煤炭科学技术
COAL SCIENCE AND TECHNOLOGY

基于图像处理与磁探伤技术的工作面刮板输送机在线监测系统

许联航 高捷 叶壮 赖岳华

引用本文:
许联航, 高捷, 叶壮, 等. 基于图像处理与磁探伤技术的工作面刮板输送机在线监测系统[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(S1): 390−395.
XU Lianhang, GAO Jie, YE Zhuang. On line monitoring system of face scraper based on image processing and magnetic flaw detection technology[J]. Coal Science and Technology, 2023, 51(S1): 390−395.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2022−2173

您可能感兴趣的其他文章
Articles you may be interested in

智能综采工作面刮板输送机直线度监测方法研究
Study on straightness monitoring method of scraper conveyor in intelligent fully−mechanized mining face
煤炭科学技术. 2022, 50(4): 246−255 http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/a3ab4304−0801−469e−b5e5−2b04b89a7246

刮板输送机多永磁电机串联驱动新模式及关键技术
New mode and key technology of series drive of multiple permanent magnet motors for scraper conveyor
煤炭科学技术. 2024, 52(2): 238−252 https://doi.org/10.12438/cst.2023−1396

基于激光扫描的综放工作面放煤量智能监测技术
Intelligent monitoring technology of coal caving in fully−mechanized caving face based on laser scanning
煤炭科学技术. 2022, 50(2): 244−251 http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/5e57c7f1−1ba3−44c5−bb67−960b0f1205da

500 m超长工作面刮板智能输送技术研究
Research on intelligent conveying technology of 500 m ultra−long face scraper
煤炭科学技术. 2024, 52(4): 326−335 https://doi.org/10.12438/cst.2023−0739

不同工况条件下刮板输送机刚散耦合效应研究
Research on rigid−discrete coupling effect of scraper conveyor under different working conditions
煤炭科学技术. 2023, 51(11): 190−201 https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2023−0293

基于手机图像处理的煤炭GSI检测系统设计与实现
Design and complete of coal GSI detection system based on mobile image processing
煤炭科学技术. 2021, 49(3): 154−159 https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2021.03.021

关注微信公众号，获得更多资讯信息

移动扫码阅读

许联航, 高　捷, 叶　壮, 等. 基于图像处理与磁探伤技术的工作面刮板输送机在线监测系统[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(S1): 390−395.

XU Lianhang, GAO Jie, YE Zhuang, *et al*. On line monitoring system of face scraper based on image processing and magnetic flaw detection technology[J]. Coal Science and Technology, 2023, 51(S1): 390−395.

基于图像处理与磁探伤技术的工作面刮板输送机在线监测系统

许联航[1], 高　捷[2], 叶　壮[3], 赖岳华[3]

(1. 神华神东煤炭集团有限责任公司, 内蒙古 鄂尔多斯　017209; 2. 中国矿业大学 信息与控制工程学院, 江苏 徐州　221116; 3. 北京天玛智控科技股份有限公司, 北京　101399)

摘　要: 为了在生产实践中对工作面刮板机的工作状态进行实时监测，避免因链条偏移、磨损、断链而造成的损失，提高开采过程的智能化与自动化水平，提出了一种基于语义分割和边缘检测等图像处理技术与磁探伤传感器技术的工作面刮板机在线监测系统。结果表明：在满足识别条件的前提下，该系统对刮板机链条的识别率能够达到 90%，识别延迟小于 2 s，能够对刮板机的链条拉伸、磨损或变形超过 5% 时有较高的检测准确度，并且在地面调度指挥中心能够实时接收刮板输送机断链拉斜视频、图片以及地面监控系统语音报警信息。

关键词: 图像处理; 磁探伤; 工作面刮板机; 在线监测; 语义分割

中图分类号: TD713　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 0253−2336(2023)S1−0390−06

On line monitoring system of face scraper based on image processing and magnetic flaw detection technology

XU Lianhang[1], GAO Jie[2], YE Zhuang[3], LAI Yuehua[3]

(1. *Shenhua Shendong Coal Group Co., Ltd., Ordos* 017209, *China*; 2. *China University of Mining and Technology, School of Information and Control Engineering, Xuzhou* 221116; 3. *Beijing Tianma Intelligent Control Technology Co., Ltd., Beijing* 101399, *China*)

Abstract: In order to monitor the working state of the face scraper in real time in production practice, avoid the loss caused by chain deviation, wear and breakage, and improve the intelligence and automation level of the mining process, this paper proposes an online monitoring system for the face scraper based on image processing technologies such as semantic segmentation and edge detection and magnetic flaw detection sensor technology. The results show that, on the premise of meeting the recognition conditions, the recognition rate of the scraper chain can reach 90%, the recognition delay is less than 2 seconds, and the system can have high detection accuracy when the chain of the scraper is stretched, worn or deformed more than 5%. In addition, the ground dispatching command center can receive the video, pictures and voice alarm information of the ground monitoring system of the broken chain and inclined chain of the scraper conveyor in real time.

Key words: image processing; magnetic flaw detection; working face scraper; online monitoring; semantic segmentation

0　引　　言

随着煤矿开采技术的发展, 自动化和智能化综采的理念逐步深化[1]。在实际生产过程中, 由于开采装备信息感知水平低以及智能化水平低, 目前的综采工作面自动化仍以集中监控为主, 不仅耗费人力物力, 而且还不能实现开采装备工作状态的准确判断、自适应调节以及协同工作, 并没有真正实现综采工作面的自动化和智能化[2]。刮板输送机由于长期处于高负荷工况, 导致链条易出现断链故障, 对经济和人员安全造成威胁[3]。本文提出的工作面刮板机在线监测系统使用了当下主流的基于卷积神经网络

收稿日期: 2022−10−20　　**责任编辑:** 常　琛　　**DOI:** 10.13199/j.cnki.cst.2022-2173

基金项目: 神东保德“综采放顶煤智能化控制技术研究”项目(00000050048)

作者简介: 许联航(1979—), 男, 陕西兴平人, 高级工程师, 本科。Tel: 0912-8282167, E-mail: xlh573@163.com

的图像语义分割技术来完成对链条的识别以及对断链、偏移的监测，使用磁探伤传感器技术完成对刮板机链条磨损的监测。该系统不仅可以显著防止刮板输送机因工作异常无法运行，从而导致工作面停工[4]；而且可以实时在线监测刮板输送机的主要部件的运行情况，能够及时诊断设备故障的主要部件或预测设备故障的具体情况，从而确保工作人员能以最快速度解决问题，确保工作面的顺利生产，而且，可以延长刮板输送机各部件的使用寿命，对煤矿井下设备维护具有重要的实际意义[5]。

1　应用场景

位于山西省保德县桥头镇境内的保德煤矿为高瓦斯矿井，地质条件复杂，顶板破碎，安全管理难度大，为神东煤炭集团所属的大型石炭二叠纪出口煤配煤基地，属黄土高原晋西北边缘，晋北大型煤炭基地河保偏矿区，地处黄河东岸，河东煤田的北部。

本系统能够完全适应保德煤矿的工作条件，即工作在 812.2 ~ 1 148.1 m 的海拔高度、−25 ~ 50 ℃的环境温度、月平均值不大于 90% 且日平均值不大于 95% 的环境湿度、有瓦斯煤尘爆炸的危险场所和高瓦斯矿井。

2　系统组成

本次设计的工作面刮板机在线监测系统基于传统的工业物联网组织架构，由感知层、传输层以及应用层 3 部分构成，如图 1 所示。

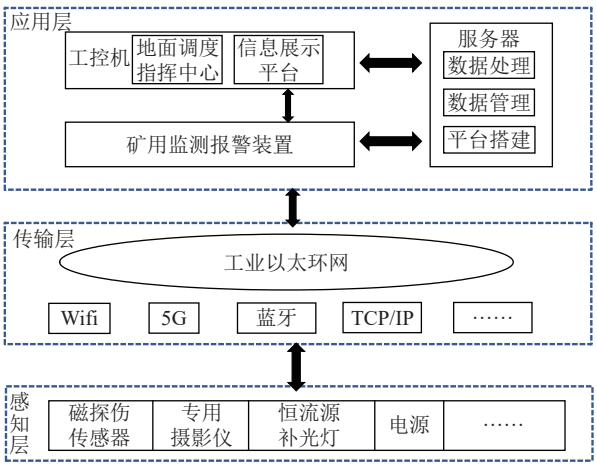

图 1　在线监测系统基本组成结构

Fig.1　Basic composition structure diagram of online monitoring system

2.1　感知层

感知层主要由现场大量传感器、专用摄影仪、恒流补光灯、电源等设备构成，根据现场情况不同还会增加智能手持终端、故障定位装置或 PLC 控制系统等设备。感知层实现作业现场环境、生产工况的全面感知，依托各传感装置、控制装置、定位装置的物联规则，实现各传感器、控制器之间的自动智能识别与就地控制[6]。

本系统使用数个安装在综采工作面前部刮板输送机的磁探伤传感器实时监测预警刮板机链条的磨损程度，能够对深度为链条直径的 1/2 以上，宽度为 3 mm 以上以及磨损程度以及拉伸程度大于 5% 的链条保持精确的监测。为了适应链条与刮板 5 m/s 的移动速度，采样速率要保证在 200 μs/mm 以上，同时需要支持 5G 和 WiFi 技术接入环网，通过传输层将采集信息发送到应用层。

专用摄影机加恒流源补光器设备选用矿用隔爆兼本安型网络摄像仪（刮板机检测）和矿用隔爆兼本安型红外线灯，将其安装在刮板机尾部完成图像信息的采集，同时利用图像语义分割技术，对刮板链和刮板进行边缘提取，完成刮板机的拉斜、断链和丢板监测，同时配套除尘装置，并支持光纤、WiFi 等通信传输。

磁探伤传感器内部布置了多个探伤单元和 32 位 ARM 单片机，每个探伤单元覆盖一根链条，传感器将刮板机链环的缺陷转换成模拟信号送入单片机，由单片机进行模数转换和数字信号处理，并传输处理后的信号。

2.2　传输层

传输层需要将感知层采集到的各类不同的数据实时、高效地传输至应用层，使用基于以太网技术和 TCP/IP 技术的工业以太环网配合 WiFi、蓝牙、5G 等通信网络技术完成该传输过程[7]。

2.3　应用层

应用层位于系统结构的最顶层，对传输层传来的数据进行智能地管理、分析和处理，并向用户提供监测、预警等平台化服务。本系统应用层主要由服务器、矿用监测报警装置和工控机组成。

在地面信息中心机房搭建矿井地面服务器，在井下监控视频数据稳定流畅接入的前提下，将矿井地面服务器部署在地面视频调度中心，完成用户服务平台的搭建与维护，并对传输层传来的数据进行管理和处理。矿用监测报警装置主机能够独立进行边缘计算，完成就地分析与就地处理。同时对接三机控制器，在接受上层发出的停机信号后可以直接接入控制器进行制动与报警。工控机可作为地面调

度指挥中心，与服务器和矿用监测报警装置主机进行通信，并作为信息展示平台与用户进行交互。

3　系统功能

将矿用隔爆兼本安型网络摄像仪（刮板机检测）和矿用隔爆兼本安型红外线灯按图 2 所示安装在工作面刮板机的上方，对下方通过的刮板机链条进行实时监测，若发生异常则通过矿用监测报警装置主机发出报警信号，使用搭建出来的 AI 智能应用管理平台在工控机界面向用户展示故障图片与故障信息。

(a) 安装图正面　　(b) 安装图侧面

图 2　摄影仪和补光灯安装示意

Fig.2　Installation diagram of camera and fill light

正常情况下，当刮板机链条通过摄影仪检测范围时，摄影仪捕捉到链条图像，如图 3 所示。

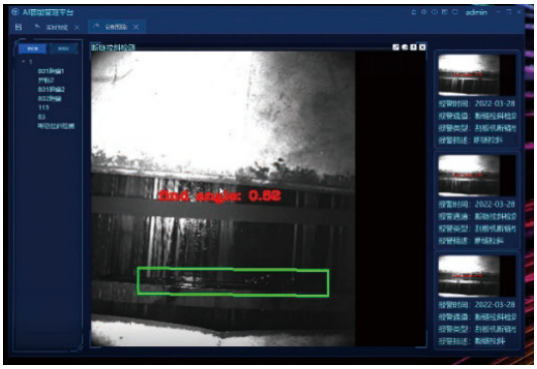

图 3　获取链条图像

Fig.3　Obtain chain image

摄影仪捕捉到链条图像的同时，会计算偏移角度，并判断是否超过阈值角度、是否发生断链情况，并将信息回传到应用层，在 AI 智能管理平台进行显示。若链条发生故障，则将进一步记录故障信息并发出报警信号，如图 4 所示。

(a) 链条偏移　　(b) 链条断裂

图 4　获取链条故障图像信息

Fig.4　Obtain the chain fault image information

因为链条磨损很难通过肉眼识别，因此安装在综采工作面前部刮板输送机的磁探伤传感器独立于摄影仪，单独对链条磨损进行监测预警，在底端感知层监测链条磨损程度，超过阈值则发出报警信息，通过传输层传递到矿用监测报警装置发出报警信号，并在工控机的信息展示平台提出链条磨损超出阈值信息。故摄影仪与磁探伤传感器对工作面刮板机的监测是单独进行的，但是会通过最顶端的信息展示平台进行共同显示。

4　主要技术

4.1　语义分割技术

图像语义分割，本质上还是一个图像分割的问题，也是计算机视觉领域的一个热门研究方向。语义分割即为基于图像分割的技术，包括图像的前景分割和图像关注区域的特征识别，结合图像本身的纹理效果和应用场景，找出隐藏在图像中的信息，图像中某个物体的类别以及图像所要表达的场景，如图 5 所示[8]。

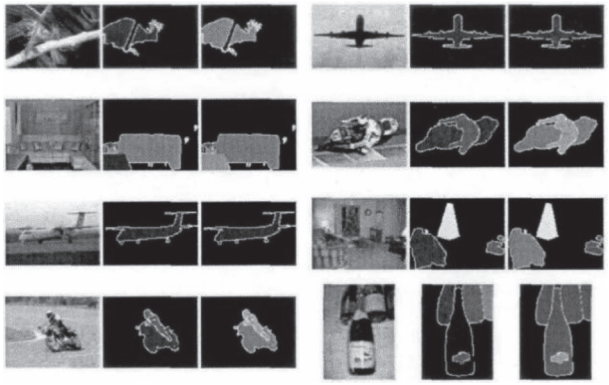

图 5　图像语义信息的理解与分类

Fig.5　Understanding and classification of image semantic information

目前语义分割主要采用深度学习领域最热门的卷积神经网络来实现[9]，本系统所使用的矿用隔爆兼本安型网络摄像仪存储了在自定义数据集上训练后的、准确度达到 90% 的语义分割模型来完成对刮板机链条的识别、链条故障的监测。

4.2　目标检测技术

本系统对刮板机链条进行监测的前提是通过专用摄影机加恒流源补光器设备对经过其下方的链条进行目标检测定位。利用高性能的服务器对目标检测算法模型进行训练，使用 VOC 格式的自定义链条数据集得到符合精度的模型参数后，部署到本系统之中。

目标检测算法选用精度高、速度快的 Faster R-

CNN 模型，本质就是 Fast R-CNN 加上区域提议网络 RPN，基本结构如图 6 所示。其算法流程可以分为 3 个步骤，首先将图像输入到 backbone 网络获得输入图像的 feature map，然后使用区域提议网络生成候选框，并投影到特征图上获得特征矩阵，最后再将每个特征矩阵通过 ROI 池化层缩放到 7*7 大小的 feature map，并将其展平通过一连串的全连接层得到最终的预测结果。

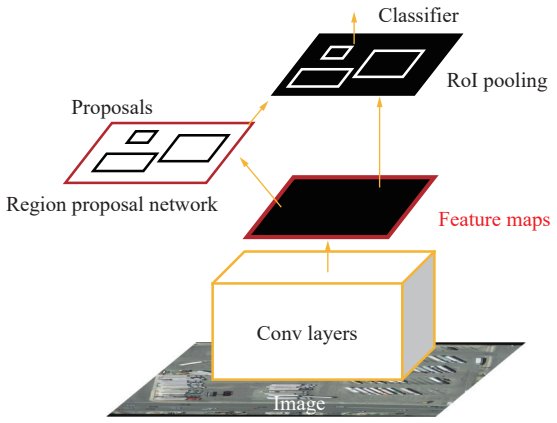

图 6　Faster R-CNN 结构

Fig.6　Faster R-CNN structure diagram

网络的 backbone 部分采用经典卷积网络 ResNet-50 用以克服由于网络过深而产生的学习效率变低与准确率提升较小的问题。ResNet-50 的基本结构图如图 7 所示，包含有 2 个基本的块，分别名为 Conv Block 和 Identity Block，前者不能连续串联，因为输入输出维度不同，用来改变网络的维度；后者因输入维度和输出维度相同，所以可以串联，可用来网络的加深。

4.3　磁探伤传感技术

磁传感技术主要针对刮板机链条探测，采用双回路时差磁平衡原理，对链条断裂、磨损、拉伸和变形等进行检测（图 8）[10]。

激励源可以有直流电源和交流电源两种选择，由于 A 线圈和 B 线圈的匝数一致，产生的磁力线大小相等方向相反，所以 C 线圈产生的感生电动势为零。当链条正常时，C 线圈的输出均为零；当链条内部或外部有缺陷时，因缺陷处导磁性能差，无论是先经过线圈 A 还是线圈 B，都会引起磁通量的变化，导致线圈 C 产生感生电动势，从而被传感器测量，并产生正负信号。磁探伤技术使用了磁通平衡工作原理，具有很高的灵敏度，当链条磨损或拉伸变形达到 5% 时即可测量出来[11]，磁探伤实测波形图，如图 9 所示，波形突变处表示链环有断裂。

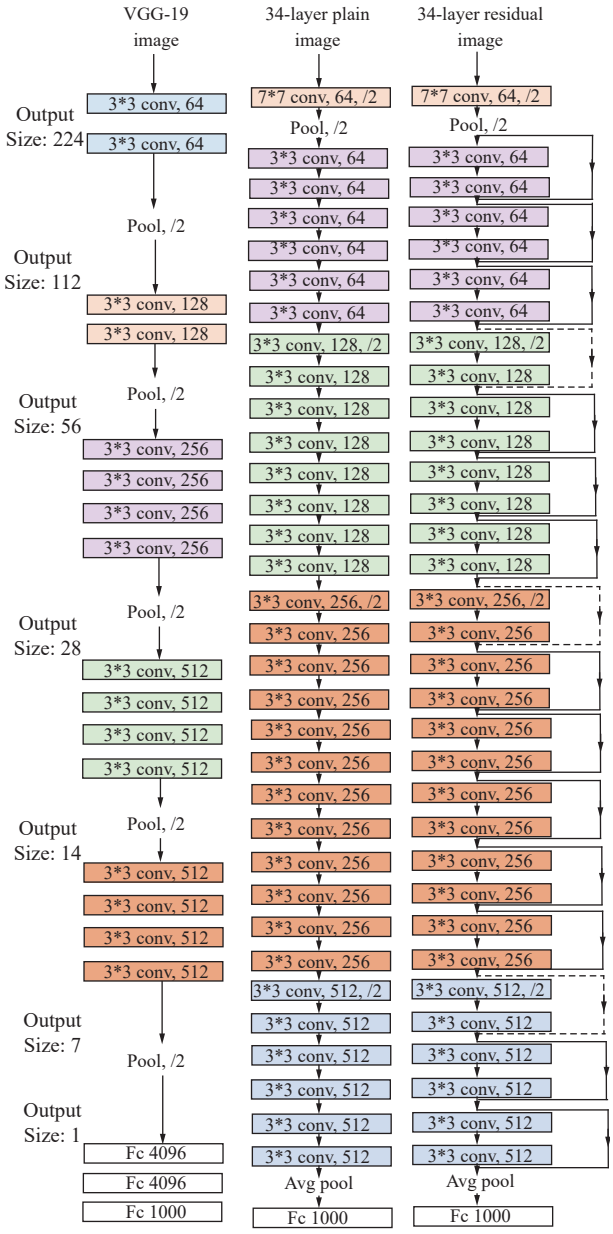

图 7　ResNet-50 结构

Fig.7　ResNet-50 structure diagram

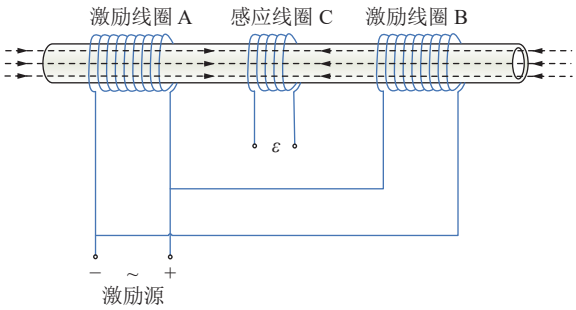

图 8　磁探伤传感技术识别链条示意

Fig.8　Schematic diagram of identification of the scraper chain by magnetic sensing technology

4.4　图像识别与磁探伤技术间的关联

专用摄影机加恒流源补光器设备所应用的图像

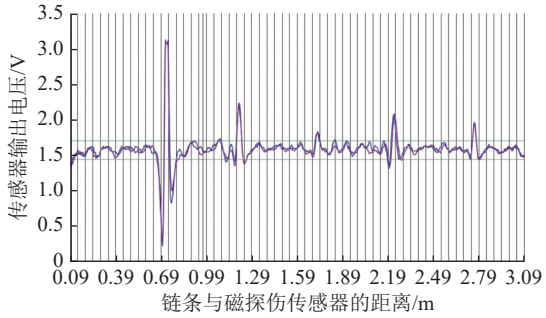

图 9　实测波形图

Fig.9　Measured waveform

处理技术与磁探伤传感器所采用的磁探伤技术二者缺一不可。

图像识别技术主要包括图像的采集、处理、识别和输出 4 个阶段。即利用专用摄像机拍摄图片，根据图片灰阶差对图像进行进一步处理，再对图像重要特征进行分类提取实现图像的识别，最后通过特征比对实现结果输出。因此图像识别技术主要用于特征明显的比对，用于识别刮板机丢板、链条拉斜及断链。

目前由于图像处理中边缘提取技术的限制，图像识别技术无法对更加精细的链条磨损进行检测，更无法对链条内部缺陷进行识别，因此增加磁探伤传感器，通过链条磁通量的变化，根据波形图用来判断刮板机链条是否存在磨损、拉伸、变形或内部损伤。

4.5　故障精确定位技术

在刮板机端部安装增量式编码器，编码器与电机轴刚性连接，位置关系一一对应，PLC 通过读取编码器脉冲，可以知道电机轴的位置。同时电机会带动刮板机前进或后退，编码器会输出 ABZ 三相信号，根据齿轮比，结合编码器输出的脉冲数，利用 PLC 的高速计数指令可以计算刮板机的位置。

提前设置刮板机位置基准点，当系统识别到断链或链环变形异常时，触发指令给 PLC。控制系统结合专用摄像仪及磁探伤传感器安装位置、报警时脉冲信号，可实现故障精确定位。故障定位检测程序，如图 10 所示。

4.6　网络通信技术

本系统设计的网络通信技术包括 5G、WiFi、工业以太环网。

5G 移动通信技术具有高速率、低时延和大连接特点，基于 5G 的通讯设施是实现人机物互联的网络基础设施，本系统想要实现实时处理，5G 的传输速度必不可少[12]。WiFi 全称无线通信技术，利用 WiFi 可实现各个设备的无线通讯，在无需考虑布线条件

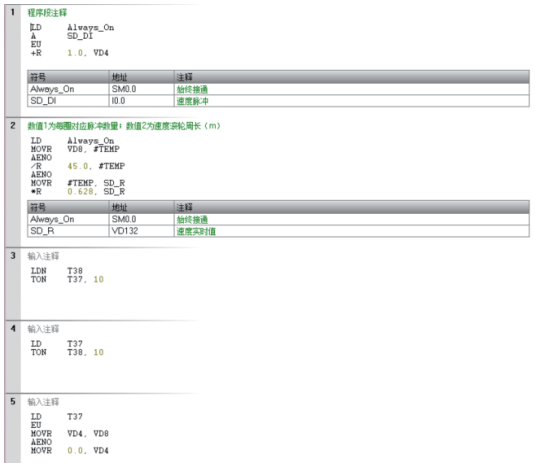

图 10　故障定位检测程序

Fig.10　Fault location detection program

的限制下还可以保证高速和可靠。工业以太网是应用于工业控制领域的以太网技术，将其应用到工业控制领域可以使遵照网络协议不同厂商的设备可以很容易实现互联，并且在保持高通信速率的前提下，形成企业级管控一体化的全开放网络，实现工业控制网络与企业信息网络的无缝连接[13-14]。

通过 5G、WiFi、工业以太环网三者的配合，便可组成系统传输层，完成感知层采集到的数据到应用层的使用。

5　结　　语

设计的工作面刮板机在线监测系统采用了当下先进的基于神经网络的图像处理技术，以及采用精确度高的磁探伤传感器技术实现对刮板机链条偏移、磨损、断链等故障的检测报警，可以结合自动控制技术，实现工作面刮板机的智能联动，显著提高了开采运输过程的智能化与自动化水平。

参考文献(References):

[1] 王学文，谢嘉成，郝尚清，等. 智能化综采工作面实时虚拟监测方法与关键技术[J]. 煤炭学报，2020，45(6)：1984−1996.
WANG Xuewen，XIE Jiacheng，HAO Shangqing，*et al*. Real-time virtual monitoring method and key technology of intelligent fully mechanized mining face[J]. Journal of Coal Science，2020，45(6)：1984−1996.

[2] 王龙康. 煤矿安全隐患层次分析与预警方法研究[D]. 北京：中国矿业大学(北京)，2015.
WANG Longkang. Hierarchy analysis and early warning method research of hidden dangers in coal mines[D]. Beijing：China University of Mining and Technology (Beijing)，2015.

[3] 杨士伟. 矿井刮板输送机传输链条断链故障监测系统设计研究[J]. 机械管理开发，2021，36(5)：110−112.
YANG Shiwei. Design and research of monitoring system for

broken chain of transmission chain of mine scraper conveyor[J]. Mechanical Management and Development, 2021, 36(5): 110−112.

[4] 陈令国, 赵江华, 梅雪峰. 综采工作面刮板输送机的自动化、智能化控制技术[J]. 工矿自动化, 2011, 37(12): 24−26.
CHEN Lingguo, ZHAO Jianghua, MEI Xuefeng. Automation and intelligent control technology of scraper conveyor in fully mechanized mining face[J]. Automation of Industry and Mine, 2011, 37(12): 24−26.

[5] 何张雷. 在线监测系统在刮板输送机故障诊断中的应用[J]. 矿业装备, 2018(6): 108−109.
HE Zhanglei. Application of online monitoring system in fault diagnosis of scraper conveyor[J]. Mining Equipment, 2018(6): 108−109.

[6] 阙建立. 智能矿山平台建设与实现[J]. 工矿自动化, 2018, 44(4): 90−94.
QUE Jianjian. Construction and realization of intelligent mine platform[J]. Industrial and Mine Automation, 2018, 44(4): 90−94.

[7] 孙其博, 刘　杰, 黎　羲, 等. 物联网: 概念、架构与关键技术研究综述[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(3): 1−9.
SUN Qibo, LIU Jie, LI Rong, *et al*. Internet of things: concept, framework and key technology research review[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2010, 33(3): 1−9.

[8] 汤伟建. 基于卷积神经网络的图像语义分割方法研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2022.
TANG Weijian. Research on image semantic segmentation method based on convolutional neural network[D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology, 2022.

[9] 周飞燕, 金林鹏, 董　军. 卷积神经网络研究综述[J]. 计算机学报, 2017, 40(6): 1229−1251.
ZHOU Feiyan, JIN Linpeng, DONG Jun. Review of convolutional neural network research[J]. Journal of Computers, 2017, 40(6): 1229−1251.

[10] 林俊明. 漏磁检测技术及发展现状研究[J]. 无损探伤, 2006(1): 1−5,11.
LIN Junming. Research on flux leakage detection technology and development status[J]. Nondestructive Testing, 2006(1): 1−5,11.

[11] 周俊莹. 基于磁探伤原理的矿用钢丝绳局部缺陷检测方法研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京), 2019.
ZHOU Junying. Research on local defect detection method of mining steel wire rope based on magnetic flaw detection principle[D]. Beijing: China University of Mining and Technology (Beijing), 2019.

[12] 赵国锋, 陈　婧, 韩远兵, 等. 5G移动通信网络关键技术综述[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2015, 27(4): 441−452.
ZHAO Guofeng, CHEN Jing, HAN Yuanbing, *et al*. Summary of key technologies of 5G mobile communication network[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2015, 27(4): 441−452.

[13] 王彦博. 物联网形势下的5G通信技术运用分析[J]. 中国新通信, 2022, 24(19): 4−6.
WANG Yanbo. Analysis of the application of 5g communication technology under the situation of the internet of things[J]. China New Communications, 2022, 24(19): 4−6.

[14] 张华兵. 基于MapX的矿山安全管理信息系统的设计与开发[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2006.
ZHANG Huabing. Design and development of mine safety management information system based on MapX[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2006.