

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.04.02

双目立体视觉匹配技术现状与发展

张煦, 朱振宇, 张合富

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 双目立体视觉技术是计算机视觉重要的研究领域, 如今的应用也愈发广泛, 其中在精密测量上起到的作用不可或缺。匹配技术在双目测量中尤为关键。本文从立体匹配技术的现状出发, 介绍了现阶段匹配技术运用的主要方式和关键算法, 以基于基元的匹配算法入手, 对该技术的发展趋势进行展望。通过对比各算法的优缺点, 获得对匹配技术的进一步了解, 为未来进行双目视觉测量的应用提供理论依据。

关键词: 立体匹配; 匹配基元; 双目立体视觉技术; 融合算法

中图分类号: TB89

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)04-0004-05

Present Situation and Development of Matching Technique in Binocular Stereo Vision

ZHANG Xu, ZHU Zhenyu, ZHANG Hefu

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: Binocular stereoscopic vision technology is a significant research field of computer vision, and its application is becoming more and more extensive, especially in precision measurement field. The core part of the stereo vision is stereo matching. This paper analyzes the main methods and the key algorithms of matching technology from the perspective of stereo matching technology. Based on the primitive matching algorithm, this paper looks forward to the development trend of the technology. By comparing the advantages and disadvantages of each algorithm, we can get a better understanding of the matching technology and provide the theoretical basis for the future application of binocular vision measurement.

Key words: stereo matching; primitive; binocular stereoscopic vision technology; fusion algorithm

0 引言

随着机器视觉不断发展, 逐渐被应用到智能机器人、虚拟现实、工业检测和计量各个领域之中。双目立体视觉在其中发挥着越来越重要的作用。这其中所涉及到的关键技术——立体匹配, 因其不确定性始终无法找到一种统一且完善的解决方式, 尤其人们对高精度、高效率不断地要求, 使得匹配技术的研究也不断深入。

本文首先简要介绍了立体匹配技术的相关原理及约束方式, 之后针对基于不同基元的匹配方式进行展开, 分析了基于区域、特征、相位三种匹配方式的优缺点和发展趋势, 最后在完成了对立体匹配技术现状的总结后, 对未来的发展与研究趋势进行了展望。

1 立体匹配技术

立体视觉技术兴起于 20 世纪 60 年代, 在麻省理工学院成功地对三维积木模型进行重建之后, 立体视觉就步入了我们视野。Huffman, Waltz 等人又将二维图像处理扩展到了三维, 解决了阴影等难题, 立体视觉研究从此起步^[1]。之后计算机通过模拟人眼形成双目立体视觉。在获取一幅或者多幅图像之后利用特殊的处理技术就能认知周围的环境和目标, 因此在有了直观感知的功能之余, 还能完成一些特殊领域的测量工作, 比如精密测量、大尺寸测量等, 这便是双目立体视觉得天独厚的优势。

国外在双目视觉方面的起步比较早, 在通过颜色信息作为辅助手段来增加精度, 通过灰度等级和运动测量过程来提高匹配效率, 自适应权重法的应用上都有了显著的成效。国内虽然起步较晚, 但是发展也十分迅速。现阶段, 三维测量、3D 重建、微操作系统的检测与控制, 甚至是新兴的虚拟现实等众多领域内, 双目立体视觉都起到了很大的作用。

收稿日期: 2017-04-24; 修回日期: 2017-07-07

作者简介: 张煦(1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向为机器视觉。

其中的关键技术——立体匹配，基于人眼视物的原理，通过两个或者多个观察点拍摄同一目标物体，得到一组不同视角下的图像信息。利用所得到的两幅图像，结合视觉成像和视差测距原理，可以计算得出不同图像中对应像素点间的空间信息，进而对目标物体的空间位置作出较为准确的推断，最终获得三维重建的物体立体信息。其过程总结起来就是寻找同名点，计算视差。

随着双目视觉的广泛应用，越来越多的人投身于立体匹配技术的应用之中，也提出了很多的方案，试图找出一种能够在多领域广泛适用的算法，在提高匹配精度的同时加快运算速度。然而现阶段还没有一种算法可以做到应用于所有的计算过程中。正因如此，在匹配技术方面的研究还在不断进行当中。

1.1 立体匹配约束

在立体匹配的过程中会受到很多因素的影响而产生误差或匹配不上的情况，例如噪声、光照、透视畸变等因素都会对结果造成影响，空间同一点投影到两个摄像机图像平面上而形成的一对匹配点所显示出来的信息特征也很有可能不同，也有可能存在多个候选匹配点。因此，为了能够得到唯一并且准确的匹配，要另外添加一些信息或约束作为辅助条件^[2]，现阶段普遍使用约束条件有以下几种：

1) 极线约束

匹配点一定位于两幅图像中相应的极线上。现阶段所使用的较多的一种约束方式便是极线约束，在此基础上也有不同的扩展运用，如在满足极线约束的基础上计算欧式距离最小值确定同名点的方式^[3]等。

2) 唯一性约束

两幅图像中相对应的匹配点应该有且只有一个。

3) 视差连续性约束

除了遮挡区域和视差不连续区域外，视差的变化应该都是平滑的。在考虑到视差的不连续多发生在色彩和空间不连续处，亦可只针对区域一致性约束^[4]或色彩相似性约束^[5]单独进行考量，以获得更快速更高精度的匹配结果。

4) 顺序一致性约束

位于一幅图像极线上的系列点，在另一幅图像中的极线上具有相同的顺序。

在一些不满足或不适宜运用一般约束的特殊情况下，还会有新的方法被不断提出及运用，例如采用基于仿射不变性的约束解决极线约束误匹配多的问题^[6]、曲线约束解决在不同介质中极线约束不可用的

问题^[8]等，具体使用何种约束还需根据被测目标进行选择。

1.2 立体匹配算法

立体匹配算法是匹配技术的核心，在不同的测量环境与图像效果下，选择合适的匹配算法能够实现更好地匹配结果。现有的匹配方式有很多，如何选择还需要对各种匹配方式的优缺点和适用范围有足够的认识，这样才能得到最满意的结果。

依据划分标准不同，有多种分类方法：有根据生成的视差图稠密度进行分类的稀疏视差匹配和稠密视差匹配；根据优化的作用范围分类的局部立体匹配和全局立体匹配；还有本文中详细介绍的基于不同匹配基元而分成的基于区域的匹配、基于特征的匹配和基于相位的匹配。

1.2.1 基于区域的匹配法

基于区域匹配的匹配基元为独立的像素或像素块，具体实现方法是在得到的两幅图像中分别建立一个窗口，窗口中心是以某一特征点为基准，汇集了其邻域各点的灰度值信息。在两幅图像的整个区域内中寻找满足一定相似性阈值条件的相近窗口，这样得到的各个相近窗口中心点可以视为一对匹配点。通过以上方式就实现了两幅图像的匹配。主要的算法有WTA(优胜者全选)、图像分割、模拟退火、动态规划等。

基于区域的匹配算法较为简单，易于实现。而且因为区域匹配通常是在设定窗口的前提下进行工作的，窗口越大，所包含的信息量就越多，匹配精度也就越高，不受特征检测的精度所影响，尤其在处理细节较为丰富的图像时更有效，可以获得很好密集视差表面。

但是基于区域这种方法的缺点也很明显：要对图像灰度信息的整体情况进行统计，在此过程中若出现错误则会影响整体匹配结果。而且设定的每个相关窗口中都要能提供足够的纹理信息，在纹理细节不够，基线长度过大、图像失真的情况下难以获得满意的结果；匹配过程对图像的要求比较高，还需要有良好的成像条件，对光照等外部条件比较敏感；对于一些不规则区域来说，重复性纹理、尺度大小、扭曲变形和旋转方向上的差异等问题，也会使最后的匹配结果出现较大误差；匹配窗口的大小没有确切的选择依据，不同的窗口大小对应的结果有很大不同，这就使得无法对计算量有一个很好的估计。总结起来，区域匹配的计算量相对较大，容易出现误匹配，匹配精度较差。

在算法的使用上并不是局限的,可以与多种算法结合使用,也可以进一步划分为基于局部或全局的匹配。全局算法匹配精度更高,但运算时间长。局部算法可以更好的解决匹配过程中计算量大、实时性不强等问题,在基于局部的区域匹配算法上进行改进,如使用并行配置系统将图像中的信息点分为特征点和非特征点,只对特征点进行WTA算法的操作,这样虽然对精度影响不大,视差缓变处精度低,但能有效的降低计算量来提高效率;采用Mean-Shift算子进行图像分割来提高匹配精度,与SSD算法相比较来说,在边界的处理上能够取得很好的效果,只是运行时间较长^[9-11]。目前在匹配窗口、相似性度量以及搜索策略这几部分是区域匹配的研究重点。

多年来,固定窗算法、自适应窗算法、自适应权重算法等算法相继出现,在一定程度上提高了区域匹配的匹配精度。其中自适应权重算法拥有着较高的匹配精度,并且与SSD算法相比,不仅可以做到同等的匹配速度,精度上更能得到较大的提升^[12],不过在如何选取窗口大小与权重分配上还在进一步的研究当中。

1.2.2 基于特征的匹配法

与基于区域的方法不同,基于特征的匹配法不直接利用图像的灰度、颜色等信息,而是对灰度信息进行抽象,对得到图像的特征进行匹配,如目标物体的边缘、轮廓、角点等。匹配过程一般包含三个部分:图像处理、特征提取、特征匹配。匹配后的结果是得到了图像的稀疏视差图。

特征匹配法匹配速度快、鲁棒性强、抗干扰性强。选取的这些特征点不会随着光照、阴影等外界环境的变化而变化,对噪声并不是很敏感,所以可以得到较高的匹配精度,同时对图像的要求也较低,对外界的变化不敏感、稳定性好。

而这种方法的缺点是匹配过后只能得到稀疏的视差图,后续还要进行各种插值运算恢复出完整的深度图,这是提取的特征在图像中的稀疏特性所决定的;图像提取的过程中易受到重复特征的影响;对两幅图像进行图像处理和特征提取,计算量会增加,处理速度慢;特征提取的准确性与否直接影响了匹配结果,但若是能够将特征匹配的鲁棒性和灰度匹配的致密性充分结合,匹配精度将会有很大幅度的提升。

目前,常用的算法有Harris算法和SIFT算法。Harris算法是基于梯度的,计算简单有效,适用于点状特征的提取,但对尺度变化敏感;SIFT算法准确度高,提取的每一个特征点都具有方向、尺度、位置三方面

的信息,特征点的描述能力很强,但匹配率过低。目前进行的一些改进算法中,可以增加感兴趣区域,结合目标区域进行选择^[14-18],也有一些算法中将这两种算法结合起来进行特征的处理工作,不仅能增强对图像特征点的处理能力,还能同时提高精度,可是在处理出现遮挡问题的情况时会有所欠缺。这两种算法的改进算法还有很多,结合处理的方式也各有特点,能够利用二者的优势固然是好,但是如何使它们相互之间不产生影响出现副作用才是解决问题的关键。而一种比SIFT更稳定的特征检测算法KAZE的提出^[13]给了特征匹配更多的选择。

1.2.3 基于相位的匹配法

由Kuglin和Hines等人最先提出的基于相位的匹配算法^[19]是利用多尺度的空间频率分析方法,假设一对匹配点的局部相位是不变的,在此基础上使用合理的约束条件,根据图像不同频段的信息完成匹配。通常采用的方法有相位相关法和相位差频率法。其中,相位相关法比较适用于对视差较大的图像;而相位差频率法更适用于要求精密视差的情况,但对超过了一定范围的视差其匹配效果就不甚理想了。

作为一种较为新兴的匹配算法,相位匹配有着其独特的优点,因为选取的匹配基元是相位信息,所以对环境光不敏感,不易受噪声的影响,且匹配点密集,误匹配概率小。同时,其视场差密集,可以达到亚像素级的标准,对几何畸变和辐射畸变的抵抗能力好。

相位匹配的困难在于等相位点的寻找过程,通常要考虑相位缠绕、相位偏差、相位奇点的问题。而且该算法的收敛范围与带通滤波器的波长有关,精度也会随视差范围的增大有所下降。

不少国内外的研究者都在相位匹配上进行了尝试,力求使该方法在精度上可以达到新的水平。已有的研究结果例如基于极线校正的亚像素相位匹配方法、引用Otsu法寻找最佳分割阈值、Fourier-Mellin匹配算法等^[20-22]在精度和效率上都有所突破。再者,相位匹配还在形貌测量上有其独特的优势,例如基于相位匹配的复杂形貌三维测量,在自由曲面的测量上有速度快,精度高,幅面光等优势^[23]。不过,图像畸变、阴影区域相位信息混乱等问题还亟待解决。

2 立体匹配技术现状及发展趋势

现阶段立体匹配技术已较为成熟,人们在立体匹配上进行了多方面研究,其目的主要集中在以下三点:提高匹配精度;提高匹配效率;增强系统鲁棒性。而

在这三个前进方向上,提升精度的需求无疑是迫切的,所以未来的立体匹配研究重点也会在提升精度上。

目前立体匹配技术遇到的主要问题是在面对遮挡区域、弱纹理区域、深度不连续区域等问题上还不能很好的解决,尤其是利用视觉的技术受光照影响很大,光线过暗或过亮,光照分布不均匀等情况都会影响匹配结果。现阶段匹配过程中,获取的图像大多来自实验室环境下,在光源的选取问题上采用了很多的假设,近似于一种理想的条件,然而要面向具体实际,还有很多工作要做。

纵观立体匹配相关文献,可以看出以下趋势:

1)多种算法多种匹配方式的融合使用。单一的匹配方法或算法都会有其局限性,为了能够获得更加精确高效的数据结果,将多种的匹配方式相结合的使用,在整体性能上将会带来改善,这俨然已成为了一种趋势。例如,特征匹配和区域匹配相结合,在高鲁棒性的基础上保持密集的视差表面;在全局算法中融合局部算法获得整体优化。不过,机械性的累加也是不能收获良好的效果,比如调节匹配的准确性和恢复视差的全面性上就存在着矛盾,都还需要对于具体问题的实时分析。

2)充分利用约束条件得到精确的匹配。较为常用的约束在前文已经提及,如何能选择最优的约束方式,是否有其它信息可以更好地提供约束条件,何种情况下已有的约束条件不再适用而需要使用新的约束方式,这些问题还有待考量。

3)不断提升匹配精度与效率,逐步在实际应用中发挥更大的作用。无论技术的理论依据与实验测量有多么完美,最终都需要应用到实际中去检验。现阶段人们不断努力的方向都集中在对精度与效率的优化上,尤其是提升精度,可以说这是一套系统的根本所在。无论是计量测试,还是形貌描述的结果,都与精度密不可分。在保证精度的前提下提升效率,增强系统鲁棒性,这无疑将是一个长久的趋势。

3 结语

双目立体视觉的应用已不仅限于轮廓描述、视觉测量上,在理论与实践上还需要更多的探索:机器人导航、3D 场景重建、汽车预警系统等。而随着机器视觉的应用愈发广泛且已逐渐普及到日常生活智能化之中,对其中作为关键技术的立体匹配的要求就不止是高速高效,也要保证它的实用性和并行化。

本文在立体匹配的基本理论基础,介绍了基于

不同匹配基元的几种立体匹配方式现状,并得出立体匹配技术的发展趋势。在提升精度的同时不忽略效率,在匹配方式的应用上注重多种算法的融合,注重在离开实验环境下的实际应用。未来的立体匹配技术还需要更进一步的研究与探讨。

参考文献

- [1] Jiang J H, Chang C C, Chen T S. An efficient Huffman decoding method based on pattern partition and look - up table [C]// Asia - Pacific Conference on Communications and Fourth Optoelectronics and Communications Conference, 1999, 2: 904 - 907.
- [2] 张广军. 机器视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [3] 周艳青, 河儒, 姜新华, 等. 基于极线约束对称距离的特征点匹配算法的研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2016(3): 107 - 111.
- [4] 曹国震, 彭寒. 基于区域一致性的图割立体匹配[J]. 西北工业大学学报, 2017, 35(1): 160 - 163.
- [5] 苏晓许, 胡晓辉, 孙苗强. 采用色彩相似性约束的图割立体匹配[J]. 兰州交通大学学报, 2012, 31(1): 93 - 97.
- [6] 王向军, 邢峰, 刘峰. Delaunay 三角剖分和仿射约束的特征相同多物体同名点立体匹配[J]. 光学学报, 2016(11): 190 - 197.
- [7] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [8] 张强, 郝凯, 李海滨. 水下环境中基于曲线约束的 SIFT 特征匹配算法研究[J]. 光学学报, 2014, 34(2): 183 - 189.
- [9] 狄红卫, 柴颖, 李逵. 一种快速双目视觉立体匹配算法[J]. 光学学报, 2009, 29(8): 2180 - 2184.
- [10] 吴方. 基于颜色信息的立体匹配算法研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2013.
- [11] 黄承亮. 基于双目立体视觉立体匹配算法研究与应用[D]. 南京: 南京理工大学, 2013.
- [12] 卢迪, 林雪. 一种改进自适应权重稀疏区域立体匹配算法[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2016, 21(1): 83 - 88.
- [13] Alcantarilla P F, Bartoli A, Davison A J. KAZE Features [C]// European Conference on Computer Vision. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012: 214 - 227.
- [14] 吴哲岑. 基于双目立体视觉的特征点提取与定位方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [15] 李德隆, 刘伟. 基于改进的 SIFT 特征点的双目定位[J]. 广东工业大学学报, 2017, 34(1): 90 - 94.
- [16] 蓝福明. 双目立体视觉的摄像机标定与特征点匹配技术研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2013.
- [17] Tang B, Boudaoud D A, Matuszewski B J, et al. An Efficient Feature Based Matching Algorithm for Stereo Images [C]// Conference on Geometric Modeling and Imaging; New

- Trends. IEEE Computer Society, 2006: 195 – 202.
- [18] 梅金燕. 双目测距系统中快速匹配算法研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2012.
- [19] Kuglin C D, Hines D C. The phase correlation image alignment method[C]//In Proc of IEEE Int Conf on Cybernetics and Society, 1975: 163 – 165.
- [20] 肖志涛, 卢晓方, 耿磊, 等. 基于极线校正的亚像素相位立体匹配方法[J]. 红外与激光工程, 2014, 12(43): 225 – 230.
- [21] 林俊义, 黄常标, 刘斌, 等. 提高双目视觉立体匹配精度的一种方法[J]. 郑州轻工业学院学报: 自然科学版, 2011, 26(6): 64 – 66.
- [22] 胡海. 基于双目立体视觉的相位匹配算法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2013.
- [23] 成剑华. 基于相位匹配的自由曲面双目视觉测量方法研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2012.
- [24] HOSNI A, BLEYER M, GELAUTZ M, ET AL. LOCAL STEREO MATCHING USING GEODESIC SUPPORT WEIGHTS[C]// IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE PROCESSING. IEEE, 2010: 2093 – 2096.
- [25] Zitnick C L, Kanade T. A cooperative algorithm for stereo matching and occlusion detection[J]. Proceedings IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(7): 675 – 684.
- [26] 朱素杰, 周波, 刘忠艳. 一种基于相位的立体匹配算法[J]. 工业仪表与自动化装置. 2013(2): 101 – 104.



(上接第 3 页)

计理论, 设计传感器整体结构。同时揭示影响石墨烯梁谐振子 Q 值的关键因素及规律, 制作高 Q 值的石墨烯梁谐振子, 研制石墨烯谐振式振动传感器原理样机。并以此为突破口, 开展针对更多应用背景的石墨烯谐振式振动传感器或针对其他参数测量的石墨烯谐振式传感器的研究。

参 考 文 献

- [1] Novoselov K S, Geim A K, Morozov S V, et al. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films [J]. Science, 2004, 306(5696): 666.
- [2] Kang J W, Lee J H, Hwang H J, et al. Developing accelerometer based on graphene nanoribbon resonators[J]. Physics Letters A, 2012, 376(45): 3248 – 3255.
- [3] Kang J W, Park J H, Lee G Y, et al. Molecular dynamics simulation on crossroad – type graphene – resonator accelerometer [J]. Journal of Computational & Theoretical Nanoscience, 2015, 12(11): 4186 – 4190.
- [4] Hurst A M, Lee S, Cha W, et al. A graphene accelerometer [C]//Micro Electro Mechanical Systems (MEMS), 2015 28th IEEE International Conference on. IEEE, 2015: 865 – 868.
- [5] Lee S, Chen C, Deshpande V V, et al. Electrically integrated SU-8 clamped graphene drum resonators for strain engineering [J]. Applied Physics Letters, 2013, 102(15): 666.
- [6] Jiea W, Hua F, Wang X, et al. Acceleration sensing based on graphene resonator[C]//Second International Conference on Photonics and Optical Engineering. International Society for Optics and Photonics, 2017: 102562E – 102562E – 8.
- [7] Bunch J S, van A M, Verbridge SS, et al. Electromechanical Resonators from Graphene Sheets [J]. Science, 2007, 315(5811): 490.
- [8] Chen C, Rosenblatt S, Bolotin K I, et al. Performance of monolayer graphene nanomechanical resonators with electrical readout[J]. Nature Nanotechnology, 2009, 4(12): 861 – 867.
- [9] Oshidari Y, Hatakeyama T, Kometani R. High Quality Factor Graphene Resonator Fabrication Using Resist Shrinkage – Induced Strain [J]. Applied Physics Express, 2012, 5(11): 7201.
- [10] 庠玉梅. 谐振式石墨烯膜压力传感效应研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2017.
- [11] Atalaya J, Isacson A, Kinaret J M. Continuum elastic modeling of graphene resonators [J]. Nano letters, 2008, 8(12): 4196 – 4200.
- [12] Murmu T, Pradhan S C. Vibration analysis of nano – single – layered graphene sheets embedded in elastic medium based on nonlocal elasticity theory [J]. Journal of Applied Physics, 2009, 105(6): 064319.
- [13] Kwon O K, Lee G Y, Hwang H J, et al. Molecular dynamics modeling and simulations to understand gate – tunable graphene – nanoribbon – resonator [J]. Physica E: Low – dimensional Systems and Nanostructures, 2012, 45: 194 – 200.
- [14] Kwon O K, Lee J H, Park J, et al. Molecular dynamics simulation study on graphene – nanoribbon – resonators tuned by adjusting axial strain [J]. Current Applied Physics, 2013, 13(2): 360 – 365.
- [15] Xionghui Gong, Shengwei Jiang, Xuefang Wang, et al. Finite element analysis of graphene resonator tuned by pressure difference [C]. 15th International Conference on Electronic Packaging Technology, 2014: 520 – 523.
- [16] 邢维巍, 张晨霄, 樊尚春, 等. 石墨烯谐振特性研究进展 [J]. 无机材料学报, 2016, 31(7): 673 – 680.
- [17] 张晨霄. 单层石墨烯谐振子谐振特性研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2017.