

基于极线几何的改进多约束图像立体匹配*

李健, 陈长明

(陕西科技大学 电气与信息工程学院, 陕西 西安 710021)

摘要: 针对计算机视觉和模式识别领域基本而重要的问题——立体匹配, 提出了一种基于极线几何、结合特征匹配与区域匹配、视差梯度约束等多约束立体匹配算法, 实现图像快速准确匹配。该算法将现有的基于特征和基于窗口匹配两种方法相结合, 并加入视差梯度等约束条件, 有效弥补了单一匹配算法的不足, 同时增强了算法适应性。实验表明, 该算法具有更高的求解质量和求解效率, 可以满足双目立体视觉系统的需要。

关键词: 极线几何; 多约束; 立体匹配

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Improved multi-constrained image stereo matching based on epipolar geometry

LI Jian, CHEN Chang Ming

(College of Electrical and Information Engineering, Shanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: Aiming at stereo matching which is an important and basic issue in the field of computer vision and pattern recognition, a multi-constrained stereo matching algorithm has been introduced. This algorithm based on epipolar geometry meanwhile it combined with feature matching, regional matching and gradient of disparity constraint to achieve fast and accurate image matching. The algorithm combined with two current popular methods which based on feature matching and window matching, and by adding some constraints, such as disparity gradient, it effectively made up the limitation of the single matching algorithm, while enhancing the adaptability of the algorithm. Experiment results show that the algorithm has higher quality and efficiency which would satisfy the needs of binocular stereo system.

Key words: epipolar geometry; multi-constraints; stereo matching

立体视觉^[1]是计算机视觉研究的一个重要课题, 图像匹配又是立体视觉中最重要、最困难的问题, 也是三维重建与逆向工程的先决条件, 近年来一直是立体视觉领域研究的焦点。目前, 还没有一种方法能够彻底圆满地解决图像对应点匹配问题。因此, 研究实现立体图像之间快速、准确地匹配对于立体视觉的发展具有重要意义。现有的匹配方法主要分为基于特征的匹配和基于窗口的匹配两大类。前者仅能获得少量稀疏像素的视差值, 难以得到高密度的视差图; 后者当匹配区域的实际像素视差值变化范围比较大时, 得到的匹配结果精度不够高。

本文介绍了一种基于极线几何、特征匹配与区域匹配、视差梯度约束相结合的立体匹配算法, 首先提取 2

幅图像中的几何特征, 基于极线约束建立初始匹配, 然后基于区域匹配方式对于特征点附近的子图像进行相似度运算与比较, 再进行视差梯度约束去除部分虚假匹配, 在上述过程中分别进行对称性测试, 由此建立更为准确的匹配关系。在保证效率的基础上, 提高了匹配精度, 弥补了单一匹配方法的不足。

1 匹配基本原理

立体匹配是根据对所选特征的计算, 建立特征间的对应关系, 将同一个空间点在不同图像中的映像点对应起来, 并由此得到相应的视差图像。本文提出的基于极线几何的改进多约束图像立体匹配过程如图 1 所示。

1.1 摄像机的标定

摄像机的标定是为了建立成像模型、确定摄像机的

* 基金项目: 陕西省自然科学基金项目(2007F26), 陕西省教育厅专项科研项目(05JK145)

图形、图像与多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

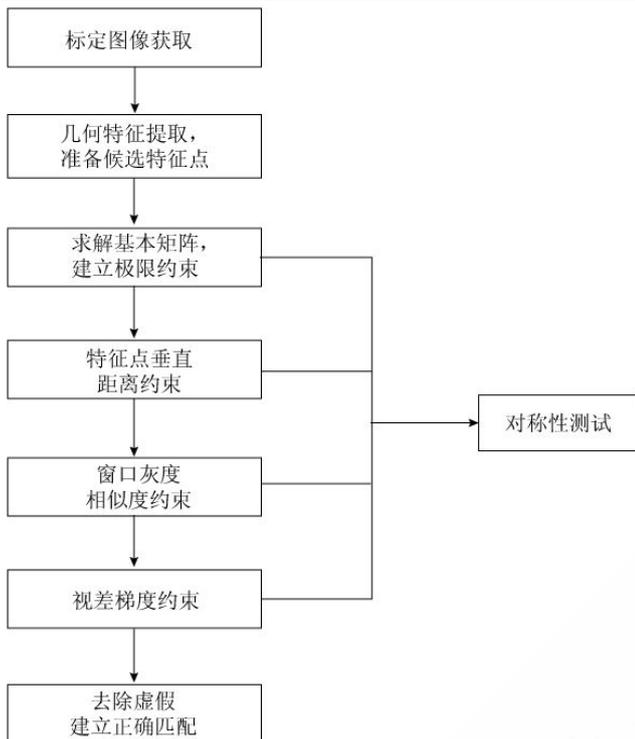


图1 匹配过程

位置和属性参数,以确定空间坐标系中物体点同它的像点之间的对应关系。本文采用改进 Tsai 两步法^[2]获取更为精确的摄像机参数。

从三维世界坐标系到计算机图像坐标系的完整变换^[1,3]可分为如下5步:

(1)世界坐标系中坐标 $P(X_w, Y_w, Z_w)$ 转换为摄像机坐标系中坐标 $P(X_c, Y_c, Z_c)$:

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} + t \quad (1)$$

(2)摄像机坐标系中坐标 $P(X_c, Y_c, Z_c)$ 利用针孔模型中规范化投影,得到图像平面坐标系中物理坐标 $P(x, y)$:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_c/Z_c \\ Y_c/Z_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

(3)引入透镜的径向与切向畸变,图像平面坐标系中物理坐标 $P(x, y)$ 扩展为 $P(x_q, y_q)$:

$$\begin{bmatrix} x_q \\ y_q \end{bmatrix} = (1+k_1r^2+k_2r^4) \times \begin{bmatrix} X_c/Z_c \\ Y_c/Z_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2p_1xy+p_2(r_2+2x^2) \\ p_1(r_2+2y^2)+2p_2xy \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中 k_1 和 k_2 是径向畸变系数, p_1 和 p_2 是切向畸变系数, $r_2 = x^2 + y^2$ 。

(4)图像平面坐标系中物理坐标 $P(x_q, y_q)$ 转换为像素坐标 $P(u, v)$:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x x_q + u_0 \\ f_y y_q + v_0 \end{bmatrix} L \begin{cases} f_x = f \cdot s / \Delta x \\ f_y = f / \Delta y \end{cases} \quad (4)$$

其中 (u_0, v_0) 为基准点(通常在图像的中心), f 为摄像机的有效焦距, s 为比例因子, Δx 为计算机图像在 x 方向上相邻两像

素之间的有效距离 (mm/pixel), Δy 为计算机图像在 y 方向上相邻 2 像素之间的有效距离 (mm/pixel)。

(5)综合上述可等价表示为:

$$s \cdot p = A(Rt) \cdot P \quad (5)$$

其中 $p=(u, v, 1)$, T 为图像像素点的齐次坐标, $P=(X, Y, Z, 1)$ 为空间点的齐次坐标, A 为摄像机的内参矩阵, Rt 为外参矩阵,这样就得到了一个图像点和空间点之间的一个映射关系。

1.2 对极几何约束

立体图像的对极几何^[4]是指图像平面与以基线为轴的平面束交的几何(如图2所示)。令 C, C' 分别为第一摄像机与第二个摄像机的光心位置, C' 在第一个像平面 I 上的投影为 e , C 在第二个像平面 I' 上的投影为 e' 。它们称为对极点,像平面 $I(I')$ 上通过对极点 $e(e')$ 的直线称为对极线。

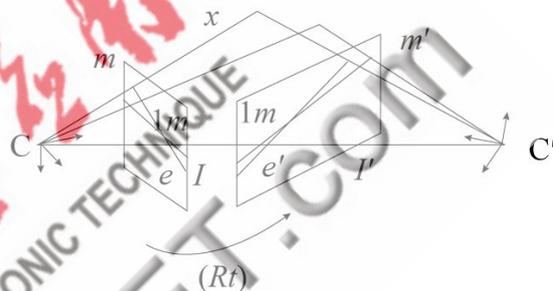


图2 两幅图像的极线几何关系

如果摄像机内参数矩阵为 K , 被测点 $X=(X, Y, Z)^T$ 投影到像平面 I 上的像点齐次坐标 $m=(u, v, 1)^T$, 则:

$$\mu m = KX \quad (6)$$

当摄像机作刚体运动,旋转矩阵为 R , 平移向量为 t 时,新的摄像机坐标系为 $C'-X'Y'Z'$, 它与初始坐标系 $C-XYZ$ 之间的关系为 $X'=RX+t$, 则场景点 $X=(X, Y, Z)^T$ 在当前像平面 I' 上的像点齐次坐标 $m'=(u', v', 1)^T$ 为:

$$\mu' m' = KRX + Kt \quad (7)$$

m' 和 m 称为一对匹配点。

由此,像平面 I 上任一点 m ,它在像平面 I' 上的匹配点 m' ,必位于对极线 lm' 上;类似地, I' 像平面上任一点 m' ,它在像平面 I 上的匹配点 m 必位于对极线 lm' 上, lm' 与 lm' 称为一对对极线,这就构成了匹配点的对极几何约束。

使用图像间的基本矩阵来代数描述,两幅图像的对极几何约束:

$$m'^T F m = 0 \quad (8)$$

其中 F 为基本矩阵, m, m' 是两幅图像上的一对匹配点。

1.3 基本矩阵 F 及其求解1.3.1 基本矩阵 F

如果已知左右摄像机的内参数矩阵 A_1, A_2 和 2 个摄像机之间的结构参数,旋转矩阵 R 和平移向量 t , 则基本矩阵^[1] F 可表示为:

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 47

$$F = Ar^{-T} [t]_x RA_1^{-1} \quad (9)$$

式中 $[t]_x$ 为平移向量 t 的反对称矩阵。

从式中可以看出,基本矩阵 F 实际上包括双目立体视觉系统的所有参数,即两摄像机的内参数 A_1, Ar 和视觉系统的结构参数 R, t 。这表明 F 只与视觉系统的参数有关与外部场景无关,是双目立体视觉内在的一种约束关系。

1.3.2 F 的求解

由上可知,基本矩阵 F 是一个秩为2的 3×3 矩阵,只要给定足够多的匹配点 $m \leftrightarrow m'$,就可以利用式(8)来计算未知的基本矩阵 F 。通常使用的有归一化8点算法、黄金标准几何算法等,但基本矩阵的求解过程对噪声非常敏感,为此,本文采用鲁棒性较好的RANSAC算法^[5]来估计基本矩阵。

1.4 距离约束及初始匹配

基础矩阵求解后,根据对极几何约束关系,得到左右图像的极线之间的对应。由于存在误差,左右图像中的匹配点并不能完全满足该极线方程,也就是不一定就在极线上,而是与极线有一段很小的距离,因此,本文采用垂直距离约束^[6]检测匹配点是否在极线上。利用匹配点的几何性质计算出需检测点与极线的垂直距离并判断是否小于某个阈值,以此判断对应匹配点是否位于极线上。

对于完成垂直距离约束后的图像,按灰度值对极线进行分段并扫描,每条极线被分为若干灰度段,每个灰度段上像素点的灰度值都近似相等,最后得到对应极线上的像素点之间的对应关系,从而实现图像间所有像素点的初始匹配。本文把对应极线之间的匹配过程分为2个步骤:首先对应极线上段与段之间的匹配,先以灰度段作为匹配基元进行匹配,然后对应灰度段上像素点与像素点之间的匹配。

1.5 窗口灰度相似度约束

通过窗口灰度相似度约束^[1,4]去除部分虚假匹配。

图像中的以一特征为中心,大小为 $m \times n$ 的子图像窗口为特征点的领域窗。在建立左图像中的特征点于右图像特征点的候选对应匹配关系时,将左右领域窗进行相似度比较,看是否满足已设定阈值的要求。再交换左右2幅图像位置,分别建立两者之间的匹配关系,进行对称性测试,只有当2个匹配集中的对应点完全一致时,才被视为有效匹配。以此消除部分虚假匹配点。

为避免光照变化对匹配的负面影响等,选择基于灰度互相关系数方法来计算相似度。设 $S(x, y)$ 为 (x, y) 对应的2个邻域窗的相似度, $I(x, y)$ 为目标图像 (x, y) 处的灰度值, \bar{I} 为目标图像邻域窗的灰度平均值; $T(x, y)$ 为源图像 (x, y) 处的灰度值, \bar{T} 为源图像邻域窗的灰度平均值。

灰度互相关系数方式^[1,7]为:

$$S(x, y) = \sum_{y'=0}^{n-1} \sum_{x'=0}^{m-1} (T(x', y') - \bar{T})(I(x+x', y+y') - \bar{I}) \quad (10)$$

1.6 视差梯度约束

经上述过程后继续引入视差梯度约束^[7]去除部分虚

假匹配。

图像中相互靠近的特征点应具有相似的视差,使用视觉梯度值作为一种度量标准。视差梯度值越小,2组对应点的相容性就越高。具体过程为:首先计算一组对应匹配点与其他对应匹配点的视差梯度值之和,利用这个数值判断一组对应匹配与其领域内的对应匹配之间的相容性。对于求得的所有视差梯度值和进行排序求得最大 $H(n)_{\max}$ 值与最小值 $H(n)_{\min}$ 值,当 $H(n)_{\max}/H(n)_{\min}$ 小于某一特定的阈值时结束循环,该匹配点为真,否则去除该对应匹配点,同时更新其他对应匹配点的视差梯度值和,继续循环过程。通过递归上述过程并进行对称性测试消除图像中虚假匹配对。

如图3所示,图像中点 a_1 与 a_r 为一组对应匹配点, b_1 与 b_r 为一组对应匹配点,2组视差分别为: $d_a = a_r - a_1$; $d_b = b_r - b_1$; a_m 与 b_m 分别为上述连线中点, a_m 与 b_m 之间连

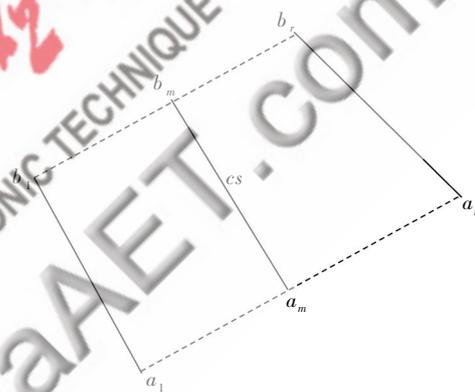


图3 视差梯度及测度

线的矢量为 d_{cs} ,则视差梯度为:

$$d_{gr} = |d_a - d_b| / |d_{cs}(a_m, b_m)| \quad (11)$$

至此,可以建立准确匹配关系,整个计算过程中条件越苛刻,阈值设定的越合理,虚假匹配就越少。

2 实验结果及分析

根据上述原理和开发步骤,在Windows XP (SP2)平台下利用VC++6.0开发了一个基于OpenCV1.0版本的基于极线几何多约束图像立体匹配程序。OpenCV是英特尔®尔源计算机视觉库,它由一系列C函数和少量C++类构成,实现了图像处理和计算机视觉方面的很多通用算法^[8]。

对于摄像机标定、特征提取、初始匹配等过程采用OpenCV提供的一系列可以直接调用的函数改进来方便计算,部分过程过程如下:

(1)使用cvCanny做边缘检测和特征提取,使用图像强角点检测函数GoodFeaturesToTrack和精确角点位置函数确定具有亚像素级的角点位置;

(2)使用cvFindFundamentalMat求出2幅图像的基础矩阵;

图形、图像与多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

(3) 使用 `cvComputeCorrespondEpilines` 计算一幅图像中的点在另一幅图像中的对应极线;

(4) 使用 `cvMakeScanlines` 分别计算 2 幅图像的扫描线坐标;

(5) 使用 `cvFindRuns` 将各扫描线分解;

(6) 使用 `cvDynamicCorrespondMulti` 对各片段进行匹配。

对于其他耗时较多的相关约束运算利用了 C 语言编程。所有函数均实现自文中算法。

该程序经过严格测试,运行稳定,没有出现内存泄露的情况,同时其匹配过程速度较快、准确度较高。图 4 为数码相机拍摄的 2 幅原始图像,校正后满足视点平移关系,极线处于同一水平扫描线,如图 5 所示;图像进行匹配后,得到匹配视差数据,匹配后部分对应点匹配情

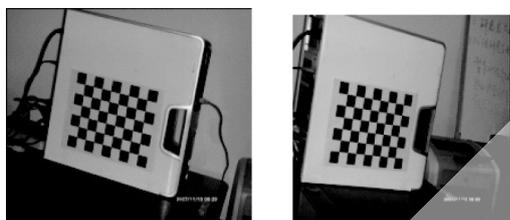


图 4 原始图像

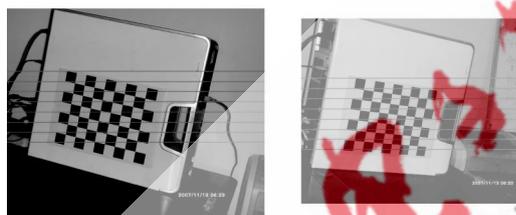


图 5 校正后水平极线



图 6 部分匹配点的对应

况如图 6 所示。

通过程序运行计算,此时对应的基本矩阵为:

$$F = \begin{pmatrix} 0.000 & 0.001 & -0.000 & 0.002 & -0.008 & 0.983 \\ -0.000 & 0.004 & -0.000 & 0.010 & 0.036 & 0.582 & 0 \\ 0.007 & 0.439 & 0 & -0.028 & 0.670 & 1.000 & 0.000 \end{pmatrix}$$

实验中对图像进行角点检测,左图像检测出 152 个角点,右图像检测出 129 个角点,为了进行比较,同样对 2 幅图像用传统极线约束算法进行匹配,未使用多约束前获得 105 对匹配点,加入多约束后,获得 87 对匹配点,去除了大约 15% 左右的虚假匹配点,误匹配点较少。可见本文方法提高了匹配精度,结果较好。

基于极线几何多约束图像立体匹配计算简单、结果精确、运行效率高,又充分发挥了 OpenCV 的函数库功能,具有良好的跨平台移植性,可以有效地应用于各种可使用计算机视觉的应用中。对于遮挡较严重的情况还没有很好地解决,这些地方将会在以后的工作中进行改进。

参考文献

- [1] 马颂德,张正友. 计算机视觉——理论与算法基础[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [2] 张学民,宋述稳. 两步法摄像机标定的改进[J]. 兵工自动化,2006,25(9):73-74.
- [3] 尹文生,罗瑜林,李世其. 基于 OpenCV 的摄像机标定[J]. 计算机工程与设计,2007,28(1):197-199.
- [4] 孔晓东,屈磊,桂国富,等. 基于极约束和边缘点检测的图像密集匹配[J]. 计算机工程,2004,30(20):40-42.
- [5] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detec[M]tor. Proc. Alvey Conf, 1998.
- [6] 原思聪,刘金颂,张庆阳,等. 双目立体视觉中的图像匹配方法研究[J]. 计算机工程与应用,2008,44(8):75-78.
- [7] 张广军. 机器视觉[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [8] Intel Corporation. Open source computer vision library reference manual [S]. 2001.

(收稿日期:2009-08-17)

CSR 蓝牙低功耗在蓝牙技术领域占据领先地位

BlueCore7 是首个通过认证的蓝牙低功耗解决方案

全球领先的蓝牙连接及无线技术提供商 CSR 公司(伦敦证券交易所:CSR.L)日前宣布,在蓝牙技术联盟宣布采用蓝牙低功耗标准不久,CSR 为蓝牙低功耗产品设计的 BlueCore7 多功能无线蓝牙解决方案即获得蓝牙技术联盟认证。

康体佳健康联盟(Continua Health Alliance)现已将蓝牙低功耗无线技术纳入其下一版指南中。CSR 相信,蓝牙低功耗技术还将应用在室内定位中,进一步推动定位技术的发展。

CSR 在推动蓝牙技术联盟批准蓝牙低功耗标准的过程中一如既往地发挥着重要的作用。

“CSR 在推动这一标准的过程中扮演着核心角色,它对无线技术以及强大的跟踪记录技术拥有独到的见解。”蓝牙技术联盟执行总监 Michael Foley 博士评论说,“蓝牙低功耗技术将拓展现有的生态系统,为新应用及新设备创造了机会。这很可能会引起很多消费者的兴趣,他们对于无线连接的使用需求具有很大差别。我们会发现这些设备从家里到手提包里,从汽车上到高尔夫球场上无处不在。”

(CSR 公司供稿)