

一种用于立体图像匹配的改进稀疏匹配算法

陈佳坤¹, 罗 谦², 曾玉林¹

(1. 西南交通大学 信息科学与技术学院, 四川 成都 610031;

2. 中国民用航空局第二研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 立体匹配有着广泛的应用前景, 是计算机视觉领域的研究热点。立体匹配是立体视觉中最为关键和困难的一步, 它的目标是计算标识匹配像素位置的视差图。文中提出的立体匹配算法基于置信传播 (Belief Propagation, BP)。左图像首先经过非均匀采样, 得到一个内容自适应的网格近似表示。算法的关键是使用基于置信传播的立体匹配算法, 匹配稀疏的左图像和右图像得到稀疏视差图。通过左图像得到网格, 稀疏视差图可以经过简单的插值得到稠密视差图。实验结果表明, 该方法与现有稀疏立体匹配技术相比在视差图质量上平均有 40% 的提高。

关键词: 立体匹配; 置信传播; 图像重建

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2011)10-0063-03

An Improved Sparse Matching Algorithm for Stereo Matching

CHEN Jia-kun¹, LUO Qian², ZENG Yu-lin¹

(1. School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031;

2. The Second Research Institute of CAAC, Chengdu 610041)

Abstract: Stereo matching with a wide range of applications is an important research field in computer vision. Stereo matching is also the key and the most difficult problem in stereo vision, its objective is to calculate the disparity map of identified pixel. The proposed stereo matching algorithm is based on belief propagation (BP). Firstly, a content adaptive mesh is obtained by the non-uniform sampling of the left image. The key issue in the proposed method is to formulate BP, matching the sparse left image and dense right images to get sparse disparity map. We can recover the dense depth map from sparse one due to a simple proposed interpolation method that benefits from the mesh approximation of the left image. The results obtained show that the sparse stereo matching with the existing technology in the quality of depth maps had an average 40% improvement.

Key words: stereo vision; belief propagation; image reconstruction

0 引言

三维重建是近年来计算机视觉研究中的热门领域。它是通过分析物体的二维信息获取物体在空间中的三维信息。立体视觉主要包括摄像机标定、立体匹配、三维重建三个步骤, 其中立体匹配是核心环节^[1,2]。

通过使用网格建模技术, 图像近似表示为网格, 节点被称为非均匀采样^[3~6]。为了完成三维重建, 现在只需要获得图像的非均采样的视差值^[3,7]。目前计算一个稀疏的视差图通常使用局部方法, 即基于特征匹配的计算方法。这种方法存在着很大的局限性, 窗口

太小会产生太多的不连续结构; 窗口太大则会导致视差图过于平滑^[8]。因此, 使用一个方法计算稀疏视差图将会比局部方法得到的视差图质量更好。

笔者提出了一个基于置信传播 (BP) 的算法计算稀疏视差图。该算法匹配一个通过网格模型技术得到的稀疏左图像和稠密右图像。此外, 提出了一个简单的方法, 可以通过计算将稀疏视差图恢复到稠密视差图。用 Middlebury College 的图像库对算法进行了验证, 实验结果表明这种方法得到的视差图质量有明显提高。

基于 BP 的视差估计算法是一类精度较高的视差估计全局算法, 近年来被广泛研究^[8,10]。该类算法的特点是基于一稠密视差场的连续性假设, 将稠密视差场抽象为一种马尔可夫场, 通过置信传播将相邻像素的视差信息在马尔可夫网络上相互传递, 通过迭代计算最终得到全局最优的视差估计结果^[10~12]。

立体匹配算法总体上分为局域算法和全局算法两

收稿日期: 2011-03-01; 修回日期: 2011-05-20

基金项目: 中国民用航空局科研项目 (MHRD200924)

作者简介: 陈佳坤 (1985-), 男, 硕士生, 研究方向为计算机算法、图像处理与计算机视觉; 罗 谦, 博士研究生, 研究方向为数据挖掘、进化计算、企业智能计算。

种^[9]。局域算法利用的是对应点本身以及邻近的局部区域的约束信息,局域算法的优点是效率高,但是它对局部的一些由于遮挡和纹理单一等造成的模糊比较敏感,得到的视差图质量不高。全局算法利用了图像的全局约束信息,对局部图像的模糊不敏感,但是它的计算代价很高。稀疏匹配,提取特征点,使用局部匹配算法并加以匹配,得到稀疏匹配点^[16]。这种算法的主要问题在于不能在计算中使用光滑约束,这将导致一些沿物体表面的视差跳跃,容易在边沿出现错误,得到的视差图与全局匹配法相比质量较低。

1 稀疏匹配技术

如果有一个全局性的算法使输入图像的稀疏化,将会获得一个具有较高质量的稀疏视差图。使用置信传播来完成这个任务,结果显示获得的视差图质量非常好。

先使用一种内容自适应网格生成方法得到稀疏的左边图像,然后匹配稀疏左图像和稠密右图像得到视差图。由于网格的节点由边缘和非边缘像素组成,如图像的非均匀采样。通过计算左右图像的非均匀采样所得到的样本,特别是在非边缘像素,不需要相互对应。非均匀采样可以看作是能将相邻像素恢复到一个预定义的误差内的图像的像素。这些像素在有高强度变化率的位置采样率很高,否则,采样率较低。

给定两个已校正的图像,则图像的极线与相应的扫描线对齐。设 $p(x, y)$ 是位于稀疏左图像 L 的第 y 条扫描线上,且与右图像 R 上的 $q(x', y')$ 相对应。由于图像已校正,那么 $y = y'$,视差值 d 表示为 $d = x - x'$ 。局部匹配算法是基于独立点的匹配算法,没有利用像素之间的视差相关信息,对匹配的准确性有很大的负面影响。全局最优算法引入全局搜索策略,将平滑性约束加入匹配代价的计算中,立体匹配可看作最小化能量函数的过程^[12]。这里能量函数 E 定义为

$$E(d) = E_{\text{data}}(d) + \lambda \cdot E_{\text{smooth}}(d) \quad (1)$$

$E_{\text{data}}(d)$ 是全局匹配代价。 $E_{\text{smooth}}(d)$ 是相邻像素点间的平滑代价,反映了相邻像素之间的不连续性。 λ 是一个常数,用于调整 $E_{\text{data}}(d)$ 与 $E_{\text{smooth}}(d)$ 之间的权重比例。

2 计算代价

基于像素的代价函数有很多,最常用的是绝对差和平方差,这是因为它们计算简单。在这个工作中,成本函数 C 使用是基于绝对差(AD)的,定义如下:

$$C(x, y, d) = |p(x, y) - q(x + d, y)| \quad (2)$$

当 $C(x, y, d)$ 达到最小值时,得到位置 p 的视差值。为了使数据成本函数在遮挡或强度变化是更具鲁

棒性, C 需要进行阈值截断,则式(1)中的 E_{data} 变为

$$E_{\text{data}}(d) = \min(C(x, y, d), \kappa) \quad (3)$$

其中 κ 是 $E_{\text{data}}(d)$ 的截断阈值。同理,平滑成本变为

$$E_{\text{smooth}}(d) = \min(|d(x) - d(x + 1)|, \tau) \quad (4)$$

其中 τ 为 E_{smooth} 的截断阈值。

3 使用稀疏 BP 算法优化

使用上面的成本函数,采用文献[13]中的BP算法进行优化,并计算视差图。选择这个BP算法版本,因为它在速度、内存消耗及准确性上比其它BP算法的实现更好。

该算法对每个像素的匹配消息更新时间复杂度是线性的,在处理大视差情况非常便利。它采用网格图表示使内存消耗最小化。它使用了多分辨率策略,在不依赖图像大小的情况下提高准确度并降低消息更新所需的迭代次数。

文献[13]中消息更新采用棋盘更新方案。算法通过在4连通邻域图像网格上传递消息来完成。该方法的不同点在于消息传递考虑图像的非均匀采样,很多图像的非均匀采样占图像的不到40%,因此消息传递进行很快。

在这项工作中,式(2)和式(3)需评估非均匀采样及其相应的邻域而式(4)只需评估非均匀采样。此外,由于左图像是由非均匀采样及其邻域保存处理得到,该算法在稀疏矩阵上计算,内存消耗将比原来的BP算法更低。

4 恢复稠密视差图

我们是用稀疏匹配的方法获得的视差图。这些值仅使用左侧立体图像的非均匀采样计算得到^[14-16]。由于原左侧图像被假定为一个网格近似,使用文献[5,15]中的方法,可从将稀疏BP算法得到的视差图恢复得到稠密视差图。

图1中第一列为稀疏BP算法将稀疏视差图使用式(5)和式(6)插值得到的稠密视差图。第二列为使用文献[13]中算法得到的视差图。

假设 $N_i(i = 1, \dots, 3)$ 是三角形 T 的节点,围住一个像素 p 。要恢复 p 的视差, p 的近似视差值 \hat{d} 可看作 N_i 的视差值的加权和,即

$$\hat{d} = \sum_{i=1}^3 \omega_i \cdot d(N_i) \quad (5)$$

其中 $d(N_i)$ 为节点的 N_i 视差值, ω_i 是 N_i 的权重。权数 ω_i 是 p 所在的三角形 T 的重心坐标,必须满足以下的限制:

$$x_p = \sum_{i=1}^3 \omega_i \cdot x_i, \quad y_p = \sum_{i=1}^3 \omega_i \cdot y_i, \quad \sum_{i=1}^3 \omega_i = 1 \quad (6)$$

其中, (x_i, y_i) 和 (x_p, y_p) 分别是 N_i 和 p 在图像中的坐标。将式(6)的权重 ω_i 代入方程(5)得到 p 的视差 d 。

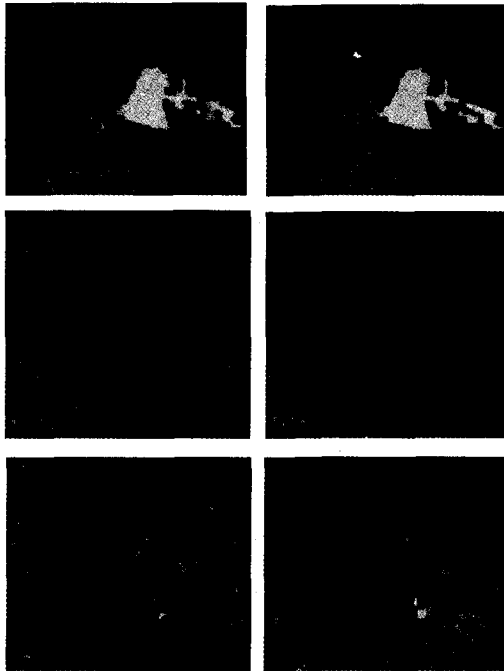


图 1 稠密视差图比较

5 实验结果

使用 Middlebury College 的图像库对稀疏 BP 算法进行性能评定。测试在英特尔 Core i5 M 460 处理器 (2.53GHz, 2 GB RAM) 上进行, 算法用 C++ 语言编程实现。稀疏 BP 算法中左图像使用文献[4]中的方法得到, 重建阈值为 35dB。将稀疏 BP 算法与文献[13]中的 BP 算法及归一化互相关算法进行速度和质量方面比较。

视差图的对比显示在图 1, 比较结果如表 1 所示。表 1 结果通过视差图计算得到, 分别提取非均匀采样的视差值, 然后计算其均方误差 (Mean Square Error, MSE)。其中, 数据和平滑截断值参数 κ 和 τ 在文中取值分别为 15 和 1.7。此外, 输入图像使用方差为 0.7 高斯滤波器进行平滑。

可以看到, 稀疏 BP 算法与文献[13]算法的结果相比视差图能够保持质量, 两者间的差异平均为 5%。同样, 图 1 中使用式(5)和式(6)建立插值视差图也可以证实。与归一化互相关算法相比, 稀疏 BP 算法结果有平均 40% 的提高。这是因为归一化互相关算法是局部算法, 而稀疏 BP 算法是全局算法。

不同算法之间的时间比较如表 2 所示。稀疏 BP 算法使用稀疏的非均匀采样的图像, 计算视差的时间与文献[13]中方法相比降低了约 25%。与归一化互相关算法相比, 由于稀疏 BP 算法是全局算法, 需要对

每一个像素和它的 4 连通邻域进行计算以得到稀疏视差图, 所以速度较慢。综上, 稀疏 BP 算法表现出了一个在精确的全局算法和不精确的局部算法之间较好的折中。

表 1 MSE 比较

算法	Tsukuba	Venus	Teddy	Cones
稀疏 BP 算法	7.2	1.98	61.14	44.81
文献[13]算法	6.84	1.81	60.03	42.4
归一化互相关算法	9.63	5.23	90.23	92.13

表 2 运算时间比较 (单位: 秒)

算法	Tsukuba	Venus	Teddy	Cones
稀疏 BP 算法	0.19	0.32	1.05	1.23
文献[13]算法	0.26	0.47	1.52	1.52
归一化互相关算法	0.02	0.04	0.12	.12

6 结束语

提出了一种新的稀疏 BP 算法, 该算法基于 BP 全局立体匹配算法。稀疏 BP 算法匹配一个使用图像网格化技术的非均匀采样组成的左图像和稠密的右图像。相对于其他稀疏立体匹配方法, 文中提出的算法在 Middlebury College 的图像库上测试得到的视差图结果更准确。此外, 由于左边图像采用网格近似, 稀疏 BP 算法能够通过一个简单的内插值方法得到稠密视差图。因为它将图像稀疏化, 相较于原来的 BP 算法, 稀疏 BP 算法在保持视差图质量同时, 计算速度要快约 25%。相较于标准稀疏匹配算法, 稀疏 BP 算法得到的视差图质量有约 40% 的提高。

参考文献:

- [1] 马颂德, 张正友. 计算机视觉——计算理论与算法基础 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [2] 张广军. 机器视觉 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [3] Sarkis M, Lorscheider O, Diepold K. Efficient content adaptive mesh representation of an image using binary space partitions and singular value decomposition [C]//IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. [s. l.]: [s. n.], 2008: 1109-1112.
- [4] Sarkis M, Diepold K. Towards real-time stereo using non-uniform image sampling and sparse dynamic programming [C]// International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission. [s. l.]: [s. n.], 2008.
- [5] Yang Y, Wernick M N, Brankov J G. A fast approach for accurate content-adaptive mesh generation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(8): 866-880.
- [6] 杨嘉琛, 侯春萍, 徐 然. 基于 Delaunay 三角形网格立体图像编码算法的特征点提取 [J]. 天津大学学报, 2009, 42(5): 424-427.
- [7] 陈 楸, 毕 磊, 段晓军. 基于网格搜索的图像匹配方法的

拟的网络规模。

(2) 统计性: 统计性是进行协议分析和改进的重要数据来源和参考依据。

6 P2P 模拟器设计趋势

通过对当前流行的 P2P 网络模拟器的系统结构、模拟方式以及模拟性能的分析 and 评估, 发现 P2P 模拟工具往往采用简单的应用层模拟, 简化实际网络底层模型, 虽然能够有较好的模拟性能, 但是往往模拟结果不够精确, 甚至只能模拟单一的 P2P 网络协议, 通用模拟工具则较为缺乏。我们认为通用的 P2P 网络模拟平台除了可扩展性、可扩充性等方面的要求, 还需要重点关注以下几个方面。

(1) 通用性: 通用性要求网络模拟平台能够较完整地模拟实际网络的各个部分, 以及 P2P 协议的全部机制, 并能够有效地支持多个不同协议的模拟。

(2) 可移植性: 可移植性要求能将 P2P 网络模拟平台不修改或者少量修改其中的代码, 就能从一个底层平台移植到其他底层平台上, 例如由于模拟规模的变化从 NS2 移植到 PDNS 上, 这样大大减少了二次开发的工作。

(3) 粒度可控性: 粒度可控性是指针对不同的模拟任务而采用不同的模拟粒度, 使之同时具备 P2P 应用层行为模拟和网络层行为模拟的功能。

(4) 可仿真性: 可仿真性是模拟平台的结果是否真实有效的重要评价标准。一方面, 需要有精细完备的日志记录模块。另一方面, 能够支持半实物仿真功能, 即真实的端节点 P2P 程序可以接入模拟平台, 实现二者的实时交互。

7 结束语

文中主要对当前主流的 P2P 模拟器进行了分类

介绍和比较分析。通过研究这些模拟器, 对模拟器在 P2P 研究中的重要性有了更深刻的认识。希望有助于 P2P 研究人员了解、选择、使用、设计 P2P 模拟器。

参考文献:

- [1] 霍英, 陈志刚, 施宜. P2P 系统模拟器的分析与比较[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(11): 37-39.
- [2] 徐雷鸣, 庞博, 赵耀. NS 与网格模拟[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003. 13220.
- [3] Massios N. Javsim: General simulation classes in Java[EB/OL]. 2011. <http://omni.bus.ed.ac.uk/javasim/>.
- [4] Hoye J. Pastry: A substrate for peer-to-peer applications[EB/OL]. 2009. <http://freepastry.org/>.
- [5] Chimera[EB/OL]. 2006. <http://current.cs.ucsb.edu/projects/chimera/>.
- [6] He Q, Ammar M, Riley G. Mapping peer behavior to packet-level details: a framework for packet-level simulation of peer to peer systems[C]//Proc. MASCOTS. Atlanta: [s. n.], 2003: 71-78.
- [7] 陈贵海, 李振华. 对等网络: 结构、应用与设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [8] GIL TM. P2PSim[EB/OL]. 2004. <http://pdos.csail.mit.edu/P2PSim/index.html>.
- [9] Garcial P, Pairo C, Mondéjar R. PlanetSim: a new overlay network simulation framework[C]//Software engineering and middleware. Berlin: Springer, 2005: 123-136.
- [10] Baumgart, Heep I, Krause B. OverSim: a flexible overlay network simulation pramework[C]//IEEE Global Internet Symposium. [s. l.]: [s. n.], 2007: 79-84.
- [11] Ting N S, Deters R. 3LS-a peer-to-peer network simulator[C]//Proceedings of the third international conference on peer-to-peer computing. Canada: Saskatchewan university, 2003: 212-213.
- [12] 赵世洋. 并行分布式网络模拟器 PDNS 容错技术的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.

(上接第 65 页)

改进[J]. 信息化纵横, 2009(8): 56-58.

- [8] 原思聪, 刘金颂, 张庆阳, 等. 双目立体视觉中的图像匹配方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(8): 76-77.
- [9] 王红梅, 张科, 李言俊. 图像匹配研究进展[J]. 计算机工程与应用, 2004(19): 42-44.
- [10] Klaus A, Sormann M, Karner K. Segment-based stereo matching using belief propagation and a self-adapting dissimilarity measure[C]//in International Conference on Pattern Recognition. [s. l.]: [s. n.], 2006: 15-18.
- [11] 卢阿丽, 唐振民, 郭龙源, 等. 置信度传播体视算法加速技术的应用研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(2): 348-349.
- [12] 严恺, 周军. 一种用于立体图像匹配的改进置信传播算法[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(11): 2383-2386.

- [13] Felzenszwalb P F, Huttenlocher D P. Efficient belief propagation for early vision[J]. International Journal on Computer Vision, 2006, 70(1): 41-54.
- [14] Yang Q, Wang L, Yang R, et al. Real-time global stereo matching using hierarchical belief propagation[C]// British Machine Vision Conference. [s. l.]: [s. n.], 2006: 989-998.
- [15] Ramponi G, Carrato S. An adaptive sampling algorithm and its application to image coding[J]. Image and Vision Computing, 2001, 19(7): 451-460.
- [16] 张文明, 刘彬, 李海滨. 基于双目视觉的三维重建中特征点提取及匹配算法的研究[J]. 光学技术, 2008(3): 181-182.