

基于线性不变矩和角度向量的立体匹配算法^①

张令涛^② * ** *** 曲道奎 * ** 徐 方 * **

(* 中国科学院沈阳自动化研究所 沈阳 110016)

(** 沈阳新松机器人自动化股份有限公司 沈阳 110168)

(*** 中国科学院研究生院 北京 100049)

摘 要 针对室内场景双目立体匹配有别于一般场景立体匹配的特殊性,提出了一种计算简便、准确度高的立体图像匹配算法。该算法首先利用 canny 算子检测物体的边缘,根据边缘的线性不变矩寻找出目标物体,然后提取出目标物体轮廓的特征点,利用角度直方图计算出左右图像的旋转角度,最后利用角度向量实现左右图像的对应像素点的匹配。线性不变矩有效地将计算复杂度由二维降低到一维,大大降低了计算量。角度向量的提出降低了特征点匹配的复杂度,而且计算简便,准确率高。实验表明,该算法对图像的缩放、旋转、平移均免疫,具有较高的识别精度和良好的抗干扰性,计算效率高于传统方法,有着较高的应用价值。

关键词 线性不变矩,角度向量,立体匹配,角度直方图

0 引 言

室内移动机器人立体视觉导航是当今研究的热点之一,图像匹配是立体视觉三维重建中的重要部分^[1-3]。立体视觉中双目图像的匹配算法是图像处理算法中研究最热门的研究之一。目前图像匹配方法主要分为两类:基于灰度相关的匹配和基于特征的匹配。基于灰度相关的匹配能够获得较高的定位精度,但是它计算量大,难以达到实时性要求,而且一旦进入信息贫乏的区域,会导致误匹配率的上升。为克服基于灰度相关匹配方法的缺点,人们提出了基于特征的匹配方法,该类方法首先从待配准的图像中提取特征,用相似性度量和一些约束条件确定几何变换,最后将该变换作用于待匹配图像。

目前应用比较成功的特征算子是尺度不变特征变换(scale invariant feature transform, SIFT)算子,该算子不仅具有尺度、旋转、仿射、视角、光照不变性,对目标的运动、遮挡、噪声等因素也保持较好的匹配性。该算子目前已广泛应用于机器人定位和导航、地图生成以及三维目标识别中^[4]。SIFT 算子的一个重要特点是匹配点多而且稳定,这对于三维目

标重建以及复杂目标识别比较有利,由于它使用 128 维向量来表示每个特征点,处理的数据量大大增加,对于无需太多匹配点且实时性要求比较高的室内移动机器人立体匹配来说,存在一定的局限性。同时,室内移动机器人立体视觉匹配有别于一般立体视觉匹配的特殊性:室内多是一些家具、门窗等一些规则几何形状的物体。因此本文提出了一种计算简便、准确度高的图像匹配算法。本算法基于线性不变矩和角度向量。线性不变矩,有效地将计算复杂度由二维降低到一维,大大降低了计算量。角度向量的提出降低了特征点匹配的复杂度,提高了图像匹配的准确率。

1 线性不变矩

矩作为常用的二维图像分析工具,是一种非常重要的表示目标总体形状的特征量。二维图形的几个关键特征均直接与矩有关,如图像的大小、形心和旋转情况,等等。不变矩由于概念清晰,识别率稳定,对具有旋转和缩放变化的目标有良好的不变性及抗干扰性,已成为图像识别的重要研究方向^[5]。由于传统的不变矩是一种基于区域的矩(称之为面

① 863 计划(2007AA041701)资助项目。

② 男,1979 年生,博士生;研究方向:移动机器人视觉导航,图像处理,控制理论与应用等;联系人, E-mail: zhanglt@sia.cn
(收稿日期:2008-07-09)

矩),作为一种全局信息,当图像受到光照或噪音影响时,其信息变化较大,不能得到正确的识别结果,而且面矩的计算需要对整个图像存在区域进行计算,计算量较大,不利于实时处理。

线性不变矩主要利用目标图像的高频信息部分——边缘信息完成对图像的分析与理解,作为一种局部信息量,边缘信息受光照等外界影响较小^[6,7]。同面矩一样,线矩也具有仿射不变性,由于通常目标轮廓像素点的个数约为目标所有像素点的平方根,所以,用目标轮廓像素来表示其形状要比用目标区域内所有的像素点要高效得多。特别当目标可以用多边形来近似描述时,基于轮廓表示图像的优势更明显。线矩的基本计算公式为

$$m_{(p,q),L} = \sum_{i=1}^N x_i^p \cdot y_i^q \cdot \Delta l_i \quad (1)$$

上式中, $\Delta l_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}$, 且 Δl 为边界上小线段, N 为每一个线段上的像素个数。

本文采用的不变矩为 HU 不变矩,为了便于比较,利用取对数的方法进行数据压缩;实际采用的不变矩计算公式为

$$\phi = \lg |(\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2| \quad (2)$$

η 为 HU 不变矩。

2 角度直方图确定旋转角度

双目立体图像在经过线性图像矩的初步匹配后,已经找出了某个物体的左右图像对应的匹配边缘,为了进一步找到匹配点对,需要引进一个新的点特征量:角度向量。角度向量对旋转非常敏感,为了实现双目图像的点对的成功匹配,必须事先测量出双目图像的旋转角度。本文利用角度直方图确定双目图像的旋转角度^[8]。

2.1 定义相关矩阵

$f_1(x, y)$ 与 $f_2(x, y)$ 为目标物在双目图像中对应的图像, $p = (p_x, p_y)^t$ 和 $q = (q_x, q_y)^t$ 分别为图像 $f_1(x, y)$ 和 $f_2(x, y)$ 中的特征点。由于图像间的旋转对互相关计算影响很大,因此,将互相关函数作为估计图像间旋转角的指标参数,互相关函数定义如下:

$$\begin{aligned} \bar{C}_{f_1, f_2}(p, q, \theta) = & \frac{1}{\sigma_1 \sigma_2 (2M + 1)^2} \\ & \times \sum_{x', y' = -M}^M [f_1(x + p_x, y + p_y) - \mu_1] \\ & \times [f_2(x' + q_x, y' + q_y) - \mu_2] \end{aligned} \quad (3)$$

其中, μ_i 与 σ_i 是图像 $f_i(x, y)$ 在特征点 p 点或 q 点处的均值和方差, M 为计算互相关的图像窗口半径。 x' 与 y' 由 x, y 经旋转方程

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (4)$$

得到。

2.2 确定旋转角度

由检测出的边缘特征点及特征点的矢量方向,不难得出图像间的旋转角。设由双目图像 f_1 和 f_2 得到的特征点分别为

$$\begin{aligned} FP_{f_1} &= \{p_i = (p_x^i, p_y^i)^t\} i = 1, 2, \dots, N_{f_1} \\ FP_{f_2} &= \{q_i = (q_x^i, q_y^i)^t\} j = 1, 2, \dots, N_{f_2} \end{aligned} \quad (5)$$

其中 N_{f_1} 和 N_{f_2} 分别是双目图像 f_1 和 f_2 中的特征点数。计算旋转角度时,需要用到互相关函数,当 p_i 和 q_i 的互相关函数大于 0.8 时,表示 p_i 和 q_i 是一对匹配点。定义角度直方图 $H(\theta)$, 表示 FP_{f_1} 和 FP_{f_2} 中所对应的特征点对 $\{p_i \leftrightarrow q_i\}$ 在角度差为 θ 时的个数。根据角度直方图,若图像 f_1 与 f_2 间的旋转角为 $\bar{\theta}$, 则 $H(\bar{\theta})$ 在 H 处应存在峰值。反过来,若 $H(\bar{\theta})$ 在 H 处是最大值,则表示图像 f_1 与 f_2 间的旋转角为 $\bar{\theta}$ 。为了算法的稳健性,将 $H(\theta)$ 进行改进:

$$\bar{H}(\theta) = \sum_{i=-2}^2 H(\theta + i) \quad (6)$$

通过寻找 $H(\theta)$ 最大值所对应的角度可以估计图像间的旋转度。

3 角度向量寻找匹配点对

角度向量是为了实现立体图像特征点之间的匹配而引进的一个特征向量。本文中定义边缘特征点与该物体边缘的质心之间连线的向量和该边缘几何形状的主轴之间的夹角为该特征点的角度向量。角度向量的示意如图 1 所示。

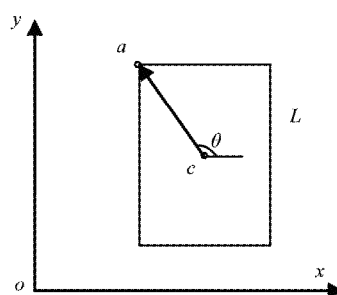


图 1 角度向量示意图

图 1 中, L 是提取出的物体边缘, c 是封闭边缘的形心, a 是边缘上的任意一点, a 点的角度向量定义为形心与 a 点之间的有向线段和 x 轴的夹角, 即角 θ 。在左右图像中分别计算出待匹配点的角度向量后, 可以利用角度向量实现特征点的匹配。首先定义目标函数 $F(x, y, \theta)$:

$$F(x_{Li}, y_{Li}, \theta_{Li}) = \min_{j=1,2,\dots,N_{f_2}} \sqrt{[\theta_{Li} - (\theta_{Rj} + \theta_R)]^2} \quad i = 1, 2, \dots, N_{f_1} \quad (7)$$

上式中, θ_{Li} 、 θ_{Ri} 分别为左右图像特征点的角度向量, θ_R 为根据角度直方图计算出的两幅图像的旋转角度。函数的作用是给定左图像中特征点 $a(x_{Li}, y_{Li}, \theta_{Li})$, 通过最小化目标函数, 寻找在右图像中对应的匹配点。目标函数的主体为左右特征点角度向量的均方差, 引进方差的目的是为了出现负数。在匹配过程中, 当目标函数小于 2 时寻找

到的对应特征点为匹配特征点, 否则为无对应匹配点。

4 实验结果

为了验证本文算法有效, 实验中用双目立体视觉系统采集了一些立体图像, 利用本文提出的匹配算法和 SIFT 匹配算法分别进行匹配, 在匹配效果和匹配所用时间上进行对比。

图 2 是通过立体相机得到的立体图像对, 图 3 是利用 SIFT 算法进行匹配得到的结果图像, 图 4 是利用本文所提出的算法得到的匹配结果。从图像上可以看出, 本文算法所提取的特征点少, 匹配精度比较高。经过大量的实验论证, 本文算法的匹配准确度在 95% 以上, 表 1 给出了两种算法的匹配时间对比。



图 2 立体图像对



图 3 SIFT 匹配结果



图 4 本文匹配方法结果

表 1 匹配时间对比

时间(s) 算法	1	2	3	4	5	6	平均
SIFT	11.341	11.027	11.246	11.419	11.105	11.544	11.28
本文算法	0.172	0.181	0.187	0.156	0.162	0.152	0.168

通过上面的对比可以看出,本文提出的算法可以有效避免大量的特征点计算,且匹配比较准确,适用于移动机器人室内导航或者利用路标进行导航时双目图像匹配^[9]。

5 结 论

传统的匹配算法需要提取出大量的特征点以保证匹配的成功,这需要大量的计算量,不适合应用在实时性要求比较高的导航中。而室内导航有区别于室外导航的特点:室内多是一些几何形状规则的物体,轮廓易于被提取出。正是基于这样的特点,本文提出了一种计算简便、准确度比较高的立体图像匹配算法。经过大量的实验证明,本算法有以下优点:一是计算简便;二是对于室内规则几何形状物体的物体匹配准确;三是角度向量对于左右图像的旋转、平移、缩放均免疫,很好地保证了匹配的成功。根据匹配时间对比可以看出,该匹配算法所用的时间比SIFT匹配算法所用时间减少了将近2个数量级,所以,本文算法对于室内移动机器人的实时导航非常有实用意义。

参考文献

[1] Scharstein D, Szeliski R. A taxonomy and evaluation of dense

two-frame stereo correspondence algorithms. *International Journal of Computer Vision*, 2002, 47(1/2/3): 7-42

[2] DeSouza G N, Kak A C. Vision for mobile robot navigation: A survey. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, 24(2): 237-267

[3] Jung I K, Lacroix S. A robust interest points matching algorithm. In: Proceedings of the 2001 8th International Conference on Computer Vision, Vancouver, Canada, 2001. 2. 538-543

[4] David G L. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(2): 91-110

[5] Rizon M, Yazid H, Saad P, et al. Object detection using geometric invariant moment. *American Journal of Applied Sciences*, 2006, 2(6): 1876-1878

[6] 李炳成,沈俊. 具有线性加法复杂度的二值图像不变矩计算方法. *自动化学报*, 1991, 17(4): 487-490

[7] Wen W, Lozzi A. Recognition and inspection of manufactured parts using line moments of their boundaries. *Pattern Recognition*, 1993, 26(10): 1461-1471

[8] Yu X Y, Guo L H. Image registration by contour matching using tangent angle histogram. In: Proceedings of the 2008 International Congress on Image and Signal Processing, Sanya, Hainan, China, 2008. 4. 746-749

[9] Leonard J J, Durrant-Whyte H F. Mobile robot localization by tracking geometric beacons. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 1991, 7(3): 376-382

A stereo matching method based on line moments and angle vector

Zhang Lingtao^{* ** ***}, Qu Daokui^{* **}, Xu Fang^{* **}

(^{*} Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016)

(^{**} Shenyang SIASUN Robot & Automation CO.LTD, Shenyang 110168)

(^{***} Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract

In view of the particularity of Indoor stereo matching, this paper presents an accurate and convenient stereo matching algorithm based on line moments and the angle vector. First, the algorithm finds the corresponding objects in stereo images by line moments, then calculates the rotation angle between matching contours by the angle histograms of the matching contours, and finally, finds corresponding matching points based on the angle vector. The complexity of calculation can be reduced from 2D to the 1D by using line moments, and the amount of calculation can be reduced greatly too. The angle vector is calculated simply and conveniently, making stereo matching accurate. It is proved by experiments that the stereo matching algorithm is immune from scale, rotation and translation.

Key words: line moments, angle vector, stereo matching, angle histogram