基于 EPF 最大互相关配准的机械臂目标识别方法*

张译文¹,侯媛彬¹,康 倩¹,孟 阳²

(1. 西安科技大学 电气与控制工程学院, 西安 710054; 2. 洛阳矿山机械工程设计研究院, 河南 洛阳 471000)

摘 要:针对工业机械臂在复杂背景下多目标并存识别问题,提出一种基于边缘势场函数最大互相关匹配算法。该算法引入边缘势场函数(edge potential function, EPF)理论计算目标图边缘点的势场函数,有效地利用了 复杂结构中单边缘点的联合效用,并在特征点变换模型约束下采用最大互相关相似性度量完成同名控制点的建 立与目标配准定位。仿真实验表明,该算法对因成像条件引起噪声旋转的复杂背景图像识别效果良好,精准度 高于传统相关匹配算法。

关键词:图像配准;边缘势场函数;最大互相关;目标识别;工业机械臂
中图分类号:TP391.4 文献标志码:A 文章编号:1001-3695(2012)12-4761-03
doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.12.094

Image registration algorithm based on EPF and maximum cross-correlation for target recognition of manipulator

ZHANG Yi-wen1, HOU Yuan-bin1, KANG Qian1, MENG Yang2

(1. School of Electric & Control Engineering, Xi' an University of Science & Technology, Xi' an 710054, China; 2. Luoyang Mining Machinery Engineering Design & Research Institute, Luoyang Henan 471000, China)

Abstract: Aiming at the multi-object issue of manipulator self-recognition in complex background, this paper proposed a image matching algorithm based on edge potential function and maximum cross-correlation. The algorithm integrated EPF theory into calculating the potential function of target contour points that could use the synergistic effect of the single edge points in complex structure efficiently, and established corresponding control points using maximum cross-correlation as similarity measurement under the constraints of feature points transformation model, then finished target registering and localization. Simulation and experiment result shows that it has good recognition effect for complex background image with noise and rotation caused by imaging conditions, and accuracy is better than traditional correlation match.

Key words: image registration; edge potential function; maximum cross-correlation; target recognition; manipulator

0 引言

工业机器人在严格定义的结构化环境中执行预定指令动 作,普遍缺乏对环境的感知应变能力,这一问题极大地限制了 机器人的应用。近年来,随着图像处理技术的飞速发展,将机 器视觉引入复杂背景下自主完成多个目标并存的智能抓取任 务是机器人研究的热点问题之一,也是实现人工智能的基础。 其中图像配准定位是关键步骤。

特征匹配算法鲁棒性高、适用性强,目前机器视觉研究中 多采用此方法,依据匹配策略它主要分为利用空间关系、利用 特征相似性以及两者的简单组合三类^[1]。本文在特征相似性 方法的基础上改进,首先用一组参数描述两幅图像中的每个特 征,然后利用这些参数计算不同特征之间的相似性测度,根据 测度原则寻找匹配位置。这类算法的难点在于:a)如何生成 对目标的平移、旋转和尺度变换具有不变特性的数值描述子表 示形状,常用特征描述参数有相关系数、矩不变量、链码、形状 矩阵及小波描述子等;b)选择合适的相似性测度提高匹配准 确度,相对成熟的相似性度量归结为距离度量和相关度量两大

类。研究人员已提出多种策略来解决特征匹配问题,目前常见 的是 Hausdorff 距离^[2]及其改进方法、互信息法^[3]、SIFT 特征 描述算法等。新算法也是层出不穷,2010年赵振民等人[4]提 出将形状匹配和模板匹配以及图像金字塔搜索策略、最小二乘 法相结合,有效提高了匹配算法的速度和精度。文献[5]将轮 廓特征点处的局部复数矩和曲率一起构造了新的轮廓描述函 数,对比实验表明该匹配方法性能优秀。2011年陈楸等人^[6] 提出通过计算模式图与场景图之间的势数梯度场建立引力场 模型,并采用平均 HD 距离作为代价函数的匹配算法也是可行 的。2012 年 Ramanathan 提出采用曲线中轴^[7] 描述匹配轮廓 曲线的凸起路径从而提高匹配速度。通过分析现有的特征匹 配算法可以看出,它们都各自存在着不同的局限性:a)算法设 计过于复杂,对前期图像分割等处理要求过高;b)匹配搜索耗 时长;c)实际拍摄和预处理过程中噪声及遮挡对轮廓的影响; d)匹配基元的选取和相似性测度的确立。当前未出现通用的 图像匹配算法。因此,针对机械臂在复杂背景下不同形状目标 的识别问题,本文基于边缘势场函数的视频检索算法思想^[8], 提出一种基于 EPF 形状描述算子和最大互相关相结合的快速

收稿日期: 2012-04-18; 修回日期: 2012-05-30 基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目(2009JK571)

作者简介:张译文(1986-),女,甘肃张掖人,硕士研究生,主要研究方向为自动化、数字图像处理(nan35. student@ sina. com);侯媛彬(1953-), 女,陕西西安人,教授,博导,工学博士,主要研究方向为自动化、安全技术与工程;康倩(1988-),女,陕西咸阳人,硕士研究生,主要研究方向为自动 化、模式识别、智能系统;孟阳(1985-),男,河南洛阳人,工学硕士,主要研究方向为自动化、数字图像处理. 边缘匹配算法。

1 图像 EPF 模型的提出

边缘势场函数(EPF)是由 Dao 等人^[9]提出的一种可作为 目标形状识别的度量。由物理学知识可知真空中与点电荷 *q* 距离为 *r* 处的 *p* 点的电势为

$$V_p = \frac{q}{4\pi\varepsilon r} \tag{1}$$

电势是一个标量,电场中任意一点电荷的电势等于各部分 单独存在时在该点产生电势的代数和。以上定义被推广到一 个由 N 个点电荷(q₁,q₂,…,q_n)组成的电荷体系中,由电势叠 加原理得

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \sum_{i=1}^{N} \frac{q_i}{r_i}$$
(2)

其中: r_i 为被测点和该电荷 q 的相对距离, ε 为介电常数。

考虑了物理学上带电粒子产生电势场的概念,引入图像边缘点可产生边缘势场的思想。类比上述模型,得到图像边缘势场模型^[10]。假设(*x*,*y*)为图像中任意像素点坐标;*q_i*类比边缘点,坐标为(*x_i*,*y_i*)。因本文方法只考虑了目标物体轮廓,可忽略与图像背景有关的常量*ε*。根据以上假设,基于轮廓形状的图像边缘势场函数(shape-EPF)^[8]表示如下:

$$\operatorname{SEPF}(o,N) = \begin{cases} \frac{1}{4\pi} \sum_{i=1}^{N} \frac{q_i}{r_i} & \forall q_i, q_i \neq o\\ \lambda & \exists q_k : q_k = o \end{cases}$$
(3)

其中:N为边缘点的个数,r_i表示第 i 个边缘点 q_i 与图像中任 意一点 O 之间的距离。在目标识别问题中,依据图像 EPF 模 型理论计算图像边缘点的势场函数,若存在与模板图像相似的 形状时,产生的边缘区域的总吸引力就越高,能获得最佳匹配 结果。

2 最大互相关度量

两幅图像匹配时,选择恰当的相似性算法对匹配定位精度 至关重要。相关匹配算法将实时图像与预先存储的目标模板 图像作对比,以模板图像左上角的(0,0)像素为基准,根据相 似性度量式将模板图像在实时图像中逐像素计算。相关系数 在[-1,1]绝对尺度范围之间衡量两者之间的近似程度,越接 近1,两者越近似。

传统的相关函数^[11]是由对应的像素亮度的平均方差所组成,在点的邻近点之间运行。用*S*(*x*,*y*)表示实时图像*A*中左上角与目标图像*B*大小相同的子块对应的矩阵,ρ(*x*,*y*)表示*S*与*B*的相关系数,定义如下:

$$\rho(x,y) = \frac{\operatorname{cov}(S_{x,y},B)}{\sqrt{D_S D_B}}$$
(4)

其中: D_s 和 D_B 分别为S和B的方差, cov($S_{x,y}$,B)为S和B的协方差。

$$D_{S} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} (S(x, y) - S')^{2}$$
(5)

$$D_B = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} (J(x^{'}, y^{'}) - B^{'})^2$$
(6)

$$\operatorname{cov}(S,B) = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} (S - S') (J - B')$$
(7)

其中:S[´]和B[´]分别表示S和B的灰度均值。

虽然传统相关匹配法具有精确度高、鲁棒性强、易于硬件 实现等优点,但运算量大是制约其在机器视觉应用的主要原 因。本文针对这个缺点,引入图像 EPF 模型,充分利用了图像 中的边缘信息,使函数 $\rho(x,y)$ 的峰值尽量锐化,同时降低了运 算复杂度,满足了机械臂目标检测实时图像匹配系统的要求。

3 基于图像 EPF 模型与最大互相关的目标相似性 匹配方法

3.1 问题描述

在机械臂多目标并存协同检测识别的自动配准问题中,针 对给定的两幅待配准图像 $A \to B$,其中 $A \to D$ 如应机器视觉系统采 集的一幅 $M \times N$ 实时场景图(记为 I(x,y)), $B \to D$ 应一幅 $m \times n$ 目标模板图(I(x',y')),为解决指定形状目标识别的准确性和 实时性问题,根据边缘相关的图像配准算法^[12],提出一种基于 特征匹配的配准算法。

特征匹配的过程实际上是一个寻找最优对应关系的过程, 两幅待配准图像中分别有 i和 j个特征点(通常情况下 $i \neq j$), 则如何确定两幅图像中共有的 K 对相对应点的映射关系即为 机器视觉配准定位要解决的问题。其基本过程如下:

a)目标描述的问题,即如何表述图像中的目标;

b)求解对应性问题。

该方法关键点在于:a)匹配特征的选取与描述,它是形状 匹配的基础,直接影响匹配结果的正确性;b)确定合适的相似 性测度。本文提出基于图像 EPF 模型的目标描述与最大互相 关度量相结合的图像配准方法来实现机械臂目标识别。该方 法从减少相关系数计算量和减少搜索点两个方面改善了相关 匹配度量,从而满足图像匹配系统实时性的要求。

3.2 算法设计

3.2.1 基于 EPF 模型的特征描述

针对不同形状目标识别问题,边缘特征因信息量少且充分 利用图像特征信息被广泛应用于特征匹配算法中,在此采用 Canny 算子提取的目标图像特征像素点作为识别特征。

采用 Canny 算子提取目标图像 B 中物体边界上的 j 个离 散像素点集合构成物体边缘特征参数,构造矩阵 J:

$$\boldsymbol{J} = \left[X_1, X_2, \cdots, X_s \right] \subset R^2 \tag{8}$$

特征描述可理解为基于矩阵 J 的函数表示,以边界各离散 点 X_i 到形状内某一点 O 的距离 r_i 作为自变量,再定义一个与 各边界点相关的参量作为函数值。本文基于这一形状描述模 型,通过计算目标图像 B 边缘点的势场函数,依据图像 EPF 模 型优化表述目标特征。

图 1 所示即为基于图像 EPF 模型的待识别目标轮廓描述 图。其中,(a)为待识别目标图像 B,(b)为采用 Canny 算子的 目标边缘检测图,(c)为基于 EPF 的目标形状描述。图中 XY轴为边缘点坐标,Z轴为依据式(3)计算的边缘点势场函数值, 为简化计算式,O 自定义取值(0,0),N 计算结果为 1.5945e + 004。

3.2.2 基于最大互相关的相似性计算

解决了目标描述的问题后,如何正确地建立特征点的对应 关系是最终准确配准图像的关键,即找到K对相对应点在A图上的映射关系。通常机器视觉系统采集图像的变形主要是 仿射变换,因此两幅待配准图像的坐标系之间的关系(X, Y) \rightarrow (X', Y')可由一个仿射变换模型^[13]来描述,定义如下:

$$\begin{bmatrix} x'\\ y' \end{bmatrix} = s \times \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta\\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x\\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} tx\\ ty \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} x & y & 1 & 0 \\ y & -x & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s\cos\theta & s\sin\theta & tx & ty \end{bmatrix}^{\mathrm{T}}$$
(9)

其中:仿射变换参数 $C = [scos \theta ssin \theta tx ty]^{T}$; s 为缩放比 例; θ 为旋转角度; $tx \ ty$ 分别为 $x \ n y$ 方向的平移因子。判断 图像 $A \ n B$ 的控制点坐标在最大互相关度量约束下是否满足 给定变换模型 T 所描述的几何关系。



(a)目标图像原图 (b)目标边缘检测结果图 (c)EPF形状描述图 图1 基于EPF的目标形状描述结果

物体模型与图像特征之间的匹配主要是如何定义和计算 相似性程度的问题。上一小节基于图像 EPF 模型计算得到目 标图像 B 边缘点的势场函数,在此将仿射变换参数 C 作用于 实时图 A 的边缘检测图得到变换后的边缘图 C(I(x,y)),目标 图边缘点落在实时图上时,在实时图上遍历所有可能的位置, 通过求互相关系数判断两点之间的相似性。将上述特征点之 间在变换模型约束下获得的关系值用 σ 来表示,即

$$\sigma = \rho(I_i, T(J_j, c)) \tag{10}$$

其中: I_i 表示图像 A 中特征点集合; $T(J_j,c)$ 表示轮廓点经变换 模型变换到 A 图中得到的像素点坐标; $\rho(\cdot)$ 表示相关度量, 当它出现峰值即最佳匹配位置,将相似性最大区域复制到源图 像中。

相关匹配算法的总计算量为

总计算量 = 相关度量的计算量 × 搜索位置数

在这个算法中引入了图像的边界信息,大大减少了特征点 对的相似性计算,节约了匹配时间。

3.3 算法的实现

将本文所提图像配准算法应用于机械臂目标识别中,实现 指定形状目标识别功能。其具体步骤分为边缘特征检测、基于 EPF 特征描述、计算边缘相似性和特征匹配,从而完成整个目 标识别过程。整个算法结构如图2所示。



算法具体步骤为:

a)采用 Canny 算子分别对实时图 A 和目标图 B 边缘检测。
 b)根据式(3)建立目标图 B 的基于图像 EPF 模型的形状 描述,如图 1(c)所示。

c)实时图 A 的边缘特征根据式(9)进行几何变换为图像 C,逐个扫描 C 中像素点对应的模板子图,并依据式(4)计算相 似性。

d)循环步骤 c),直到处理完所有像素点,依据式(10)最大 互相关判断相似性,σ最大的像素点为最佳匹配点 P。

e)记录最佳匹配点 P,最终画出目标物体所在的区域。

4 实验结论与分析

选用了在机械臂目标识别过程中可能出现的两种典型畸 变情况(噪声、旋转)考察本文算法的有效性。实验1初始化 s = 5%, $tx = ty = \theta = 0$ 。实验2初始化s = 5%, $\theta = 30$, tx = ty = 0。 测试环境为 Windows XP Professional, Intel T2130@1.86 GHz, 内存1 GB 的 PC。用于测试的实时图如图 3(a)所示,大小为 640×480;(b)为模板图像,大小为150×330。实验结果如图 4 所示,其中(a)为实时图添加椒盐噪声的匹配结果,得最佳匹配 配点 P[129,346];(b)为实时图旋转的匹配结果,得最佳匹配 点 P[139,358]。图中用黑色矩形框表示识别目标物体所在位 置。



结果表明,当图像对之间存在噪声、旋转的干扰时,使用基 于 EPF 最大互相关算法均可获得正确匹配结果,具有一定的 鲁棒性和抗畸变能力。在计算时间上,算法基于 EPF 的特征 描述大大减少了特征点对的相似性计算,与传统互相关匹配算 法 20 次实验结果相比,本文算法平均用时 0.58 s,传统算法用 时1.527 s。配准图像之间相关性分布如图 5 所示,*XY* 轴为特 征点映射在实时图中的像素点坐标,*Z* 轴为两特征点对依据互 相关搜寻到的最大相似性值 σ。



从图 5 中可以很清楚地看到,传统互相关算法进行轮廓匹 配存在峰值范围过宽和多个峰值的情况,本文算法进行图像配 准很好地解决了这个问题,使峰值尖锐化,而且不存在多个峰 的情况,这样就能快速精确地得到图像匹配位置,具有一定的 鲁棒性和稳定性。

5 结束语

本文将 EPF 描述算子和最大互相关度量相结合,提出了 一种适用于复杂背景下工业机械臂视觉系统 (下转第4800页)

表	長5 模型	2 预测的	分类表
观测值	预测值		
	1	0	预测准确率/%
1	26	4	86.7
0	3	17	85
综合预测准确率/%			84

6 结束语

针对前视红外目标匹配精确制导技术中图像质量建模的 问题,本文从算法的角度分析了图像质量建模需要采用的指 标。由于几个较为常用的算法性能评价参数在单帧前视红外 目标匹配算法的具体应用中发生了退化,采用目标正确匹配概 率 *p* 作为图像质量的直接度量,并由此建立了图像质量预测的 Logistic 回归模型。实验表明,该模型具有较高的预测准确率。

经过逐步回归,最终的图像质量预测模型只剩下了体现目标局部凸显程度的目标背景对比度(STBC)指标,由此可以看出目标局部凸显程度准则在图像质量预测中的重要性;同时也表明,对于这类基于区域的目标匹配算法来说,把目标从局部区域中分割出来是检测的关键。虽然文献[8]中已经发现TBC是传统图像质量度量指标中最重要的一个,但是并未建立图像度量模型,而且STBC可能并不是图像质量预测模型中唯一重要的指标。为了进一步提高预测准确率,后续研究还会将新的指标加入模型。

参考文献:

- [1] RALPH S K, EATON R, SNORRASON M, et al. Evaluation testbed for ATD performance prediction [C]//Proc of SPIE Defense and Security Symposium. Washington DC:SPIE,2007: 656611.
- [2] PETERS R A. Image complexity measurement for predicting target detectability [D]. Arizona: Department of Electrical and Computer Engineering, University of Arizona, 1988:45-50.
- [3] RALPH S K, IRVINE J, SNORRASON M, et al. An image metric-

(上接第4763页)目标检测的特征匹配方法。该方法以目标模 板为先验知识,避免了复杂的图像分割步骤。相比于传统方法 具有速度快、精准度高的优点。实验证明,该算法能够有效地 利用单边缘点的联合效应降低运算复杂度,在高随机噪声以及 旋转背景的原始图像中快速进行轮廓匹配,进而实现精准目标 检测。

参考文献:

- [1] 文贡坚,吕金建,王继阳.基于特征的高精度自动图像配准方法
 [J].软件学报,2008,19(9):2293-2301.
- [2] 周志强,汪渤.一种基于鲁棒 Hausdorff 距离的目标匹配算法[J].
 计算机应用,2009,29(1):86-88.
- [3] 葛森,黄大贵.基于最大互信息方法的机械零件图像识别[J].电 子科技大学学报,2007,36(4):801-804.
- [4] 赵振民,彭国华,符立梅.基于形状模板的快速高精度可靠图像匹 配[J].计算机应用,2010,30(2):441-444.
- [5] 赵东保,贺添,张卡.基于复数矩的形状轮廓描述与匹配方法[J]. 四川大学学报:工程科学版,2011,43(2):109-115.
- [6] 陈楸,王晓璨,马松辉.基于引力场模型的图像匹配方法[J]. 计算 机仿真,2011,28(1):88-91.

based ATR performance prediction testbed[C]//Proc of the 35th Applied Imagery and Pattern Recognition Workshop. Washington DC: IEEE Computer Society,2006:119-121.

- [4] EATON R, SNORRASON M, IRVINE J, et al. Advancement in ATD performance prediction [C]//Proc of SPIE. Washington DC: SPIE,2008;696704.
- [5] IRVINE J, NELSON E. Image quality and performance modeling for automated target detection [C]//Proc of SPIE. Washington DC:SPIE, 2009:73350L.
- [6] SUN S G, KWAK D M. Automatic detection of targets using centersurround difference and local thresholding[J]. Journal of Multimedia,2006,1(1):16-23.
- [7] 孙继银,孙向东,王忠,等.前视红外景象匹配技术[M].北京:科
 学出版社,2011:230-233.
- [8] 李敏.自动目标识别性能评估中的图像度量方法研究[D].武汉: 华中科技大学,2006:16-17.
- [9] 熊斌,丁晓青,王生进.基于三维模型的前视红外目标匹配识别方 法[J].激光与红外,2011,41(3):344-350.
- [10] CLARK L G, VELTEN V J. Image characterization for automatic target recognition algorithm evaluations [J]. Optical Engineering, 1991,30(2):147-153.
- [11] 王济川,郭志刚. Logistic 回归模型——方法与应用[M]. 北京:高 等教育出版社,2001.
- [12] CHEN Yin, CHEN G, BLUM R S, et al. Image quality measures for predicting automatic target recognition performance [C]//Proc of IEEE Aerospace Conference. Washington DC: IEEE Computer Society, 2008:1-9.
- [13] YANG Xiao-yu, ZHANG Tian-xu, LU Ying. Buliding recognition based on geometric model in FLIR image sequences [J]. Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves, 2009, 30 (5): 468-483.
- [14] YANG Xiao-yu, ZHANG Tian-xu, LU Ying. Method for building recognition from FLIR images [J]. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 2011, 26(5):28-33.
- [7] RAMANATHAN M. Matching of shapes bound by freeform curves
 [J]. Computer-Aided Design and Applications, 2012, 2(9):133-146.
- [8] DAO M S, De NATALE F G B, MASSA A. MPEG-4 video retrieval using video-objects and edge potential functions [C]//Proc of Multimedia:Lecture notes of PacificRim Conference. 2004;550-557.
- [9] DAO S M, De NATALE F G B, MASSA A. Edge potential functions and genetic algorithms for shape-based image retrieval [C]//Proc of International Conference on Image Processing. 2003;729-732.
- [10] XU Chun-fan, DUAN Hai-bin. Artificial bee colony (ABC) optimized edge potential function (EPF) approach to target recognition for lowaltitude aircraft [J]. Pattern Recognition Letters, 2010, 31 (13): 1759-1772.
- [11] 殷松峰,王一程,曹良才,等.基于快速傅里叶变换和积分图的快速相关匹配[J].光子学报,2010,39(12):2246-2249.
- [12] 李壮,朱宪伟.基于边缘相似性的异源图像匹配[J].飞行器测控 学报,2011,30(2):37-41.
- [13] 吕金建,文贡坚,李德仁,等.一种新的基于空间关系的特征匹配 方法[J]. 测绘学报,2008,37(3):367-379.