运动时,若出现移动的干扰物,当干扰物一部分挡在跟踪对象前,则会出现两个轮廓线相互叠加交错,从而影响跟踪对象的精准识别)。根据跟踪对象的朝向和运动预判轨迹以及干扰物,确定跟踪对象的实际位置点,判断实际位置点是否落入工作区域内,若落入,则机械臂停止运动且发出警报;若未落入,则机械臂继续运动(当确定跟踪对象的朝向以及运动路径时,再根据干扰物的识别,能够确定跟踪对象在三维坐标系中的实际位置点,因为图像为二维平面,当标记出跟踪对象的轮廓线时,方形轮廓为平面轮廓,而跟踪对象为人时,需要根据朝向以及运动预判轨迹的整合判断出跟踪对象中心点在三维坐标系中的位置点)。本项目通过深卷积网络提前训练得到若干个模板以达到后续测试时模板的精准匹配,即能够快速准确的定位跟踪对象,满足较高的参数要求。具体的,基于建立环境空间的三维空间坐标,划定机械手运动过程中的区域为工作区域,以机械手上的相机作为主要获取周围图像,利用深卷积网络实现跟踪对象的识别,再通过干扰图像的具体分析,能够排除干扰物对跟踪目标的影响,提高了工作环境的安全性,极大避免机械臂运动撞击人员而造成事故。

本项目采用对反应图进行细节上的分析以提高

跟踪性能,此时反应图逐帧的变化显示出的行为,可以用来分析是否有干扰物接近。基于这种动机,采用基于行为分析响应的全卷积孪生网络的视觉追踪算法,将干扰图像进行归一化处理得到8位灰度图像,其中较高的值代表原始反应图的较高分数。将8位灰度图像进行二值化处理得到二值化图像,将二值化图像转换为响应等值线图,根据响应等值线图分析,若具有单峰,则反映跟踪对象周围未有干扰物;若具有多峰,则反映跟踪对象周围具有干扰物。将二值化图像中的斑点区域进行轮廓逐帧分析,若任意一个轮廓逐帧运动靠近中心轮廓,则反映干扰物正在接近跟踪对象(在归一化的响应图中,具有特定阈值的二值化操作等同于绘制原始响应图的轮廓平面,通过分析反应图可以发现,即当目标周围没有外观相似的干扰物时,反应图是单峰的,而当附近有明显的干扰物时,反应图往往是多峰的),通过将响应图转换为响应等值线图,图中只有一个等值线的情况表示没有背景杂波的跟踪,而当图中有多个等值线时表示目标周围有干扰物。此外,如果一个轮廓逐帧越来越接近中心轮廓,这表明干扰物正在接近真正的目标,接着可以通过以下三个步骤来分析干扰物的接近,根据二值化图像判断轮廓数量,若为一个轮廓并且该轮廓位于二值化图像的中心部分,这代表良好的跟踪条件,则反映跟踪对象周围未有干扰物,若为多个轮廓,则激活干扰物接近分析,根据二值化图像分析得到相邻两个轮廓最接近点,并且通过距离算式计算两点之间的距离。根据二值化图像通过分析算式分析两个轮廓之间的距离变化趋势,本项目中跟踪器使用限制响应峰值可能区域的策略,避免只关注前一帧位置附近的一个小区域,如果响应峰值位于响应图的边缘,则将放弃该区域。这种策略在某些情况下可以提高性能,但会丢失有助于进一步分析的干扰源位置信息。与传统的跟踪器不同,该方法采用了基于峰值角度判断的执行新策略。

3 测试结果验证

本试验中,千克砝码自动检测设备正常运行时,当有人员进入实验室如图1所示,系统可以正确

分析出人员，并实时追踪定位人员位置。当人员进入划定区域，系统发出信号给上位机，上位机控制机器人手臂将速度降到30%，并记录人员在划定区

域内的时间，当进入划定区域持续时间达到1000s，将暂停机器人手臂运行，直到人员离开划定区域后1000s再继续运行（见下图）。

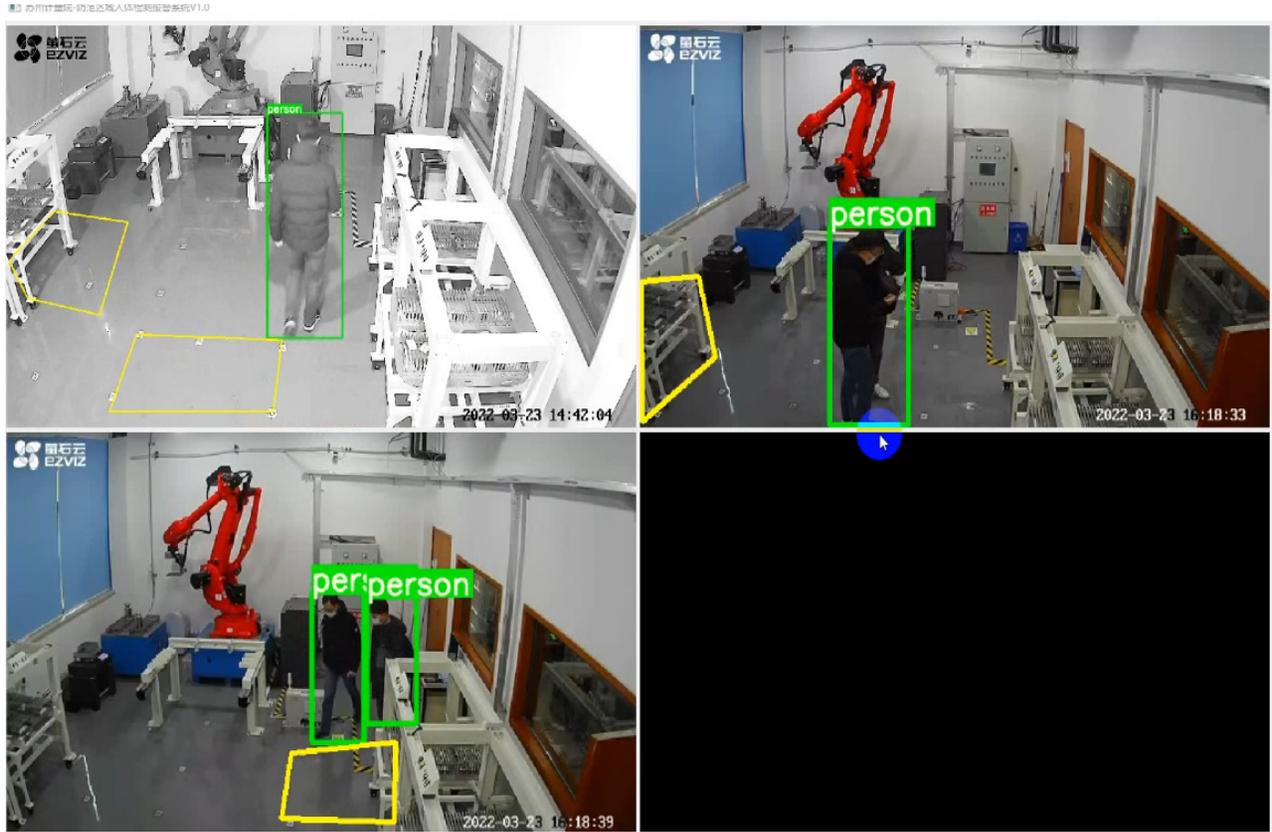


图 实验室测试

4 总结

本项目通过深卷积网络提前训练得到若干个模板以达到后续测试时模板的精准匹配，即能够快速准确的定位跟踪对象，满足较高的参数要求。具体的，基于建立环境空间的三维空间坐标，划定千克砝码自动检测过程中机械手运动的区域为工作区域，以机械手上的相机作为主要获取周围图像，利用深卷积网络实现跟踪对象的识别，再通过干扰图像的具体分析能够排除干扰物对跟踪目标的影响，提高了工作环境的安全性，可以适用于人机共处，极大避免机械臂运动撞击人员而造成事故。

参考文献

- [1] Huang, Xianyun et al. “Improved Fully Convolutional Siamese Networks for Visual Object Tracking Based on Response Behaviour Analysis”, *Sensors* 22.17 (2022): 6550.
- [2] JJG99-2006 砝码检定规程.

作者简介

黄现云，男，苏州市计量测试院，硕士研究生。研究方向：计量检测的数字化、智能化。