

# 视差图提取技术与 OpenGL 三维重建

罗桂娥, 陈少华, 刘小群

(中南大学 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410083)

**摘要:** 在研究区域匹配算法和特征匹配算法的基础上, 提出了改进的基于视差梯度的区域匹配算法和基于尺度不变性的 Harris 角点特征匹配算法, 并进一步利用互补策略将两种算法结合起来, 提出了一种区域和特征匹配相结合的立体匹配算法, 该算法具有速度快、精度高和鲁棒性强等优点。利用该算法提取视差图, 进而提取深度图, 最后利用 OpenGL 进行三维重建, 获得了良好的重建效果。

**关键词:** 视差梯度; 尺度不变性; 互补策略; OpenGL

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)09-0038-03

## Parallax figure extraction and OpenGL 3D reconstruction

Luo Guie, Chen Shaohua, Liu Xiaoqun

(College of Information of Science and Engineering, Center South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** Based on the research of area-based stereo matching algorithm and feature-based stereo matching algorithm, this paper introduces area-based stereo matching algorithm based on disparity gradient and feature-based stereo matching algorithm based on Harris corner of scale invariance. In further, this paper combines the two algorithm with the use of complementary strategy to propose a stereo matching algorithm, which has the characteristics of high speed, high precision and strong robustness. Using this algorithm, the paper extracts parallax figure and then extracts depth map. At last, three-dimension image using OpenGL on computer is rebuilt, and it obtains good effect.

**Key words:** disparity gradient; scale invariance; complementary strategy; OpenGL

三维重建技术是计算机视觉、人工智能、虚拟现实等前沿领域的热点和难点,也是人类在基础研究和应用中面临的重大挑战之一<sup>[1]</sup>。基于双目立体视觉的三维重建技术在机器人视觉、工业制造以及医学影像诊断等多个领域具有广阔的应用前景。

基于双目立体视觉的三维重建技术的首要条件是对左右图像对进行立体匹配从而获得高质量的视差图像。在获取视差图像后,通过计算这些视差图像上对应点之间的视差提取出场景的深度,得到反映空间物体纵深关系的深度图像,最后利用 OpenGL 进行三维重建。

本文在对经典的区域匹配和特征匹配算法进行研究的基础上对算法进行改进,并将两种算法结合起来提出新的立体匹配算法。利用该算法提取出质量较好的视差图,然后利用平行双目视觉三角测量原理来计算物体深度值进而获得物体的深度图像,获得了良好的深度图像,最后利用 OpenGL 对深度数据进行三维重建,取得了

较好的重建效果。

### 1 基于双目立体视觉的视差图像提取

提取高质量的视差图像是基于双目立体视觉的三维重建技术的首要条件<sup>[2]</sup>。立体匹配算法的实质是在匹配基元相似性准则下的最佳搜索问题。根据匹配基元的不同,目前的立体匹配算法可分为基于区域的匹配算法、基于特征的匹配算法和基于相位的匹配算法 3 类。本文重点研究区域匹配与特征匹配算法。

#### 1.1 区域匹配算法研究及改进

根据区域匹配算法的原理可知,计算匹配代价以及对匹配代价进行累积是区域匹配算法的重点<sup>[3]</sup>。本文从测度函数以及窗口大小的选择两方面进行改进,提出一种新的基于视差梯度的区域匹配算法。

在区域匹配算法中,当图像对中存在像素的灰度分布与常态不同的点或者是有很大的噪声时,常用的测度函数在匹配中就会产生误匹配<sup>[4]</sup>。本文采用一种新的函

数作为相似性测度函数来解决该问题,该函数的表达式及其导数的表达式为:

$$\rho_{\sigma}(n)=\log\left[1+\frac{1}{2}\left(\frac{n}{\sigma}\right)^2\right] \quad (1)$$

$$\psi_{\sigma}(n)=\frac{2n}{2\sigma^2+n^2}$$

其中,  $n(x,y)=I_L(x,y)-I_R(x+d,y)$ ,  $\sigma$  是一个可变的参数。

$\rho_{\sigma}(n)$  函数能使图像中的噪声几乎不影响图像的质量,因此得到的处理图像效果很好。新的测度函数的表达式为:

$$NSAD(d)=\sum_{x,y}\rho_{\sigma}(I_L(x,y)-I_R(x+d,y)) \quad (2)$$

对于窗口大小的选择,本文根据不同的视差梯度范围可以得到不同的区域特点,在区域匹配中引入视差梯度,这样可以减少匹配时不必要的搜索,从而提高匹配的精度和速度。

平行双目视觉系统中,根据视差梯度  $\delta_d$  的定义以及左右视差  $d_1, d_2$ , 可推导出:

$$d_2=\frac{2+\delta_d}{2-\delta_d}d_1-1 \quad (3)$$

根据式 (3) 可以得出  $|\delta_d|$  与  $\Delta x_l$  之间的关系: 当  $|\delta_d|>2$  时, 图像会由于遮挡而引起左右图像匹配点倒序; 当  $1.2<|\delta_d|<2$  时, 图像点的视差值变化比较迅速, 是图像边缘点应该具有的特征, 即说明此时的图像点位于边缘; 当  $|\delta_d|<1.2$  时, 视差值的变化连续且比较缓慢, 这说明搜索范围是平滑区域。因此, 本文对于灰度变化剧烈的边缘区域(即  $1.2<|\delta_d|<2$  时)采用  $3\times 3$  的小窗口进行匹配, 对于灰度变化平缓的平滑区域(即  $|\delta_d|<1.2$  时)采用  $15\times 15$  的大窗口进行匹配。

## 1.2 特征匹配算法研究及改进

基于特征的特征匹配算法是以图像中的角点、线或边缘等为特征进行匹配的算法。本文对基于特征点的匹配进行了深入研究。

经典 Harris 角点的特征匹配算法编程灵活且提取的特征具有统计的特点, 这使其在很多方面具有很强的鲁棒性<sup>[5]</sup>。但是当图像的尺度发生很小的变化时, 经典 Harris 检测算子检测到的特征点就不太理想, 即这种算子不具有尺度不变性。本文采用新的 Harris 检测算子使其具有尺度不变性, 新的 Harris 检测算子为:

$$M=\delta_d^2 \times e^{-\frac{(u^2+v^2)}{2\delta_d^2}} \otimes \begin{bmatrix} I_x^2 \otimes e^{-\frac{(u^2+v^2)}{2\delta_d^2}} & I_x I_y e^{-\frac{(u^2+v^2)}{2\delta_d^2}} \\ I_x I_y e^{-\frac{(u^2+v^2)}{2\delta_d^2}} & I_y^2 e^{-\frac{(u^2+v^2)}{2\delta_d^2}} \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中,  $\sigma_l$  表示积分尺度,  $\sigma_D$  表示微分尺度, 且  $\sigma_l=s\sigma_D$  ( $s$  为一个不大于 1 的常数)。改进的 Harris 检测算子对  $M$  增加了尺度适应的处理, 这样不仅能够精确地提取小尺度图像的角点而且能够提取到丰富的大尺度图像的角点, 同时也可以检测出存在于尺度空间以及二维图像中的角点。

采用改进的 Harris 检测算子从位置和尺度上提取具有尺度不变性的角点之后, 接下来就要为每个 Harris 角点构造特征描述子即特征向量。这样, 特征匹配算法就转化为利用测度函数来判断特征向量的相似程度从而确定所提取的角点是否就是匹配的。在具体实现时, 为了进一步减少匹配误差, 采用双向匹配的策略。

## 1.3 区域和特征匹配相结合算法的研究

基于视差梯度的区域匹配算法能够半自适应地选择匹配窗口, 而且搜索范围的减少使得匹配的速度提高了, 但是区域匹配算法的特点还是决定了该算法具有对辐射畸变及仿射畸变较敏感、计算量大以及速度较慢等缺陷; 而基于尺度不变特征的 Harris 角点特征匹配算法在匹配的稳定性以及匹配结果的精度方面有很大的提高, 但是由于特征匹配的特点, 得到的视差图还是稀疏的。针对这两种算法的不足, 本文采用互补策略, 充分利用区域匹配的致密性以及特征匹配的鲁棒性, 将两种算法结合起来, 以弥补相互的缺陷。基于此思想, 提出了在边缘和角点提取的基础上进行区域和特征相结合的立体匹配算法。

区域和特征相结合的立体匹配算法的具体实现步骤: 首先对左右立体图像对进行灰度化、滤波降噪、锐化等预处理, 然后对预处理后的图像对运用 Canny 算子提取边缘特征, 在此基础上采用改进的 Harris 检测算子提取角点, 再对提取边缘后的图像对求取视差梯度  $\delta_d$ , 对于  $1.2<|\delta_d|<2$  的图像边缘点进行基于边缘区域的特征匹配, 最后借助于区域的灰度对特征匹配后得到的图像对中视差梯度  $|\delta_d|<1.2$  的平滑区域进行基于视差梯度的区域匹配, 从而得到最终的视差图。区域和特征匹配相结合算法的匹配流程图如图 1 所示。

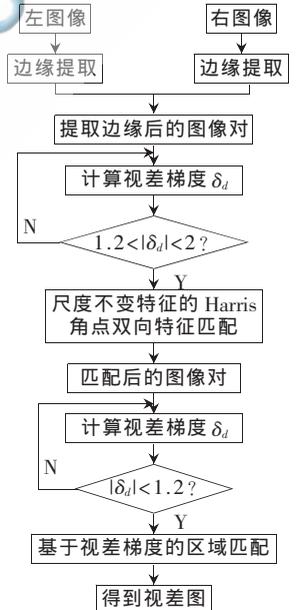


图 1 区域与特征匹配相结合的匹配算法流程图

## 1.4 算法分析

利用本文提出的算法对标准的 TsuKuba 立体图像对提取视差图。标准的 TsuKuba 立体图像对如图 2 所示, 相应的基于梯度的区域匹配算法、基于尺度不变特性的 Harris 角点特征匹配算法和本文提出的基于区域和特征匹配相结合的算法提取的视差图如图 3 所示。实验结果表明, 本算法比基于梯度的区域匹配算法、尺度不变特性的 Harris 角点特征匹配算法匹配效果更好。

本文提出的区域和特征匹配相结合算法具有以下优势: (1) 较为快速, 因为在区域匹配中引入视差梯度,



图2 TsuKuba 彩色立体图像对



图3 TsuKuba 立体图像对的视差图

这样可以减少匹配时不必要的搜索从而提高匹配的精度和速度；(2)得到的是较为密集的视差图，可以得到高精度的匹配结果；(3)由于基于尺度不变特征的 Harris 角点匹配算法的引入而具有了很好的稳定性，提升了算法的鲁棒性。综合以上特点，本文的算法成功综合了基于梯度的区域匹配算法和基于尺度不变特性的 Harris 角点特征匹配算法的优点。

## 2 基于 OpenGL 平台的物体三维重建

OpenGL 是目前国际上通用的开放式三维图形标准。OpenGL 实际上是一个开放的三维图形软件包，它独立于窗口系统和操作系统，以它为基础开发的应用程序可以十分方便地在各种平台间移植，它强大的图形库函数为图形图像的开发提供了方便。

### 2.1 OpenGL 中深度数据的三维重建方法

由于三角形能保证 3 个顶点在同一平面上，本文采用 Delaunay 三角剖分方法将所有的数据点连成三角网格，很好地重现了原始物体表面的拓扑结构，并利用 OpenGL 实现三维重建，其具体步骤如下：

(1) 对 OpenGL 进行初始化，即设置像素格式，为 OpenGL 提供绘制风格、颜色模式、颜色位元数和深度位元数等信息。

(2) 根据基本像素建立景物的三维模型，并对模型进行数学描述。这里需要利用 OpenGL 的函数 GL\_POLYGON 和 glVertex3d 等函数。

(3) 把景物放置在三维空间的适当位置，设置三维透视视觉体以观察场景。

(4) 加入光照及光照条件、材质。

(5) 把景物及其颜色信息转化为可在屏幕上显示的

像素信息。

### 2.2 三维重建结果

重建的三维模型如图 4 所示。实验结果表明，重建的三维物体逼真、真实感强，通过放大、缩小、平移和旋转等方式展示各个方向的三维模型，视觉效果令人满意。



图4 重建后的三维模型

本文研究并改进了经典的区域匹配和特征匹配算法，在改进的基础上提出了区域匹配和特征匹配相结合的立体匹配算法，该算法充分发挥了两种算法的优势。利用该算法进行立体匹配，获得了高质量的视差图；然后根据三角测量原理利用获得的视差图进行深度的计算提取深度图；最后在基于 MFC 的 OpenGL 平台下进行三维重建，取得了较好的重建效果。要想进一步提高重建模型的效果，可以在立体匹配算法上进行进一步研究，以期获得更好的视差图和深度图。

### 参考文献

- [1] OKADA K, INABA M. Integration of real-time binocular stereo vision and whole body information for dynamic walking navigation of humanoid robot [J]. IEEE Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligence Systems, 2003:131-136.
- [2] 马颂德, 张正友. 计算机视觉——计算理论与算法基础[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [3] 周秀芝, 文贡坚, 王润生. 自适应窗口快速立体匹配[J]. 中国图象图形学报, 2006, 29(3): 473-479.
- [4] 罗小燕. 一种基于目标区域综合特征的图像检索方法[J]. 微计算机信息, 2005(17): 214-216.
- [5] 周东翔, 蔡宣平, 孙茂印. 一种基于特征约束的立体匹配算法[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(7): 563-656.

(收稿日期: 2012-01-18)

### 作者简介:

罗桂娥, 女, 1962 年生, 博士, 教授, 主要研究方向: 数字图像处理技术。

陈少华, 男, 1985 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 数字图像处理技术。