

基于投影特征的快速图像匹配方法

杨光,田地,李军,杨红生

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院,长春 130062)

摘要:为了减少现有投影法模板中的冗余像素和匹配过程中无效的投影计算,提出了一种基于投影特征的快速图像匹配方法。基于投影法匹配原理和目标物体最小纵横比矩形特性,构造出平行四边形模板,并应用四方向链码实现该模板的投影变换;在图像匹配过程中,基于模板投影数据的取值范围和动态阈值序贯相似性检测原理,实现投影变换过程中灰度值的实时判定。实验结果表明,本文提出的方法与其他图像匹配算法相比在运算速度上优势显著。

关键词:计算机应用;图像匹配;投影特征;平行四边形模板

中图分类号:TP391 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5497(2010)05-1340-05

Fast image matching method based on projective feature

YANG Guang, TIAN Di, LI Jun, YANG Hong-sheng

(College of Instrumentation and Electronic Engineering, Jilin University, Changchun 130062, China)

Abstract: To reduce the redundant pixels in the template of existing projection methods and the invalid projection calculation in matching process, a fast image matching method based on projective feature is proposed. This method is based on the projection matching principle and target object's characteristics of the minimum aspect ratio rectangle. It constructs a parallelogram template and uses 4-direction chain code to achieve the template projection transformation. In the process of image matching, based on the value range of the data gotten after template projection and dynamic threshold sequential similarity detection principle, real-time gray value judgment is realized during the projection transformation. Experiment results show that, compared with other image matching algorithms, the proposed method possesses significant advantage in computational speed.

Key words: computer application; image matching; projective feature; parallelogram template

图像模板匹配技术广泛应用于机器人视觉、飞行器巡航制导和自动化监测等领域^[1]。其中基于图像灰度值投影的匹配方法以其算法实现简单、运算速度快、检测精度高等优点一直被不断地改进和采用^[2-3]。目前,应用投影特征的图像匹配算法主要有:①基于一维差分特征字符串的快速投影法^[4],该方法较传统的投影法在计算速度上

有明显改善;②基于投影法的差分图像定位算法^[5],通过图像识别理论实现了对运动图像的快速定位;③利用投影特征实现车牌识别^[6]和 fMRI 数据处理^[7]等,此类算法在其各自的领域内获得了较好的应用效果。但是,上述算法存在两个问题:①模板图形大都采用过于简单的标准的矩形模板,导致在模板图像中引入过多的冗余像素,降

收稿日期:2009-11-10.

基金项目:国家科技基础条件平台建设重点项目(2004DKA10010,2005DKA10103).

作者简介:杨光(1983-),男,博士研究生。研究方向:计算机视觉,分布式测控。E-mail:yangguang_jlu@163.com

通信作者:田地(1958-),男,教授,博士生导师。研究方向:分析仪器,分布式测控。E-mail:tiandi@jlu.edu.cn

低了算法的整体性能;②先投影后判断的匹配流程在淘汰明显非匹配点时存在大量的冗余计算。针对上述问题,本文提出了一种平行四边形模板的构造方法,并对原有的匹配流程进行了改进。

1 平行四边形模板的设计

1.1 理论分析

图像的投影变换就是对图像中某一特定方向上像素的灰度值求和,将二维的图像灰度值转化为一维的数据。假设源图像 $P(x, y)$ 的大小为 $N \times M$,模板图像 $T(i, j)$ 的大小为 $V \times S$,以向 X 轴投影为例,根据投影法匹配原理可知,在源图像中匹配 $N \times S$ 个像素的投影计算量为

$$I = V(N - V + 1) \quad (1)$$

因为 V, N 远大于 1,所以该公式近似为

$$I = VN - V^2 \quad (2)$$

对 V 求导可得

$$\frac{dI}{dV} = N - 2V \quad (3)$$

根据导数的定义得出,算法计算量 I 在 $V = N/2$ 时达到极值,而且随着 V 在 $(1, N/2)$ 区间内单调递增。由于一般模板尺寸远小于源图像尺寸,即 $V \in (1, N/2)$,所以目标模板尺寸越小,投影法的计算量越低,算法的运算速度越快。

1.2 最小纵横比矩形特性

目前的图像匹配算法中,模板的选取大都是基于目标物体的 X-Y 纵横比来构建一个矩形区域的,见图 1(a)。从图中可以看出,在针对不规则的目标物体时,这种模板选取方式会引入大量的冗余像素,增大模板尺寸。根据 1.1 节得出的结论可知,缩小模板尺寸有助于提升投影法的计算速度,所以在构建模板时引入目标物体的最小

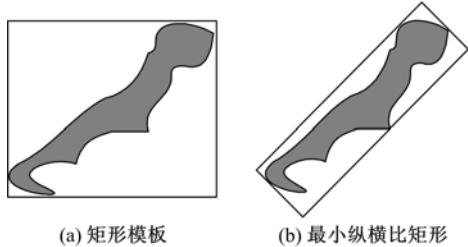


图 1 矩形模板和最小纵横比矩形

Fig. 1 Rectangular template and the minimum aspect ratio rectangle

纵横比^[8]概念:包含目标物体且面积最小的矩形的长宽比。如图 1(b)所示,该模板包含的冗余像素数量较图 1(a)中的模板明显减少。最小纵横

比的计算是一个复杂的极值搜索问题,如果把区域视为点在椭圆上的分布,就可以通过 K-L 展开式计算数据点的一组协方差矩阵的特征值^[8],其中最大特征值所对应特征向量的方向角,代表目标物体最小纵横比矩形的长边与 X 轴的夹角。

1.3 模板的构造方法

目标物体的最小纵横比矩形无法实现标准的水平投影或垂直投影,这会增加算法实现的难度,降低图像匹配速度。因此本文通过增加少量冗余像素,将原有的不规则矩形转换成有一组平行边平行于 X 轴或 Y 轴的平行四边形。经过变换后的模板可以沿着 X 轴或 Y 轴方向进行标准投影变换。每一个最小纵横比矩形都存在 4 个这样的平行四边形,如图 2 所示。

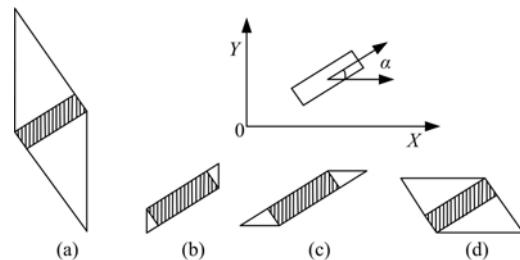


图 2 基于最小纵横比构建的 4 个平行四边形模板

Fig. 2 Four parallelogram templates based on the minimum aspect ratio

图 2 中阴影部分为一个目标物体的最小纵横比矩形,假设该矩形长 a 、宽 b ,长边与 X 轴夹角为 α 。选取面积最小的平行四边形方法如下:

(1) 根据最小纵横比矩形与 X 轴的夹角 α 以及三角形面积计算公式得出 4 个平行四边形增加的冗余面积的计算公式依次为

$$\begin{cases} S_a = a^2 |\cot\alpha| \\ S_b = b^2 |\tan\alpha| \\ S_c = b^2 |\cot\alpha| \\ S_d = a^2 |\tan\alpha| \end{cases} \quad (4)$$

(2) 因为 $a > b$,所以 $S_a > S_c, S_d > S_b$,固先舍去平行四边形 a 和 d 。

(3) $\alpha \in (0, \pi/4) \cup (3\pi/4, \pi)$ 时,由于 $|\cot\alpha| > |\tan\alpha|$,所以 $S_c > S_b$,模板选择(b);当 $\alpha \in (\pi/4, 3\pi/4)$ 时,由于 $|\tan\alpha| > |\cot\alpha|$,所以 $S_b > S_c$,模板选择(c)。

1.4 平行四边形模板构造的复杂度分析

平行四边形模板与矩形模板的主要区别在于每行(列)投影起始点的确定。由于平行四边形的另一组平行边与 X 轴成一定角度,不能简单地通

过水平或垂直找点确定投影起始点,所以本文引入四方向链码^[9]对其描述,如图 3 所示。

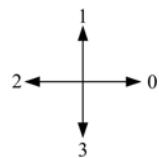


图 3 四方向链码

Fig. 3 Four-direction chain code

在对边界进行描述时首先要确定几个初始条件:链码描述的起始点、投影方向、链码搜索的主方向和次方向。根据斜边与 X 轴夹角的不同,初始条件的选择也不同,具体的选择方法见表 1。

表 1 边界描述初始条件

α 取值	$(0, \frac{\pi}{4})$	$(\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2})$	$(\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{4})$	$(\frac{3\pi}{4}, \pi)$
模板图形				
起始点	左上	右下	左下	右上
投影方向	Y-	X-	X+	Y-
主方向	1	0	2	1
次方向	0	1	1	2

具体算法步骤如下:

- (1)首先在模板图形中确定搜索的起始点。
- (2)按照投影方向进行像素灰度值累加。
- (3)以当前点为基础搜索主方向是否具有有效像素点。
- (4)如果主方向存在有效像素点,转步骤(3);如果主方向没有,则标定当前点为投影起始点,转步骤(2)后,再转步骤(5)。
- (5)以步骤(4)的当前点为基础寻找次方向的有效像素点,如果存在,转步骤(3);否则算法结束。

经过上述计算步骤后,不仅完成了模板的投影计算,而且平行四边形投影的起始点可以通过一个由 0、1 或 1、2 组成的字符串来表示,其中 0 或 2 前面表示的点即为投影起始点,在匹配过程中,源图像的子区域可以按照链码寻找每一行(列)的投影起始点。

虽然平行四边形模板的构造过程较为复杂,但是模板的构造几乎不要求实时性,而且在实际应用中只需要构造一次即可。相反,模板与源图像的匹配过程要求较高的实时性,而且在应用中

是一个无限次的循环过程。本文的设计思想就是要牺牲模板的构造效率来提升模板与源图像的匹配速度,从而提升图像匹配算法的整体性能。

2 冗余计算量的两点改进

2.1 投影变换过程中冗余计算量的改进

传统的投影法需要在待匹配区域内对所有像素进行投影计算后才能进行图像匹配,这种实现方式在明显的非匹配区域内存在大量的冗余计算。本文针对这一弊端,应用模板投影数据的取值范围,提出了一种在非匹配点投影计算提前退出的算法,结合图 4,可将算法分为以下 5 个步骤:

(1)确定模板经投影变换后的极值 F_{\max} 和 F_{\min} 。

(2)将待匹配区域在投影方向上分为 N 段,每段的最后一个像素称为段尾像素,并进行投影计算。

(3)当投影计算达到段尾像素时,将当前灰度和 F 与 F_{\max} 比较。如果 $F > F_{\max}$,将非匹配行的计数器加一,并放弃该行的剩余计算。如果 $F < F_{\max}$,继续对下一段像素的灰度值累加,重复上述判断。

(4)当该行投影计算完毕时,如果 $F < F_{\min}$,非匹配行计数器加一。

(5)在该子区域的计算过程中,如果非匹配点计数器超过预先设定的阈值,则视为整个区域无效,直接转到下一待匹配区域内进行投影计算。

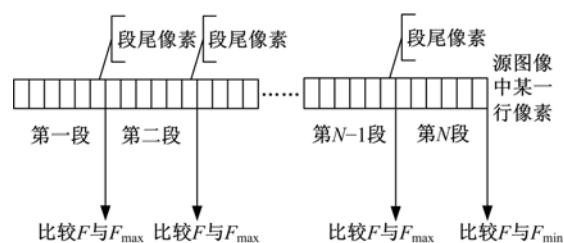


图 4 行像素分段

Fig. 4 Test image

步骤(3)和(5)在投影变换过程中,加入了动态灰度值判定,在明显的非匹配区域,无需完成所有点的投影计算便可以淘汰该区域,算法速度明显提升。

2.2 匹配过程中冗余计算量的改进

传统的投影法在匹配经过投影变换后的区域时,需要将该区域的一维数据与模板投影后的一

维数据进行逐个比对, 这种匹配方法效率较低, 而且存在大量的无效计算。本文应用动态阈值序贯相似性检测原理(SSDA)^[10], 对匹配算法进行改进, 尽快排除非匹配点, 算法实现流程如下:

(1) 设定最大累计次数 r , 初始误差阈值 T , 误差阈值增量 Δt 。

(2) 在待匹配的一维数组中随机选取一个元素 $S(n)$, 并且从模板中相对应位置取出 $M(n)$ 。定义误差为

$$\epsilon = |S(n) - M(n)| \quad (5)$$

(3) 构造误差和函数 T_ϵ 和动态阈值 T_k

$$\begin{cases} T_\epsilon = \sum_{i=0}^n \epsilon_i \\ T_k = T + n \cdot \Delta t \end{cases} \quad (6)$$

将每一次计算后的 T_ϵ 与 T_k 比较, 将 $n < r$ 且 $T_\epsilon > T_k$ 的区域视为非匹配区域; 将 $n = r$ 且 $T_\epsilon < T_k$ 的区域视为准候选区域。

(4) 对准候选区域实施精确匹配计算, 确保检测精度。

3 测试与应用

3.1 实验环境

测试环境为 CPU P4 2.0 GHz、内存 1 Gbit、开发环境 VC6.0、操作系统 Windows XP。从标准图像库中选取 4 幅 256 级灰度图像作为测试图像, 如图 5 所示, (a) 为 512 像素 \times 512 像素 Lena 图像, (b) 为 256 像素 \times 256 像素 Camera 图像, (c) 为 720 像素 \times 576 像素 Boats 图像, (d) 为 512 像素 \times 512 像素 Plane 图像。



图 5 测试图像

Fig. 5 Test image

图 5 中 4 幅图像的待检测目标分别是 Lena 图像中的帽沿、Camera 图像中的三脚架、Boats 图像中的桅杆和 Plane 图像中的飞机机身。图 6 分别给出了 4 幅图像中待检测目标物体的矩形模板和平行四边形模板。

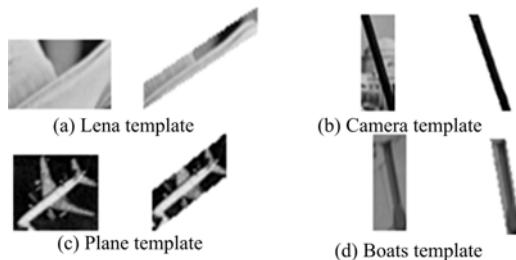


图 6 模板图像

Fig. 6 Template image

3.2 矩形模板与平行四边形模板对比测试

选取标准投影法和差分投影法^[4]对 4 幅图像的矩形模板和平行四边形模板进行了 100 次对比测试, 实验结果见表 2。

表 2 算法平均运算时间

Table 2 Average operation time of algorithm s

测试	标准投影法		差分快速投影法	
	图像	矩形模板	平行四边形模板	矩形模板
Lena	48.115	16.065	0.979	0.203
Camera	10.375	3.756	0.156	0.049
Boats	82.359	27.012	1.145	0.424
Plane	51.663	17.806	0.703	0.212

由表 2 的实验结果可以看出, 无论是标准的投影法还是差分投影法, 应用平行四边形模板在算法的计算速度上比应用矩形模板大约提升了 3 倍。每种算法的匹配过程相同, 只是模板选取的形状不同, 该实验可以证明, 平行四边形模板有助于提升基于投影特征的图像匹配算法的运行速度。

3.3 算法整体性能测试

实验的源图像采用 3.1 节中的 Lena 头像, 分别用模板匹配法、标准的投影法、SSDA 算法和差分投影法与本文提出的快速投影法进行对比测试。其中本文算法采用平行四边形模板, 其余算法均采用矩形模板, 实验结果如表 3 所示。可以看出, 本文提出的算法较其他 4 种图像匹配方法在运算速度上具有明显优势。

表 3 几种匹配方法运行结果比较

Table 3 Executing results comparison of several kinds of matching method

测试	平均运算时间/s				
	模板匹配法	标准投影法	SSDA	差分投影法	本文算法
Lena	216.298	50.125	9.832	0.681	0.118
Camera	52.195	10.375	2.601	0.169	0.028
Boats	356.235	82.359	15.126	7.039	0.198
Plane	214.302	51.663	10.369	0.715	0.123

3.4 算法应用

基于本文提出的图像匹配算法研制出的大型科学仪器工作状态记录器已在陕西省地质矿产实验研究所、吉林大学等单位投入试运行, 详情见“大型科学仪器工作状态监测系统”网站。下面给出陕西省地质矿产实验研究所的应用实例。

以该单位的日本理学 ZSXPrimus II 型 X 射线荧光光谱仪为例, 将本文提出的算法用于仪器工作站屏幕图像的实时监测。仪器工作站屏幕图像如图 7(a)所示, 目标模板图像为样品经 X 射线照射后反射的荧光图像, 如图 7(b)所示。



图 7 工作站屏幕图像和模板图像

Fig. 7 Screen image of workstation and template image

记录器对工作站屏幕进行实时的图像匹配, 目的是监测仪器有效工作的机时。对一周的实验记录进行统计发现, 记录器记录的开关机次数与实验员手动记录的开关机次数完全吻合, 说明本文提出的算法检测准确率达到 100%。

4 结束语

本文提出了一种基于平行四边形模板的快速图像匹配方法, 虽然该方法在模板构造时比较复杂, 但是却有效地提升了匹配过程的运算速度。该算法还具有实现简单、占用内存小、检测准确率高等优点, 适合在智能机器人、生产线自动化检测和实时监控等领域应用。

参考文献:

- [1] Shi Hong-yan, Zhao Li-hong, Su Xiao-ming, et al. Design and realization of image matching based on GMPT algorithm[C]//Control and Decision Conference, China: IEEE Press, 2008.
- [2] Fuh C S, Liu H B. Projection for pattern recognition[J]. Image and Vision Computing, 1998, 16(9/10):677-687.
- [3] Jia Xiao-guang, Nixon M S. Extending the feature vector for automatic face recognition [J]. IEEE Transon Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1995, 17(12):1167-1176.
- [4] 孙远, 周刚慧, 赵立初, 等. 灰度图像匹配的快速算法[J]. 上海交通大学学报, 2000, 34(5):702-704.
Sun Yuan, Zhou Gang-hui, Zhao Li-chu, et al. Fast template matching algorithm based on the projection [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2000, 34(5):702-704.
- [5] 刘新海, 方康玲. 一种基于投影法的差分图像定位算法[J]. 计算机应用与软件, 2004, 21(7):87-88.
Liu Xin-hai, Fang Kang-ling. A difference image algorithm for target positioning based on profile projection [J]. Computer Application and Software, 2004, 21(7):87-88.
- [6] 冯国进, 顾国华, 郑瑞红. 基于自适应投影法的快速车牌定位[J]. 红外与激光工程, 2003, 32(3):285-287.
Feng Guo-jin, Gu Guo-hua, Zheng Rui-hong. Fast license plate location algorithm based on adaptive projection[J]. Infrared and Laser Engineering, 2003, 32(3):285-287.
- [7] Chen Hua-fu, Yao De-zhong. A fMRI data processing method using projection technique[C]// International Conference on Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing. Changsha, China: IEEE Press, 2003.
- [8] Snyder Wesley E, Qi Hai-rong. Machine Vision [M]. Cambridge, England: Cambridge University, 2004.
- [9] 邹黎黎, 唐棣. 基于六角网格的一种新链码编码方法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(13):73-75.
Zou Li-li, Tang Di. New chain code based on hexagonal grid[J]. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(13):73-75.
- [10] Brown L G. A survey of image registration techniques[J]. ACM Computing Surveys (CSUR), 1992, 24(4):325-376.