

基于区域增长的自适应稠密匹配算法*

张钧涵, 刘桂华

(西南科技大学 信息工程学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: 针对目前主流方法对图像中纹理单一区域匹配效果不佳的问题, 提出了一种自适应的基于区域增长的立体像对稠密匹配算法。该算法利用灰度共生矩阵, 在区域增长过程中的匹配窗内计算其纹理数量, 然后根据纹理数量的多少自适应调节匹配窗的大小。当匹配窗内纹理数量足够多时, 该匹配窗就能够表征该匹配窗中心点的特征, 因此可以减少误匹配发生的几率。实验结果证明, 该算法具有良好的性能。

关键词: 纹理单一; 自适应; 灰度共生矩阵; 稠密匹配

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)22-0038-03

Adaptive image dense stereo matching based on region growing

Zhang Junhan, Liu Guihua

(College of Information Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: For the current mainstream method has a bad result to image low textured areas, an adaptive stereo dense matching algorithm is proposed based on region growing technique. GLCM is used in the regional growth process matching window to calculate the number of texture which can be used to adjust the matching window size adaptively. When the number of texture in matching window is enough, the matching window will be able to discriminate the characteristics of the center of the window, which helps reduce the probability of occurrence of false matches. Experimental results show that the algorithm has good performance.

Key words: low texture; adaptive; gray level co-occurrence matrix; dense stereo matching

图像匹配就是寻找两幅图片中对应点的过程, 它是三维重建中最关键、最具挑战性的步骤。对于如何度量两个匹配点是否满足匹配关系, 通常需要引入一些约束关系, 其中对于稠密匹配最重要的是连续性约束。区域增长就是利用这种连续变化视差的规律解决稠密匹配问题。

传统稠密匹配算法为窗匹配法^[1], 利用局部信息, 根据窗口内灰度的相似性来确定是否匹配。窗口的大小对于最终能否得到光滑的视差图起着非常关键的作用, 而如何选择窗口的大小取决于纹理和视差的局部变化量。如果窗口过小, 窗口内的灰度特征不能完全体现出该窗口的特异性, 就会引起误匹配; 如果窗口过大, 又会引入过度的平滑。当窗口内视差变化时, 由于投影形变, 窗口内的灰度值不对应, 导致视差图出现空洞。

针对传统稠密匹配算法出现的这些问题, 许多学者提出了一些改进的方法。KANADE T 和 OKUTOMI M 提

出一种自适应窗口法^[2], 该算法利用高斯模板窗描述视差分布, 再根据视差估计确定窗口的大小, 该方法虽然提高了匹配质量, 但也大大地提高了算法的复杂度。动态规划法^[3]是利用全局信息进行匹配, 其匹配精确度较高, 但计算复杂度很大。唐丽等^[4]提到对边缘提取后的图像统计纹理的疏密程度, 该方法对于边缘提取后的图像, 统计纹理的疏密程度并不能够完全体现出图像的纹理特征。

本文提出一种基于灰度共生矩阵的自适应稠密匹配算法, 在纹理平滑区域不仅考虑了边缘纹理信息, 还考虑了除边缘外的细小纹理, 因此误匹配率相应减小, 图像匹配的可靠性进一步提高。

1 算法框架

本文算法的总体框架如图 1 所示, 首先对两幅图像进行粗匹配, 得到初始种子点, 再在初始种子点的基础上依据纹理信息自适应调整匹配窗口进行种子点生长, 最后生成稠密匹配视差图。

* 基金项目: 2013 四川省教育厅项目(13ZA0164); 国防重点学科实验室项目(11ZXNK02)

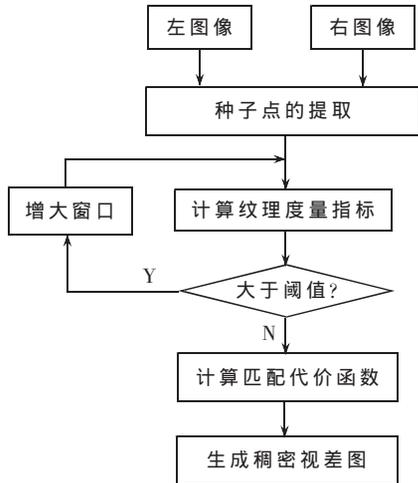


图1 算法总框图

2 基于灰度共生矩阵的自适应稠密匹配算法

2.1 纹理度量指标

本文引入灰度共生矩阵GLCM (Gray Level Co-occurrence Matrix) 对纹理区域进行度量。灰度共生矩阵的值代表沿 θ 方向、间距为 d 时,灰度为 i 和 j 的像素对出现的概率 p 。对图像中的任一区域 R ,定义 S 为区域中具有特定空间联系的像素对的集合,其归一化共生矩阵可表示为:

$$P_{i,j}(d,\theta) = \frac{\#\{(x_1,y_1)(x_2,y_2) \in S | f(x_1,y_1)=i, f(x_2,y_2)=j\}}{\#S} \quad (1)$$

其中, $i \in [0, L-1], j \in [0, L-1], (x_1, y_1)$ 与 (x_2, y_2) 是方向为 θ 、距离为 d 的一对像素点, $\#(\cdot)$ 表示集合的元素个数。本文所用的灰度共生矩阵的计算式为:

$$P(i,j) = \sum_{\theta=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, d=1} P(i,j,d,\theta) \quad (2)$$

图2为 $\theta=0^\circ, d=1$ 的灰度矩阵的生成过程。

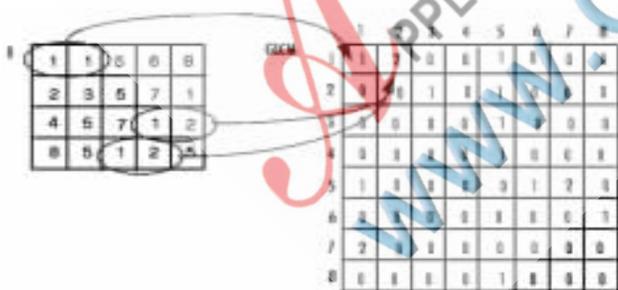


图2 生成灰度共生矩阵

根据生成的灰度共生矩阵计算了3种纹理度量指标:

(1)对比度(CON):

$$f_{CON} = \sum_{i,j=0}^{L-1} (i-j)^2 P(i,j) \quad (3)$$

(2)熵(ENT):

$$f_{END} = \sum_{i,j=0}^{L-1} (-\ln P(i,j)) P(i,j) \quad (4)$$

(3)相关性(COR):

$$f_{COR} = \sum_{i,j=0}^{L-1} P(i,j) \frac{(i-u_i)(j-u_j)}{\sqrt{\delta_i^2 \delta_j^2}} \quad (5)$$

其中, $u_i = \sum_{i,j=0}^{L-1} iP(i,j), \delta_i^2 = \sum_{i,j=0}^{L-1} (i-u_i)^2 P(i,j), u_j = \sum_{i,j=0}^{L-1} jP(i,j),$

$$\delta_j^2 = \sum_{i,j=0}^{L-1} (j-u_j)^2 P(i,j).$$

从式(3)~式(5)可以看到,当图像纹理单一时,即灰度值相近或相同的像素点对数量较多时,对比度和熵的值较小,相关性的值较大。因此引入阈值 t_1, t_2, t_3 来对纹理区域是否单一进行判断。

本文分析了对比度、熵、相关性在 Tsukuba 标准图片中随图像纹理变化的影响,并对它们能否作为纹理度量指标进行了验证。

分别取 Tsukuba 标准图中的一些区域(框标出的部分),如图3所示,按照纹理的多到少分别求得对比度、熵和相关性,如表1所示。



图3 Tsukuba 图中取部分区域

表1 Tsukuba 方框区域的对比度、熵、相关性分析

纹理	对比度	熵	相关性
多	1.2729	3.3171	0.14766
↓	0.4502	2.3115	0.33886
	0.25899	1.493	0.74326
少	0.22957	1.311	1.003
	0.1024	0.8541	3.9664

当纹理不断减少时,对比度和熵也对应减小,相关性不断增加。因此,对比度、熵、相关性与纹理信息有对应关系,能够作为纹理度量的指标。

2.2 改进的自适应窗口大小调整策略

在匹配传播过程中,为了避免前一个点匹配误差对后一个点匹配精度的影响,同时也为了避免投影变形对匹配精度的影响^[6],对搜索窗口大小进行了自适应的调整,设定搜索窗口的大小与前一匹配点的相似度量函数的真值成反比:

$$N_{i,j} \propto \text{Score}(l_{i-1}, r_{j-1}) \quad (6)$$

其中, $N_{i,j}$ 代表 (i,j) 处窗口大小, $\text{Score}(l_{i-1}, r_{j-1})$ 代表前一匹配点的相似度量函数真值。采用自适应的搜索窗可以有效减少计算时间,又可以提高匹配算法的准确性,在一

次欢迎网上投稿 www.pcachina.com 43

定程度避免了累积误差的产生,降低了误传播的可能性。

匹配窗口的大小确定了匹配窗口内像素对中心像素的支持度。如果当前像素对应于一个正确的匹配,匹配窗口应包括且仅包括对应于正确匹配的相邻像素。自适应的调节匹配窗口大小有利于选择合适的匹配窗口大小,从而满足匹配窗口的特异性,避免误匹配的发生,具体策略如下。

采用式(7)对自适应窗口内纹理信息进行判断:

$$E = (f_{CON} - t_1) + (f_{ENT} - t_2) + (t_3 - f_{COR}) \quad (7)$$

其中, $f_{CON} > t_1$, $f_{ENT} > t_2$, $t_3 > f_{COR}$ 。

f_{CON} 、 f_{ENT} 、 f_{COR} 是在自适应匹配窗口内分别计算的对比度、熵、相关性, f_{CON} 、 f_{ENT} 、 f_{COR} 的值随匹配窗口大小调整动态变化,使得 E 达到最小,该自适应窗口的大小就是最适合的窗口大小。由于窗口大小是不断增加的,当窗口增加到一个固定值后,窗口大小将不再继续增加,即选择了满足窗口特异性最小的窗口,因此最大程度避免了窗口内视差不连续的问题。本文分析了熵、相关性、对比度随着窗口大小变化的结果,根据反复实验确定了 t_1 、 t_2 、 t_3 的值分别为 1.0、0.27、1.5。

2.3 算法性能评价

生成稠密视差图之后,需要对视差图的质量进行评估,评估方法是对计算视差与标准视差用评价指标进行比较。采用误匹配像素百分比 PBM (Percentage of Had Matching):

$$B_{PBM} = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{(x,y)} |d_c(x,y) - d_s(x,y)| > \delta_d \right\} \quad (8)$$

其中, N 为总的像素数; $d_c(x,y)$ 为计算视差; $d_s(x,y)$ 为标准视差; δ_d 为可接受的误匹配阈值,一般取值为 1。

3 算法验证及分析

为了验证本文算法的有效性,选择 Tsukuba 标准图片作为实验图片,图片大小为 384×288 像素,视差搜索范围的最大值为 16。立体匹配结果如图 4 所示。

在图 4 中,图 4(b) 为窗匹配的视差图,图 4(c) 为本文算法的视差图。由图 4(b) 和图 4(c) 可以看到,窗匹配方法在纹理稀疏的区域视差误差较大,而本文算法在自适应窗口的调节下减少了在纹理稀疏区域的误匹配率,因此,本文算法在纹理稀疏区域有更高的匹配精度。图 4(e) 是对本文算法错误视差的分析,黑色点表示在无遮挡区域匹配错误的像素点,灰色点表示在遮挡区域匹配错误的像素点,白色区域是匹配正确的像素点。图 4(f) 为本算法匹配正确的像素点与匹配错误的像素点整体对比的误差图,灰色区域表示匹配正确的区域,白色和黑色区域表示匹配错误的区域。由图 4(e) 和图 4(f) 可以看到,本文算法在大部分区域都有很好的匹配效果,纹理稀疏区域出现的误匹配率相对较少。

采用式(8)对本文算法和窗匹配算法在 Tsukuba 中的

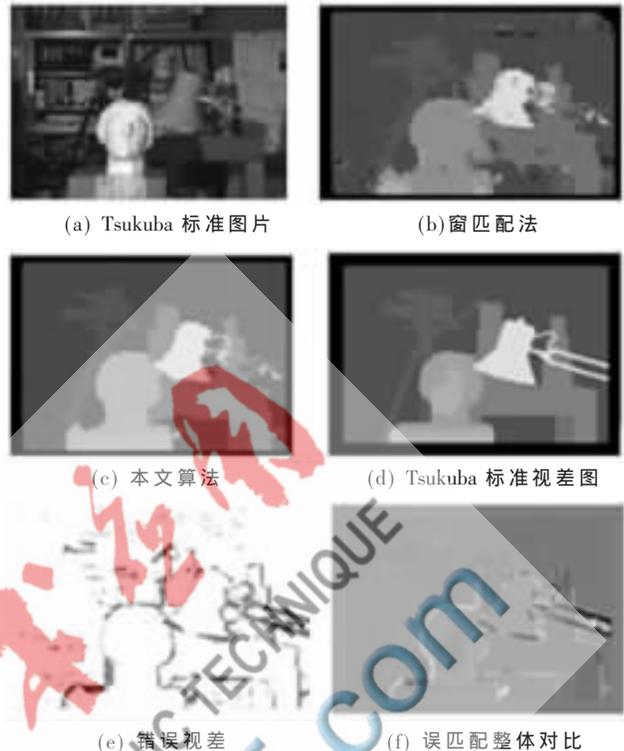


图 4 立体匹配结果

结果作了性能评估,评估结果如表 2 所示, B_{PBM_n} 为非遮挡区域的 PBM, B_{PBM_t} 为总的 PBM, B_{PBM_d} 为深度不连续区域的 PBM, B_{PBM_r} 为纹理稀疏区域的 PBM。

表 2 算法性能评估

立体匹配算法	B_{PBM_n}	B_{PBM_t}	B_{PBM_d}	B_{PBM_r}
本文算法	7.34	8.5	29.2	9.3
窗匹配法	17.5	18.6	36.2	26.1

可以看到,与窗匹配算法相比,本文算法在非遮挡区域、深度不连续区域和纹理稀疏区域的误匹配率大幅降低,匹配的精度有显著的提高。

为了解决稠密匹配在纹理稀疏区域出现误匹配的情况,提出了一种自适应调节窗口的算法,以灰度共生矩阵计算得到的对比度、熵、相关性作为纹理稀疏的度量指标,自适应调节匹配窗口大小以满足窗口的特异性,再根据插值得到稠密的视差图。实验结果表明:本文算法得到的 PBM 与窗匹配算法相比有较大降低,在非遮挡区域、纹理稀疏区域和深度不连续区域也能取得较理想的致密视差图。如何进一步提高在非遮挡区域、纹理稀疏区域和深度不连续区域的立体匹配的性能,将是今后的研究方向。

参考文献

- [1] Zhou Xiuzhi, Wen Gongjian, Wang Runsheng. Fast stereo matching using adaptive window[J]. Chinese Journal of Computers, 2006, 29(3): 473-479.
- [2] KANADE T, OKUTOMI M. A stereo matching algorithm

- with an adaptive window: Theory and experiment[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1994, 16(9):920-932.
- [3] ROY S, COX I. J. A maximum-flow formulation of the N-camerastereo correspondence problem[C]. IEEE Proceedings of International Conference on Computer Vision, Bombay, 1998:492-499.
- [4] 唐丽, 吴成柯, 刘侍刚, 等. 基于区域增长的立体像对稠密匹配算法[J]. 计算机学报, 2004, 27(7):936-943.
- [5] 葛亮, 朱庆生, 傅思思, 等. 改进的立体像对稠密匹配算法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2010, 40(1):212-21.
- [6] 吴毅良. 一种基于 SIFT 和 SUSAN 特征的图像匹配方法[J]. 微型机与应用, 2011, 30(12):33-35.
- (收稿日期: 2013-08-29)

作者简介:

张钧涵, 男, 1988 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 图像处理, 机器视觉等。

刘桂华, 女, 1972 年生, 博士, 教授, 主要研究方向: 图像处理, 机器视觉, FPGA。

