

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2020.04.02

CATIA 曲面法向量和坐标转换的算法研究与应用

张继承

(航空工业洪都公司, 江西 南昌 330024)

摘要: 提出了一种新的算法用于实现 VB 语言对 CATIA 曲面法向量和坐标转换的二次开发。该算法基于方向余弦法和新坐标系轴上 3 个特殊点实现转换, 巧妙地解决了 CATIA 提供给 VB 语言二次开发中用于测量角度的函数的不稳定性问题, 规避了直接采用测量角度进行的一系列计算(如用角度来求方向余弦值), 为 CMM 数据源的正确性提供了有力保证。基于该研究成果, 现已利用 VB 语言成功开发出“CMM 测量点采集辅助软件”, 并取得了相关软件著作权。

关键词: CATIA; 二次开发; CMM 测量; 曲面法向; 坐标转换

中图分类号: TB92; TP331

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2020)04-0005-06

Algorithm Research and Application of CATIA Surface Normal Vector and Coordinate Transformation

ZHANG Jicheng

(AVIC-HONGDU, Nanchang 330024, China)

Abstract: This paper proposes a new algorithm for the secondary development of CATIA surface normal vector and coordinate transformation in VB language. Based on the direction cosine method and three special points on the axis of the new coordinate system, the algorithm ingeniously solves the instability of the function provided by CATIA for measuring angle in the secondary development of VB language, and avoids a series of calculations (such as calculating the direction cosine value by angle) directly using measuring angle, thus ensuring the correctness of CMM data source. Based on the research results, the “CMM measurement point acquisition auxiliary software” with VB language was successfully developed and the relevant software copyright was achieved.

Key words: CATIA; secondary development; CMM measuring; surface normal; coordinate transformation

0 引言

长期以来, CMM(Coordinate Measuring Machine)数据源大多通过 UG 三维 CAD/CAM 软件进行采集, 针对 CATIA 数模也是先通过软件转换接口将其转换为 UG 数模, 然后再通过 UG 三维 CAD/CAM 软件进行数据源采集。这主要是因为 UG 软件具有点的几何属性输出功能(曲面上点的坐标及在该点的法向量等信息), 而 CATIA 软件没有该功能。但随着时代的发展, CATIA 软件相对于 UG 软件所具有的优势愈发突出, 如曲面造型功能, 使得 CATIA 软件在制造业中越来越普及。企业为了解决 CATIA 数模 CMM 数据源的问题, 通常采取以下两种措施: 一是自行或委托第三方对 CATIA 软件进行二次开发; 二是通过市场采购第三方成熟软件。

针对上述情况, 本文开展了曲面法向量和点坐标转换的算法研究, 并根据曲面法线方程及方向余弦的

表达方法提出了一种曲面上任意一点法向量的数学建模方法; 通过使用 CATIA 软件针对 VB 平台提供的专用函数, 获取曲面上目标点坐标并对目标点单位法向量进行方向修正; 再根据坐标变换原理将目标点及法矢量从模型坐标系转换到测量坐标系, 最后对开发的软件进行应用验证。

1 曲面法向量

1.1 曲面法线方程及方向余弦

曲面法线示意图如图 1 所示。

已知曲面 Σ 的方程

$$F(x, y, z) = 0 \quad (1)$$

则可求得该曲面 Σ 在点 $M(x', y', z')$ 处的法线方程^[1]

$$\frac{x - x'}{F_x(x', y', z')} = \frac{y - y'}{F_y(x', y', z')} = \frac{z - z'}{F_z(x', y', z')} \quad (2)$$

设 α, β, γ 分别为曲面 Σ 在 M 点的法线与 X, Y, Z 轴的夹角, 令 $f_x = F_x(x', y', z')$, $f_y = F_y(x', y',$

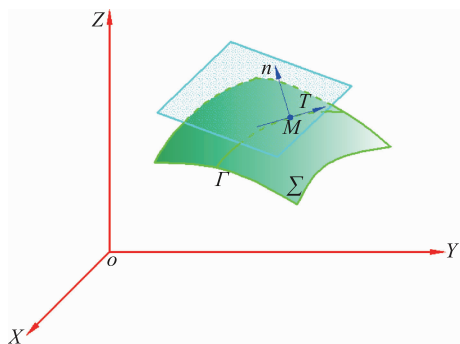


图1 曲面法线示意图

z'), $f_z = F_z(x', y', z')$, 则曲面 Σ 在点 M 的法线方向余弦可表示为^[1]

$$\begin{aligned}\cos\alpha &= \frac{f_x}{\sqrt{f_x^2 + f_y^2 + f_z^2}} \\ \cos\beta &= \frac{f_y}{\sqrt{f_x^2 + f_y^2 + f_z^2}} \\ \cos\gamma &= \frac{f_z}{\sqrt{f_x^2 + f_y^2 + f_z^2}}\end{aligned}\quad (3)$$

1.2 曲面法向量表示

由上文可知曲面 Σ 在点 $M(x', y', z')$ 的一个法向量可表示为^[2]

$$\begin{aligned}n &= \{F_x(x', y', z'), F_y(x', y', z'), F_z(x', y', z')\} \\ &= \{f_x, f_y, f_z\}\end{aligned}\quad (4)$$

若能知道该曲面的方程和点 M 的坐标则可计算出其法向量 n , 但是就 CATIA 软件而言, 只有法国达索公司才能得知其曲面构造函数。

1.3 曲面法向量的数学建模及求法

由于上述方法不能用于 CATIA 二次开发, 本文将建立一种全新的数学模型(如图 2 所示)求解曲面法向量 n 。

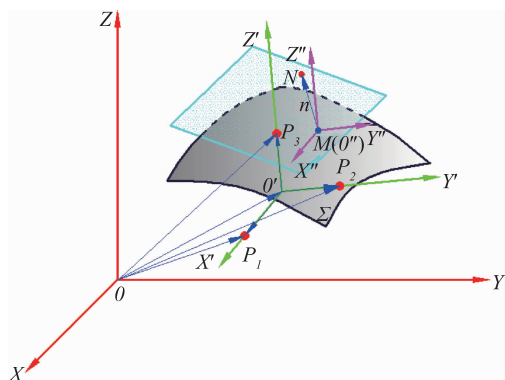


图2 曲面法向量数学模型

设模型中存在一个原始坐标系 $O-XYZ$ 、一个新坐

标系 $O'-X'Y'Z'$ 和一个曲面 Σ , 其中新坐标系原点 O' 在原始坐标系中的坐标为 (x_0, y_0, z_0) , 点 M 为曲面 Σ 上一点, 向量 $\overrightarrow{MN}$ 为曲面 Σ 在点 M 处的单位法向量。在坐标轴 X', Y', Z' 上依次取 3 个点 P_1, P_2, P_3 , 这三个点在新坐标系中的坐标分别为 $(1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1)$, 即向量 $\overrightarrow{O'P_1}, \overrightarrow{O'P_2}, \overrightarrow{O'P_3}$ 分别为平面 $Y'O'Z', X'O'Z', X'O'Y'$ 的单位法向量。设点 P_1, P_2, P_3 在原始坐标系中的坐标分别为 $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), (x_3, y_3, z_3)$, 则

$$\begin{aligned}\overrightarrow{O'P_1} &= \overrightarrow{OP_1} - \overrightarrow{OO'} \\ &= \{x_1, y_1, z_1\} - \{x_0, y_0, z_0\} \\ &= \{x_1 - x_0, y_1 - y_0, z_1 - z_0\} \\ \overrightarrow{O'P_2} &= \overrightarrow{OP_2} - \overrightarrow{OO'} \\ &= \{x_2, y_2, z_2\} - \{x_0, y_0, z_0\} \\ &= \{x_2 - x_0, y_2 - y_0, z_2 - z_0\} \\ \overrightarrow{O'P_3} &= \overrightarrow{OP_3} - \overrightarrow{OO'} \\ &= \{x_3, y_3, z_3\} - \{x_0, y_0, z_0\} \\ &= \{x_3 - x_0, y_3 - y_0, z_3 - z_0\}\end{aligned}\quad (5)$$

式中: $x_1 - x_0, y_1 - y_0, z_1 - z_0$ 分别为向量 $\overrightarrow{O'P_1}$ 在 X, Y, Z 轴上的分量; $x_2 - x_0, y_2 - y_0, z_2 - z_0$ 分别为向量 $\overrightarrow{O'P_2}$ 在 X, Y, Z 轴上的分量; $x_3 - x_0, y_3 - y_0, z_3 - z_0$ 分别为向量 $\overrightarrow{O'P_3}$ 在 X, Y, Z 轴上的分量。

设单位向量 $\overrightarrow{O'P_1}, \overrightarrow{O'P_2}, \overrightarrow{O'P_3}$ 与 X 轴的方向夹角分别为 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$; 与 Y 轴的方向夹角分别为 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$; 与 Z 轴的方向夹角分别为 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$, 则向量 $\overrightarrow{O'P_1}, \overrightarrow{O'P_2}, \overrightarrow{O'P_3}$ 的方向余弦坐标表示式为

$$\begin{aligned}\overrightarrow{O'P_1} &= \{\cos\alpha_1, \cos\beta_1, \cos\gamma_1\} \\ \overrightarrow{O'P_2} &= \{\cos\alpha_2, \cos\beta_2, \cos\gamma_2\} \\ \overrightarrow{O'P_3} &= \{\cos\alpha_3, \cos\beta_3, \cos\gamma_3\}\end{aligned}\quad (6)$$

由于 $\overrightarrow{O'P_1}, \overrightarrow{O'P_2}, \overrightarrow{O'P_3}$ 分别在 X', Y', Z' 轴上, 故可由式(5)、式(6)得出表 1 所示内容。

表1 X', Y', Z' 轴在 $O-XYZ$ 的方向余弦(公式法)

轴	$\cos\alpha$	$\cos\beta$	$\cos\gamma$
X'	$x_1 - x_0$	$y_1 - y_0$	$z_1 - z_0$
Y'	$x_2 - x_0$	$y_2 - y_0$	$z_2 - z_0$
Z'	$x_3 - x_0$	$y_3 - y_0$	$z_3 - z_0$

过点 M 建立一个新坐标系 $O''-X''Y''Z''$, 坐标系原点 O'' 与点 M 重合, 坐标系 $O''-X''Y''Z''$ 与坐标系 $O'-X'Y'Z'$ 互为平行关系, 即相当于坐标系 $O'-X'Y'Z'$ 从点 O' 处平移到了点 M 处, 因此坐标轴 X'', Y'', Z'' 在坐标

系 $O-XYZ$ 的方向余弦值与坐标轴 X', Y', Z' 在坐标系 $O-XYZ$ 的方向余弦值相同。设单位法向量 $\vec{MN}$ 在坐标轴 X'', Y'', Z'' 的分量分别为 i, j, k , 现用 $\mathbf{n}$ 表示曲面 Σ 在点 M 处的单位法向量, 则有

$$\mathbf{n} = \{i, j, k\} \quad (7)$$

关于 i, j, k 的具体求解方法大致有两种思路 (具体详见本文 1.6 部分):

1) 用点 N 在坐标系 $O'-X'Y'Z'$ 中的坐标值减去点 M 在坐标系 $O'-X'Y'Z'$ 中的对应坐标值。设点 N, M 在坐标系 $O'-X'Y'Z'$ 中的坐标分别为 (i', j', k') , (x', y', z') , 则有

$$\mathbf{n} = \{i' - x', j' - y', k' - z'\} \quad (8)$$

2) 获取点 N 在坐标系 $O-XYZ$ 中的坐标, 然后利用本文所提供的线性关系式计算出点 N 在坐标系 $O''-X''Y''Z''$ 中的新坐标即可。

1.4 曲面法向量的方向修正

CATIA 软件针对 VB 平台提供了“GetDirection”, “GetMeasurable”, “GetWorkbench”等几个重要函数, 通过这些函数可间接求得曲面的单位法向量, 其中函数“GetWorkbench”用于获取 SPAWorkbench 对象 (空间分析), 函数“GetMeasurable”用于通过 SPAWorkbench 对象获取 Measurable 对象 (测量), 函数“GetDirection”用于通过 Measurable 对象获取直线的反方向^[3]。通过此法可求得图 2 中法线 $O''N$ 的反方向 $\mathbf{n}' = \{dr(0), dr(1), dr(2)\}$, 进而可求得其在世界坐标系下的单位法向量。

$$\mathbf{n} = \{-dr(0), -dr(1), -dr(2)\} \quad (9)$$

1.5 点的坐标转换

由于 CATIA 针对 VB 提供的提取点位函数“GetCoordinates”, “GetPoint”只能导出世界坐标系下的坐标值, 而获取工作坐标系下的坐标值则需要通过坐标转换算法实现。目前关于点的坐标转换有很多种方法, 如方向余弦法、欧拉角法 (共 12 种旋转顺序)、欧拉轴角法、四元数法等^[4], 大体上可分为主动法和被动法两类。

1.5.1 主动法

主动法是让空间点 M 围绕原坐标系进行一系列的平移、旋转的转换算法 (从点 M 在坐标系 $O-XYZ$ 上的位置 M_1 变换到点 M 在坐标系 $O'-X'Y'Z'$ 上的位置 M_2), 而原坐标系不发生任何变化 (实质上相当于让原坐标系 $O-XYZ$ 充当了新坐标系 $O'-X'Y'Z'$)。具体在 CATIA 中可通过定位变换法手动实现, VB 语言则可通过 HybridShapeFactory 类的 AddNewAxisToAxis 方法来自动实现, 其基本原理是让工作坐标系与世界坐标系重合, 数

模从工作坐标系位置转换到世界坐标系位置, 此时世界坐标系下的坐标值与工作坐标系下的坐标值重合。

1.5.2 被动法

被动法是通过一定的平移、旋转让原坐标系 $O-XYZ$ 与新坐标系 $O'-X'Y'Z'$ 重合的转换算法, 而点 M 不发生任何变化。常见的算法是先求出平移矩阵 $\mathbf{T}$ 和旋转矩阵 $\mathbf{R}_0$, 然后利用坐标变换公式计算出点坐标。

设有两个原点相同的直角坐标系 $O-XYZ$ 与 $O'-X'Y'Z'$, 如图 3 所示, 任意一点 M 在这两个坐标系中的坐标分别为 (x, y, z) , (x', y', z') 。

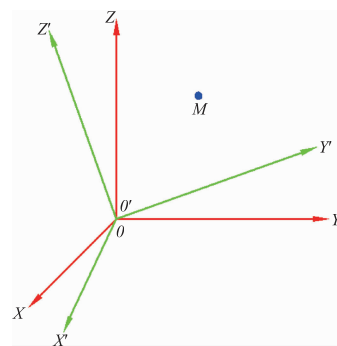


图 3 两个原点相同的直角坐标系

设 X', Y', Z' 轴在 $O-XYZ$ 坐标系中的方向余弦为表 2 所示内容^[5], 则 (x, y, z) 与 (x', y', z') 的关系可表示为^[5]

1) 线性关系式

$$\begin{aligned} x &= r_{11}x' + r_{12}y' + r_{13}z' \\ y &= r_{21}x' + r_{22}y' + r_{23}z' \\ z &= r_{31}x' + r_{32}y' + r_{33}z' \end{aligned} \quad (10)$$

2) 矩阵关系式

$$(x, y, z)^T = \mathbf{R}_0(x', y', z')^T \quad (11)$$

式中: $\mathbf{R}_0 = (r_{ij})$, 称为旋转矩阵。

表 2 X', Y', Z' 轴在 $O-XYZ$ 的方向余弦 (系数法)

轴	$\cos\alpha$	$\cos\beta$	$\cos\gamma$
X'	r_{11}	r_{21}	r_{31}
Y'	r_{12}	r_{22}	r_{32}
Z'	r_{13}	r_{23}	r_{33}

如果原点 O' 在 $O-XYZ$ 坐标系的坐标为 (x_0, y_0, z_0) , 则有

$$(x, y, z)^T = (x_0, y_0, z_0)^T + \mathbf{R}_0(x', y', z')^T \quad (12)$$

则 (x', y', z') 与 (x, y, z) 的关系可表示为^[5]

1) 矩阵关系式

$$(x', y', z')^T = \mathbf{R}_0^{-1}(x, y, z)^T \quad (13)$$

根据表 2 可知, X, Y, Z 轴在 $O'-X'Y'Z'$ 的方向

余弦如表 3^[5]。

表 3 X, Y, Z 轴在 $O' - X'Y'Z'$ 的方向余弦(系数法)

轴	$\cos\alpha'$	$\cos\beta'$	$\cos\gamma'$
X	r_{11}	r_{12}	r_{13}
Y	r_{21}	r_{22}	r_{23}
Z	r_{31}	r_{32}	r_{33}

2) 线性关系式

$$\begin{aligned} x' &= r_{11}x + r_{21}y + r_{31}z \\ y' &= r_{12}x + r_{22}y + r_{32}z \\ z' &= r_{13}x + r_{23}y + r_{33}z \end{aligned} \quad (14)$$

式(14)的系数矩阵是式(10)的系数矩阵的转置矩阵 $\mathbf{R}^T$, 结合式(11), 可得出矩阵形式为

$$(x', y', z')^T = \mathbf{R}_0^T(x, y, z)^T = \mathbf{R}_0^{-1}(x, y, z)^T \quad (15)$$

如果原点 O' 在 $O - XYZ$ 坐标系的坐标为 (x_0, y_0, z_0) , 由于 $\mathbf{R}_0^{-1} = \mathbf{R}_0^T, \mathbf{R}_0 \cdot \mathbf{R}_0^T = \mathbf{E} = \mathbf{I}$, 则有

$$(x', y', z')^T = \mathbf{R}_0^T[(x - x_0), (y - y_0), (z - z_0)]^T \quad (16)$$

计算过程中必须首先获取坐标系 $O - XYZ$ 与 $O' - X'Y'Z'$ 的方向角, 方法可分为二种: 一种是通过手动测量得到各个角的度数; 另一种是通过 CATIA 针对 VB 提供的函数“GetAngleBetween”测出角度。因后者测出的角度不能正确处理两线间的正向关系, 有时测出的是 $\pi - \alpha$ 角, 有时测出的是 α 角, 且 $\cos(\pi - \alpha) = -\cos\alpha$, 所以根据传统算法进行计算可能会造成坐标计算错误, 法线方向有可能被取反, 与 CMM 测量型面所需的外法向要求不符, 在实际测量中可能导致测头与工件发生碰撞。

根据 1.3 内容和上述推导, 可得出表 4 内容及利用 VB 对 CATIA 进行二次开发求点坐标转换的算法关系式。

表 4 X, Y, Z 轴在 $O' - X'Y'Z'$ 的方向余弦值(公式法)

轴	$\cos\alpha'$	$\cos\beta'$	$\cos\gamma'$
X	$x_1 - x_0$	$x_2 - x_0$	$x_3 - x_0$
Y	$y_1 - y_0$	$y_2 - y_0$	$y_3 - y_0$
Z	$z_1 - z_0$	$z_2 - z_0$	$z_3 - z_0$

$$\begin{aligned} x' &= (x_1 - x_0)x + (y_1 - y_0)y + (z_1 - z_0)z \\ y' &= (x_2 - x_0)x + (y_2 - y_0)y + (z_2 - z_0)z \\ z' &= (x_3 - x_0)x + (y_3 - y_0)y + (z_3 - z_0)z \end{aligned} \quad (17)$$

式中: $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), (x_3, y_3, z_3)$ 分别为图 2 中点 P_1, P_2, P_3 的坐标, (x', y', z') , (x, y, z) 分别为空间点 M 在坐标系 $O' - X'Y'Z'$ 和 $O - XYZ$ 中的坐标。

如果原点 O' 在坐标系 $O - XYZ$ 中的坐标为 (x_0, y_0, z_0) , 则需对式(17)进行平移转换, 因此可得

$$\begin{aligned} x' &= (x_1 - x_0)(x - x_0) + (y_1 - y_0)(y - y_0) + (z_1 - z_0)(z - z_0) \\ y' &= (x_2 - x_0)(x - x_0) + (y_2 - y_0)(y - y_0) + (z_2 - z_0)(z - z_0) \\ z' &= (x_3 - x_0)(x - x_0) + (y_3 - y_0)(y - y_0) + (z_3 - z_0)(z - z_0) \end{aligned} \quad (18)$$

1.6 曲面法向量的实现

1.6.1 曲面点 M 和法向量点 N 坐标已知情况下

现设点 N 为曲面 Σ 在点 M 处的外单位法向量的顶点, 点 N, M 在坐标系 $O - XYZ$ 中的坐标分别为 $(n_x, n_y, n_z), (x, y, z)$, 如图 4 所示, 其中坐标系 $O'' - X''Y''Z''$ 相当于坐标系 $O' - X'Y'Z'$ 从点 O' 平移到了点 M , 即坐标轴 X, Y, Z 在坐标系 $O' - X'Y'Z'$, $O'' - X''Y''Z''$ 的方向余弦值相同。原点 O'' 与点 M 重合, 其在坐标系 $O - XYZ$ 中的坐标亦为 (x, y, z) 。因此, 根据式(18)可知点 N 在坐标系 $O' - X'Y'Z'$ 中的新坐标 (i, j, k) 为

$$\begin{aligned} i &= (x_1 - x_0)(n_x - x) + (y_1 - y_0)(n_y - y) + (z_1 - z_0)(n_z - z) \\ j &= (x_2 - x_0)(n_x - x) + (y_2 - y_0)(n_y - y) + (z_2 - z_0)(n_z - z) \\ k &= (x_3 - x_0)(n_x - x) + (y_3 - y_0)(n_y - y) + (z_3 - z_0)(n_z - z) \end{aligned} \quad (19)$$

式中: $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), (x_3, y_3, z_3)$ 分别为图 2 中点 P_1, P_2, P_3 在坐标系 $O - XYZ$ 中的坐标, 根据点 N 在坐标系 $O'' - X''Y''Z''$ 中的新坐标 (i, j, k) 可求出曲面 Σ 在点 M 处的外单位法向量 $\{i, j, k\}$ 。

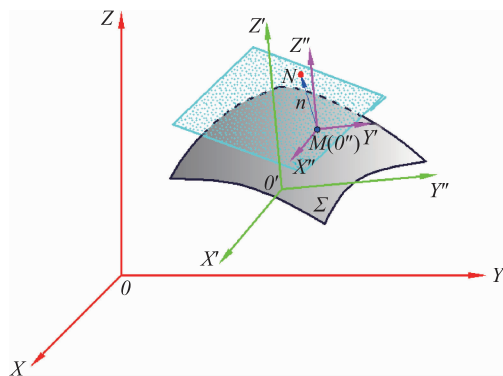


图 4 曲面法向量转换示意图

1.6.2 曲面点 M 法线反方向数据已知情况下

根据 1.4 和 1.6.1 内容可知, 式(9)中 $n_x - x = -dr(0), n_y - y = -dr(1), n_z - z = -dr(2)$

故式(19)可转化为

$$\begin{aligned} i &= -[(x_1 - x_0)dr(0) + (y_1 - y_0)dr(1) + (z_1 - z_0)dr(2)] \\ j &= -[(x_2 - x_0)dr(0) + (y_2 - y_0)dr(1) + (z_2 - z_0)dr(2)] \\ k &= -[(x_3 - x_0)dr(0) + (y_3 - y_0)dr(1) + (z_3 - z_0)dr(2)] \end{aligned} \quad (20)$$

2 “CMM 测量点采集辅助软件”开发

基于上述分析研究成果, 开发了“CMM 测量点采集辅助软件”, 软件运行效果和数据输出效果均达到了

预期的目标,下面具体进行介绍。

2.1 软件概况

“CMM 测量点采集辅助软件”由导出、导入、点位、恢复模块四部分组成:导出模块主要用来提取测量数据;导入模块主要用来导入外来数据生成点云和验证导出数据的正确性;点位模块主要用来生成点位图供打印或抓图;恢复模块主要用来恢复点位模块使用前的 CATIA 窗口环境。因为生成点位图时 CATIA 窗口环境会发生变化,如背景色变为白色等,点位模块与恢复模块为互斥关系。软件设计流程见图 5 所示。

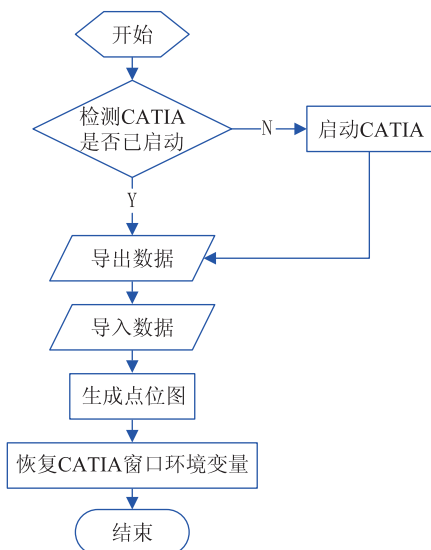


图 5 软件组成

2.2 软件主要功能介绍

本软件最主要的功能是从 CATIA 给出的 CAD 模型中导出准备测量的数据。软件所提供的导出模块支持以毫米与英寸为测量单位的数据导出功能;测量点选取类型支持坐标点、线上点、面上点、交点、投影点、孔中心点、切点等类型;测量点选取方式支持粗选、手选、集选 3 种方式;测量型面选取方式支持手动选取和自动拓扑选取 2 种方式,测量型面选取时会自动生成参考法向量方向箭头,若遇特殊情况,箭头指示方向与预期相反时,只需将该测量型面上已导出的点的单位法矢数据乘以 -1 即可(或使用型面法矢反转功能)。数据导出过程中,可自动检测出体外点、非测量型面点、坐标系原点、重复点等错误点,并在信息页面列出有关错误的详细情况,具有一定的防错功能。数据导出精度可自选且数据按照“N, X, Y, Z, I, J, K”格式进行输出,以 txt 文件格式进行保存。考虑到使用的方便性,未对数据进行任何加密保护。导出模块程序设计流程如图 6 所示,其整体运行效果和数

据输出结果见图 7、8 所示。

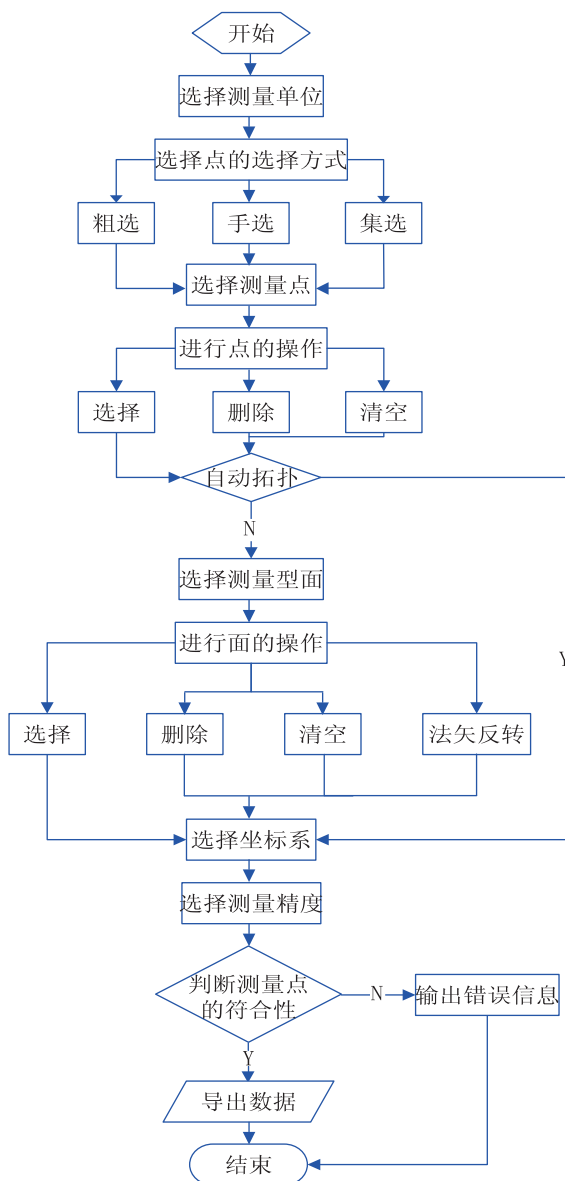


图 6 数据导出模块程序设计流程图

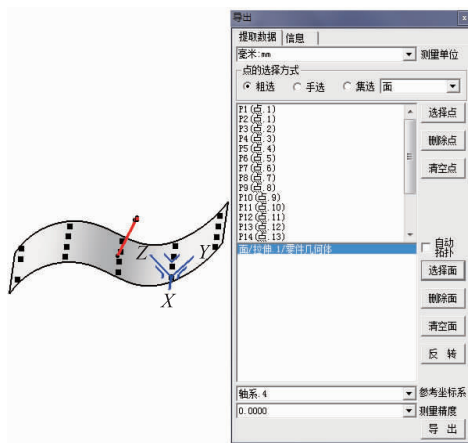


图 7 软件运行过程界面

点数 (18)	X	Y	Z	I	J	K
1	-90.0000	-76.9517	103.2160	0.00000	0.62103	0.78378
2	0.0001	-139.0762	121.6233	0.00000	-0.08322	0.99653
3	0.0000	-76.9517	103.2161	0.00000	0.62103	0.78378
4	0.0001	-43.3198	47.2114	0.00000	0.93313	0.35953
5	0.0000	65.1892	8.7266	0.00000	-0.08424	0.99645
6	-30.0000	-76.9517	103.2161	0.00000	0.62103	0.78378
7	-30.0000	-43.3197	47.2114	0.00000	0.93313	0.35953
8	-29.9999	0.0000	0.0000	0.00000	0.37508	0.92699
9	-29.9999	65.1892	-8.7267	0.00000	-0.08424	0.99645
10	-60.0000	-139.0761	121.6233	0.00000	-0.08322	0.99653
11	-59.9999	-76.9516	103.2161	0.00000	0.62103	0.78378
12	-60.0000	-43.3197	47.2113	0.00000	0.93313	0.35953
13	-60.0000	0.0001	0.0000	0.00000	0.37508	0.92699
14	-60.0000	65.1892	-8.7266	0.00000	-0.08424	0.99645
15	-90.0000	65.1890	-8.7266	0.00000	-0.08424	0.99645
16	-90.0000	0.0000	0.0000	0.00000	0.37508	0.92699
17	-90.0000	-43.3197	47.2113	0.00000	0.93313	0.35953
18	-90.0000	-139.0761	121.6234	0.00000	-0.08322	0.99653

图 8 测量数据输出效果

为了验证软件导出数据的正确性,在导入模块中增加了曲面点位法矢的导入验证功能,因此导入模块不仅具有导入外来数据功能,而且还具有验证导出模块所导出测量数据的点位及点位法矢的正确性功能,软件运行效果如图 9 所示。为了易于观察,软件将点位法矢的长度设为 30,而不是传统的 1,并用红色显示,若导入点未生成点位法矢,则意味着导入数据未提供单位法矢或所提供的单位法矢数据有误,需自行研判数据。

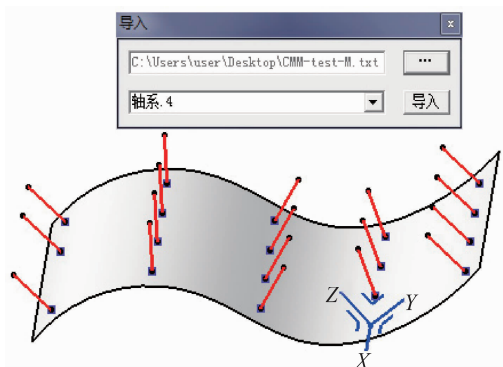


图 9 测量数据导入验证效果

3 结束语

为解决 CATIA 数模的 CMM 数据源问题,提出了一种 CATIA 曲面法向量和坐标转换算法。基于该算法,利用 VB 语言成功开发出 CMM 测量点采集辅助软件,并已取得相关软件著作权。本文的研究为其它 CAD/CAM 软件进行类似功能的二次开发提供了参考,同时可为企业节约一定的软件开发、采购和维护成本。

参考文献

- [1] 《数学手册》编写组. 数学手册[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [2] 盛祥耀, 胡金德, 陈魁, 等. 数学手册(大学生用)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [3] 胡挺, 吴立军. CATIA 二次开发技术基础[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [4] 苗继松, 邵琼玲, 任元. 基于三元角的坐标旋转变换方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2017, 43(12): 2539-2546.
- [5] 周维虎, 兰一兵, 丁叔丹, 等. 空间转换的分析与研究(一)[J]. 航空计测技术, 1999, 19(4): 10-12.

收稿日期: 2020-05-22; 修回日期: 2020-07-18

作者简介



张继承(1979-), 男, 甘肃镇原人, 工程师, 2003年毕业于北京机械工业学院机械设计制造及自动化专业, 曾从事 CMM 测量工作, 现主要从事质量工程等方面工作。