

一种基于彩色分割的改进 DSM 视差匹配算法

周春燕^{1),2)} 周军^{1),2)} 严恺^{1),2)}

¹⁾(上海交通大学图像通信与信息处理研究所,上海 200240) ²⁾(上海市数字媒体处理与传输重点实验室,上海 200240)

摘要 提出了一种改进的视差匹配算法。采用基于图像彩色分割的自适应权重方法,提高了 DSM 算法中像素点显著性估计的准确度,降低了视差匹配的误匹配率;并利用同一彩色区域的像素视差的相关性,缩小了视差匹配的搜索范围,减少了视差匹配的运算量。使用 Middlebury 网站的标准测试图像对文中的视差匹配算法进行了评估,实验结果表明,提出的视差匹配算法与 DSM 算法相比,降低了误匹配率,并且提高了运算速度。

关键词 视差匹配 彩色分割 DSM

中图法分类号: TN911.73 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)11-2369-04

An Improved DSM Disparity Matching Algorithm Based on Color Segment

ZHOU Chun-yan^{1),2)}, ZHOU Jun^{1),2)}, YAN Kai^{1),2)}

¹⁾ (Institute of Image Communication and Information Processing of Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

²⁾ (Key Laboratory of Digital Media Processing and Transmission of Shanghai, Shanghai 200240)

Abstract A novel disparity matching algorithm is proposed. A color segmentation based adaptive weight algorithm is adopted to improve the accuracy of distinctiveness estimation, which has an important influence on the result of disparity matching. Besides, we take advantage of the disparity correspondence of the pixels in the same color region to reduce the range of disparity search and to decrease the computation cost. We use the standard test images on the Middlebury website to evaluate our algorithm. Experimental results show that, compared with the DSM method, our algorithm has a smaller error rate and faster computational speed.

Keywords disparity matching, color segment, DSM

1 引言

视差信息是进行立体图像处理的基础。视差匹配技术是近年来计算机视觉领域研究的热点,在机器人视觉、医学、军事、航空等各方面都有着非常广泛的应用前景。视差匹配的算法可以分为全局法和局部法两大类^[1]。一般认为,全局法计算复杂度高,匹配结果较精确;局部法计算复杂度低,匹配精确度较低。近年来,一些较高精度的局部法不断地

被国内外学者提出,如自适应彩色权重法^[2]、基于 DSM (distinctive similarity measure) 的视差匹配法^[3]等。此外,为了提高匹配精度,基于彩色分割的视差估计方法也得到了较为广泛的应用^[4]。

基于 DSM 的视差匹配算法引入了图像各像素的显著性^[5]的概念,利用像素点的显著性和左右图像像素的相似性进行视差匹配,这种方法能够较好地改善遮挡区域、同质区域、边缘区域的像素的匹配精度^[3]。然而,如果无法分析得到每个像素较为准确的显著性,DSM 算法并不能获得较高精度的视差

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)项目(2008AA01A319)

收稿日期:2009-06-14;改回日期:2009-08-27

第一作者简介:周春燕(1983 ~),女,上海交通大学电子工程系硕士研究生。主要研究方向为视频编码和图像处理技术。

E-mail: zhouchunyan0228@sjtu.edu.cn

估计结果。此外,DSM 算法由于额外引入了像素显著性分析步骤,整个算法复杂度被提高,和其他视差估计局部算法相比,算法运行所需要的时间增加。

本文提出了一种基于彩色分割的改进 DSM 视差估计算法。其核心思想是利用彩色分割得到的彩色区域信息,来提高 DSM 算法的精度并减少算法运行所需时间。一方面,在像素显著性估计过程中引入一种基于彩色区域信息的像素显著性估计方法,从而提高视差估计的匹配精度;另一方面,由于同一彩色区域的像素视差有很强的相关性,利用这种相关性来减少视差匹配的搜索范围,从而提高了算法的运行效率。

2 DSM 算法原理简介

和一般的局部视差匹配算法不同,DSM 视差匹配算法不但考虑左右图像两个像素的相似性,还引入了图像各像素的显著性的概念,利用像素点的显著性和左右图像像素相似性进行视差匹配。像素点的显著性表示了该像素点在图像中区别于其他像素点的特性,左右图像像素的相似性则表示了这两个像素匹配的程度。左右图像中的两个像素点越相似,各自的显著性越强,则越有可能是匹配像素。

令 p_l, p_r 分别表示左右图像两个像素点, $D(p_l), D(p_r)$ 表示 p_l, p_r 两点各自的显著性, $S(p_l, p_r)$ 表示 p_l, p_r 两点之间的差异性,代价函数 $Cost(p_l, p_r)$ 表示 p_l, p_r 两点的匹配代价。文献[4]给出了 $Cost(p_l, p_r)$ 的计算公式:

$$Cost(p_l, p_r) = \frac{S(p_l, p_r)}{D(p_l) \times D(p_r)} \quad (1)$$

由式(1)可以看出, $Cost(p_l, p_r)$ 越小,表示 p_l, p_r 两个像素越匹配。在像素点的视差取值范围内,使得代价函数最小的点处的视差值即为该像素点的视差,由式(2)表示如下:

$$d(p_l) = \arg \min_{d' \in C_d(p_l)} Cost(p_l, p_l - d') \quad (2)$$

式中, $d(p_l)$ 表示 p_l 点的视差, $C_d(p_l)$ 表示 p_l 点视差的取值范围,由式(3)表示:

$$C_d(p_l) = \{d_{\min}(p_l), \dots, d_{\max}(p_l)\} \quad (3)$$

3 DSM 视差匹配算法

像素显著性估计的准确性影响 DSM 视差估计算法的精度,而每个像素点的视差匹配搜索范围则

影响 DSM 视差估计算法的运行速度。

在文献[4]的基础上,对图像进行彩色分割,利用分割后的彩色区域信息来改进像素显著性估计的准确性,缩小每个像素点所需的匹配搜索范围,从而改善 DSM 视差估计算法的匹配精度和运算速度。

3.1 算法框架

图 1 为提出的视差匹配算法框架。采用文献[6]提出的 mean-shift 算法对待匹配图像对进行彩色分割,利用分割后的信息估计像素的显著性,并结合前一个像素点视差匹配的结果确定当前待匹配像素点的视差匹配搜索范围,最后进行 DSM 视差匹配,得到两幅图像各自的视差图。

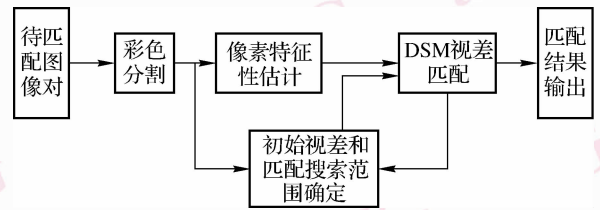


图 1 改进 DSM 视差匹配算法框架

Fig. 1 Framework of the proposed DSM disparity matching algorithm

3.2 基于彩色分割的像素显著性估计

为了提高视差估计的精度,在文献[4]的基础上,改进了像素显著性 $D(p)$ 的估计准确性。文献[4]利用基于彩色权重的估计方法来估计像素的显著性,参考文献[6]的方法,结合彩色分割结果来改进像素显著性的提取。具体过程如下:

$$D(p) = \min_{q \in N_p, q \neq p} f(p, q) \quad (4)$$

式中, N_p 表示 p 点相邻像素的集合,由式(5)计算: $N_p = \{p + d \mid d_{\min}(p) - d_{\max}(p) \leq d \leq d_{\max}(p) - d_{\min}(p)\}$

$f(p, q)$ 表示同一图像中 p, q 两点的像素相异性,可由式(6)计算:

$$f(p, q) = \sum_{p_i \in W_l, q_i \in W_r} \omega(p_i, p) \times \omega(q_i, q) \times AD(p_i, q_i) \quad (6)$$

式中, W_l, W_r 表示 p, q 两点的匹配窗, p_i, q_i 表示 p, q 两点的匹配窗内的像素点, $AD(p_i, q_i)$ 表示 p_i 和 q_i 的颜色差异, $\omega(p_i, p)$ 表示 p_i 点在匹配窗 W_l 中的权重。 $\omega(p_i, p)$ 可由式(7)计算:

$$\omega(p_i, p) = \begin{cases} 1 & p_i \in Seg_p \\ \exp\left(-\frac{AD(p_i, p)}{\eta}\right) & p_i \in Seg_q \end{cases} \quad (7)$$

式中, $Seg(p)$ 表示 p 点所属的彩色分割区域。和文献[4]方法相比, 基于彩色分割的像素显著性估计方法利用了彩色分割信息, 使得匹配窗 W_i 中每个像素的权重分配和像素所属的彩色区域相关, 改进了匹配窗每个像素的自适应权重分配[5], 增强了像素显著性估计在图像边缘区域以及同质区域的准确性。

3.3 基于彩色分割的快速视差搜索方法

基于视差场的连续性假设, 一些视差匹配快速算法利用相邻像素视差的相关性来进行快速视差匹配, 如自适应窗匹配法^[7-8]。然而, 图像中有些区域不满足视差场连续性假设, 如物体的边缘。在这些区域如果假设当前像素的视差与相邻像素相关则可能会得到错误的结果。

与上述视差匹配快速算法不同, 本文提出了一种基于彩色分割的快速视差搜索方法。这种快速视差搜索方法基于以下假设: 同一彩色区域的视差连续, 而不同的彩色区域视差不一定连续。根据这一假设, 利用与当前待匹配像素点处于同一彩色区域的相邻像素的视差来减小视差匹配的搜索范围。具体方法如下:

当前待匹配像素 p 点的视差搜索范围由 $d_{\min}(p)$ 和 $d_{\max}(p)$ 给出, $d_{\min}(p)$ 表示 p 点的视差搜索范围内的视差最小值, $d_{\max}(p)$ 表示视差搜索范围内的视差最大值, $d_{\min}(p)$, $d_{\max}(p)$ 计算如下:

$$\begin{cases} d_{\min}(p) = 0, d_{\max}(p) = d_{\max} & R(p) = 0 \\ d_{\min}(p) = d'_{\min}, d'_{\max}(p) = d'_{\max} & R(p) = 1 \end{cases} \quad (8)$$

式中, d_{\max} 表示图像原始的最大视差搜索值。 $R(p)$ 表示是否存在与 p 点处于同一彩色区域的相邻参考像素。 $R(p) = 0$ 表示 p 点不存在参考像素, 此时 p 点的视差搜索范围最大; $R(p) = 1$ 表示 p 点存在参考像素, 参考像素视差作为 p 点视差估计的初始视差, p 点的视差搜索范围在初始视差附近, 具体由 d'_{\min} 和 d'_{\max} 给定。 d'_{\min} 和 d'_{\max} 分别计算如下:

$$d'_{\min} = \max(0, D_0(p) - d_{\text{radius}}) \quad (9)$$

$$d'_{\max} = \min(d_{\max}, D_0(p) + d_{\text{radius}}) \quad (10)$$

式中, $D_0(p)$ 为 p 点初始视差, d_{radius} 为视差搜索半径。

$R(p)$ 的取值与图像像素视差匹配先后顺序、相邻像素所属彩色区域信息有关。采用如下方法确定 $R(p)$ 的取值: 图像奇数行像素依次从左匹配到右, 偶数行像素依次从右匹配到左。对奇数行像素进行视差估计时, 若当前像素与其左邻像素属于同一彩色区域, 则 $R(p) = 1$; 若当前像素与其左邻像素不属

于同一彩色区域, 则 $R(p) = 0$ 。对偶数行像素进行视差估计则反之。

4 实验结果及分析

本文算法基于同一彩色区域像素视差的连续性假设, 改进了 DSM 视差估计算法的精度, 减少了 DSM 视差估计算法的运算量。选取 Middlebury 网站^[9] 的标准测试图像, 在 CPU 为 Core 2 Duo E8400, 内存为 2.0 G, 软件环境为 VS2005 的平台上对本文算法进行测试分析。

表 1 统计了 tsukuba, venus, teddy 和 cones 4 组标准测试图像中属于同一彩色区域的相邻像素的视差相关性。其中, d_{\max} 表示图像的最大视差, d_{radius} 表示本文算法的视差搜索半径, $pixel_pair$ 表示算法中同一彩色区域的相邻像素对的个数, $pixel_in$ 表示视差在初始视差以及 d_{radius} 所确定的搜索范围内的像素的个数。 $rate$ 由 $pixel_in$ 与 $pixel_pair$ 的比值计算得到。表 1 统计结果表明, 本文算法基于的同一彩色区域的相邻像素连续性假设是正确的。

表 1 同一彩色区域相邻像素点的相关性

Tab. 1 The correspondence of pixels in the same color region

图像	d_{\max}	d_{radius}	$pixel_pair$	$pixel_in$	$rate(\%)$
tsukuba	15	3	98 681	97 933	99.242 0
venus	19	4	155 226	155 091	99.913 0
teddy	59	12	155 026	154 030	99.357 5
cones	59	12	150 800	149 401	99.072 3

图 2 给出了“tsukuba”, “venus”, “teddy” 和

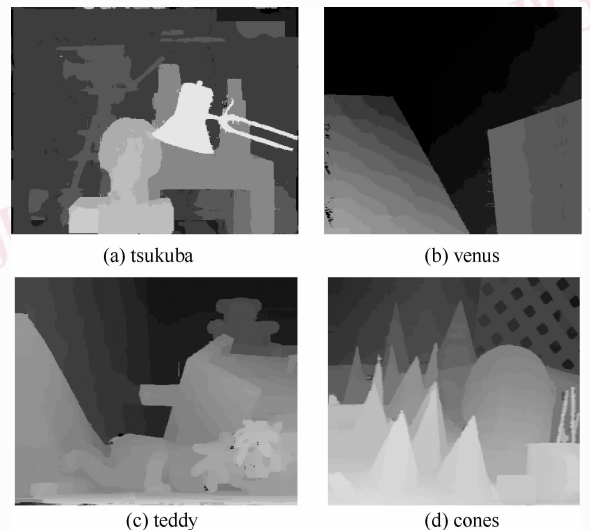


图 2 本文算法的视差图

Fig. 2 The disparity map of our method

“cones”4 组标准测试图像的实验结果,表 2 对本文算法和基于彩色权重的 DSM 算法的误匹配率进行了比较。可以看到,本文算法所求视差图轮廓清晰,噪点较少,视差估计误匹配率低于基于彩色权重的 DSM 算法。

表 2 本文算法与基于彩色权重的 DSM 算法误匹配率比较

Tab. 2 Error rate comparison 单位:%

图像	tsukuba	venus	teddy	cones
DSM 算法	1.75	0.69	13.0	9.91
本文算法	1.57	0.62	12.6	9.33

图 3 比较了本文算法和 DSM 算法得到的 teddy 图像的视差图。可以看到,本文算法在标记区域的视差匹配结果优于 DSM 算法。

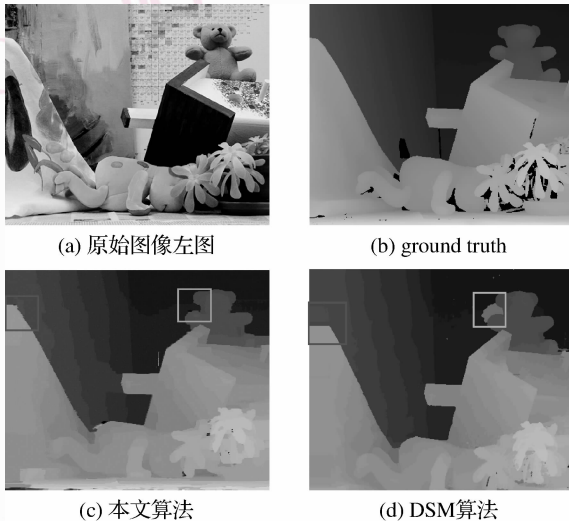


图 3 本文算法和基于彩色权重的 DSM 算法的视差图比较
Fig. 3 Disparity map comparison of the proposed method and color weight based DSM algorithm

另一方面,本文利用同一彩色区域的像素视差相关性,减少了视差匹配的搜索范围,降低了视差估计算法的运算量。DSM 算法的复杂度为 $O(M \times N \times T)$,其中 M 为匹配窗大小, N 为图像大小, T 为视差搜索区间大小,视差搜索方式由 3.3 节给出。文献[3]提出的基于彩色权重的 DSM 算法视差搜索范围为 $[0, d_{max}]$,本文算法利用同一彩色区域相邻像素视差的相关性,将视差搜索区间大小减小为 $\lambda \times T$,其中 $\lambda < 1$ 。若取 $\lambda = 0.4$,则算法运算量将减少 60%。表 3 给出了文献[4]算法和本文算法实际运行时间比较,由于引入了彩色分割,本文算法的运算时间略大于文献[4]算法的 40%。

表 3 基于彩色权重的 DSM 算法和本文算法运行时间比较

Tab. 3 Running time comparison of the proposed method and color weight based DSM algorithm

单位:s

图像	tsukuba	venus	teddy	cones
DSM 算法	16.2	27.5	61.0	57.9
本文算法	7.8	13.1	29.3	27.8

5 结 论

在基于彩色权重的 DSM 算法基础上,提出了一种基于彩色分割的 DSM 快速算法。本文算法用基于彩色分割的彩色权重法代替简单的彩色权重来计算像素的显著性,提高了像素显著性计算的准确性,并且利用同一彩色区域像素视差的相关性来减小视差匹配的搜索范围,从而提高了视差估计的精度和速度。

参考文献 (References)

- Scharstein D, Szeliski R. A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms [J]. International Journal of Computer Vision, 2002, 47(1-3):7-42.
- Yoon K J, Kweon I S. Adaptive support-weight approach for correspondence search [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(4):650-656.
- Yoon K J, Kweon I S. Stereo matching with the distinctive similarity measure [A]. IEEE International Conference of Computer Vision [C], Rio de Janeiro, Brazil, 2007, 2:552-556.
- Bleyer M, Gelautz M. A layered stereo matching algorithm using image segmentation and global visibility constraints[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2005, 59:128-150.
- Manduchi R, Tomasi C. Distinctiveness maps for image matching [A]. In: Proceedings of International Conference on Image Analysis and Processing [C], Venice, Italy, 1999, 8:26-31.
- Comaniciu D, Meer P. A robust approach toward feature space analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5):603-619.
- 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.
- Veksler O. Fast variable window for stereo correspondence using integral images [A]. In: Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], Madison, Wisconsin, 2003, 1:556-561.
- Microsoft Research of Disparity Matching Algorithm [EB/OL]. <http://vision.middlebury.edu/stereo/>, 2007-12-17/2009-07-26.