

文章编号 :1009-038X(2000)03-0279-05

车身外形照片三维信息提取系统*

陈丽芳

(无锡轻工大学信息与控制工程学院,江苏无锡 214036)

摘 要 :建立了从两张照片提取车身外形照片三维信息的数学模型.提出了一般摄象情况下,以已知 6 点或已知参照物为前提,采用“特征点标记,多视点拍摄,相关点匹配”的特征点立体匹配,从两张照片提取汽车车身外形的方法;并利用直接线性变换,求解车身外形三维坐标.最后以上海 SH760 型汽车前翼子板为例,进行了应用研究.

关键词 :汽车 车身外形设计 图象处理 三维信息提取 直接线性变换 立体匹配

中图分类号 :TP391.41

文献标识码 :A

Extracting 3D Information of Vehicle Body Contour from Picture

CHEN Li-fang

(School of Information and Control Engineerign, Wuxi University of Light Industry, Wuxi 214036)

Abstract :Mathematical model for extracting 3D information from two pictures is built in this paper. A new method based on six known three-dimension points or consulting objects using characteristic point stereo matching“characteristic point marking , multiple angle picturing and corressponding point match ”for extracting vehicle body contour from two pictures are presented. The 3D coordinates are calculated by Direct Linear Transformation Technoiques(DLTT). In the last part of this paper, an application research was made by taking SH760 flat as example.

Key words :vehicle, body contour design, image processing, 3D information extracting, direct linear transformation techniques, stereo matching

传统车身设计中繁重的雕塑油泥模型和三坐标测量,使得一种新车型从规划设计、投产到推向市场,通常需要 3~5 年的时间,难以适应瞬息万变的市场需求.数字图象处理技术已日趋成熟,利用该技术从二维图象提取物体的三维信息是发展趋势.针对我国汽车行业自主开发能力差和设计技术水平落后的现状,借鉴其他行业 CAD 的发展情势,利用数字图象处理技术从车身外形照片提取汽车外形的三维信息,用以部分替代车身造型设计中繁

重的雕塑油泥模和三坐标测量过程,缩短产品的生产周期,具有一定的经济价值和实用意义.

1 一般摄象情况下的成象几何模型和特征点标记的匹配法

图 1 是汽车在一般摄象情况下的成象几何模型.经过一系列的运算变换,最终可得到象坐标和物空间坐标的关系.

* 收稿日期 :1999-11-02 修订日期 :2000-03-07.
作者简介:陈丽芳(1973 年 6 月生),女,福建莆田人,工学硕士,助教.

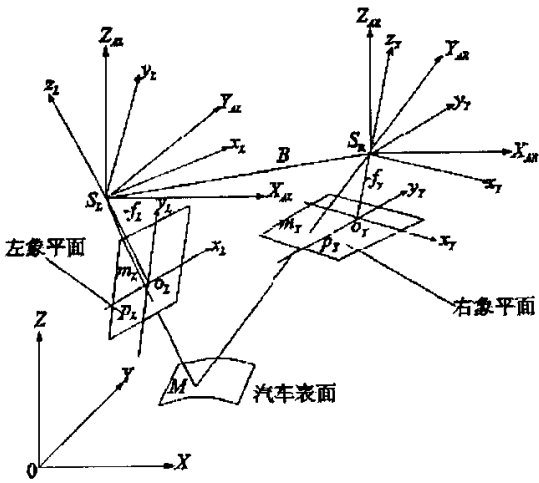


图 1 一般摄象情况下的成象几何模型

Fig.1 Geometric model by common videotape

$$\begin{cases} x + f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} = 0 \\ y + f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中： X, Y, Z 为物表面 M 点的物空间坐标； X_s, Y_s, Z_s 为摄象中心点 S 的物空间坐标； x, y 为以相片主点（象平面坐标系原点）为原点并排除各项误差的坐标； $a_i, b_i, c_i (i = 1, 2, 3)$ 为象空间坐标系相对物空间坐标系的方向余弦； f 为摄象机焦距。

从式(1)可以看出，对一幅图象上的每个点，可以列出两个方程，而空间点坐标有 3 个参数，因此，仅用一幅图象不能求解，必须采用立体象对的两幅图象联立求解。综合基于面积的立体匹配和基于特征点的立体匹配各自的特点，并结合汽车车身曲面自身特点，采用‘特征点标记，多视点拍摄，相关点匹配’的特征点立体匹配方法。

1) 选取特征点：在所拍摄的物体上，总会有一些特殊点，这些特殊点在立体象对的每幅图象中的位置很明显，而且是确定的，不会产生二义性。象主要包括一些曲率有突变的区域上的点、尖点、拐点和一些边界点。以这些特殊点为基础，再根据需要，选取另外一些点，并对所有这些点作初步标记。

2) 分区：所谓分区就是用若干种不同颜色的彩条把所拍摄的物体依据特征点分成有机的若干区域。

3) 布点：在已分好的各个区域内，用不同颜色的小圆面（为了便于辨认，圆的直径取 5 mm）分别贴在各特征点上（此乃针对于真实照片制作，若为人工照片，则用直径为 5 mm 的小圆球插入到各特征点上），每一种颜色仅对应唯一点。

匹配过程见图 2。通过半自动特征点立体匹配运算后，可得到左右两张相片上的象坐标值 (x_l, y_l) 和 (x_r, y_r) 。

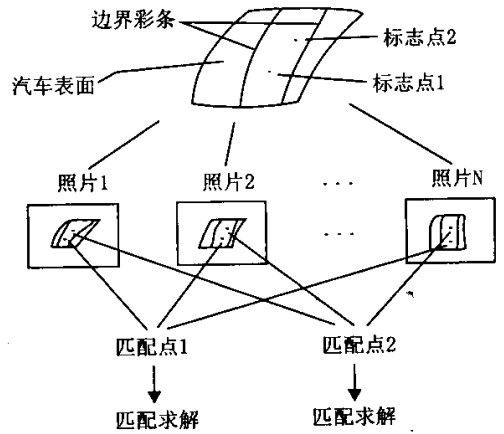


图 2 相关点匹配过程

Fig.2 Process of corresponding point match

2 汽车车身外形三维坐标的计算方法

求解车身外形三维坐标的计算方法多种多样，以前一般采用摄象参数法^[1]，对误差的修正没有引入，并且求解步骤复杂。本文利用直接线性变换，求解汽车车身外形三维坐标，无需已知相片的内外方位元素，而且在计算过程中一并求出。这种方法集摄象机校准、相片各种畸变的校正、计算误差的改正以及外形表面点的空间坐标的计算为一体，同时引入非线性误差。理论上，象主点应与相片中心重合，但在一般情况下，光轴不在相片中心，则象主点的坐标是未知的。所以对式(1)中的 x, y 需进行修正。假定 x, y 的改正系数分别为 v_x 和 v_y ，对式(1)引入一系列线性和非线性的误差以及相片各种畸变的校正系数后，则可列出求解共线方程的直接线性变换关系式待定系数误差方程。

$$\begin{cases} v_x = -\frac{1}{A} [l_1 X + l_2 Y + l_3 Z + l_4 + x X l_9 + x Y l_{10} \\ \quad + x Z l_{11} + A (x - x_0) r^2 k_1 + x] \\ v_y = -\frac{1}{A} [l_5 X + l_6 Y + l_7 Z + l_8 + y X l_9 + y Y l_{10} \\ \quad + y Z l_{11} + A (y - y_0) r^2 k_1 + y] \end{cases} \quad (2)$$

式中： $l_i (i = 1 \sim 11)$ 为待定系数； $A = l_9 X + l_{10} Y + l_{11} Z + 1$ ； k_1 为非线性物镜畸变系数； r 为向径，

$$r = [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2]^{1/2} ;$$

其余符号含义同前面一致。

该误差方程式及相应的法方程式的矩阵形式为

$$\begin{cases} V = ML + W \\ M^T ML + M^T W = 0 \end{cases} \tag{3}$$

式中：

$$V = [v_x \quad v_y]^T$$

$$M = -\frac{1}{A} \times$$

$$\begin{bmatrix} X & Y & Z & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & xX & xY & xZ & A(x-x_0)r^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X & Y & Z & 1 & yX & yY & yZ & A(y-y_0)r^2 \end{bmatrix}$$

$$L = [l_1 \quad l_2 \quad l_3 \quad l_4 \quad l_5 \quad l_6 \quad l_7 \quad l_8 \quad l_9 \quad l_{10} \quad l_{11} \quad k_1]^T$$

$$W = -\frac{1}{A} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

如果汽车车身表面或参照物上至少有 6 个已知点,对其拍摄两张照片,组成立体象对,用式(3)求解,可以分别得出左相片和右相片的 12 个待定系数,提供给计算汽车车身外形其它点的空间坐标用.采用广义逆法进行计算.

为了求解汽车车身外形三维坐标,可以构造左相片的误差方程式

$$V^l = N^l S + Q^l \tag{4}$$

式中：

$$V^l = [v_x^l \quad v_y^l]^T$$

$$N^l = -\frac{1}{A^l} \begin{bmatrix} l_1^l + l_9^l x^l & l_2^l + l_{10}^l x^l & l_3^l + l_{11}^l x^l \\ l_5^l + l_9^l y^l & l_6^l + l_{10}^l y^l & l_7^l + l_{11}^l y^l \end{bmatrix}$$

$$S = [X \quad Y \quad Z]^T$$

$$Q^l = -\frac{1}{A^l} \begin{bmatrix} l_4^l + x^l \\ l_8^l + x^l \end{bmatrix}$$

$$A^l = l_9^l X + l_{10}^l Y + l_{11}^l Z + 1$$

同理可以构造右相片的误差方程式

$$V^r = N^r S + Q^r \tag{5}$$

式中：

$$V^r = [V_x^r \quad V_y^r]^T$$

$$N^r = -\frac{1}{A^r} \begin{bmatrix} l_1^r + l_9^r x^r & l_2^r + l_{10}^r x^r & l_3^r + l_{11}^r x^r \\ l_5^r + l_9^r y^r & l_6^r + l_{10}^r y^r & l_7^r + l_{11}^r y^r \end{bmatrix}$$

$$S = [X \quad Y \quad Z]^T$$

$$Q^r = -\frac{1}{A^r} \begin{bmatrix} l_4^r + x^r \\ l_8^r + x^r \end{bmatrix}$$

$$A^r = l_9^r X + l_{10}^r Y + l_{11}^r Z + 1$$

把左右相片联立起来求解,就获得利用立体象对求解物空间坐标的误差方程式和法方程式,即

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} V^l \\ V^r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N^l \\ N^r \end{bmatrix} S + \begin{bmatrix} Q^l \\ Q^r \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} N^l \\ N^r \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} N^l \\ N^r \end{bmatrix} S + \begin{bmatrix} N^l \\ N^r \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} Q^l \\ Q^r \end{bmatrix} = 0 \end{cases} \tag{6}$$

把左右相片的 1 系数和 k_1 系数以及象主点坐标代入(6)式,则该方程式反映了空间坐标(X,Y,Z)与象坐标的关系.由于象坐标值(x_l, y_l)和(x_r, y_r)已在立体匹配运算时求过,所以该方程中只有(X,Y,Z)3 个未知数,4 个方程式解 3 个未知数,属超定方程,采用最小二乘法求解,求解过程见图 3.

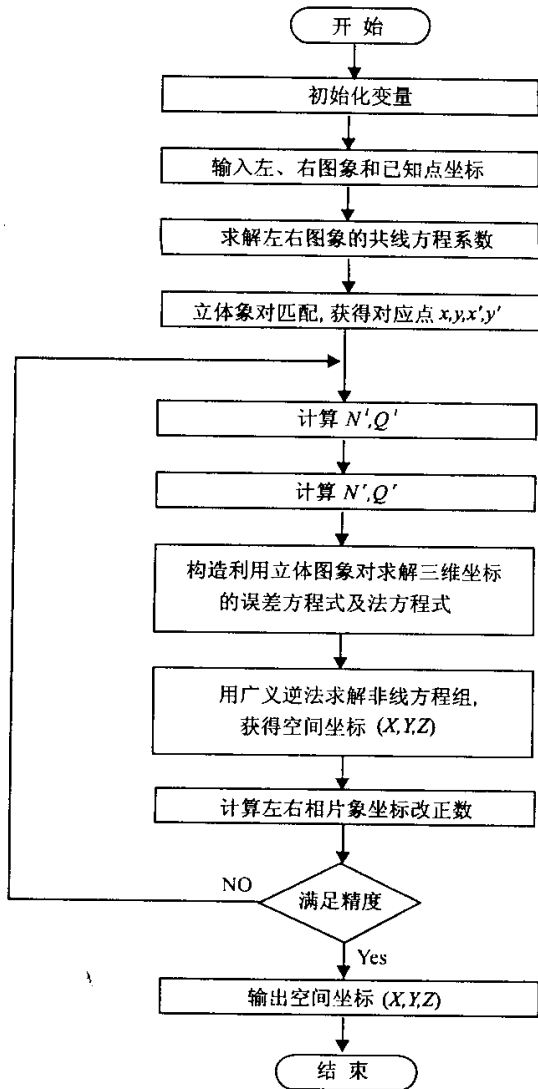


图 3 利用直接线性变换求解汽车车身外形三维坐标的流程图

Fig.3 Process picture which the 3D coordinates are calculated by Direct Linear Transformation Techniques

3 汽车车身外形照片三维信息提取系统的应用

为了检验作者所建立的由两张照片进行车身外形三维提取的数学模型的正确性,以及软件的实用性、可靠性,作者对上海 SH760 型汽车的前翼子

板,进行一般情况下摄象的应用研究. 其中图 4 和图 5 分别为 SH760 型汽车前翼子板的左右照片 把部分计算结果与测量数据进行对比分析,见表 1.

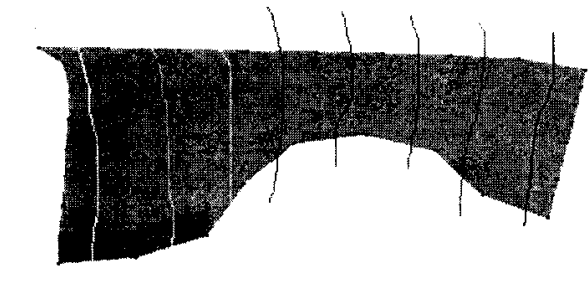


图 4 SH760 型汽车前翼子板左照片
Fig.4 Left picture of the SH760 flat

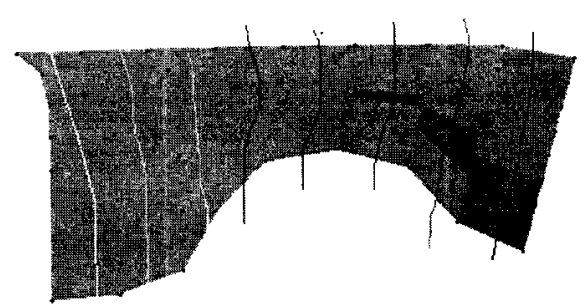


图 5 SH760 型汽车前翼子板右照片
Fig.5 Right picture of the SH760 flat

表 1 SH760 型部分复原结果与实测数据比较(一般摄象)
Tab.1 Part of data recovered result and on-the-spot survey (common videotape)

序号	测量点坐标/mm			左象点坐标		右象点坐标	
	X	Y	Z	x	y	x	y
1	800.0	-496.0	40.0	108.0	-41.0	173.0	27.0
2	802.5	-558.0	294.375	121.1	20.4	191.0	94.4
3	805.5	-620.0	548.75	134.5	80.0	210.0	164.5
4	836.0	757.0	-106.5	-216.0	-76.0	-139.5	-6.0
5	849.813	757.154	273.991	-209.5	20.0	-139.5	87.0
6	850.0	848.0	614.25	-226.5	102.0	-162.0	171.0
7	819.387	-388.078	354.365	78.0	35.0	145.0	110.0
8	838.55	-63.9912	469.988	-2.5	63.0	59.5	140.0
9	850.468	264.57	396.69	-82.5	47.0	-22.0	118.5
10	849.576	570.237	281.992	-160.5	21.0	-96.0	89.5

序号	复原点坐标/mm			绝对误差/mm			相对误差/%		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	799.981080	-496.000386	40.210977	0.01892	0.000386	0.210977	0.00237	0.00008	0.52468
2	802.524294	-588.127259	293.911113	0.024294	0.127259	0.463887	0.00303	0.02280	0.15783
3	805.485583	-619.928936	549.000404	0.014417	0.071064	0.250404	0.00179	0.01146	0.04561
4	835.996625	757.028769	-106.501082	0.003375	0.028769	0.001082	0.00040	0.00380	0.00102
5	849.913047	757.113230	273.990071	0.100047	0.04077	0.000929	0.01177	0.00538	0.00034
6	849.988686	847.610307	614.270731	0.011314	0.389693	0.020731	0.00133	0.04598	0.00337
7	808.376701	-387.067629	354.083878	11.010299	1.010371	0.281122	1.36203	0.26103	0.07939
8	820.128098	-62.889295	470.434474	18.421902	1.101905	0.446474	2.24622	1.75213	0.09491
9	829.437544	267.739386	395.596898	21.030456	3.169386	1.093102	2.53551	1.18376	0.27632
10	839.816017	573.482088	281.207066	9.759983	3.245088	0.784934	1.16218	0.56586	0.27913

表 2 列出了 SH760 型汽车前翼子板的部分实测数据和复原数据的相对误差,可看出,最大的相对误差为 2.5355%,基本上能满足造型设计的要求.最后利用 AutoCAD 并基于 B 样条拟合方法对三维复原点进行重建.图 6 和图 7 分别为 SH760 型汽车的前翼子板重建后的网格图和渲染图.

万方数据

表 2 SH760 型汽车复原点三维坐标相对误差
Tab.2 Relative error for recovered 3D coordinates of SH760-type car

坐标	相对误差/%
X	0.00040~2.53551
Y	0.0008~1.75213
Z	0.00034~0.52468

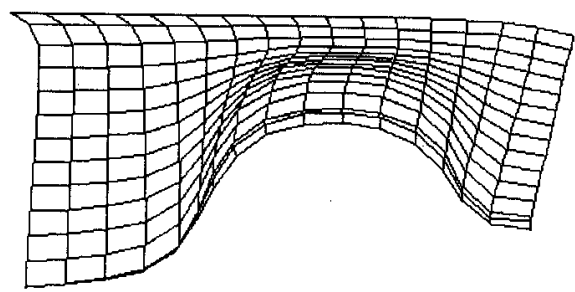


图 6 SH760 型汽车前翼子板重建后的网格图
Fig.6 Lattice picture of recover the SH760 flat

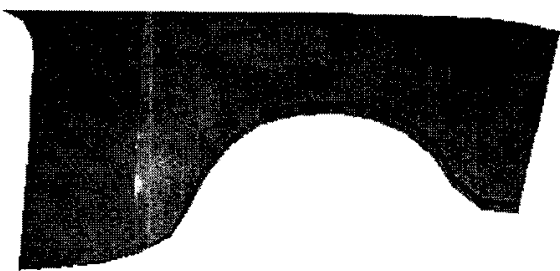


图 7 SH760 型汽车前翼子板重建表面的效果图
Fig.7 Render picture of recover the SH760 flat

4 结 语

作者成功地实现了从两张汽车车身外形照片提取车身表面的三维信息,用以部分替代车身外形设计中繁重的雕塑油泥模和三坐标测量过程,是汽车车身外形设计的一个变革,在汽车行业上首开先

例,有一定的创新性 ;同时,本系统也适用于其他产品的造型设计,有一定的实用和推广价值.

致谢 本文所述的研究工作得到了合肥工业大学汽车学院马恒永教授和吴阳年副教授的指导,在此表示衷心的感谢.

参考文献

[1] 韦式喜. 轿车车身外形照片的三维信息提取系统的初步研究[D]. 合肥 :安徽工学院,1996.
[2] 李介谷. 计算视觉的理论和实践[M]. 上海 :上海交通大学出版社,1991.
[3] MARR D, HILDRETH E. Thoery of edge detection[J]. Proc Royal Soc, 1980,207 :187~217.
[4] ITO M, ISHII A. Computer Vision, IEEE trans[J]. Pattern Anal and Machine Intell, 1986(4) 363~369.
[5] MARR D, PALM G, POGGIO T. Artifical Intel Lab[J]. Biol Cybern, 1978,28 223~229.

(责任编辑 :秦和平)