

文章编号:1001-9383(2018)02-0043-06

立体匹配算法研究综述

曾文献, 郭兆坤

(河北经贸大学, 河北 石家庄 050061)

摘 要:立体匹配算法作为双目立体视觉的核心内容,是通过匹配两幅或者多幅图像获得视差并得到相应深度信息的技术。本文通过对国内外立体匹配算法的研究与分析,对立体匹配算法进行了综述,详细阐述了全局立体匹配算法和局部立体匹配算法,最后总结了当前立体匹配算法面临的挑战以及对立体匹配算法的展望。

关键词:立体匹配;全局立体匹配;局部立体匹配

中图分类号:TP391.4

文献标识码:A

DOI:10.16191/j.cnki.hbkx.2018.02.006

Research of stereo matching algorithms

ZENG Wen-xian, GUO Zhao-kun

(Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang Hebei 050061, China)

Abstract: Stereo matching algorithm, as the core content of binocular stereo vision, is a technique that obtains parallax and obtains corresponding depth information by matching two or more images. Through the research and analysis of stereo matching algorithms at home and abroad, the stereo matching algorithm are summarized, elaborated global stereo matching algorithm and local stereo matching algorithm, finally summarizes the stereo matching algorithms challenges and prospects for stereo matching algorithms.

Keywords: Stereo matching; Global stereo matching; Local stereo matching

0 前言

双目立体视觉通过模仿人类视觉原理来获取丰富的三维立体数据,尤其是深度信息。经过多年的发展,双目立体视觉已经在工业测量、三维重建、无人驾驶等领域发挥了巨大作用^[1-3]。双目立体视觉过程可以分为图像采集→摄像机标定→图像预处理→特征提取→立体匹配→三维重建等六大部分。其中立体匹配作为立体视觉的核心内容,同时也是立体视觉的难点。立体匹配是为了寻找左右摄像机拍摄的两幅图像像素的对应点和视差,然后通过三角形相似性原理求取物体到摄像机之间的深度信息^[4-7]。本文主要是围绕双目立体匹配算法,

收稿日期:2017-01-26

作者简介:曾文献,男,硕士生导师,教授,主要从事高速数据采集、嵌入式系统,计算机软件技术等方面研究。

着重分析了各类双目立体匹配算法的特性及其优缺点,并总结了当前匹配算法存在的问题,最后对双目立体算法进行了展望。

1 双目立体匹配概述

1.1 双目立体匹配原理

一个双目立体视觉系统由左右两个摄像机在不同位置组成,通过拍摄相同的物体来获取深度信息。如图 1 所示,场景中被拍摄物体表面上的一点 P 相对于摄像机的距离可以用深度值来表示。图 1 中所描绘的是经过摄像机标定和极线校正后的一种理想情况,该情况下两个摄像机之间处于绝对的平行和相对固定的位置,并且物体表面上的 P 点在左右摄像机投影平面上处于同一极线。

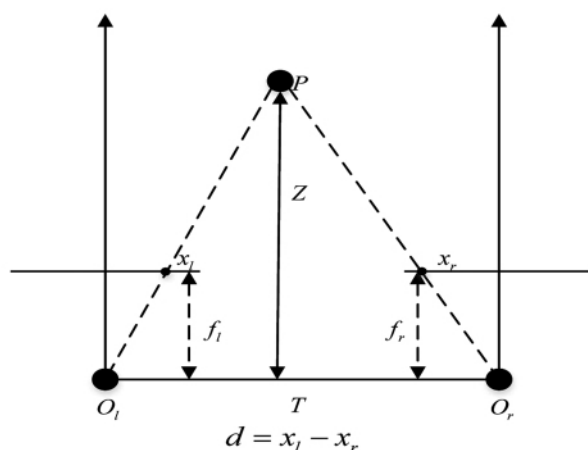


图 1 双目立体系统组成

图 1 中, T 表示左右摄像机光轴中心 O_l 到 O_r 之间的距离, f_l 和 f_r 为左右摄像机的焦距, x_l 和 x_r 为点 P 在左右摄像机投影平面上的横坐标, Z 表示物体 P 点到相机光轴中心的距离。通过三角形相似性原理就可以推导出深度值 Z , 推导公式如公式(1)所示。

$$\frac{T - (x_l - x_r)}{Z - f} = \frac{T}{Z} \Rightarrow \frac{fT}{x_l - x_r} = \frac{fT}{d} = Z \quad (1)$$

由式(1)可知, 点 P 与摄像机之间的距离 Z 与视差 d 存在反比例关系, 进而可以知道, 当我们知道某一点的视差 d 则可以根据上式计算出深度值 Z 。这就是立体匹配原理。

1.2 立体匹配约束条件

实际情况中, 点 P 在左右摄像机投影平面上的像素点大多数是不能在同一极线平面上的, 同时受光照、遮挡等外部因素的影响, 立体视觉系统不能达到上面所讲的理想情况。因此, 为了获得正确的匹配结果, 立体匹配还需要各种约束条件来提高匹配的准确率和降低搜索难度。常用的约束条件由以下几种。

1.2.1 极线约束

在进行立体匹配时, 左右摄像机的图像平面几乎不能完全平行, 如图 2 所示, P 投影在左右平面的坐标投影点分别是 x_l 和 x_r 。 P 、 x_l 和 x_r 三点组成一个平面, 被称作极平面; 左右平面与基线相交的点为 e_l 和 e_r 被称作极点。极线约束就是通过校正使点 P 在左右摄像机平面的映射点 x_l 和 x_r 的纵坐标相同, 已知 P 点在左摄像机平面上的投影点的纵坐标, 就可以在右

摄像机平面上以相同的纵坐标开始进行搜索。达到左右摄像机平面之间像素点进行立体匹配时,将二维搜索转换为一维搜索,有效提升搜索效率的目的^[8]。

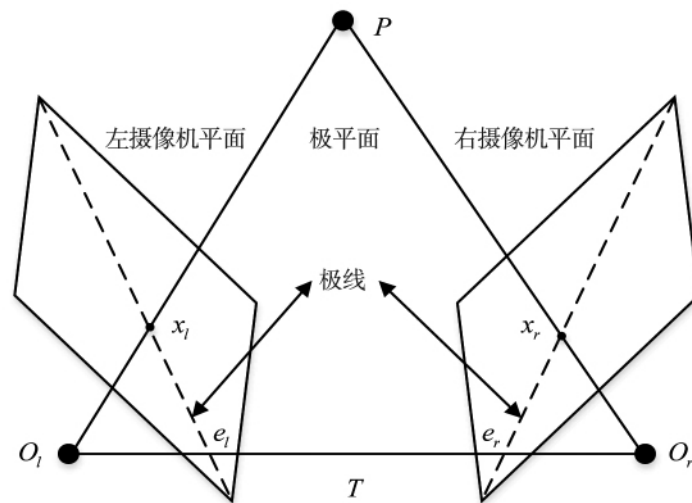


图2 对极几何

1.2.2 唯一性约束

在进行立体匹配的时候,图像中可能存在多个像素相同的情况,为了保证匹配的正确性并排除相同像素的干扰,使源图像上的某个像素点,在目标图像上进行匹配搜索时只有一个像素点与源像素点相匹配。

1.2.3 视差连续性约束

考虑到被拍摄物体大部分是光滑的,在某一部分被遮挡或者间断的情况下。计算视差时,利用摄像机在进行拍摄时像素点都是连续的特性,将图像上相邻像素的点也认为是连续的。在利用该约束条件的时候应该注意不能超过图像的边界^[9]。

1.2.4 顺序一致性约束

立体匹配时,当源图像上的像素点 P_l 匹配到目标图像上的像素点 P_r ,同时作为 P_l 邻域的像素点 P_{l1} 匹配的像素点 P_{r1} 与 P_r 相比在方位上发生比较大的变化时,就认为该匹配点不满足顺序一致性,即匹配失败。

1.2.5 相似性约束

空间中的一点在进行投影时,投影形成的图像在物理度量上具有相似性,比如空间中某三角形的一个顶点,它在图像中的投影应该也是某三角形的顶点。

2 双目立体匹配算法的分类

根据约束条件的不同,立体匹配算法可以分为以下两大类:

(1)全局立体匹配算法,该算法主要利用图像本身和附近区域的像素点信息,通过约束条件来进行匹配。全局立体匹配算法的优点就是匹配效果好,对于低纹理和小间断区域也能进行有效的匹配,但是全局立体匹配算法效率比较低^[10]。

(2)局部立体匹配算法,该算法主要是利用图像的灰度信息施行匹配。虽然该算法的时间

复杂度比较低,但是对于低纹理问题和深度间断的问题,匹配效果比较差。

下面将围绕这两大类立体匹配算法进行展开论述。

2.1 全局立体匹配算法

动态规划、图割法和置信度传播等算法是比较经典的全局立体匹配算法,对于实时性要求不高的情况下,可以优先考虑全局立体匹配方法,以获得比较理想的立体匹配效果。

2.1.1 基于动态规划的立体匹配算法

全局立体匹配算法中动态规划算法是使用比较多的一种经典算法,传统的动态规划立体匹配算法基于极线约束,在每条极线上面运用动态规划方法来寻找最佳匹配点,并通过动态寻优的方法来寻求全局能量最小化,得到视差匹配图。但由于只是扫描了水平极线上像素点,导致视差图的条纹现象十分明显。

Kunpeng Li^[11]通过先提取图像中的特征点,然后将特征点用最近邻搜索算法进行匹配的方法,以缓解传统的动态规划算法引起的横条纹效应;为了更加高效的利用动态规划立体匹配算法,Carlos Leung^[12]提出了一种快速最小化方案,通过使用迭代动态规划算法来进行立体匹配,该算法对行和列进行迭代以达到实现快速立体匹配的目的;Tingbo Hu^[13]考虑到动态规划匹配算法对图像边缘不能有效匹配的问题,将单一的极线搜索改进成单向四连接树的匹配算法,并针对 SDFC 树设计了快速动态规划优化方法,这样可以在有效的提高匹配精度的同时,将计算复杂度降低到传统动态规划算法的 1/12。

2.1.2 基于图割法的立体匹配算法

图割法是一种能量优化算法,通过一个无向图来表示要分割的图像,并利用 Ford 和 Fulkerson 的最大流—最小割理论^[14]求出最小割,也就是最优的图像分割集合,通过该方法可以很好的解决动态规划引起的条纹现象,但是缺点是时间复杂度比较大。

颜轲^[15]先将图像进行分割并建立立体匹配的马尔科夫有随机场模型,然后通过约束条件保留分割的信息,提高了匹配的精度;Lempitsky^[16]通过将图像进行最优分割,然后对分割后的图像进行分别计算,最后将结果进行结合,确保准确率不会下降的情况下,大大提高图割法的运行速度。

2.1.3 基于置信度传播的立体匹配算法

置信度传播的立体匹配算法由马尔科夫随机场模型组成。其将像素点作为网络传输的节点,每个节点包含数据信息和消息信息两种,分别保存像素的视差值和每个节点的信息值。置信度传播算法通过像素在四邻域网格上进行,在匹配的时候设定编号的模型,通过对编号相同的点进行搜索。它的消息值是自适应的,在低纹理区域能够将消息传播到很远。虽然匹配的精度提高了,但由于单个像素点容易产生误匹配,并且进行的是全局图像像素的搜索,算法时间复杂度非常大。因此如何快速有效的运用该算法也成为了研究的热点。

A. Ahmadzadeh^[17]通过多核系统平台来寻找解决该算法运行时间长的的问题,实验结果表明该方法能够有效的缩短运行时间;周自维^[18]首先将图像分割为若干小的区域,并通过对小的区域进行并行匹配,最后合并成一幅完整的视差图,这样就可以保证匹配率的准确性,同时还能缩短算法运行的时间。

2.2 局部立体匹配算法

基于区域的立体匹配算法和基于特征的立体匹配算法是两种具有代表性的局部立体匹配

算法,局部立体匹配算法由于具有高效性和实时性的特点,经常应用同步性比较高的场合下。

2.2.1 基于区域的立体匹配算法

基于区域的立体匹配算法通过确定源图像上一个像素点,并在该像素点周围选取一个子窗口,然后在目标图像的区域寻找与该子窗口最为相似的窗口,匹配得到的窗口对应的像素点就是该像素的匹配点。该算法在时间复杂度上比较小,但是对于弱纹理区域匹配效果不太理想,受环境影响比较大,比如光照、遮挡等影响。并且在进行立体匹配的时候,子窗口大小的选择也成为一难点。

现在普遍利用视差估计、窗口视差近似等方法获得具有自适应的窗口,并在此基础上改进算法。曾凡志^[19]在自适应窗口的基础上,采用 8 个相同的窗口运用并行处理的方法,根据图像的平滑情况从 8 个方向选择合适的区域,该算法解决了在低纹理区域容易造成误匹配的现象,并且运行时间与传统时间差别不大;ZF Wang^[20]将区域作为匹配的基元,通过引入区域之间的合作和竞争,采用协作优化模式来最小化匹配成本。

2.2.2 基于特征的立体匹配算法

基于特征的立体匹配算法主要利用图像的几何特征信息,根据特征信息进行视差的估计。所以在进行匹配的时候,要先进行特征点的提取,并根据特征点建立物体的稀疏三维轮廓,如果想要稠密的立体图则需要进行相应的插值算法。基于特征的立体匹配算法更多的强调的是物体的结构信息,根据特征提取的不同,又可以分为基于点特征的匹配算法,基于线特征的立体匹配等。

郭龙源^[21]将 SIFT 算法引入到边缘特征点的立体匹配中,结果表明提高了视差的准确性;H. Di^[22]通过将图像的特征点用 WTA 匹配,非特征点只是进行简单验证的方式,降低了计算成本。

3 经典立体匹配算法的对比

通过前面对算法的分析,已经对不同的算法有了初步的了解,下面我们将对各类算法进行汇总,并分别分析出各类算法的特性以及优缺点。如表 1 所示。

表 1 经典立体匹配算法对比表

立体匹配算法名称	算法特性
基于动态规划的立体匹配算法	时间复杂度比较低,匹配精度不高,容易出现条纹现象
基于图割法的立体匹配算法	能解决动态规划出现的条纹现象,边缘匹配处理比较好,时间复杂度比较高
基于置信度传播的立体匹配算法	收敛性比较差,时间复杂度比较高,对于低纹理问题处理的比较好
基于区域的立体匹配算法	时间复杂度比较低,算法受环境影响比较大,弱纹理问题不能有效解决
基于特征的立体匹配算法	时间复杂度比较低,对于几何特征明显的图像匹配效果比较好

通过表 1 可以明显知道并没有一种算法具有普适性,不同算法具有不同的特性,当我们在进行立体匹配的时候,需要根据实际环境和需求选择相应的算法以达到最佳的匹配效果。

4 总结

综述了双目立体匹配的各种算法,及研究现状。并在文中对这些算法的优缺点进行了分

析汇总。双目立体匹配问题是一个“病态”问题,在进行立体匹配时单个算法往往具有很大的局限性,同时算法性能和效率往往成反比。目前能够兼顾实时性和准确性的匹配算法还并不成熟,未来还需要从以下几方面来对立体匹配算法进行研究。

(1)如何提高立体匹配算法的效率和准确性,算法必须有高效率 and 准确率才能真正的运行在实践当中。

(2)算法的智能化发展,当前的算法只是适应于某一特定的场景,当出现光照发生变化,遮挡等问题发生时就会制约算法的准确性。

(3)通过多视图来增加匹配的信息量,减少匹配的难度同时增加匹配的准确率。

参考文献:

- [1] 刘建伟,梁晋,梁新合,等.大尺寸工业视觉测量系统[J].光学精密工程,2010,18(1):126—134.
- [2] 杭灵纲,刘清林,汪晓妍,等.一种三维重建的立体匹配方法:,CN103761768A[P].2014.
- [3] 陈红岩.无人车立体视觉里程计研究[D].北京交通大学,2012.
- [4] 宰小涛.基于 SIFT 特征描述子的立体匹配算法研究[D].上海交通大学,2007.
- [5] 刘志花.面向立体视觉的匹配算法研究[D].中国科学院研究生院,2011.
- [6] Barnard S T, Fischler M A. Computational stereo[J]. ACM Computing Surveys, 1982, 14(4): 533—572
- [7] Meijun, Zhao, Loon. Geometrical-Analysis-Based Algorithm for Stereo Matching of Single-Lens Binocular and Multi-Ocular Stereovision System[J]. Journal of Electronic Science and Technology, 2012, 10(2): 107—112.
- [8] Hamzah R A, Ibrahim H, Hassan A H A. Stereo matching algorithm based on per pixel difference adjustment, iterative guided filter and graph segmentation[J]. Journal of Visual Communication & Image Representation, 2016, 42: 145—160.
- [9] 贾云得. 机器视觉[M]. 背景: 科学出版社, 2001.
- [10] 霍智勇, 朱秀昌. 基于区域的立体匹配算法研究[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2011, 31(3): 44—49.
- [11] Li K, Wang S, Yuan M, et al. Scale Invariant Control Points Based Stereo Matching for Dynamic Programming[C]// 2009 9th international conference on electronic measurement & instruments. 2009: 3—769—3—774.
- [12] Leung C, Appleton B, Sun C. Iterated dynamic programming and quadtree subregioning for fast stereo matching[J]. Image & Vision Computing, 2008, 26(10): 1371—1383.
- [13] Hu T, Qi B, Wu T, et al. Stereo matching using weighted dynamic programming on a single-direction four-connected tree [J]. Computer Vision & Image Understanding, 2012, 116(8): 908—921.
- [14] Jr L R F, Fulkerson D R, Ziffer A. Flows in Networks[J]. Mathematics of Computation, 2009, 18(4): 319—331.
- [15] 颜轲, 万国伟, 李思昆. 基于图像分割的立体匹配算法[J]. 计算机应用, 2011, 31(1): 175—178.
- [16] Lempitsky V, Rother C, Blake A. LogCut-Efficient Graph Cut Optimization for Markov Random Fields[C]// IEEE, International Conference on Computer Vision. IEEE, 2007: 1—8.
- [17] Ahmadzadeh A, Madani H, Jafari K, et al. Fast and adaptive BP-based multi-core implementation for stereo matching [C]// Eleventh Ieee/acm International Conference on Formal Methods and MODELS for Codesign. IEEE, 2013: 135—138.
- [18] 周自维, 樊继壮, 赵杰, 等. 基于置信传播的立体匹配并行算法[J]. 光学精密工程, 2011, 19(11): 2774—2781.
- [19] 曾凡志, 鲍苏苏. 一种自适应多窗口的立体匹配算法[J]. 计算机科学, 2012, 39(s1): 519—521.
- [20] Wang Z F, Zheng Z G. A region based stereo matching algorithm using cooperative optimization[C]// Computer Vision and Pattern Recognition, 2008. CVPR 2008. IEEE Conference on. IEEE, 2008: 1—8.
- [21] (SIFT 特征点引导的区域立体匹配算法)
- [22] Di H, Chai Y, Li K. A Fast Binocular Vision Stereo Matching Algorithm[J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(8): 2180—2184.