

文章编号:1001-5078(2007)07-0679-04

基于体素分割与识别的红外目标三维建模

张志彦,付冬梅

(北京科技大学信息工程学院,北京 100083)

摘要:文中基于单幅温度图像,利用单元分解表示法重构组合体三维模型。首先采用以极限腐蚀为标记集的 SKIZ 对组合体二值图像进行分割,再用内点角点分类法和 SKIZ 角点分类法相结合将检测到的角点和关键点分类,然后利用同类角点和关键点坐标确定构成组合体的各体素在温度图像中的区域,得到独立的标准体素,接着根据单独标准体素所具有的几何特性对它们所属类别进行识别,再利用提取的关键参数对其进行重构,最后将简单体素三维模型进行叠加,得到目标组合体的三维模型。

关键词:红外目标;三维重构;标准体素;几何特征;极限腐蚀

中图分类号:TP391

文献标识码:A

3D Reconstruction of Infrared Object with Automatical Segmentation and Identification

ZHANG Zhi-yan, FU Dong-mei

(University of Science and Technology Beijing, School of Information and Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: The combined unit is reconstructed based on single infrared image as follows: ① The combined unit is segmented to standard unit by SKIZ. ② Through the combination of inner point classification and SKIZ classification, the corners and key points in the edge features are classified to belong to the standard units segmented from the combined unit. ③ The corners and key points belonging to the same unit restrict the area of the standard unit in the thermal image, and all the standard units segmented from the combined unit are reconstructed by using the reconstruction algorithm of independent unit. ④ The 3D model of combined unit is obtained by using the algorithm of intersection, union and difference of 3D models of standard units reconstructed.

Key words: infrared object; 3D reconstruction; standard unit; geometrical character; utmost erode

1 引言

近几年来,基于多幅可见光图像的三维重构获得了许多有效的研究成果,但是可见光成像系统在无光或弱光条件下不能成像,使它的应用范围受到一定限制。红外摄像系统可以捕获红外波并获得带有温度信息的红外图像,其不受光源限制,可以弥补可见光的不足。目前,红外图像处理的主要目的是为了获得更准确的温度数据和更清晰的红外图像^[1-3]。到目前为止很少见到从事基于红外热像图的三维建模的报道,文献[4]虽然是基于红外照片对飞机进行重构,但只是将温度信息直接转换成常

见的BMP可见光图片,然后应用体相交技术对目标进行的重构,并没有充分利用图片所提供的温度信息。

本文完成了由标准体素构成的组合体的三维建模。借鉴单元分解表示法^[5],基于单幅温度图像,将组合体自动分割成标准体素,再自动识别和重建分割得到的体素,最后将各体素的三维模型叠加得

基金项目:国家自然科学基金(No. 60573016)资助项目。

作者简介:张志彦(1982-),女,硕士,控制工程与控制理论专业,研究方向为基于人工免疫的红外热图建模及重构研究。

收稿日期:2007-01-15

到组合体的三维模型。组合体在分割、识别和重建过程中都实现了计算机自动化。

2 组合体三维重构的整体思路

首先根据摄取的单幅温度图像完成由标准体素构成组合体的三维建模。组合体的重构流程方框图如图1所示。

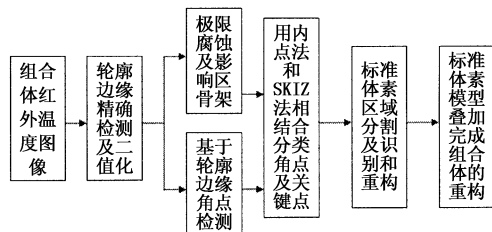


图1 组合体的重构流程方框图

Fig.1 the flow chan of 3D reconstruction of combined unit

3 单独体素的自动识别和重构

根据目标边缘上关键点周围像素的几何特性对标准几何体进行识别。目标边缘特征上的五个关键点分别是目标边缘特征上最左边点、最右边点、最上边点、最下边点和中心位置的点。几何特性指：(1)由该关键点引出的线条条数；(2)该关键点引出各个线条的类型，即线条是直线还是曲线。

3.1 体素的自动识别

目标边缘特征都是单像素宽度的，由关键点引出线条条数的确定方法为：以关键点为中心，宽度为 r 的模版边缘上像素值为“1”的像素点个数即是该关键点引出的线条的条数。

由关键点 (i_0, j_0) 引出线条类型是根据线条上任意两点斜率是否相等来判断的。在关键点引出的每条线条上取 n 个点 (i_m, j_m) , $m = 1, 2, \dots, n$, 将同一条线上所有选取点分别和关键点所确定的相邻的两条直线的夹角相加，如果夹角之和为零则该线条是直线，如果夹角之和大于零则该线条为曲线。将所有夹角平方再取和，扩大角度差异，有利于判断。根据在一条线条上选取的 n 个点的坐标和关键点的坐标构造出判别函数如下：

$$F = \sum_{m=2}^n \left(\sin^{-1} \frac{i_m - i_0}{\sqrt{(i_m - i_0)^2 + (j_m - j_0)^2}} - \sin^{-1} \frac{i_{m-1} - i_0}{\sqrt{(i_{m-1} - i_0)^2 + (j_{m-1} - j_0)^2}} \right)^2 \quad (1)$$

当 $F > Q$ 时，该线条为曲线；当 $F < Q$ 时，该线条为直线。 Q 是判别线条类型所依据的阈值。

识别目标的类型所利用关键点的顺序为：左关键点、上关键点、右关键点、下关键点、中心点。根据输入信息左关键点的几何特征能够缩小目标所属类

型的范围，然后依次根据上关键点、右关键点、下关键点的几何特征及中心点的温度特征逐渐缩小目标类型的范围，直至判别出输入信息所记录的标准几何体类型。

3.2 体素的重构

本文所有温度图像摄取都满足中心投影构像中以 Y 轴为主轴的 $\varphi - \omega - \kappa$ 系统，在该系统中像空间辅助坐标系 $S-XYZ$ 和像空间坐标系 $S-xyz$ 有如下关系：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中， R 为旋转矩阵。 R 中的参数为三次旋转后两种坐标系之间夹角的余弦值，关系如表1所示。二维图像坐标系 i, j 和像空间坐标系 $S-xyz$ 关系如下：

$$\begin{bmatrix} i \\ j \end{bmatrix} = \frac{1}{\lambda_1} \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y_0 - y \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中， (x_0, y_0) 是二维图像坐标原点在像空间坐标系 xy 平面内的坐标。

表1 两种坐标轴系之间夹角的余弦值

Tab.1 cosine of angle between two types coordinates

cos	x	y	z
X	a_1	a_2	a_3
Y	b_1	b_2	b_3
Z	c_1	c_2	c_3

采用参数表示法重构体素的三维模型，首先建立一个体素模型库，库中包含棱柱、圆锥、球、圆柱等体素，每一个标准几何体使用一组可以独立变化的关键尺寸(参数)定义，只要确定模型库中原有的各几何体的关键尺寸(参数)即可生成该类几何体的特定形体。

由公式(2)、(3)和表1，只要得知二维图像坐标系上一点的坐标 (i, j) ，就可以得到该点在辅助坐标系中的三维坐标。因此根据关键点在红外图像中的坐标值，可求得它们在辅助坐标系 $S-XYZ$ 中的三维坐标，从而确定体素的关键参数值并重构三维模型。

4 组合体分割和重构

在已知单独体素的识别和重构基础上重构组合体的关键是将组合体分割成单独的体素。本文所说的分割要达到的目标是：根据得到的组合体二值图像，分割出构成组合体的标准体素，并将检测出来的组合体轮廓上的角点和关键点根据它们所属的不同体素进行分类。

4.1 组合体分割

对于单幅温度图像,只有根据某些特定方位摄取的红外图像才能比较容易地将构成组合体的体素分开,这需要摄取的单幅红外图像中组合体包含的各标准体素相互接触、或者重叠很少。分割时,在保证每一个标准体素完整性的前提下,得到各标准体素的连通区域。从形态学的角度解决这个问题,关键是找到构成组合体的每一个标准体素的标记,这可以利用极限腐蚀来完成。对二值图像反复利用结构元素对给定图像作腐蚀运算,在腐蚀不断作用的过程中,不连通的区域会不断产生,与此同时,某些区域又会不断消失。一个连通成分在消失前的最后一步,称为最终连通成分。所有最终连通成分的并,称为相对半径 r 的极限腐蚀。给定极限腐蚀,以极限腐蚀为标记集利用测地 SKIZ(影响区骨架)作分割处理,组合体被分割成几个部分。

4.2 角点和关键点分类

目标的组成部分被分割开来,但是每一部分在图像中的具体区域计算机还是不能自动识别。检测出精确轮廓边缘上的主要角点和四个关键点(最上点、最下点、最左点、最右点)的坐标,将这些角点和关键点根据所属标准体素不同进行分类。然后,根据同类角点和关键点的坐标确定其所属标准体素在温度图像中的区域。

温度图像角点的分类方法是:判断由上一节极限腐蚀得到的内点和各个角点的关系,即各内点是在角点的角点区域还是角点区域之外,这种方法称为内点角点分类法。角点两边及延长线与其在目标区域内部包围的区域称为角点区域,角点区域如图 2 所示。

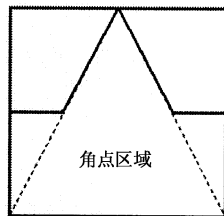


图2 角点区域

Fig. 2 corners area

用于角点分类的内点取得方式是:在极限腐蚀中的独立连通区域上各取一个点,计作 $T_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$, n 是极限腐蚀中独立的连通区域个数。

根据内点和角点之间的关系,可以将一部分角点分类,但是还有一部分角点的角点区域并不包括任何一个内点,这些角点往往是标准体素连接点。

我们利用测地 SKIZ 角点分类法来解决这一类角点分类的问题。同时,由于轮廓边缘上的关键点不一定是角点,因此用内点分类法无法将关键点进行分类。利用测地 SKIZ 角点分类法可以将关键点进行分类。

以极限腐蚀为标记集得到的测地 SKIZ(影响区骨架)和目标的轮廓边缘形成了若干个连通曲线。以任意角点为起点,顺时针或逆时针遍历各个连通曲线上的点,任何一个点不能重复访问,遍历过程中遇到目标轮廓和影响区骨架分枝点,选择走影响区骨架(SKIZ),遍历最终回到起点。同一次遍历过程中访问到的角点和关键点被分为一类。这种方法称为 SKIZ 角点分类法。采用 SKIZ 方法对角点分类,归于同一类的角点并不是所有角点都完全属于同一个标准体素,其中有一部分角点可能是两个连接体素的公共点。

用内点法和 SKIZ 方法相结合对检测到的组合体角点和关键点进行分类。对于单幅温度图像中构成组合体的体素相互接触或重叠很少的情况下,内点在其角点区域的所有角点属于该内点对应的标准体素;对于内点不能将之归类,但 SKIZ 方法却将它分为同类的角点是两个标准体素的结合点。

经过组合体的分割,组合体轮廓边缘特征上的角点和关键点已经被分割成不同的类,同一类的角点和关键点确定一个标准体素。根据同一类角点和关键点的坐标可以确定该标准体素在这幅温度信息中的区域。选定组合体中某一标准体素的特定区域后,利用第 3 节中介绍的单独体素识别和重构方法,可对该标准体素自动识别和重构。将构成组合体的各个标准体素分别在同一直角坐标下进行重建建模,所有三维模型的交集就是所要构建组合体的三维模型。

5 重构试验

组合体重构的步骤如下:

(1) 摄取红外目标信息。摄取的组合体红外温度图像如图 3(a) 所示。

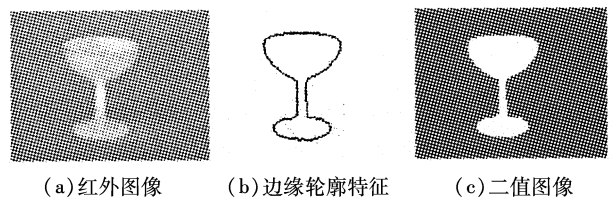
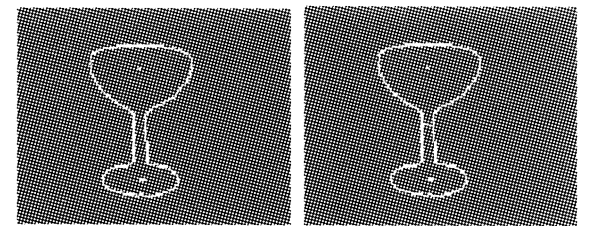


图3 组合体的各种图像

Fig. 3 the infrared image, the outline edge character and binary image of combined unit

(2) 根据目标的温度信息提取目标精确轮廓边缘特征并获得组合体二值图像。图 3(a) 所示组合体的轮廓边缘及二值图像如图 3(b), (c) 所示。

(3) 组合体的分割。采用 3×3 的数字结构元素对图 3(c) 所示二值图像作极限腐蚀, 图 4(a) 是组合体极限腐蚀和轮廓边缘的叠加图, 极限腐蚀两个连通区域中提出两个内点 T_1 和 T_2 。图 4(b) 是对其以极限腐蚀为标记集利用的 SKIZ 作分割。



(a) 极限腐蚀 (b) 极限腐蚀为标记 SKIZ 分割
图 4 组合体极限腐蚀和 SKIZ 分割

Fig. 4 the utmost erode and SKIZ segmentation of combined unit

(4) 组合体角点检测和关键点检测。利用距离、角度、模板角点检测法检测轮廓边缘角点^[6-7], 检测到 11 个角点坐标如表 2 所示。四个关键点的坐标如表 3 所示。

表 2 组合体轮廓边缘上检测到的 11 个角点坐标
Tab. 2 eleven corners detected in the outline edge character

角点	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
i	37	58	85	93	97	97	93	85	59	38	29
j	44	69	69	51	51	95	95	77	76	102	102

表 3 组合体轮廓边缘上四个关键点坐标
Tab. 3 four key points in the outline edge character

关键点	top	left	right	bottom
i 坐标	32	27	32	104
j 坐标	73	44	103	75

(5) 组合体角点和关键点分类。角点和关键点分类结果: 组合体由三个体素构成, A, J, K 为同一体素上的角点, 关键点 left, right, top 也在这一体素上; D, E, F, G 为同一体素上角点, 关键点 bottom 在这一体素上; 角点 B, C, H, I 为体素间的连接点, B, I 为内点 T_1 所属体素与第三个体素的连接点, C, H 为内点 T_2 所属体素与第三个体素的连接点。

(6) 组合体重构。经过分割, 组合体被分为三个体素, 三个体素各自的三维模型如图 5 所示。然后将三个模型叠加得到组合体的三维模型, 如图 6 所示。

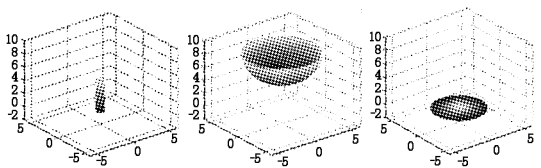


图 5 三个体素的三维模型
Fig. 5 3D models of three standard units

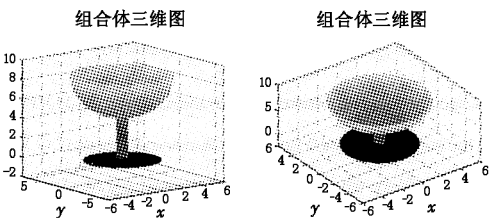


图 6 组合体的三维模型
Fig. 6 3D models of combined unit

6 总 结

本文在单元分解表示法思想指导下, 根据摄取的单幅红外温度信息, 对由标准体素构成的简单组合体实现了三维重构, 该方法符合人脑对集合体识别与认知思路, 为复杂目标的重构打下了基础。

参考文献:

[1] G H John, Yu-Ming Chiang. Nonuniformity correction of infrared image sequences using the constant-statistics constraint [J]. IEEE Transactions on Information, 1999, 8(8): 1148 - 1151.

[2] H Ralph, B Michael. Model-based image enhancement of far infrared images [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19: 410 - 415.

[3] K Masataka, et al Recognizing vehicles in infrared images using IMAP parallel vision board [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 2: 10 - 16.

[4] 范茵, 汪德宗. 基于红外图像重建飞机三维形体结构技术的研究 [J]. 南京航空航天大学学报, 1999, 31 (1): 79 - 84.

[5] 高满国, 曲仕茹, 李西琴. 计算机视觉研究中的投影理论和方法 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1998, 4: 222 - 235.

[6] G Borgefors. Distance transformation in arbitrary dimensions [J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1984, 27: 321 - 345.

[7] Guru D S, Dinesh R, Nagavhushan P. Boundary based corner detection and localization using new cornerity index a robust approach [A]. First Canadian Conference on Computer and Robot Vision [C], 2004: 417 - 423.