

基于IGES文件的最小独立封闭平面区域识别算法

梁晨,洪圣康,王国林,李凯强

(江苏大学汽车与交通工程学院,江苏 镇江 212013)

摘要:基于IGES文件,提出一种能够方便嵌入至有限元分析(FEA)前处理平台中的平面图形最小独立封闭区域识别算法。该算法通过读取和整理CAD几何模型数据文件得到原始数据,并经过区域识别计算输出供FEA建模的数据文件。该算法已成功应用于轮胎FEA前处理平台中。

关键词:最小独立封闭平面区域识别;算法;IGES文件;轮胎;有限元分析前处理

中图分类号:TQ336.1⁺1;O241.82

文章编号:1000-890X(2019)10-0762-05

文献标志码:A

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2019.10.0762

陈世福等^[1]提出了区域边界识别和区域标记算法,并成功应用于电脑刺绣编程系统的图像预处理系统之中,这两种识别算法分别用于识别刺绣图案中最小区域完整区域边界和进行区域标记,但仅适用于图像处理领域。谭正华等^[2]提出一种参数曲线集复杂区域的全自动识别算法,在数字矿山领域实现了地质剖面图的区域识别,包括孤岛区域识别,但仅适用于图像处理领域。K. Z. Chen等^[3]提出基于遗传算法的工程图纸实体模型重建方法,利用区域识别算法识别出工程图纸三视图中的完整区域,但对于具有圆弧区域的复杂图形无法识别,且无法得到最小独立封闭区域。伍梅等^[4]提出基于Web的CAD系统中最小不规则封闭区域的识别方法,实现了包括孤岛的识别,但依赖于种子点的选择。

综上所述,在不同领域都有区域识别算法的应用,但目前一般的有限元分析(FEA)前处理平台并不具备最小独立区域识别的功能,大大降低了FEA建模效率。以FEA前处理平台HyperMesh软件为例,由于分析对象各部分材料不一样,需要将不同材料的区域单独划分平面(component),且特殊区域需给出不同的网格大小^[5]。而HyperMesh软件不支持多步撤回和模型的几何数据保存,所

以在创建FEA网格模型时,可能会出现如下问题:

(1)导入CAD图时出现数据丢失或CAD图出现区域未封闭,有多余的线段等,需要重回CAD软件中进行模型修改,再导入HyperMesh软件中进行component划分;(2)在网格划分或调整网格质量时出现误操作,如网格误删、部分网格重叠等情况,若无法还原,则需要重新导入CAD图划分component。这造成了大量的重复性操作,大大降低了FEA建模效率,因此需要开发一种能够方便嵌入FEA前处理平台、快速识别平面图形最小独立区域的算法。

本研究提出一种CAD平面图形最小独立区域识别算法,可以准确有效地识别由大量直线和曲线组成的复杂平面图形,识别效率高,能方便嵌入FEA前处理平台中,该算法可在轮胎FEA前处理平台中应用。

1 原理

本研究基于C#语言编写平面图形最小独立区域识别算法,定义线数据集合分别为原始线数据集合、分支点处各线段夹角角度集合、封闭区域线集合、最小独立封闭区域线集合。

区域识别算法基本原理如下。

(1)在分支点(不少于3条线的交点)处建立各线段之间的夹角(角度)集合,用以在搜索到分支点时判断区域正确搜索路径。

(2)从某一起点出发,当搜索到的最后一个点

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51675240,51605198)

作者简介:梁晨(1980—),男,江苏南京人,江苏大学副教授,硕士,主要从事现代汽车轮胎技术研发和教学工作。

E-mail:578065053@qq.com

为起点时,一个完整的区域识别结束。

(3) 为确定搜索到的区域中含有最小独立封闭区域,利用该区域以外线段中点做与该区域相交的射线,以射线与区域交点数的奇偶性来判断最小独立封闭区域。

1.1 曲线端点切线的建立

在分支点(不少于3条线的交点)处,利用各线段之间的夹角作为区域搜索路径的依据,以顺时针方向为正,夹角最小的线段视为相邻线段。分支点处各线段之间夹角的确定规则如下。

(1) 建立局部坐标系。考虑到利用反三角函数计算两线段之间夹角存在周期性,故建立局部坐标系,以分支点作为局部坐标系原点,判断各线段位于第几象限。

(2) 计算线段起偏角及角度修正。定义圆弧起偏角为圆弧端点处切线的起偏角。根据线段位于第几象限进行角度修正。

(3) 计算线段之间夹角角度。直线与直线的夹角视为两直线起偏角的角度差,直线与圆弧、圆弧与圆弧之间的夹角分别视为直线与切线、切线与切线之间的角度差。

如图1所示,在分支点A和B处分别作弧AEB的切线AA'和BB',直线AB与弧AEB的夹角分别为角BAA'和角ABB'。

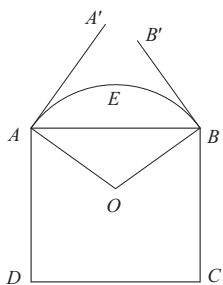


图1 建立圆弧端点切线

1.2 封闭区域搜索规则

在原始线数据集合S中任选一条线作为区域搜索起始线,任选一 endpoint 作为区域搜索起始点,标记为 P_s 。封闭区域搜索规则如下。

(1) 识别单个封闭区域。区域搜索起始线两端点分别标记为 P_s 和 P_{m1} ,在所有线数据集合中寻找端点坐标等于 P_{m1} 的线段,并将此线段与 P_{m1} 坐标相同的端点设为 P_s ,另一端点设为 P_{m1} ,继续寻

找下一条线段。当遇到分支点时,利用分支点处各线段夹角角度集合,寻找与当前线段夹角角度最小的线段作为相邻线段,继续搜索。当 P_{m1} 坐标等于 P_s 坐标时,一个完整封闭区域已找到,此流程结束。

(2) 识别无效封闭区域。当无法搜索到与 P_{m1} 具有相同坐标的线段端点,且 P_{m1} 不等于 P_s 时,则当前搜索路径无法构成封闭区域,此流程结束。

(3) 识别所有封闭区域。任选一条线段,将此线段两端点分别作为区域搜索起始点,进行区域识别,识别完成后将此区域所包含的线数据保存进封闭区域线集合中,并从原始线数据集合中删除此线段。当原始线数据集合为空集时,所有封闭区域识别完成,遍历封闭区域线集合,删除重复的区域数据,流程结束。

1.3 判断最小独立封闭区域

所有封闭区域识别完成后,除了最小独立封闭区域外,还有非最小独立封闭区域存在,需要从中筛选出最小独立封闭区域。从封闭区域线集合中任选出区域 t (此封闭区域为所有组成线集合),并从封闭区域线集合中删除线集合 t ,从原始线数据集合中删除线集合 t 中所有线段数据。计算得出原始线数据集合中所有线段中点,从中点做与区域 t 相交的射线(若过区域 t 中任一线段端点则重做),分别计算每条射线与区域 t 的交点,若各条射线交点数全为偶数,即区域 t 为最小独立封闭区域,保存在最小独立封闭区域线集合中;若各条射线交点数不全为偶数,则区域 t 不是最小独立封闭区域。当封闭区域线集合为空集时,所有最小独立封闭区域识别完成,算法计算结束。

2 CAD几何模型及其输出文件预处理

平面图形最小独立封闭区域识别算法流程如图2所示。

在进行最小独立区域识别之前,需要在二维作图软件中对几何模型进行一定的预处理,以保证识别算法能够正确地识别封闭区域,处理规则如下。

(1) 平面图形最小独立封闭区域识别算法需要根据点坐标来搜索相邻线以及判断正确的搜索路径,因此需要在所有交点处进行打断处理。

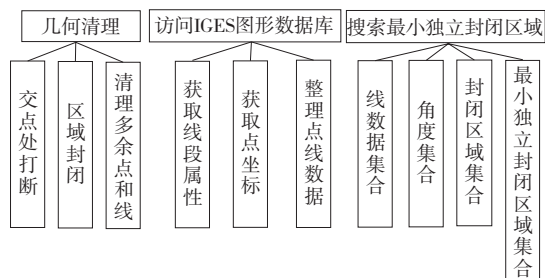


图2 平面图形最小独立封闭区域识别算法流程

(2) 若某一区域不封闭,则无法通过点坐标来寻找到下一条连续的线以及误认为此区域并非封闭区域而停止对其识别,因此需要确保所有区域为封闭图形。

(3) 为防止多余的点和线对识别算法造成影响,如增加算法运行时间及无法搜索到正确的最小独立封闭区域,需要清理CAD图中多余的点和线。

目前流行的二维作图软件有很多,如AutoCAD, pro/E和CATIA等^[6-7],其输出几何模型文件格式也不尽相同,如DXF,IGES,ESP,PDES,SET,VDAIS和VDAFS等,而在这些文件中对于点线数据的存储方式也不尽相同。为了能够正确地 从几何模型文件中获取线属性,读取点数据,要求输出的文件格式为IGES(初始图形交换规则)。

IGES被定义为基于CAD和CAM不同电脑系统之间的通用ANSI信息交换标准。在IGES文件中直线段和圆弧段记录方式如下。

直线段实体参数定义如下:

110, $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2$ 。

其中110为直线段实体代号; (x_1, y_1, z_1) 为直线段起点坐标; (x_2, y_2, z_2) 为直线段终点坐标。

圆弧段实体参数定义如下:

100, 0.0, $x_1, y_1, x_2, y_2, 1P \quad 1-x_3, y_3$ 。

其中100为圆弧段实体代号; (x_1, y_1) 为圆弧段圆心坐标; (x_2, y_2) 为圆弧段起点坐标; (x_3, y_3) 为圆弧段终点坐标。

本研究提出的算法根据以上IGES规则对几何模型参数的存储方式获取线段属性——直线段(110)或圆弧段(100)、直线的两端点坐标和圆弧的两端点坐标以及圆心坐标,并将数据存入一线数据集合中。如图3(a)所示,得到线数据集合 $\{AB, BC, CD, DA, AEB, DD_1, DD_2, FI\}$, 存储格

式为:线属性(直线或圆弧), (圆心坐标), 起点坐标, 终点坐标。当IGES文件读取完毕, 获取到所有点线数据后遍历线数据集合, 将其中没有交点的线段(即孤立的线段, 如FI)和仅有1个交点的线段(即多余的线段, 如 DD_1 和 DD_2)的数据删除, 得到的图形如图3(b)所示, 线数据集合更新为 $\{AB, BC, CD, DA, AEB\}$ 。做好以上准备工作后, 即可进行下面的平面图形最小独立封闭区域识别算法。

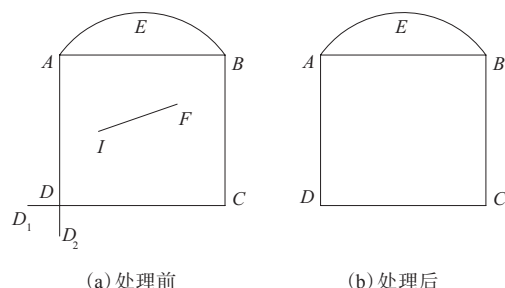


图3 图形预处理

3 应用实例

如图4(a)所示, 原始线数据集合 S 为 $\{AEB, AFB, AB, BC, CD, DA, DD_1, DD_2\}$, 删除无或仅有1个交点的线数据, 集合 S 更新为 $\{AEB, AFB, AB, BC, CD, DA\}$, 如图4(b)所示。

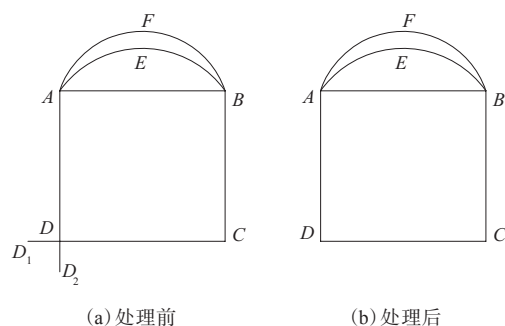


图4 原始图形处理

在分支点A和B处分别作弧AEB和AFB切线AG, AG', AH, AH', 如图5所示, 即分支点处各线段夹角集合 D 为 $\{DAG, DAG', BAG, BAG', CBH, CBH', ABH, ABH', DAB, CBA, GAG', HAH'\}$ 。选择线AB为区域搜索起始线, A点为区域搜索起始点 P_s , 寻找与线段AB另一端点B具有相同坐标端点的线段, 由于B点为分支点, 所以分别比较角 $\{ABC, ABH, ABH'\}$, 得到角ABH为最小角, 则弧AEB为相邻线段并更新为新的搜索起始线段。此时弧

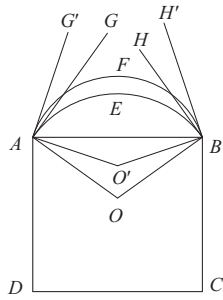


图5 圆弧切线示意

BEA 终点坐标等于 P_s , 一个完整的封闭区域 $\{AEB, AB\}$ 搜索完成, 将此区域添加至封闭区域线集合 A 中。再以 B 点为搜索起始点, 可得到封闭区域 $\{BA, AD, DC, CB\}$, 添加到集合 A 中, 此时从集合 S 中删除线段 AB 。当集合 S 为空集时, 所有封闭区域识别完成, 遍历集合 A , 删除其中重复的区域线集合, 最终可得到封闭区域线集合 $A\{\{AEB, AB\}, \{BA, AD, DC, CB\}, \{AEB, BFA\}, \{BEA, AD, DC, CB\}, \{AFB, BC, CD, DA\}\}$ 。

从集合 A 中任选一封闭区域, 如 $\{AEB, AB\}$, 并从集合 S 中删除线段 AEB 和 AB , 计算集合 S 中剩余其他所有线段中点, 作过区域 $\{AEB, AB\}$ 的射线, 若射线过此区域任一线段的任一端点, 则重作射线, 如图6所示。当所有射线与该区域交点为偶数时, 此区域为最小独立封闭区域, 添加至最小独立封闭区域集合 B 中, 若交点不全为偶数, 则此区域非最小独立封闭区域。最终可得集合 $B\{\{AEB, AB\}, \{BA, AD, DC, CB\}, \{AEB, BFA\}\}$ 。

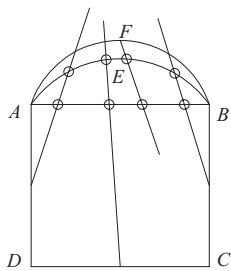


图6 判断最小独立封闭区域示意

4 在轮胎FEA前处理平台中的应用

目前轮胎FEA建模流程为: (1) 在AutoCAD软件中对二维轮胎材料分布图进行几何清理, 再导入到CATIA软件中转换为ig2 (IGES 2D) 格式文件输出 (经过多次尝试, ig2文件导入到HyperMesh

软件中极少出现数据丢失现象); (2) 将ig2文件导入HyperMesh软件中创建component、划分网格、建立帘线层和建立接触面。其中创建component、建立帘线层和建立接触面需要手动点选所需线和节点, 操作繁琐^[8]。且由于HyperMesh软件不支持多步撤回、模型几何信息 (即轮胎材料分布图轮廓线条) 保存, 当无法撤回出错之前的步骤时, 需从创建component开始重新建立轮胎FEA模型, 造成大量重复性工作。

本研究基于IGES文件的最小独立封闭平面区域识别算法能够良好地嵌入至轮胎FEA前处理平台中。该平台通过识别轮胎二维材料分布图生成Tcl语言脚本文件, 在HyperMesh软件中进行模型重构和划分component等后续工作。对于帘线层的建立, 用户可以在CATIA软件中新建图层以做出帘线层线段, 如图7所示, 本研究将识别无效回路规则稍加修改, 完成了对帘线层线段的识别。

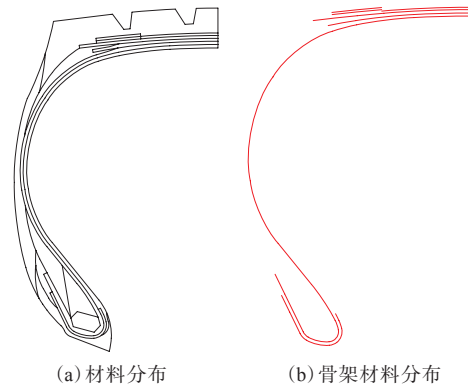


图7 轮胎材料分布图

最小独立封闭平面区域识别算法在轮胎FEA前处理平台中的应用如图8所示。该平台利用原始线数据集合 (包括所有线属性和点坐标) 在HyperMesh中进行模型重构, 最小独立封闭区域集合和帘线层线列集合 (包括所有最小独立封闭区域名称及其区域组成线编号) 用于在HyperMesh软件中进行创建component、划分网格、建立帘线层和建立接触面等, 最终完成轮胎有限元模型的建立。

5 结语

本研究提出的基于IGES文件的最小独立封闭平面区域识别算法能够有效快速地识别由大量直

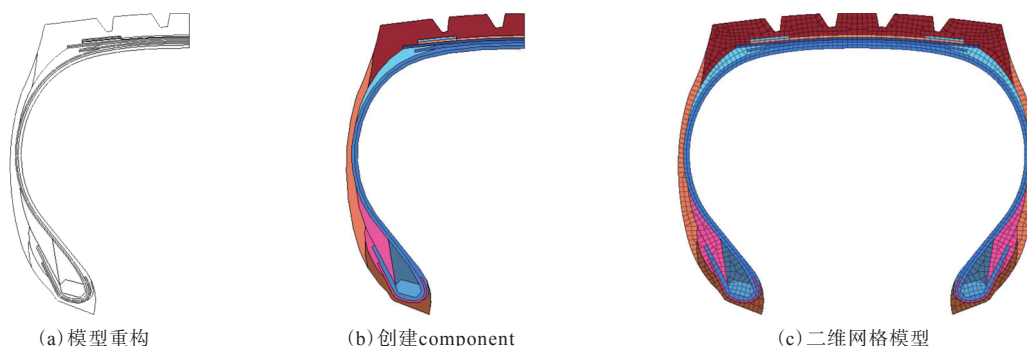


图8 最小独立封闭平面区域识别算法在轮胎FEA前处理平台中的应用

线与圆弧组成的复杂平面图形,通过读取CAD图形数据文件得到原始数据,并能输出供FEA前处理平台进行建模的数据文件,方便地嵌入至FEA前处理平台中,该算法已成功应用于轮胎FEA前处理平台中。如何识别出孤岛区域是该算法今后的主要优化目标。

参考文献:

- [1] 陈世福,潘金贵,胡滨,等. 一种区域边界的识别和区域标记算法与应用[J]. 软件学报,1993,4(3):20-25.
- [2] 谭正华,王李管,毕林,等. 参数曲线集复杂区域的全自动识别算法[J]. 计算机工程,2010,36(8):23-26.
- [3] Chen K Z, Feng X A. Solid Model Reconstruction from Engineering Paper Drawings Using Genetic Algorithms[J]. Computer-aided Design, 2003, 35: 1235-1248.
- [4] 伍梅,沈连娟,刘亚明,等. 基于Web的CAD系统中最小不规则封闭区域的识别方法[J]. 工程图学学报,2005(4):36-40.
- [5] 王国林,周浩,梁晨,等. 外轮廓和结构参数对载重子午线轮胎疲劳寿命的影响[J]. 橡胶工业,2017,64(5):290-294.
- [6] 黄雄. 三轴数控铣削加工仿真系统的研究与实现[D]. 武汉:华中科技大学,2007.
- [7] 吴晖,芮执元,吴旭东. 运用Pro/E将AutoCAD二维图形转变为三维模型[J]. 机械研究与应用,2003(4):78-79.
- [8] 杨进殿. 半钢轮胎有限元仿真过程中的建模自动化[D]. 济南:山东大学,2015.

收稿日期:2019-06-16

Minimum Independent Closed Plane Region Recognition Algorithm Based on IGES File

LIANG Chen, HONG Shengkang, WANG Guolin, LI Kaiqiang

(Jiangsu University, Zhen Jiang 212013, China)

Abstract: Based on IGES (Initial Graphics Exchange Specification) file, the minimum independent closed region recognition algorithm for planar graphics was proposed, which could be easily embedded in finite element analysis (FEA) pretreatment platform. This algorithm obtained the original data by reading and sorting out the data files of CAD geometric model, and output the data files for FEA modeling through the region recognition calculation. This algorithm was applied in tire FEA pretreatment platform successfully.

Key words: minimum independent closed region recognition; algorithm; IGES file; tire; FEA pretreatment

启事 《橡胶工业》《轮胎工业》《橡胶科技》不向作者收取审稿费。任何机构、个人以任何名义向作者收取审稿费均为诈骗行为。请广大作者互相转告,勿信诈骗信息。有任何疑问请及时与编辑部联系。《轮胎工业》《橡胶工业》《橡胶科技》投稿渠道为官方网站<http://www.rubbertire.com.cn>与<http://www.rubbertire.cn>,任何其他网上投稿渠道均为假冒。