

基于 Zernike 矩的区域匹配方法

云挺 顾磊 吴慧中

(南京理工大学计算机科学与技术学院, 南京 210094)

摘要 在基于区域的立体匹配中,由于遮掩、区域变形及光照条件会对匹配算法造成很大的影响,而传统的顺序性约束、唯一性约束、外极线约束和邻域约束并不能很好地解决这些问题,而近几年提出的相对位置约束虽能解决其中大部分问题,但对于区域的遮掩情况依然效果不佳。为此提出了一种新的基于 Zernike 矩的区域匹配算法,该算法在相对位置约束的基础上,采用中心距离和 Zernike 矩构造了新的费用函数,并提出根据匹配区域之间中心距离的大小来动态评判费用函数的权重系数值,从而提高了算法的性能。实验结果表明,该算法优于原方法,且对于区域的遮掩和变形情况都具备更好的识别性能,是一种行之有效的区域匹配算法。

关键词 立体匹配 区域匹配 Zernike 矩

中图分类号:TP391.4 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)08-1517-08

A Region Matching Approach Based on Zernike Moments

YUN Ting, GU Lei, WU Hui-zhong

(Department of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

Abstract For region matching in stereoscopic images, most algorithms will be affected by the factors such as regions occlusion, regions warping and lighting condition. So the traditional constraint conditions, like order constraint, unique constraint, epipolar constraint and adjacent constraint, may be violated by these cases. In past few years a new algorithm based on the relative position constraint (RPC) between regions is proposed which can overcome most of the problems mentioned above, but it has not satisfying performance in matching occluded objects in the stereo images. Therefore, there remain false matches and miss-correspondences in the final results. In this paper, a novel algorithm using both the relative position constraint and the new cost function on the basis of regions center distance and Zernike moments theory is proposed. Furthermore the adjustable weights of cost function are dynamically estimated according to the distance between the centers of two matching regions. Finally, the proposed region matching algorithm is illustrated by three synthesized stereo images, with a comparison to the present algorithm and the superiority of the new region matching algorithm over the present algorithm is experimentally verified.

Keywords stereo matching, region matching, Zernike moments

1 引言

近年来,国内外提出了众多的立体视觉匹配算法,主要分为区域匹配^[1]、特征匹配^[2,3]、相位匹配^[4,5]、能量匹配^[6,7] 4种。但由于受各种外在和客

观因素的影响,致使每种方法都不能取得最优的效果,其中特征匹配因受到特征选取的制约而无法得到精确和稠密的视差场;而区域匹配对与灰度信息变化突出和物体的边缘处理效果也不太理想;相位匹配又存在奇点和相位圈绕的问题;而基于能量的匹配则计算量过大,且对于过多遮盖区域的情况,处

基金项目:国家自然科学基金项目(60672074);江苏省自然科学基金项目(BK2006569)

收稿日期:2006-06-24;改回日期:2007-04-02

第一作者简介:云挺(1980~),男,现为南京理工大学计算机科学与技术学院博士研究生。主要研究方向为虚拟现实与机器视觉。

E-mail:njyunting@tom.com

理并不理想。

双目立体视觉中,基于区域的立体匹配算法除了采用外极线约束、顺序性约束、唯一性约束和邻域约束外,还有最近几年提出的相对位置约束,但它对于图像区域的变形遮掩情况处理并非理想,因此本文利用区域中心距离和 Zernike 矩相结合的方法,提出了一种新的区域匹配方法,将其应用于校正灰度立体图像对后的结果表明,其对于区域遮掩和变形等情况具备更好的识别匹配性能。

2 Ansari 的区域匹配算法

在区域匹配中,传统的约束条件由于缺少特征量和区域遮掩等情况而效果一直不佳,Ansari 等人在 2000 年提出了相对位置约束 (relative position constraint, RPC) 的方法^[8]在很大程度上改进了原来算法的性能,该算法具体如下:

2.1 相对位置约束

图 1 所示的是一立体图对,左图包含了 6 个区域,分别为 $R_1^L, R_2^L, R_3^L, R_4^L, R_5^L, R_6^L$;右图包含了 7 个区域,分别为 $R_1^R, R_2^R, R_3^R, R_4^R, R_5^R, R_6^R, R_7^R$;由于遮盖的原因,虽然 R_2^R 和 R_4^R 相邻,但 R_2^L 和 R_4^L 并非邻接,因此邻域约束对于区域 R_2^L, R_4^L 和区域 R_2^R, R_4^R 并非适用。

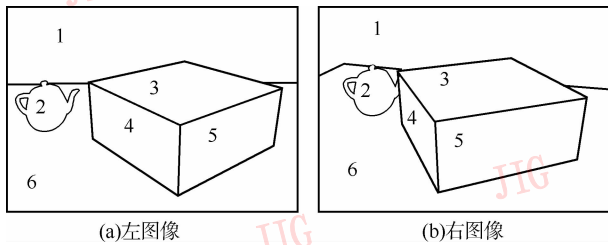


图 1 立体匹配图对
Fig. 1 Stereo images

相对位置约束的具体描述如下:设 R 为一个选定的区域, A 表示与 R 相邻的区域, A 分为 A^M 和 A^U 两个子集,其中

$A^U = \{R_i^U | R_i^U \in A, R_i^U \text{ 是未匹配的区域} \};$
 $A^M = \{R_i^M | R_i^M \in A, R_i^M \text{ 是已经匹配的区域} \};$ 集合 \hat{A}^M 表示另一幅图像中与 A^M 对应的区域: $\hat{A}^M = \bigcup_{R_i \in A^M} \text{homologous}(R_i)$,homologous 表示一种同类对应的关系,这里也指左右图像中已匹配的区域一一对

应。集合 S 表示与 \hat{A}^M 相邻但并未匹配的区域: $S = \bigcup_{R_i \in \hat{A}^M} A^U$,其中 adj 表示相邻关系。对任意的区域 R ,

如果 R 和 A^M 的相对位置关系与 \hat{R} 和 \hat{A}^M 的相对位置关系等同,其中 $\hat{R} \in S$,则满足相对位置约束,其关系为

$$H(R) = P(R) = \{ \hat{R} | \hat{R} \in S \text{ 和 } r(R, R_i) = r(\hat{R}, \text{homologous}(R_i)) \forall R_i \in A^M \}$$

$r(R, R_i)$ 表示 R 和 R_i 之间的关系,主要包括:上、下、左、右、包含。

2.2 费用函数的提出

通过相对位置约束,就可以确定一些候选的匹配对,但由于很多情况并非只有唯一的匹配对,因此如何从中找出最优的匹配对,费用函数在此起了决定性的作用,根据匹配区域的几何性能, Bury, Cohen, Zagrouba 等人提出了不同的评判标准^[9,10],如按照区域的长度、宽度和其矩的不变性等进行评判,然而这些函数对于遮掩区域并不具备很强的识别性能。Ansari 在文献[8]算法中提出的费用函数 C 为

$$\min_{\hat{R} \in H(R)} C(R, \hat{R}) = W_1 C_1 + W_2 C_2 \quad (1)$$

其中, W_1 和 W_2 是权重系数,且 $(W_1 + W_2 = 1)$ 。可以认为费用函数值最小的左右区域即为正确的匹配区域,为了更合理地确定费用函数,本文给出了权重系数 W_1, W_2 的建议值 $(W_1 = 0.8, W_2 = 0.2)$ 。下面分别介绍两个费用函数 C_1 和 C_2 。

2.2.1 费用函数 C_1

Ansari 认为,如果两个区域相匹配,那么左图区域中的每个点都应能在右图对应区域中找到相匹配的点,但如果两个区域的面积相差太大,那么其对应点数的差异性也就增加了,因此可考虑把区域高度作为评判的标准。费用函数 C_1 定义为

$$C_1(R, \hat{R}) = h + \hat{h} - 2a \quad (2)$$

其中, h, \hat{h} 分别代表区域 R 和 \hat{R} 的高度, a 为各自高度的相同部分(参看图 2^[8])。

但在实际拍摄的左右图像中,由于单是左右视角的平移变换很难反映在两个区域的高度差异性上,如图 3(引自参考文献[8])所示:由于图 3(a)中区域 29 和图 3(b)中的 21, 22, 29, 19 等区域的高度差异性并不大,因此存在不能匹配和误匹配的情况,但如果采用区域宽度差异性来进行评价时,那么就可以对上述情况进行正确的匹

配。在综合了上面两种情况的基础上,夏永泉提出了以下用图像中心距离构造费用函数 \hat{C}_1 的方法^[11]:

$$\hat{C}_1 = \sqrt{(x_c^L - x_c^R)^2 + (y_c^L - y_c^R)^2} \quad (3)$$

其中, $(x_c^L, y_c^L), (x_c^R, y_c^R)$ 分别代表左右图像中匹配区域的中心坐标。由于该费用函数可以综合考虑匹配区域在不同视角所产生的偏差,优于 Ansari 的费用函数 C_1 ,因此本文的算法也延续了文献[11]的思想,但如果两个区域的中心距离相差不大,那么这时将主要依赖于费用函数 C_2 。

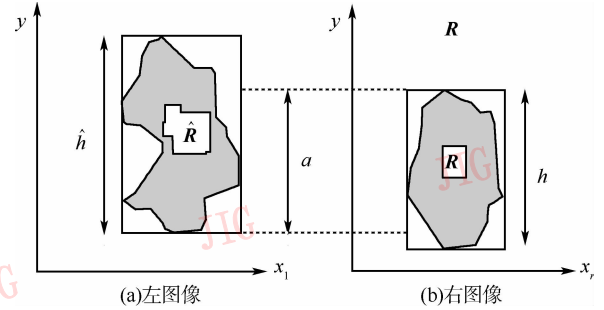


图 2 计算 C_1

Fig. 2 Computation C_1

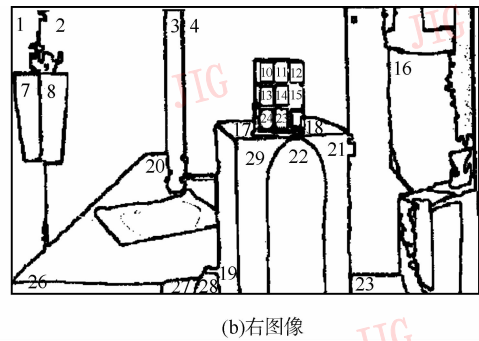
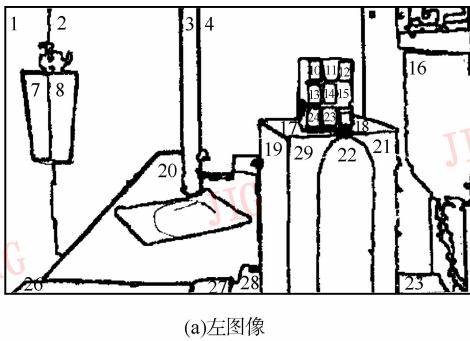


图 3 立体匹配图对

Fig. 3 Stereo images

2.2.2 基于 Hu 不变矩的费用函数 C_2

对于大小为 $N \times M$ 的数字图像,其 $(p+q)$ 阶原点矩和中心矩分别为

$$m_{p,q} = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M x^p y^q f(x,y)$$

$$\mu_{p,q} = \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M (x - x_c)^p (y - y_c)^q f(x,y)$$

其中, (x_c, y_c) 代表区域的中心坐标。

将 $(p+q)$ 阶规格化的中心矩记作 $\eta_{p,q}$,定义为

$$\eta_{p,q} = \frac{\mu_{p,q}}{\mu_{0,0}^k}$$

其中

$$k = \frac{p+q}{2} + 1 \quad (p+q = 2,3,\dots) \quad (4)$$

1962 年, Hu 运用如下 7 个不变矩公式来描述物体的特征:

$$M_1 = \eta_{2,0} + \eta_{0,2}$$

$$M_2 = (\eta_{2,0} - \eta_{0,2})^2 + 4\eta_{1,1}^2$$

$$M_3 = (\eta_{3,0} - 3\eta_{1,2})^2 + (3\eta_{2,1} - \eta_{0,3})^2$$

$$M_4 = (\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 + (\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2 \quad (5)$$

$$M_5 = (\eta_{3,0} - 3\eta_{1,2})(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})[(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 -$$

$$3(\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2] + (3\eta_{2,1} - \eta_{0,3})(\eta_{2,1} + \eta_{0,3}) \times [3(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 - (\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2]$$

$$M_6 = (\eta_{2,0} - \eta_{0,2})[(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 - (\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2] + 4\eta_{1,1}(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2(\eta_{2,1} + \eta_{0,3})$$

$$M_7 = (3\eta_{1,2} - \eta_{0,3})(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})[(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 - 3(\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2] + (\eta_{3,0} - 3\eta_{1,2})(\eta_{2,1} + \eta_{0,3}) \times [3(\eta_{3,0} + \eta_{1,2})^2 - (\eta_{2,1} + \eta_{0,3})^2]$$

Ansari 在文献[8]中采用了 Hu 不变矩的思想来构造费用函数 C_2 , 具体见式(6)。

$$C_2(\mathbf{R}, \hat{\mathbf{R}}) = |\varphi(\mathbf{R}) - \varphi(\hat{\mathbf{R}})|$$

$$\varphi = \frac{\varphi_2}{\varphi_1^2} \quad (6)$$

其中, $\varphi_1 = \eta_{0,2} + \eta_{2,0}$, $\varphi_2 = \eta_{0,2}\eta_{2,0} - \eta_{1,1}^2$, η 为上文所描述的规格化中心矩(参见式(4))。 $\mathbf{R}, \hat{\mathbf{R}}$ 分别代表要匹配的区域对,可以认为费用函数 C_2 所得的值越小,则左右区域正确匹配的概率越高。

上述已经描述了 Ansari 算法的大致步骤,图 4 列出了算法的基本流程。

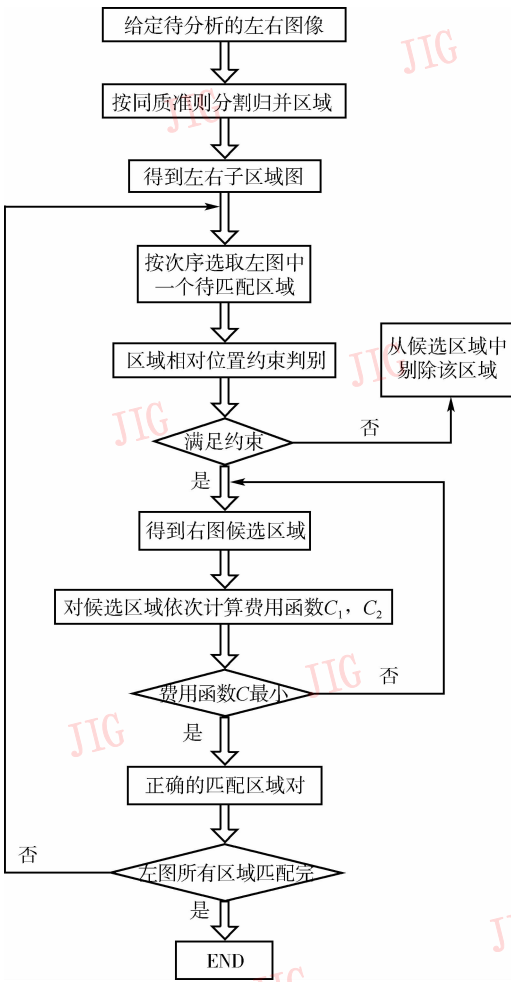


图 4 Ansari 算法的处理流程图

Fig. 4 Flow chart of Ansari algorithm

3 基于 Zernike 矩的区域匹配

3.1 基于 Zernike 矩的费用函数 C_2

在立体匹配中,最大的干扰因素是遮掩问题,因为它会导致区域形状、中心发生改变而不能正确匹配。由于 Hu 矩并非正交矩,且不具有良好的抗噪性能和旋转不变性,所以其构造的费用函数 C_2 对遮掩区域的处理效果并不理想。而 Zernike 矩则是近几十年才提出的矩,由于其具有正交性、旋转不变性和抗噪性能,很多文献都表明其识别性能优于 Hu 矩^[12],因此笔者把它引入到本文的算法中,以提高匹配率。

Zernike 矩^[13]概念首先由 Teague 于 1980 年引入,图像密度函数 $f(\rho, \theta)$ 的 2 维 Zernike 矩定义为

$$Z_{n,m} = \frac{n+1}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^1 [V_{n,m}^*(\rho, \theta)] f(\rho, \theta) \rho d\rho d\theta$$

$$= \frac{n+1}{\pi} \iint R_{n,m}(\rho) e^{jm\theta} f(\rho, \theta) \rho d\rho d\theta \quad (7)$$

式中, n 为正整数或零; m 为正或负整数,且满足 $n - |m|$ 为偶数和 $|m| \leq n$ 的条件限制; V^* 表示取共轭, $|\rho|$ 为原点到点 (x, y) 有向线段的长度,即

$$|\rho| = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (-1 < x, y < 1); \theta \text{ 为 } x \text{ 轴与向量 } \rho \text{ 在逆时针方向的夹角,即 } \theta = \arctan(y/x) \quad (-1 < x, y < 1);$$

实半径多项式 $R_{n,m}(\rho)$ 定义为

$$R_{n,m}(\rho) = \sum_{s=0}^{\lfloor \frac{n-|m|}{2} \rfloor} \frac{(-1)^s [(n-s)!] \rho^{n-2s}}{s! \left(\frac{n+|m|}{2} - s\right)! \left(\frac{n-|m|}{2} - s\right)!} \quad (8)$$

通常为了计算一个图像区域的 Zernike 矩,必须将图像中心移至坐标原点,并将图像像素点映射到单位圆内,以便计算由 Zernike 矩构成的任意高阶矩。由于 Zernike 很多的阶矩为复数形式,且人们通常采用它的高阶矩作为判断依据,因此本文运用 Zernike 的 4、6、8 高阶矩,针对式 (6) 提出了以下新的费用函数 C_2 :

$$C_2(\mathbf{R}, \hat{\mathbf{R}}) = \{ |Z_{4,0}(\mathbf{R}) - Z_{4,0}(\hat{\mathbf{R}})| + |Z_{6,0}(\mathbf{R}) - Z_{6,0}(\hat{\mathbf{R}})| + |Z_{8,0}(\mathbf{R}) - Z_{8,0}(\hat{\mathbf{R}})| \} / 3 \quad (9)$$

其中, $Z_{n,m}$ 代表该区域重复率为 m 的 n 阶 Zernike 矩,和 Ansari 的费用函数 C_2 一样,可认为 C_2 值越小的区域对即为正确的区域匹配对。为了验证其是否行之有效,本文分别选取了两对视角平移变换,但存在遮掩情况的实验图像对,用来验证本文提出的新费用函数的有效性。

3.2 实验图像对和结果分析

本文下面的实验图像采用 OpenGL 和 3dmax 生成绘制,并按照左右两个平行的视点采集生成。

3.2.1 实验图像 1(图 5)

按照相对位置约束方法,假设对图 5(c) 中区域 \mathbf{R}_1^L 进行匹配, $A(\mathbf{R}_1^L) = \{\mathbf{R}_0^L\}$, $\hat{A}^M(\mathbf{R}_1^L) = \{\mathbf{R}_0^R\}$, $S(\mathbf{R}_1^L) = \{\mathbf{R}_1^R, \mathbf{R}_2^R, \mathbf{R}_3^R, \mathbf{R}_4^R, \mathbf{R}_5^R, \mathbf{R}_6^R\}$, 且有如下关系:

$$\{r(\mathbf{R}_1^L, \mathbf{R}_0^L) = \mathbf{R}_1^L \text{ under } \mathbf{R}_0^L\} = \{r(\mathbf{R}_1^R, \mathbf{R}_0^R) = \mathbf{R}_1^R \text{ under } \mathbf{R}_0^R\}$$

$$\{r(\mathbf{R}_1^L, \mathbf{R}_0^L) = \mathbf{R}_1^L \text{ under } \mathbf{R}_0^L\} = \{r(\mathbf{R}_2^R, \mathbf{R}_0^R) = \mathbf{R}_2^R \text{ under } \mathbf{R}_0^R\}$$

$$\{r(\mathbf{R}_1^L, \mathbf{R}_0^L) = \mathbf{R}_1^L \text{ under } \mathbf{R}_0^L\} = \{r(\mathbf{R}_1^R, \mathbf{R}_3^R) = \mathbf{R}_1^R \text{ under } \mathbf{R}_3^R\}$$

$$\{r(\mathbf{R}_1^L, \mathbf{R}_0^L) = \mathbf{R}_1^L \text{ under } \mathbf{R}_0^L\} = \{r(\mathbf{R}_1^R, \mathbf{R}_4^R) = \mathbf{R}_1^R \text{ under } \mathbf{R}_4^R\}$$

$$\{r(\mathbf{R}_1^L, \mathbf{R}_0^L) = \mathbf{R}_1^L \text{ under } \mathbf{R}_0^L\} = \{r(\mathbf{R}_1^R, \mathbf{R}_5^R) = \mathbf{R}_1^R \text{ under } \mathbf{R}_5^R\}$$

$$\{r(\mathbf{R}_1^L, \mathbf{R}_0^L) = \mathbf{R}_1^L \text{ under } \mathbf{R}_0^L\} = \{r(\mathbf{R}_1^R, \mathbf{R}_6^R) = \mathbf{R}_1^R \text{ under } \mathbf{R}_6^R\}$$

从上面的结果可以看出,与 \mathbf{R}_1^L 可能匹配的区域

有 $H(R_1^L) = \{R_1^R, R_2^R, R_3^R, R_4^R, R_5^R, R_6^R\}$, 其中正确匹配的区域为 R_1^R , 但还存在很多干扰区域, 如 $R_2^R, R_3^R, R_4^R, R_5^R, R_6^R$, 若采用中心距离构造的费用函数 \hat{C}_1 来进行判别, 则可以剔除 $R_3^R, R_4^R, R_5^R, R_6^R$, 但 R_1^R

和 R_2^R 区域仍无法正确识别, 此时需要用费用函数 C_2 进行评判, 同理, 对 R_3^L, R_5^L 区域进行匹配的时候也会有类似的情况, 这 6 个区域的匹配结果列于表 1 和表 2 中。

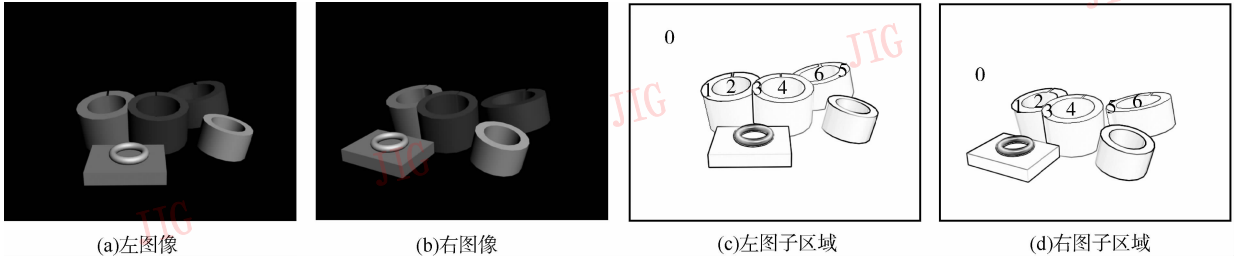


图 5 实验图对
Fig. 5 Stereo images

表 1 图 4 中各区域原费用函数 \hat{C}_1, C_2 值

Tab. 1 Value of the cost function \hat{C}_1, C_2 about every region

区域	区域中心 (图像坐标)	费用函数 \hat{C}_1	φ_2/φ_1^2	原费用函数 C_2
R_1^L	(230.2, 217.3)		0.156 0	
R_1^R	(216.8, 188.0)	(R_1^L, R_1^R) 32.22	0.197 3	(R_1^L, R_1^R) 0.041 3
R_2^L	(210.0, 214.5)	(R_1^L, R_2^R) 20.39	0.127 2	(R_1^L, R_2^R) 0.028 8
R_3^L	(232.0, 338.8)		0.141 8	
R_3^R	(231.2, 288.3)	(R_3^L, R_3^R) 50.51	0.137 4	(R_3^L, R_3^R) 0.004 4
R_4^L	(228.3, 288.4)	(R_3^L, R_4^R) 50.53	0.173 6	(R_3^L, R_4^R) 0.032
R_5^L	(195.5, 451.1)		0.158 1	
R_5^R	(215.7, 434.1)	(R_5^L, R_5^R) 26.40	0.044 7	(R_5^L, R_5^R) 0.113 4
R_6^L	(214.2, 432.2)	(R_5^L, R_6^R) 26.59	0.067 8	(R_5^L, R_6^R) 0.090 3

表 2 图 4 各区域 Zernike 值及新费用函数 C_2 值

Tab. 2 The value of Zernike moments and cost function C_2 about every region

区域	$Z_{4,0}$	$Z_{6,0}$	$Z_{8,0}$	$Z_{4,1}$	$Z_{6,1}$	$Z_{8,1}$	新费用函数 C_2
R_1^L	-168.83	477.27	-351.82	61.55 - 8.84i	-240.26 + 108.36i	210.60 - 165.67i	
R_1^R	375.45	-207.84	-19.46	-24.66 + 11.36i	-27.12 + 22.18i	134.13 - 81.32i	(R_1^L, R_1^R) 520.58
R_2^L	580.34	-523.79	370.11	42.05 - 10.42i	-91.80 + 24.04i	141.92 - 40.28i	(R_1^L, R_2^R) 824.05
R_3^L	-215.96	163.24	-41.43	-11.82 + 3.94i	25.6 + 20.89i	-6.01 - 54.89i	
R_3^R	-177.31	134.76	-45.92	2.40 + 4.90i	-7.15 + 21.47i	-2.06 - 50.91i	(R_3^L, R_3^R) 23.87
R_4^L	344.57	-199.61	48.38	71.30 - 9.10i	-126.22 + 16.74i	151.51 - 21.75i	(R_3^L, R_4^R) 337.73
R_5^L	145.35	-90.00	15.04	9.09 - 3.36i	12.17 - 9.88i	-55.30 + 34.19i	
R_5^R	-16.57	-29.82	14.47	-8.99 + 0.75i	14.60 + 4.33i	-10.07 - 9.82i	(R_5^L, R_5^R) 74.22
R_6^L	249.54	-200.07	144.46	59.42 - 11.01i	-108.1 + 19.87i	136.02 - 24.89i	(R_5^L, R_6^R) 114.56

3.2.2 实验图像 2 (图 6)

同理, 根据相对位置约束, 在匹配左图中区域 R_3^L 时, 会出现右图中的候选区域 R_3^R, R_4^R, R_5^R , 而在匹配左图中区域 R_6^L 时, 又会出现候选区域

R_6^R, R_7^R 。费用函数 C_2 对这 5 个区域的匹配结果列于表 3 中。

3.2.3 本文费用函数的性能分析

从表 1 可看出, 实验图 5 中的待匹配区域和

候选区域,由于按照关于中心距离准则的费用函数 \hat{C}_1 并不能做出有效的判别,因此只能依赖于费用函数 C_2 。但对于像 R_1^L, R_5^L 这样由于视角平移变换而造成半遮掩的区域,若采用 Ansari 构造的费用函数 C_2 进行评判,则都存在错误的判别结果。从表 2 可见,当采用 Zernike 矩的 4 阶、6 阶、8 阶构造的费用函数时,则能做出正确的匹配。同理,表 3 说明本文的费用函数 C_2 对实验图 5 中的存在半遮掩情况的区域 $R_3^L, R_4^L, R_5^L, R_6^L, R_7^L$ 也优于 Ansari 的费用函数 C_2 。在表 2 和表 3 中还列出了其他不同阶数的 Zernike 矩值,虽然 $Z_{4,1}, Z_{6,1}, Z_{8,1}$ 等阶矩值也提供了可靠的依据,但由于本文的算法并未采用矩的模值进行判别,且所得的复数值会增加判断的难度,所以尚不采用。

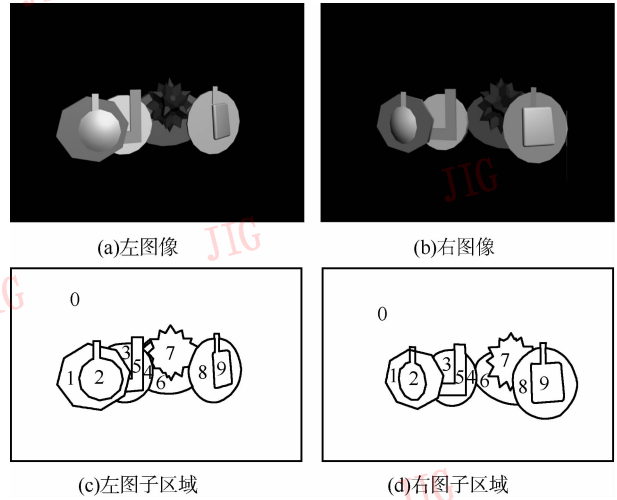


图 6 实验图对
Fig. 6 Stereo images

表 3 图 5 区域原费用函数 C_2 和新费用函数 C_2 值

Tab. 3 The value of original cost function C_2 and new cost function C_2 about every region

区域	$\frac{\varphi_2}{\varphi_1}$	原费用函数 C_2	$Z_{4,0}$	$Z_{6,0}$	$Z_{8,0}$	$Z_{4,1}$	$Z_{6,1}$	$Z_{8,1}$	新费用函数 C_2
R_3^L	0.135 1	$(R_3^L, R_3^R) 0.030 7$	1 050.90	-955.34	700.04	21.31 - 0.08i	-65.44 - 117.50i	109.40 + 300.47i	$(R_3^L, R_3^R) 300.81$
R_4^L	0.088 1	$(R_4^L, R_4^R) 0.033 0$	158.37	70.91	-173.41	9.40 + 2.12i	264.32 + 42.43i	-550.82 - 36.56i	$(R_4^L, R_4^R) 74.12$
R_3^R	0.165 8		1 068.80	-626.82	143.94	-3.18 - 16.18i	-5.32 - 30.32i	25.89 + 146.69i	
R_4^R	0.121 1	$(R_3^L, R_4^R) 0.014 0$	36.65	147.16	-197.79	40.65 - 19.29i	269.10 + 82.08i	-542.97 - 82.25i	$(R_3^L, R_4^R) 1 004.86$
R_5^R	0.099 9	$(R_4^L, R_5^R) 0.011 8$	260.93	-72.39	104.35	43.98 - 127.06i	27.55 + 337.20i	-193.25 - 182.62i	$(R_4^L, R_5^R) 174.54$
R_6^L	0.175 6		502.41	-57.24	-95.40	17.05 + 21.20i	-63.60 + 14.90i	110.19 - 103.43i	
R_6^R	0.122 9	$(R_6^L, R_6^R) 0.052 7$	230.53	-105.14	-0.41	5.23 - 1.38i	-79.40 + 102.30i	152.40 - 153.85i	$(R_6^L, R_6^R) 138.26$
R_7^R	0.203 6	$(R_6^L, R_7^R) 0.028 0$	99.79	52.00	-31.50	-4.48 + 63.10i	-49.73 - 130.76i	89.38 + 154.89i	$(R_6^L, R_7^R) 191.92$

4 动态评判权重 $W_1 W_2$

本文采用了文献[11]关于中心距离的费用函数 \hat{C}_1 和基于 Zernike 矩的费用函数 C_2 (见式(9))构造了以下最终的费用函数:

$\min_{\hat{R} \in H(\hat{R})} C(\hat{R}, \hat{R}) = W_1 \hat{C}_1 + W_2 C_2$, W_1, W_2 分别是权重值,且 $(W_1 + W_2 = 1)$,在实际匹配中, W_1, W_2 会出现以下两种情况:(1)当两幅图像之间的视角改变不大时,由于待匹配区域与另一幅图像中的对应正确区域和干扰区域的中心都相差很小,因此它们之间的费用函数 \hat{C}_1 的差值也较小,此时相应权重系

数 W_1 应赋较大值,用来体现出其中细微的中心差别;(2)当两幅图像对应的视角改变很大时,则很可能出现要匹配区域的中心离另一个干扰区域的中心较近或是与任何一个候选区域中心都相差很远的情况,从而致使 \hat{C}_1 的可信度降低,此时需要依靠费用函数 C_2 来识别正确的匹配区域,因此权重值 W_2 应给予较大值。本文算法对于费用函数的权重系数值是采用动态分配的标准,按照待匹配区域之间的中心相差度来分配 W_1, W_2 的值。具体参见式(10):

$$W_2 = \begin{cases} 0.02 \times |P_{\max}[i]| & |P_{\min}[i]| \leq N < |P_{\max}[i]| \\ 0.8 & N \geq \max |P_{\max}[i]| \end{cases} \quad (10)$$

$$W_1 = 1 - W_2 \quad i = 0, 1, 2$$

其中, $P_{\max} = [10, 20, 30]$, $P_{\min} = [0, 10, 20]$, $P_{\max}[i]$, $P_{\min}[i]$ 是一个 1×3 大小的数组, 其可作为一个以像素个数为单位的约束量, 其中 N 为两区域中心距离的像素个数。

5 实验结果及分析

算法在 *PIV3GHVz* 的机器上运行, 在算法的实现过程中, 区域的检测使用了基于分裂合并的图像分割方法^[14], 也加入了少量的先验知识和人为修正因素。实验中, 立体图像对采用分辨率为 $640 \times 480 \text{ pixels}$ 大小的灰度图像对 (如图 7(a)、(d) 所示), 区域匹配结果如图 7(c)、(f) 所示, 匹配数据如表 4 所示: 由表 4 可以看出, 本文的算法虽然提高了区域匹配率, 但时间复杂度也相应地

增加了。而对于没有匹配的区域, 其主要原因有以下两个方面: (1) 由于在双目立体视觉中有完全遮掩的情况, 并且左右图像中的视角大范围变化, 从而导致中心偏离, 因此无法匹配; (2) 由于视角转换和光照的变化, 从而导致图像分割算法不能对两幅图像都做出一个正确的划分, 这也导致区域不能匹配。

表 4 实验结果

Tab. 4 Experiment results

提取区域数	成功匹配区域数	成功匹配率 (%)	CPU 计算时间 (s)
左图像 (原有算法)	82	78.05	3
右图像 (原有算法)	85	75.30	
左图像 (本文算法)	82	86.59	7
右图像 (本文算法)	85	83.53	

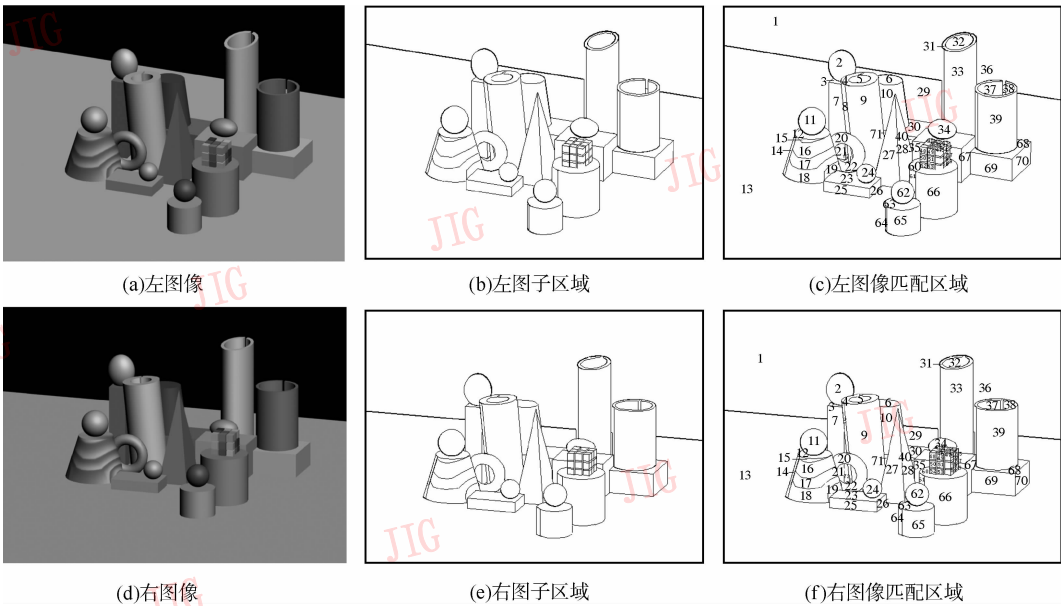


图 7 实验图像及相关结果

Fig. 7 Experimental images and correlative results

6 结论

本文结合 Zernike 矩和中心距离的概念及相对位置约束方法, 提出了一种新的基于 Zernike 矩的区域匹配算法, 并按照中心距离量对其中的费用函数、权重系数值进行动态赋值。通过实验表明, 本文方法是行之有效的, 也取得了更优的匹配率。

参考文献 (References)

- 1 Super B J, Kiariaquist W N. Patch-based stereo in general binocular viewing [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(3): 247 ~ 252.
- 2 van Ee Raymond, Schor M Clifton. Unconstrained stereoscopic matching of lines [J]. Vision Research, 2000, 40(2): 151 ~ 162.
- 3 Kuijper A, Florack I M J. On the creations of critical points in scale space with applications to medical image analysis [J]. UU-CS, 2001, 25: 316 ~ 319.

- 4 Zhou J, Xu Y, Yu W R. Phase matching with multiresolution wavelet transform [A]. In: Proceedings of SPIE International Conference on Image and Video Processing [C]. San Jose, CA, USA, 2002, **4661**: 82 ~ 91.
- 5 Jenkin M R M, Jepson A D. Recovering local surface structure through local phase difference methods [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing: Image Understanding, 1994, **59**(1): 72 ~ 93.
- 6 Prince S J D, Eagle R D. Weighted directional energy model for human stereo correspondence [J]. Vision Research, 2000, **40**(9): 1143 ~ 1155.
- 7 Kisworo M, Venkatesh S. West modeling edges at subpixel accuracy using local energy approach [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1994, **16**(4): 405 ~ 410.
- 8 El Ansari M, Masmoudi L, Radouane L A. New region matching method for stereoscopic images [J]. Pattern Recognition Letters, 2000, **21**(4): 283 ~ 294.
- 9 Buvry M, Zagrouba E, Krey C J A. Rule-based system for region segmentation improvement in stereovision [A]. In: Proceedings of SPIE International Conference on Image and Video Processing [C], San Jose, CA, USA, 1994, **2182**(8): 357 ~ 367.
- 10 Zagrouba E, Krey C. Region matching by adjacency propagation in stereo vision [A]. In: Proceedings of Second International Conference on Automation, Robotics and Computer Vision [C], Singapore, 1992, 851 ~ 855.
- 11 Xia Yong-quan, Liu Zheng-dong, Yang Jing-yu. Application of moment invariant approach in region matching [J]. Journal of Computer-aided Design and Computer Graphics, 2005, **17**(10): 2152 ~ 2156. [夏永泉, 刘正东, 杨静宇. 不变矩方法在区域匹配中的应用 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, **17**(10): 2152 ~ 2156.]
- 12 Cho-huak, Roland T. On image analysis by the methods of moments [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1988, **10**(4): 556 ~ 561.
- 13 Teague M. Image analysis via the general theory of moments [J]. the Optical Society of America, 1980, **70**(8): 920 ~ 930.
- 14 Benamrane N. Contribution of Stereo Vision by Filling Correspondence Regions [D]. Valenciennes, France: University Valenciennes and Hainant Cambresis, 1994.