

一种改进的立体像对密集点匹配算法

王 瑞, 杨润泽, 尹晓春

(机械工程学院 机械制造教研室, 河北 石家庄 050003)

摘 要:文中研究在随机光场照射下基于窗口的密集点匹配算法。针对基于窗口匹配中出现的细节平滑问题,提出了在窗口内对像素点引入权值参数来提高细节部分测量精度的方法。在匹配前对图像进行校正,使得各极线和图像坐标系的横轴平行,在匹配过程中不需要再计算极线方程,大大提高了匹配的效率。根据待匹配图像的灰度信息和摄像机的内外参数信息,通过求解对应窗口内像素点向量夹角的方式进行双目立体匹配。在试验中,完成了棋盘格图像的密集点匹配,并与典型区域匹配算法进行了匹配效率与视差图效果的对比分析,验证了文中算法在匹配效率和视差图效果方面的优越性。

关键词:双目立体视觉;立体匹配;细节平滑;密集点匹配

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)09-0070-03

A Modified Image Dense Stereo Matching Algorithm

WANG Rui, YANG Run-ze, YIN Xiao-chun

(Mechanical Manufacturing and Automation Lab, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: It studies the random field irradiation window-based dense point matching algorithm. Matching based on window appears for the details of a smooth problem, a pixel in the window on the introduction of weighting parameters to improve the details of the part of the measurement accuracy. Correct the image before the match, making the polar coordinate system parallel to the horizontal axis, in the matching process does not require re-calculation of polar equation, greatly improving the efficiency of matching. According to the grayscale information and the camera parameter information inside and outside, by solving the corresponding pixel angle within the window between vectors conduct stereo matching. In the study, completed an intensive checkerboard image point matching and compared with the typical area of the matching algorithm efficiency and effectiveness of disparity map, verify the superiority of the algorithm in matching efficiency and effect of disparity map.

Key words: binocular stereo vision; stereo matching; details of the smoothing; dense point matching

0 引言

立体像对匹配是从双目立体图像中恢复三维信息进行三维重建的关键步骤^[1]。所谓立体像对是由两个或多个相机在不同的位置对同一场景进行拍摄得到的成对图像。图像间的立体匹配其实质就是给定一副图像中的一点,寻找另一幅图像中的对应点,这两个点为空间同一点分别在两幅图像上的投影^[2]。立体匹配的结果通常是每个像素点的深度信息,而后由三角测量法可以很容易地将深度信息转化为世界坐标系中的三维坐标,实现三维重构。目前,立体像对的匹配方法无外乎两种^[3],即稀疏点匹配与密集点匹配。

稀疏点匹配主要是对图像中的一些特殊点进行匹

配,比如角点、轮廓点等。由于提取到的特征通常比较少,且分布不规则,所以一般只能得到离散的稀疏特征数据点,不适合精度要求较高的三维重建。密集点匹配是对图像中所有的像素点进行匹配,可以最大限度地恢复物体的细节特征,生成致密的三维点数据^[4,5]。传统的密集点匹配算法为窗匹配法^[6],它利用窗口内像素点的相似性来确定点对匹配与否。但常会带来视差图中细节的平滑问题。针对此问题,文中提出了一种改进的立体像对密集点匹配算法。

1 算法原理与框架

本算法以提高匹配效率与精度,改善视差图效果为主要研究方向。对在随机光场照射下采集到的图像对首先进行极线校正,而后对窗口中像素点赋予权值系数,以计算对应窗口中像素点序列夹角的方法进行匹配,在匹配中采用有限视差约束与顺序性约束以提高匹配精度,最后生成了匹配像对的视差图。

收稿日期:2011-02-21;修回日期:2011-06-06

基金项目:机械工程学院基础部科学研究基金(JCB1011)

作者简介:王 瑞(1986-),男,硕士研究生,研究方向为三维重构;杨润泽,教授,硕士生导师,研究方向为机械制造及自动化。

1.1 图像极线校正

图像匹配过程可以概括为一系列约束的集合。极线约束即当给定一点 p , 它的匹配点一定出现在它所对应的极线上。由此, 可以将搜索空间压缩到一维的直线上, 即极线上。但是, 如果单纯地使用极线约束原则进行匹配, 则每次都需要计算极线方程。然后根据极线斜率的不同来确定步进方向, 这个过程需要大量的计算, 极大地影响了程序的运行效率。

图像极线校正的目的是规范化极线约束中的极线分布^[7]。一旦能够将匹配点的搜索范围从二维空间缩小到一维空间, 那么同名像素点的匹配便可以在对应的极线上完成, 如图1所示, 使得匹配效率和精度进一步提高。最常用的有两种方法。一种是基于投影矩阵求取图像校正矩阵的图像校正方法^[8]。另一种是以校正前后图像变形最小为优化目标函数求取校正矩阵的图像校正方法^[9]。文中采用的是基于第一种方法的OpenCV2.1中的库函数来实现图像极线校正, 其具体算法在这里不再赘述。

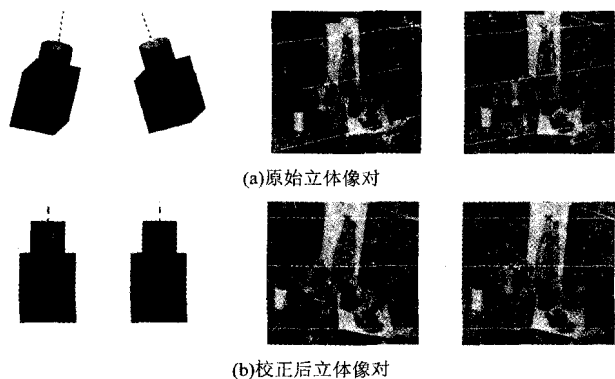


图1 图像校正

1.2 基于窗口的灰度匹配原则

灰度匹配原则建立在假设图像中的物体都是漫反射的, 并且不考虑物体间的相互反射造成的光影变化。此假设可以减少匹配计算量, 降低问题的复杂性。

对于立体像对中的两个待匹配点 p_1 和 p_2 , 采用以这个点为中心的 $n \times n$ 窗口内的图像点之间的匹配, 以降低匹配误差。对于 p_1 点, 将其所在窗口内所有点的灰度值构成向量 \vec{n}_1 , 如图2所示, 对点 p_2 也做相同的处理, 得到向量 \vec{n}_2 。

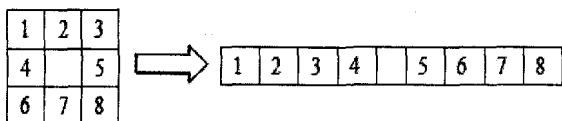


图2 将3×3灰度窗口转换成向量表示

这里使用的判别原则是: \vec{n}_1 和 \vec{n}_2 的夹角越小, 则两个点的匹配度越高; 反之, 则匹配度越低。使用下式来计算两个向量的夹角:

$$\cos\theta = \frac{\vec{n}_1^T \vec{n}_2}{\|\vec{n}_1\| \|\vec{n}_2\|}$$

其中, θ 为两个向量的夹角。当 $\cos\theta = 1$ 时, 两个点具有最佳匹配; 反之, $\cos\theta = 0$, 则两点具有最差匹配。在进行匹配时, 为了除去一些无匹配点, 可以考虑将 $\cos\theta$ 的最小值设为 0.9, 当 $\cos\theta$ 小于 0.9 时, 即为无匹配点。

1.3 基于窗口的密集点匹配

密集点匹配以基于窗口的灰度匹配原则为基础。但是基于窗口的匹配原则具有自身的缺点, 即窗口的大小难以确定。窗口选择过小, 由于考虑的像素点过小, 易造成误匹配的发生。而窗口选择过大, 则会造成图像中细节特征的平滑问题。由于误匹配的发生对匹配结果影响较大, 故宁愿点无法匹配, 也不要误匹配。所以文中算法采用较大窗口进行匹配, 而对于较大窗口带来的细节平滑问题, 则采用类似文献[10]对窗口内像素点加权值的方法加以克服。

文中为匹配窗口内的某像素点 (u_i, v_j) 分配的权值 w_{ij} 为该像素点到窗口中心像素点的距离, 即

$$w_{ij} = \exp\left(-\frac{d(u_i, v_j)}{\gamma_p}\right)$$

式中 $d(u_i, v_j)$ 表示像素点 (u_i, v_j) 到当前窗口中心的欧氏距离; γ_p 为调节系数, 其值为当前匹配窗口中最远像素点的距离。即

$$\gamma_p = \max d(u, v)$$

得到每个像素点的 w_{ij} 之后, 对其进行归一化, 使得 w_{ij} 满足下述条件

$$\sum w_{ij} = n$$

式中 w_{ij} 为归一化之后的 w_{ij} ; n 为窗口内像素点的个数。对于固定大小的窗口, 窗口内每个像素点的 w_{ij} 为固定值, 在具体实现时, 可以预先赋值成为一个窗口权值模板。

通常立体匹配算法可以抽象为一系列的约束集合。在密集点匹配中, 由于没有特征点来保证匹配的精度, 所以产生很多误匹配。为了解决这个问题, 需要引入其他的约束条件来提高匹配可信度。

文中使用的第一个约束条件为顺序性约束, 假设 p_1, p_2, p_3 为参考图像上从左到右的像素点, 且它们在目标图像上的对应匹配点都存在, 则它们的匹配点 p_1, p_2, p_3 在目标图像上也保持从左到右的顺序不变。运用顺序性约束可以大大减少匹配所需要的计算量。另一个约束条件为有限视差约束, 即假设最大视差为某一个值, 则匹配点的所有可能视差都在这个范围内。采用此种约束可以有效地提高匹配精度。

具体的匹配过程为:假设正在匹配第 i 行像素点,首先,将参考图像与目标图像上的第 i 行上的所有像素点对应的窗口转换为对应向量进行存储;然后对参考图像的第 i 行进行遍历匹配。设在参考图像上的一点 p_i 的横坐标为 x_j ,则根据有限视差原则,要在目标图像上寻找的匹配点的范围为 $x_j - d_{\max}$ 到 $x_j + d_{\max}$ 。根据顺序性约束,可以将匹配范围再缩小至 $x_j - x_{j-1}$ 到 $x_j + d_{\max}$ 。

2 实验验证

文中采用 Visual C++ 2008 与 OpenCV2.1 联合编程对算法进行实现^[10-12]。通过实验对比分析了图像极线校正、窗口大小、权值系数对密集点匹配效率及效果的影响。

2.1 图像极线校正的影响

在随机光场的照射下进行立体匹配试验。以国际象棋棋盘格作为试验对象,对棋盘格中 54 个角点进行实验。首先对立体像对进行极线校正,校正图像如图 3 所示,而后采用本方法进行立体匹配。从左侧图像中提取到了 54 个角点,通过匹配在右图中找到 54 个相应的同名点,用时 0.5 秒。而未经校正立体像对只实现了 52 个角点的匹配,用时 1.5 秒。因此,图像极线校正是提高匹配效率与精度的有效办法。

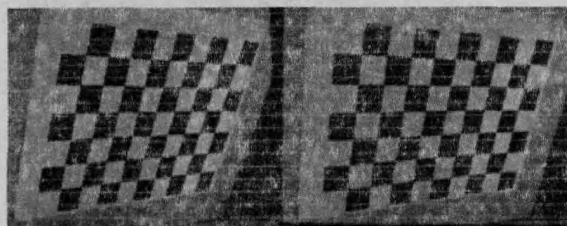


图 3 校正后的立体图像对

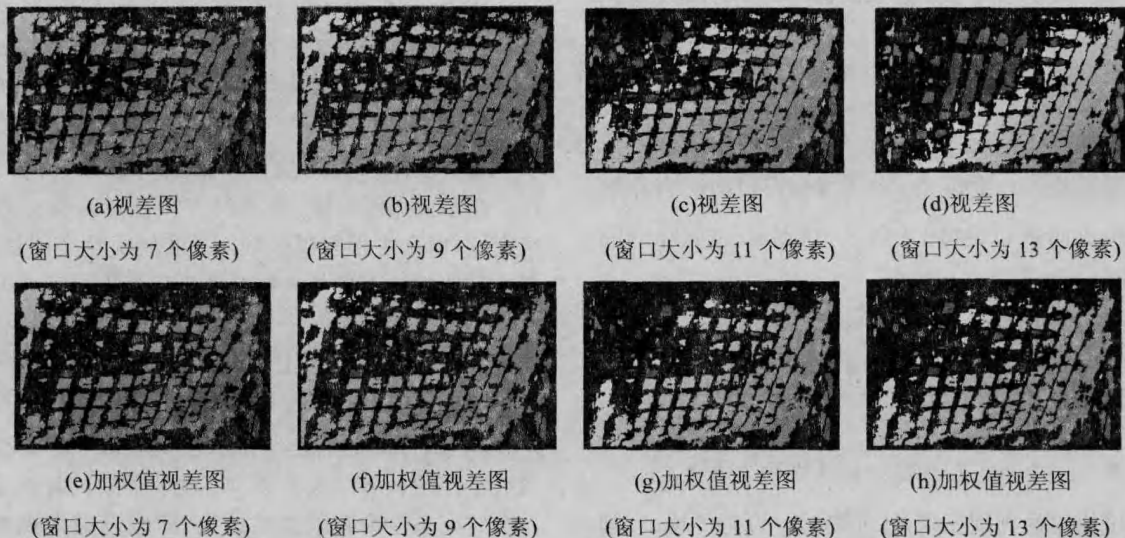


图 4 匹配得到的视差图

2.2 窗口大小、权值系数的影响

为了证明文中立体像对匹配算法中提出的窗口大小和权值系数对匹配效果的影响,进行了数次试验,如图 4 所示。图(a)~(d)为未加权值系数的不同窗口大小匹配得到的视差图,而图(e)~(h)为采用对窗口中像素点加权值系数的不同窗口大小匹配所得到的视差图。

对比分析图(a)~(d)发现,如果窗口较大,则因考虑的像素点比较多,使得误匹配的情况减少了。但由于匹配过程中实际上起到了类似平滑的操作,使得更多细节在匹配过程中丢失了;如果窗口较小,平滑区域也小,使得很多正确或错误细节得以保留。因此,基于窗口的匹配中,窗口大小的选择对匹配精度速度有较大影响。

分别对比分析图(a)与(e)、(b)与(f)、(c)与(g)、(d)与(h)可以发现,在匹配窗口大小相同的情况下,基于同样一个立体图像对,仅仅改变匹配窗口内像素点带权值与否,对匹配所得的视差图的影响为:带权值窗口可以在一定程度上使得物体匹配精度提高,滤除一部分噪声的干扰,会对后续物体细节的三维重建的效果有一定改善作用。因此,文中提出的加权值系数的方法在一定程度上抑制了区域匹配算法由于窗口平滑作用带来的细节模糊。

3 结束语

文中改进并实现了基于窗口的立体像对密集点匹配算法。经试验得出结论如下:

(1) 针对基于窗口的匹配算法中出现的细节模糊与平滑问题,提出的加权窗口,能够在一定程度上改善模型细节部分的匹配效果。

每个压缩算法都有自己的优点和缺点,都有自己的适用范围,不同算法的复杂性对空间的要求以及压缩率也不同。它们不仅仅依赖于压缩方法本身,也依赖于被压缩对象的特点。在具体的应用过程中,要根据实际情况的需要,有针对性地去选择、结合或改进一些算法,尽量发挥每一个无损压缩算法的优势,以得到比较理想的压缩数据。不过从综合特性看 LZW 算法是目前在无损压缩方面最常用的方法。但是对 LZW 算法而言其字典的更新速度和较高的压缩率之间的匹配问题还需要进一步的讨论分析。同时研究在保持高压比、提高压缩机解压缩速度的同时保持原始数据的完整性还是一个重要的研究课题。

参考文献:

- [1] Shannon C E. A mathematical Theory of Communication [J]. The Bell System Technical Journal, 1948, 27(7): 379-423.
- [2] 刘冰. 游程长度编码算法的研究[J]. 天津理工学院学报, 2001, 17(4): 77-81.
- [3] 张广学. 最优二叉树的生成及应用[J]. 现代电子技术, 2008, 273(10): 112-114.
- [4] 袁玫, 袁文. 数据压缩技术及其应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 1994.
- [5] 游晓明, 陈传波, 刘升. 数据压缩算法分析与改进[J]. 小型微型计算机系统, 1999, 20(8): 570-573.
- [6] Rissanen J, Langdon G G. Universal modeling and coding[J]. IEEE Trans on Information Theory, 1981, 27(1): 12-23.
- [7] Ziv J, Lempel A. A Universal Algorithm for Sequential Data Compression[J]. IEEE Transactions on Information Theory,

1977, 23(3): 337-343.

- [8] 王忠义, 姜丹. 关于 Lempel-Ziv77 压缩算法及其实现的研究[J]. 计算机研究与发展, 1996, 33(5): 329-340.
- [9] Ziv J, Lempel A. Compression of Individual Sequences via Variable Rate Coding[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1978, 24(5): 530-536.
- [10] 王平. LZW 无损压缩算法的实现与研究[J]. 计算机工程, 2002, 28(7): 98-99.
- [11] 王平, 茅忠明. LZSS 文本压缩算法实现与研究[J]. 计算机工程, 2001, 27(8): 22-24.
- [12] Welch. A Technique for High Performance Data Compression [J]. IEEE Computer, 1984, 17(6): 8-19.
- [13] 许霞, 马光思, 鱼涛. LZW 无损压缩算法的研究与改进[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(4): 125-127.
- [14] 吴宇新, 余松煌. 对 LZW 算法的改进及其在图像无损压缩中的应用[J]. 上海交通大学学报, 1998(9): 110-113.
- [15] 华强. 中文文本压缩的 LZSSCH 算法[J]. 中文信息学报, 1998, 12(1): 50-56.
- [16] 华强. 中西文文本压缩的 LZWCH 算法[J]. 计算机工程与应用, 1999, 35(3): 22-23.
- [17] 裴文端, 吴坚. 一种新的数据压缩算法[J]. 无线电通信技术, 2001, 27(3): 30-32.
- [18] 卓越, 杨长生, 宋广华. 一种基于自适应字典的通用无损压缩算法[J]. 计算机工程, 2001, 27(2): 149-151.
- [19] 王刚, 刘立柱. ZIP 文件压缩编码分析[J]. 微计算机信息, 2006, 22(5): 283-285.
- [20] 杨长生, 宋广华, 卓越. HLZ: 一种采用混合字典的自适应无损编码算法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2002, 36(1): 40-43.

(上接第 72 页)

(2) 对随机光场下采集到的立体像对进行极线校正, 提高了本算法匹配的精度与效率。

(3) 利用有限视差约束和顺序性约束, 同样起到了降低匹配搜索速度与提高匹配精度的作用。

参考文献:

- [1] 张素苓, 李竹林, 赵宗涛. 一种立体景象匹配技术及其应用[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(3): 221-224.
- [2] Mattoccia S. A locally global approach to stereo correspondence [C]//3D Digital Imaging and Modeling (3DIM 2009). Kyoto, Japan: [s. n.], 2009: 1763-1770.
- [3] Lhuillier M, Quan L. Match propagation for image-based modeling and rendering[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(8): 1140-1146.
- [4] 张令涛, 曲道奎, 徐枋. 一种基于图割的改进立体匹配算法[J]. 机器人, 2010, 32(1): 104-108.
- [5] 时洪光, 张凤生, 郑春兰. 基于图像校正与灰度相关性的立

体匹配算法研究[J]. 设计与研究, 2010, 37(8): 15-18.

- [6] 周秀芝, 文贡坚, 王润生. 自适应窗口快速立体匹配[J]. 计算机学报, 2006, 29(3): 473-479.
- [7] Tombari F, Mattoccia S, Stefano L D. Full search-equivalent pattern matching with incremental dissimilarity approximations [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009, 31(1): 129-141.
- [8] 董巍, 石光明. 改进的轮廓小波变换及其图像去噪应用研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2007.
- [9] 冯鹏, 魏彪, 潘英俊, 等. 一种循环平移的 Contourlet 变换去噪新方法[J]. 计算机仿真, 2006, 23(9): 116-118.
- [10] 刘忠艳, 周波, 车向前. 一种高效的图像匹配算法[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(4): 45-47.
- [11] Bradski G, Kaebler A. Learning OpenCV[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [12] 陈胜勇, 刘盛. 基于 OpenCV 的计算机视觉技术实现[M]. 北京: 科学出版社, 2008.