

基于弱监督语义分割的工业零件自动称重系统研究

□浙江工商职业技术学院 祁斌

【摘要】基于弱监督语义分割的工业零部件自动称重系统，采用弱监督语义分割技术与高精度称重设备相结合的方法，解决了传统人工称重效率低、精度不稳定的问题。通过弱监督学习算法，可以快速识别和分割零件，并实现自动操作和精确称重。试验结果表明，该系统在不同重量范围内的表现均优于传统方法。本文以称量重型零件（4000g~5000g）进行试验时，称重误差可减少200g~270g。

【关键词】弱监督学习；语义分割；工业零件；自动称重；图像处理

文献标识码：A 文章编号：1003-1870（2024）11-0044-04

1 基于弱监督语义分割的工业零件自动称重系统的构成

弱监督语义分割技术在计算机视觉领域一直受到很大的关注，近年来取得了很大的进步。与完全有监督学习相比，实现高质量图像分割时，所需仅为少量带标记的数据，大大降低了数据准备的成本和难度。该技术在医疗图像分析和自动驾驶等领域取得了显著的成果^[1]。将其应用于工业零部件的识别和计量，可以从理论上解决目前的效率低和精度低问题。在工业生产中，零件的重量需要精确测量。因此，大型企业引进了非常昂贵的高端自动计量装置。许多中小企业通常仍然需要传统的手动计量方

法，但这是人力资源的浪费和效率低下。手动测试过程还会出现人为错误，影响生产效率和产品质量。因此，研究一套准确、经济的工业零部件自动计量系统迫在眉睫。

本文设计了如图1所示的基于弱监督语义划分的工业零件自动计量系统。该系统主要由图像获取模块、计量模块、数据处理模块和控制模块四个模块组成。其中图像采集模块使用高分辨率工业相机，计量模块使用高精度电子计量传感器，数据处理模块使用强大的GPU性能、大容量内存和深度学习处理性能的NVIDIA JetsonXavierNX。非常适合实时图像分析应用。

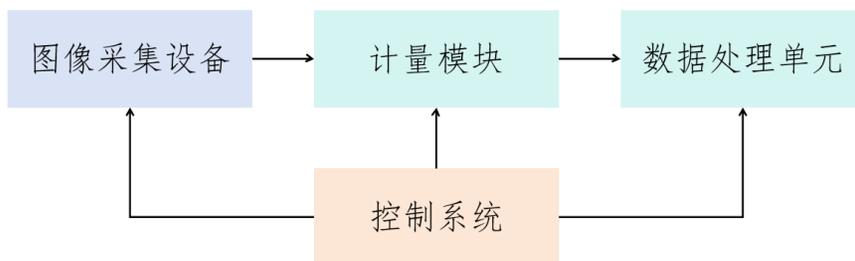


图1 基于弱监督语义分割的工业零件自动称重系统结构图

该系统是采集工件图像的高清相机、实现弱监督语义分割的工件检测定位、进行重量检测的高精度电子秤重量检测模块和NVIDIAJetsonXavierNX 处理器完成图像分析和深度学习任务运行，完成工件检测与重量运算^[2]。各模块基本独立且协同工作，由中央控制单元进行调度，实现了系统的自动化、高效化和可靠性。

2 基于弱监督语义分割的工业零件自动称重系统的工作流程

(1) 开始系统启动。首先启动系统中所有资源，进行图像采集设备的相关参数（如焦距、光圈大小）设置，选择合适的图像采集方式且图像清晰，进行计重模块的初始化设置，设置用于本系统运行的数据处理单元信息。

(2) 零件识别和称重^[3]。当入料传送带将工件引入系统的视野时，图像采集器将工件图像传送至

数据处理器，数据处理器对其启动一种基于弱监督的图像分割算法对工件进行识别和定位的同时，控制器将工件引入称重工位，称重单元用于完成对工件质量的测量。数据处理器持续获取称重数据直至工件走出称重工位，最终传递处理后的图像和工件质量信息至主控器。

(3) 数据分析与判断。接收零件到达的状态和零件的重量信息的中控服务器，进行数据的判断分析，从而判断出零件是不是可以接收的状态，最终对零件的操作类型进行命令下发，进行相应的分配请求。中控服务器由于具有存储设备，因此还将零件的识别信息和零件的重量信息保存下来，以便于系统后续的数据统计和质量的跟踪。

3 弱监督语义分割算法分析

以工业零件图像为例，介绍系统采集的原始图像及其弱监督语义分割过程，如图2所示。

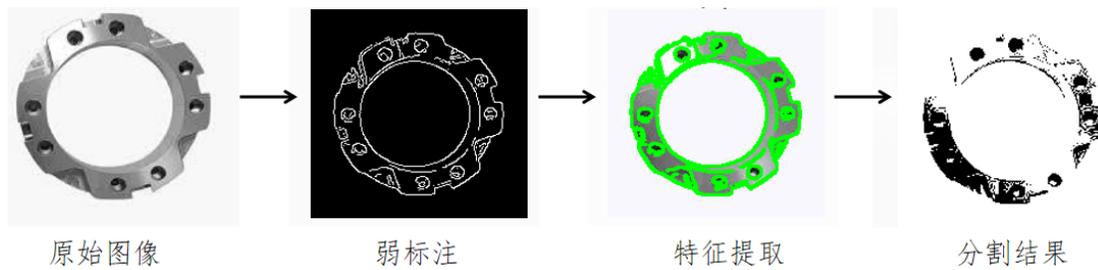


图2 弱监督语义分割过程示意图

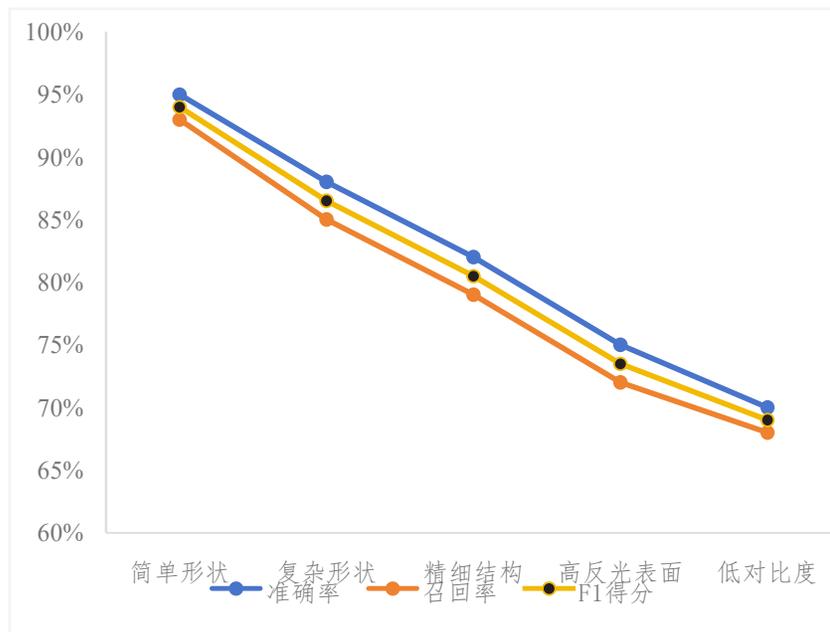


图3 弱监督语义分割算法性能评估结果

流程部分中，算法输入主要是工业零部件的原始图像。对于弱监督语义分割方法，其基本流程是：首先用户给出工业零部件的弱标签原图，在给定弱标签时，一般是点级或者框级的标签，然后，从弱标签下提取特征。特征提取一般就是基于一些强大的深度学习的网络进行特征提取。得到提取的特征以及弱标签，进而完成弱监督的语义分割。

从整个分割过程来看，弱监督分割方法的分割性能主要受图像性能、弱标注性能、特征提取器性能以及分割后处理算法的影响。以上4个因素最终都会对分割结果产生较大的影响。

要评估算法的性能，本文使用以下参数设置：

训练集大小为1000，包含各种工业零件的图像；

验证集大小为200，用于调整模型参数；

测试集大小为300，评估模型的最终性能。

通过上述超参数，可以得到合理的性能结果，见图3。对于本文训练的数据集来说，更适合处理形状复杂、结构复杂的部分。相反在处理反光严重、图形对比度低的部分有所欠缺。可以在应用上继续考虑从图像的预处理上入手，从而进一步提高实际的应用效果。

4 工业零件图像处理

在基于弱监督语义分割的工件自动称重系统中，图像预处理是非常必要的。在图像预处理流程标准^[4]，一般包含噪声去除、图像增强以及特征提取等子步骤，其中重要的是噪声去除的步骤^[5]。

设 $O(x,y)$ 是没有噪声的图像， $n(x,y)$ 为带有噪声的图像，采用逆推法计算。先将 $O(x,y)$ 变成带有

噪声的原始图像 $I(x,y)$ 进行公式推导：

$$I(x,y) = O(x,y) + n(x,y) \quad (1)$$

设噪声 $n(x,y)$ 均值为0、方差为 σ^2 的高斯白噪声，则其概率密度函数为：

$$p(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{n^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

利用信噪比(SNR) 评估图像质量：

$$SNR = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_n^2} \quad (3)$$

其中 σ_s^2 是信号方差， σ_n^2 是噪声方差。噪声 SNR_{dB} 以分贝(dB) 为单位。

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{\sigma_s^2}{\sigma_n^2} \right) \quad (4)$$

在图像处理中，本文采用双边滤波来去除图像噪声的同时兼顾图像边缘信息，双边滤波的表达式为：

$$I_{filtered}(x) = \frac{1}{W_p} \sum_{x_i \in \Omega} I(x_i) f_r(\|I(x_i) - I(x)\|) g_s(\|x_i - x\|) \quad (5)$$

其中， f_r 是范围核， g_s 是空间核，采用高斯函数计算可得：

$$f_r(x) = e^{-\frac{x^2}{2\sigma_r^2}}, g_s(x) = e^{-\frac{x^2}{2\sigma_s^2}} \quad (6)$$

公式(5) 中 W_p 是归一化因子，计算方法如下：

$$W_p = \sum_{x_i \in \Omega} f_r(\|I(x_i) - I(x)\|) g_s(\|x_i - x\|) \quad (7)$$

由以上分析调整辅助参数后，双边滤波的滤波器空间域标准差像素、值域标准差被分别调整为 $\sigma_s = 5$ ， $\sigma_r = 20$ ，滑动窗大小设置为 15×15 是为了减少处理时间。

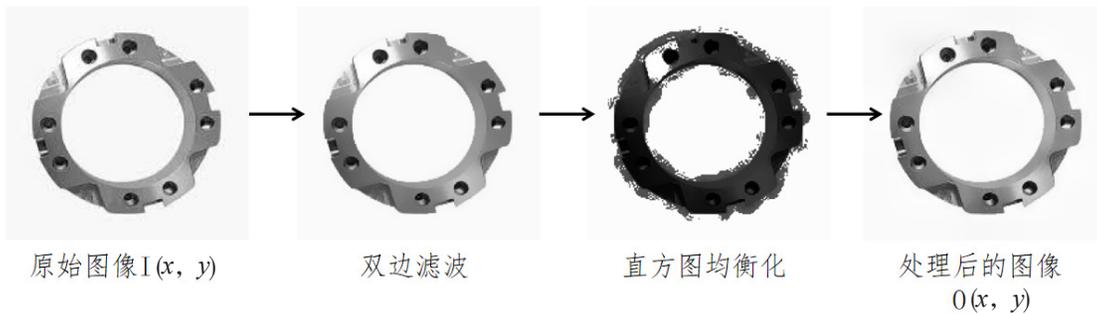


图4 图像预处理步骤示意图

原始图像捕获：捕获工业零件的原始图像 $I(x,y)$ 。

降噪：使用双边滤波器去除噪声，同时保留边缘

信息。

对比度增强：应用直方图均衡方法来提高图像的

对比度。

最终处理后的图像 $O(x, y)$: 用作后续弱监督语义分割的输入。

可通过对图像进行必要的处理, 获得图4 中的四幅比较清晰的子图。由图4 可知, 工业零件的周边环境主要会出现光源变化和零件出现镜面反射的情况, 这两种情况在图像的高频区域能够很好地被双边滤波压制。双边滤波保留了零件边缘处的灰度值差的边缘信息, 为弱监督语义分割问题中的输入图像增加更有效的语义类边界信息。

5 自动称重结果统计

为了进行实验, 我们在下表所描述的6 种工业零件中选择实际数量的工业零件作为称重样本。将置入在一般机械输送带上的工业零件自动称重装置中的称重样本进行称重实验。将6 种工业零件的部分称重结果作为弱监督语义分割实验中的正标签结果, 其他未称重部分作为无标签结果, 分别从正标签合成、无标签合成、弱监督语义分割三种情况开始实验。

表 工业零件自动称重测试样本数据

标准重量(g)	传统方法测量值(g)	基于分割的测量值(g)
500	560	520
1000	930	980
2000	1840	2020
3000	2880	3030
4000	4260	3960
5000	4710	5020

由上述分析可知, 基于弱监督分割的自动称重系统在小规模实验环境中已经满足动态称重系统的测量精度要求。基于分割的称量结果, 相较于传统的估算称量结果, 具有更高的精度, 特别是对于尺寸较大的重工件。

具体分析如下:

(1) 质量较轻的试件(500g, 1000g)中, 在进行称重时, 基于弱监督分割方法得到的测量值更加接近质量标准值。例如在500g 时, 传统的估算测量方法的测量值为560g, 基于弱监督分割方法得到的测量值为520g。

(2) 使用中等重量2000g、3000g 时, 2000g 重

的零件使用传统的估算测量方法测量的值为1840g, 离实测值较远, 基于弱监督分割方法测量的值为2020g, 离实测值较近。

(3) 对较重质量的零件(4000g 和5000g) 来说, 传统的估算测量方法的测量误差较大, 基于弱监督分割方法测量的误差较小。其中, 测量5000g 质量的零件, 采用传统的估算方法测得的重量为4710g, 误差为290g。采用基于弱监督分割方法测得的质量为5020g, 误差为20g。

因此, 基于弱监督分割方法在小规模实验环境下对不同重量试件称重时的准确性和重复性较好, 测量结果和真实重量相对误差都小于传统的估算测量法。

参考文献

- [1] 胡捷, 赵海涛. 基于掩码一致性机制的弱监督图像语义分割研究[J]. 应用光学, 2024, 45:1-10.
- [2] 胡潇, 潘申富. 基于改进轻量化YOLOX 的无人机航拍目标检测算法[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(1):57-63.
- [3] 叶明, 苏海涛, 高洪章等. 基于车牌动态图像识别的电子汽车衡自动称重系统的研究与应用[J]. 衡器, 2022, 51(11):33-37.
- [4] 靳勇勇, 王丰. 基于特征融合与位置增强的点云配准算法[J/OL]. 计算机应用与软件, 1-9[2024-09-29].
- [5] 姜斌, 叶军, 张历洪等. 基于双平滑函数秩近似和群稀疏的高光谱图像恢复模型[J]. 计算机科学, 2024, 51(05):151-161.

基金: 2024 年学校科研年度项目“基于人工智能的弱监督语义分割方法研究”(KYND202419); 浙江工商职业技术学院电子信息学院基本科研项目“基于多尺度特征融合的弱监督语义分割研究”的阶段性研究成果。

作者简介

祁斌(1991—), 男, 硕士, 助教。研究领域: 人工智能, 无线通信, 嵌入式系统。