

一种基于区域颜色信息的宽基线立体匹配算法

李竹林, 刘彦保

(延安大学 计算机科学学院, 陕西 延安 716000)

摘 要: 立体匹配技术是立体视觉研究领域的难点, 利用图像的特征信息解决对应问题是研究的热点. 本文在提取基于边缘仿射不变区域检测器的基础上, 设计了基于区域颜色信息和几何信息的彩色图像立体匹配算法. 该算法首先对所提取的不变区域进行颜色空间量化, 在此基础上根据两种色彩之间的距离进行色彩聚类, 然后计算直方图的二次距离, 并进行相似性度量, 最后根据区域间几何性质进行误匹配剔除. 实验证明, 该算法能降低解决对应问题的复杂性, 提高正确匹配率. 该方法对于目标识别、三维重建、非接触测量等研究均具有重要的意义.

关键词: 宽基线; 立体匹配; 区域检测; 相似性度量

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)10-0074-04

A Wide Baseline Stereo Matching Algorithm Based on Color Information

LI Zhu-lin, LIU Yan-bao

(Institute of Computer Science, Yan'an University, Yan'an 716000, China)

Abstract: The stereo matching technology is the difficulty in the field of stereo vision, and using the features of image to solve the correspondence problem is the focus of research. The color image stereo matching algorithm based on the region color information and geometry information is designed. Its basic method is detecting the affine invariant regions based on edge firstly; then quantizing the color space of regions detected, clustering the color by the distance between two colors, and computing the square distance of color histogram to measure the similarity of the correspondence regions; finally, eliminating the error matching region by geometrical information of regions. The experiment result show the algorithm can reduce the complexity to solve the corresponding, and improve the correct match rate. The method is important to object recognition, 3D reconstruction and non-contact measurement research.

Key words: wide baseline; stereo matching; region detection; similarity measurement

1 引言

立体匹配技术是计算机视觉中关键的技术之一, 高效的立体匹配算法对目标的跟踪、识别、形状恢复及三维重建均具有重要意义. 目前, 立体匹配技术是立体视觉研究领域的热点和难点^[1-2]. 特别是宽基线条件下, 由于摄像机有旋转和较大平移变换, 同时透视变形使得目标的形状也产生变化. 另外, 由于拍摄时自然环境的不同, 会造成光照的变化等. 在这

种情况下, 不能直接使用基于窗口灰度的影像相关匹配算法进行匹配, 需要选择具有仿射不变特性的其他特征以及恰当的局部区域来支持立体匹配算法的实现.

文中首先构造仿射不变区域, 在此基础上利用区域的颜色信息和几何信息解决立体匹配的对应该问题. 由于 HSV 色彩空间具有视觉感知的一致性, 所以选择在 HSV 空间完成颜色的量化, 以降低计算复杂度, 然后根据色彩之间的距离对色彩进行聚类,

收稿日期: 2012-02-15; 修回日期: 2012-03-18

基金项目: 陕西省自然科学基金(2009JM8004-7); 陕西省教育厅项目(2010JK904)

并根据颜色直方图进行相似度测量.在得到初始匹配对应后,又利用区域间的拓扑性质剔除大量的误匹配,以得到更为准确的匹配对应区域.

2 图像特征提取算法

2.1 Harris 算子

从大量文献^[3-4]中可以看到,仿射不变特征检测器往往先提取影像的兴趣点.经典的兴趣点检测算子有 SUSAN 算子、Moravec 算子、Forstner 算子、Harris 算子等.其中 Harris 算子计算简单,稳定性好,且不受阈值影响.

Harris 算子^[5]是一种基于信号的角点特征提取算子,它是受信号处理中自相关函数的启发,给出与自相关函数相联系的矩阵 M ,该矩阵的特征值是自相关函数的一阶曲率,当横向和纵向的两个曲率值都很高时,就认为该点是特征点.其算法步骤描述如下:

Step1: 计算影像中每一个像素 (x, y) 的自相关矩阵 M

$$M = \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, $A = \left(\frac{\partial I}{\partial x}\right)^2 \otimes w$, $B = \left(\frac{\partial I}{\partial y}\right)^2 \otimes w$, $C = \left(\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y}\right) \otimes w$. $\otimes$ 是卷积符号, w 是高斯窗.

Step2: 构造角点的响应函数.对每一个像素点 (x, y) ,通过计算角点测度 $C(x, y)$ 来构造

$$C(x, y) = \det(M) - k(\text{trace}(M))^2 \quad (2)$$

其中, $\det(M) = \lambda_1 \lambda_2 = AB - C^2$, $\text{trace}(M) = \lambda_1 + \lambda_2 = A + B$, k 是常量.

Step3: 将 $C(x, y)$ 的值与给定的阈值进行比较,把结果大于阈值的像素点作标记(阈值的大小可以根据角点的个数决定).

Step4: 通过非极大值抑制剔除虚假角点.

Step5: 剩余的角点即为 Harris 特征点.

2.2 区域特征提取

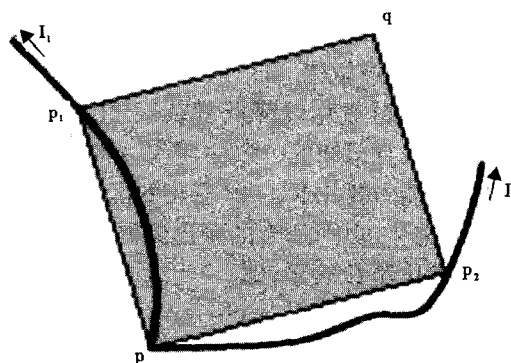
匹配基元的确定对于宽基线立体匹配技术中解决对应问题是非常关键的.点特征提取容易.但是,点由于包含信息量小,不具有明显的可区分特性.同时,在尺度变化较大的情况下,点的稳定性很难保持.所以一般情况下要考虑点的邻域信息.几种常用的提取仿射不变区域方法如下:基于角点的仿射不变检测方法^[6],首先提取角点,然后用二次矩阵的特征值测量点邻域的仿射区域,最后生成邻域椭圆区

域. J. Matas 等^[7]提出了一种最大稳定极值区域(MSER)的宽基线匹配算法.该极值区域具有几何仿射变换或亮度仿射变换不变的性质,适用于有尺度变化、非平面区旋转、遮挡、局部各向异性等场景. T. Tuytelaars 等人提出了基于边缘的区域检测器^[4].其基本思想是从角点 p 的两个边缘方向引两条线段,构造一个平行四边形仿射不变区域.

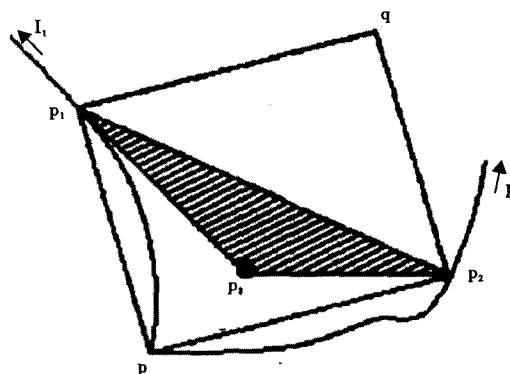
基于边缘的仿射协变区域算法^[4]的基本原理是所提取的边缘在宽基线、尺度变化、光照变化条件下是稳定的.为了提高鲁棒性,边缘特征信息在多尺度空间提取.基本过程是:从角点 p 的两个边缘方向引两条线段 pp_1 和 pp_2 ,构造一个平行四边形仿射不变区域,见图 1(a)所示.相关的仿射不变量参数 l_1 和 l_2 参数用下式计算:

$$l_i = \int abs(|p_i^{(1)}(s_i) - p - p_i(s_i)|) ds_i \quad (3)$$

其中 s_i 是两边缘方向上任意的曲率参数, $p_i^{(1)}(s_i)$ 是 $p_i(s_i)$ 的一次导数.



(a) 基于角点 p 边缘的区域



(b) 基于角点 p 边缘的极值区域

图1 基于角点的极值区域构造图

为了进一步提取稳定的极值区,见如图 1(b),定义如下函数, f 函数的第二项能确保有亮度偏移时区域的不变性.

$$f = abs \left(\frac{|p_1 - p_g|}{|p - p_1|} \frac{|p_2 - p_g|}{|p - p_2|} \right) \times \frac{M_{00}^1}{\sqrt{M_{00}^2 M_{00}^0 - (M_{00}^1)^2}} \quad (4)$$

其中,区域的 n 阶, $p+q$ 度矩 $M_{pq}^n = \int_{\Omega} I^n(x, y) x^p y^q dx dy$, 区域重心 $p_g = \left(\frac{M_{10}^1}{M_{00}^1}, \frac{M_{01}^1}{M_{00}^1} \right)$.

当角点 p 的邻近边缘是直线时, $l=0$. 此时,由 f_1 和 f_2 构成一个特定区域,这时,两函数达到最小值. 而且可以用两直线的交点代替角点,不再依赖于角点提取的准确性.

3 颜色相似度测量

基于宽基线的立体匹配,相机运动的范围和极线几何都是未知的. 但是由于边缘的区域间有明显的颜色界线,而且仿射投影下亮度的变化是线性的,所以可以用局部区域的颜色特性作为相似性度量.

3.1 色彩的聚类

如果所有的颜色值都参于计算,会使计算复杂度很大,且对噪声敏感. 可以通过颜色预定义调色板对颜色空间进行量化以降低复杂度. 由于 HSV 色彩空间具有视觉感知的一致性,所以人眼对 H、S、V 变化的区分能力要比 R、G、B 变化的区分能力要强. 在 HSV 色彩空间中,所有的颜色聚类为 N 种,聚类过程可用量化器 Q 表示,即

$$Q: R_3 \rightarrow C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_N\} \quad (5)$$

式中 C 为色彩簿,大小为 N , $c_i = (h_i, s_i, v_i)$, ($1 \leq i \leq N$) 为色彩簿中的一种色彩. 色彩的聚类过程如下:

(1) 初始的色彩簿为 C_1 , 迭代次数 $m=1$.

(2) 对于给定的色彩簿 $C_m = \{c_i\}$, 寻找最优的划分量化单元,即

$$R_i = \{x \mid d(x, c_i) \leq d(x, c_j); j \neq i, 1 \leq j \leq N\} \quad (6)$$

式中, R_i 是和色彩 c_i 距离最近的色彩集合, d 为色彩之间的距离. 在 HSV 色彩空间中,两种色彩 c_i 和 c_j 之间的距离为^[7]

$$d(c_i, c_j) = \frac{1}{\sqrt{2}} ((v_i s_i \cos(h_i) - v_j s_j \cos(h_j))^2 + (v_i s_i \sin(h_i) - v_j s_j \sin(h_j))^2 + (v_i - v_j)^2)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

(3) 计算每一个 R_i 的质心 $c_i = \text{cent}(R_i) = \frac{[\sum_{x \in R_i} P(x)x]}{\sum_{x \in R_i} P(x)}$, 形成新的色彩簿 C_{m+1} . 式中, $P(x)$ 为

色彩 x 在影像中出现的频数.

(4) 计算 C_{m+1} 的平均失真 E_{m+1} , 如果与上次迭代的 E_m 变化较少, 则停止, 否则设 $m+1 \rightarrow m$ 返回到第(2)步, 这里

$$E_m = \sum_{i=1}^N \sum_{c_i = \text{cent}(R_i), x \in R_i} d(c_i, x) P(x) \quad (8)$$

3.2 颜色直方图相似度测量

对影像对的每个区域进行色彩聚类后, 用 H_1^i 和 H_2^j 分别表示左右影像的第 i 和第 j 个区域的直方图. 直方图的绝对值距离与欧氏距离在计算中, 都没有考虑颜色间的相似性. 所以本文选用了直方图的二次距离

$$D(H_1^i, H_2^j) = (H_1^i - H_2^j)^T A (H_1^i - H_2^j) \quad (9)$$

式中, 矩阵 A 的元素 $a_{ij} = d(c_i, c_j)$.

区域间是否相似可以根据距离值 D 与预先给定的阈值(0.26)进行比较判断, 实现图像对的区域对应问题.

4 误匹配剔除

在宽基线立体匹配中, 假匹配点对相对数量较多, 通过匹配点获得的极线可能包含较大误差, 因此无法正确判定假匹配点. 另外, 反复计算基本矩阵需要消耗过多的时间. 由于区域间的相对位置对于任意平移、伸展、旋转(不能太大)等变换是固定的. 因此, 可以利用该关系, 剔除误匹配. 采用该方法具有以下优点: 第一, 避免计算基础矩阵, 也就是不需要利用极线几何约束; 第二, 该方法对特征的局部精度不敏感.

设左图像 I_1 中的三个区域用 (R_1^1, R_1^2, R_1^3) 表示, 在右图像 I_2 中对应的区域为 (R_2^1, R_2^2, R_2^3) . 记 c_v^i 为区域 R_v^i 的中心, 则存在函数

$$\text{side}(R_v^1, R_v^2, R_v^3) = \text{sign}((c_v^2 \times c_v^3) c_v^1) \quad (10)$$

如果 c_v^1 在从 c_v^2 到 c_v^3 的连线 $c_v^2 \times c_v^3$ 的右侧, 则其值为 -1; 否则, 在左侧, 值为 1.

若满足约束条件的方程 $\text{side}(R_1^1, R_{1v}^2, R_1^3) = \text{side}(R_2^1, R_2^2, R_2^3)$ 表示在双视点的影像中, 区域 R^1 中心点 c^1 在线 $c^2 \times c^3$ 的同一侧. 若同侧, 则属于对应区域, 否则为误匹配区域, 剔除.

执行误匹配剔除算法后, 大多数的误匹配点被剔除了. 所以, 可以利用极线几何约束进一步剔除假匹配点以提高精度. 也可以选取 8 点算法的结果作为迭代算法的初始值, 利用 RANSAC 方法进一步剔除误匹配点, 优化求解基础矩阵, 估计影像的极线

几何.

5 实验结果分析

用基于边缘提取的不变区域如图2所示.

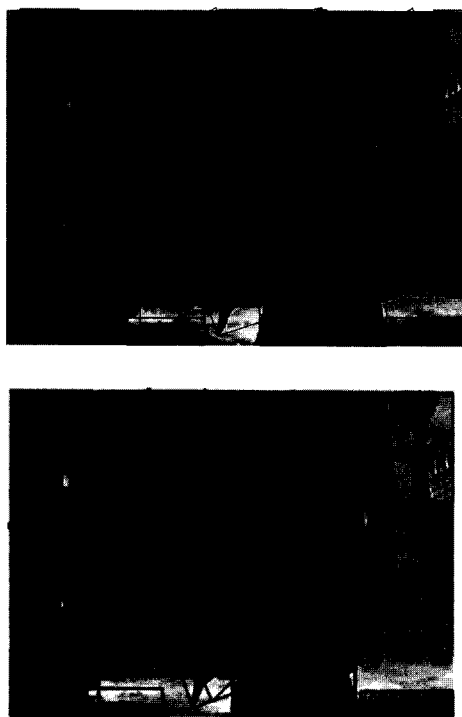


图2 提取基于边缘仿射不变区域(左右图像对)

提取仿射不变区域后,文献[6]是假设区域足够小时,满足平面投影.考虑到在实际情况下,这种假设有时不能成立,本文利用了颜色信息的距离测量法进行图像对间区域的相似性测量,在此基础上,又利用了区域间的几何相关性剔除误匹配,取得较好的效果,结果如表1所示.

表1 两种算法的比较

名称	提取初始 区域数	初始 匹配数	剔除误 匹配数	执行时间 (ms)	正确匹配率 (%)
文献[6]	1265	983	214	613	68.13%
本文算法	1265	759	265	467	72.46%

6 结束语

在立体匹配算法中,文中首先对区域进行了颜色空间量化以降低复杂度,然后又利用了区域间几何结构的稳定性剔除配匹配进一步提高匹配的精度.实验证明,本文的算法对于色彩较为明显,区域间有清晰的界线、光照条件、尺度变化不大的图像匹配效果最好.但不适于纹理平滑、纹理重复区域以及纹理错综复杂的目标,对遮挡问题的解决也不是十分理想.

参考文献:

- [1] Dominik Rueß, Ralf Reulke. Ellipse constraints for Improved wide-baseline feature matching and reconstruction[C]// IWCI 2011. Spain: Madrid, LNCS 6636: 168-181.
- [2] 李竹林,刘芬,赵宗涛. 一种基于角点的直线段特征提取新方法[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(6): 153-155.
- [3] 唐朝霞,章慧,吴海华. 基于感兴趣区域多特征加权融合的图像检索算法[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(6): 205-208.
- [4] Tuytelaars T, Van Gool L. Matching widely separated views based on affine invariant regions[J]. International Journal on Computer Vision, 2004, 59(1): 61-85.
- [5] Chris Harris, Mike Stephens. A combined corner and edge detector[C]// Proceedings of The Fourth Alvey Vision Conference. UK: Manchester, 1988: 147-151.
- [6] Tell D, Carlsson S. Wide baseline point matching using affine invariants computed from intensity profiles [C]// ECCV 2000. Ireland, 2000(6): 814-828.
- [7] Matas J, Chum O, Urban M, et al. Robust wide-baseline stereo from maximally stable extremal regions[J]. In Image and Vision Computing, 2004, 22(10): 761-767.
- [8] 李弼程,彭天强,彭波. 智能图像处理技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

作者简介:

李竹林 女, (1972—), 博士, 副教授. 研究方向为数字图像处理与立体匹配技术.

刘彦保 男, (1964—), 教授. 研究方向为算法设计与分析.