

12-30-2023

Automatic Target Recognition of Substation 3D Scene for Digital Twin

Qian Tu

Anhui Electric Power Engineering Supervision Co. , Ltd. , Hefei 230071, China,
chengyou0742133@163.com

Jun Li

Anhui Electric Power Engineering Supervision Co. , Ltd. , Hefei 230071, China,
chengyou0742133@163.com

Dongliang Fan

Construction Company, State Grid Anhui Electric Power Co. , Ltd. , Hefei 230071, China

Qi Kong

Construction Company, State Grid Anhui Electric Power Co. , Ltd. , Hefei 230071, China

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation. For more information, please contact xtfzxb@126.com.

Automatic Target Recognition of Substation 3D Scene for Digital Twin

Abstract

Abstract: In order to improve the accuracy of automatic target recognition and promote the effect on substation operation and maintenance, automatic target recognition of substation 3D scene for digital twin is proposed. The automatic target recognition model for the three dimensional scene of the substation is constructed. The perception module of the model is used to collect the real-time status data of substation, and the communication module is used to transmit the data to digital twin modules. This module, based on the received data information, realizes the deep fusion and panoramic mapping of substation information through the knowledge base constructed by the knowledge map and the virtual and real data processing unit of the service module. Non-uniform rational b-splines(NURBS) surface reconstruction method is used to create a three-dimensional scene model of substation. The forward looking automatic target recognition unit uses the forward looking template matching technology to accurately recognize the single target and multiple targets in the three-dimensional scene model of the substation according to the knowledge base. The experimental results show that the model has excellent 3D modeling effect in both simple and complex scenes. In cloudy and foggy days, the model can still accurately identify all the targets in substation.

Keywords

digital twin, substation, 3D scene, forward looking automatic target, identification model, forward looking template matching

Authors

Qian Tu, Jun Li, Dongliang Fan, Qi Kong, and Jie Shen

Recommended Citation

Tu Qian, Li Jun, Fan Dongliang, et al. Automatic Target Recognition of Substation 3D Scene for Digital Twin[J]. Journal of System Simulation, 2023, 35(12): 2594-2601.

面向数字孪生的变电站三维场景自动目标识别

涂潜¹, 李俊^{1*}, 范东亮², 孔琪², 沈洁³

(1. 安徽电力工程监理有限公司, 安徽 合肥 230071; 2. 国网安徽省电力有限公司 建设分公司, 安徽 合肥 230071;
3. 北京国电高科科技有限公司, 北京 100094)

摘要: 为提高自动目标识别的准确性, 发挥自动目标识别对变电站运维效果的促进作用, 提出面向数字孪生的变电站三维场景自动目标识别方法。构建变电站三维场景自动目标识别模型; 利用模型架构的感知模块采集变电站实时状态数据, 并采用通信模块将状态数据传输到数字孪生模块, 该模块依据接收到的数据信息, 通过知识图谱构建的知识库和服务模块的虚实数据处理单元, 实现变电站信息的深度融合和全景映射; 使用NURBS(non-uniform rational b-splines)曲面重构方法, 创建变电站三维场景模型。前视自动目标识别单元在变电站三维场景模型中依据知识库, 采用前视模板匹配技术实现对单一目标和多目标的准确识别。实验结果表明: 该模型在简单和复杂场景下的变电站三维建模效果均较优异, 在阴天和雾天仍能准确识别出变电站中的全部目标。

关键词: 数字孪生; 变电站; 三维场景; 前视自动目标; 识别模型; 前视模板匹配

中图分类号: TP311 文献标志码: A 文章编号: 1004-731X(2023)12-2594-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.22-0867

引用格式: 涂潜, 李俊, 范东亮, 等. 面向数字孪生的变电站三维场景自动目标识别[J]. 系统仿真学报, 2023, 35(12): 2594-2601.

Reference format: Tu Qian, Li Jun, Fan Dongliang, et al. Automatic Target Recognition of Substation 3D Scene for Digital Twin[J]. Journal of System Simulation, 2023, 35(12): 2594-2601.

Automatic Target Recognition of Substation 3D Scene for Digital Twin

Tu Qian¹, Li Jun^{1*}, Fan Dongliang², Kong Qi², Shen Jie³

(1. Anhui Electric Power Engineering Supervision Co., Ltd., Hefei 230071, China; 2. Construction Company, State Grid Anhui Electric Power Co., Ltd., Hefei 230071, China; 3. Beijing Guodian Hi-Tech Co., Ltd, Beijing 100094, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of automatic target recognition and promote the effect on substation operation and maintenance, automatic target recognition of substation 3D scene for digital twin is proposed. The automatic target recognition model for the three-dimensional scene of the substation is constructed. The perception module of the model is used to collect the real-time status data of substation, and the communication module is used to transmit the data to digital twin modules. This module, based on the received data information, realizes the deep fusion and panoramic mapping of substation information through the knowledge base constructed by the knowledge map and the virtual and real data processing unit of the service module. Non-uniform rational b-splines(NURBS) surface reconstruction method is used to create a three-dimensional scene model of substation. The forward looking automatic target recognition unit uses the forward looking template matching technology to accurately recognize the single target and multiple targets in the three-dimensional scene model of the substation according to the

收稿日期: 2022-07-27 修回日期: 2022-12-02

基金项目: 国家电网科技基金(61531007)

第一作者: 涂潜(1976-), 男, 高工, 学士, 研究方向为电力工程建设施工技术、电力工程建设监理技术等。

E-mail: chengyou0742133@163.com

通讯作者: 李俊(1988-), 男, 高工, 硕士, 研究方向为输变电工程建设管理。E-mail: chengyou0742133@163.com

knowledge base. The experimental results show that the model has excellent 3D modeling effect in both simple and complex scenes. In cloudy and foggy days, the model can still accurately identify all the targets in substation.

Keywords: digital twin; substation; 3D scene; forward looking automatic target; identification model; forward looking template matching

0 引言

变电站在电力系统中占据着枢纽地位, 其安全稳定运行直接关系着电力系统输送电能的可靠性^[1]。随着三维建模技术的逐渐成熟, 变电站三维场景模型因具有直观和准确性高等特点^[2-3], 已成为变电站运维的主流模式。前视自动目标识别在变电站运维中发挥着巨大作用, 利用前视模板匹配技术直接搜索目标^[4], 具有适应性强、效率高和识别准确等优势。通过该方法可以有效定位变电站中的目标, 一旦变电站设备或线路发生故障, 能极大地缩短技术人员的维修时间, 对保证变电站安全稳定运行具有重大意义^[5]。因此可将三维建模技术和前视模板匹配技术相结合, 构建变电站三维场景前视自动目标识别仿真模型^[6-7]。

王好等^[8]提出一种基于改进 Faster RCNN 的变电站红外图像多目标识别方法。该方法通过 VGG16 提取红外图像中的多种电气设备图像特征, 通过区域建议网络生成区域建议并通过边框回归调整区域建议, 按照区域建议包含关系对识别错误的部位类别进行修正, 识别准确率达到 92.8%。刘胜书等^[9]提出基于机器视觉的协作式机器人 Baxter 目标识别算法, 提升了协作式机器人 Baxter 在工作应用中识别抓取目标物体的准确性和鲁棒性。这两种方法应用于简单和复杂的变电站场景中均能表现出较理想的识别效果, 但仅适用于单一目标识别, 对于多目标识别存在偏差大和不全面等问题。

数字孪生技术是以数字化方式在虚拟空间建立物理实体的多维度、多时空尺度、多学科和多物理量的动态虚拟模型, 实时反映物理实体在真实环境中的属性、行为和规则等, 从而实现物理

信息空间的映射、交互和融合。利用该技术将实体变电站和虚拟变电站相融合, 可实现变电站的实时管控, 因此, 本文构建数字孪生的变电站三维场景, 将其与前视模板匹配技术相结合, 来实现前视自动目标识别仿真模型, 提高多目标识别的准确性及变电站的运维效果。

1 变电站三维场景前视自动目标识别

1.1 模型架构

变电站三维场景前视自动目标识别模型架构如图 1 所示, 主要包括感知模块、通信模块、数字孪生模块、服务模块和展示模块。

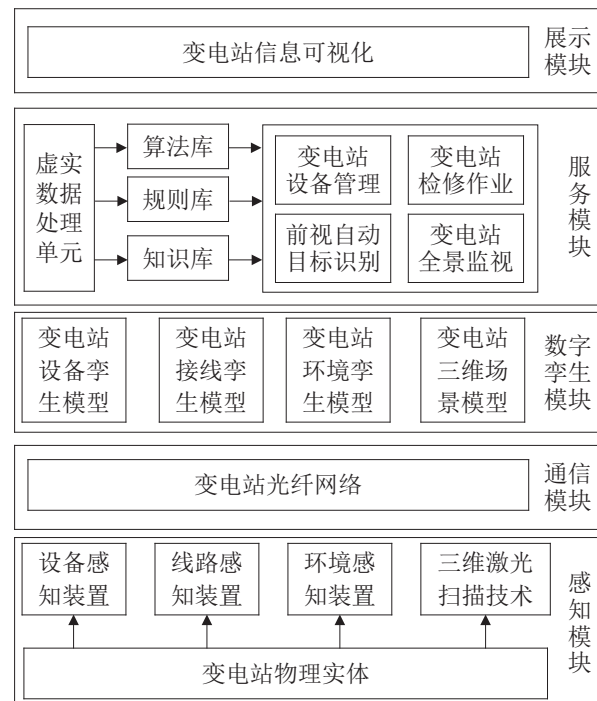


图 1 变电站三维场景前视自动目标识别仿真模型架构
Fig. 1 Simulation model architecture of forward-looking automatic target recognition in three-dimensional scene of substation

(1) 感知模块利用各类感知装置采集变电站运行过程中的设备、线路、环境等的实时状态数据，并借助三维激光扫描技术获取变电站点云数据。

(2) 通信模块使用变电站光纤网络，将感知模块采集的变电站实时状态数据和点云数据传输到数字孪生模块。

(3) 数字孪生模块依据接收到的数据，运用数字孪生技术创建变电站设备、接线和环境孪生模型，拼接 3 个模型获得最终的变电站三维场景模型。

(4) 服务模块是整个架构的核心，通过虚实数据处理单元，将变电站三维场景模型和变电站物理实体之间的实时状态数据进行映射与关联，使两者间的数据保持同步；在完成虚实数据处理的变电站三维场景模型中，依据知识库和规则库等，为相关用户提供各种变电站运维服务，包括前视自动目标识别、变电站设备管理和变电站检修作业等。其中，知识库利用知识图谱进行知识采集、管理和融合，为变电站运维提供有效指导；前视自动目标识别单元利用基于前视模板匹配的前视自动目标识别方法，找出变电站中所需目标，该功能可极大地提升变电站检修作业的效率。

(5) 展示模块通过图像和报表等形式，将实际变电站运行过程中的各类相关数据展示给授权用户。

1.2 基于知识图谱的变电站知识库构建

在服务模块的虚实数据处理单元，可利用知识图谱来构建变电站知识库，以实现变电站信息的深度融合，为后续使用 NURBS(non-uniform rational b-splines)曲面重构方法，实现变电站三维场景模型及利用前视模板匹配实现前视自动目标识别奠定基础，具体结构如图 2 所示。

在知识采集与存储阶段，从专家或他人经验和技能、变电站业务流程等中挖掘相关知识并进行存储；在知识管理阶段，通过知识分类和关键词标记完成在线知识管理与资料文档管理，同时

完整记录知识产出的时间、人员和场景，从而为知识地图的形成奠定基础；在知识应用阶段，通过知识推送和知识智能检索，为变电站管理及技术人员提供有效参考。

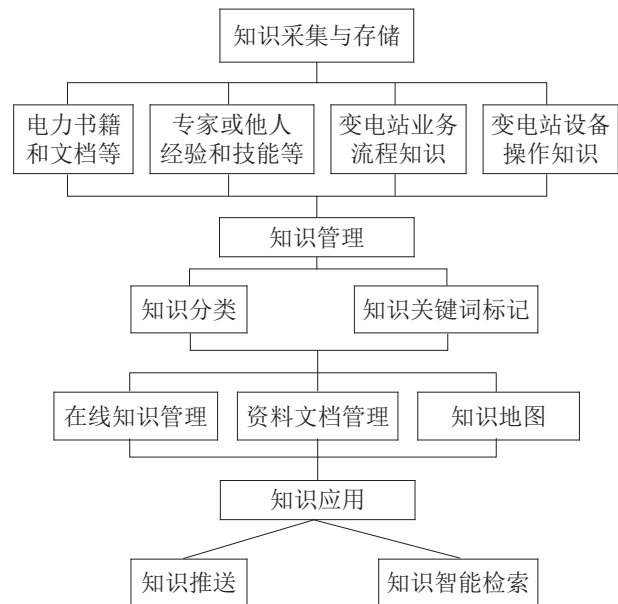


图 2 变电站知识库结构

Fig. 2 Structure of substation knowledge base

1.3 构建数字孪生的变电站三维场景

数字空间创建的变电站三维模型只是变电站及设备外观的复制，要达到数字孪生的效果，虚拟变电站应能实时反映物理变电站及设备状态，实现数据及信息映射。数据的同步映射需要获取数据、传输数据和融合展示数据。数据获取主要通过感知层安装在设备的感知装置实时感知设备运行及环境参数，以及其他智能系统推送、数据中台拉取等。数据传输利用已建成的电力光纤通信网，可满足变电站数字孪生带宽和实时性要求。变电站数字孪生体能够对数据进行实时全景映射，实现变电站实景对孪生体各环境、运行模块间数据的时空互联，信息深度融合，实现对实体运行状态的详细模拟。利用知识图谱构建的知识库和服务模块的虚实数据处理单元，从关联关系、时间要素、空间要素和物理信息等方面，对环境信息、运行信息进行对齐、融合，实现变电站信息

的深度融合和全景映射。由此, 得到信息深度融合后的数据集, 再使用NURBS曲面重构方法, 创建与各物理实体相对应的变电站虚拟实体, 拼接各虚拟实体得到变电站三维场景模型^[10-11]。该模型能够以立体化形式呈现变电站内各种设备和线路的运行情况, 提升变电站运维的直观效果。NURBS曲面重构方法实现如下。

NURBS曲面重构方法包含光滑、连续与几何不变等特点^[12], 非常适合变电站三维场景的构建。次数为 $k \times 1$ 的NURBS曲面有理分式为

$$S(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m w_{ij} P_{ij} N_i^k(u) N_j^l(v)}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m w_{ij} N_i^k(u) N_j^l(v)} \quad (1)$$

式中: P_{ij} 为控制顶点; w_{ij} 为权因子; 参数 i 和 j 的取值范围分别为 $[0, n]$ 和 $[0, m]$; $N_i^k(u)$ 、 $N_j^l(v)$ 分别为 u 向 k 次B样条基函数和 v 向 l 次B样条基函数。这2个基函数可通过式(2)的 u 和 v 向的非均匀结点矢量的德布尔递归方式得到:

$$\begin{aligned} U &= \{u_0, u_1, \dots, u_{n+k} | u_i \leq u_{i+1}, i=0, 1, \dots, n+k-1\} \\ V &= \{v_0, v_1, \dots, v_{m+l} | v_j \leq v_{j+1}, j=0, 1, \dots, m+l-1\} \end{aligned} \quad (2)$$

式中: U 为 u 向的非均匀结点矢量; V 为 v 向的非均匀结点矢量; u_i 和 v_j 为结点。

由于变电站物理实体的形状十分复杂, 因此, 依据实体形状特征, 利用八叉树将相应的孪生数据划分成若干个矩形区域, 并使用NURBS曲面重构方法将不同区域的孪生数据拟合成局部曲面, 在此基础上运用四叉树数据结构合并各局部曲面, 获得完整的变电站虚拟实体。

通过空间邻域划分处理孪生数据, 是创建变电站虚拟实体曲面的前提。假设数据点用 $s(x, y, z)$ 描述, 其所在子立方体的空间索引值和八叉树结点编码分别用 (a, b, c) 、 $q = q_0, q_1, \dots, q_{n-1}$ 描述, $q_0 \sim q_{n-1}$ 代表叶结点和根结点之间的路径。在给定 q 的条件下, 可利用式(3)计算空间索引值:

$$\begin{aligned} a &= \sum_{i=1}^{n-1} (q_i \bmod 2) \times 2^i \\ b &= \sum_{i=1}^{n-1} ([q_i/2] \bmod 2) \times 2^i \\ c &= \sum_{i=1}^{n-1} ([q_i/4] \bmod 2) \times 2^i \end{aligned} \quad (3)$$

式中: \bmod 为取余运算。通过式(3)能获得八叉树叶结点的空间邻域坐标, 将八叉树4个叶结点当作NURBS曲面重构的控制点, 并使用样条基函数的插值处理获取其余控制点^[13-14]。变电站虚拟实体曲面的次数 k 通常设置成3, u 、 v 向结点矢量两侧的0和1均有4个, 因此, 依据式(2)可以得到 U 、 V 的形式为 $U(0, 0, 0, 0, u_4, u_5, \dots, u_{3+n}, 1, 1, 1, 1)$ 、 $V(0, 0, 0, 0, v_4, v_5, \dots, v_{3+m}, 1, 1, 1, 1)$ 。

当八叉树对变电站物理实体的孪生数据划分较为精细时, 可利用三次均匀B样条获取各矩形区域曲面。假设矩形区域曲面的采样点集合用 Q 描述, 其内某点用 $q_k(x_k, y_k, z_k)$ 描述, 且 x_k 和 y_k 的取值分别介于 $[a, a+1]$ 和 $[b, b+1]$ 范围内, 则与 q_k 具有关联的控制点能使式(4)成立:

$$z(x_k, y_k) = \sum_{i=a-1}^{a+2} \sum_{j=b-1}^{b+2} B_i(x_k) B_j(y_k) p_{ij} \quad (4)$$

式中: B_i 和 B_j 为样条基函数。

当控制点坐标满足式(5)所示条件时, 可得到式(6)所示的控制点坐标计算过程。

$$\sum_{i=a-1}^{a+2} \sum_{j=b-1}^{b+2} (p_{ij})^2 \rightarrow \min \quad (5)$$

$$p_{ij} = B_i(x_k) B_j(y_k) q_k / \sum_{i=a-1}^{a+2} \sum_{j=b-1}^{b+2} B_i^2(x_k) B_j^2(y_k) \quad (6)$$

通过以上方法生成矩形区域曲面后, 每4个曲面可组成1个四叉树的叶结点, 采用后序遍历形式遍历全部四叉树, 合并各矩形区域曲面, 拼接各虚拟实体, 实现变电站虚拟实体的完整重构, 得到变电站三维场景。

1.4 基于前视模板匹配的前视自动目标识别

在变电站三维场景中, 控制机载摄像机在目标区域飞行, 依据飞行姿态参数将目标通过二维

投影转化成识别点处的二维前视模板图像，并提取其内目标的边缘加权梯度方向直方图特征；采集变电站实时监测前视图像，使用同上方法提取其内目标特征^[15]。依据变电站三维场景模型服务模块中的知识库，将上述所提取的目标特征与前面二维前视模板图像的特征进行匹配，达到前视自动目标识别的目的，实现对多目标的精准识别。

依据摄像机内外参数创建机载摄像机的空间模型，通过该模型将机载摄像机在目标区域飞行时的飞行姿态参数变成视角参数和距离参数。由于前视视角对目标的观测范围很大，同时为使二维模板图像更接近实际情况^[16]，需通过二维投影获得目标在给定前视视角和距离下的二维前视模板图像。

对图像进行分割，使其变为若干个均匀的子块，在其内实施梯度方向直方图统计，即梯度方向直方图特征的计算思想。假设 $F = (S_{1,1}, S_{2,2}, \dots, S_{M,N})$ 代表梯度方向直方图特征，各子块中的梯度方向直方图统计用 F 内的 $S_{i,j} = S_{i,j}(1), S_{i,j}(2), \dots, S_{i,j}(L)$ 描述，则可以使用式(7)表示梯度方向直方图统计过程：

$$S_{i,j}(k) = \sum_{\text{子块内全部}(x,y)} \begin{cases} w(x,y), [Dir(x,y)L/2\pi] = k \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

式中： (x,y) 为图像的像素点； $Dir(x,y)$ 、 $w(x,y)$ 为梯度方向以及统计权值； L 为梯度方向的划分数。

由于二维前视模板图像内目标的外轮廓和交界线等包含边缘位置，且具有和变电站实时监测前视图像相同的边缘方向，因此，依据二维前视模板图像的边缘信息，计算梯度方向直方图的统计权值^[17]。提取二维前视模板图像的边缘，得到边缘二值图像，利用式(8)所示的高斯模糊方法进行处理可获取边缘加权矩阵：

$$w_e(x,y) = G_{d \times d, \sigma} * E(x,y) \quad (8)$$

式中： $G_{d \times d, \sigma}$ 为规模和标准差分别为 $d \times d$ 、 σ 的高

斯模糊矩阵； $E(x,y)$ 为边缘二值图像； $*$ 为卷积运算； $w_e(x,y)$ 为边缘加权矩阵。结合式(8)可将式(7)转换为

$$S_{i,j}(k) = \sum_{\text{子块内全部}(x,y)} \begin{cases} w_e(x,y), [(Dir(x,y)L/\pi) \bmod L] = k \\ 0, \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

通过式(9)可直接提取二维前视模板图像的边缘加权梯度方向直方图特征，扫描检索采集的变电站实时监测前视图像，同样使用该式提取各子图像的特征，依据变电站三维场景模型服务模块中的知识库，将其与二维前视模板图像的特征进行匹配。特征向量间距离的衡量可选用欧式距离，目标匹配位置即为变电站实时监测前视图像内，距离二维前视模板图像特征最小的子图像位置，具体用式(10)描述：

$$(x_0, y_0) = \arg \min_{(x,y)} \| F_m - F(x,y) \| \quad (10)$$

式中： F_m 为二维前视模板图像的特征向量； $F(x,y)$ 为处于 (x,y) 位置的子图像特征向量； (x_0, y_0) 为目标匹配位置。

综上，实现了面向数字孪生的变电站三维场景前视自动目标识别。

2 实验及结果分析

以某 110 kV 变电站作为实验对象，将该变电站划分为 9 个区域，在各区域设备、线路等附近布设数量合适的感应装置，用于采集变电站实时状态数据，同时引入三维激光扫描技术获取变电站点云数据。在 MATLAB 仿真平台上创建数字孪生的变电站三维场景模型，去除场景中的干扰，并在该模型中完成前视自动目标识别，提高目标识别的准确性。

变电站真实场景图像和利用本文方法构建的变电站三维场景模型，分别用图 3(a)(b)描述；为进一步验证本文方法的变电站三维场景建模效果，分析变电站单一设备三维模型和相应区域的复杂场景三维模型，分别用图 3(c)(d)描述。

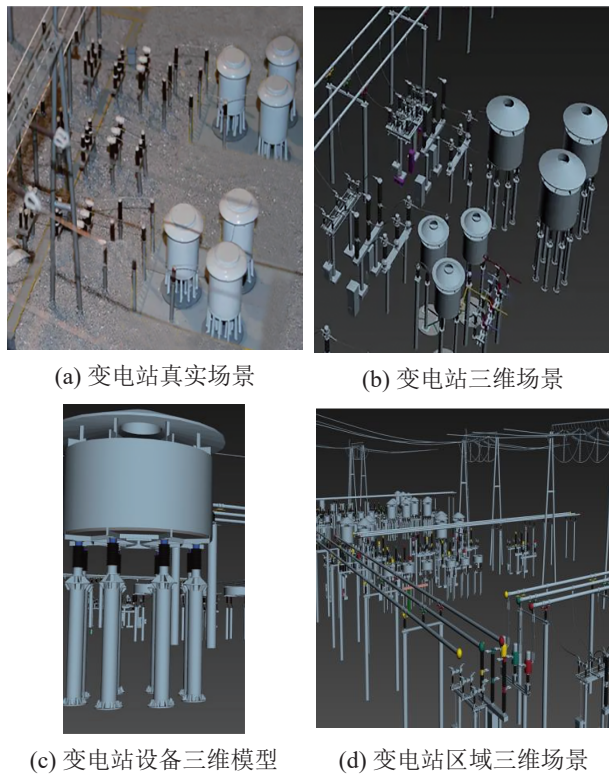


图3 变电站三维场景建模结果

Fig. 3 3D scene modeling results of substation

从图3(a)(b)可以看出, 本文方法可以有效去除背景的干扰, 还原变电站场景内各虚拟实体的形状、接线以及布设位置; 从图3(c)(d)可以看出, 本文方法所建变电站单一设备三维模型的逼真度较高, 可以清晰地展示变电站设备特点及结构, 其相应区域的三维场景模型可完整还原变电站设备和线路。本文方法在简单和复杂场景下, 均能表现出较优异的变电站三维建模效果, 为后续的目标识别奠定基础。

分别选取5张二维前视模板图像(Q1~Q5)和变电站实时监测前视图像(P1~P5)进行特征提取测试, 并引入边缘像素数、4连及8连同域数作为评估指标, 三者分别用 M 、 N 、 O 描述, O/M 和 O/N 的值与特征提取效果存在反比关系。10张图像的相关统计结果如表1所示。

从表1可以发现, 使用本文方法完成二维前视模板图像和变电站实时监测前视图像的特征提取后, 各图像的 O/M 和 O/N 值始终低于0.18, 最

低可达到0.03, 表明本文方法对2种图像均具有较好的特征提取效果, 有助于提升后续变电站三维场景前视自动目标识别的准确性。

表1 图像特征提取评估结果

Table 1 Image feature extraction evaluation results

图像编号	边缘像素数	4连同域数	8连同域数	O/M	O/N
Q1	12 368	49 467	1 484	0.12	0.03
Q2	15 469	18 282	2 011	0.13	0.11
Q3	17 521	9 347	1 402	0.08	0.15
Q4	12 359	5 088	865	0.07	0.17
Q5	14 552	20 013	1 601	0.11	0.08
P1	13 456	22 433	1 346	0.10	0.06
P2	17 568	17 567	2 108	0.12	0.12
P3	13 267	4 420	663	0.05	0.15
P4	11 029	11 033	993	0.09	0.09
P5	12 314	13 436	1 478	0.12	0.11

为验证本文方法的目标识别效果, 将识别准确性 δ 作为判定方法识别性能的指标:

$$\delta = A/N \times 100\% \quad (11)$$

式中: A 为准确识别到目标的数量; N 为待识别目标的数量。

分别将文献[8]中基于改进Faster RCNN的红外图像多目标识别方法和文献[9]中基于机器视觉的目标识别方法, 应用在正常天气条件下的变电站三维场景中, 分别对单一目标和多目标识别进行测试, 将其与本文方法进行比较, 如图4所示。

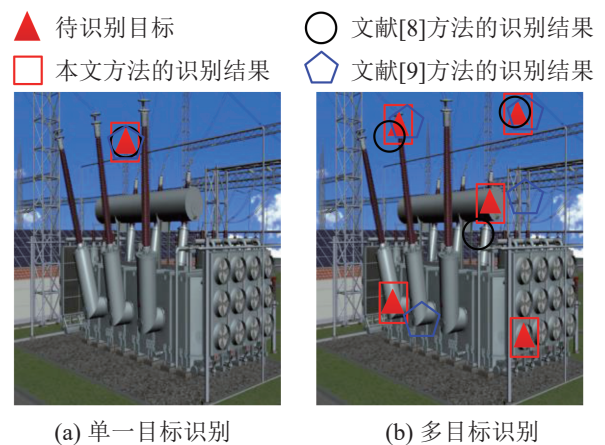


图4 目标识别对比结果

Fig. 4 Target recognition comparison results

分析图4可以发现,无论是对单一目标的识别还是多目标的识别,本文方法的识别结果与待识别目标完全吻合。经过式(11)的计算,3种方法对单一目标识别准确性均为100%,但是在多目标识别条件下,共有5个待识别目标,文献[8]识别方法的识别准确性为20%,文献[9]识别方法的识别准确性为40%,而本文识别方法的识别准确性依旧为100%。这是因为本文识别方法依据变电站三维场景模型服务模块中的知识库,将二维前视模板图像特征和变电站实时监测前视图像的特征进行了匹配,从而实现了对多目标的精准识别。而文献[8-9]中的方法仅能够保证对单一目标的识别,在多目标的识别中,这2种方法识别的偏差较大,且文献[8]方法出现了目标识别不全的情况。

为进一步验证文中方法的识别性能,分别在阴天和雾天环境下进行多目标识别测试,其结果如图5所示。

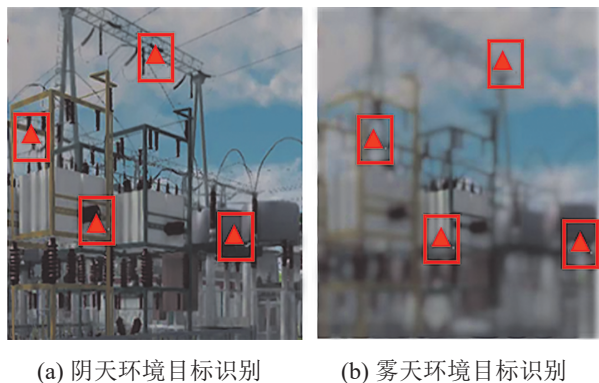


图5 不同环境下文中方法目标识别结果

Fig. 5 Target recognition results of following methods in different environments

根据图5可知,本文方法在阴天和雾天的恶劣环境下,可完成对4个待识别目标的有效识别。通过式(11)计算,本文方法在阴天与雾天环境下的识别准确性依旧为100%,变电站三维场景前视自动目标识别能力较理想,可有效地实现自动目标识别的目的,并且识别效果较好。

3 结论

本文构建基于数字孪生的变电站三维场景前视自动目标识别仿真模型,提升变电站管理和运维水平。利用数字孪生创建变电站三维场景模型,所建模型对变电站的还原度和完整度较高,且该模型能有效提取二维前视模板图像和变电站实时监测前视图像的特征,为后续变电站三维场景前视自动目标识别奠定了良好的基础。同时,该模型可以避免天气因素对目标识别的影响,在单一目标和多目标的识别中,均能表现出较好的识别性能。但在进行目标识别的过程中,由于算法较为复杂,导致识别效率没有达到预期效果。在接下来的研究中,将对算法进行改进,旨在缩短运算时间,对变电站的实时检测管理和运行维护提供价值帮助。

参考文献:

- [1] 郭政,吴武清,邱倬,等.无人值守变电站三维实景目标协同识别模型构建[J].水电能源科学,2021,39(7):163-166,170.
Guo Zheng, Wu Wuqing, Qiu Zhuo, et al. Construction of Collaborative Identification Model for 3D Real Object of Unattended Substation[J]. Water Resources and Power, 2021, 39(7): 163-166, 170.
- [2] 陈斌,牛津文,万红,等.变电站辅助设备监控系统三维建模及展示技术研究[J].电力系统保护与控制,2020,48(13):180-186.
Chen Bin, Niu Jinwen, Wan Hong, et al. Research on Three-dimensional Modeling and Display Technology of a Substation Auxiliary Equipment Monitoring System[J]. Power System Protection and Control, 2020, 48(13): 180-186.
- [3] 周圣栋,解蕾,宋若晨,等.基于BIM的变电站数字化建设管控平台构建及应用[J].中国电力,2019,52(5):142-147.
Zhou Shengdong, Xie Lei, Song Ruochen, et al. Building and Application of Substation Digital Construction Management Platform Based on BIM[J]. Electric Power, 2019, 52(5): 142-147.
- [4] 牛辰庚,刘玉杰,李宗民,等.基于点云数据的三维目标识别和模型分割方法[J].图学学报,2019,40(2):274-281.
Niu Chengeng, Liu Yujie, Li Zongmin, et al. 3D Object

- Recognition and Model Segmentation Based on Point Cloud Data[J]. *Journal of Graphics*, 2019, 40(2): 274-281.
- [5] 贺丰收, 何友, 刘准钊, 等. 卷积神经网络在雷达自动目标识别中的研究进展[J]. *电子与信息学报*, 2020, 42(1): 119-131.
He Fengshou, He You, Liu Zhunga, et al. Research and Development on Applications of Convolutional Neural Networks of Radar Automatic Target Recognition[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2020, 42(1): 119-131.
- [6] 李晨阳, 李立钢, 杨震, 等. 基于三维场景的红外成像仿真框架及实现[J]. *计算机仿真*, 2020, 37(7): 248-252.
Li Chenyang, Li Ligang, Yang Zhen, et al. Framework and Implementation of Infrared Image Simulation Based on 3D Scene[J]. *Computer Simulation*, 2020, 37(7): 248-252.
- [7] 刁桂杰, 倪虹, 杨亮. 三维场景SAR射频仿真技术研究[J]. *系统仿真学报*, 2020, 32(1): 78-86.
Diao Guijie, Ni Hong, Yang Liang. Study on Three-dimensional Scene SAR Radio Frequency Simulation Technology[J]. *Journal of System Simulation*, 2020, 32(1): 78-86.
- [8] 王好, 陈秀新, 袁和金. 基于改进Faster RCNN的变电站红外图像多目标识别[J]. *传感技术学报*, 2021, 34(4): 522-530.
Wang Yu, Chen Xiuxin, Yuan Hejin. Multi-target Recognition of Substation Infrared Image Based on Improved Faster RCNN[J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2021, 34(4): 522-530.
- [9] 刘胜书, 顾国华, 王俊舟, 等. 基于机器视觉的协作式机器人Baxter目标识别算法[J]. *电光与控制*, 2019, 26(4): 95-99, 105.
Liu Shengshu, Gu Guohua, Wang Junzhou, et al. An Object Recognition Algorithm Based on Machine Vision of Collaborative Robot Baxter[J]. *Electronics Optics & Control*, 2019, 26(4): 95-99, 105.
- [10] 孙小虎, 韩文军, 潘娟, 等. 基于聚合与动态调度的变电站三维可视化研究[J]. *计算机工程*, 2019, 45(12): 300-307.
Sun Xiaohu, Han Wenjun, Pan Juan, et al. Research on Three-dimensional Visualization of Substation Based on Aggregation and Dynamic Scheduling[J]. *Computer Engineering*, 2019, 45(12): 300-307.
- [11] 龙丽娟, 夏永华, 黄德. 一种基于三维激光扫描点云数据的变电站快速建模方法[J]. *激光与光电子学进展*, 2020, 57(20): 353-362.
Long Lijuan, Xia Yonghua, Huang De. Fast Modeling Method for Substation Based on 3D Laser Scanning Point Cloud Data[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2020, 57(20): 353-362.
- [12] 王运达, 张钢, 于泓, 等. 基于数字孪生的城轨供电系统高保真建模方法[J]. *高电压技术*, 2021, 47(5): 1576-1583.
Wang Yunda, Zhang Gang, Yu Hong, et al. High Fidelity Modeling Method of Urban Rail Power Supply System Based on Digital Twin[J]. *High Voltage Engineering*, 2021, 47(5): 1576-1583.
- [13] 王鹏, 杨妹, 祝建成, 等. 面向数字孪生的动态数据驱动建模与仿真方法[J]. *系统工程与电子技术*, 2020, 42(12): 2779-2786.
Wang Peng, Yang Mei, Zhu Jiancheng, et al. Dynamic Data Driven Modeling and Simulation Method for Digital Twin[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2020, 42(12): 2779-2786.
- [14] 田小强, 孔令富, 孔德明, 等. 利用离散平稳小波变换改进NURBS二次曲面拟合方法[J]. *计量学报*, 2020, 41(6): 662-668.
Tian Xiaoqiang, Kong Lingfu, Kong Deming, et al. An Improved Method for NURBS Quadric Surface Based on Discrete Stationary Wavelet Transform[J]. *Acta Metrologica Sinica*, 2020, 41(6): 662-668.
- [15] 张翠芳, 李成文利, 邹应全, 等. 基于DST融合多视图模糊推理赋值的三维目标检测[J]. *控制与决策*, 2021, 36(4): 867-875.
Zhang Cuifang, Li Chengwenli, Zou Yingquan, et al. 3D Object Detection Based on DST Fusion Multi-view Fuzzy Reasoning Assignment[J]. *Control and Decision*, 2021, 36(4): 867-875.
- [16] 朱克凡, 王杰贵, 叶文强. 不均样本下的低分辨雷达目标识别算法[J]. *计算机仿真*, 2021, 38(3): 10-14, 185.
Zhu Kefan, Wang Jiegui, Ye Wenqiang. Low-resolution Radar Target Recognition Algorithm with Unbalanced Samples[J]. *Computer Simulation*, 2021, 38(3): 10-14, 185.
- [17] 苗晟, 董亮, 董建娥, 等. 基于蜂窝网结构的多目标自动辨识定位方法[J]. *计算机应用*, 2019, 39(11): 3343-3348.
Miao Sheng, Dong Liang, Dong Jiane, et al. Multi-objective Automatic Identification and Localization System in Mobile Cellular Networks[J]. *Journal of Computer Applications*, 2019, 39(11): 3343-3348.