



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111859805 A

(43) 申请公布日 2020.10.30

(21) 申请号 202010707515.0

(22) 申请日 2020.07.21

(71) 申请人 国网山东省电力公司青岛供电公司

地址 266000 山东省青岛市市南区刘家峡路17号

申请人 国家电网有限公司 山东大学

(72) 发明人 耿玉杰 李昊 王杉 马强

罗鲁东 张媛 刘子鑫 宋雪萌

张玉卉

(74) 专利代理机构 济南竹森知识产权代理事务

所(普通合伙) 37270

代理人 吕利敏

(51) Int.Cl.

G06F 30/27 (2020.01)

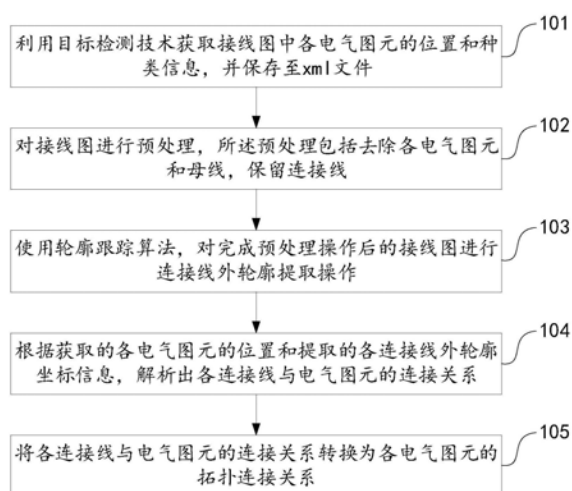
权利要求书1页 说明书8页 附图3页

(54) 发明名称

基于人工智能的电力图纸拓扑关系的检测方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于人工智能的电力图纸拓扑关系的检测方法,属于电力图纸智能识别技术领域,所述方法包括:利用目标检测技术获取接线图中各电气图元的位置和种类信息,并保存至xml文件;对接线图进行预处理,所述预处理包括去除各电气图元和母线,保留连接线;使用轮廓跟踪算法,对完成预处理操作后的接线图进行连接线外轮廓提取操作;根据获取的各电气图元的位置和提取的各连接线外轮廓坐标信息,解析出各连接线与电气图元的连接关系;将各连接线与电气图元的连接关系转换为各电气图元的拓扑连接关系。本发明能够对标量格式图纸进行检测,检测效率高。



1. 一种基于人工智能的电力图纸拓扑关系的检测方法,其特征在于,包括:
利用目标检测技术获取接线图中各电气图元的位置和种类信息,并保存至xml文件;
对接线图进行预处理,所述预处理包括去除各电气图元和母线,保留连接线;
使用轮廓跟踪算法,对完成预处理操作后的接线图进行连接线外轮廓提取操作;
根据获取的各电气图元的位置和提取的各连接线外轮廓坐标信息,解析出各连接线与电气图元的连接关系;
将各连接线与电气图元的连接关系转换为各电气图元的拓扑连接关系。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述利用目标检测技术获取接线图中各电气图元的位置和种类信息,并保存至xml文件之前,包括:
将接线图转换为图片格式。
3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述利用目标检测技术获取接线图中各电气图元的位置和种类信息,并保存至xml文件,包括:
对相同种类的电气图元赋予id属性,以区分开多个同种类部件。
4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述对接线图进行预处理,包括:
进行高斯滤波平滑处理,去除接线图中部分无用细节,过滤图像中存在的噪声。
5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述对接线图进行预处理,包括:
进行色彩空间转换,将接线图转为灰度图;
对灰度图进行二值化处理。
6. 根据权利要求5所述的方法,其特征在于,所述对接线图进行预处理,包括:
在去除母线的过程中,对母线区域内的连接线进行保护处理。
7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,所述在去除母线的过程中,对母线区域内的连接线进行保护处理,包括:
创建与母线同高、1像素宽的黑色像素区域;
将创建的黑色像素区域以1像素的步距,沿着母线行索引递增的方向运动,每运动一次便与当前所在母线区域包含的像素信息进行迭代比较,判断当前所在母线区域包含的像素信息是否与黑色像素区域包含的像素信息完全相同,相同则保存当前位置信息之后继续运动,否则继续运动,直至遍历完母线区域;
抹去母线区域像素值信息的同时避开保存的位置信息对应的竖向连接线区域。
8. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述目标检测技术采用Faster R-CNN深度学习模型,所述轮廓跟踪算法为基于8邻域连通区域标记的轮廓跟踪算法。
9. 根据权利要求1-8中任一所述的方法,其特征在于,所述使用轮廓跟踪算法,对完成预处理操作后的接线图进行连接线外轮廓提取操作,包括:
对提取出的连接线外轮廓坐标信息进行筛选,只保留与电气图元直接连接的连接线外轮廓坐标信息。
10. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,所述根据获取的各电气图元的位置和提取的各连接线外轮廓坐标信息,解析出各连接线与电气图元的连接关系,包括:
对连接线进行编号,以作为后续代表图元拓扑关系的链接点号;
遍历所有连接线,将筛选后的各连接线外轮廓坐标信息和电气图元的坐标信息进行比较,将与同一连接线相连的电气图元放至一个集合中,并将连接线编号作为集合编号。

基于人工智能的电力图纸拓扑关系的检测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电力图纸智能识别技术领域,特别是指一种基于人工智能的电力图纸拓扑关系的检测方法。

背景技术

[0002] 获取电力系统的拓扑关系是电力系统中其他工序的基础,其中智能的拓扑关系检测更是利用人工智能厂站建设的根基。

[0003] 电力系统图纸大多以jpg、png、pdf等标量文件格式进行保存。传统的拓扑关系检测技术一般是基于dxf、dwg或以xml为载体的SVG(可缩放的矢量图形)格式的文件进行的,无法直接对标量格式的图纸进行检测,而将标量格式的电力系统图纸转换为传统拓扑关系检测技术所需的格式需要大量的人工操作。此外,很多传统的拓扑关系检测技术的效率比较低,需要耗费大量时间。

发明内容

[0004] 本发明要解决的技术问题是提供一种基于人工智能的电力图纸拓扑关系的检测方法,其能够对标量格式图纸进行检测,检测效率高。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明提供技术方案如下:

[0006] 一种基于人工智能的电力图纸拓扑关系的检测方法,包括:

[0007] 利用目标检测技术获取接线图中各电气图元的位置和种类信息,并保存至xml文件;

[0008] 对接线图进行预处理,所述预处理包括去除各电气图元和母线,保留连接线;

[0009] 使用轮廓跟踪算法,对完成预处理操作后的接线图进行连接线外轮廓提取操作;

[0010] 根据获取的各电气图元的位置和提取的各连接线外轮廓坐标信息,解析出各连接线与电气图元的连接关系;

[0011] 将各连接线与电气图元的连接关系转换为各电气图元的拓扑连接关系。

[0012] 根据本发明优选的,所述利用目标检测技术获取接线图中各电气图元的位置和种类信息,并保存至xml文件之前,包括:

[0013] 将接线图转换为图片格式。

[0014] 根据本发明优选的,所述利用目标检测技术获取接线图中各电气图元的位置和种类信息,并保存至xml文件,包括:

[0015] 对相同种类的电气图元赋予id属性,以区分开多个同种类部件。

[0016] 根据本发明优选的,所述对接线图进行预处理,包括:

[0017] 进行高斯滤波平滑处理,去除接线图中部分无用细节,过滤图像中存在的噪声。

[0018] 根据本发明优选的,所述对接线图进行预处理,包括:

[0019] 进行色彩空间转换,将接线图转为灰度图;

[0020] 对灰度图进行二值化处理。

- [0021] 根据本发明优选的,所述对接线图进行预处理,包括:
- [0022] 在去除母线的过程中,对母线区域内的连接线进行保护处理。
- [0023] 根据本发明优选的,所述在去除母线的过程中,对母线区域内的连接线进行保护处理,包括:
- [0024] 创建与母线同高、1像素宽的黑色像素区域;
- [0025] 将创建的黑色像素区域以1像素的步距,沿着母线行索引递增的方向运动,每运动一次便与当前所在母线区域包含的像素信息进行迭代比较,判断当前所在母线区域包含的像素信息是否与黑色像素区域包含的像素信息完全相同,相同则保存当前位置信息之后继续运动,否则继续运动,直至遍历完母线区域;
- [0026] 抹去母线区域像素值信息的同时避开保存的位置信息对应的竖向连接线区域。
- [0027] 根据本发明优选的,所述目标检测技术采用Faster R-CNN深度学习模型,所述轮廓跟踪算法为基于8邻域连通区域标记的轮廓跟踪算法。
- [0028] 根据本发明优选的,所述使用轮廓跟踪算法,对完成预处理操作后的接线图进行连接线外轮廓提取操作,包括:
- [0029] 对提取出的连接线外轮廓坐标信息进行筛选,只保留与电气图元直接连接的连接线外轮廓坐标信息。
- [0030] 根据本发明优选的,所述根据获取的各电气图元的位置和提取的各连接线外轮廓坐标信息,解析出各连接线与电气图元的连接关系,包括:
- [0031] 对连接线进行编号,以作为后续代表图元拓扑关系的链接点号;
- [0032] 遍历所有连接线,将筛选后的各连接线外轮廓坐标信息和电气图元的坐标信息进行比较,将与同一连接线相连的电气图元放至一个集合中,并将连接线编号作为集合编号。
- [0033] 本发明具有以下有益效果:
- [0034] 本发明使用基于图像处理的拓扑关系检测技术,并与目标检测技术相结合,实现了更加智能、快速且准确的电力接线图拓扑关系检测,可以直接处理jpg、png、pdf等文件格式的电力图纸数据,解决了人工录入xml信息的问题,降低了人工成本,消除了人工效率低且出错多的缺陷。同时,通过增加对电力图纸的图像预处理操作,使得图像处理技术能够更好地应用于电力图纸的拓扑关系检测,大大提高了检测的效率和精度。

附图说明

- [0035] 图1为本发明的基于人工智能的电力图纸拓扑关系的检测方法一个实施例的流程示意图;
- [0036] 图2为本发明中接线图样例示意图;
- [0037] 图3为采用本发明的方法对图2所示接线图进行预处理后的结果图。

具体实施方式

- [0038] 为使本发明要解决的技术问题、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图及具体实施例进行详细描述。
- [0039] 本发明提供一种基于人工智能的电力图纸拓扑关系的检测方法,如图1所示,包括:

[0040] 步骤101:利用目标检测技术获取接线图(即电力图纸)中各电气图元的位置和种类信息,并保存至xml文件;

[0041] 本步骤中,目标检测技术是指基于深度学习的目标检测技术。在本发明实施例中,可以使用Faster R-CNN深度学习模型进行目标检测工作。

[0042] 最后保存的xml文件中,每一个<object></object>及其包含的所有子标签信息都属于一个电气图元,这一部分的xml结构例如如下:

<object>

<name></name>包含图元种类名称信息

<bndbox>包含该图元的位置信息

<xmin></xmin>

[0043] <ymin></ymin>xmin、ymin 包含图元的左下角坐标

<xmax></xmax>

<ymax></ymax>xmax、ymax 包含图元的右上角坐标

</bndbox>

</object>

[0044] 作为一种可选的实施例,所述利用目标检测技术获取接线图中各电气图元的位置和种类信息,并保存至xml文件(步骤101)之前,可以包括:

[0045] 步骤100:将接线图转换为图片格式。

[0046] 考虑到目标检测技术只能对图片进行处理,故如果电力图纸为pdf等非图片格式,则需要先将电力图纸的格式转换为目标检测技术可使用的图片格式。

[0047] 作为另一种可选的实施例,所述利用目标检测技术获取接线图中各电气图元的位置和种类信息,并保存至xml文件(步骤101),可以包括:

[0048] 步骤1011:对相同种类的电气图元赋予id属性,以区分开多个同种类部件。

[0049] 具体实施时,在xml文件中,图元可以<object>标签表示,图元的种类用子标签<name>表示,可对代表图元种类的<name>标签赋予id属性,以区分开多个同种类部件。例如,对于变压器,可以分别以“变压器_1”、“变压器_2”进行区分。

[0050] 另外,图元的位置信息可用子标签<bndbox>表示,该子标签<bndbox>可以包含<xmin>、<ymin>、<xmax>、<ymax>坐标信息,这样可通过左下角和右上角两个点所限定的矩形来表示图元的位置。

[0051] 步骤102:对接线图进行预处理,所述预处理包括去除各电气图元和母线,保留连接线;

[0052] 作为一种可选的实施例,所述对接线图进行预处理,所述预处理包括去除各电气图元和母线,保留连接线(步骤102),可以包括:

[0053] 步骤1021:进行高斯滤波平滑处理,去除接线图中部分无用细节,过滤图像中存在的噪声。

[0054] 电力接线图数据通常具有以下特征：图元分布密集、图中存在较多的噪声、图元间的连接线复杂交错、图中存在大量无用的像素点。传统的图像处理技术无法有针对性地处理这些特征。因此，如何处理电力接线图数据中存在的这些不利特征，是实现高质量、高效率拓扑关系检测技术的关键一步。

[0055] 本步骤中，通过高斯滤波平滑处理，去除接线图中部分无用细节（画图人员无意中留下的多余的点、线段等），过滤图像中存在的噪声，以提高检测的精确度及效率。高斯滤波的关键是先找到高斯模板矩阵，求得高斯卷积算子，然后进行卷积操作。对于二维的高斯分布，其得到高斯模板矩阵的高斯函数如下：

$$[0056] \quad G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

[0057] 其中，(x, y) 代表像素值的坐标信息， σ 为正态分布的标准偏差。

[0058] 具体实施时，首先，可以将高斯核大小设置为3*3， σ 设置为0.8，则高斯模板矩阵各元素值的计算公式如下：

$$[0059] \quad G_{i,j} = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(i-1)^2+(j-1)^2}{2\sigma^2}}, \text{其中}, 0 \leq i \leq 2, 0 \leq j \leq 2$$

[0060] 然后，计算高斯模板矩阵各元素值之和 $sum = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 G_{i,j}$ ，再对高斯模板矩阵进行归一化，即 $G_{i,j} = \frac{1}{sum} \times G_{i,j}$ ，得到的便是高斯卷积算子；

[0061] 最后，利用求得的高斯卷积算子进行卷积操作，即可完成高斯滤波处理。

[0062] 步骤1022：进行色彩空间转换，将接线图转为灰度图；

[0063] 电力接线图属于RGB三通道图像，其像素值数量巨大，为了简化矩阵，提高运算速度，需要将RGB三通道图像转换为灰度的单通道图像。其转换公式例如如下：

$$[0064] \quad Gray = R \times 0.3 + G \times 0.59 + B \times 0.11$$

[0065] 步骤1023：对灰度图进行二值化处理；

[0066] 将图像处理为灰度图像之后，为了进一步减少图像中无用的数据量，使接线图中线条轮廓更加明显，优选对处理后的灰度图进行二值化处理。将256个等级的灰度图像根据适当的阈值变换为能够更加反映图像特征的二值化图像，这大大提高了后续的检测精度和效率。针对电力接线图数据的特点，在本发明实施例中，优选采用的阈值为155，将大于155的灰度值归为255，将小于155的灰度值归为0。在此阈值下，能够获得目前最好的检测效果；

[0067] 步骤1024：去除各电气图元和母线，保留连接线。

[0068] 本步骤中，在图像中去除电气图元，使图像中不存在属于任何图元的像素信息，只保留除图元外的其他像素信息，以便后续提取出图元间连接线的轮廓信息。在本发明实施例中，具体实施时可以结合前述步骤生成的xml文件，将图像中图元矩形框内坐标(x, y)处的像素信息抹去，其中 $\{(x, y) | x \in (xmin, xmax), y \in (ymin, ymax)\}$ 。

[0069] 考虑到母线的存在不利于分析图元间连接关系，故母线也需要去除，然而发明人在研究过程中发现，有些连接线会跨越母线，因此，需要在去除母线的过程中，对母线区域内的连接线进行保护处理，使其不因去除母线而被消除，以保持连接线轮廓信息的完整性，具体可以包括步骤：

[0070] A1:创建与母线同高、1像素宽的黑色像素区域;

[0071] A2:将创建的黑色像素区域以1像素的步距,沿着母线行索引递增的方向运动,每运动一次便与当前所在母线区域包含的像素信息进行迭代比较,判断当前所在母线区域包含的像素信息是否与黑色像素区域包含的像素信息完全相同,相同则保存当前位置信息之后继续运动,否则继续运动,直至遍历完母线区域;

[0072] A3:抹去母线区域像素值信息的同时避开保存的位置信息对应的竖向连接线区域。

[0073] 发明人发现,接线图中的母线有其特点,均横向布设,且中间存在横向空白,连接线跨越的部位则为黑色,不存在空白,故根据该特点相应设计了上述流程,当发现某一竖向区域全部为黑色时,则说明存在连接线。

[0074] 具体实施时,直接通过对接线图母线区域内图像像素点进行操作,达到去除母线而不消除与其交叉重合的连接线的效果。假设母线区域为 $\{(x,y) | x \in (x_{\min}, x_{\max}), y \in (y_{\min}, y_{\max})\}$ 。首先,创建一个包含 $(y_{\max} - y_{\min} + 1) \times 1$ 维黑色像素的区域;然后,将此区域以1像素的步距,沿着母线行索引递增的方向运动,每运动一次便与当前所在母线区域包含的像素信息进行迭代比较,判断当前所在母线区域包含的像素信息是否与其包含的像素信息完全相同,完全相同则说明有连接线经过,则保存当前位置信息之后继续运动,否则继续运动,直至遍历完母线区域,最终可以得到母线区域内所有交叉重合连接线的行坐标;最后,利用去除图元的方法,抹去母线区域像素值信息的同时避开母线内连接线区域,就可以达到保持连接线轮廓完整性的要求。

[0075] 步骤103:使用轮廓跟踪算法,对完成预处理操作后的接线图进行连接线外轮廓提取操作;

[0076] 本步骤中,使用轮廓跟踪算法提取出预处理后接线图的线条轮廓信息。针对电力接线图像素信息的特点,可以使用基于8邻域连通区域标记的轮廓跟踪算法,将提取后的各轮廓坐标信息保存至列表L中。具体实施时,可以使用`cv.findContours()`函数,并将参数设置为`cv.RETR_TREE, cv.CHAIN_APPROX_NONE`,可以完整的提取出所需的连接线外轮廓坐标信息;以python编程语言为例,列表是其中一个基本的数据结构,提取出的各轮廓坐标信息可以保存至这种数据结构中。

[0077] 作为一种可选的实施例,所述使用轮廓跟踪算法,对完成预处理操作后的接线图进行连接线外轮廓提取操作(步骤103),可以包括:

[0078] 步骤1031:对提取出的连接线外轮廓坐标信息进行筛选,只保留与电气图元直接连接的连接线外轮廓坐标信息。

[0079] 本步骤中,对提取出的连接线外轮廓坐标信息进行筛选,对保存至列表L中的各轮廓进行筛选判断,只保留与电气图元直接连接(即重合)的连接线轮廓信息。在本发明实施例中,可以将列表L中的坐标信息 (x,y) 与前述xml文件中保存的图元的位置坐标信息 $\langle x_{\min} \rangle \langle y_{\min} \rangle \langle x_{\max} \rangle \langle y_{\max} \rangle$ 进行比较判断,只保留各轮廓内符合 $x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$ and $y_{\min} \leq y \leq y_{\max}$ 条件的轮廓坐标信息,并删去进行判断后不包含任何坐标信息的轮廓。以开关连接灯泡的简单连接线为例,经如此处理后,则只会保留该连接线的两端端点,大大减少了所需保存的连接线外轮廓坐标信息的数量,减少了冗余,提高了标识效率。

[0080] 步骤104:根据获取的各电气图元的位置和提取的各连接线外轮廓坐标信息,解析

出各连接线与电气图元的连接关系；

[0081] 作为一种可选的实施例，所述根据获取的各电气图元的位置和提取的各连接线外轮廓坐标信息，解析出各连接线与电气图元的连接关系(步骤104)，优选包括：

[0082] 步骤1041：对连接线进行编号，以作为后续代表图元拓扑关系的链接点号；

[0083] 具体实施时，各连接线可以从1开始依次编号。

[0084] 步骤1042：遍历所有连接线，将筛选后的各连接线外轮廓坐标信息和电气图元的坐标信息进行比较，将与同一连接线相连的电气图元放至一个集合中，并将连接线编号作为集合编号。

[0085] 具体实施时，集合的存放格式可以为name_id，并将连接线编号作为集合编号。其中name代表图元种类，id是前述步骤生成的name属性。此处，通过使用集合操作，可以达到去重的效果。集合是数学中的一个基本概念。在本发明实施例中，集合可以指python语言中的一种数据结构。

[0086] 经过上述步骤1041-1042即可得到以连接线编号排序的，各连接线与电气图元的连接关系。

[0087] 步骤105：将各连接线与电气图元的连接关系转换为各电气图元的拓扑连接关系。

[0088] 上述步骤104得到的是以连接线编号排序的各连接线与电气图元的连接关系，经过整理重排后，即可得到以电气图元排序的电气图元的拓扑连接关系。

[0089] 综上，本发明使用基于图像处理的拓扑关系检测技术，并与目标检测技术相结合，实现了更加智能、快速且准确的电力接线图拓扑关系检测，可以直接处理jpg、png、pdf等文件格式的电力图纸数据，解决了人工录入xml信息的问题，降低了人工成本，消除了人工效率低且出错多的缺陷。同时，通过增加对电力图纸的图像预处理操作，使得图像处理技术能够更好地应用于电力图纸的拓扑关系检测，大大提高了检测的效率和精度。

[0090] 下面以一具体的例子对本发明上述的方法运行进行说明。如图2所示，提供了具体的接线图样例(暂未以彩色显示)，对该接线图样例进行上述的预处理后得到图3所示的结果图，之后按本发明上述的方法继续运行，最后即可得到表1所示的电气图元的拓扑连接关系。

[0091] 表1样例拓扑关系检测结果(节选)

| 设备类型 | 设备名称 | 横坐标 | 纵坐标 | 电压等级 | 链接点号(连接关系) |
|------|--------|--------|--------|------|-------------------------|
| 避雷器 | 避雷器_8 | 2091.5 | 1809.5 | 35kV | 20,28 |
| 避雷器 | 避雷器_3 | 1929.5 | 429.5 | 35kV | 5,14 |
| 避雷器 | 避雷器_11 | 1061.5 | 1494.5 | 35kV | 44,52 |
| 避雷器 | 避雷器_2 | 1198 | 190.5 | 35kV | 9,10,11,12 |
| 母线 | 母线_4 | 2283.5 | 1358 | 35kV | 60,61,62,63,64,65,66,74 |
| 母线 | 母线_3 | 856 | 1355.5 | 35kV | 67,68,69,70,71,72,73,75 |
| 母线 | 母线_2 | 1254 | 858 | 35kV | 80,81,82,83,84,85 |
| 母线 | 母线_1 | 1334.5 | 273 | 35kV | 6,7,8,12,13,14 |
| 熔断器 | 熔断器_7 | 1948 | 1495 | 35kV | 45,51 |
| 熔断器 | 熔断器_6 | 1118 | 1494 | 35kV | 46,52 |
| 熔断器 | 熔断器_8 | 2680 | 1513.5 | 35kV | 32,47 |
| 熔断器 | 熔断器_5 | 355.5 | 2156 | 35kV | 16,25 |

[0093]

| | | | | | |
|------|--------|--------|--------|------|----------|
| 熔断器 | 熔断器_1 | 966.5 | 713.5 | 35kV | 86,90 |
| 熔断器 | 熔断器_3 | 236.5 | 2156 | 35kV | 17,25 |
| 熔断器 | 熔断器_4 | 297.5 | 2155 | 35kV | 18,25 |
| 电容 | 电容_2 | 297 | 2197 | 35kV | 15,18 |
| 电容 | 电容_3 | 356 | 2198.5 | 35kV | 15,16 |
| 刀闸 | 刀闸_22 | 896.5 | 1693 | 35kV | 31,39 |
| 刀闸 | 刀闸_32 | 1753.5 | 1697.5 | 35kV | 27,35 |
| 刀闸 | 刀闸_38 | 1298 | 1695 | 35kV | 29,41 |
| 刀闸 | 刀闸_37 | 2492 | 1697 | 35kV | 26,37 |
| 刀闸 | 刀闸_33 | 2115.5 | 1696.5 | 35kV | 28,34 |
| 刀闸 | 刀闸_25 | 1298.5 | 1416 | 35kV | 54,68 |
| 刀闸 | 刀闸_10 | 1273.5 | 182 | 35kV | 9,12 |
| 变压器 | 变压器_2 | 2010.5 | 1168 | 35kV | 74,76 |
| 变压器 | 变压器_1 | 562.5 | 1168.5 | 35kV | 75,77 |
| 刀闸 | 刀闸_22 | 896.5 | 1693 | 35kV | 31,39 |
| 刀闸 | 刀闸_32 | 1753.5 | 1697.5 | 35kV | 27,35 |
| 断路器 | 断路器_9 | 1303 | 1496.5 | 35kV | 41,54 |
| 断路器 | 断路器_7 | 675.5 | 1496.5 | 35kV | 40,55 |
| 断路器 | 断路器_14 | 2497 | 1498 | 35kV | 37,48 |
| 断路器 | 断路器_13 | 2283 | 1499.5 | 35kV | 33,49 |
| 断路器 | 断路器_15 | 2001.5 | 1025.5 | 35kV | 76,78 |
| 接地刀闸 | 接地刀闸_2 | 2087.5 | 460 | 35kV | 12,13,14 |

[0094] 需要说明的是,表1中横坐标和纵坐标采用的是电气图元的中心点,以方便显示;每一个链接点号都代表一段连接线,具有相同链接点号的元件相互连接。用链接点号表示元件连接关系的方式只考虑了元件相互空间上的连接与邻接关系,不受元件具体位置的影响。因此,元件的拓扑关系可抽象为元件的链接点号。

[0095] 另外,采用本发明的方法,对青岛市某14个区县变电站数据进行了测试,表2包含各个区县数据拓扑关系检测所需的时间及准确率结果。

[0096] 表2青岛各区县数据拓扑检测结果

[0097]

| 图片名称 | 电压等级 | 花费时间 | 准确率 |
|-------|------|------|--------|
| 10001 | 35kV | 90s | 98.29% |
| 10002 | 35kV | 85s | 86.49% |
| 10003 | 35kV | 73s | 88.24% |
| 10004 | 35kV | 94s | 97.83% |
| 10005 | 35kV | 76s | 98.03% |
| 10006 | 35kV | 80s | 95.45% |

[0098]

| | | | |
|-------|------|-----|---------|
| 10007 | 35kV | 66s | 100. 0% |
| 10008 | 35kV | 68s | 100. 0% |
| 10009 | 35kV | 84s | 94. 07% |
| 10010 | 35kV | 80s | 96. 84% |
| 10011 | 35kV | 95s | 91. 03% |
| 10012 | 35kV | 76s | 100. 0% |
| 10013 | 35kV | 61s | 93. 84% |
| 10014 | 35kV | 75s | 88. 17% |

[0099] 本发明使用的是基于 jpg、png、pdf 等格式的数据集,对比传统的拓扑关系检测技术,进一步减少了人工干预,降低了人工成本。

[0100] 电力图纸作为电力系统中的关键数据,是电力系统调度工作的基础,被广泛应用于电力系统的众多环节中。随着电网规模的日益扩大,电力系统的调度工作越来越难以进行。电力图纸是调度工作的基础,优化电力图纸的生成成为电力系统优化的基础环节。

[0101] 电气元件的拓扑关系作为电力图纸生成技术的关键信息,其获取方式成为电力图纸生成技术的核心内容。本发明提出的拓扑关系检测方法,为实现更智能、高效的电力图纸生成技术奠定了基础。

[0102] 以上所述是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明所述原理的前提下,还可以作出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

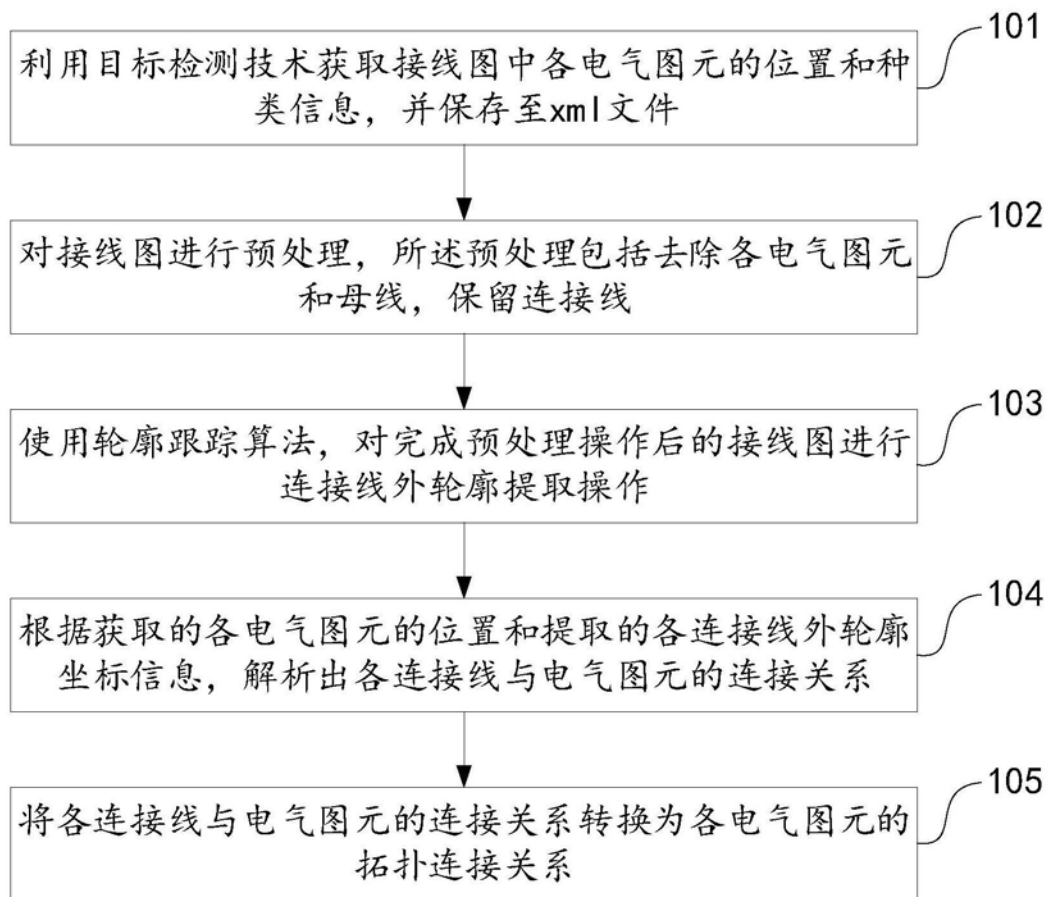


图1

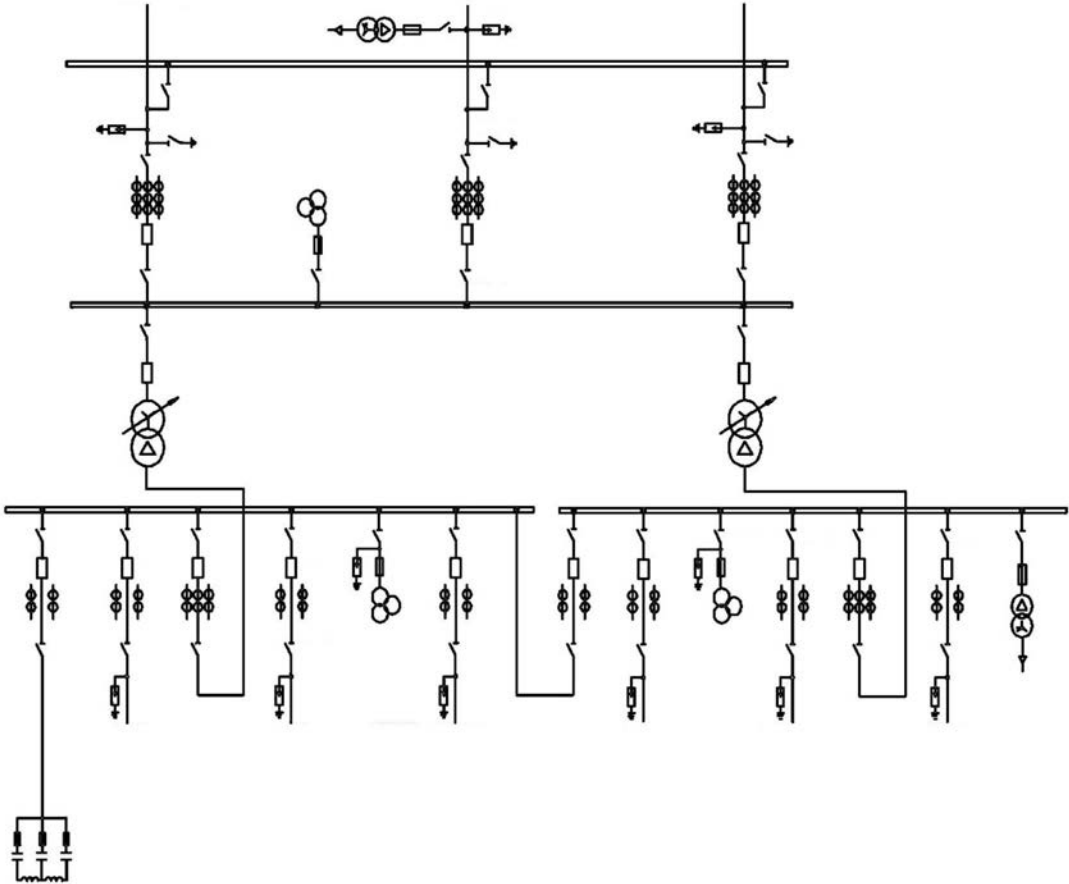


图2

