

基于颜色内相关和自适应支撑权重的立体匹配算法

龚文彪 顾国华 钱惟贤 任建乐

(南京理工大学江苏省光谱成像与智能感知重点实验室, 江苏 南京 210094)

摘要 立体匹配的关键问题是确定一个合适的匹配代价关系, 颜色内相关作为像素点的固有特性, 能够有效地反映出匹配像素点间的微小差异。对传统的自适应支撑权重 (ASW) 方法进行改进, 提出了一种基于颜色内相关和自适应支撑窗口的立体匹配算法, 该方法结合了颜色相似性、欧式距离相似性和颜色内相关相似性来确定匹配窗口内像素点的权重大小。同时为了消除光照不同对图像匹配结果的影响, 将匹配点先进行 rank 变换后再进行匹配代价关系计算。对计算出的初始视差图进行三步优化, 剔除由图像遮挡、重复等引起的不同视差错误, 从而得到最终的视差结果。通过在 Matlab 软件平台上对国际标准图像进行测试, 实验结果表明该方法得到的视差结果的平均错误率低, 且明显优于其他局部匹配方法, 具有很强的稳健性和较低的误匹配率。

关键词 图像处理; 立体匹配; 自适应支撑权重; 颜色内相关; rank 变换

中图分类号 TN29 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201441.0812001

Stereo Matching Algorithm Based on the Inter Color Correlation and Adaptive Support Weight

Gong Wenbiao Gu Guohua Qian Weixian Ren Jianle

(Jiangsu Key Laboratory of Spectral Imaging and Intelligent Sense, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210094, China)

Abstract It is crucial to choose a suitable matching cost relationship for area-based stereo matching. Inter color correlation as the inherent characteristics of pixel, can effectively show the small matching differences between pixel. The traditional method of adaptive support weight is improved, and a new matching algorithm that combines the color similarity, Euclidean distance similarity and inter color correlation similarity is proposed to compute the corresponding support weight. Meanwhile, in order to solve the brightness difference between the stereo image pairs, matching pixel are transformed by rank and calculating the matching cost relationship. Various errors in the disparity results are effectively handled in a three-step refinement process. The experimental results based on Matlab show that its performance is the best among local matching methods, and its robustness is very strong, as well as low false match rate.

Key words image processing; stereo matching; adaptive support weight; inter color correlation; rank transform

OCIS codes 100.2960; 100.3010; 140.6910

1 引言

双目视觉立体匹配是计算机视觉的一个重要研究方向, 它是根据左右图像获得物体深度信息的主

要技术手段。针对目前国内外许多学者提出的立体匹配算法, 可以将其划分为全局区域立体匹配算法和局部区域立体匹配算法两大类。全局区域立体匹

收稿日期: 2014-02-24; 收到修改稿日期: 2014-04-10

基金项目: 国家自然科学基金(61101119)、江苏省普通高校研究生科研创新基金(CXZZ120183)、江苏省自然科学基金(BK2011699)

作者简介: 龚文彪(1990—), 男, 硕士研究生, 主要从事图像处理、立体匹配等方面的研究。

E-mail: gongwenbiao2011@163.com

导师简介: 顾国华(1966—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要光电成像理论与技术、图像识别处理及应用技术等方面的研究。E-mail: gghnjst@163.com

配算法是根据最小化全局能量函数和多次迭代最终得到稠密的视差图,虽然该类方法得到的立体匹配视差结果的正确匹配率较高,但是该类方法存在计算复杂、运算时间长、不利于实现等缺点,而对于局部立体匹配算法^[1],其执行效率更高、计算量小、易于实现,且在一个合适的匹配代价关系下能得到较高的正确匹配率。

局部立体匹配算法对左右图像匹配窗口有如下要求:1) 匹配窗口尺寸要尽量大,以便在窗口内包含足够多的灰度变化,从而得到更可靠的匹配关系,如果窗口太小,对于纹理单一、场景重复的匹配窗口计算出的视差将会不准确;2) 匹配窗口尺寸要尽量小,以避免图像视差不连续处像素点的错误匹配。目前,国内外许多学者在这方面进行了研究,Zhang等^[2]以一种十字骨架的方式,通过阈值设定限制臂长的大小,从而得到最佳的匹配窗口。Veksler^[3]提出逐点自适应选取方法,从而得到合适的支撑窗口。但比较经典的是 Yoon 等^[4]提出的自适应支撑窗口(ASW)匹配方法,该方法依据每个像素点与窗口内匹配点的颜色相似性、欧式距离相似性来选择合适的匹配窗口代价关系,从而计算出每个像素点准确的视差值,但该方法也存在如下缺点:对于匹配窗口内视差不连续的点,仅根据自身的颜色和距离相似性来匹配并不能得到正确的视差值,容易在匹配过程中造成误判。因此本文在 Yoon 等^[4]的基础上进行了改进,提出了一种基于颜色相似性、欧式距离相似性和颜色内相关相似性的自适应支撑权重的立体匹配算法。同时为了得到合适的匹配代价关系,消除左右图像因光照不同对立体匹配结果的影响,在匹配过程中对匹配的像素点先进行 rank 变换,然后再确定最终的匹配代价关系。

2 RGB 颜色内相关定义

RGB 颜色内相关反映的是像素点颜色空间变化的信息,对于摄像机获得的彩色图像 $I(x, y)$,可建立 RGB 颜色空间向量,如图 1 所示,二维图像上拍摄到的空间点可以用 RGB 三通道颜色向量表示为 $I_R(x, y), I_G(x, y), I_B(x, y)$,其中 x, y 表示图像像素点行列方向上的坐标值。通过大量的实验数据,证明了图 2 中 RGB 颜色空间向量的内在关系可以有效地提高立体匹配正确率,即像素点的颜色内相关特性可以有效提高立体匹配正确率,图 1、2 如下所示。

图 1 和图 2 中红色方框表示像素点的 R 分量,

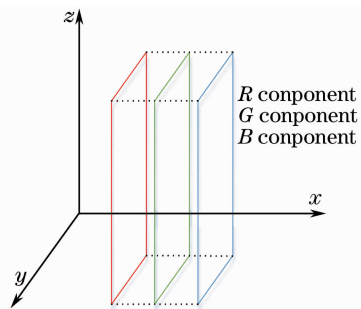


图 1 RGB 颜色空间

Fig. 1 RGB color space

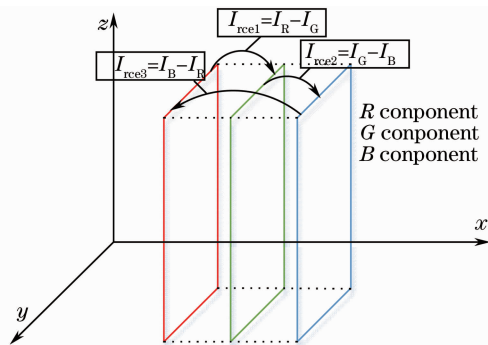


图 2 颜色内相关

Fig. 2 Inter color correlation

绿色方框表示像素点的 G 分量,蓝色方框表示像素点的 B 分量,由 RGB 三个分量间的内在关系,可以得到颜色内相关空间向量,表示为 R 分量到 G 分量的变化为 I_{rec1} ,G 分量到 B 分量的变化为 I_{rec2} ,B 分量到 R 分量的变化为 I_{rec3} ,具体为

$$I_{rec1} = I_R(x, y) - I_G(x, y), \quad (1)$$

$$I_{rec2} = I_G(x, y) - I_B(x, y), \quad (2)$$

$$I_{rec3} = I_B(x, y) - I_R(x, y), \quad (3)$$

所以待匹配像素点颜色内相关空间特性可用 I_{rin} 向量表示为

$$I_{rin} = [I_{rec1}, I_{rec2}, I_{rec3}]. \quad (4)$$

3 提出的立体匹配算法

3.1 匹配窗口的权重函数定义

为了提高左右图像的立体匹配准确率,特别是针对视差不连续处像素点的匹配,在原始的自适应支撑权重(ASW)的基础上,增加了颜色内相关的性质来重新定义匹配窗口的权重函数,通过结合颜色相似性、空间欧式距离相似性和颜色内相关相似性来确定最终匹配窗口权重函数表示,定义为

$$\omega(p, q) = f(\Delta c_{pq}, \Delta d_{pq}, \Delta r_{pq}), \quad (5)$$

式中 p 和 q 分别表示当前匹配点和区域内的相关匹配点, Δc_{pq} 表示 p 和 q 的 RGB 颜色值相似性, Δd_{pq} 表

示 p 和 q 空间欧式几何相似性, Δr_{pq} 表示 p 和 q 点三维颜色内相关分量的相似性, 其中 Δc_{pq} 、 Δd_{pq} 、 Δr_{pq} 具体表达式为

$$\Delta c_{pq} = \|p - q\|_2 = \sqrt{(p_R - q_R)^2 + (p_G - q_G)^2 + (p_B - q_B)^2}, \quad (6)$$

$$\Delta d_{pq} = \|d_p - d_q\|_2 = \sqrt{(x_p - x_q)^2 + (y_p - y_q)^2}, \quad (7)$$

$$\Delta r_{pq} = \|I_{\text{rin}_p} - I_{\text{rin}_q}\|_2 = \sqrt{(I_{\text{rec1}_p} - I_{\text{rec1}_q})^2 + (I_{\text{rec2}_p} - I_{\text{rec2}_q})^2 + (I_{\text{rec3}_p} - I_{\text{rec3}_q})^2}, \quad (8)$$

式中 (p_R, p_G, p_B) 表示 p 点的 RGB 颜色像素值, (q_R, q_G, q_B) 表示 q 点的 RGB 颜色像素值, (x_p, y_p) 表示 p 的坐标值, (x_q, y_q) 表示 q 的坐标值, I_{rin_p} 表示 p 点处颜色内相关函数值, I_{rin_q} 表示 q 点处颜色内相关的函数值。

为了进一步确定权重函数表达式, Δc_{pq} 、 Δd_{pq} 、 Δr_{pq} 可以当作独立分量来处理, 则权重函数方程可以改写为

$$\omega(p, q) = f_c(\Delta c_{pq}) \cdot f_d(\Delta d_{pq}) \cdot f_r(\Delta r_{pq}), \quad (9)$$

式中 $f_c(\Delta c_{pq})$ 表示颜色相似性函数, $f_d(\Delta d_{pq})$ 表示欧式距离函数分量, $f_r(\Delta r_{pq})$ 表示颜色内相关函数分量。其中匹配像素点颜色差值越小, 相关性越大, 则 $f_c(\Delta c_{pq})$ 可以写为

$$f_c(\Delta c_{pq}) = \exp\left(-\frac{\Delta c_{pq}}{\tau_c}\right), \quad (10)$$

式中 τ_c 为固定常数, 取为 5。

同理, 窗口内欧式距离越小的像素点, 其相关性也越大, 则 $f_d(\Delta d_{pq})$ 可以写为

$$f_d(\Delta d_{pq}) = \exp\left(-\frac{\Delta d_{pq}}{\tau_d}\right), \quad (11)$$

式中 τ_d 为固定常数, 取为 17.5。

匹配像素点颜色内相关变化越小, 其相似性也越大, 则 $f_r(\Delta r_{pq})$ 可以写为

$$f_r(\Delta r_{pq}) = \exp\left(-\frac{\Delta r_{pq}}{\tau_r}\right), \quad (12)$$

式中 τ_r 为固定常数, 取为 5。

所以最终的权重函数表达式可以写为

$$\omega(p, q) = \exp\left(-\frac{\Delta c_{pq}}{\tau_c}\right) \cdot \exp\left(-\frac{\Delta d_{pq}}{\tau_d}\right) \cdot \exp\left(-\frac{\Delta r_{pq}}{\tau_r}\right) = \exp\left[-\left(\frac{\Delta c_{pq}}{\tau_c} + \frac{\Delta d_{pq}}{\tau_d} + \frac{\Delta r_{pq}}{\tau_r}\right)\right]. \quad (13)$$

3.2 匹配像素点进行 rank 变换

3.1 节中确定了左右匹配窗口内像素点的权重分配关系, 但由于左右图像在拍摄过程中受光照不同的影响, 直接进行匹配代价运算会影响确定好的匹配权重关系。因此对匹配的点先进行 rank 变换,

消除两幅图像因光照不同而产生相应的匹配错误, 然后再进行匹配代价计算, 具体的 rank 变换表达式如下:

$$R(q) = \begin{cases} -2, & I_p - I_q < -\tau_1 \\ -1, & -\tau_1 \leq I_p - I_q \leq -\tau_2 \\ 0, & -\tau_2 < I_p - I_q \leq \tau_2 \\ 1, & \tau_2 < I_p - I_q \leq \tau_1 \\ 2, & I_p - I_q > \tau_1 \end{cases}, \quad (14)$$

式中 I_p 为当前匹配像素点的灰度值, I_q 为窗口内像素点的灰度值, τ_1 、 τ_2 为 rank 变换分类条件, 实际中为固定常数。由于窗口内的匹配点进行 rank 变换后在不同分类等级上为一固定常数, 因此在匹配过程中可以消除光照不同对左右图像匹配结果的影响, 提高左右图像匹配精度。

3.3 左右图像视差值计算

由计算机视觉原理可知, 左右相机拍摄同一场景, 其相应的匹配点在同一条极线上, 经过相机标定^[5]后, 将左右图像像素匹配约束在同一行上。再根据双目测距原理, 对于摄像机拍摄到的一定距离范围内的场景, 匹配点的视差范围可设定为 $\{d_{\min}, \dots, d_{\max}\}$, 其中 d_{\min} 为左右图像上匹配点的最小视差值, d_{\max} 为匹配像素点的最大视差值, 经过上述分析, 可以对左右图像匹配点的视差值进行计算。

对于左右图像上的匹配点 p 和 \bar{p}_d , 左右像素点的匹配代价 $E(p, \bar{p}_d)$ 为

$$E(p, \bar{p}_d) = \frac{\sum_{q \in N_p, \bar{q}_d \in N_{\bar{p}_d}} \omega(p, q) \omega(\bar{p}_d, \bar{q}_d) e_m(q, \bar{q}_d)}{\sum_{q \in N_p, \bar{q}_d \in N_{\bar{p}_d}} \omega(p, q) \omega(\bar{p}_d, \bar{q}_d)}, \quad (15)$$

式中 p 和 \bar{p}_d 是对应匹配窗口的中心像素点, q 和 \bar{q}_d 是对应匹配窗口内的像素点, $e_m(q, \bar{q}_d)$ 表示左右图像在 q 和 \bar{q}_d 处的匹配值, 定义为

$$e_m(q, \bar{q}_d) = \begin{cases} 1, & R(q) = R(\bar{q}_d) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (16)$$

根据胜者为王(WTA)算法, 最终 p 点的视差值为

$$d_p = \arg[\max_{d \in D_p} E(q, \bar{q}_d)], \quad (17)$$

式中 $D_p = \{d_{\min}, \dots, d_{\max}\}$, 对于计算像素级的视差, D_p 的离散化为 $\{d_{\min}, d_{\min} + 1, d_{\min} + 2, \dots, d_{\max} - 1, d_{\max}\}$ 。

3.4 多步视差优化

1) 左右一致性检查

对于上述步骤得到的初始视差值, 由于遮挡和深度不连续处得到的视差值可能不准确, 为进一步提高最终匹配结果, 对立体匹配计算出的视差图进行左右一致性检查。过程如下: $D_L(x, y)$ 表示从左图向右图搜索计算出的视差值; $D_R(x, y)$ 表示从右图向左图搜索计算出的视差值, 对于正确的匹配点, $D_L(x, y)$ 和 $D_R(x, y)$ 应该满足如下关系:

$$D_L(x, y) = D_R[x, y - D_L(x, y)]. \quad (18)$$

为了提高左右一致性检查对视差结果的稳健性和一般性, $D_L(x, y)$ 和 $D_R(x, y)$ 的约束关系可以改写成

$$|D_L(x, y) - D_R[x, y - D_L(x, y)]| < \epsilon_{th}, \quad (19)$$

式中 ϵ_{th} 为设定好的阈值常数, 如果匹配像素点满足上述关系, 则认为该点计算出的视差值是正确的, 否则, 该点的视差值是错误的并将其剔除。

2) 中值滤波

左右一致性检查虽然可以剔除错误匹配点的视差值, 但在视差图上, 该位置上的视差点却没有用正确的视差值进行替换, 由实验结果可知, 将检测后的视差图进行 $3 \text{ pixel} \times 3 \text{ pixel}$ 的中值滤波, 可以很好地填充错误的视差点, 提高立体匹配的匹配精度。

3) 采用统计直方图的方式对视差图进一步优化

对于有些视差不连续的像素点处, 左右一致性检查还不能完全剔除掉视差图上的错误匹配点, 采

用统计直方图的方式可以进一步去掉深度边缘上错误的视差点, 提高视差结果的正确匹配率, 具体过程如下: 对视差图上的每一个视差点, 以该点为中心, 建立一个 $m \text{ pixel} \times n \text{ pixel}$ 的邻域窗口, 对该窗口内的点进行直方图统计, 用直方图上值最大的视差点代替该中心点的视差值。实验结果表明, 该方法可以有效地剔除深度边缘上的错误视差点。

4 实验结果及分析

为了说明所提算法计算得到的视差结果的正确匹配率高于现有的局部立体匹配算法, 实验中计算机使用 Intel i5-2310 处理器, 主频为 3.10 GHz, 内存为 4 GB, 在 Matlab (2012b) 软件上分别对“Tsukuba”、“Venus”、“Teddy”、“Cones”4 幅国际标准图进行测试, 从而得出相应的实验结果, 在此之前需要分析算法中相应的参数、颜色内相关和 rank 变换对算法的具体作用。

4.1 算法分析

为了说明“颜色内相关”和“rank 变换”对提高算法正确匹配的作用, 表 1 是仅加入颜色内相关、仅加入 rank 变换、同时加入颜色内相关和 rank 变换下的视差结果对比。其中“Non”表示非遮挡区域误匹配率, “Disc”表示深度不连续区域误匹配率, “All”表示所有区域误匹配率(其中在相应点的位置上, 计算出的视差值与标准视差值之差大于 1 个像素, 则认为该点为错误的视差点), “Avg. rank”栏表示上述三者平均错误匹配率, 用于算法的比较。

表 1 颜色内相关和 rank 变换对视差结果的影响

Table 1 Effects of color correlation and rank transform on the disparity results

Different conditions	Tsukuba			Venus			Teddy			Cones			Avg. rank
	Non	All	Disc	Non	All	Disc	Non	All	Disc	Non	All	Disc	
Inter color correlation and rank transform	1.62	2.21	6.65	0.12	0.55	1.66	6.01	13.42	13.78	2.34	10.25	7.01	5.47
Inter color correlation	1.65	2.32	6.80	0.37	0.85	2.40	6.67	13.5	14.0	2.47	10.85	7.12	5.75
Rank transform	1.66	2.23	6.85	0.61	1.07	5.02	7.35	13.47	16.76	3.23	10.34	8.02	6.38

由表 1 可知, 颜色内相关和 rank 变换对提高立体匹配视差结果的正确率都有一定的效果, 但颜色内相关比 rank 变换对提高视差结果的正确匹配率有更好的效果, 且在视差不连续区域的效果更明显, 说明颜色内相关的固有特性可以很好地反映出像素点间的微小差异, 对提高匹配正确率具有更大的影响。

同时在提出的算法中, 相应参数的改变也会对匹

配结果产生很大的影响, 由于 τ_c 、 τ_d 在原始的 ASW 中已经进行分析, τ_1 、 τ_2 在光照不一致左右两幅图像下效果更明显, 因此主要分析图像窗口的大小 $N = L \text{ pixel} \times L \text{ pixel}$ 和颜色内相关控制参数 τ_r 对实验结果的影响, 如图 3 所示。图 3(a) 表示不同大小的匹配窗口 $N = L \text{ pixel} \times L \text{ pixel}$ 对视差结果的影响, 图 3(b) 表示颜色内相关控制量 τ_r 对视差结果的影响。

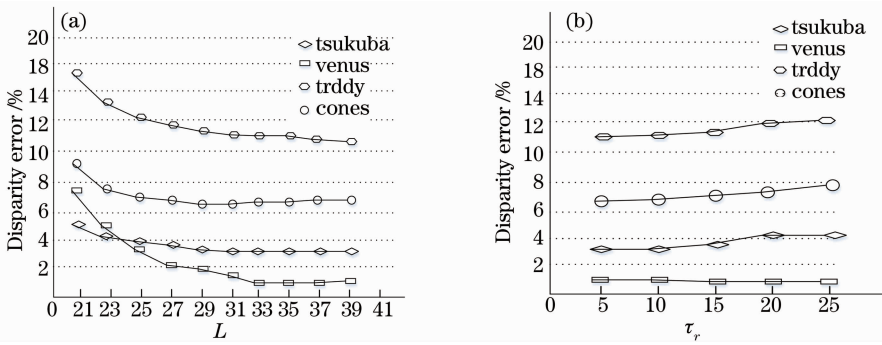


图 3 不同参数(a) L 和(b) τ_r 下4幅标准图像的视差结果

Fig. 3 Performance evaluation of the proposed method tested on four stereo images with different parameter values (a) L and (b) τ_r

由图 3(a)可以看出,在保持上述其他量不变的条件下,当匹配窗口大小 $N > 29 \text{ pixel} \times 29 \text{ pixel}$ 时,该算法计算出的视差结果随窗口的影响不大,且平均正确率都很高。由图 3(b)可以看出, τ_r 在 $5 \sim 15$ 的条件下比较稳定,且计算得到的视差结果平均准确率高。

4.2 实验结果

由上述的算法分析可知,为得到一个精度比较

高的立体匹配结果,匹配窗口大小 $N_p = 35 \text{ pixel} \times 35 \text{ pixel}$, $N_{pd} = 35 \text{ pixel} \times 35 \text{ pixel}$, 权重函数中的 $\tau_c = 5, \tau_d = 17.5, \tau_r = 5$; rank 变换阈值 $\tau_1 = 9, \tau_2 = 2$, 实验结果如图 4 所示,其中图 4(a)表示测试左图,图 4(b)表示测试的标准视差图,图 4(c)表示所提算法计算出的视差图,图 4(d)表示错误视差点(计算出的视差值与标准视差值之差大于 1 pixel,黑色的点表示错误的视点)。

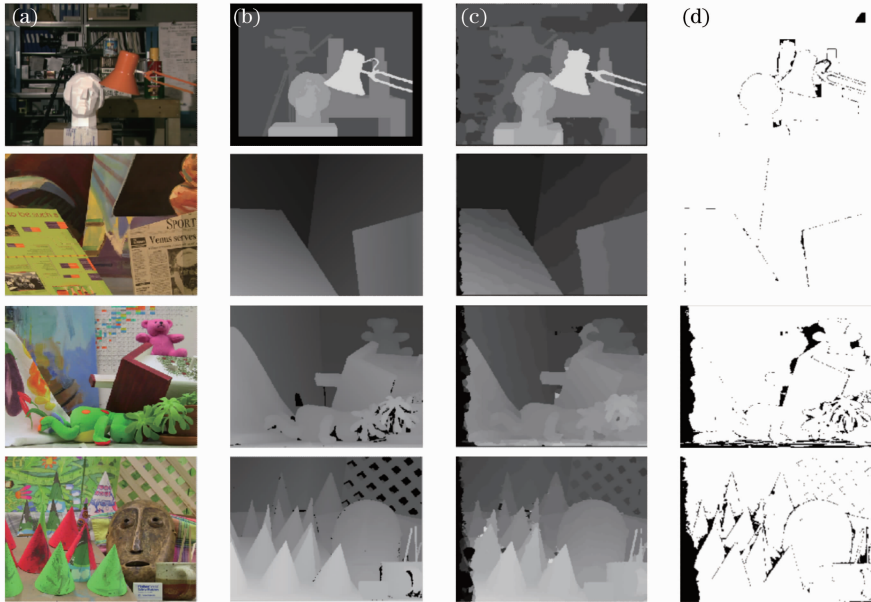


图 4 视差计算结果比较。(a) 左图; (b) 标准视差图; (c) 所提算法计算出的视差图; (d) 视差计算错误的像素点
Fig. 4 Comparison of results. (a) Left image; (b) ground truth; (c) disparity map generated by proposed algorithm; (d) bad-pixel image of our algorithm

为了说明提出的算法相比于其他局部算法计算得到的立体视差结果要好,表 2 通过具体的实验数据对视差结果进行比较。表 3 通过比较提出的算法与其他几种立体匹配算法的计算时间进行比较。

由表 2 和表 3 可知,虽然“DoubleBP^[6]”、“AdaptingBP^[7]”算法计算出视差结果比提出的算

法要好,但是该类算法属于全局立体匹配算法,其算法复杂度高、计算速度慢、消耗的资源多。相对于原始的 ASW 局部立体匹配算法,提出的算法在视差结果正确率上有明显的改善,而算法执行时间只是略微的增加,时间的增加主要是所提算法在 ASW 算法的基础上增加了颜色内相关和 rank 变换。所

以,提出的算法计算出的视差结果要明显优于其他局部区域立体匹配算法,平均错误率更低,且运算时

表 2 提出的算法与其他算法进行比较(视差错误值大于 1 pixel)

Table 2 Performance comparison of proposed method and other methods (error threshold more than 1 pixel)

Algorithm	Tsukuba			Venus			Teddy			Cones			Avg. rank
	Non	All	Disc	Non	All	Disc	Non	All	Disc	Non	All	Disc	
DoubleBP ^[6]	0.88	1.29	4.76	0.13	0.45	1.87	3.53	8.30	9.63	2.90	8.78	7.79	4.19
AdaptingBP ^[7]	1.11	1.37	5.79	0.10	0.21	1.44	4.22	7.06	11.8	2.48	7.92	7.32	4.23
Proposed method	1.62	2.21	6.65	0.12	0.55	1.66	6.01	13.42	13.78	2.34	10.25	7.01	5.47
VSW ^[8]	1.62	1.88	6.98	0.47	0.81	3.40	8.67	13.3	18.0	3.37	8.85	8.12	6.29
GradAdaptWgt ^[9]	2.26	2.63	8.99	0.99	1.39	4.92	8.00	13.1	18.2	2.61	7.67	7.43	6.55
RegionTreeDP ^[10]	1.39	1.64	6.85	0.22	0.57	1.93	7.42	11.9	16.8	6.31	11.9	11.8	6.56
Adaptweight ^[4]	1.38	1.85	6.90	0.71	1.19	6.13	7.88	13.3	18.6	3.97	9.79	8.26	6.67
Cross-based ^[2]	1.99	2.65	6.77	0.62	0.96	3.20	9.75	15.1	18.2	6.28	12.7	12.9	7.60

表 3 所提算法运行时间比较(最小)

Table 3 Time comparison of the proposed algorithms (min)

Image	Proposed method	Adaptweight	Double BP
Tsukuba	2.2	2.08	28.6
Venus	1.55	1.32	23.25
Teddy	3.15	2.85	37.8
Cones	3.02	2.72	34.73

5 结 论

提出了一种基于颜色内相关和自适应支撑权重的局部立体匹配算法,该方法根据颜色相似性、空间欧式距离相似性和颜色内相关相似性来确定匹配窗口间的权重关系,从而提高立体匹配视差值计算的正确率。同时在匹配代价关系计算过程中,对待匹配的像素点进行 rank 变换,可以有效消除左右图像受光照不同而影响最终的视差计算结果。实验结果表明,提出的算法获得的视差精度要优于当前局部立体匹配算法的精度,但在运算时间上与现有的局部立体匹配算法相当。

参 考 文 献

1 Gu Cheng, Qian Weixian, Chen Qian, *et al.*. Rapid head detection method based on binocular stereo vision[J]. Chinese J Lasers, 2013, 41(1): 0108001.
 顾 骋, 钱惟贤, 陈 钱, 等. 基于双目立体视觉的快速人头检测方法[J]. 中国激光, 2013, 41(1): 0108001.

2 Zhang K, Lu J, Lafruit G. Cross-based local stereo matching using orthogonal integral images [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2009, 19(7): 1073—1079.
 3 Veksler O. Fast variable window for stereo correspondence using integral images [C]. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognitions, 2003, 1: 1-556 — 1-561.
 4 Yoon K J, Kweon I S. Adaptive support-weight approach for correspondence search[J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell, 2006, 28(4): 650—656.
 5 Hou Junjie, Wei Xinguo, Sun Junhua. Calibration method for binocular vision based on matching synthetic images of concentric circles[J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(3): 0315003.
 候俊捷, 魏新国, 孙军华. 基于同心圆合成图像匹配的双目视觉标定[J]. 光学学报, 2012, 32(3): 0315003.
 6 Yang Q, Wang L, Yang R, *et al.*. Stereo matching with color-weighted correlation, hierarchical belief propagation, and occlusion handling[J]. IEEE Transactions on Pootem Analysis and Mechine Intelligence, 2009, 31(3): 492—504.
 7 Klaus A, Sormann M, Karner K. Segment-based stereo matching using belief propagation and a self-adapting dissimilarity measure [J]. Proceedings of the IEEE 18th International Conference on Pattern Recognition, 2006, 3: 15—18.
 8 Hu W, Zhagn K, Sun L, *et al.*. Virtual support window for adaptive-weight stereo matching[C]. Proceedings of the IEEE Visual Communications and Image Processing, 2011. 1—4.
 9 De-Maeztu L, Villanueva A, Cabeza R. Stereo matching using gradient similarity andlocally adaptive support-weight[J]. Pattern Recogn Lett, 2011, 32(13): 1643—1651.
 10 Lei C, Selzer J, Yang Y. Region-tree based stereo using dynamic programming optimization [J]. Proceedings of the 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognitim, 2006, 2: 2378—2385.

栏目编辑:张浩佳