

水利工程施工人员不安全行为识别方法

孟祥志

绥中县龙屯水库管理处

摘要:以计算机视觉和深度学习技术为基础,研究面向水利建设领域的不安全行为识别技术。首先,研究基于YOLOv5的人工作业机器人在大规模环境中存在的微小目标漏检和误检问题,建立人工作业机器多对象目标识别模型。其次,以目标检测模型为基础,针对静态危险区域、动态施工机械和未戴安全帽等常见的不安全行为进行识别。并以具体的项目为例进行了说明,采用的识别技术增强了施工现场的控制手段与强度,使水利建设项目的安全管理信息化程度得到提高。

关键词:水利工程;识别方法;不安全行为;施工人员

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2022.08.096

一、水利工程施工人员不安全行为分类

目前对不安全行为的分类有认知分类、工程分类和行为外部表征三大类。其中,认知分类是随着心理学的发展而与工程学相融合的,工程学分类是研究人为失误和不安全行为的常用方法。虽然这两类方法在研究人类不安全行为和人为失误方面都有很大的帮助,但是在实际应用中,人们对不安全行为的认识还不够深入。而按照行为外在表现来划分类别,不安全行为是依据现场情况和研究情况加以分类,总体上将其划分为三种类型:个体保护用品的使用不当、临近危险源和违章作业。

根据危险源附近、不正确使用个人防护用具及违章作业三种类型,采取了相应的识别方法。针对上述问题,采用基于YOLOv5的人员机械目标检测模型,研究在静态危险点附近及移动设备附近两类不安全行为识别问题。个人防护用品的不恰当的应用,包括安全帽、安全带等其他防护用品,因此,在建立安全帽检查模型的基础上,对安全帽的非穿戴进行了识别,还需要与现场的安全巡视、视频监控等方法相配合,对其他一些使用不当防护用品的使用情况进行鉴别。针对违章行为种类繁多,传统的机器视觉识别效率不高,可以通过视频监测与现场巡视相结合的手段来实现。

二、YOLOv5目标检测算法改进

尽管YOLOv5方法已在开放源代码库和实际工程中获得较好的探测效果,但是针对大型水利工程施工现场,容易出现精度不高、漏检率高、效果差的问题。为此,本项目拟以YOLOv5为基础,从替换损失函数、增加小目标探测层次、增加NAM关注等三个角度对目标进行改进,提高探测性能。

1. SIOU损失函数

YOLOv5以CIoULoss为边框回归的损失函数,利用Logits损失和二元互信息熵来衡量目标分数和类别概

率,但是没有考虑到真实框与预测框的失配,使得预测框在学习中出现“四处游荡”,从而降低了学习率。为了解决上述问题,将CIoULoss损耗方程转化为SIOULoss损耗函数。采用以下方式来计算SIOU:

$$L_{box} = 1 - IoU + \frac{\Delta + \Omega}{2} \quad (1)$$

$$IoU = \left| \frac{B \cap B^{gt}}{B \cup B^{gt}} \right| \quad (2)$$

其中: L_{box} 是信号单元损耗函数的数值; IoU 是预测框和真实框重叠的比率; B 、 B^{gt} 分别是对预测框、真实框; Ω 表示造型费用; Δ 在计算角度成本后对路程进行重新界定。 Ω 和 Δ 公式如下:

$$\Omega = \sum_{t=w,h} (1 - e^{-\omega_t})^\theta \quad (3)$$

$$\Delta = \sum_{t=x,y} (1 - e^{-(\Lambda-2)\rho_t}) \quad (4)$$

$$\omega_w = \frac{|w - w^{gt}|}{\max(w, w^{gt})} \quad (5)$$

$$\omega_h = \frac{|h - h^{gt}|}{\max(h, h^{gt})} \quad (6)$$

$$\Lambda = 1 - 2 * \sin^2 \left(\arcsin \left(\frac{c_h}{\sigma} \right) - \frac{\pi}{4} \right) \quad (7)$$

其中:(w , h)表示预测框的宽和高, (w^{gt} , h^{gt})表示真实框的宽和高; θ 控制外形损耗的影响; Λ 为角度成本; c_h 是预测框中心点与真实框之间的中点之间的距离;计算真实框与预测框的中点之间的间距。

2. 增加小目标检测层

对于目标检测,一般都是在较大的特征图上,因为较大的特征图谱包含了较多的小目标信息,所以锚定框数值一般都是很小的,但在较小的特征图上却是相反的。原始的YOLOv5方法在640x640时,可以得到80x80, 40x40, 20x20三种不同的检测特征图,可以对8x8, 16x16, 32x32进行检测。而对工地上的小目标(如建筑工人、车辆等),在进行多次卷积,图像中的目标区

域信息会出现缺失，从而影响了检测的准确率。

所以在文章中添加了160x160的检测特征图，为了实现大于4x4的小目标探测，将探测尺度从三尺度提升到四尺度。在原有的9种锚定框基础上，在160*160的基础上，增加3个锚定框（5、6）、（8、14）、（15、11）。将该算法的最优召回率从0.993提高到1.000（最高=1），具有较好的检测性能。

3. NAM注意力机制

本项目拟引入NAM注意力机制，利用CBAM的模块化集成思想，对通道和空间注意力等子模块进行再设计，最终将NAM模型嵌入到网络中。NAM引入权重的贡献度系数，通过对注意力机制的大量标准化标度系数，提升注意力机制的性能，避免对注意力机制的依赖，进而实现高效率、低成本的注意机制。

三、不安全行为识别方法

1. 靠近危险区域识别方法

在工程建设中，由于施工环境的复杂性和工人对安全的认识不足，往往忽视了表面上看起来很安全，但实际上却存在着隐患的“危险地带”，从而引发了危害事故。依据规范、文献资料结合现场实际，明确了危险区的划分原则，明确了危险区的可能类型，并提出了相应的危险性等级。

传统的近距静态危害区域识别技术主要是通过对监控摄像机的安装位置进行调整，从而达到对目标区域进行局部检测，适合于传统的、便于安装摄像机的施工场地。由于水利工程建设的特点，为了实现对工程项目的大面积监测，一般采用传统的方式来调节摄像机的安装位置是不合适的。如何在确保大规模场景监测的前提下，有效识别出不安全行为，是水利工程施工现场安全管理的关键。

针对以上问题，采用机器视觉中Maskmaskmask技术，在建筑施工现场危险区域标注多边形，并与目标检测算法相结合，实现对建筑施工人员进入危险区域的探测与预警。

2. 靠近动态机械的不安全行为识别方法

以建筑工地的视频监控为基础，研究了施工人员在移动过程中接近机器、设备等危险源的不安全行为。该方法以施工人员和机械之间的安全关键距离作为判别指标，采用目标检测模型，获得了施工人员和机械的像素坐标；利用随机森林演算法，在像素坐标和世界坐标之间建立非线性的回归模式，执行坐标变换，有效地解决传统的基于立体视觉和标签的方法因定位标记过小、像素细节模糊而造成的转换误差过大、摄像机参数难以

获得等问题。最后，以施工人员为核心，对施工人员和全部施工机器之间的实际间距进行了计算，如果实际间距低于安全临界值，就可以判断工人靠近施工机器，处于不安全的状态。

3. 安全帽未佩戴检测方法

在水利建设的大型场景中，在监控录像中，由于施工人员目标的体积比较小，所以很难对佩戴安全帽的状态进行检测，需要将摄像机放大到一定程度才能对其进行检测，但是也要确保监测范围不能太小。为兼容监控区域大小与安全帽佩戴检测效果，提出新的基于YOLOv5安全帽佩戴探测模型，使之能协调监测范围和穿戴式检测结果之间的一致性，从而达到对非穿戴者不安全行为的有效识别。

四、实例应用

1. 数据集准备和训练

(1) 施工人员机械数据集

本项目拟以某水库建设工程监测影像为研究对象，在保证模型自适应性的前提下，通过采集远景、近景等多尺度影像，利用labelImg软件对目标进行标记，实现对目标的自动标定。将建筑工地影像资料按4:1的比例分成两组，其中输入影像尺寸是1920x1080，将训练动力设定为0.937并且将初始的学习率设定为0.001。在批训练数据量为32，权值下降到0.0005，一共为300轮，利用随机梯度下降作为优化算法。最后，对已有标签的训练样本和测试样本进行训练，得到施工人员和机械目标识别模型。

(2) 安全帽数据集

在水利建设的大型场景中，在监控录像中，由于施工对象的体积比较小，戴着的安全帽比较小，所以很难发现佩戴安全帽的状态，需要将摄像机放大到一定程度才能对其进行检测，但是也要确保监控范围不能太小。为了兼顾监测范围和佩戴安全安全帽的有效性，拟采用现场拍摄、视频截取和在线采集相结合的方法，构建包含7550幅图像的多尺度图像库。在进行100回合的训练时，将训练对象按4:1的比例分为两组，进行100回合的训练。

2. 评价指标

为了对算法的检测效果进行量化分析，本项目将以准确率（P）、召回率（R）、均值-平均准确率（mAP）等为评估指标，对算法的检测效果进行量化分析。

$$P = \frac{TP}{TP + FP} \quad (8)$$

其中：TP是被准确探测到的目标数目；FP是被错误

侦测到的物件数目。

$$R = \frac{TP}{TP + FN} \quad (9)$$

$$AP = \int_0^1 P(R) \quad (10)$$

$$mAP = \frac{1}{c} \sum_{j=1}^c AP_j \quad (11)$$

其中： c 是所探测到的总种类的数目。

3. 实验结果与分析

(1) 施工人员机械目标检测模型

主要采用改进的YOLOv5算法，在改进的YOLOv5算法中， P 为91.2%， R 为92.6%， mAP 为94.7%。

为了清楚地分析各个改进点对于改进的YOLOv5算法的影响，我们设计了一个消融实验。基于原有的YOLOv5，改进1（YOLOv5-S）的准确率、召回率和 mAP 都得到了提高。改进2（YOLOv5-SS）的召回率和 mAP 都得到了显著的提高，但是准确率有所下降。改进后的YOLOv5算法精度略有降低，但召回率、 mAP 提高幅度更大，分别提高3.4%、2.1%，总体上提高了对施工人员和机械的探测能力。

(2) 安全帽检测模型

与原有的YOLOv5相比，改进后的YOLOv5-SSN具有更高的 mAP 和更好的识别能力，尽管FPS会降低，但通常情况下，普通的视频监控图像的帧速率都在25fps左右，因此，该模型可以很好地满足建筑施工现场的使用需要。

4. 施工人员不安全行为识别

(1) 靠近危险区域识别

在水利建设项目中，摄像机一般都是固定在某一视角，并且显示的屏幕尺寸是固定的，所以可以通过使用像素坐标来判定是否有人侵入到危险区域，并且根据施工的进展，对危险区域进行相应的调整和改变。当施工人员在危险区内时，其探测框的颜色会发生显著改变，并且会将不安全行为记录下来，并向监控者发出警告。以某水库为例，分析了临边危险区的形成机理。

(2) 靠近动态危险源识别

本项目以某水库工程现场碾压监测系统为研究目标，通过实时采集压机位置信息和远距离视频监控数据，在获得碾压相机像素坐标（ x 、 y ）和世界坐标（ X 、 Y 、 Z ）的基础上，以像素坐标为输入，以世界坐标为输出，建立基于随机森林的坐标变换回归模型。

本项目拟以300个样本为研究目标，通过GridSearchCV模型的参数调整，获得最大似然估计值0.04，最小均方误差为0.2。采用随机抽样方法，对100

组实测数据进行了误差检验，结果表明，该方法的精度在0.61米左右。像素点与实际坐标之间的转化也会导致计算结果的偏差，但是，安全关键距离是衡量建筑工人安全状况的一种标准，它可以为建筑工人的安全状况提供一种客观的、特定的距离值，可以降低主观评价的比重。

(3) 安全帽未佩戴识别

利用所构建的安全帽检测模型，对工地上的监控视频进行处理，如果发现了员工，则可以识别出安全帽，判断是否佩戴了安全帽等不安全行为，如果有，提示其正确使用，避免造成不必要的伤亡。

结论：针对水利建设项目中存在的不安全问题，以实时监控、计算机视觉和深度学习等技术为基础，开展基于YOLOv5的水利建设项目不安全行为识别方法研究。

(1) 为解决水利建设大数据环境下施工人员机械中的小目标漏检和误检的问题，提出基于YOLOv5的目标探测方法。通过引入SIoU损失函数，增加小目标探测层次，增加NAM注意机制，实现对建筑工人机械目标识别的 mAP 为94.7%，总体提高2.1%。其中，安全帽靶标识别的 mAP 为97.3%，能较好地满足实际应用的需要。

(2) 给出了在危险区域附近、在动态危险源附近以及不戴安全帽的情况下的不安全行为识别方法。以虚拟电子栅栏的概念为基础，利用Mask掩模来标注多个危害区域，利用探测框的色彩变化来直观地表达危害区域的入侵，从而在摄像机静止的条件下，实现对多个区域的入侵检测。通过目标检测及坐标变换，计算出施工人员和机械之间的真实距离，从而实现对人机碰撞危险识别。

参考文献

- [1] 谢成平. 基于目标导向的建筑工人个体不安全行为研究[D]. 2018.
- [2] 马世轩. 基于人因可靠性的建筑工人因失误分析研究[D]. 2018.
- [3] 李涛. 水利工程施工的质量控制与安全隐患管理探究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2021(11): 0247-0248.
- [4] 赵杰, 常晓红, 段朋. 水利工程施工质量控制与安全隐患管理探究[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2021(12): 0124-0125.
- [5] 李艳卉. 水利工程施工的质量控制与安全隐患管理建议[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2021(12): 0105-0106.