DOI:10.20033/j.1003-7241.(2025)08-0084-05

基于高速无线智能自组网的电力施工现场智能监管方法

林洲游
（温州电力设计有限公司监理分公司，浙江 温州 325000）

摘　要：当前对于电力施工现场的智能监管，其结果拟合度偏高，监管效果不佳，故基于高速无线智能自组网技术研究一种电力施工现场智能监管的方法。采用高速无线智能自组网设备对电力施工现场进行图像采样，并将图像数据传输至终端监控设备，结合动态识别方法将风险因素的时间序列进行分解，得到时间/风险分解结构图，通过对风险指标因素进行高维映射，求取施工安全阈值，进而实现对电力施工现场的智能监管。对所提方法的监管性能进行测试，结果显示，所提方法得到的电力施工现场监管结果的拟合度较低，监管效果更好。

关键词：自组网技术；电力施工；现场监管
中图分类号：TP277　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1003-7241(2025)08-0084-05

Intelligent Supervision Method for Electric Power Construction Site Based on High Speed Wireless Intelligent Ad Hoc Network

LIN Zhouyou
(Wenzhou Electric Power Design Co., Ltd., Supervision Branch, Wenzhou 325000, China)

Abstract: At present, the results of intelligent supervision on the electric power construction site are on the high side, and the supervision effect is not good. Therefore, this paper studies a new method of intelligent supervision on the electric power construction site based on high-speed wireless intelligent ad hoc network technology. The high-speed wireless intelligent ad hoc network equipment is used to sample the image of the power construction site, and the image data is transmitted to the terminal monitoring equipment. Combined with the dynamic identification method, the time series of the risk factors are decomposed, and the time/risk decomposition structure diagram is obtained. Then the intelligent supervision of the electric power construction site is realized. The regulatory performance of the proposed method is tested, and the results show that the fitting degree of the regulatory results of the power construction site obtained by the proposed method is low and the regulatory effect is better.

Keywords: ad hoc network; electric power construction site; supervision

0　引言

随着智能电网建设的不断深入，电力施工现场的智能监管变得越来越重要。电力施工现场传统监管方式存在监管效率低、信息传递不及时、安全隐患排查不及时等问题，因此，需要研究一种性能更好的电力施工现场监管方法。

文献[1]利用改进的掩码区域卷积神经网络（mask region-based convolutional neural network，Mask R-CNN）模型对电力施工现场的安全监控视频数据进行特征提取和监管，提高了监测精度，但受计算资源、时间成本和多种因素影响，需增强模型鲁棒性。文献[2]通过预处理施工数据，提取目标进行特征提取和模型训练，实时检测和分析行为，发现违法行为并报警，但对于复杂情况和动态环境，算法适应性有待提高。两者都展示了施工现场监控的进步，但仍需进一步改进以适应实际应用中的复杂性和变化性。文献[3]结合边缘计算技术设计远程告警方法，搭建边缘计算模型，利用模型检测电力施工现场的违规行为并确定类型，最后通过远程程序驱动实现远程告警，但过于依赖边缘计算模型对违规行为的检测和判断，从而产生误报或漏报的情况。

基于以上分析，本文结合高速无线智能自组网技术研究并设计了一种新型的电力施工现场智能监管方法。高速无线自组网技术具有自组织、适应性强、可靠性高、成本低等优点，可以有效解决电力施工现场监管中的问题。

1　电力施工现场智能监管方法设计

1.1　基于高速无线智能自组网的施工现场图像采样

本研究采用高速无线智能自组网技术对电力施工现场图像进行采样，基于高速无线智能自组网的施工现场图像采样流程如图 1 所示。

*基金项目：浙江省电力实业科技项目资助（CF058805012023001）
收稿日期：2023-12-18

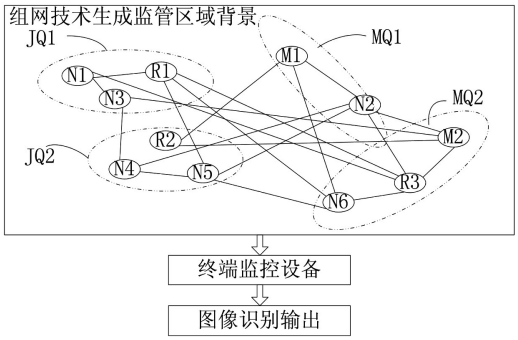


图1 基于高速无线智能自组网的施工现场图像采样流程

在图1中，M_i表示主节点，R_i表示路由的中继节点，N_i表示从节点，$JQ1$、$JQ2$、$MQ1$、$MQ2$分别表示相应节点组成的集群，连接线表示各节点的通信链路。主节点管理所有集群网络中的中继节点，因此，主节点首先对中继节点进行初步组网，并搜索其他从节点，以将其配置并网[3]。主节点利用组网信标帧的形式对所有节点进行入网操作，遍历结束后完成整个无线组网过程。组网过程可用如下方程描述：

$$Z_1=\frac{Z_c-Z_{\min}}{Z_{\max}-Z_c} \tag{1}$$

式中，Z_1表示节点遍历时间函数；Z_c表示已加入该群主节点的从节点数目；$Z_{\min}$、$Z_{\max}$分别表示群主节点与中继节点之间的网络质量的最低值与最高值。

根据无线自组网技术的应用原理，将高速无线智能自组网设备安装在施工现场，采集施工现场图像，并将其传输至中央服务器中[4]，完成对施工现场的图像采样，该过程的具体流程如下：

（1）设备布置。在施工现场安装高速无线智能自组网设备，包括无线路由器、无线网桥等。根据实际需要，设备布置在每个监测点的最佳位置，以确保能够清晰地采集到施工现场的图像；

（2）设备调试。为便于根据现场应用环境调整网络结构，基于主节点当前的状态，计算出该群主节点的链路动态因子值，计算公式为：

$$w_d=Z_1\sqrt{\left\|\frac{\alpha_0}{A_i}\right\|^2} \tag{2}$$

式中，α_0表示网络质量占比；A_i表示反馈系数。w_d越大，表明网络质量与容量越好。在此基础上，再根据链路动态因子值优先选择网络质量好的群组作为主节点集群，并对施工现场进行图像采样工作；

（3）图像采样。采集的图像数据通过高速无线智能网络传输到终端监控设备，并存储在本地存储设备中，用于后续分析和处理[5]。

根据电力施工现场的作业性质，采用具有感知盲区少、网络性能佳以及数据利用率高等优势的高速无线智能自组网技术对施工现场进行图像采样，为后续基于图像识别施工风险奠定基础。

1.2 施工风险因素识别

在电力施工工程中，对其进行风险因素识别是实现施工全域监管的基础。由于电力施工作业线分布较广、涉及的施工人员、车辆以及机械设备较多，直接对施工现场的风险因素进行识别较为困难[6]。因此，基于上述采集的施工现场图像，采用动态识别方法检测施工过程的风险因素。

考虑到电力施工现场场景的复杂程度，在无线智能自组网设备所获取的图像序列I中进行高斯背景建模，得到较为清晰的初始监管背景，即

$$S_p=\sum\frac{I\times f_t}{\sqrt{\frac{\alpha_1\times k_0}{\mu_x}}} \tag{3}$$

式中，S_p表示初始监管背景区域；I表示利用无线智能自组网技术采集的图像；f_t表示图像像素协方差；α_1表示背景灰度值；k_0表示二值化系数；μ_x表示图像像素方差。

随着时间的变化，背景图像也会出现改变，此时应不断更新原始图像中每个像素点的参数[7]，以生成新的监管区域背景，更新算法的表达式可表示为

$$\eta_b=S_p\sum\frac{\frac{r_s}{b_{x,y}}}{e_0\times d_f} \tag{4}$$

式中，r_s表示更新系数；$b_{x,y}$表示新的帧图像在(x,y)处的灰度值；e_0表示高斯函数的控制参数；d_f表示图像中的冗余信息。

在获得了较高质量的监管区域背景后，对图像进行均值化操作，以得到差分图像[8]，计算公式如下：

$$Q_1=\eta_b\times\frac{t_s}{h_t}+\frac{k_1}{l_0} \tag{5}$$

式中，t_s表示二值化分割阈值；h_t表示图像像素点个数；k_1表示图像噪点；l_0表示随机矢量。

经过上述处理得到的二值化图像，即可得到更加清晰的背景监管区域以及完整的前景运动目标，便于对其中风险因素的识别。在电力施工这个庞大的系统中，一旦出现影响安全质量的风险因素，经过各项风险指标的动态演变与积累，就会引发风险事件[9]。而在施工的不同阶段存在不同的风险因素，且随着时间的推移，风险因素是不断变化的，所以，本文使用动态识别方法将风险因素的时间序列进行分解，得到时间/风险分解结构图，见图2。

在图2中，T_jR_j表示第j个施工阶段的第j项风险因

素。在经过图2的分解后，结合现场施工图像的二值化处理结果，将时间分解单因子与风险分解单因子进行交叉，得到风险指标参量 B_i[10]，表达式如下：

$$B_i = Q_1 \begin{bmatrix} a_{11} & a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \tag{6}$$

式中，a_{mn}表示第 m 个施工时间段中第 n 个风险指标向量。

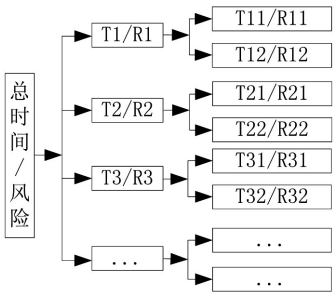


图2 施工风险/时间结构图

将时间风险分解用风险指标参量来表示，进而得到风险因素识别矩阵，如表1所示。

表1 施工动态风险识别矩阵

项目		风险分解				
		R_1	R_2	R_3	…	R_ε
时间分解	B_1	γ_{11}	γ_{12}	γ_{13}	…	$\gamma_{1\varepsilon}$
	B_2	γ_{21}	γ_{22}	γ_{23}	…	$\gamma_{2\varepsilon}$
	B_3	γ_{31}	γ_{32}	γ_{33}	…	$\gamma_{3\varepsilon}$
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	B_σ	$\gamma_{\sigma 1}$	$\gamma_{\sigma 2}$	$\gamma_{\sigma 3}$	…	$\gamma_{\sigma\varepsilon}$

通过表1中的风险识别矩阵，按照矩阵中的原始数据判断各个时间点中是否存在该矩阵横行所对应的风险，若存在风险，$\gamma_{\sigma\varepsilon}$=1；若不存在风险或风险小到可以忽略，则$\gamma_{\sigma\varepsilon}$=0，以此为方式进行风险识别。本文的监管方式中，使用动态识别可以将工程施工系统中的各个时间与风险进行分解，有效避免风险因素遗漏，细化风险的定性分析，为最终实现电力施工现场监管提供了有利条件。

1.3 计算施工安全阈值

针对电力施工现场风险因素识别结果进行施工安全监管时，需要以风险指标因素作为依据，通过序列化处理，提取这一数据序列的高层分布式特征[11]，作为后续智能监管的依据，根据特征数据求取施工安全阈值，并将其与预设阈值相比较，以判断当前施工的安全性。

首先将原始风险指标因素的识别结果进行高维映射处理，表达式为

$$D = \gamma_{\sigma\varepsilon} \times H_s \sqrt{\frac{u_b}{v_0}} \tag{7}$$

式中，$\gamma_{\sigma\varepsilon}$表示施工风险因素识别结果；$H_s$表示映射过程的离散系数；$u_b$表示二进制处理后的数据；$v_0$表示比例系数；$D$表示高维空间中的风险因素向量值。

为了防止电力施工现场作业风险数据序列化处理过程中出现收敛速度慢、数据映射精度低等问题，引入叠加标度函数扩展映射数据的步长，计算公式为

$$q_c = \sum\sum \frac{|D \times g_x|^2}{\varpi_0 \cdot w_v^{-1}} \tag{8}$$

式中，g_x表示数据截断误差；ϖ_0表示增益匹配系数；w_v表示叠加标度函数。

则最终序列化处理后的数据值可表示为

$$\chi = \frac{q_c - \phi_b}{c_0 + y_c} \tag{9}$$

式中，ϕ_b、c_0分别表示序列中的最大值与最小值，y_c表示衰减常数。

将序列化处理后的风险指标数据进行多变量非线性转换，以提取其中的风险特征，即

$$\tau = \frac{\chi + p_t \times \iota_1}{C_t \times \upsilon_1} \tag{10}$$

式中，p_t表示数据补零次数；ι_1表示智能监管步幅；C_t表示标准正态累积概率函数；υ_1表示数据集大小。

进而采用下式计算施工安全阈值，即

$$\kappa = \tau \times h_p \times a_l \tag{11}$$

式中，h_p表示时间常数；a_l表示施工安全控制系数。

将上式计算出的电力施工安全阈值与预设安全阈值Ω相比较，若$\kappa \geqslant \Omega$，则说明当前施工处于安全状态；反之，则说明施工处于危险状态，以此实现对电力施工现场安全的智能监管，完成基于高速无线智能自组网的电力施工现场智能监管方法的设计。

2 实例论证分析

为测试上述基于高速无线智能自组网的电力施工现场智能监管方法的实际应用效果，对其设计性能检验实验。为提高实验结果的有效性，除了本文提出的方法外，还设置了文献[1]方法作为对比方法，并以相同的形式导入到同一实验环境中，基于实验结果分析不同方法的监管效果。

2.1 实验准备

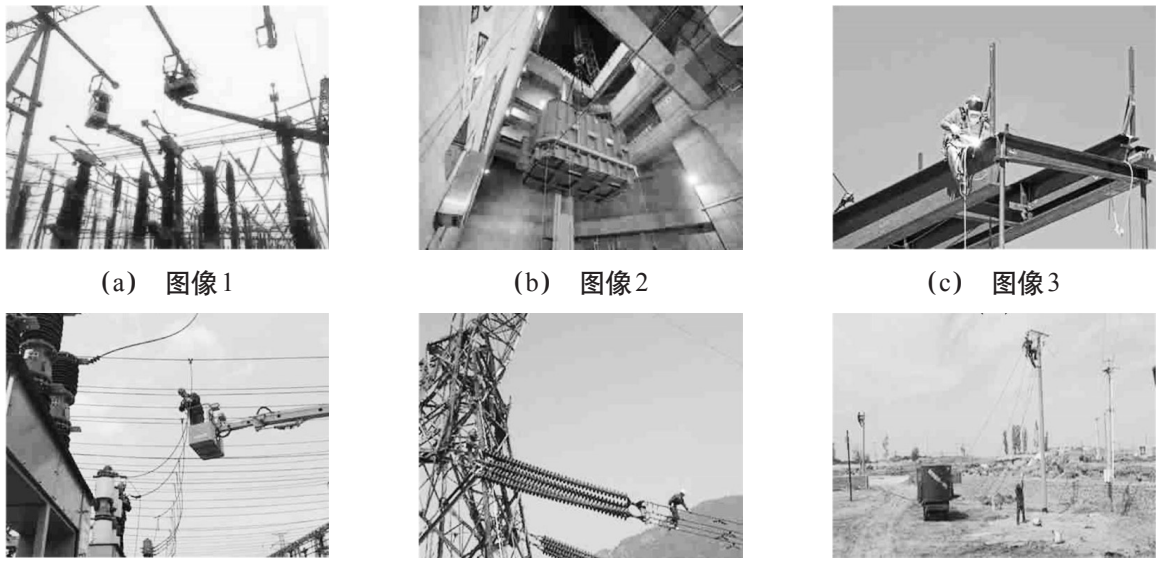
以某大型变电站建设工程为研究背景，该工程的核心部分是变电站建设，其中包括变压器、断路器以及隔离开关等关键设备的安装与调试。在本实验中，采用的无线智能自组网设备主要由监控节点设备和数据中心设备构成。监控节点设备通过对无线通信进行协同控制，提高监控数据的转发速率。其技术指标参数如表2所示。

表2 无线智能自组网设备的技术参数表

指标	参数取值
工作频率	300~2 000 MHz
信道频宽	40 MHz
峰值速率	95~125 MB/s
工作模式	双时分工(TDD)
调制间隔	15 s
组网规模	64个子节点
传输速率	50 MB/s
传输距离	110 km
链路质量	70%
数据传输稳定性	75%
设备功耗	12 W

将施工现场是否出现施工人员作为区分条件,若一段监控视频中没有施工人员出现则定义为“空白”视频,反之定义为“价值”视频。监控视频每3 s进行截图一次,并提取出施工人数连续为0的时间点,当此段时间长度大于等于20 min时,输出此视频的时间起始点与终止点,对其进行截取并剔除,保留其中的“价值”视频,则采集到的初始电力施工现场图像部分数据如图3所示。

对实验数据集建立一个人工标签在内的子数据集,利用标识软件对数据进行标记,共标记2 014张、格式为JPG、尺寸为2 650 × 1 440像素的图像。整个实验在Anaconda平台中创建仿真模型的虚拟环境下展开,并基于相同的实验环境比较不同电力施工现场智能监管方法的应用效果。



(a) 图像1 (b) 图像2 (c) 图像3

(d) 图像1 (e) 图像5 (f) 图像6

图3 电力施工现场初始实验图像数据

2.2 实验说明

结合以上实验准备与参数设置,采用本文提出的方法采集电力施工工程的现场图像,将图像中目标物体进行标记,并动态识别其中的风险因素,细化风险的定性分析,以获取图像的特征信息数据,从而求取施工风险阈值,实现对施工现场的智能化监管。另外,为验证本文方法在实际应用中的优越性能,引入文献[1]中的基于改进Mask-R-CNN的电力施工安全智能监测方法,引入文献[2]中的基于深度学习的土地违法施工场景监测方法作为本文方法的对比方法,比较分析不同方法的监管效果。

2.3 电力施工现场监管实验结果分析

基于上述实验过程与对相关流程的设计,利用本文设计的监管方法对该工程的施工现场进行监管分析,并将本文方法得到的施工安全阈值与实际值相比较,进而分析本文方法的监管性能,对比结果如图4所示。

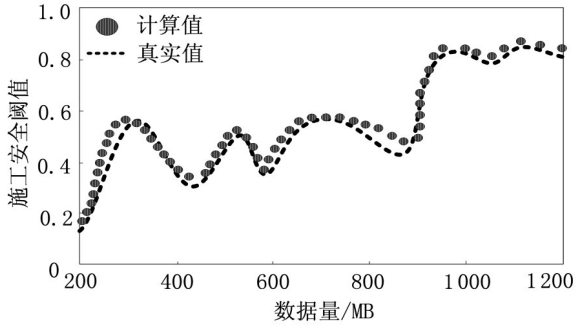


图4 电力施工现场监管结果

从图4中可知,运用本文设计的方法对研究电力工程施工现场进行监管,得到的施工安全阈值与实际值之间的偏差较小,二者的拟合程度较高,说明本文提出的方法能够以较高的精度实现对电力施工现场的智能化监管,监管效果更好。

2.4 对比实验分析

为进一步验证本文方法的可靠性，分别将文献[1]方法、文献[2]方法和本文方法在相同的仿真实验环境中运行，采用拟合系数这一指标来定性评价不同方法的监管效果。该指标指的是监管方法得到的监管结果与实际结果之间的偏离程度，数值越低，表明对应方法的监管性能越佳。对比结果如图5所示。

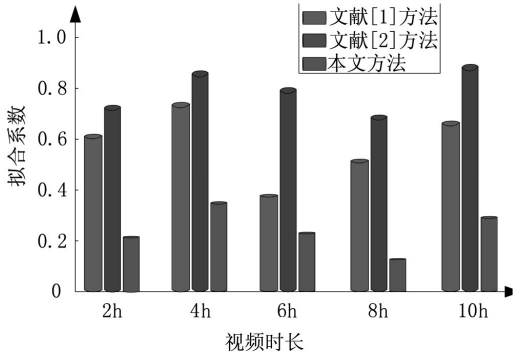


图5 基于不同方法的监管结果对比

根据图5分析可知，在不同监控视频时长条件下，利用本文方法对电力施工现场进行监管，得到的拟合系数远低于文献[1]方法与文献[2]方法，说明本文方法的监管效果更好。文献[1]方法与文献[2]方法监管效果较差的最主要原因是对于监测图像质量偏低的高水平样本，这两种方法无法优化数据的储存过程，导致施工现场图像的特征数据离散性较大，从而影响了监管效果。通过对比实验结果可以证明，本文提出的方法对于电力施工现场智能化监管能够获得较高的监管精度。

3 结束语

综上所述，研究基于高速无线智能自组网的电力施工现场智能监控方法具有重要的理论和实践意义。通过对高速无线智能自组网技术在电力施工现场的应用进行深入探索，提出了一种新的智能监管方法，可以有效提高电力施工现场监管效率和管理水平。然而，本研究仍存在一些不足，如算法复杂度和计算成本的优化，模型鲁棒性和泛化性能的提高，均需要进一步改进。未来，可以进一步深入研究高速无线智能自组网技术的特点和优化方法，探索更智能、高效、可靠的电力施工现场监管解决方案，为推动智能电网建设发展提供有力支撑。

参考文献：

[1] 陈文，宋旭东，顾博川，等. 基于改进Mask-R-CNN的电力施工安全智能监测算法[J]. 电子设计工程，2023，31(9)：137-140，145.

[2] 丁乐乐，王珍，刘艳飞，等. 基于深度学习的土地违法施工场景监测研究[J]. 地理空间信息，2023，21(4)：72-74.

[3] 薛斌斌，高文俊，张伟. 基于边缘计算的电力施工现场违规行为告警[J]. 信息技术，2023，47(7)：162-166.

[4] 李鹏，周蜜，苏建华，等. 基于多传感融合的电力施工信息融合监控系统设计[J]. 电子设计工程，2022，30(2)：120-125

[5] 王振伟，凡远柱，杜增，等. 灰色关联度算法模型的电力施工现场异常诊断[J]. 微型电脑应用，2023，39(7)：89-93.

[6] 李锋. 基于物联网的防空工程施工质量远程监测系统[J]. 自动化技术与应用，2023，42(3)：105-107，141.

[7] 丁承君，刘云帆，胡博，等. 基于物联网的施工升降机监测系统设计[J]. 传感器与微系统，2022，41(3)：101-103，108.

[8] 卢文碧，魏生灿，姜建国. 深路堑开挖边坡稳定性自动化监测方法[J]. 自动化技术与应用，2023，42(11)：125-128，141.

[9] 张艳，张柯，郭靖. 矿区岩土施工安全监测系统设计及应用[J]. 能源与环保，2022，44(7)：36-42.

[10] 王亮，魏盛昕，范东明. 城市轨道交通信号设备施工作业质量监督系统[J]. 城市轨道交通研究，2023，26(8)：222-226.

[11] 牛任恺，张鑫磊，王玉君，等. 基于数据挖掘的电力营销稽查业务监管系统[J]. 吉林大学学报(信息科学版)，2022，40(1)：103-110.

作者简介：林洲游(1975—)，男，硕士，高级工程师，研究方向：输电线路。