

一种基于特征约束的立体匹配算法

周东翔 蔡宣平 孙茂印

(国防科技大学电子科学与工程学院信息与通信系, 长沙 410073)

摘要 立体匹配一直是计算机视觉领域的一个中心研究问题. 为了得到适用于基于图象绘制技术的视图合成高密度视差图, 提出了基于边缘特征约束的立体匹配算法. 该方法首先利用基于特征技术来得到边缘特征点的准确视差图, 然后在边缘特征点视差图的约束下, 对非边缘特征点采用区域相关算法进行匹配, 这样既缩小了匹配搜索空间, 又保证了匹配的可靠性. 边缘特征点和非边缘特征点的匹配采用双向匹配技术又进一步保证了匹配的可靠性. 实验结果表明, 该算法效果良好, 有实用价值.

关键词 基于图象的绘制 立体匹配 特征约束 视差图

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2001)07-0653-04

A Feature-Constrained Stereo Matching Algorithm

ZHOU Dong-xiang, CAI Xuan-ping, SUN Mao-yin

(School of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract In the situation of image synthesis for image-based rendering (IBR), we need not only precise matching but also a dense disparity map. In order to meet the needs of this application, a feature-constrained stereo matching algorithm is presented. It integrates feature-based and area-based process. First we obtain a sparse precise disparity map of edge points using feature-based approaches, next we fill in the disparity data of featureless points by using area-based algorithm under the constraint of the acquired disparity map. In this way, not only can we reduce the search for correspondences but also ensure the validity of matching. During the matching phase the two images play a symmetric role to ensure the validity of matching. At the same time, the technique of stereo matching with adaptive window based on the gray value information of nearby points is adopted in the area-based process. The experimental results show this algorithm is effective and it is of great value to use.

Keywords IBR, Stereo matching, Feature-constrained, Disparity map

z 的关系为

$$d = BF \frac{1}{z} \quad (1)$$

0 引言

基于图象的绘制方法 (image-based rendering, 简称 IBR) 已成为计算机图形学和虚拟现实技术的一个重要研究方向, 而基于立体视觉恢复景物的深度信息又为 IBR 提供了更方便、优越的途径. 新视图的图象可以很容易地通过已知相邻视图合成产生. 立体视觉技术的关键, 也是最困难的问题是找出每对图象之间的对应关系, 即解决立体匹配问题, 以便得到视差图 (Disparity map). 视差 d 与景物深度

式, B 为图象对的基线距离, F 为相机的焦距. 由式 (1) 可知, 如果两个相机的相对位置及焦距已知, 由视差图就能很容易地计算出场景中可见点的深度信息.

由于噪声、遮挡及透视失真等因素的影响, 视差估计是一个很困难的问题. 目前, 立体匹配算法可分为基于特征、基于区域和基于相位 3 类方法. 其中, 基于特征的方法, 主要是通过提取特征点、线或边缘等特征, 然后进行匹配. 因为这些特征对噪声不是太

敏感,所以可以得到比较精确的匹配,但基于特征方法只能得到稀疏的视差图.如今很多研究人员利用插值或表面重建等方法^[1~5]来得到高密度的深度图,但这在大多数情况下都得不到很好的效果;基于区域方法虽可以得到高密度深度图^[6~10],但在遮挡区域、无纹理区域以及深度不连续处也得不到正确的结果,而且基于区域方法的出发点是,在相关窗口内的象素点视差相同,但当视差变化比较大时,相关算法误匹配的可能性很大;基于相位方法一般只能得到景物的粗糙结构^[11,12],而且在一些不定的傅立叶相位区域尚需进行特殊处理.

从以上的讨论可以看出,基于特征和基于区域的方法各有优劣,其中基于特征的方法能得到比较精确的匹配,但只能得到稀疏的视差图,而基于区域的方法虽可以得到高密度的视差图但可靠性要差.在IBR的图象合成应用中,人们总是希望得到既精确又高密度的深度信息,为了满足这种需求,本文提出一种基于特征约束的区域匹配算法.

1 算法原理及具体实现

立体匹配的本质就是,给定一幅图象中的一点,寻找另一幅图象中的对应点,使得这两点为空间同一物体点的投影.立体匹配成为立体视觉难点的原因就是在寻找对应点时,很可能存在多个候选点,特别是对于那些重复纹理区域候选匹配点可能更多,由此可见,缩小匹配搜索空间和尽量减少候选点也就成为立体匹配首先要解决的问题.基于特征约束的立体匹配算法的出发点也正在于此,即在比较准确的边缘特征点稀疏视差图的约束下,将非边缘特征点的匹配搜索区域大大缩小,这样不但可减少计算量,而且还能减少误匹配,从某种程度上即能够较好地解决重复纹理区域及无纹理区域的匹配问题.当然,本文的算法与其他立体匹配算法一样,需要利用以下一些基本约束:

(1) 外极线约束 在这种约束下,两幅图象的匹配点位于同一条外极线上.对图象进行校正后,由于匹配点位于同一条扫描线上,因此匹配在一维空间进行.

(2) 唯一性约束 两幅图象中的匹配必须唯一.

(3) 匹配保序性约束 即匹配点在两幅图象中的先后顺序必须一致.

本文的算法整体流程如下:

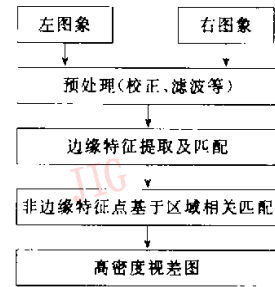


图1 基于特征约束的立体匹配算法流程图

1.1 边缘特征提取与匹配

基于特征约束的立体匹配算法中,特征的提取与匹配显得尤其关键.目前,大多数基于特征约束的立体匹配方法都首先利用 Marr-Hildreth 算子,改进的 Marr-Hildreth 算子或曲面拟合的方法来提取零交叉点,然后再根据零交叉点的属性进行匹配^[1,4,8].对于一些自然场景的图象,可能会存在零交叉点数目过多的情况,造成误匹配的可能性极大,而且零交叉点在重复纹理区域的匹配效果也不理想,所以一些研究人员采取多尺度由粗到细的匹配策略,这样虽可以改善一些匹配效果,但还是不能很好地解决误匹配的问题,而且上述这些方法计算量太大,很难达到实时处理,或者需要设计专用的硬件系统才能实现实时处理.

在此提出一种信息融合方法,综合利用边缘梯度、方向及边缘特征点的邻域内灰度级等多种信息融合来进行匹配,并采用双向匹配技术来进一步保证匹配的可靠性.边缘提取采用经典 Sobel 算子进行,设 $f(x, y)$ 为图象中 y 象素行上第 x 个象素点的灰度值,则 Sobel 算子的计算公式如下

$$\begin{cases} S_x = \{f(x+1, y-1) + 2f(x+1, y) + f(x+1, y+1)\} - \{f(x-1, y-1) + 2f(x-1, y) + f(x-1, y+1)\} \\ S_y = \{f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1)\} - \{f(x-1, y-1) + 2f(x, y-1) + f(x+1, y-1)\} \end{cases} \quad (2)$$

边缘的梯度大小 $g(x, y)$ 和方向 θ 分别为

$$\begin{cases} g(x, y) \approx S = |S_x| + |S_y| \\ \theta = \arctan \left| \frac{S_y}{S_x} \right| \end{cases} \quad (3)$$

在对左右图象用 Sobel 算子进行边缘特征提取后,梯度大于某一阈值的点即被选为边缘点,接下来就是利用多信息融合方法进行边缘特征点的立体匹

配。一般来说,梯度值越大,边缘特征越显著,造成误匹配的可能性越小,因此,在匹配过程中,可首先选取基准图象(设为左图象)每一像素行中梯度值最大的边缘点进行匹配,完成匹配后,在剩下的左右区间内也同样如此,总是选取梯度值最大的边缘点先进行匹配,一直循环下去,直至所有超过阈值的边缘点均完成匹配。这样,不但缩小了后续边缘特征点的匹配搜索空间,还可进一步保证匹配的可靠性,对于每个区间内梯度值最大的边缘点,其匹配算法流程可概述如下:

(1) 设在左图象中某像素行中某区间内梯度值最大的边缘特征点为 T , 将右图象中对对应像素行上相应区间内与 T 的梯度方向差低于某一阈值的边缘特征点 $P_k (k=1, 2, \dots)$ 作为 T 的候选匹配点;

(2) 对每一候选匹配点 $P_k (k=1, 2, \dots)$ 用 $M \times N$ 的窗口(本文用 5×5)与 T 点之间进行梯度大小归一化相关计算,然后将相关系数大于某一阈值的作为候选匹配点 $Q_k (k=1, 2, \dots)$;

(3) 对每一候选匹配点 $Q_k (k=1, 2, \dots)$ 用的窗口 $M \times N$ 与点 T 之间进行灰度级相关计算,以相关系数最大的点 Q 作为预匹配点;

(4) 按(1)、(2)、(3)步骤寻找 Q 在第1幅图象中的预匹配点 R ;

(5) 如果 $R=T$, 则匹配成功,并计算视差 d , 否则弃之。

1.3 非边缘特征点匹配

利用上述多信息融合算法进行边缘特征点的匹配,一般均可以得到边缘特征点的比较准确的视差图,非边缘特征点的匹配完全在边缘特征点的视差约束下进行,这一方面保证了匹配的可靠性,另一方面大大缩小了搜索空间,这比基于区域算法常采用的多分辨率方法来缩小搜索范围的途径^[8]要方便得多,计算量也大大减少。

搜索左图象的每一像素行时,按照特征点视差

信息将每一行分成一个个区间 (X_{i-1}, X_i) ($k=1, 2, \dots$), 起点、终点的视差均已知,这样根据保序性约束,区间内每个像素点的匹配点就限制在右图象对应像素行的一定区间内,对于这些像素点,如果区间较小,直接利用灰度值差异进行匹配就可以获得良好的效果;否则就采用灰度级相关算法进行匹配,为了减少误匹配,同样利用双向匹配技术,相关窗口可从二维降为一维,窗口的大小 w 可根据像素点邻域内的灰度级信息进行自适应调节

$$f(x_i, y) - M < T, i = 1, \dots, w \quad (4)$$

$$M = \frac{1}{w} \sum_{i=1}^w f(x_i, y)$$

式中, M 为区间内像素点灰度值的平均值, T 为阈值。

基于相关算法的一个需要特别注意的问题是相关窗口内的视差变化不能大,当然最理想状态是视差相同^[13],否则会造成误匹配。另外,现在得到的每个区间均为非边缘特征点区域,其视差起伏本来就不大,而且根据式(4)的约束,还可进一步减少相关窗口内视差的差异,这比 Takeo Kanade 等人^[19]的自适应窗口技术要简便得多,从而为该算法以后的实时应用提供了可能。

2 实验结果

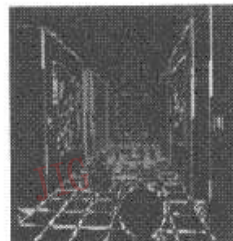
为了检验算法的匹配效果,在普通 PC 机上对其进行实验验证(图2),实验原图象取自德国波恩大学计算机视觉研究组的房屋走廊照片,按照式(1),视差图中灰度级低(亮度低)的地方表示视差小,也即距视点较远处,深度值大;反之,灰度级高(亮度高)的地方表示视差大,即距视点较近处,深度值小。从图2(d)可以看出,本文提出的算法在重复纹理区域、无纹理区域均获得了较好的效果,可见本算法是有效的。



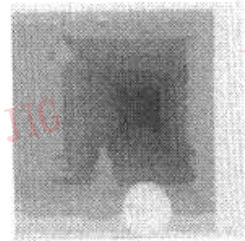
(a) 左原图象



(b) 右原图象



(c) 边缘特征点视差图



(d) 较精确的高密度视差图

图2 从两个方向观察的仿真图象

3 结论

本文在深入分析现有立体匹配算法的基础上,提出了基于特征约束的立体匹配算法,并综合应用了基于特征和基于区域的相关算法,算法在某种程度上能较好地解决重复纹理区域和无纹理区域的匹配问题,并可获得较好的效果。

参考文献

- Grimson W E L. Computational experiments with a feature based stereo algorithm. IEEE Trans. on PAMI, 1985, 7(1): 17~34.
- Terzopoulos D. The computation of visible surface representation. IEEE Trans. on PAMI, 1988, 10(4): 417~438.
- Baker H H, Binford T O. Depth from edge and intensity based stereo. In: Proc. of 7th. Joint Conf. on Artificial. Intelligence. , Vanconver, Canada, Aug. 1981; 631~636.
- Maitre H, Luo W. Using models to improve stereo reconstruction. IEEE Trans. on PAMI, 1992, 14(2): 269~277.
- Hoff W, Ahuja N. Surfaces from Stereo: Integrating feature matching, Disparity Estimation, and Contour Detection. IEEE trans. on PAMI, 1989, 11(2): 121~136.
- Dan Lan-zhong, Roger M. Robust matching by partial correlation. INRIA Technical Report RR-2643, 1995. <http://www.inria.fr/rrrt/rr2643.html>.
- Cochran S, Medioni G. 3-D surface description from binocular stereo. IEEE Trans. on PAMI, 1992, 14(10): 981~994.
- Sun Chang-ming. A fast stereo matching method. In: Proc. of Digital Image and Vision Computing, Techniques and Applications, Massey University Auchland, New Zealand, 1997; 10~12.
- Hannah M J. A system for digital stereo image matching. Photogrammetric engineering and remote sensing. 1989, 55(12): 1765~1770.
- Faugeras O *et al.* Real time correlation-based stereo: algorithm, implementation and applications. INRIA Research Report N2013, August 1993.
- Fröhlinghaus T, Buhmann J M. Regularizing phase-based stereo. In: International Conference on Pattern Recognition. <http://www.dbv.information.uni-bowen.de/abstracts/frichlinghaus-icpr96.html>. ICPR'96, 1996: 451~455.
- Crespi B, Cozzi A G. Analog computation for phase-based disparity estimation: continuous and discrete models. Machine Vision and Applications, 1998, 11: 83~95.
- Kanade T, Okutomi M. A stereo matching algorithm with an adaptive window: Theory and Experiments. IEEE Trans. on PAMI, 1994, 16(9): 920~932.



周东翔 1968年生, 1992年获东南大学电子工程学院硕士学位, 现为国防科技大学电子科学与工程学院信息与通信系博士研究生, 主要研究方向为计算机视觉、虚拟现实、图形图像处理与科学计算可视化技术。



蔡宣平 1962年生, 国防科技大学电子科学与工程学院信息与通信系主任、教授, 主要从事计算机图形学、信息处理等方面的教学与科研工作。



孙茂印 国防科技大学电子科学与工程学院教授、博士生导师, 主要从事计算机图形学、科学计算可视化、虚拟现实技术等方面的研究工作, 发表论文60余篇, 曾获国家科技进步三等奖2项, 部委级科技进步一、二等奖5项。