

二维桁架路径模型的自动生成算法

梁恩志, 陆小龙, 赵世平, 刘晓宇, 曹志华, 王蕾

(四川大学制造科学与工程学院, 610065, 成都)

摘要: 针对传统的基于工件 CAD 模型或建筑 CAD 图纸的路径模型生成和规划方法不适用于复杂桁架结构的问题, 提出了一种基于桁架结构 CAD 图纸的二维桁架路径模型的自动生成算法. 该算法首先使用图像处理算法(如图像膨胀、面积滤波、腐蚀和细化)结合特征点提取算法对输入的图片进行处理, 并获得桁架图像的特征点集, 通过求取特征点间的连接关系得到邻接矩阵, 然后利用特征点集和邻接矩阵重构出二维桁架路径模型. 以输电线路铁塔路径模型的生成为例, 阐述了算法的具体实现过程, 并利用 Floyd 算法实现了机器人的全局路径规划. 该算法只需输入桁架结构 CAD 图纸, 程序即能自动生成路径模型. 利用 Floyd 算法完成了机器人的全局路径规划, 其结果可以应用于桁架攀爬机器人的智能导航领域.

关键词: 桁架结构; CAD 图纸; 图像处理; 路径模型生成

中图分类号: TP391.72 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2012)05-0091-06

Path Model Automatic Generation Algorithm for Two-Dimensional Trusses

LIANG Enzhi, LU Xiaolong, ZHAO Shiping, LIU Xiaoyu, CAO Zhihua, WANG Lei

(School of Manufacturing Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: An algorithm automatically generating 2-D truss path model is proposed to solve the difficulty in the traditional path model generation and path planning method for complex truss structures. Image processing algorithms (such as image dilate, area filtering, erode and thinning) and feature points extraction are chosen for processing the input image to get the set of feature points of truss images, then the adjacency matrix is obtained by evaluating the connection of feature points, the feature points set and the adjacency matrix are combined to reconstruct the path model (of 2-D trusses). The specific implementation process of the algorithm is described by taking the generation of transmission tower path model as an example, then Floyd algorithm is employed to complete the path planning of robot. It is necessary to input the CAD drawings of the truss structures, then the path model can be automatically generated and the global path planning of robot is completed by the proposed algorithm.

Keywords: trusses; CAD drawings; image processing; path model generation

自 20 世纪 90 年代以来, 计算机辅助设计已在机械制造、建筑设计等领域得到了广泛应用, 它不仅促进了相关领域的飞速发展, 也为机器人定位、导航提供了新的途径. 基于 CAD 模型的机器人导航定

位技术已成为这一领域的一个研究热点.

Markus 等人^[1]利用环境视觉传感信息与预定 CAD 模型信息进行匹配, 不断生成机器人的位姿信息, 实现了八足移动机器人在复杂船体内的定位导

航. Aniket 等人^[2]对基于建筑 CAD 图纸的室内移动机器人自主导航的可行性、韩国三星重工对基于船体 CAD 模型的喷漆机器人远程操作与监控技术^[3]、美国 ABB 研发中心对目前几种常用的采用 CAD 模型的工业机器人喷漆路径规划方法^[4]进行了深入研究,并指出了各自的优缺点. 孙双花等人^[5]对采用工件 CAD 模型的激光制导测量机器人的测量路径规划方法进行了研究. 大连理工大学庄严博士根据室内环境的建筑 CAD 草图,提出了利用机器人的初始位姿和协方差产生可视基元的序列引导信息处理单元,来提取相应的图像特征,融合里程计和视觉传感器对移动机器人进行自定位^[6]. 北京交通大学黄雅平等人^[7]提出了一种根据各楼层平面图自动生成楼宇三维路径的算法.

上述研究均采用了工件 CAD 模型或室内建筑 CAD 图纸的机器人路径规划和定位导航,而对于由大量桁架杆组成的复杂空间桁架结构(如桥梁、铁塔等),这些方法都不适用. 目前,空间桁架结构的设计制造广泛采用了 CAD、CAM 技术,为了将已有的铁塔 CAD 资料充分而便捷地运用于铁塔攀爬机器人的路径规划中,以节省重新构建铁塔路径模型的人力、物力和时间成本,本文提出了一种基于桁架 CAD 图纸、利用图像处理特别是数学形态学的方法自动生成二维空间桁架路径模型的算法,同时利用 Floyd 算法进行路径规划,以期为桁架攀爬机器人的导航、定位提供依据.

1 路径模型的自动生成

1.1 算法的总体设计

本文提出的路径生成算法是利用基于数学形态学的图像膨胀、面积滤波、腐蚀、细化及图像特征点提取等算法,来获得桁架结构的特征点集合,然后结合骨架图(见图 1)求取特征点的连接关系,并重构出路径模型. 生成桁架结构路径模型的算法流程图如图 2 所示.

1.2 图像二值化及图像膨胀^[8]与面积滤波

先将图 1 所示的 CAD 图纸转换成图片格式,然后进行图像二值化以滤除一些瑕疵像素点,并将研究目标和背景区分开. 二值化的阈值选择 128 像素,背景设置为黑色,桁架结构设置为白色.

图像的膨胀能够消除一些面积比较小的孔洞,使用 3 像素×3 像素模板对二值化后的图像膨胀处理 2 次,得到的结果如图 3 所示. 为了将桁架图像中的孔洞填充为一个整体,选择标号算法对图像进行

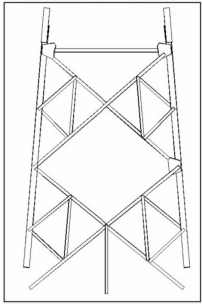


图 1 电力铁塔塔身的 CAD 图纸

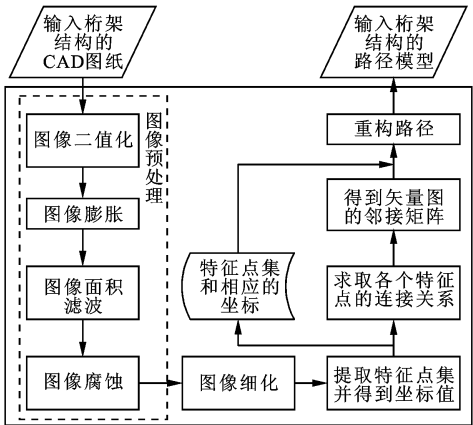


图 2 路径模型自动生成算法的流程图

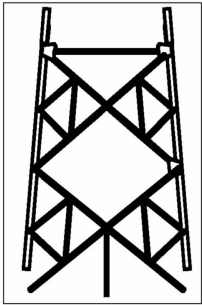
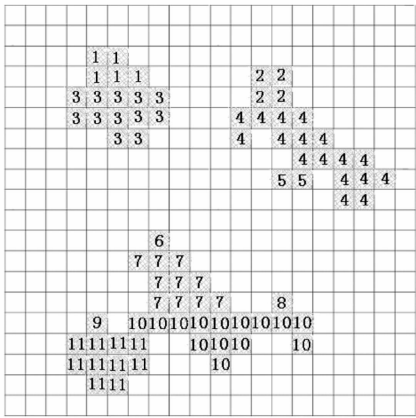


图 3 膨胀后的铁塔结构图

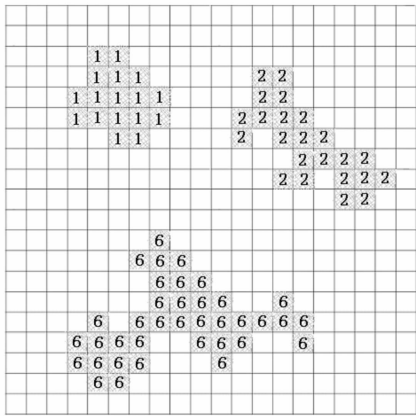
面积滤波^[9],如图 4 所示(图中的方格代表像素,数字标号用于区分不同联通区域中的像素,不同数字标号的实际像素值为 0),具体步骤如下.

步骤 1 从左到右、自上而下地扫描图像.

步骤 2 若遇到像素值为 0 的点,则进行以下的判断和操作:①若当前像素的上边或者左边的邻近像素只有一个有数字标号,则将该数字标号赋给当前像素;②若图像中 2 个邻近像素的数字标号相等,则将该数字标号赋给当前像素;③若图像中 2 个邻近像素的数字标号不相等,则将值较小的数字标号赋给当前像素,并将该数字标号记录在等值数字标号



(a)第 1 轮数字标号后的图像



(b)合并等值数字标号后的图像

图 4 采用数字标号法实现面积滤波的图片

表中;④若图像中 2 个邻近像素都没有数字标号,则指定一个新的数字标号给当前像素(新数字标号为当前最大标号加 1)。

步骤 3 搜索等值数字标号,得出各组等值数字标号的最小值,进行第 2 次扫描,将各组等值数字标号以最小值取代。

步骤 4 累加相同数字标号值的像素个数,得到的数值为连通区域的面积。

步骤 5 设置一个面积阈值,面积低于此阈值的连通区域内所有的像素点都标记为 255 像素,并观察处理效果,通过调节阈值可以提高程序的处理效果和适应性。

步骤 6 再次对图像二值化,将图像由数字标号图像还原为黑白二值图像。

经过上述步骤处理后得到的结果如图 5 所示。

1.3 图像腐蚀、细化及特征点的提取和坐标优化

图像腐蚀为膨胀的逆过程,腐蚀能够消除图像边缘的毛刺并缩小目标图像的面积,细化操作则能

得到图像中桁架结构的骨架图.对图 5 进行腐蚀、细化处理后得到的骨架图如图 6 所示。

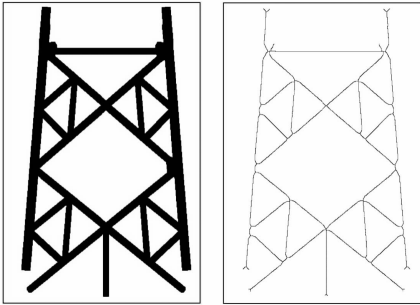


图 5 面积滤波后的 图 6 铁塔桁架结构的骨架图

如文献[7]所述,由于利用图像处理方法得到的细化图是位图,缺少生成桁架路径图所需的图形结构信息,因此需要将细化图矢量化,提取出桁架结构特征点(交叉点、端点)以及特征点之间的连接关系,生成包含结点和结点连接关系的拓扑图.由于在图像腐蚀处理阶段留有余量,所以原图的特征点(交叉点和端点)在细化图中都表现为交叉点,从而简化了特征点提取的过程。

1.3.1 提取细化图中的交叉点 选择数学形态学中的击中-击不中变换(HMT)^[10]来提取目标图像的交叉点. HMT 的数学描述如下

$$A \otimes B = (A \ominus B_1) \cap (A^c \ominus B_2) \tag{1}$$

$$B = (B_1, B_2) \tag{2}$$

式中: A 为目标图像; B 为 3 像素×3 像素方形结构元; B_1 为前景结构元素; B_2 为背景结构元素. B_1 、 B_2 的交集为空,用结构元扫描目标图像,当且仅当 B_1 平移到某点可填入 A 的内部,且 B_2 平移到该点可以填入 A 的外部时,该点才能存入 HMT 变换的结果中,扫描完成即可输出 HMT 变换的结果图像。

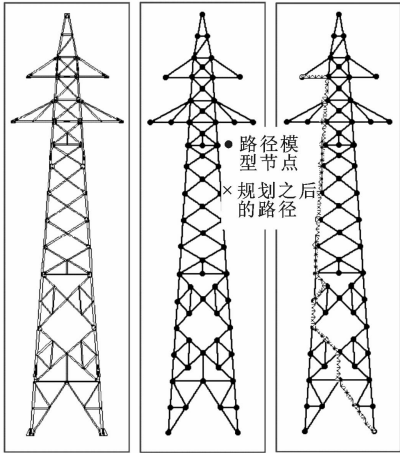
1.3.2 坐标优化 由于在前面图像处理中不可避免地会使图像产生一些形变,提取出来的特征点中含有未排除的多余点,使得提取出的特征点是一个个点簇(即一系列临近的点),因此为了将一个点簇抽象为一个特征点,采用一个扫描框,对局部的像素点累加坐标值,用平均坐标值来取代点簇的坐标值,处理对象为特征点提取之后的图像.由于点簇具有集中分布的特点(一个簇内的点距离很近,簇与簇之间间隔较远),因此采用的算法步骤为:①从上至下扫描图片,遇到 255 像素的点则进入步骤②;②设置一个以扫描到的点(255 像素)为中心的 25×25 的处理方格;③从左至右、从上至下扫描方格内的每一

$$W_{nm} = \frac{k_1}{(L_{nm} + k_2 N)}$$

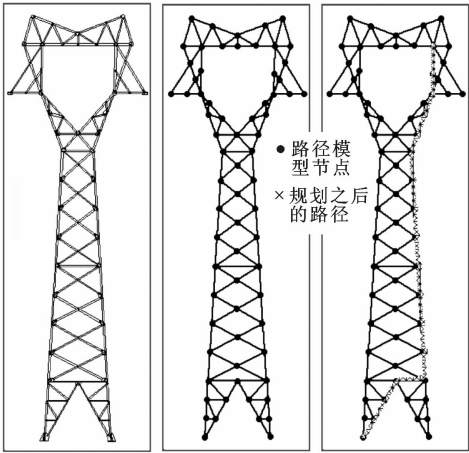
(4)

式中: k 为比例系数; L_{nm} 为节点 n 、 m 间的距离; k_1 为整体比例系数; k_2 为障碍物的权值比例系数; N 为障碍物的个数。

利用生成的路径模型、计算出的权值和 Floyd 算法对全局路径进行规划,结果见图 10c、图 11c。



(a)CAD 图纸 (b)路径模型 (c)规划的路径
图 10 7717 型铁塔桁架结构



(a)CAD 图纸 (b)路径模型 (c)规划的路径
图 11 110ZM 型铁塔桁架结构

由 AutoCAD 结构图自动生成路径模型的算法对于铁塔桁架结构非常适合,可以准确地生成相应的二维路径模型,但是尚不能实现空间桁架结构三维路径模型的自动生成,这将是下一步研究的主要重点。

3 结 论

本文以电力铁塔为例,分析了基于桁架结构

CAD 图纸自动生成路径模型的算法,该算法只需输入桁架结构 CAD 图纸,程序即能自动地生成路径模型. 利用 Floyd 算法完成了机器人的全局路径规划,结果可以保存在 txt 文档中供机器人定位、导航使用,也可以实时、图像化地显示最优路径. 路径中的线段可根据距离的长短和障碍物的多少来确定一个权值,利用带权路径模型可规划出一条符合各种约束条件(如路径最短、耗能最少和障碍物最少)的最优路径供机器人导航使用。

由 AutoCAD 结构图自动生成路径模型的算法,能够准确、快捷地生成二维桁架结构的路径模型,同时进行路径规划,为铁塔攀爬机器人的路径规划提供数据支持,从而节约了人工重构路径模型的人力、物力和时间. 下一步的工作是研究基于桁架 CAD 模型的三维路径模型生成算法。

参考文献:

[1] MARKUS V, MINU A, CARLOS B, et al. A system to navigate a robot into a ship structure [J]. Machine Vision and Applications, 2003(14):15-25.

[2] ANIKET M, BENJAMIN K. Using CAD for robot navigation [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2001:678-683.

[3] BYUNGS K, YOUNGJ P, JONGH E. A study on operating strategy for automated painting system in inner double hull blocks [C]//Proceedings of the 17th World Congress of IFAC. Seoul, Korea: The International Federation of Automatic Control, 2008: 2992-2995.

[4] CHEN Heping, THOMAS F, LI Xiongzi. A review of CAD-based robot path planning for spray painting [J]. Industrial Robot: An International Journal, 2009, 36(1): 45-50.

[5] 孙双花, 曲兴华, 晏戡, 等. 基于图像测量技术的复杂工件自动检测系统研究 [J]. 制造技术与机床, 2007 (11):16-20.

SUN Shuanghua, QU Xinghua, YAN Yu, et al. Research on the automatic measuring system based on image measuring technology [J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2007(11):16-20.

[6] 王珂, 王伟, 庄严, 等. 基于几何-拓扑广域三维地图和全向视觉的移动机器人自定位 [J]. 自动化学报, 2008(11):1369-1378.

WANG Ke, WANG Wei, ZHUANG Yan, et al. Omnidirectional vision-based self-localization by using large-scale metric-topological 3D map [J]. Acta Auto-

- matica Sinica, 2008(11):1369-1378.
- [7] 黄雅平, 杜建庚, 陈恩义. 楼宇三维路径模型的自动生成算法 [J]. 北京交通大学学报, 2010, 2(34): 79-83.
HUANG Yaping, DU Jiangeng, CHEN Enyi. Construct three-dimensional route from blueprint image of buildings [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2010, 2(34): 79-83.
- [8] 王丰元, 高松, 孙壮志. 数学形态学原理及其在图像处理中的应用 [J]. 山东工程学院学报, 1999, 13(2): 5-8.
WANG Fengyuan, GAO Song, SUN Zhuangzhi, et al. Morphology and its application in image processing [J]. Journal of Shandong Institute of Engineering, 1999, 13(2): 5-8.
- [9] 张光新, 蔡晋辉, 周泽魁, 等. 面积重构算子的理论和应用 [J]. 浙江大学学报: 自然科学版, 2005, 39(9): 1358-1362.
ZHANG Guangxin, CAI Jinhui, ZHOU Zekui, et al. Theory and application of area-reconstruction operator [J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2005, 39(9): 1358-1362.
- [10] 刘宏申. 击中击不中变换在笔画细化中的应用 [J]. 安徽大学学报: 自然科学版, 2002, 19(3): 251-253.
LIU Hong-shen. Application of hit-miss transformation in thinning chokes of characters [J]. Journal of Anhui University of Technology: Engineering Science, 2002, 19(3): 251-253.
- [11] 石为人, 王楷. 基于 Floyd 算法的移动机器人最短路径规划研究 [J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(10): 10-14.
SHI Weiren, WANG Kai. Floyd algorithm for the shortest path planning of mobile robot [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2009, 30(10): 10-14.
(编辑 管咏梅)