DOI:10.20033/j.1003-7241.(2025)08-0102-05

基于视频AI技术的轨道交通施工行为自动监测系统研究

肖 云

（中铁建华南建设有限公司,广东 广州 511458）

摘 要: 针对轨道交通施工行为监测时,人工监测效率低且监测范围受限这一问题,设计基于视频人工智能(artificial intelligence,AI)技术的轨道交通施工行为自动监测系统。系统技术核心设定于数据处理层,此层基于百度AI智能云平台所设计,可将数据采集层监控摄像头所采集的视频流数据,利用基于视频AI技术的违规行为智能诊断模型,由残差全连接神经网络模型,诊断视频图像中施工行为属于违规行为、正常行为的概率值,针对违规施工行为诊断结果,系统可进行自动告警管理,完成轨道交通施工行为自动监测。实验结果验证,所设计系统在人群零散、密集两种条件下,对施工现场人员安全帽佩戴情况的监测结果,与监测视频图像中实际内容一致;且视频AI技术使用后,每秒处理图像帧数提升值最大达21.53帧,施工行为监测范围广,且行为识别结果准确。

关键词: 视频AI技术;轨道交通;施工行为;自动监测系统;智能云平台;残差全连接神经网络

中图分类号: TP391.413;TP277 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-7241(2025)08-0102-05

Research on Automatic Monitoring System for Rail Transit Construction Behavior Based on Video AI Technology

XIAO Yun

(China Railway Construction South China Construction Co., Ltd., Guangzhou 511458, China)

Abstract: To address the issue of low efficiency and limited monitoring range in manual monitoring of rail transit construction behavior, a video artificial intelligence (AI) technology based automatic monitoring system for rail transit construction behavior is studied. The core of the system technology is set in the data processing layer, which is designed based on the Baidu AI intelligent cloud platform. The data collection layer can monitor the video stream data collected by the camera, and use the intelligent diagnosis algorithm for violation behavior based on video AI technology. The residual is fully connected to the neural network model to diagnose the probability value of construction behavior in the video image that belongs to violation behavior or normal behavior. Based on the diagnosis results of violation construction behavior, system can perform automatic alarm management and complete automatic monitoring of rail transit construction behavior. The experimental results verify that the monitoring results of the designed system on the wearing of safety helmets by construction site personnel under two conditions of scattered and dense crowds are consistent with the actual content in the monitoring video images. After the use of video AI technology, the maximum increase in the number of image frames processed per second is 21.53 frames, with a wide range of construction behavior monitoring and accurate behavior recognition results.

Keywords: video artificial intelligence technology; rail transit; construction behavior; automatic monitoring system; intelligent cloud platform; residual fully connected neural network

0 引言

轨道工程施工对环境保护的要求越来越高。传统的人工监测方法存在数据不连续、监测结果易受人为因素影响等问题,可能导致工程事故的发生[1-3]。随着科技的发展和信息化程度的提高,许多行业都在朝着自动化、智能化的方向发展[4]。轨道施工行为自动监测系统的应用符合行业发展趋势,可以提高地铁轨道行业的整体水平,推动行业的发展进步[5]。综上所述,轨道交通施工行为自动监测系统具有很强的必要性。

AI是人工智能技术的简称,属于计算机科学研究的分支之一。由视觉暂留原理可知,人眼不能有效分辨每秒大于24帧画面的连续图像,此类图像的组合即为视频。把AI技术使用在视频内容分析问题中,是计算机技术与视频监控系统融合应用的必然结果。文献[6]将视频AI技术中的深度学习视频识别方法,用于轨道交通建设工程动态监测问题中,此方法能够发挥视频AI技术的智能分析能力,快速诊断建设工程的施工状态。但是,此研究中,深度学习模型需要经过大量的训练和调优才能达到较好的效果;文献[7]利用建筑信息模型虚拟仿真技

*基金项目:广东省科技计划项目(201705030010)

收稿日期:2023-12-26

术、现代监控技术和物联网技术，构建施工综合监控平台，但此研究过于文字化，缺乏技术性内容研究。

视频AI技术在轨道交通施工行为自动监测系统中具有很高的使用价值，可以提高数据可靠性、异常处置效率、系统性能和安全性，并降低运营成本[8-9]。在未来发展中，随着AI技术的不断进步和应用，视频AI技术在轨道交通施工行为自动监测系统中的应用价值将会更加显著。为此，本文设计基于视频AI技术的轨道交通施工行为自动监测系统，通过对视频图像的智能分析，能够捕捉到特定的施工行为，提取相关行为属性，识别出违规操作等异常现象，为管理人员提供可靠的决策依据。

1 轨道交通施工行为自动监测系统设计

1.1 系统框架

基于视频AI技术的轨道交通施工行为自动监测系统的监测对象，是整个轨道交通施工场地。系统主要使用安装的视频监控设备，采集施工现场图像[10]，由基于视频AI技术的违规行为智能诊断模型，完成违规施工行为自动监测。系统主要基于百度AI智能云平台所设计，在QT（跨平台C++图形用户界面库）环境中使用开源计算机视觉库（open source computer vision library，Opencv），提取监控视频图像数据[11]，把监控视频实时发送至QT人机界面后，对抽帧图像进行编码处理，最后使用基于视频AI技术的违规行为智能诊断模型，解析诊断视频图像中行为数据是否违规。图1是系统的自动监测流程图，图2是基于视频AI技术的轨道交通施工行为自动监测系统的框架结构。此系统分为数据采集层、数据处理层、业务模块层、功能显示层。四层结构功能主要分为监控与提醒。监控功能是施工行为数据的采集，提醒功能是利用基于视频AI技术的违规行为智能诊断模型，识别违规施工行为后，系统发出的告警信息。且系统会实时记录违规施工的人员信息，以及施工时间、地点以及视频图像截图，作为后续员工安全教育的凭证。根据此系统的设计框架可知，基于视频AI技术的违规行为智能诊断模型是系统的技术核心，本文着重对此技术进行深入研究。

1.2 基于视频AI技术的违规行为智能诊断模型

神经网络是一种模拟动物神经网络行为特征的算法数学模型，是人工智能的底层模型之一，被广泛应用于各种复杂的应用和高级模型中，包括视频AI技术。在视频AI技术中，神经网络可以用于物体识别、人脸识别、行为识别等任务，使得计算机能够像人类一样，智能地分析和理解视频内容。因此，神经网络可以被认为是视频AI技术的一个重要应用技术。残差全连接神经网络是一种特殊的神经网络结构，在计算机视觉、自然语言处理等领域取得了显著的成果，为此，本文利用此网络作为违规行为智能诊断模型。

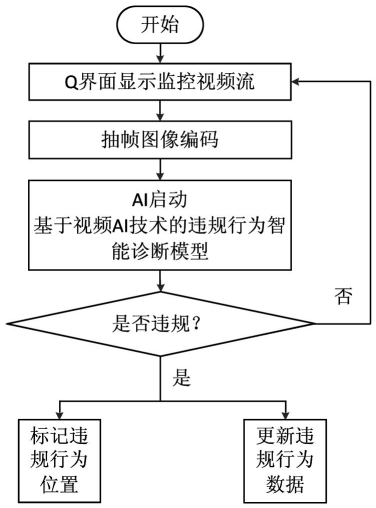


图1 轨道交通施工行为自动监测流程

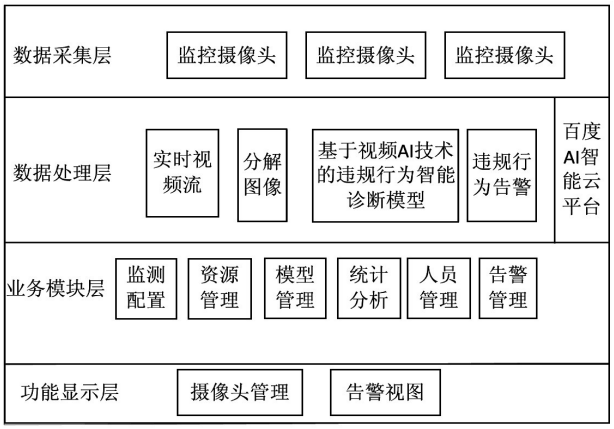


图2 视频AI技术的轨道交通施工行为监测系统框架结构

想要快速检测轨道交通施工现场的违规行为，就必须使用可以体现违规施工行为的历史数据，作为违规行为识别的训练、学习样本，提取施工行为监控视频图像的行为特征，作为测试样本的参照信息[12-13]。其中，测试样本即为当下需要诊断的施工行为监控图像。设定违规行为样本数据编码是0，正常施工行为样本数据编码是1。则施工行为监控视频图像训练样本是：

$$\boldsymbol{H}=\begin{bmatrix}h_1\\h_2\\\vdots\\h_n\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}h_{11}&\cdots&h_{1m}&x_1\\h_{21}&\cdots&h_{2m}&x_2\\\vdots&&\vdots&\vdots\\h_{n1}&\cdots&h_{nm}&x_n\end{bmatrix} \tag{1}$$

式中，h_j代表描述历史施工行为的第h_j个训练样本数据；h_{ji}代表第j条训练样本中第i个特征值，n、m分别代表历史施工行为样本数量、训练样本行为特征数量；x_j代表第j条训练样本数据实际的施工行为种类标记。

为了保证轨道交通施工行为自动监测精度，文章把残差思想使用在全连接神经网络模型中，把底层信息穿

越中间层，发送至顶层。中间层可有效提炼施工行为信息，构建两级残差全连接神经网络模型，用于构建施工行为分类模型。此模型结构如图3所示。

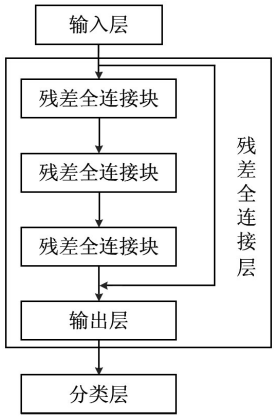


图3 残差全连接神经网络模型结构

输入层用于把具备标记信息的训练样本数据，转换成残差全连接神经网络的输入向量$\boldsymbol{y}=\{y_1,y_2,\cdots,y_m\}$，此向量是残差全连接层训练学习的样本，则设定轨道交通施工行为监控视频图像的第i个特征值是y_i。

残差全连接层的设计数量，影响着违规行为监测精度，残差全连接层数量越多，施工行为监控视频图像特征的提取越精细，违规行为监测精度越高。各个残差全连接层分为3个残差全连接块，最后一个残差全连接块的输入，是前两个残差全连接块的输出。各个残差全连接块结构分为3个隐含层、1个批标准化层。最后1个隐含层的输入，是前两层的输入与输出。两级残差结构的设计，能够优化训练样本信息，在全连接神经网络隐含层之间的交互性，防止有效的施工行为监控视频图像信息在隐含层之间传递时受损。施工行为监控视频图像在残差全连接块中首个隐含层的运算方法是：

$$l^{[1]}=\boldsymbol{\varpi}^{[1]}\boldsymbol{y}+\boldsymbol{c}^{[1]} \tag{2}$$

$$b^{[1]}=R\left(l^{[1]}\right) \tag{3}$$

施工行为监控视频图像在第2个隐含层的运算方法是：

$$l^{[2]}=\boldsymbol{\varpi}^{[2]}b^{[1]}+\boldsymbol{c}^{[2]} \tag{4}$$

$$b^{[2]}=R\left(l^{[2]}\right) \tag{5}$$

施工行为监控视频图像在第3个隐含层的运算方法是：

$$l^{[3]}=\boldsymbol{\varpi}^{[3]}\left[\boldsymbol{y}\quad b^{[2]}\right]+\boldsymbol{c}^{[3]} \tag{6}$$

$$b^{[3]}=R\left(l^{[3]}\right) \tag{7}$$

施工行为监控视频图像在批标准化层的运算方法是：

$$P=A\left(b^{[3]}\right) \tag{8}$$

式中，A代表归一化处理；$\boldsymbol{\varpi}$、$\boldsymbol{c}$、$\boldsymbol{y}$分别代表权重矩阵、偏置向量、输入向量；b、l分别代表输出向量与线性连接处理的输出结果；P是批标准化层输出结果；R是激活函数，此激活函数不仅可以用于非线性函数、线性函数的问题处理中，还不会出现反向传播梯度消失问题。

输出层结合残差全连接层处理结果，依次运算施工行为监控视频图像训练样本，和违规行为以及正常施工行为的对应值。运算方法是：

$$Q=\boldsymbol{\varpi}^{\text{out}}\boldsymbol{P}^{[k]}+\boldsymbol{c}^{\text{out}} \tag{9}$$

式中，$\boldsymbol{P}^{[k]}$、$\boldsymbol{\varpi}^{\text{out}}$依次代表第$k$个残差全连接层的输出向量、输出层权重矩阵；$\boldsymbol{c}^{\text{out}}$是输出层偏置向量；$Q=\{Q^0,Q^1\}$，表示用于训练的施工行为监控视频图像诊断结果，$Q^0$、$Q^1$依次代表违规施工行为、正常施工行为。

分类层结合训练样本的Q，依次运算测试样本中，各个施工行为的违规概率值。因为输出层获取的训练样本数据，和监控视频图像中违规行为、正常行为的概率值Q^t值域是$(-\infty,+\infty)$，为提取测试样本每个施工行为种类的概率值，把Q^t映射至$(0,+\infty)$后，归一化至$(0,1)$。则$t\in\{0,1\}$，测试样本中，轨道交通施工行为自动监测结果Q^t是：

$$Q^t=\frac{Q}{Q^0+Q^1} \tag{10}$$

式中，Q^0、Q^1依次代表输入的测试样本中各个监控视频图像中施工行为属于违规行为的概率值、属于正常行为的概率值。

为判断监测结果的可信度，需分析模型训练过程的平均损失值。平均损失越大，则监测误差越大。文章设定损失函数是交叉熵函数，则：

$$\varepsilon(\boldsymbol{\varpi},\boldsymbol{c})=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}-\left[x_j\log\left(Q_j^1\right)+\left(1-x_j\right)\log\left(Q_j^0\right)\right] \tag{11}$$

训练过程是：使用反向传播的梯度下降法，提取模型各层最优$(\boldsymbol{\varpi},\boldsymbol{c})$组合，从而保证监测模型训练时平均损失值$\varepsilon(\boldsymbol{\varpi},\boldsymbol{c})$最小化。其中，$j\in n$，表示训练次数。

1.3 视频采集与抓拍违规行为的流程设计

轨道交通施工行为监控摄像头抽帧的视频图像即为系统的输入。系统运行后，需初始化摄像头，设定动态帧捕获模式后启动摄像头，捕获轨道交通施工现场的监控视频流；由Opencv库把监控视频图像，并进行颜色格式转换并用于施工行为诊断，把施工行为诊断结果实时反馈于人机交互界面，视频采集流程如图4所示。如果监测发现违规施工行为，便会锁定监控区域中违规施工区域，并放大反馈在人机交互界面，为管理人员显示行为细节。

2 仿真测试

2.1 参数设置

实验中，本文系统的监测目标是某地铁站的施工现场，此地铁站轨道交通施工现场中，一共使用了4个视频摄像头，分别分布在施工现场的东、西、南、北四个方向。摄像头参数信息如表1所示。

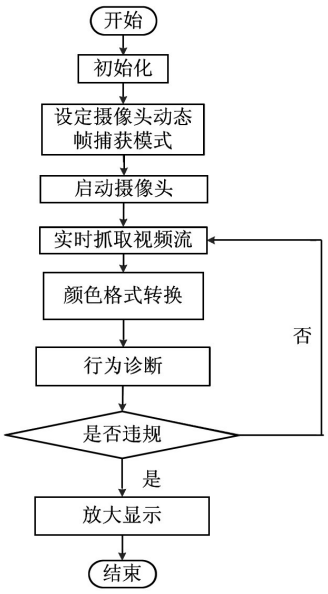


图4 视频采集与抓拍违规行为的流程

表1 轨道交通施工行为监测的摄像头参数

参数类型	详情
像素	250 W
最大图像尺寸	1 950× 1 090
帧率	50 Hz;30 fps
感光芯片	CMOS
支持协议	TCP/IP
电源供应	DC 12 V±25%
通信接口	以太网接口
存储功能	支持NAS

施工现场人员违规行为标准设定如表2所示。

表2 施工现场人员违规行为标准设定详情

行为种类	具体体现
没有正确使用安全防护装备	Q0~1施工人员进入施工现场没有佩戴安全帽
	Q0~2高空作业的施工人员未遵照规定系安全带
	Q0~3施工人员未遵照规定佩戴防尘口罩、防噪声护具
	Q0~4施工现场边缘未合理构建密目式安全网封闭维护
与危险区域距离过近	Q0~5施工人员在没有防护措施的基坑附近活动
	Q0~6施工人员在作业状态下的器械附近活动
	Q0~7施工人员在没有防护措施的洞口位置停留

2.2 违规施工行为自动监测效果测试

以“施工人员进入施工现场没有佩戴安全帽”这一问题为监测内容,表3是此监测内容的信息采集条件。

表3 安全帽佩戴状态监测的信息采集条件

条件种类	详细内容
时间	夜晚、白天
拍摄距离	远距离
施工人员位置	施工现场
人群密集状态	零散、密集

在人群零散、密集两种条件下,本文系统对施工现场人员安全帽佩戴情况的监测结果如图5、图6所示。两种条件下,本系统的监测结果,与监测视频图像中实际内容无异。结果表明系统适用于轨道交通施工行为监测问题,且针对违规施工行为,将其放大后反馈在QT界面,为管理人员显示行为细节。



图5 人群零散条件下安全帽佩戴情况的监测结果



图6 人群密集条件下安全帽佩戴情况的监测结果

为定量测试本系统对轨道交通施工行为的自动监测效果,使用行为识别准确率ρ、召回率μ、每秒处理图像帧数3个指标作为测试内容。首先设定真正例、假正例与假阴例分别是$T\rho$、$F\rho$、FM。$T\rho$描述本系统监测到违规施工行为的人员数目,$F\rho$描述实际不存在违规行为的人员被监测为违规行为的数量,FM描述实际存在违规行为的人员被监测为正常行为的数量。则ρ、μ的分析方法为

$$\rho=\frac{T\rho}{T\rho+F\rho} \tag{12}$$

$$\mu=\frac{T\rho}{T\rho+FM} \tag{13}$$

每秒处理图像帧数这一指标,用于体现本系统使用视频AI技术前后,对轨道交通施工现场施工行为监测时,对视频流图像的分析效率,表2所示几种违规行为的监测效果如表4所示。针对不同违规施工行为的自动监测问题,本文系统使用视频AI技术前后,每秒处理图像帧数存在明显差距,差值最大达21.53帧。本文系统能够在百度AI云平台的协助下,利用基于视频AI技术的违规行为智能诊断模型,提高施工行为的诊断速度。且对表中所述的违规行为监测后,行为识别准确率ρ、召回率μ均不低于0.98,可实现施工现场工人的不规范行为进行全面、

(下转第145页)