

文章编号 1004-924X(2007)07-1112-05

仿射不变的运动目标识别方法

杨昕梅, 吴钦章, 周 进

(中国科学院 光电技术研究所三室, 四川 成都 610209)

摘要:提出了一种在三维空间内对运动目标识别的方法,该方法对目标平移、旋转、尺度及视角变化具有良好的不变性。将目标轮廓曲线用仿射不变量参数化,待识别目标的参数化轮廓线正交投影后,可使其与库存同一型号的目标轮廓线保持较强的相关性。最后,用归一化相关函数作为识别准则进行了实验。实验结果表明,对于空间姿态变化前后的目标,它们的相关结果 $>95\%$,该方法能够以较高的识别率识别出图像序列中各种变化的同一目标。

关键词:目标识别;仿射变换;轮廓曲线;运动目标

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A

Method of motion object recognition based on affine invariant

YANG Xin-mei, WU Qin-zhang, ZHOU Jin

(No. 3 Laboratory, Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, China)

Abstract: A method characterized by its excellent invariability in translation, rotation, scale and angle of view for recognizing motion object in 3D space was presented. The contour curve of object was parameterized by an affine invariable and the parameterized curve of object waiting for recognition was projected orthogonally. So it could keep better correlation with the object of the same type in store. Finally, normalized related function was regarded as the criterion of recognition. The experimental results show that the correlation of objects is over 95% in the 3Ds change of pose, the proposed method can recognize objects of multiform changes with superior discrimination rate.

Key words: object recognition; affine transformation; contour curve; motion object

1 引言

复杂背景下的运动目标跟踪系统应该具有在复杂背景下检测、分类和识别目标的能力,所以目标识别一直是视觉测量中研究的热点问题之一。识别出图像中哪一个是要跟踪的目标,对目标轨

迹预测的计算及目标的跟踪过程都有着重要的作用。复杂背景下的目标识别方法大体上可以分为两类,其一是通过模板匹配等方法直接识别目标,这类方法计算量非常大,尤其在目标复杂、模板数较多时,很难达到实际应用的要求;另一类是先通过预处理找出若干准目标区域,进而选取目标区域。在第二类方法中关键是目标特征如何选取。

对于目标特征的选取,常用的基于形状信息的特征量有周长面积比、长宽比、紧凑度等。运动目标发生平移、旋转、尺度等变换时,这些特征不具备不变性,它们只能用来作粗略的识别。为此,人们提出 Hu 氏不变矩、基于边缘的不变矩、Zernike 不变矩等目标识别方法,这些方法都具有 RST (Rotation-Scale-Translation) 不变性,但不适用视角变化的情况。

目标成像到平面上实际是一个中心投射投影,而射影变换是非线性的。由于仿射变换是线性的,因此构造仿射不变量比构造射影不变量要容易得多。当平面目标的深度和它与摄像机之间的距离相比较小时,投影射线是近似平行的,此时可以用仿射近似平面中心透视。基于仿射不变的特征对目标旋转、尺度、平移和视角的变换具有良好的不变性。目标的边缘是图像最基本的特征,人类的视觉系统也多是根据目标的边缘进行识别的。因此,针对运动目标的识别给出了基于仿射不变轮廓线识别算法的理论分析和具体实现过程。

2 仿射变换

仿射变换是一类重要的线性变换,许多成像过程及其变化可以模型化为一个仿射变换。设平面上一点 P 的坐标和它的仿射变换对应点 P' 在仿射坐标系中的坐标分别为 (u, v) 和 (u', v') , 则二维仿射变换模型^[1]可表示为:

$$\begin{bmatrix} u' \\ v' \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} + \mathbf{b}, \quad (1)$$

其中 $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$ 是变形矩阵, $\mathbf{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$ 是平移矢量。在二维空间矩阵 \mathbf{A} 可以按如下的四个步骤分解:尺度、伸缩、扭曲、旋转。

尺度

$$\mathbf{A}_s = \begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{bmatrix}, s \geq 0$$

伸缩

$$\mathbf{A}_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & t \end{bmatrix}, \mathbf{A}_t \mathbf{A}_s = \begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & st \end{bmatrix}$$

扭曲

$$\mathbf{A}_n = \begin{bmatrix} 1 & n \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{A}_n \mathbf{A}_t \mathbf{A}_s = \begin{bmatrix} s & stn \\ 0 & st \end{bmatrix}$$

旋转

$$\mathbf{A}_\theta = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}, 0 \leq \theta \leq 2\pi,$$

$$\mathbf{A}_\theta \mathbf{A}_n \mathbf{A}_t \mathbf{A}_s = \begin{bmatrix} s \cos \theta & stn \cos \theta - st \sin \theta \\ s \sin \theta & stn \sin \theta + st \cos \theta \end{bmatrix}.$$

因此平移、尺度、伸缩、扭曲、旋转五个变换是仿射变换的特例,仿射变换是这五个变换的组合。

3 基于仿射不变轮廓线的识别算法

3.1 仿射不变轮廓线基本理论

假设平面任意一条曲线 C , 可以用参数方程来表示

$$C = (u(t), v(t)), \quad (2)$$

其中参数 t 表示沿着曲线 C 的弧长, 它的微分表示为:

$$dt = \sqrt{du^2 + dv^2}, \quad (3)$$

若曲线在图像平面上旋转或平移后, 曲线的弧长不会变。

若曲线在三维空间发生旋转、扭曲等变化, 令 \bar{C} 表示曲线 C 经过仿射变换后的曲线。

$$\bar{C} = (\bar{u}(\bar{t}), \bar{v}(\bar{t})), \quad (4)$$

其中参数 \bar{t} 表示沿着曲线 \bar{C} 的弧长, 它的微分表示为:

$$d\bar{t} = \sqrt{d\bar{u}^2 + d\bar{v}^2}, \quad (5)$$

这两条曲线用一般的线性变换表示为:

$$\begin{bmatrix} \bar{u}(\bar{t}) \\ \bar{v}(\bar{t}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u(t) \\ v(t) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

证明如下, 展开式(5)并代入式(6)可得

$$d\bar{t} = \sqrt{(A_{11} du + A_{12} dv)^2 + (A_{21} du + A_{22} dv)^2} \neq dt, \quad (7)$$

可见, \bar{t} 与 t 是非线性关系。为能求得两曲线的线性关系, 须作进一步的变换^[2-4]。引入两个新的参数 τ 和 $\bar{\tau}$,

$$d\tau = \sqrt{\frac{du}{dt} \frac{d^2 v}{dt^2} - \frac{d^2 u}{dt^2} \frac{dv}{dt}} \cdot dt, \quad (8)$$

$$d\bar{\tau} = \sqrt{\frac{d\bar{u}}{d\bar{t}} \frac{d^2 \bar{v}}{d\bar{t}^2} - \frac{d^2 \bar{u}}{d\bar{t}^2} \frac{d\bar{v}}{d\bar{t}}} \cdot d\bar{t}, \quad (9)$$

则可推出

$$d\bar{\tau} = (\det \mathbf{A})^{\frac{1}{3}} \cdot d\tau, \quad (10)$$

由上可知, 变量 τ 和 $\bar{\tau}$ 具有线性关系。用参数 τ 和 $\bar{\tau}$ 参数化曲线 C 和 \bar{C} , 曲线 C 和 \bar{C} 可分别

表示为

$$C=(u(\tau),v(\tau)), \quad (11)$$

和

$$\bar{C}=(u(\bar{\tau}),v(\bar{\tau})). \quad (12)$$

它们根据式(10)可构成线性关系。即曲线 $C(\tau)$ 经过式(10)线性变换后等于曲线 $\bar{C}(\bar{\tau})$ 。

3.2 轮廓线的仿射变换求解

根据式(1)描述,仿射变换除了线性变换矩阵 \mathbf{A} 外,还有一个位移矩阵 \mathbf{b} 。首先,曲线 C 和 \bar{C} 分别把坐标原点移动至轮廓曲线所围区域的中心,使位移矢量 $\mathbf{b}=0$ 。这样,只需求线性变换矩阵 \mathbf{A} 。然后将弧长归一化。因为目标轮廓线是闭合的,所以为使两条曲线上的点一一对应,将曲线 \bar{C} 移动一定的弧长 τ_0 ,使 \bar{C} 的起始点位置移动到与曲线 C 的起始点对应的位置。于是,

$$\begin{bmatrix} \bar{u}(\bar{\tau}-\tau_0) \\ \bar{v}(\bar{\tau}-\tau_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u(\tau) \\ v(\tau) \end{bmatrix}, \quad (13)$$

$u(\tau)$ 和 $v(\tau)$ 离散化后可视为一组线性无关的向量。采用 Schmidt 正交化方法,得到一组规范化正交基 $(\boldsymbol{\eta}_1, \boldsymbol{\eta}_2)$, 即

$$\boldsymbol{\varepsilon}_1(\tau) = \mathbf{u}(\tau), \quad (14)$$

$$\boldsymbol{\eta}_1(\tau) = \boldsymbol{\varepsilon}_1(\tau) / |\boldsymbol{\varepsilon}_1(\tau)|, \quad (15)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_2(\tau) = \mathbf{v}(\tau) - \langle \mathbf{v}(\tau), \boldsymbol{\eta}_1(\tau) \rangle \boldsymbol{\eta}_1(\tau), \quad (16)$$

$$\boldsymbol{\eta}_2(\tau) = \boldsymbol{\varepsilon}_2(\tau) / |\boldsymbol{\varepsilon}_2(\tau)|, \quad (17)$$

其中, $\langle \cdot \rangle$ 表示内积, $|\cdot|$ 表示向量的长度。

于是,由式(14)~(17),可以得到

$$\begin{bmatrix} \mathbf{u}(\tau) \\ \mathbf{v}(\tau) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\eta}_1(\tau) \\ \boldsymbol{\eta}_2(\tau) \end{bmatrix}, \quad (18)$$

其中,

$$c_{11} = |\mathbf{u}(\tau)|$$

$$c_{12} = 0$$

$$c_{21} = \langle \mathbf{v}(\tau), \boldsymbol{\eta}_1(\tau) \rangle$$

$$c_{22} = |\mathbf{v}(\tau) - \langle \mathbf{v}(\tau), \boldsymbol{\eta}_1(\tau) \rangle \boldsymbol{\eta}_1(\tau)|$$

将式(18)代入式(13)得

$$\begin{bmatrix} \bar{u}(\bar{\tau}-\tau_0) \\ \bar{v}(\bar{\tau}-\tau_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\eta}_1(\tau) \\ \boldsymbol{\eta}_2(\tau) \end{bmatrix}, \quad (19)$$

由 Schmidt 投影法, $\bar{u}(\bar{\tau}-\tau_0)$ 在 $\boldsymbol{\eta}_1(\tau)$ 和 $\boldsymbol{\eta}_2(\tau)$ 上的投影分别为

$$\bar{u}_1(\tau_0) = \langle \bar{u}(\bar{\tau}-\tau_0), \boldsymbol{\eta}_1(\tau) \rangle, \quad (20)$$

$$\bar{u}_2(\tau_0) = \langle \bar{u}(\bar{\tau}-\tau_0), \boldsymbol{\eta}_2(\tau) \rangle, \quad (21)$$

$\bar{u}(\bar{\tau}-\tau_0)$ 可以表示为上面两个投影分量的和,即

$$\bar{u}(\bar{\tau}-\tau_0) = \bar{u}_1(\tau_0) \boldsymbol{\eta}_1(\tau) + \bar{u}_2(\tau_0) \boldsymbol{\eta}_2(\tau), \quad (22)$$

同理

$$\bar{v}(\bar{\tau}-\tau_0) = \bar{v}_1(\tau_0) \boldsymbol{\eta}_1(\tau) + \bar{v}_2(\tau_0) \boldsymbol{\eta}_2(\tau), \quad (23)$$

其中

$$\bar{v}_1(\tau_0) = \langle \bar{v}(\bar{\tau}-\tau_0), \boldsymbol{\eta}_1(\tau) \rangle, \quad (24)$$

$$\bar{v}_2(\tau_0) = \langle \bar{v}(\bar{\tau}-\tau_0), \boldsymbol{\eta}_2(\tau) \rangle. \quad (25)$$

将式(22)和式(23)写成矩阵形式如下,

$$\begin{bmatrix} \bar{u}(\bar{\tau}-\tau_0) \\ \bar{v}(\bar{\tau}-\tau_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{u}_1(\tau_0) & \bar{u}_2(\tau_0) \\ \bar{v}_1(\tau_0) & \bar{v}_2(\tau_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\eta}_1(\tau) \\ \boldsymbol{\eta}_2(\tau) \end{bmatrix}, \quad (26)$$

将式(19)和(26)代入式(13)可得

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\eta}_1(\tau) \\ \boldsymbol{\eta}_2(\tau) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{u}_1(\tau_0) & \bar{u}_2(\tau_0) \\ \bar{v}_1(\tau_0) & \bar{v}_2(\tau_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{\eta}_1(\tau) \\ \boldsymbol{\eta}_2(\tau) \end{bmatrix}, \quad (27)$$

可以证明矩阵 $\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix}$ 为可逆矩阵,因此

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{u}_1(\tau_0) & \bar{u}_2(\tau_0) \\ \bar{v}_1(\tau_0) & \bar{v}_2(\tau_0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix}^{-1}. \quad (28)$$

于是,可以通过式(28)求得的线性变换矩阵 \mathbf{A} 实现曲线 $C(\tau)$ 和 $\bar{C}(\bar{\tau})$ 之间的仿射变换。

3.3 目标识别准则

定义归一化相关函数如下

$$\rho(\gamma) = \frac{\bar{u}_1^2(\gamma) + \bar{u}_2^2(\gamma) + \bar{v}_1^2(\gamma) + \bar{v}_2^2(\gamma)}{|\bar{u}|^2 + |\bar{v}|^2} \quad (29)$$

$$0 \leq \rho(\gamma) \leq 1,$$

当 $\gamma = \tau_0$ 时, $\rho(\gamma)$ 达到极大值,以下讨论 τ_0 的求得。

一般,沿曲线逐步平移,并计算 $\rho(\gamma)$,记下使 $\rho(\gamma)$ 达到最大值时的值 τ_0 , $\rho(\tau_0)$ 作为两条轮廓曲线的匹配度。如果要识别的目标是对称的,可以考虑目标主轴与轮廓曲线的交点作为轮廓链的起始点。主轴方向为:

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{21}}\right). \quad (30)$$

$\mu_{11}, \mu_{20}, \mu_{21}$ 是目标的三个二阶中心矩。

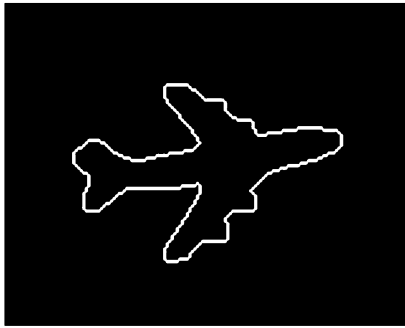
从式(29)可以看出,只要求出待识别目标轮廓线与在库存目标轮廓线正交基上的四个投影 $\bar{u}_1(\gamma), \bar{u}_2(\gamma), \bar{v}_1(\gamma), \bar{v}_2(\gamma)$ 即可。

4 实验

本实验中给出两种型号飞机目标的轮廓图像。图 1 中的(a)和(b)是 747 型飞机目标在三维

空间变化的投影图像的轮廓图。图 2 中的(a)和(b)是 F4 型飞机目标在三维空间变化的投影图像的轮廓图。这里将图 1 和图 2 中四幅轮廓图像作为库存目标轮廓,又作为待识别目标轮廓。然后用本文的识别算法将待识别目标轮廓分别与库

存目标的轮廓进行相关匹配,它们的归一化相关结果如表 1 所示。可以看出图 1(a)和(b)相关值最大,图 2(a)和(b)的相关值最大,如表 1 划线数据所示。



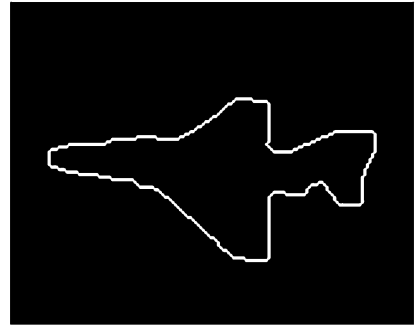
(a)



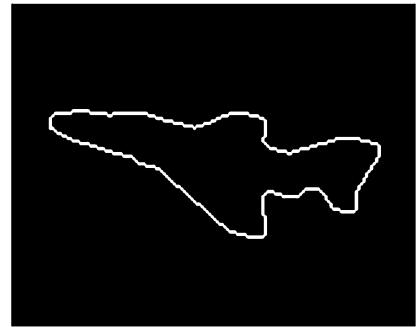
(b)

图 1 747 型飞机轮廓图像

Fig.1 Contour images of 747 plane



(a)



(b)

图 2 F4 型飞机轮廓图像

Fig.2 Contour images of F4 plane

表 1 待识别目标与库存目标归一化相关结果

Tab.1 Normalized related results

待测目标 \ 库存目标	图 1(a)	图 1(b)	图 2(a)	图 2(b)
	图 1(a)	1.0000	<u>0.9730</u>	0.8668
图 1(b)	<u>0.9746</u>	1.0000	0.8800	0.8568
图 2(a)	<u>0.8631</u>	0.8679	1.0000	<u>0.9615</u>
图 2(b)	0.8334	0.8681	<u>0.9617</u>	1.0000

5 结 论

本文基于仿射变换的特点,详细分析了仿射不变轮廓线的理论。以目标的轮廓信息作为识别的信息源,给出了基于仿射不变轮廓线的目标识别方法的计算过程以及识别准则。实验结果表明,对于姿态变化前后的目标在三维空间变化的平面投影图像,它们的相关结果大于 95%,基本可以正确识别出目标。

参考文献:

[1] 孙即祥,王晓华,钟山,等. 模式识别中的特征提取与计算机视觉不变量[M]. 北京:国防工业出版社,2001.
 SUN J X, WANG X H, ZHONG SH, et al.. *Feature Extraction in Pattern Recognition and Computer Vision Invariants* [M]. Beijing; National Defense Industry Press, 2001. (in Chinese)

[2] CYGANSKI D,JOHN A O. 3-D Motion parameters form contours using a canonic differential [J]. *IEEE*,1985,

10:917-920.

- [3] JOHN A O, CYGANSKI D, RICHARD V. Determination of affine transforms from object contours with no point correspondence information [J]. *IEEE*, 1985, 10:921-924.
- [4] ALFRED M B, ROBERT J H. Invariant signatures for planar shape recognition under partial occlusion [J]. *IEEE*, 1992, 1:108-112.
- [5] 林玉池, 崔彦平, 黄银国. 复杂背景下边缘提取与目标识别方法研究[J]. *光学 精密工程*, 2006, 14(3): 509-514.
LIN Y CH, CUI Y P, HUANG Y G. Study on edge detection and target recognition in complex background[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(3): 509-514. (in Chinese)
- [6] 杨照华, 祁振强, 房建成. 空中目标的免疫识别算法[J]. *光学 精密工程*, 2006, 14(5): 922-928.
YANG ZH H, QI ZH Q, FANG J CH. Immune recognition algorithm and its application to air target detection and recognition[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(5): 922-928. (in Chinese)
- [7] 刘松涛, 王学伟, 周晓东, 等. 基于传感器参数和目标轮廓中心的自动配准算法研究[J]. *光学 精密工程*, 2005, 13(3): 354-363.
LIU S T, WANG X W, ZHOU X D, *et al.*. Automatic registration algorithm based on sensor parameters and target's contour centroid[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005, 13(3): 354-363. (in Chinese)
- [8] 张洪钺, 杨雪勤, 郭洪涛. 基于仿射变换的飞机图像识别[J]. *航空学报*, 2003, 24(3): 251-254.
ZHANG H Y, YANG X Q, GUO H T. Aircraft image recognition based on affine transformation [J]. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 2003, 24(3): 251-254. (in Chinese)
- [9] 余静, 游志胜. 自动目标识别与跟踪技术研究综述[J]. *计算机应用研究*, 2005(1): 12-15.
YU J, YOU ZH SH. Survey of automatic target recognition and tracking method[J]. *Application Research of Computers*, 2005 (1): 12-15. (in Chinese)

作者简介:杨昕梅(1978—),女,辽宁阜新新人,现在中国科学院光电技术研究所攻读博士学位,主要从事图像处理、目标跟踪与识别方面的研究。E-mail: cute_yang2003@126.com