

一种快速有效提取浓密视差图的方法

廖素英, 杨华军

(电子科技大学物理电子学院 成都 610054)

【摘要】采用边缘匹配和区域相关相结合的办法,用Gauss-Laplace算子首先对图像进行运算,提取图像的边缘像素,并根据一定约束条件匹配边缘像素,再将图像对视作对称,以相关值互为最大来确定其余点的匹配关系。用该方法处理经过良好校正的图像对,在VC++环境下可实现浓密视差图的快速提取。

关键词 双目立体视觉; 图像匹配; 区域相关; 视差图

中图分类号 TP 391.4 文献标识码 A

A Fast and Efficient Approach for Extracting Condense Disparity Map

LIAO Su-ying, YANG Hua-jun

(School of Physical Electronics, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract In this paper, we integrate feature-based image matching method with feature-based one. Zero-crossing edge points are first extracted from image pairs with the Gauss-Laplace operator calculating. They are matched according some constraint conditions. Then, being looked as symmetries, image pairs' other point to point correspondences are searched from two directions by pixel neighbor area correlation values. Applying this approach, we have designed Visual C++ programs for rectified image pairs and extracted their condense disparity map not only fast but also efficiently.

Key words binocular stereo vision; image matching; area correlation; disparity map

立体匹配是双目立体视觉系统中最重要也是最困难的部分,至今仍是世界公认的技术难题^[1]。目前立体匹配的算法主要分为两大类:基于区域的匹配和特征的匹配^[2]。前者以密集的基元测量为基础,对图像对中各像素点周围的图像子区域进行灰度相关运算,通过相关值来确定匹配关系,相关值大的子区域更为相似,这种匹配可以得到密集的视差图,但由于对图像灰度统计特性过分依赖,在景物表面缺乏足够的纹理细节

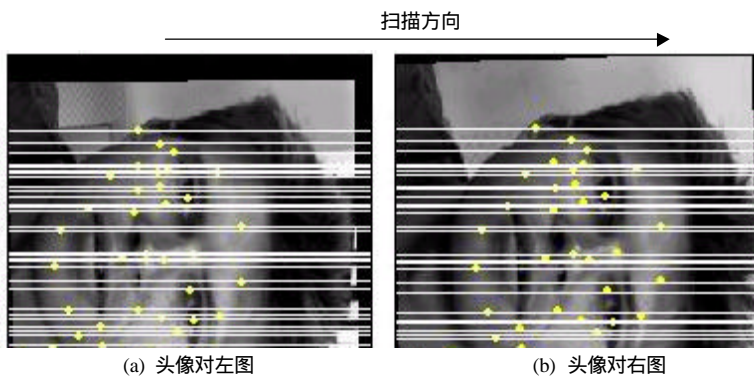


图1 经过校正的头像对

以及深度变化较快的场合难以应用;后者利用由图像灰度信息抽象得到的相对比较稀少、较为符号化的图像特征,有选择地匹配表示景物特性的某些特征,因此匹配速度快,准确度高,但如果提取的特征基元不可靠,则有可能找不到或只能找到极少数的匹配基元。基于对这两种匹配各自局限性的考虑,本文提出了一种以区域相关双向匹配为主,零交叉边缘匹配为辅的混合算法,通过选择合理的数据结构,将特征匹配和区域相关匹配应用于不同

阶段,可以有效的完成图像的快速匹配。

收稿日期:2004-03-29

作者简介:廖素英(1972-),女,硕士生,现工作单位为桂林空军学院,主要从事信息光学方面的研究。

1 算法描述

本文中进行图像匹配的均是采用已经过良好校正的图像对(图像对的两幅图分别以左图和右图相称),所有外极线平行于水平轴,因此对应点只沿水平扫描线寻找。图1所示为校正好的头像对图,白色线为图像对的一部分外极线,标“+”号的点是用于运算的像点,黑色箭头的指向表示寻找匹配点的扫描方向。区域相关时选择 5×5 的相关窗口和同样大小的高斯拉普拉斯算子,且算子按如下取值:

$$\text{Gauss-Laplace算子} \begin{bmatrix} -2 & -4 & -4 & -4 & -2 \\ -4 & 0 & 8 & 0 & -4 \\ -4 & 8 & 24 & 8 & -4 \\ -4 & 0 & 8 & 0 & -4 \\ -2 & -4 & -4 & -4 & -2 \end{bmatrix}$$

整个匹配的过程是:沿水平扫描线方向,在左右两图像上依次提取图像数据条,应用高斯拉普拉斯边缘算子对数据条进行运算,得到差分强度值超过某一阈值的零交叉点边缘像素,用相似性检验配准这些边缘像素;然后采用基于区域相关的双向匹配法,以相关值互为最大的点为匹配点;最后将两种匹配结果融合,获得浓密的视差图。

1.1 边缘像素匹配A

Gauss-Laplace算子对图像运算后,得到的对应边缘像素位于同一扫描线上。对每一扫描线上的边缘像素,应用相似性检验,根据一定的约束条件匹配:设图像对左图中对应某一扫描线的一边缘像素为 $m_1(i, j)$,差分强度值 $g_1(i, j)$,右图中可能的匹配像素 $m_2(i, k)$ 及差分强度值 $g_2(i, k)$ ($k=0, 1, 2, \dots$)满足:

- 1) $m_2(i, k)$ 落在某一视差范围之内,表示为: $(m_2(i, k) | j-d < k < j+d)$ 其中 d 是最大可能的视差。
- 2) 图像对间对应边缘像素有相似的边缘差分强度值,因而可以在右图的 $j-d < k < j+d$ 范围内寻找满足条件 $|g_1(i, j) - g_2(i, k)| < e$ 的候选匹配点,其中 e 是确定图像间对应边缘像素差分强度值相似程度的阈值。
- 3) 图像对间对应边缘像素有相似的边缘梯度方向值。这里,用Sobel算子对待匹配点 $m_1(i, j)$ 和经前面两个约束条件筛选后的候选点 $m_2(i, k)$ 计算梯度方向值 $q_1(i, j)$ 和 $q_2(i, k)$, $q_1(i, j)$ 计算式为^[3]:

$$\begin{cases} q_1(i, j) = \arctan(Y/X) \\ X = (A_2 + 2A_3 + A_4) - (A_0 + 2A_7 + A_6) \\ Y = (A_4 + 2A_5 + A_6) - (A_0 + 2A_1 + A_2) \end{cases}$$

其中 $A_0 \sim A_7$ 为 (i, j) 邻域像素的强度值,所以选择 $|q_1(i, j) - q_2(i, k)|$ 最小的候选点为匹配点。

图2所示是上述方法得到的视差图:图像的边缘特征得到匹配,花瓶的轮廓可看清。但遗漏了一些边缘点,也出现了一些非边缘点,视差图相对较稀疏,要得到浓密的视差图,还需进行区域相关匹配。



(a) 花瓶图像对的左图



(b) 花瓶图像对的视差图

图2 花瓶图像对左图及视差图

1.2 区域相关双向匹配

设图像对左图中特征点 $m_1(i, j)$,要在图像对右图中寻找对应的特征点 m_2 。使用面积 $A = (2k+1)(2l+1)$ 的相关窗口,窗口中心位于左图中的特征点 $m_1(i, j)$ 处,在右图中沿 $m_1(i, j)$ 的同一水平扫描线,在一定的视差范围内 $(-d, +d)$ 搜寻特征点 m_2 。特征点 $m_1(i, j)$ 、 m_2 相似程度用它们邻域像素的归一化协方差相关系数来衡量。 $I_1(i, j)$ 、 $I_2(i, j)$ 表示图像对中像素点 (i, j) 处的灰度, d 表示视差,归一化协方差相关系数定义为^[4]:

$$C(m_1, m_2) = \frac{\sum_{m=-k}^k \sum_{n=-l}^l [I_1(m+i, n+j) - \overline{I_1(i, j)}][I_2(m+i+d, n+j) - \overline{I_2(i+d, j)}]}{\sqrt{\left\{ \sum_{m=-k}^k \sum_{n=-l}^l [I_1(m+i, n+j) - \overline{I_1(i, j)}]^2 \right\} \left\{ \sum_{m=-k}^k \sum_{n=-l}^l [I_2(m+i+d, n+j) - \overline{I_2(i+d, j)}]^2 \right\}}} \quad (1)$$

式中 $\overline{I_1(i, j)}$ 、 $\overline{I_2(i+d, j)}$ 分别为 m_1 、 m_2 所在邻域的灰度平均值。

匹配时选择相关窗口 $k=1=2$ ，设置相关阈值 C_t ，当 m_1 、 m_2 的相关值 $C(m_1, m_2) > C_t$ 时，则认为 m_1 、 m_2 为候选匹配点对，左图中点 m_1 在右图中的候选匹配点可能不只一个，同样右图中的点 m_2 在左图中的候选匹配点也可能不只一个，这就出现了匹配的歧义性。采用双方向匹配来消除歧义性^[5]。这种方法是将图像对视为对称，采用唯一性约束来消除歧义的匹配点。即：在左图中给定某一参考特征点 m_1 ，将右图中所有的特征点(或某一视差范围内的特征点)都与 m_1 进行相关运算，如果右图中某一特征点 m_2 与 m_1 的相关值最大，则认为 m_2 是 m_1 的最可能匹配点；反过来以 m_2 为参考特征点，将左图中所有特征点也与 m_2 进行相关运算，如果 m_1 也是 m_2 的最可能匹配点，则 (m_1, m_2) 才是有效匹配，唯一的匹配。

对于已经校正好的图像对，所有外极线是平行于水平轴的，所以可根据每一条水平扫描线上像素间

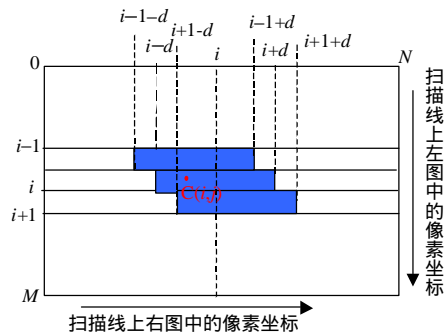


图3 匹配寻找矩阵

的相关值来建立相应的匹配寻找矩阵，以便于匹配点的寻找。图3所示是在某一条扫描线上建立的一个 $M \times N$ 阶匹配寻找矩阵，矩阵的行数表示位于该扫描线上的图像对左图的像素数目，列数则表示处在同一扫描线上的图像对右图的像素数，所以 M 、 N 也代表图像对左、右图的宽度，像素间的相关系数构成矩阵的各元素。将左图中的每一像点与右图中位于该扫描线上的所有像点作相关运算，可依次得到矩阵每一行的元素值。实际匹配时，往往事先确定视差的大概范围在 $(-d, +d)$ 之间，视差范围之外的像点认为完全不可能匹配，其相关值当作零处理，所以真正需进行相关运算的每一行只有图中阴影区域的像点，所得的矩阵应是一个带形的矩阵。设 $C(i, j)$ 为左图第 i 个像素与右图第 j

个像素的相关值， $C(i, :)$ 表示左图第 i 个像素与右图所有像素的相关值， $C(:, j)$ 表示右图第 j 个像素与左图所有像素的相关值。若同时满足：

$$C(i, j) = \text{Max}(C(:, j)) \quad (2)$$

$$C(i, j) = \text{Max}(C(i, :)) \quad (3)$$

则表明右图第 j 个像素为左图第 i 个像素的匹配点。式(2)、(3)的实质是求匹配寻找矩阵 $[C(i, j)]$ 中既是行最大值又是列最大值的点。可见匹配寻找矩阵建立后，只需从一个方向(如从左至右)计算相关值，就可在二个方向上筛选对应点，完成双向匹配。寻找行最值和列最值也只需在选定的视差范围内找，可选点数目减少，匹配速度加快。

区域相关双向匹配对各像素点周围的子区域都进行相关运算，所以得到的视差图较为密集。但区域相关法在表面不连续区或在深度变化较快的区域等易产生混淆，而这些区域恰好是边缘匹配的优势所在，所以有必要将两种匹配的结果融合起。融合的办法是：每一条扫描线上像素点的最终匹配结果根据像素点的特征来选取，如果像素点处在边缘处，保留边缘匹配的结果，否则取双向匹配的结果。

2 算法优化

算法中采用了一些方法简化匹配过程，加快匹配速度。

2.1 用视差范围限定减少计算量

通常从图像对能大致观察到整个图像对的视差范围，所以可事先设定视差范围为 $(-d, +d)$ ，在寻找左图中某一特征点的匹配点时，只需沿右图同一水平扫描线 $(i-d, j)$ 至 $(i+d, j)$ 范围内搜索，可免去许多无谓计算。

2.2 采用盒滤波技术 Box filter 方法计算

将方程(1)化为：

$$C(m_1, m_2) = \frac{\sum_{m=-k}^k \sum_{n=-l}^l I_1(m+i, n+j) I_2(m+i+d, n+j) - \overline{AI_1(i, j) I_2(i+d, j)}}{\sqrt{\left(\sum_{m=-k}^k \sum_{n=-l}^l I_1^2(m+i, n+j) - \overline{AI_1(i, j)}^2 \right) \left(\sum_{m=-k}^k \sum_{n=-l}^l I_2^2(m+i+d, n+j) - \overline{AI_2(i+d, j)}^2 \right)}} \quad (4)$$

式中 $\overline{I(i, j)}$ 按 Box filter 方法计算^[6]：

$$\overline{I(i+1, j)} = \overline{I(i, j)} + \frac{1}{A} [I(i+k+1) - I(i-k)] \quad (5)$$

式(5)是一个迭代公式,第*(i+1)*次运算可应用第*i*次运算的结果,只需计算第*(i+k+1)*列像素和第*(i-k)*列像素的差值而不必重复对中间数列像素的求和。

2.3 建立匹配寻找矩阵

如前面所述,由于建立了巧妙的匹配寻找矩阵,使得双方向的匹配实际只沿从左到右一个方向进行匹配,等效完成双向的搜索,至少减少一半的数据运算量。

3 匹配实例

应用本文算法得到了几个匹配实例。如图4所示为前面花瓶像对最终的视差图,较边缘匹配得到的视差图浓密,轮廓也更清晰。图5所示的Tsukuba图像对中物体深度层次很多,而且有遮挡。匹配的结果表明:场景深度的层次体现明显,尤其灯的形状恢复较好。图6所示为图1中头像对的视差图,头的轮廓、眼、鼻、口均可恢复,但存在较大的噪声(为便于观看,图像相对于原图做了90°旋转)。

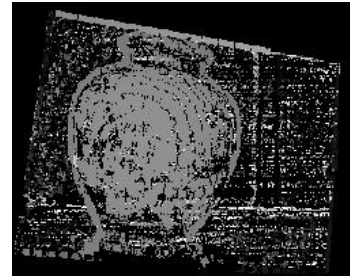


图4 花瓶图像对的视差图



(a) Tsukuba图像对左图



(b) Tsukuba图像对视差图

图5 Tsukuba图像对左图及视差图

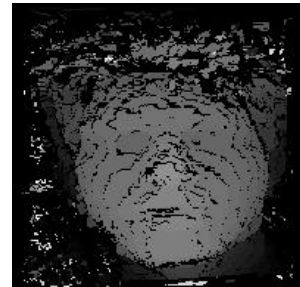


图6 头像对的视差灰度图

4 结论

经良好校正的图像对,采用本文提出的边缘匹配和双向匹配相结合的方法,能够快速提取图像对的浓密视差图。从匹配实例来看,该方法具有一定精度,是一种可行的方法。其最大特点是过程简单,匹配速度快,用VC++编写的匹配程序在Pentium42.4 GHz PC机上对284×216像素的图像对的匹配只需2 s,比原来匹配速度提高40多倍。但该方法也存在一些问题:1) 对于没有良好校正的图像对,必须经过一个复杂的校正过程,匹配速度会变慢;2) 边缘像素匹配采用约束条件过于宽松,使得匹配边缘像点增加;3) *d*、*e*等参数的选择直接影响匹配结果,不易于把握;因此,还需进行深入探讨,寻找更快、更准确的匹配算法。

参 考 文 献

- [1] 何中斌, 马天予. Visual C++ 数字图像处理[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003
- [2] Intelligent Systems Group, University of southern California. Segment-based stereo matching[J]. Computer vision, Graphics, and Image Processing. 1985,31(9): 2-18
- [3] 丁进震, 唐振民, 杨静宇,等. 一种渐进的立体匹配方法[J]. 计算机研究与发展, 1997, 34(增刊): 42-47
- [4] 贾云得. 机器视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [5] Fua P. A parallel stereo algorithm that produce dense depth maps that preserves image feature[J]. Machine Vision Applications, 1993, 6(1): 35-49
- [6] Mcdonn M J. Box2filtering techniques[J]. Computer Graphics and Image Processing, 1981, 17(3):65- 70