

中图分类号: TP391.41 文献标志码: A 文章编号: 1006-8916(2011)11-2060-07

论文索引信息: 何楸, 达飞鹏. 置信度传播和区域边缘构建的立体匹配算法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(11): 2060-2066

置信度传播和区域边缘构建的立体匹配算法

何楸, 达飞鹏

(东南大学自动化研究所, 复杂工程系统测量与控制教育部重点实验室, 南京 210096)

摘要: 讨论了区域匹配代价和全局置信度传播算法之间的相互作用, 提出一种基于全局置信度传播和区域边缘构建的立体匹配算法。首先, 在每个像素的固定邻域内利用二阶微分边缘算子搜索并构建一条虚拟的封闭边缘, 形成相应的区域自适应窗口; 然后使用自适应窗口内的支持像素计算中心像素之间的匹配代价; 最后利用具备加速消息更新机制的置信度传播算法获取视差。实验结果表明, 基于区域边缘构建的匹配代价可以较好地适用于全局置信度传播优化算法, 提出的立体匹配算法可以在 Middlebury 标准下获得良好的匹配结果。

关键词: 立体匹配; 置信度传播; 匹配代价; 区域边缘构建

Stereo matching using belief propagation and local edge construction-based cost aggregation

He Fu, Da Feipeng

(Key Laboratory of Measurement and Control for Complex System of Ministry of Education,
Research Institute of Automation, Southeast University, Nanjing 210096 China)

Abstract: In this paper, the importance of cost aggregation, also called similarity measure, for belief propagation and the interaction of them are discussed. A global stereo matching algorithm is proposed by combining the belief propagation and local edge construction-based cost aggregation. First, a virtual closed edge is formed surrounding each pixel via second derivative operator in order to construct an adaptive window for the centered pixel. Then, the local cost aggregation is calculated on support pixels in an adaptive window. Finally, accelerated belief propagation optimization algorithm is used to obtain the disparity. The experiments based on the Middlebury benchmark indicate that the local edge construction-based cost aggregation can do well with belief propagation optimization and show encouraging results of the proposed stereo matching algorithm.

Keywords: stereo matching; belief propagation; cost aggregation; local edge construction

0 引言

立体匹配是图像处理领域中的经典问题, 在立体重建, 视频分割, 图像搜索等相关领域有广泛应用。立体匹配主要分为区域和全局算法。基于

Winner-Take-All (WTA) 优化算法的区域立体匹配根据视差范围内像素的颜色相关性建立像素点之间的对应关系。区域 WTA 优化方法原理简单、只将中心像素周围的一小部分邻域信息作为约束条件, 计算量少、运算快速, 适合应用在实时立体视觉系统。但是由于匹配结果通常只是待匹配像素的局部最优

收稿日期: 2010-12-02; 修回日期: 2011-01-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(60775025); 新世纪优秀人才支持计划项目; 江苏省自然科学基金项目(BK2010058)。

第一作者简介: 何楸(1986—), 男, 东南大学自动化学院控制理论与控制工程专业硕士研究生, 主要研究方向为计算机立体视觉和图像处理。E-mail: hf3571@yahoo.com。

结果,算法受噪声干扰和低纹理的影响较大。全局立体匹配主要基于置信度传播 (belief propagation) 和图割算法 (graph cut)^[1],将图像看成一个整体目标,定义一个关于全图视差的全局能量函数,将像素的颜色相关性和视差本身等作为约束条件。通过优化整个目标的全局能量函数,最终可以得到较好的匹配精度。

立体匹配中的匹配代价 (cost aggregation)^[1]指两幅图像中的一对像素之间的相似度,即颜色相关性。一般基于合适大小和形状的区域自适应窗口,选择其中的支持像素计算中心像素之间的匹配代价。窗口构建策略主要包括构建自适应窗口,比如基于中心像素和邻域内支持像素之间的颜色差异和空间距离^[2];而 Yoon 将中心像素和支持像素之间的差异反应为自适应阈值,在固定窗口内计算匹配代价^[3]。因为基于颜色信息的边缘不仅存在于目标与目标之间,还存在于像素与像素之间,基于边缘检测算子在每一个中心像素周围构造一条虚拟的封闭边缘,用于构建自适应窗口并包含那些最合适的支持像素。这些支持像素与中心像素具有相似的区域信息,包括颜色和深度信息。它们可以较好地应用于匹配代价计算。这种通过封闭边缘构造区域自适应窗口并计算匹配代价的方法在文中被称为区域边缘构建。

一般来说,全局立体匹配的能量函数由基于匹配代价的数据项和基于视差和像素本身的平滑项组成。大部分论文基于学术界公认的由 Middlebury 网站^[4]发布的标准立体图片进行研究。标准的置信度传播算法通过在马尔可夫场四邻域系统中迭代传播置信度消息^[5],具备较好的匹配性能。基于加速消息更新^[1]和快速收敛^[6]的置信度传播算法进一步提高了运算效率。而当前提高置信度传播算法性能的主要方法是构造合适的平滑项并改进置信度消息的传播方式。流行的策略是基于分割的算法 (segment-based)^[7],通过分割块之间而不是像素之间的消息传播方式减小计算复杂度。但是一般需要在分割块内进行平面拟合 (plane fit) 以保证匹配精度^[8];而处理实拍图像时,这种基于分割的方法难以对低纹理的单个目标物进行基于颜色的分割;分割块内存在无法预测的遮挡和视差不连续区域,也会降低平面拟合算法的性能。所以在每一个像素之间传播置信度消息,主要的贡献在于提高匹配代价作为全局能量函数数据项的性能。

目前,基于 Middlebury 标准的立体匹配算法倾向于采用复杂的匹配策略和特殊步骤处理遮挡和视差精确;而提出的立体匹配算法可以较好地基于区域边缘构建的匹配代价和具备加速更新机制的置信度传播算法结合,不包含任何图像预处理、视差精确和遮挡处理策略。实验证明提出的基于二阶微分算子的区域边缘构建算法性能稳定,比传统匹配代价计算方法更适用于置信度传播算法的全局能量函数,并可以进一步提高匹配结果。这种全局立体匹配在文中被称为基于区域边缘构建的置信度传播算法,图 1 为算法流程图。

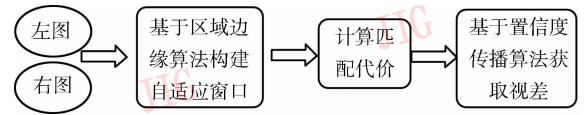


图 1 算法流程图

Fig. 1 Algorithm framework

1 全局置信度传播与区域匹配代价

作为置信度传播算法的全局能量函数的数据项,区域匹配代价表示待匹配像素对的颜色相关性。根据 Yoon 和 Kweon 的相似性测量准则^[9]:

$$S(x^l, x^r) \propto$$

$$P(O_{x^l}^{x^r} | (A_{x^l}, A_{x^r})) \propto \frac{P((A_{x^l}, A_{x^r}) | O_{x^l}^{x^r})}{P(A_{x^l})P(A_{x^r})} \quad (1)$$

式中, $P(O_{x^l}^{x^r} | (A_{x^l}, A_{x^r}))$ 为事件 $O_{x^l}^{x^r}$:“ x^l 与 x^r 匹配为真”发生的概率, A_{x^l} 和 A_{x^r} 分别表示事件:“像素 x^l 和 x^r 的颜色信息在支持区域内出现”。像素 x 和其邻域内支持像素之间的颜色强度差异 $D(x)$ 被定义为

$$D(x) = \sum_{x_i \in U_s} f(x, x_i) \quad (2)$$

式中, $f(x, x_i)$ 表示像素 x 和 x_i 之间的颜色强度差异; U_s 为支持像素的样本;所以式 (1) 可以表示为

$$P(A_x) \propto 1/D(x) \quad (3)$$

$$P((A_{x^l}, A_{x^r}) | O_{x^l}^{x^r}) \propto 1/ \sum_{x_i^l, x_i^r \in U_s^l \cap U_s^r} f(x_i^l, x_i^r) \quad (4)$$

因此,像素 x^l 与另一幅图像中像素 x^r 对应于视差 d 的区域匹配代价 Φ 被定义为

$$\Phi(x^l, d) \propto S(x^l, x^r) \propto \frac{D(x^l)D(x^r)}{\sum_{x_i^l, x_i^r \in U_s^l \cap U_s^r} f(x_i^l, x_i^r)} \quad (5)$$

$$d = x^l - x^r$$

一般来说,单个像素受噪声影响大,所以在比较对应像素的颜色相关性时,需要将单个像素之间的匹配代价表示为对应像素的邻域内的所有像素之间的一致性。基于式(2)(5)的定义,聚焦于当匹配代价作为置信度传播算法的数据项时,如何定义像素的邻域,即 U_s 。大部分立体匹配方法基于假设:具有相似颜色信息的区域具有相似的特性,包括像素的视差和深度信息。所以他们利用构造的区域窗口在邻域内聚合与中心像素具有相似颜色信息的支持像素^[2-3]。然而,Kanade 在文献[10]中已经指出,区域窗口需要包含足够的颜色强度变化,其中的支持像素应该与中心像素具有一定的颜色信息差异,以减少匹配的不确定性。

为了形成适用于全局置信度传播算法的匹配代价计算方法,表1测试了与中心像素具有相似和差异颜色强度的支持像素,在计算匹配代价时的性能表现。置信度传播算法采用文献[1]的标准算法。其静态参数同第3节采用算法的静态参数。在自适应多边形^[2]和固定窗口中,由支持像素在 RGB 颜色空间中的绝对差和计算匹配代价。

表1 不同支持像素的匹配代价处理图像 Tsukuba^[4] 的误匹配率^[11]

Tab.1 Error statistics^[11] of applying different support pixels to cost aggregation under WTA and BP on image Tsukuba^[4]

自适应多 边形 Γ ^[2]	区域优化 算法 WTA	置信度传 播算法	固定窗口 尺寸	区域优化 算法 WTA	/%	
					置信度传 播算法	置信度传 播算法
3	17.41	4.65	1 × 1	44.63	4.42	
5	11.88	4.77	3 × 3	19.12	4.60	
10	9.08	4.56	5 × 5	12.89	5.30	
15	7.81	4.67	7 × 7	10.85	6.23	
25	6.94	4.76	13 × 13	9.93	7.95	
35	7.22	5.23	19 × 19	10.72	9.49	
45	7.29	5.49	25 × 25	12.06	10.41	

表1中,大尺寸的绝对差和窗口和大阈值 Γ 的多边形窗口^[2]表示远离中心的支持像素参与了匹配代价的计算。这些支持像素可能与中心像素具有较大差异的颜色强度和视差深度信息,而置信度传播算法的误匹配率也呈现增大趋势。结果证明,对

于基于相同窗口构建方法的匹配代价,小的窗口可以避免支持像素的深度信息畸变和视差不连续,更有助于全局置信度传播算法的性能表现;而大的窗口包含足够的颜色强度变化,有助于消除区域 WTA 优化算法的匹配不确定性。因此,选用与中心像素具有相似颜色强度信息并靠近中心的支持像素计算置信度算法的匹配代价。

2 提出的立体匹配算法

2.1 基于区域边缘构建的匹配代价

图像边缘是颜色信息出现跃变的像素的集合,它们不仅出现在目标之间,还出现在像素之间。而每个像素的区域自适应窗口的封闭边界可以看成这类跃变像素的集合。这些窗口边界像素的颜色信息在与中心像素具有相似的区域相关性和不相似的区域相关性的像素之间出现跃变。图2为区域边缘构建的原理,坐标中心为每一个区域窗口的中心像素,纵坐标为像素的颜色强度和对应的梯度大小,横坐标为邻域内像素与中心的空间距离。边缘检测算子主要包括一阶微分和二阶微分,区域边缘构建算法利用这些边缘算子从每个像素开始,向四周搜寻那些跃变像素作为边界点,在图2中标记为“●”。连接这些边界点,形成一条虚拟的封闭边缘,将该像素的固定邻域分割为外围区域和中心区域,然后选择中心区域作为构造的区域自适应窗口。

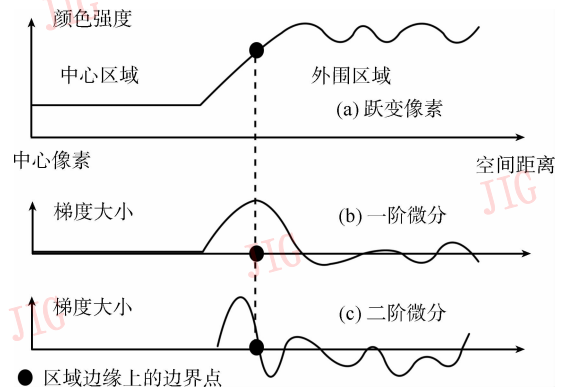


图2 区域边缘构建的原理

Fig.2 Principle of local edge construction

因此,如图3所示,每一个像素的固定邻域 U 被构造的区域边缘分割为两个目标:作为自适

应窗口的红色中心区域 W , 其中的像素与中心像素具有相似的颜色强度信息; 和黄色外围区域

$U - W$, 其中的像素远离中心, 并与中心像素存在差异的颜色强度信息。

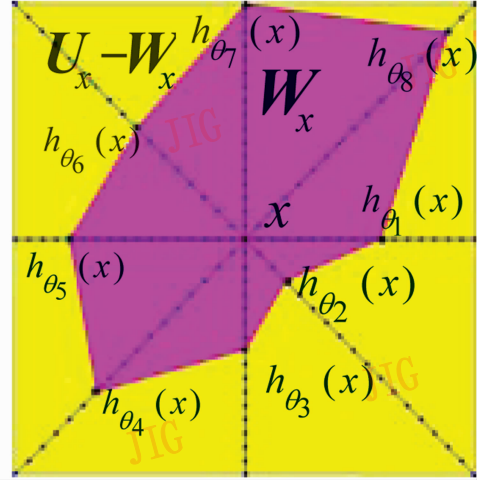
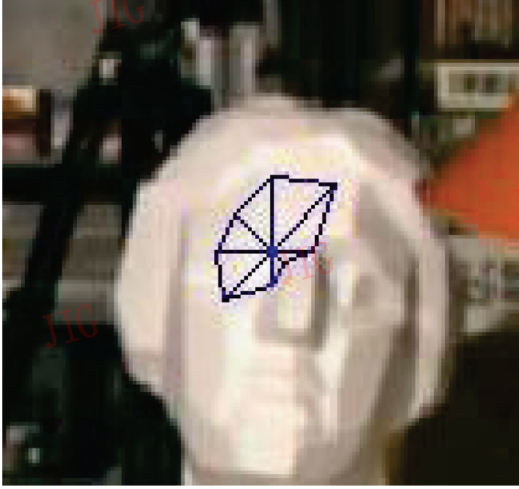


图 3 8 方向区域自适应窗口

Fig. 3 8-direction local adaptive window

不同于文献[2], 采用二阶微分算子为左右两幅图像中的每一个像素 x^l 和 x^r 构建 8 方向 ($k=1, 2, \dots, 8$) 的区域自适应窗口 W_{x^l}, W_{x^r} 。如图 3, 从中心像素 x 开始, 在每个方向上计算梯度, 而每个梯度方向表示自适应窗口的一个顶点方向:

$$K_{x+h_i} = \nabla_k^2 I(x+h_i) = I(x+h_{i+1}) + I(x+h_{i-1}) - 2I(x+h_i) \quad (6)$$

式中, $I(x)$ 为像素 x 的颜色信息; K_{x+h_i} 为像素 $\{x+h_i\}$ 在方向 k 上的二阶微分, $h_i=1, 2, \dots, 7$ 。在每一个方向上, 区域边缘窗口的顶点 $\{x+h_{\theta_k}(x)\}_k$ 由下式选取:

$$\text{if } K_{x+h_i}^c \cdot K_{x+h_{i-1}}^c < 0 \quad c \in \{R, G, B\} \\ h_{\theta_k}(x) = h_{i-1} \quad (7)$$

如图 2, 当进行跃变像素检测时, 二阶微分算子将每一个方向上的二阶梯度过零点作为区域边缘上的一个边界点。实际计算中, 取穿越横坐标之前的像素点作为区域自适应窗口在该方向上的顶点。对于彩色图像, 需要分别计算像素点在 RGB 3 分量上的梯度。只要一个分量上出现过零点, 该像素点即被判定为窗口顶点, 顺序连接 8 个相邻顶点就可以得到区域自适应窗口。

在构建的自适应窗口 W_{x^l} 和 W_{x^r} 的共同区域中, 置信度传播算法的区域匹配代价 Φ 基于中心像素 x^l 和 x^r 的支持像素 x_i^l, x_i^r , 由简单的截断绝对差和方法 (truncated absolute difference) 计算:

$$\Phi(x^l, d) = \frac{\sum_{i \in W_{x^l} \cap W_{x^r}} \min\{\Delta I(x_i^l, x_i^r), T_1\}}{\sum_{i \in W_{x^l} \cap W_{x^r}} 1} \quad (8)$$

$$d = x^l - x^r$$

式中, T_1 为静态阈值; 像素间的颜色差异为

$$\Delta I_{x_1, x_2} = \sum_{c \in \{R, G, B\}} |I_c(x_1) - I_c(x_2)| \quad (9)$$

2.2 基于加速更新制度的置信度传播算法

置信度传播算法的核心是以合适的方式迭代更新从一个像素 p 传播到下一个像素 q 的消息 (message), 记为 $m_{p \rightarrow q}^l(d_q)$ 。采用加速更新制度 (accelerated BP^[1]), 在目标图像中迭代传播所有像素的消息, 并获取最终视差。如图 4 所示, 该制度分别在左、右、下和上, 4 个方向上传播消息, 并且沿着一个像素先前接受消息的方向, 立即更新该像素将要传播给下一个相邻像素的消息。每次迭代计算消息时, 该更新制度在每个方向上只要求遍历每一个像素一次, 所以它可以快速进行置信度传播算法的迭代过程并且达到收敛^[1]。每 t 次迭代时, 由下式计算每一个像素的消息^[1, 5]:

$$m_{p \rightarrow q}^l(d_q) = \max_{d_p} \Psi(p, q) \Phi(p, d_p) \prod_{s \in N(p)/q} m_{s \rightarrow p}^{l-1}(d_p) \quad (10)$$

式中, $\Phi(p, d_p)$ 为像素 p 对应于视差 d 的匹配代价, 由式(8) 计算; $m_{p \rightarrow q}^0(d_q)$ 被初始化为 1; $N(p)/q$ 表示 p 的相邻像素, 但不包括 q ; $\Psi(p, q)$ 作为能量函数的平滑

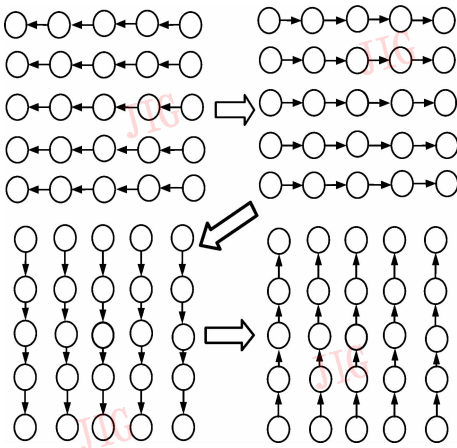


图 4 加速更新制度

Fig. 4 Message update scheme of accelerated BP

项, 对应于方程 $V(p, q)$ 取负自然数, 决定了相邻像素 p 和 q 对于消息传播的支持度, 由下式计算^[1]:

$$V(p, q) = \begin{cases} 0 & d_p = d_q \\ f(\Delta I_{pq}) & \text{其他} \end{cases} \quad (11)$$

$$f(\Delta I_{pq}) = \begin{cases} P \times s & \Delta I_{pq} < T_2 \\ s & \text{其他} \end{cases}$$

式中, ΔI_{pq} 为像素 p 和 q 之间的图像梯度; T_2 是一个阈值, s 和 P 是平滑补偿项。 T 次迭代后, 像素 q 的置信度由下式计算^[5]:

$$b_q(d) = \Phi(q, d) \prod_{p \in N(q)} m_{p \rightarrow q}^T(d) \quad T = 50 \quad (12)$$

像素 q 的最终视差要求选择最大后验估计量 (MAP), 以最大化马尔可夫随机场的联合概率^[5]:

$$q^{MAP} = \arg \max_d b_q(d) \quad (13)$$

3 实验结果和分析

表 2 测试了几种较流行的匹配代价在全局置信度传播以及区域 WTA 优化算法下的性能表现。与第 1 节类似, 定量实验基于 Middlebury 标准, 在区域窗口内利用绝对差和 (sum of absolute difference) 算法计算匹配代价, 不包含任何限制初始代价的阈值。实验测试的匹配代价算法为 Zhang 的区域自适应多边形 (locally adaptive polygon approximation)^[2], Yoon 的区域自适应支持权重 (local adaptive support-weight)^[3], 固定窗口绝对差和, 以及基于二阶微分的区域边缘构建。算法的静态参数为: 置信度传播: $s = 20, T_2 = 8, P = 4, 50$ 次迭代保证收敛; 区域自适

应多边形: $\alpha = 1/3, \Gamma = 20, H = \{1, 2, 3, 4, \dots, 17\}$; 区域自适应支持权重: 窗口大小: $33 \times 33, \gamma_c = 10, \gamma_p = 21$ (RGB 空间中, 采用文献[8]的静态参数); 固定窗口绝对差和: 窗口大小: 15×15 。实验中, 像素间的颜色差异由式(9)计算。

表 2 匹配代价算法处理图像 Tsukuba^[4] 的误匹配率Tab. 2 Matching error of cost aggregation methods for image Tsukuba^[4]

匹配代价计算方法	优化方法	
	区域 WTA	置信度传播
8 方向区域自适应多边形 ^[2]	7.02	4.51
区域自适应支持权重 ^[3]	5.15	4.19
固定窗口绝对差和	9.99	8.84
基于二阶微分的区域边缘构建	19.11	4.15

在表 2 中, 一些在区域 WTA 优化算法下可靠的匹配代价同样有利于置信度传播算法的性能表现。因此, 采用更有效的区域匹配代价同样可以提高全局立体匹配算法的性能。定量实验表明基于区域边缘构建的匹配代价作为置信度算法的数据项, 可以有效提高全局能量函数的性能并获得较好的匹配结果。基于二阶微分的区域边缘构建不需要附加的阈值, 就可以将首次出现的二阶微分过零点作为区域自适应窗口的边界点, 保证了窗口内包含的支持像素与中心像素具有较高相似性的颜色信息和区域特性。

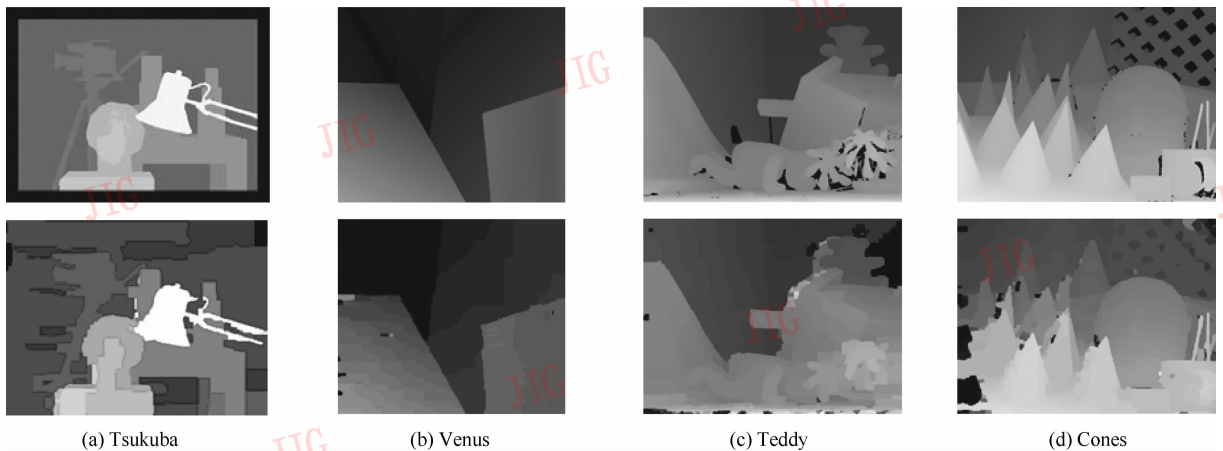
表 3 为第 2 节提出的基于置信度传播和区域边缘构建的立体匹配算法的误匹配率, 其静态参数对 4 幅 Middlebury 图像^[4] 保持恒定: $T_1 = 40, s = 20, T_2 = 8, P = 4$, 分别统计了整个 (all), 深度不连续 (disc.) 和无遮挡区域 (nonoc.) 的误匹配率。限于篇幅, 表 3 中仅列出最近两年的算法, 包括 Middlebury 网站^[4] 上部分区域立体匹配算法和基于置信度传播的全局算法。所有算法的误匹配率均由 Middlebury 网站在线计算。图 5 为真实视差图和本文算法获取的视差图。

为了保证算法的应用性和运算速度, 提出的算法并没有采用额外的策略处理遮挡问题。置信度传播算法本身可以通过全局能量最优, 基于大部分正确的匹配信息去优化深度不连续和遮挡像素。并且, 通过全局能量函数的平滑项可以抑制这些遮挡和不稳定像素的置信度消息在全局范围内传播。实验结果主要表明, 即使放弃了复杂的匹配策略, 由于

表 3 基于 Middlebury 立体评价系统的误匹配率^[4,11]Tab. 3 Evaluation results based on Middlebury stereo benchmark^[4,11]

立体匹配算法	Tsukuba			Venus			Teddy			Cones		
	nonoc.	all	disc.	nonoc.	all	disc.	nonoc.	all	disc.	nonoc.	all	disc.
	/%											
MVSegBP ^[4,12]	1.06	2.78	5.57	0.20	0.61	2.02	6.53	11.3	14.8	5.29	11.3	14.5
BP + DirectedDiff ^[4, 13]	2.90	4.47	15.1	0.65	1.20	4.52	5.07	14.7	15.7	2.94	12.6	7.50
本文算法	1.85	3.60	8.11	1.73	2.53	10.9	12.0	18.4	22.0	5.79	13.4	13.8
CSBP ^[4, 14]	2.00	4.17	10.5	1.48	3.11	17.7	11.1	20.2	27.5	5.98	16.5	16.0
BioPsyASW ^[4, 15]	3.62	5.52	14.6	3.15	4.20	20.4	11.5	18.2	23.2	4.93	13.0	11.7
LCDM + AdaptWgt ^[4, 16]	5.98	7.84	22.2	14.5	15.4	35.9	20.8	27.3	38.3	8.90	17.2	20.0

注:视差的错误阈值为 1 像素视差

图 5 视差图:第 1 行为真实视差^[4];第 2 行为提出的全局立体匹配算法Fig. 5 Disparity maps: first line for ground truth^[4]; second line for proposed stereo matching algorithm

基于区域边缘构建的匹配代价和置信度传播算法的良好配合,本文算法依然可以获得满意的匹配精度,平均错误率要低于表 3 中大部分的匹配算法。众所周知,二阶微分边缘算子对于颜色变化敏感。在构造区域窗口时,以梯度过零点作为判据,二阶微分将颜色强度跃变的像素作为区域边缘点去包含具有相似颜色强度的支持像素。当限制在中心像素的小范围领域中,这些支持像素可以被认定为与中心像素具有几乎相同的视差和深度信息。因此利用它们计算匹配代价,可以较好地适用于后续的基于置信度传播算法的全局能量优化。

4 结 论

利用构建的区域边缘计算像素间的匹配代价,并将其作为置信度传播算法的全局能量函数的数据

项,提出一种全局立体匹配算法。实验证明该算法有效地提高了置信度传播算法的匹配性能,具有较好的匹配精度。由于不包含图像分割、视差精确等附加方法或者针对特定目标物的特殊策略和人工步骤,提出的算法易于实现,具有较好的前景,可以应用于实际的立体视觉系统,这也是我们将来的工作。

由于边缘检测算子在所提算法中起到非常重要的作用,今后将采用被广泛研究和改进的边缘检测算子,进一步提高基于区域边缘构建的立体匹配算法的性能。

参考文献 (References)

- [1] Marshall F, William T, Freeman T. Comparison of graph cuts with belief propagation for stereo, using identical MRF parameters [C]//Proceedings of the Ninth IEEE International Conference on Computer Vision. Nice, France; IEEE Computer Society Press,

- 2003;900-907.
- [2] Zhang K, Lu J, Lafuit G. Scalable stereo matching with locally adaptive polygon approximation [C] // Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Image Processing. San Diego, USA; IEEE Signal Processing Society, 2008; 313-316.
- [3] Yoon K, Kweon I S. Adaptive support-weight approach for correspondence search [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(4) :650-656.
- [4] Daniel S, Richard S. Middlebury Stereo Vision Page [EB/OL]. [2010-10-10]. <http://vision.middlebury.edu/stereo/>.
- [5] Sun J, Zheng N, Shum H. Stereo matching using belief propagation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(7) :787-800.
- [6] Felzenszwalb P F, Huttenlocher D P. Efficient belief propagation for early vision [C] // Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, USA; IEEE Computer Society Press, 2004; 261-268.
- [7] Klaus A, Sormann M, Karner K. Segment-based stereo matching using belief propagation and a self adapting dissimilarity measure [C] // Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition. Hong Kong, China; IEEE Computer Society Press, 2006; 15-18.
- [8] Yang Q, Wang L, Yang R, et al. Stereo matching with color weighted correlation, hierarchical belief propagation, and occlusion handling [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009, 31(3) :492-504.
- [9] Yoon K, Kweon I S. Distinctive similarity measure for stereo matching under point ambiguity [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 112: 173-183.
- [10] 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.
- [11] Scharstein D, Szeliski R. A taxonomy and evaluation of dense two frame stereo correspondence algorithms [J]. International Journal of Computer Vision, 2002, 47(1/2/3) :7-42.
- [12] Monserrat T, Civit J, Escoda O, et al. Depth estimation based on multiview matching with depth/color segmentation and memory efficient belief propagation [C] // Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Image Processing. Cairo, Egypt; IEEE Signal Processing Society, 2009; 2353-2356.
- [13] Banno A, Ikeuchi K. Disparity map refinement and 3D surface smoothing via directed anisotropic diffusion [C] // Proceedings of the IEEE 12nd International Conference on Computer Vision Workshops. Kyoto, Japan; IEEE Computer Society Press, 2009; 1870-1877.
- [14] Yang Q, Wang L, Ahuja N. A constant-space belief propagation algorithm for stereo matching [C] // Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Francisco, USA; IEEE Computer Society Press, 2010; 1458-1465.
- [15] Nalpantidis L, Gasteratos A. Biologically and psychophysically inspired adaptive support weights algorithm for stereo correspondence [J]. Robotics and Autonomous Systems, 2010, 58(5) :457-464.
- [16] Nalpantidis L, Gasteratos A. Stereo vision for robotic applications in the presence of non-ideal lighting conditions [J]. Image and Vision Computing, 2010, 28(6) :940-951.