

文章编号: 0253-2239(2009)09-2506-05

Laws 纹理模板在立体匹配中的应用

葛 亮 朱庆生 傅思思

(重庆大学计算机学院, 重庆 400030)

摘要 立体匹配一直是计算机视觉领域的一个中心问题, 基于区域整体匹配算法较好地解决了纹理单一区域的立体匹配问题, 其关键步骤是纹理单一区域的分割和匹配。针对纹理单一区域的特点, 提出利用 Laws 纹理模板对图像纹理特征进行分析描述, 然后进行基于直方图的分割, 得到纹理单一区域。对于各种场景图像, 通过分析比较各种 Laws 纹理模板组合, 能够得到最好的分割效果。在国际标准图像上测试的实验结果表明, 相对于灰度共生矩阵描述纹理单一区域和基于区域生长的方法, 该方法能提高纹理单一区域的识别率和分割阈值选取的稳健性, 这有助于提高基于区域整体匹配算法的匹配精度和实用价值。

关键词 机器视觉; 立体匹配; 纹理分析; Laws 纹理模板; 基于直方图的分割

中图分类号 TP391.41 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20092909.2506

Application of Laws' Masks to Stereo Matching

Ge Liang Zhu Qingsheng Fu Sisi

(College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract Stereo matching is always the crucial problem of the computer vision. The less-textured area stereo matching problem can be solved by region-based stereo matching algorithm, in which the key steps are dividing and matching of less-textured area. According to the characters of less-textured area, a novel approach is provided for less-textured area dividing. It describes the texture with Laws' masks and gets the less-textured area by histogram-based segmentation. It can get the best result for various scene images by comparing various combinations of Laws' masks. Experimental results on the international standard image data show that our algorithm has better recognition rate of less-textured area and better robustness of choosing the dividing threshold than the previous method which describes the texture with gray level co-occurrence matrix and gets the less-textured area by region growing-based segmentation. This new algorithm is helpful to increase the accuracy and usability of region-based stereo matching algorithm.

Key words machine vision; stereo matching; texture analysis; Laws' masks; histogram-based segmentation

1 引 言

立体匹配一直是计算机视觉领域的一个中心问题, 它通过双目或者多目图像匹配得到视差图, 再根据三角测量关系进一步得到景物的深度, 可以广泛应用于物体三维重建、目标跟踪、图像融合等领域^[1~5]。目前, 这个领域的工作可分为 2 类^[6]: 稠密匹配和稀疏匹配。传统的稠密匹配算法为窗匹配

法^[7], 它利用局部信息, 即根据像素点邻域(窗口)的灰度相似性来确定点对是否匹配。当窗口内视差发生变化时, 由于投影形变, 窗口内的灰度值可能并不对应, 从而会产生误差。将自适应权值窗选择算法应用到匹配窗的选择中, 可提高立体匹配的精度^[8]。利用全局信息进行稠密匹配的算法, 根据相似性约束、唯一性约束、连续性约束等条件, 可将立体匹配

收稿日期: 2008-11-07; 收到修改稿日期: 2008-12-02

基金项目: 国家 863 计划(2006AA10Z233)和国家自然科学基金(60773082/F0205)资助项目。

作者简介: 葛 亮(1980—), 男, 博士研究生, 讲师, 主要从事信息光学和计算机视觉等方面的研究。

E-mail: geliang@cqu.edu.cn

导师简介: 朱庆生(1956—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事信息光学和图像处理等方面的研究。

E-mail: qszhu@cqu.edu.cn

问题转化为求能量最小化的最优化问题,整体求解图像的视差图。这些方法包括:带视差平滑性约束的自适应权值的方法^[9]、图切割方法(graph cuts)^[10, 11]等。但是上述这些方法都是以点作为主要的匹配基元,因此如果待匹配的像素点位于纹理单一区域,就难以得到可靠的匹配结果。稀疏匹配主要是提取图像中的点、线或边缘等特征,然后进行匹配。这些特征对噪声不太敏感,因此可以得到比较精确的匹配,但这类方法只能得到稀疏的视差图。LHUIILLIER 和 Quan^[12]从特征点匹配出发,提出了基于区域增长的类稠密匹配算法,效果良好,但该算法只能用于纹理丰富的图像,在纹理单一的区域,匹配关系的传播就会停止。

灰度共生矩阵描述纹理单一区域和基于区域生长的方法,可较好地解决纹理单一区域的立体匹配问题。该算法对于纹理单一区域,采用区域整体匹配求解视差,而对于纹理丰富区域,则采用现有的图切割方法进行点匹配,其关键步骤是纹理单一区域的分割和匹配。采用整体匹配的纹理单一区域的数量将影响最终求得的视差图精度,如果能把图像中的纹理单一区域尽可能多地分割出来进行整体匹配,就越能提高该算法的精确度。因为利用灰度共生矩阵来描述图像纹理,并采用区域生长技术来分割纹理单一区域,为了降低计算的复杂度,灰度共生矩阵方法在计算纹理特征时,会降低图像的灰度级数,这将损失掉图像的细节特征;而区域生长技术对阈值的选取很敏感,需要采用经验阈值来提高分割的效果,这也降低了算法的实用价值。针对这些不足,提出利用 Laws 纹理模板对图像纹理特征进行分析描述,然后进行基于直方图的分割,以提高纹理单一区域分割的效果,改进灰度共生矩阵描述纹理单一区域和基于区域生长方法的性能。

2 Laws 纹理模板与特征提取

Laws 纹理模板是一种典型的基于模板卷积的纹理描述方法^[13],所有的纹理模板都从长度为一组一维向量得到。它们为: L_5 、 E_5 、 S_5 、 W_5 和 R_5 ,分别表示灰度、边缘、点、波和涟漪特征,其定义如下:

$$\begin{cases} L_5 = [1 & 4 & 6 & 4 & 1] \\ E_5 = [-1 & -2 & 0 & 2 & 1] \\ S_5 = [-1 & 0 & 2 & 0 & -1] \\ W_5 = [-1 & 2 & 0 & -2 & 1] \\ R_5 = [1 & -4 & 6 & -4 & 1] \end{cases}, \quad (1)$$

将一维 Laws 纹理向量两两进行卷积,可得大小为 5×5 的二维纹理模板,如表 1 所示。

表 1 25 个二维 Laws 纹理模板

Table 1 Twenty five 2-D Laws texture masks

$L_5 L_5$	$L_5 E_5$	$L_5 S_5$	$L_5 W_5$	$L_5 R_5$
$E_5 L_5$	$E_5 E_5$	$E_5 S_5$	$E_5 W_5$	$E_5 R_5$
$S_5 L_5$	$S_5 E_5$	$S_5 S_5$	$S_5 W_5$	$S_5 R_5$
$W_5 L_5$	$W_5 E_5$	$W_5 S_5$	$W_5 W_5$	$W_5 R_5$
$R_5 L_5$	$R_5 E_5$	$R_5 S_5$	$R_5 W_5$	$R_5 R_5$

利用 Laws 纹理模板来提取图像纹理特征,有两个主要步骤:

1) 将图像 I 与每个二维纹理模板进行卷积,计算图像的微纹理统计特征,得到相应的纹理图像 T 。例如将图像与二维模板 $L_5 L_5$ 进行卷积,得到纹理图像 $T_{L_5 L_5}$,计算公式如下式所示:

$$T_{L_5 L_5} = I * L_5 L_5. \quad (2)$$

根据 Laws 模板的定义可知,除了 $L_5 L_5$ 之外,所有的二维纹理模板的均值都为 0。于是可以用 $T_{L_5 L_5}$ 对纹理图像进行归一化处理,即

$$F_{\text{normalize}}(T_{\text{mask}}) = \frac{T_{\text{mask}}}{T_{L_5 L_5}}. \quad (3)$$

2) 将微纹理特征通过一个大小为 15×15 的“局部纹理能量”滤波器,计算出纹理能量测度(texture energy measurement, TEM) $M(i, j)$ 如下:

$$M_{(i,j)} = \sum_{u=-7}^7 \sum_{v=-7}^7 |T_{(i+u, j+v)}|, \quad (4)$$

通过组合 25 个纹理能量测量度,可以得到 14 个旋转不变的纹理能量测度,记为 R ,如表 2 所示。比如,对于 $R_{L_5 E_5}$ 的计算公式如(5)式所示。这些 R 分别描述了图像中某种纹理特征,例如, $R_{E_5 E_5}$ 是对边缘纹理特征的描述。针对各种不同的场景图像,建立评价标准,通过比较分别确定最适合的 R 组合,以得到最好的纹理单一区域分割结果:

$$R_{L_5 E_5} = \frac{M_{L_5 E_5} + M_{E_5 L_5}}{2}. \quad (5)$$

表 2 14 个旋转不变的纹理能量测度

Table 2 Fourteen rotationally invariant texture energy measurements

$R_{L_5 E_5}$	$R_{L_5 S_5}$	$R_{L_5 W_5}$	$R_{L_5 R_5}$	$R_{E_5 E_5}$
$R_{E_5 S_5}$	$R_{E_5 W_5}$	$R_{E_5 R_5}$	$R_{S_5 S_5}$	$R_{S_5 W_5}$
$R_{S_5 R_5}$	$R_{W_5 W_5}$	$R_{W_5 R_5}$	$R_{R_5 R_5}$	

3 基于直方图的纹理单一区域分割

每个 Laws 纹理能量测度 R 分别是对图像中某种纹理特征的描述。当点 p 的局部纹理特征符合某

种纹理模板 $Mask$ 时,其对应的 $R_{Mask}(p)$ 值比较大;反之,则比较小。对于纹理单一区域而言,包含的纹理特征很少,对应的 R 值较小,因此可以通过阈值 t 来区分纹理单一区域和纹理丰富区域。当像素点 p 的特征值 $R(p) < t$ 时,则 p 位于纹理单一区域中。对于不同的 R_{Mask} ,其对应的分割阈值 t 有可能不同,下面讨论阈值 t 的自动选取。

为了增强纹理特征间的区别,将纹理能量测度 R 进行直方图均衡化。对于 Tsukuba 图,分别求得 14 个直方图均衡化后的纹理能量测度 R ,如图 1 所示。可以看出,14 个 R 中的主要深色区域基本相似,并且深色区域都对应原图中的纹理单一区域,因此各种 R 中深色区域在图像中所占比例也是相近的,即近似于原图中纹理单一区域所占比例,该比例可以作为经验值引入,记为 $p_{textureless}$ 。对于不同场景

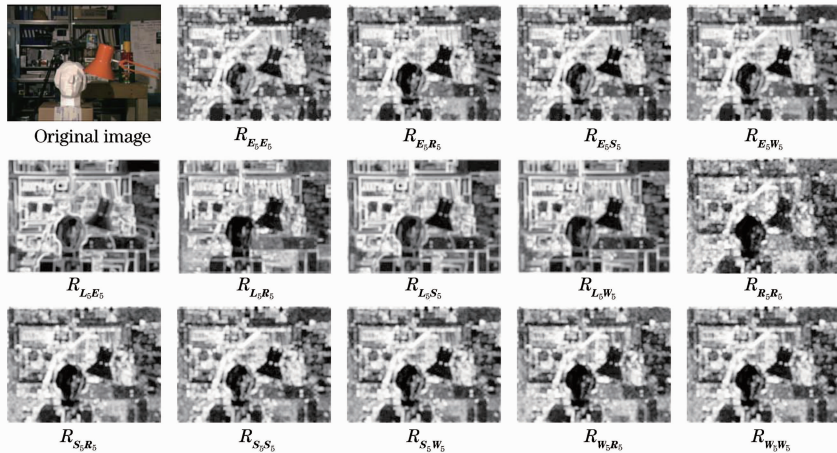


图 1 Tsukuba 图的 14 个纹理能量测度 R

Fig. 1 Fourteen R of Tsukuba

4 纹理单一区域分割效果评价与 Laws 纹理模板选择

为了评价 Laws 纹理模板分割纹理单一区域的效果,引入了下列评价测度:

1) 纹理单一区域所占比例 p_{cover} 。记 $N_{textureless}$ 为纹理单一区域包含的点数总和, N 为图像的总点数, $p_{cover} = N_{textureless}/N$ 。

2) 纹理单一区域的正确率 $p_{correct}$ 。借助图像的标准视差图来判断分割出的纹理单一区域是否正确。纹理单一区域应该对视差值一致的区域,因此如果分割出的纹理单一区域所对应的标准视差值不一致,则表明该分割结果不正确。记 N_{wrong} 为不正确的纹理单一区域所包含的点数总和, $N_{textureless}$ 为纹理单一区域包含的点数总和, $p_{correct} = 1 -$

的图像,其纹理单一区域所占比例是不尽相同的,但由于纹理单一区域包含信息很少,所以不是图像的主要部分,所占比例一般小于 0.5;同时,估计比例过小会使分割出的纹理单一区域过小,不利于后续的区域匹配。由此初步确定估计比例的范围在 $[0.1, 0.5]$ 。在此范围内尝试取不同的 $p_{textureless}$ 值,并对结果进行比较,确定 0.25 是相对较好的估计值。由此可以利用 R 的直方图来选取相应的阈值 t 。记 N_{num} 为 R 中值为 m 的点数, N 为 R 总的点数,选取的阈值 t 满足条件

$$\sum_{m=0}^t N_{num} = p_{textureless} N, \quad (6)$$

通过自动获取的阈值 t ,就可以得到不同纹理模板下分割出的纹理单一区域,为评价各种 Laws 纹理模板分割效果做好了准备。

$N_{wrong}/N_{textureless}$ 。

对于纹理单一区域分割结果,一方面,期望找到的纹理单一区域越多越好;另一方面,期望找到的纹理单一区域正确性越高越好。因此将上述两个评价测度加权求和,作为纹理单一区域分割效果的评价值,即

$$E = \lambda_1 p_{cover} + \lambda_2 p_{correct}, \quad (7)$$

E 值越高,分割效果越好。将纹理单一区域的正确性作为首要考虑的因素,取 $\lambda_1 = 0.4$, $\lambda_2 = 0.6$ 。

对于图像 I ,其纹理单一区域分割效果评价与 Laws 纹理模板选择的具体步骤如下:

1) 根据(2)式~(5)式计算图像 I 的 14 种纹理能量测度 R ;

2) 根据(6)式分别求得 14 种 R 的分割阈值 t ,对 R 进行分割。 R 中小于 t 的像素点是纹理单一区域

中的点,得到相应的二值分割图像 $I_{segmentation}$,分割图像中的 1 表示纹理单一区域;

3) 产生 14 种 R 的各种组合情况;

4) 对于某种 R 组合 C ,即 $C = \{R_1, R_2, \dots, R_i\}$, $i \in [1, 14]$, R_i 是某个纹理能量测度。将各 R_i 对应的二值分割图像 $I_{segmentation_i}$ 进行逻辑与,得到组合 C 的分割结果 S_C ,其中 1 表示纹理单一区域;

5) 根据(7)式对 S_C 进行评价,得到评价值 E_C ;

6) 重复步骤 4) 和步骤 5),计算出所有组合情

况的分割结果及其评价值。比较各种评价值,取最大值所对应的组合情况,即为最适合进行图像 I 纹理单一区域分割的模板组合。

对于 Tsukuba 图,评价比较了 14 种 R 的 16383 种组合所得到的纹理单一区域分割结果,结果表明 L_5S_5 与 E_5E_5 模板组合能得到最好的分割效果,如图 2 所示。此时的评价测度值为 $p_{cover} = 0.20$, $p_{correct} = 0.18$ 。图中的蓝线区域表示纹理单一区域,白色数字表示区域的序号。



图 2 利用 L_5S_5 和 E_5E_5 模板组合分割得到的 Tsukuba 图纹理单一区域

Fig. 2 Less-textured area segmentation result of Tsukuba with L_5S_5 and E_5E_5

5 实验结果

将本文方法应用于 Scharstein^[14]使用的标准测试图像,得到相应的纹理单一区域。把分割结果与基于灰度共生矩阵描述纹理单一区域和基于区域生长

分割策略的方法的分割结果进行比较。两种方法的分割结果如图 3 所示,分割结果评价值如表 3 所示。图 3 中括号中的文字表示利用本文方法分割纹理单一区域时所使用的 Laws 模板组合。

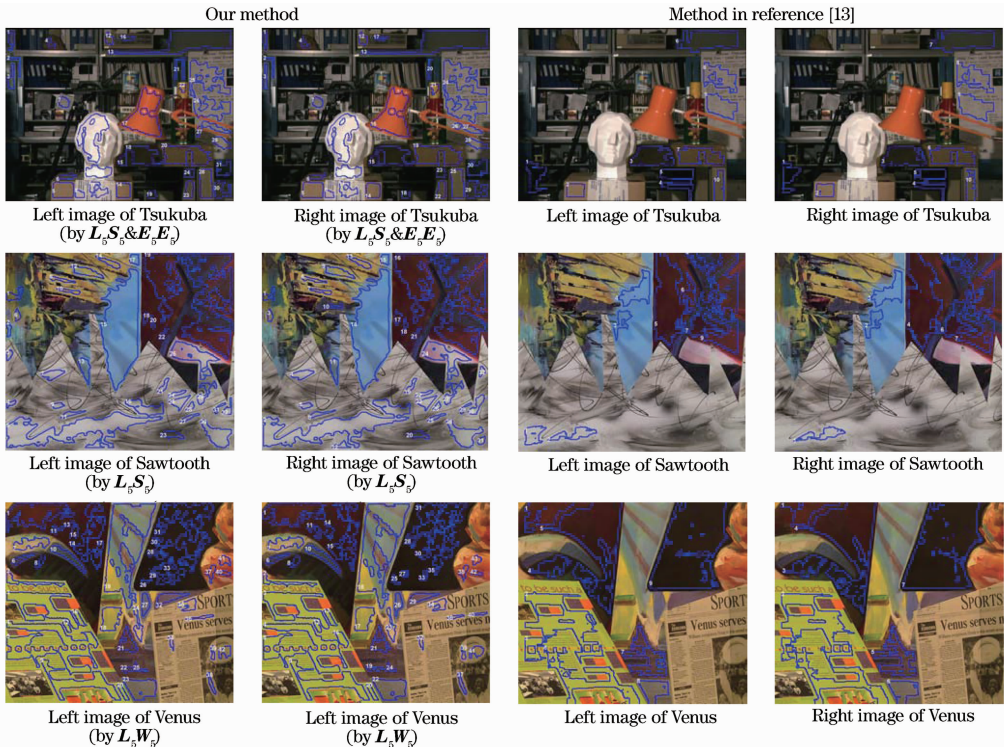


图 3 两种方法的纹理单一区域分割结果

Fig. 3 Less-textured area segmentation results by two approaches

表 3 纹理单一区域分割结果评价

Table 3 Evaluation values of less-textured area segmentation results

Method	Tsukuba			Sawtooth			Venus		
	p_{cover}	$p_{correct}$	E	p_{cover}	$p_{correct}$	E	p_{cover}	$p_{correct}$	E
Ours	0.20	0.18	0.19	0.28	0.26	0.27	0.29	0.29	0.29
In reference [13]	0.11	0.11	0.11	0.13	0.13	0.13	0.28	0.28	0.28

从图 3 可以看出,两种方法都能找到图像中主要的纹理单一区域。但从表 3 可以看出,与灰度共生矩阵描述纹理单一区域和基于区域生长的方法相比,本文方法可以分割出更多的纹理单一区域,纹理单一区域所占比例 p_{cover} 平均增长了 67%。这将有利于后续的基于区域的立体匹配,提高匹配正确率。同时,在本文方法中,分割阈值的选取是基于直方图自动完成的,这也增强了基于区域的立体匹配方法的实用性。

6 结 论

为了改进基于区域整体匹配算法中纹理单一区域分割的性能,进而提高立体匹配的精度,主要从两个方面改进了纹理单一区域的分割算法。一是将 Laws 纹理模板引入到对纹理单一区域的描述中, Laws 纹理模板通过模板卷积的方式描述图像纹理,避免了灰度共生矩阵方法中降低灰度级数带来的影响;二是提出了基于直方图的分割阈值自动选取方法,增强了算法的稳健性,同时,根据提出的纹理单一区域分割效果评价测度,通过分析比较各种 Laws 纹理模板组合,能够得到相对最好的分割效果。在国际标准图像上测试的实验结果表明,相对于灰度共生矩阵描述纹理单一区域和基于区域生长的方法,该方法能更好地识别纹理单一区域,从而更有利于提高基于区域整体匹配算法的匹配精度。

参 考 文 献

- Li Haibin, Zhang Qiang. A New Stereo Matching Algorithm Based on Sub-Line Segment [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(5): 907~912
李海滨,张强. 一种新的基于子线段的立体匹配算法[J]. *光学学报*, 2007, **27**(5): 907~912
- Gu Zheng, Su Xianyu. Stereo Matching Algorithm Based on Feature Template with Neighborhood Difference [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2005, **32**(10): 39~42
顾征,苏显渝. 采用邻域差值特征模板的立体匹配方法[J]. *光电工程*, 2005, **32**(10): 39~42

- Xang Xianjun, Wang Yan, Li Zhi. Fast Target Recognition and Tracking Method Based on Characteristic Corner[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(2): 360~364
王向军,王研,李智. 基于特征角点的目标跟踪和快速识别算法研究[J]. *光学学报*, 2007, **27**(2): 360~364
- Zhu Juanjuan, Guo Baolong. Features Tracking Algorithm for Video Stabilization [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(4): 516~521
朱娟娟,郭宝龙. 电子稳像的特征点跟踪算法[J]. *光学学报*, 2006, **26**(4): 516~521
- Wang Hong, Jing Zhongliang, Li Jianxun. An image fusion approach based on object region[J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(3): 351~355
王宏,敬忠良,李建勋. 一种基于目标区域的图像融合新方法[J]. *中国激光*, 2005, **32**(3): 351~355
- M. Lhuillier, L. Quan. Match Propagation for Image-Based Modeling and Rendering [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, **24**(8): 1140~1146
- Zhou Xiuzhi, Wen Gongjian, Wang Runsheng. Fast stereo matching using adaptive window [J]. *Chinese J. Computers*, 2006, **29**(3): 473~479
周秀芝,文贡坚,王润生. 自适应窗口快速立体匹配[J]. *计算机学报*, 2006, **29**(3): 473~479
- Gu Zheng, Su Xianyu. An algorithm based on adaptive support weight and disparity adjustment for trinocular stereo matching [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(4): 734~738
顾征,苏显渝. 三目自适应权值立体匹配和视差校准算法[J]. *光学学报*, 2008, **28**(4): 734~738
- Lü Chaohui, Yuan Dun. Intermediate view synthesis based on disparity estimation [J]. *J. Optoelectronics · Laser*, 2007, **18**(7): 855~858
吕朝辉,袁惇. 基于视差估计的中间视合成[J]. *光电子·激光*, 2007, **18**(7): 855~858
- Y. Boykov, O. Veksler, R. Zabih. Fast approximate energy minimization via graph cuts[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2001, **23**(11): 1222~1239
- Peng Qiming, Jia Yunde. An algorithm for dense disparity mapping by using graph cuts[J]. *J. Software*, 2005, **16**(6): 1090~1095
彭启民,贾云得. 一种基于最小割的稠密视差图恢复算法[J]. *软件学报*, 2005, **16**(6): 1090~1095
- Long Quan, Ping Tan, G. Zeng et al.. Image-based plant modeling[J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2006, **25**(3): 599~604
- K. I. Laws. *Textured Image Segmentation* [D]. University of Southern California, 1980
- D. Scharstein, R. Szeliski. A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms[J]. *International J. Computer Vision*, 2002, **47**(1-3): 7~42