

基于曲线形状分析的三维表面识别

田越 平西建

(解放军信息工程学院信息科学系, 郑州 450002)

摘要 讨论曲线形状分析与三维表面识别方法。针对刑侦工作中立体足迹识别的要求,提出了三维表面的等值线特征提取,曲线形状的空间结构及自回归谱(AR谱)分析,以及基于曲线形状分析的模糊模式识别方法,实验表明该方法用于三维表面识别效果明显。

关键词 曲线形状分析 三维表面识别 自回归谱 模糊综合评判

0 引言

三维表面的描述与识别问题是综合了计算机视觉及人工智能理论的一个热门课题。为了识别三维物体,首先应当从输入的深度图象信息中建立并描述三维物体的表面,然后将这种描述与存储的模式进行比较。因此,三维物体表面的描述方法是构成三维物体识别系统的基础^[1,2]。一种基本的描述方法是建立某种函数关系拟合三维表面,这类方法具有解析表达、参数较少等优点^[3]。但是现有的各种算法都存在一个缺陷,即无法保证恢复过程中的敛散性。另外实际物体的表面可能非常不规则,因而使得函数拟合方法在理论上和实际应用中都有较大的困难。为了能够简单有效地描述三维物体表面,如果可以得到它的一个平行截面系列,则这一系列平行截面构成的等值线便可反映出该三维表面的变化关系。于是可将三维表面的识别转化为二维等值线形状的分析与识别^[4]。据此本文提出了基于曲线形状分析的三维表面识别方法。

通过对识别物体(如足迹石膏模型)的深度数据采样和计算机曲面拟合,可实现三维物体表面的计算机造型。为了描述三维表面的变化关系,我们利用一组足够密的平行平面切割该物体,通过边缘提取,由每一剖面边界可得到一个封闭的二维曲线。这种封闭曲线的位置、几何形状等空间结构将有明显的差异,而曲线序列的疏密和排列关系反映出了三维表面的变化。这样,三维表面的识别就可转化为识别二维曲线的形状及序列分布。对于二维曲线形状的分析有多种方法,如对具

有规则形状的可利用曲率方向、周长、面积等特征,对不规则的常用的形状分析方法有链码互相关法、投影法、句法分析法、矩不变量法、傅里叶描绘子以及R描绘子等。针对足迹轮廓的特点和足迹识别的领域知识本文提出一种新的曲线形状分析方法即用空间结构分析及自回归谱估计方法来共同实现对二维曲线形状的描述及识别。最后结合刑侦判案的特点及专家知识,利用模糊数学观点对各层识别结果进行模糊综合评判。

1 曲线形状的空间结构分析和自回归(AR)谱分析

1.1 二维曲线轮廓的一维表示

在二维曲线的轮廓形状识别中,有时需要从这些轮廓线的坐标出发来讨论问题,即跟踪轮廓线并提取轮廓坐标,然后再利用这样得到的信息来识别二维曲线形状。但一般得到的轮廓坐标要么是直角坐标要么是等价代码表示,在形状分析时需要用到二维处理方法,不便于使用曲线形状分析,为此我们提出闭合曲线的极坐标表示法。轮廓形状的极坐标表示法实质上是将轮廓形状的直角坐标转换成极坐标。这种转换表面上看是将坐标从二维降至一维,但却保留了全部的二维轮廓形状信息。计算机进行边缘搜索得到的轮廓是直角坐标系中的一些离散的点,从力学的角度考虑,可以看作一个质点系,设这些点的坐标为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$,质量均为1,则重心坐标为:

$$x_0 = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}, y_0 = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n} \quad (1)$$

将轮廓边缘上的各点与图形形心之间的距离 ρ 作为一个随机变量,以形心至边缘各点的向量与坐标轴的夹角为自变量,二维图形则可展成如下的一维形式:

$$\rho = \rho(\theta) \quad (2)$$

上式包含了除图形位置外的全部信息。

1.2 曲线形状的空间结构分析

二维曲线形状描述问题,可以基于其占有的区域或区域的轮廓找出它的描述方法,即对二维曲线形状进行空间结构分析,找出表示区域形状特征的各种度量,如扁度、偏斜方向、紧凑度等。

(1) 扁度

扁度定义为区域长轴与短轴之比。在直角坐标系下它的计算公式见文献[2],这里我们在得到数据的极坐标表示时扁度计算公式可简化为:

$$e = \rho_{\max} / \rho_{\min} \quad (3)$$

(2) 偏斜方向

除了上述空间形状参数外,在刑侦专家对脚印识别的过程中偏斜方向是重要的识别特征之一。根据足迹检验应用要求和本文给出的曲线极坐标描述方法,我们用长轴 ρ_{\max} 与极轴的夹角 θ_1 来表示偏斜方向。

(3) 紧凑度

区域的紧凑度为区域周长的平方与面积之比。

1.3 曲线形状特征的 AR 谱分析

基于时间序列建模的自回归谱是一种随机信号的功率密度(PSD)估计,与经典 PSD 估计不同,这是一种参数估计,能较真实地反映出随机数据特征,且没有对数据做周期延拓,因此可以得到较高质量的 PSD 估计。

我们可将某截面上得到的二维图形轮廓表示成式(2)的形式。设想 θ 把参数理解为时间,以等 $\Delta\theta$ 采样获得 $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_i, \dots, \rho_p$, 就可看作时间序列,并可作谱估计。

图形轮廓随机序列 $\{\rho_i\}$ 的 n 阶自回归模型可表示为

$$\rho_n = \sum_{k=1}^p a_k \rho_{n-k} + \xi_n \quad (4)$$

其中 ρ_n 为当前值, ξ_n 为零均值、方差为 σ^2 的噪声序列, $a_k (k=1, 2, \dots, p)$ 为多次自回归系数。 ρ_n 的功率谱为

$$P_{AR}(\omega) = E \left| \sum_{k=0}^p a_k - e^{j\omega k} \right|^{-2} \quad (5)$$

其中, $a_0=1, E$ 为 ξ_n 的常数谱。

由此可见,若 AR 模型阶数 n 及参数 $a_k (k=1, \dots, p)$ 确定,则图形轮廓序列 $\{\rho_i\}$ 的功率谱就可得出。AR 模型参数估计方法及 AR 模型阶数的确定准则可见文献[5]。

这样经过计算后,轮廓序列 $\{\rho_i\}$ 的功率谱就可得到。这是一个连续的谱,从中我们就可找到轮廓序列 $\{\rho_i\}$ 在频域的特征:峰值,谱峰位置,峰宽。

2 三维表面识别的模糊算法

在分别得到曲线形状的空间结构分析及自回归谱分析特征后,为了提高曲线形状分析识别三维表面的准确性,应当引入模糊数学的观点实现对三维表面的识别^[6-8]。本文针对足迹识别的应用要求,通过对曲线形状的空间结构分析及自回归谱分析结果进行模糊综合评判,给出一个不同三维表面相似性的综合评判结果。

2.1 模糊综合评判的基本原理

所谓综合评判,就是对受到多种因素制约的事物或对象,作出一个总的评价。

模糊综合评判的数学模型可分为一级模型和多级模型两类。

(1) 一级模糊综合评判可归纳为以下几个步骤:

① 建立评判对象的因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 因素就是对象的各种属性或性能,在不同的场合也称为参数指标或质量指标。

② 建立评判集 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$ 。

③ 建立单因素评判矩阵

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中 r_{ij} 为因素 u_i 对评判结果 v_j 的百分比。

④ 综合评判

由于对中各因素有不同的侧重,需要对每个因素赋与不同的权重,它可表示为 U 上的一个模糊子集 $\underline{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, 并且规定 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ 。在 \underline{R} 与 \underline{A} 求出后,则综合评判为

$$\underline{B} = \underline{A} \cdot \underline{R} \quad (7)$$

记 $\underline{B} = (b_1, b_2, \dots, b_m)$, 它是 V 上的一个模糊子集。其中 $b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij})$ ($j = 1, 2, \dots, m$), 如果评判结果 $\sum_{j=1}^m b_j \neq 1$, 应将它归一化。

当评判因素多时, 由于权重分配很难做到合理, 因而可能造成评判结果的不理想, 为了克服这一缺点, 我们可采用多级评判方法。

(2) 建立多级模型的一般步骤如下:

① 将因素集 U 按属性的类型划分成 S 个子集, 记作 U_1, U_2, \dots, U_s , 应满足, $\bigcup_{i=1}^s U_i = U, U_i \cap U_j = \emptyset (i \neq j)$ 。设每个子集的因素为

$$U_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{in_i}\} \quad (i = 1, 2, \dots, s),$$

$$\sum_{i=1}^s n_i = n, n = |U|$$

② 对于每个子集 U_i , 按一级模型进行评判, 于是第一级的综合评判为

$$\begin{aligned} \underline{B}_i &= \underline{A}_i \cdot \underline{R}_i \\ &= (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{im}) \quad (i = 1, 2, \dots, s) \end{aligned} \quad (8)$$

其中, \underline{A}_i 为 U_i 上的权重分配, \underline{R}_i 为 U_i 的单因素评判矩阵。

③ 将每一个 U_i 作为一个元素, 用 \underline{B}_i 作为它的单因素评判, 又可构成评判矩阵

$$\underline{R} = [\underline{B}_1 \ \underline{B}_2 \ \dots \ \underline{B}_s]^T \quad (9)$$

它是 $\{U_1, U_2, \dots, U_s\}$ 的单因素评判矩阵, 每个 U_i 作为 U 的一部分, 反映了 U 的某类属性, 可以按它们的重要程度给出权重分配

$$\underline{A}(a_1^*, a_2^*, \dots, a_s^*)$$

于是有第二级的综合评判 $\underline{B} = \underline{A} \cdot \underline{R}$

依次类推可构成多级的综合评判模型。

2.2 应用中立体足迹同一性认定的模糊综合评判法

在进行综合评判时我们首先可建立因素集 $U = \{\text{扁度、偏斜方向、紧凑度、谱峰位置、峰宽、峰值}\}$ 和评价集 $V = \{\text{很可能、可能、不太可能、不可能}\}$ 。

这里我们采用多级模糊综合评判, 将 U 分为 U_1 和 U_2 两个子集, 其中 $U_1 = \{\text{扁度、偏斜方向、紧凑度}\}$, $U_2 = \{\text{谱峰位置、峰宽、峰值}\}$ 。

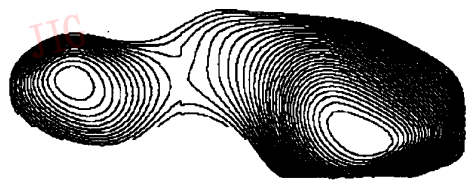
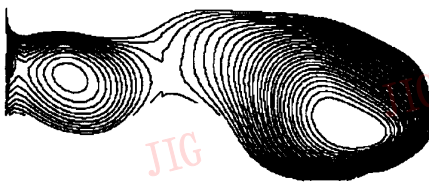
根据因素子集 U_1 和 U_2 分别是对形状的时域及频域描述, 结合专家经验经过大量的测试可看出利用单因素进行评判时哪些因素效果更好, 因而可给予这些因素以较高的权重。这里我们首先从时域特征及频域特征总体来看, 时域特征的识别效果比频域特征较为明显, 因而时域权重比频域权重可取得高一些。而单从时域来看, 可赋予偏斜方向以较高的权重, 频域权重较高的则为峰值。

这样最终的足迹认定结果为模糊综合评判结果中百分比最高的一项。

3 实验结果分析

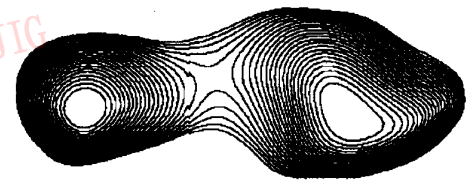
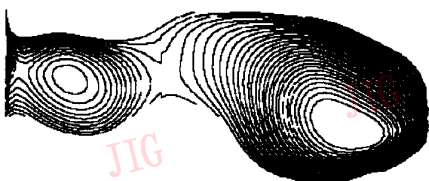
(1) 同一人脚印的等值线图及判定结果, 如图 1 和图 2 所示。

(2) 不同人的脚印的等值线图及判定结果, 如图 3 所示。



判定结果: 很可能 62.5%, 可能 37.5%, 不太可能 0%, 不可能 0%。

图 1



判定结果: 很可能 30.41%, 可能 22.81%, 不太可能 17.54%, 不可能 29.24%。

图 2



判定结果: NOT A SAME FOOT!!!

图 3

4 结 论

通过对三维物体表面特征及识别方法的讨论,本文给出一种三维表面的等值线特征提取和基于曲线形状分析的三维表面识别方法,提出的空间结构及自回归谱分析方法用于二维曲线形状分析有效,构成的三维表面模糊综合评判用于识别立体足迹效果明显。

参 考 文 献

1 Appearance-based 3D object recognition. In: Object Representation in Computer Vision, International NSF-ARFA Workshop

Proceedings, 51~63.
 2 徐建华. 图象处理与分析. 北京: 科学出版社, 1992.
 3 郭慧敏, 平西建, 邵美珍. 超二次曲面三维模型的参数恢复方法探讨. 见: 中国图象图形学会 '96 会议论文集, 1996.
 4 田 越, 平西建, 邵美珍. 曲线形状的空间结构及自回归谱分析方法研究. 见: 中国图象图形学会 '98 会议论文集, 1998.
 5 何振亚. 现代谱估计. 南京: 东南大学出版社, 1990.
 6 Fuzzy relations for feature-model correspondence in 3D object recognition. In: 1996 Biennial Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society—NAFIPS (Cat. No. 96TH8171).
 7 冯晋臣, 季静秋, 曹立宏等. 模糊模式识别. 见: 河北科学技术出版社, 1992.
 8 田 越, 平西建. 三维表面识别的模糊算法. 见: 中国智能自动化学会 '98 会议论文集, 1998.



田 越 1998 年 3 月于解放军信息工程学院信息科学系获硕士学位。主要研究领域为计算机视觉, 图象处理与识别等。



平西建 1982 年 12 月于北京航空学院获硕士学位, 现任解放军信息工程学院信息科学系教授。主要研究兴趣为图象信源编码原理与方法, 图象处理与识别, 计算机视觉。

Distinguishing 3D Surface by Means of Analyzing Curve Shape

Tian Yue, Ping Xijian

(Department of Information Science, Information and Engineering Institute, Zhengzhou 450002)

Abstract This article discusses analyzing curve shape and distinguishing methods on 3D surface. Considering needs of recognizing 3D footmarks in detective work, this paper poses drawing features of equal-value curves of three-dimensional surface, the analysis for space structure and auto-regressive spectrum of the curve shape, and a fuzzy distinguishing method on the base of the above analysis. It is proved by experiments that the method is very effective on recognizing 3D surface.

Keywords Analyzing curve shape, Distinguishing 3D surface, Auto-regressive spectrum, Fuzzy complex judgement