

文章编号:1001-9081(2006)01-0169-03

基于 DXF 文件的图元优化排序

龚清洪,常智勇,莫蓉,宋文龙,袁义

(西北工业大学 现代设计与集成制造技术教育部重点实验室,陕西 西安 710072)

(nwpu_gongqh@163.com)

摘要:DXF 文件的图形元素是以绘图人员设计的先后顺序记录于文件中,导致以此为基础进行的绘图或加工过程的无效行程大量增加且效率低下。针对此问题,以 DXF 文件记录的图形元素为对象,提出了一种在运行过程中动态改变图元始末点及图元绘制顺序的优化算法,实现了 DXF 中图形元素及其控制点的优化排序并生成优化后的 DXF 文件,使得以此文件为基础的绘图或加工路径得到优化。通过运算实例说明了本方法的有效性。

关键词:DXF 文件;图形元素;优化排序

中图分类号:TP301 **文献标识码:**A

Optimization sequencing of graphic elements based on DXF file

GONG Qing-hong, CHANG Zhi-yong, MO Rong, SONG Wen-long, YUAN Yi

(The key Laboratory of Contemporary Design and Integrated Manufacturing Technology,
Northwestern Polytechnical University, Xi'an Shaanxi 710072, China)

Abstract: In DXF(Drawing Exchange File) file, the graphic elements are recorded according to the sequence made by the designers. A lot of useless journey is made by using the file and it is inefficient in drafting or machining process. In order to solve the problem, an algorithm based on the graphic elements whose start point and endpoint could be dynamically changed along the drafting path was put forward. The sequence of the graphic elements and its reference points could be optimized by using the algorithm, and the drafting or machining path could be reduced based on the optimized DXF. At last, a practical example was given.

Key words: DXF file; graphic elements; optimization sequencing

0 引言

DXF 文件是 AutoDesk 公司推出的用来进行图形信息交换的一种文件格式^[1,2]。它采用 ASCII 码文本数据形式描述图形信息,可以容纳 AutoCAD 中所有的图形信息。它可以在不同的 CAD 图形系统间进行转换。在工业界,DXF 码已经成为了一种事实上的标准。但由于 DXF 文件对图元采用的是先设计先记录的顺序,设计人员在设计过程中的无序性使得 DXF 文件将以此实际设计顺序存储图元,使得以此 DXF 文件为基础转换而成的绘图或加工代码将会使绘图或加工设备按照此设计顺序进行实际操作,导致绘图或加工路径的无序性,在工作过程中空行程增多,效率降低,设备磨损加快,经济成本增加。针对此问题,有文献[3~6]提出了对绘图或加工过程中路径的优化。但因其仅仅针对某一型号的绘图加工设备或仅针对相应数控代码进行,并没有对源 DXF 文件进行优化排序,其通用性受到了限制。由于 DXF 文件中任意调整图元的记录顺序不影响 DXF 文件的有效性,本文在 DXF 的文件结构基础上,采用一种在运行过程中图元始末点及图元绘制顺序可变的求解算法,对 DXF 文件中的图元及图元中的控制点按照绘图或加工的方向进行优化排序,重新生成 DXF 文件,从而使得以此优化后的 DXF 文件为基础的绘图或加工路径得到优化。采用这种方法优化后的 DXF 文件可应用于所有以其为基础的绘图或加工设备,具有通用性。

1 DXF 文件结构及图元信息提取

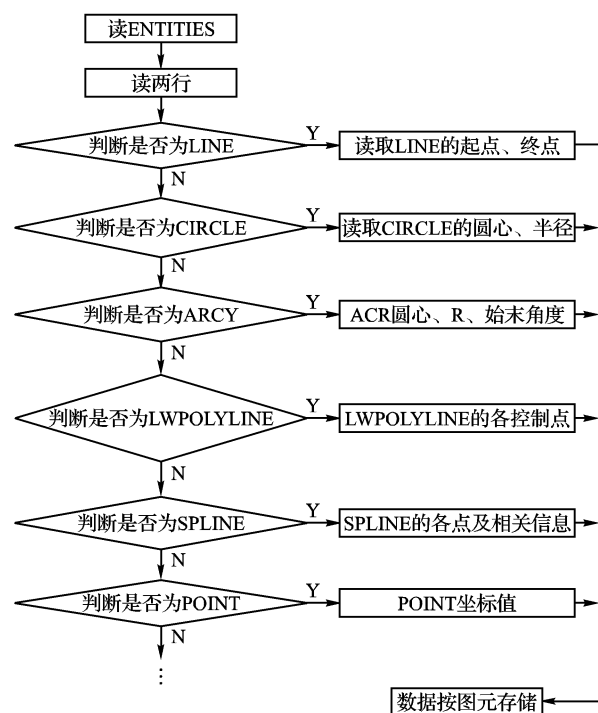


图 1 ENTITIES 中各图元信息提取

收稿日期:2005-07-06;修订日期:2005-08-28

作者简介:龚清洪(1980-),男,四川富顺人,硕士研究生,主要研究方向:CAD/CAM; 常智勇(1971-),男,陕西西安人,讲师,博士,主要研究方向:CAD、网络 CAD; 莫蓉(1957-),女,湖南常德人,教授,博士生导师,主要研究方向:协同设计、产品数据管理。

DXF 作为事实上的一种工业标准交换文件,本质上是由成对的代码(组码)和与代码相关联的值(组值)构成。组码和组值联合起来表示一个数据的含义和数据的值。若干成对的组码和组值构成了 DXF 文件。一个完整的 DXF 文件由顺序出现的六大段(SECTION)和文件结束(EOF)构成。这六大段分别为 HEADER 段、CLASSES 段、TABLES 段、BLOCKS 段、ENTITIES 段、OBJECTS 段。在 DXF 文件中,所有图形元素的信息都被写入了 BLOCKS 或 ENTITIES 段中,欲提取相应的图形元素的信息,可以对这两段进行处理,而对 BLOCKS 可以通过将其进行打散,对其中的图元进行坐标等相应转换,变换成 ENTITIES 中的信息。因此实际图形元素信息的提取可仅对 ENTITIES 段进行考虑。按照 DXF 对各图元的记录规则,对 ENTITIES 段进行解析可以获得每一图元的各控制点及 ENTITIES 相关信息。DXF 文件格式及 ENTITIES 段的存储结构和详细的信息提取过程参见文献[1][2]。

2 优化算法说明

DXF 文件中图形元素以图元绘制先后顺序为依据的记录顺序以及 DXF 对某一图元的控制点顺序存在默认排序的情况(如 ARC 在 DXF 中默认为逆时针方向、LINE 为从起点到末点等),使得对 DXF 解析获得的各图元信息成为无序性排列,导致按此转化进行的绘图或加工过程中路径的随机性和无序性,使得工作过程中的无效行程大大增加。由于在 ENTITIES 段中所记录的图形元素任意交换其出现的先后顺序以及对其中某一图元交换其控制点排列顺序不影响 DXF 文件的有效性。因此在 ENTITIES 段中对图形元素进行按绘图或加工方向的优化排序成为可能。

设 DXF 文件中记录的图元为集合 T ,集合中图元数量为 K_0 。在集合 T 中任取一图元 T_i ,将 T_i 按所绘制的图形元素是否封闭分为两大类:一类为 DXF 中的 LINE、LWPOLYLINE、SPLINE、ARC、POINT 等始末点不重合的非封闭图元,以集合 A 表示,其总数为 M ;一类为 RECTANGLE、CIRCLE、ELLIPS、POLYGON、LWPOLYLINE(闭合)等首末点重合的封闭图元,以集合 B 表示,其总数为 N 。则 $T = A \cup B, K = M + N$ 。将 DXF 中的图元和对该图元的处理方式做如下约定:

1) 将非封闭图元 A_i 的控制点表示为 $P_j, j = \{0, 1, \dots, N-1\}$, P_j 为 A_i 中第 j 个控制顶点,根据 DXF 记录顺序, P_0, P_j, P_{N-1} 分别表示 A_i 的起点、第 j 点、末点。若 A_i 为 ARC 时,由 DXF 获得的 ARC 圆心、半径、起始角度、终止角度等数据信息可计算 ARC 的起点 P_0 和末点 P_1 。算法处理过程中,若欲处理的图元 $T_i \in A$,则 T_{i-1} 至 T_i 的距离仅与 T_i 的两端点有关。

2) 将封闭图元 B_i 的控制点表示为 $Q_j, j = \{0, 1, \dots, N-1\}$ 。 B_i 为多边形或多控制顶点闭合曲线时,其控制顶点按 DXF 默认的记录顺序顺次为 $Q_0 \dots Q_j \dots Q_{N-1} (Q_0)$ 。若 B_i 为圆或椭圆时,其控制点则退化为图元中心点 $Q_{\text{中}}$ 。算法中若 $T_i \in B$ 时, T_{i-1} 至 T_i 的距离与 T_i 的各控制点有关。

3 求解过程

第 1 步:设定某一起始位置,从该点按绘图方向遍历 N 个图元的控制点求其距离,取最小值时的图元作为绘图或加工的起始图元,取最小值时的控制点作为该图元按绘图或加工方向的起点,该图元按绘图或加工方向的末点作为到下一图元的参考点。

第 2 步:以该图元按绘图或加工方向的末点为新的参考

点求其到余下 $N-1$ 个图元控制点的距离。重复第 1 步直至第 N 个图元。在处理过程中,若有相等距离的图形元素,或同一元素的两个端点距离相等的情况,按先出现者先处理的原则进行。

第 3 步:按上述步骤可得到图元及其控制点的一个排序,按此顺序可统计得到空行程距离。由于在实际绘图或加工过程中,起始图元可以任意给定。因此,重复第 1 步、第 2 步,可以得到 N 条绘图或加工路径,取其空行程最小为所求。将按此空行程最小得到的图元及其控制点排序重新生成 DXF 文件,并以此作为绘图或加工所需的 DXF 文件。

以上述步骤确定最短距离时,应考虑图元 T_i 控制点本身在 DXF 中记录的始末顺序。根据上述图元分类,判断 T_i 的类型,针对不同类型的图元采用如下方式进行处理:

a) 若图元 $T_i \in A$,以 T_i 两端点与 T_{i-1} 按图元在绘图或加工方向的末点距离最短的端点为 T_i 的新起点,另一端点为 T_i 的末点。此始末点顺序若与 DXF 的记录顺序相同,则不交换端点;若顺序不同,则将 P_0 与 P_{N-1} 互换, P_1 与 P_{N-2} 互换,……改变控制点在 DXF 中的记录顺序。如图 2 所示的 T_i 中各控制点的存储顺序为 $P_0, P_1, P_{i-1}, P_i, P_{N-1}$ 。从 T_{i-1} 至 T_i 两端点的距离分别为 d_0, d_1 ,则 T_{i-1} 至 T_i 距离表示为 $d = \min(d_0, d_1)$ 。若 $d_0 > d_1$,则以 P_{N-1} 为 T_i 的新起点, P_0 为 T_i 的末点, T_i 各控制点在 DXF 文件中的记录先后顺序调整为 $P_{N-1} \dots P_i, P_{i-1} \dots P_1, P_0$ 。

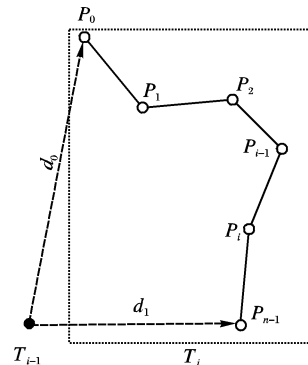


图 2 $T_i \in A$

b) 若 $T_i \in B$ 且 T_i 为多控制点的闭合曲线, T_i 各控制点 Q_i 到 T_{i-1} 按绘图方向的末点的距离表示为 $d_0, d_1 \dots d_{N-1}$ 。最短距离为 $d = \min(d_i) (i \geq 0)$,以 T_i 中各控制顶点至 T_{i-1} 末点取得最近距离的控制顶点 Q_i 为 T_i 的新起点 Q_0 ,其余各控制顶点按 DXF 默认的顺序依次记录为 $Q_i, Q_{i+1}, \dots, Q_{N-1} (Q_0), Q_1 \dots Q_{i-1}$ 。如图 3 所示的 T_i 为一多边形,在 DXF 中以 LWPOLYLINE 方式记录其各顶点,其始末点重合(记录的坐标值相同)。根据计算结果,其控制顶点在 DXF 中记录顺序为: $Q_i, Q_{i+1}, Q_{i+2} \dots Q_{N-2}, Q_{N-1} (Q_0), Q_2, Q_1$ 。

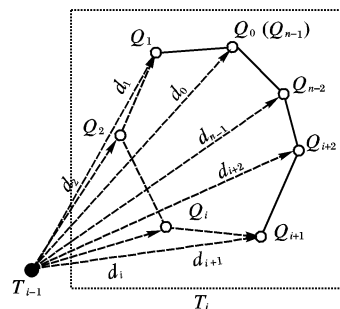


图 3 $T_i \in B$ 且 T_i 为多边形

c) 若 $T_i \in B$ 且 T_i 为圆或椭圆等,图元由控制点 $Q_{\text{中}}$ 和半

径或长短轴决定。 T_{i-1} 的末点至 T_i 中心点 $Q_{\#}$ 可确定一条直线,该直线或其延长线与 T_i 之间可以确定其交点 $Q_{交}$,以到 T_{i-1} 末点距离最短的交点为 T_i 图元的起点,该点同时为 T_i 的末点。如图 4 所示,可确定交点 $Q_{交}$,并以 $Q_{交}$ 为 T_i 按绘图方向的起点及该图元绘制结束时的末点。

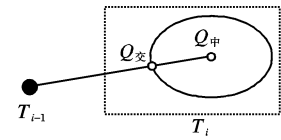


图 4 $T_i \in B$ 且 T_i 为圆或椭圆

4 算法有效性证明

应用上述优化排序算法,对 DXF 文件中的图元及其控制点进行按绘图或加工方向的排序,生成 DXF 文件,即可将其应用于工程实践。但在实际的绘图或加工过程中,绘图或加工的结果在优化前后是否具有一致性成为衡量该优化算法是否有效的一个重要标准。为了说明该算法在工程实践中是切实可行的,本文从以下两个方面说明:

1) 由于本文所述的优化算法仅仅围绕 DXF 文件中的 ENTITIES 段,对非 ENTITIES 段的信息不做任何处理,确保了这些数据信息在优化前后的一致性。而对欲处理的 ENTITIES 段中的图形元素,以表示图元的完整代码段为单位进行考虑。为了确保图元在优化过程中不致丢失及某一图元不会被重复处理,可设优化前的图元总数为 N ,优化时的初始参考位置为 P_0 ,以 P_0 遍历,取最小值时的图元作为排序后队列 D 中第一元素,对该图元进行标记并将该图元的末点作为 P_0 。再以 P_0 遍历余下的 $N-1$ 个图元,执行算法直至 $N=0$ 。对已处理过的图元作标记 $NJ=1$,并将图元依次作为队列 D 的第 i 个元素,直至第 $i=N$ 。对比优化前后的图元个数可确定图元在执行算法前后的一致性。

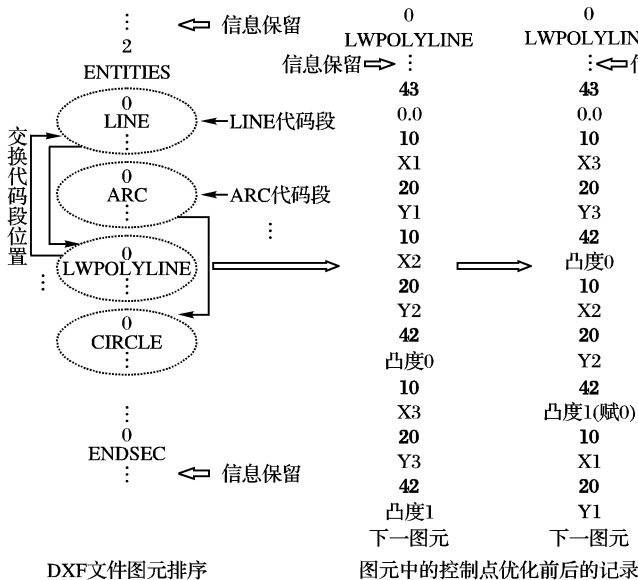


图 5 图元代码段及段内信息排序

2) 为了确保某一图元在优化前后其几何特性不致失真和丢失,需对表示该图元的 DXF 代码段内信息进行考虑。在处理某一图元时,算法关心的仅仅是该图元的控制点坐标及影响该控制点的相关信息,实现的是对坐标值及其影响因素的顺序的调整,因而可对该图元的其余信息不做任何处理,保证该图元的辅助信息写入新 DXF 文件时与优化前一致。如对于图元中的圆弧信息,在调整其通过计算得到的始末端点顺序时,相应的表示逆时针的值在优化前后改变符号,而对于 LWPOLYLINE 中圆弧,凸度(弓高/弦长)影响该点至下一

点的圆弧,优化后的凸度紧随圆弧起始点且改变符号,其余的信息不做处理。

由于优化前后数据源具有唯一性,根据上述可知重新生成的 DXF 文件其信息不失真、图元个数一致、图元的几何性不丢失,从而确保应用该 DXF 进行的绘图或加工在结果上与优化前具有一致性。其示意图见图 5 所示。

5 算例分析

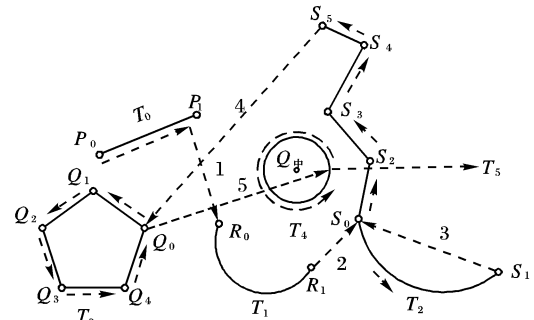


图 6 DXF 中原始图元及其中的控制点绘制顺序

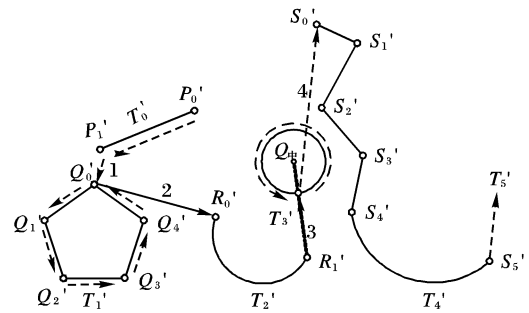
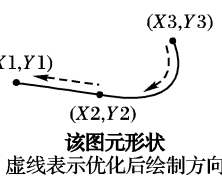


图 7 优化后的图元及其中控制点绘制顺序

根据上述过程,可为任一 DXF 文件中的图元进行排序,使得按此排序的图元在绘图或加工过程中空行程最短并重新生成优化后的 DXF 文件。如图 6 所示,在 DXF 文件中根据设计图形的先后顺序将 T_i 顺次记录在 ENTITIES 中,且 T_i 中的控制点顺序为图所示顺序,该图表示优化前的绘图加工顺序。经上述优化后的结果其绘图或加工过程如图 7 所示,DXF 中的图元及各点的绘制顺序发生了改变,其顺序为 T'_i ,且 T'_i 中的控制点方向为按箭头的绘图方向。



优化后

图 6 和图 7 所示的空行程为 $L_{空} = \sum_{i=1}^n L_i$, L_i 表示

图中编号 i 的线段长度。图 6 中 $L_{空} = 130.58 \text{ mm}$,经优化后的空行程为 $L_{空} = 67.40 \text{ mm}$,空行程减少约 48%。实践表明,若所绘制的图形元素越多,设计顺序的随机性越大,则空行程的优化程度越高。

表 1 优化效率表

图元数量	优化前空行程/mm	优化后空行程/mm	优化效率
10	927.424	570.885	38.443%
100	9855.894	2508.493	74.549%
1000	87528.528	13047.044	85.094%
1500	130646.015	17832.274	86.351%

下一级 LOD 在视觉上有一个明显的突变时,会发生一种称为 popping 的不良效果,为减少细节等级之间的突变,还加入了平滑技术,即细节等级的淡入淡出(Fade Level of Detail)。纹理也建立了等级细节,对于大面积的地形模型,当视点在高空观察地面时,可用分辨率较低的纹理,甚至不用纹理,以与纹理相近颜色的材质代替,当视点逐渐接近地面时换以高分辨率的真实地形纹理。

2.2 地形的优化

本系统需要显示的地形数据量也是非常巨大的,因此在采用 LOD 技术的同时,对某些不用细看的海岸、陆地地区尽量减少面的数量,用较低的纹理分辨率。再把地形分割成若干小单元地形,将这若干单元地形分别存成不同的地形模型文件,再以外调用方式分别调入,并重新构成一个完整的地形。这样,当用户漫游时,可以根据视点所能看到的地形区域,新的数据动态的加载到四叉树结构中显示窗内实体,而不需要将整个地形全部调用,十分有效地提高了软件运行的实时性。

2.3 数据格式的优化

通常情况下,在三维视景显示系统中的模型格式是国际标准的 flt(open flight)格式的数据,flt 格式的数据修改编辑方便、通用性强。尽管 flt 格式的数据也非常简化,但在场景较大、模型较多的情况下载入还是比较耗费时间与资源的。因此,可以把 flt 模型文件转换为 fst 文件格式。Vega 的 Fast 文件格式(fst)为系统尽可能快的加载模型到场景中提供了一种有效的途径。Fst 文件的数据方式与 Vega 场景里需要的方式非常相似,所以可以非常快的载入。其他的文件格式在加入 Vega 场景时都需要做大量的处理工作,这在处理少量数据或是静态调入时对系统运行时间没有什么影响,但在需要动态实时调入模型数据尤其是大规模地形数据时就有很大的时延,影响浏览效果。

通常情况下,fst 文件里不存储纹理文件,因为有可能几个 fst 文件用同样的纹理文件,这样就使 fst 文件更小,加载速度比较快。我们前边也提到场景的实时调入也包括纹理的实时调入,如果模型纹理总量超过硬件纹理内存的容量,甚至超过系统内存的容量,在浏览过程中,频繁交换内存或硬盘中的纹理,就很难保证其实时性。因此,可以把纹理文件存储在 fst 文件里,这样也可以大大提高载入的实时性。

3 系统功能

图 4 显示的是用二维图标显示的一个战场态势,指挥控

制系统把该战场态势信息以 UDP 报文形式发送,海战场态势实时三维显示系统根据接收到的战场态势信息,从三维模型库调入相应的模型和地形动态生成三维目标以及三维的战场态势(如图 5 所示)。在显示过程中可以选择观察对象,选择观察方式如旋转、跟随、相对定点观察(即相对某目标观察其他目标,比如在一架飞机上观察另一架飞机)、电子沙盘(可以选定坐标观察整个战场的三维态势)等(如图 6 所示);选择观察模型如 UFO 模型、Drive 鼠标驱动模型等;显示海洋波浪、航行尾迹、导弹击中的声音效果等;显示云雾雨雪等天气效果等。

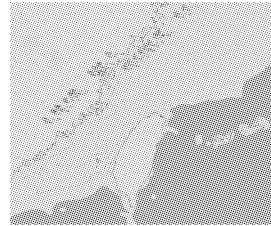


图 4 战场态势信息二维图标显示图

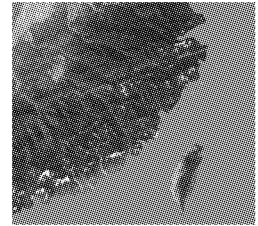


图 5 三维场景高空俯视图

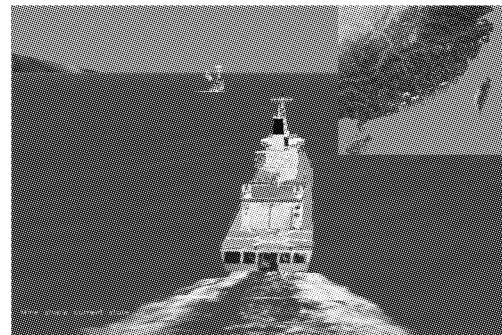


图 6 三维场景目标显示图

4 结语

海战场态势实时三维显示系统将虚拟现实技术应用到作战指挥控制系统中,将战场变化过程、战场态势发展、双方兵力对抗过程等可视化,增强了指挥控制系统的真实感,以及作战指挥人员的浸入性和交互性,将大大提高指挥自动化系统的实用性。

参考文献:

- [1] 郑义,李思昆,曾良. 虚拟战场实体行为建模技术[J]. 计算机应用,2000,20(8):226-228.
- [2] 吴汉宝,周永丰,孙为民. 三维问题空间对准算法研究[J]. 舰船电子工程,2003,(5):28-31.

(上接第 171 页)

6 结语

通过上述分析,本文所提出的优化算法在本质上是递归的、有效的。该算法在确定了某一起始参考点后时间复杂度为 $O(n^2)$ 。但在实际应用过程中,绘图笔或刀具的起始点随机给定,因此本文提出的优化排序方法在最坏情况下的时间复杂度为 $O(n^3)$ 。这在实际的生产过程中是能被操作人员所接受的。通过对 DXF 文件中的图元及其控制点的优化排序,实现了 DXF 按绘图或加工方向的图元优化排序并生成按此顺序排列的 DXF 文件,应用于以 DXF 为源文件的某型号绘图机,优化了其图形绘制时的路径顺序,减少了大量无效空行程,提高了绘图效率,降低了经济成本。

参考文献:

- [1] 张成才,孙喜梅,朱陶业. AutoCAD 的 DXF 文件格式及其转换接口研究[J]. 微型电脑应用,2001,17(8).
- [2] 刘传亮,陆建德. AutoCAD DXF 文件格式与二次开发图形软件编程[J]. 微机发展,2004,14(9).
- [3] 穆海华,彭芳瑜,陈吉红. 基于 DXF 的大型数控平面绘图机 CAM 系统[J]. 机床与液压,2003,(5).
- [4] 曹斌,李光耀,李启炎. 基于 DXF 文件格式的二维复杂图形数控代码自动生成法[J]. 机械设计与制造,2003,(3).
- [5] 王炜. 绘图机走笔路径优化程序的设计与应用[J]. 西飞科技,1990,(4):33-35.
- [6] YE JH, XIE MH. Research on the Method of Realizing Automatically Programming Tool of NC Code and Optimization Ordering Based on DXF File[J]. Journal of Shanghai University (English Edition), 2004,8(Suppl):172-176.