

物流配送路径优化理论在立体匹配技术中的应用研究

王 洋， 范剑英， 林立军， 于舒春， 于贵江
(哈尔滨理工大学 测控技术与仪器黑龙江省高校重点实验室， 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: 由于目前的立体匹配算法大都以追求高匹配精确度为目的, 造成了算法执行时间过长, 不利于实时场合的应用. 因此, 提出了将物流领域中的配送路径优化理论和方法, 即节约算法, 引入立体匹配技术中, 构建一种高匹配精度、高执行速度的立体匹配算法, 并将该方法引入到双目立体视觉中. 首先用金字塔算法在低分辨率图像上求取控制点, 之后结合物流网络的构建理论修正初始视差空间图像, 进而利用物流配送路径优化中实时性强的特点, 在修正后的视差空间图像上快速找到全局最优路径, 从而生成具有全局最优特性的视差. 实验结果表明, 本方法将大大增强立体视觉技术在实时场合下的适用性.

关键词: 物流配送; 立体匹配; 节约算法; 路径优化
中图分类号: TP242 2 文献标志码: A 文章编号: 1007- 2683(2011) 02- 0024- 05

Optimization of Logistics Dispatching Route Theory Application
and Research in Solid Matching Technic

WANG Yang FAN Jian-ying, LN Li-jun, YU Shu-chun, YU Gu-jiang
(The Higher Educational Key Laboratory for Measuring and Control Technology and Instrument of Heilongjiang Province
Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract The main purpose of present stereomatching algorithms is to pursue high matching precision. These algorithms waste too much time in operating, so they are not suitable for real-time application. In this paper, a saving algorithm, which is the conventional theory and methods in the routing optimization of logistics distribution, is used in stereo matching. A novel stereo matching algorithm, which has a high matching rate and a fast speed, is established. Firstly, the pyramid algorithm is used to obtain the control points. Secondly, the initial disparity map is corrected by the construction methods of the logistics network. Thirdly, the paths of global optimization in the disparity image are corrected by using the real time of the saving algorithm. Finally, the disparity of global optimization can be obtained. The experiments show that the algorithm increases the reality of stereo matching.

Key words logistics distribution; stereo matching; saving method; path optimization

0 引 言
立体匹配是立体视觉技术的核心阶段, 其目的是寻找两幅或多幅图像中的对应像素点以便求取对应的三维坐标, 其匹配精确度、执行时间直接决定着立体视觉技术的实际应用效果. 根据约束方式的不同^[1], 已有立体匹配算法大致分为两类: 一类为局

收稿日期: 2010- 06- 08
基金项目: 黑龙江省教育厅科学技术研究项目 (11541054); 黑龙江省 2009 年研究生创新科研资金资助项目 (YJSCX2009- 046HLJ)
作者简介: 王 洋 (1978—), 男, 博士研究生, 讲师, E-mail wangyang@ hrbust. edu. cn
范剑英 (1963—), 男, 教授, 硕士生导师.

部最优算法;另一类为全局最优算法,包括基于动态规划法 (dynamic programming)、图形切割法 (graph cuts)、置信度传播法 (believe propagation) 等。对于全局优化策略,虽能得到精确的视差图像,但相当耗时,不利于实时场合下的应用。匹配精确度和匹配速度两项指标相互制约,已经成为了立体视觉领域的突出问题。从本领域的现有技术水平来看,短时间内难以突破这种技术瓶颈。

在经济管理领域中的物流配送路径优化算法与立体匹配在理论上有着极大的相似之处:前者先要构建物流配送网络^[2-3],然后在地理空间上寻找一条可以使总体消耗(费用、路程、时间)最低的最优线路;后者先要构建视差空间图像然后在视差空间上寻找一条可以使总体消耗(能量)最低的最佳路径。

1 物流配送路径优化与立体匹配全局优化的相似性

两者虽在不同领域发展在理论上却有着极大的相似性。物流配送路径优化中有些方法在一定约束条件下的计算速度很快,如节约算法、邻近算法在有一定的条件约束下,都可以较快地得到全局最优路径。将其引入立体匹配技术中,为全面提高立体匹配算法的执行速度提供了可能性。

1.1 物流配送路径优化

物流配送路径优化的实质就是,在物流配送网络中,在目标函数的作用下,寻找一条能从配送中心遍历各个送货点的最优路径^[4]。为得到较好的物流配送路径优化效果,研究人员提出了许多算法,如分支定界法、切平面法、节约算法、邻近算法、插入算法、扫除算法、禁忌搜索法、蚁群算法。

1.2 立体匹配全局优化

立体匹配全局优化的实质是,要在视差空间上寻找一条可以使全局能量最低的最佳路径。全局最优算法的本质是将对应点的匹配问题转化为寻找某一能量函数的全局最优问题。通常跳过代价聚合步骤,直接计算视差值。这类算法的核心环节包括:能量函数构造方法和能量函数优化求解策略。

1.3 两者相似性

1)两者理论相似。都是利用各种算法在寻求某种消耗最低的最佳路径。

2)两者可以找到对应点。在物流配送路径优化中,要遍历的点为配送中心与送货点,而对于立体匹

配,很多算法都是要先找到控制点,然后遍历所有控制点。

3)二者目的相同。都是希望在最短时间内寻找最优路径。

因此在保证立体匹配全局优化算法精确度的前提下,如何将物流配送路径优化策略具体到立体匹配问题中,归纳出合理的数学描述,是本文研究的主要内容。

2 基于物流配送路径优化的立体匹配算法的实现

立体匹配欲与物流配送路径优化相联系,必须首先找到两者的对应点,首先用金字塔算法对图像进行抽样,构建一系列不同分辨率图像,在低分辨率图像上求出可信度最高的少数控制点(配送中心),再从高分辨率图像上进行初始匹配代价求取,构建最初的视差空间图像。用物流网络的构建方法,结合低分辨率图像上的控制点对初始视差空间图像进行修正,之后用物流配送路径优化的强实时性方法,在此视差空间图像上求取最终视差。在算法的各阶段要充分考虑到匹配精确度和匹配时间两项指标,并进行合理分配。具体的工作方案如下所述。

2.1 金字塔算法构建多级分辨率图像

对于应用到立体匹配中的金字塔结构也称为多分辨率结构^[5],基本思想就是对图像的像素进行等差数列抽样,产生一系列不同分辨率的图像,这一系列图像形成金字塔结构。最高分辨率图像用于求取初始视差空间图像。低分辨率图像用于生成控制点(匹配正确的点)。如图 1 所示,本文采用 3 层,第 1 层为原始高分辨率图像,第 3 层为抽样两次后的低分辨率图像,分辨率为第 1 层的 1/16

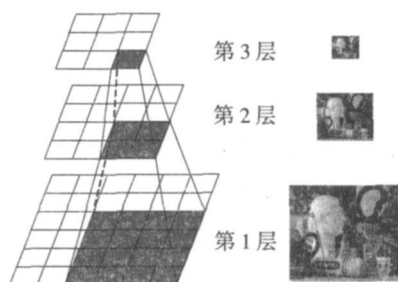


图 1 金字塔结构示意图

2.2 在低分辨率图像上求取控制点^[6-7]

在物流配送领域,配送网络中各个结点(配送中心、送货点)是必须要遍历的,这些点可以对应成

视差空间图像中视差绝对正确的点, 这些点可以称之为控制点, 在路径优化时可以限定搜索范围, 节省算法时间.

采用传统区域匹配方法并结合左右一致性校验技术求取控制点^[8], 本文选择最小绝对差算法 SAD 进行相似性测度函数的选取:

$$SAD(x, y, d) = \sum_{i=m}^m \sum_{j=n}^n |I_1(x + i, y + j) - I_2(x + i + d, y + j)|$$
 (1)

其中, $SAD(x, y, d)$ 表示相似性测度函数; x, y 表示像素点的坐标; I_1, I_2 分别表示左右两幅图像对应点的像素值; m, n 代表 $m \times n$ 个像素的窗口.

对于左右一致校验技术^[9], 可用下列公式求得视差空间图像:

以右图像像素为基元:

$$S(d, i) = |f(i + d, j) - g(i, j)|$$

$$i \in [0, W), j \in [0, H), d \in [0, D]$$
 (2)

以左图像像素为基元:

$$S(d, i) = |g(i - d, j) - f(i, j)|$$

$$i \in [0, W), j \in [0, H), d \in [0, D]$$
 (3)

其中, f 和 g 为待匹配的左右图像; $W \times H$ 为图像的大小, 图像对的最大视差为 D .

由于是进行两次抽样后的图像, 数据点较少, 所以计算速度至少提高 16 倍, 有效的降低了算法时间. 左右一致校验的方法还可以检测遮挡区域, 减少误差, 得到更准确的控制点. 对于控制点的坐标信息和匹配代价都要记录, 以便后续使用.

2.3 在高分辨率图像上求取视差空间图像

本文采用式 (1) 中的方法, 选取合适的窗口, 利用区域匹配的方法, 构建视差空间图像.

2.4 用物流配送网络的构建方法修正初始视差空间图像

用 2.2 中低分辨率图像上得到的控制点, 结合物流配送网络的构建方法, 在初始视差空间图像上标识出“配送中心”、“送货点”等, 这些点是物流配送路径优化时必须经历的点. 此外, 考虑到立体匹配视差寻优时的方向限定问题 (即寻优路径不能从视差方向进出), 还需要在视差空间图像上加上限定终点. 二维视差空间图像修正后结果如图 2 所示, 三维视差空间图像的修正原理与此相同.

2.5 用物流配送路径优化方法求取最终视差

从“配送中心”出发, 在物流配送网络中遍历所有“送货点”, 最终到达“限定终点”, 可能的路径有

很多, 如图 3 所示.

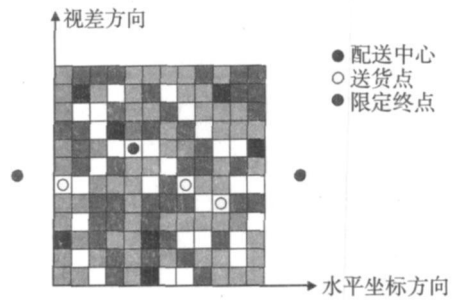


图 2 用物流配送网络的构建方法修正的二维视差空间图像

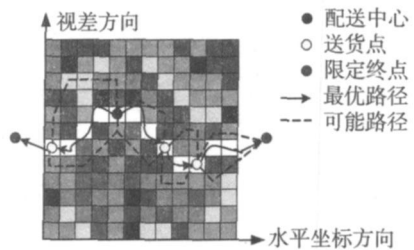


图 3 用物流配送路径优化的方法求取视差

图 3 中虚线代表可能的路径, 实线代表优化得到的路径, 在物流配送理论中, 如何得到优化路径, 要根据目标优化函数, 这些目标优化函数仍按物流配送理论的方法建立, 而其间的参数将变为立体匹配中的匹配代价和遮挡代价, 优化的最终实现目的是使路径的总体代价最低, 如下式所示:

$$M = \min \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=i}^j P_k + O_k$$
 (4)

式中: N 表示送货点的个数; P_k 表示匹配代价; O_k 表示遮挡代价.

经过反复的实验验证, 最终的目标优化函数确定用物流配送中速度较快的节约算法, 此外, 还要用最大视差约束、顺序性约束、唯一性约束等立体匹配中的约束条件来限定优化时的搜索范围. 下面对物流配送中的节约算法应用于双目视觉立体匹配的步骤做具体介绍.

第 1 步: 将各“送货点”与“配送中心”相连, 构成一条仅含一个“送货点”的送货线路, 并计算总费用;

第 2 步: 计算将两个“送货点”连接在一条线路上的费用节约值, 节约值越大说明将两个送货点连在一起的总路程减少越多, 以 $S(i, j)$ 表示连接后的能量节约值, 公式如下, 根据三点的位置关系, 节约量 $S_{ij} \geq 0$

$$S_{ij} = c_{oi} + c_{oj} - c_{ij}$$
 (5)

第 3 步: 如果配送中心的送货范围内还存在着其他的客户, 在车辆载重和容积都允许的情况下, 可按照节约里程的大小将它们依次连入巡回路线, 直到满载为止, 这样, 就组成了一条配送线路;

第 4 步: 以同样的方法进行第二条配送线路。

很显然, 这样每一次连接过程都能使总距离得到最大的节约, 也就是使形成增加值最小, 把当前的最佳状态都包括其中, 从而最终使运输路线里程得到优化, 当然, 这种最优化不能用精确的数值来比

较, 只能是各种当时认为最优的方法集合, 这是启发式算法的一大特色, 专门解决不确定性问题。

3 实验与实验结果分析

本文采用 Middlebury 网站提供的数据平台来评价提出算法的效果, 得到的结果如图 4 所示 (这里使用的原始立体像对及对应的真实视差图均在网站 <http://vision.middlebury.edu/stereo/> 下载到)。

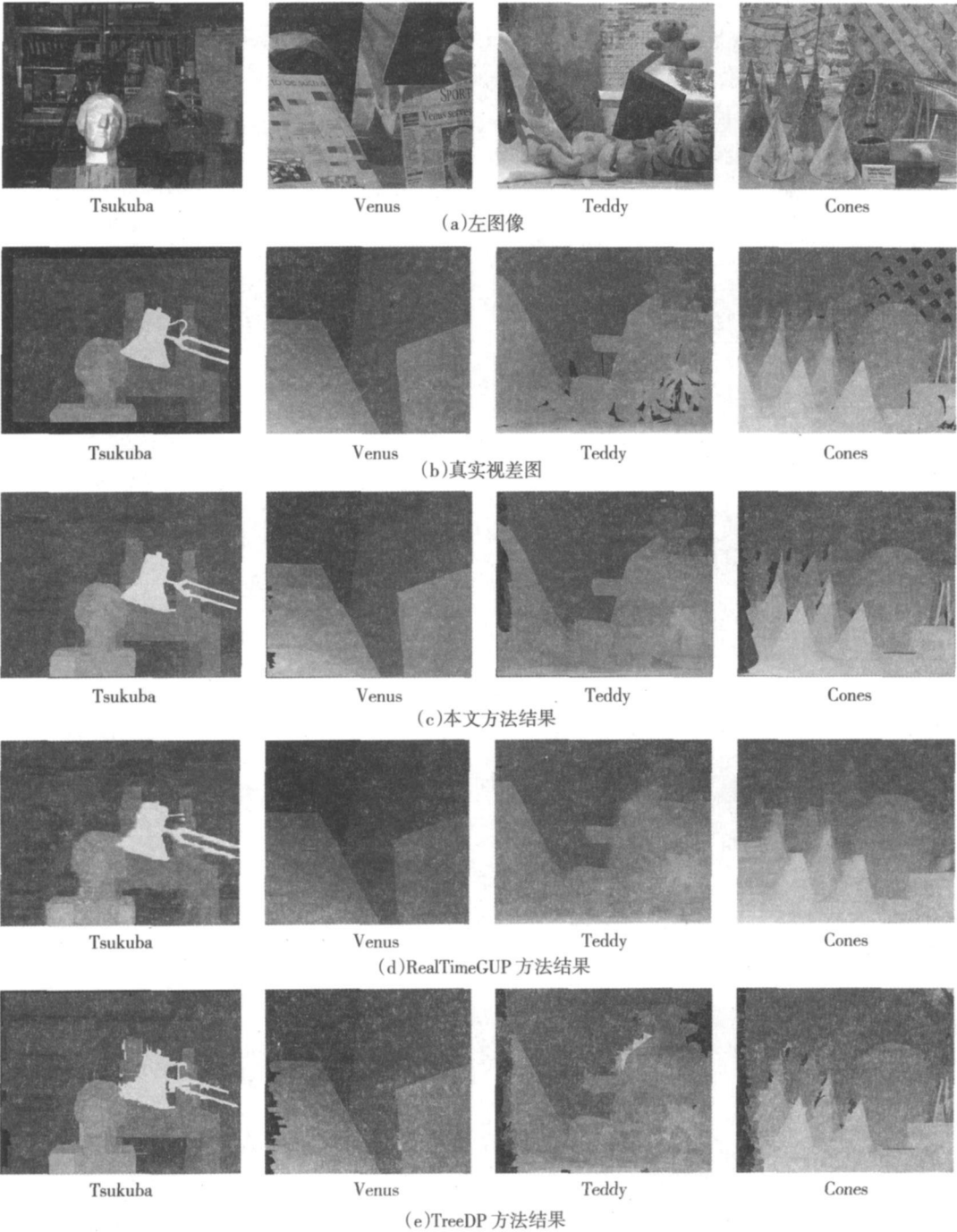


图 4 各种方法效果图

从图 4可以分析出,本文所阐述的方法得到的结果与 RealTimeGUP^[10]、TreeDP^[11]的方法进行比较,在匹配效果上与这两种方法几乎相同,由于都是基于

动态规划的方法,所以匹配精确度有所保证,也保持了对于视差不连续出边界的清晰.

表 1 不同算法测试结果比较

图像	Tsukuba			Venus			Teddy			Cones		
	非遮挡	整体	不连续	非遮挡	整体	不连续	非遮挡	整体	不连续	非遮挡	整体	不连续
本文方法	1.53	1.84	8.10	1.37	1.75	6.75	8.69	14.3	18.6	6.57	14.5	14.4
RealTimeGUP	2.05	4.22	10.6	1.92	2.98	20.3	7.23	14.4	17.6	6.41	13.7	16.5
TreeDP	1.99	2.84	9.96	1.41	2.10	7.74	15.9	23.9	27.1	10.0	18.3	18.9

表 1列出了这 3种不同算法的测试(测试结果来源于网上),经比较可看出在不同场景中本文提出的算法一样可以得到较好的视差图.其中,非遮挡表示非遮挡区域的误匹配率,整体表示包括半遮挡区域在内的整体误匹配率,不连续表示视差不连续区域的误匹配率.

表 2 各种算法时间的比较 (tsukba384×288)

方法	RealTimeGUP	TreeDP	本文算法
时间 /s	12.64	12.89	10.10

表 2列出了这 3种不同算法的匹配时间,通过表 2可以明显的看到,实验达到了预期的目的,在保证精确度的前提下提高了匹配时间.

4 结 语

通过实验结果可以知道,实验达到了预期的目的.在立体匹配中,全局优化策略属于精确度比较高的立体匹配算法,将物流配送路径优化策略引入到立体匹配中,结合动态规划法,找到控制点,避免了许多无用的搜索路径的耗时,节约了匹配时间.实验结果表明,该文的算法具备更好的性能,能达到匹配精确度跟匹配时间的合理分配.

参 考 文 献:

[1] 于乃功,秦永钢,阮晓钢. 立体匹配算法进展 [J]. 计算机测量与控制, 2009 17(5): 817- 819, 840

[2] TAN K C, LEE L H. Heuristic Method for Vehicle Routing Problem with Time Window [J]. Artificial Intelligence in Engineering 2000(12): 15

[3] 夏文汇,冯伟,汤杰,等. 物流配送中心优化选址的方法与应用 [J]. 重庆工学院学报: 自然科学版, 2008 22(11): 63- 67

[4] 戴锡. 车辆路线问题的二阶段启发式算法及其在现代物流配送中的应用 [D]. 上海: 复旦大学, 2004 12- 39

[5] 宋伟刚,张宏霞,佟玲. 有时间窗约束非满载车辆调度问题的节约算法 [J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2006 27(1): 65- 68

[6] 赵杰,于舒春,蔡鹤皋. 金字塔双层动态规划立体匹配算法 [J]. 控制与决策, 2007 22(1): 69- 72

[7] 张浩峰,赵春霞. 一种利用动态规划和左右一致性的立体匹配算法 [J]. 中国图像形学报, 2008 13(4): 756- 760

[8] 夏永泉. 计算机视觉中双目匹配相关技术研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2007 29- 35

[9] 徐岩,范剑英,王洋. 基于结构光深度图像获取装置的研究 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2004 9(3): 38- 40

[10] SCHARSTEIN D, SZELEISKI R. A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-frame Stereo Correspondence Algorithms [J]. Int J of Computer Vision, 2002 47(1): 7- 42

[11] NTILLE S S, BOBCK A F. Disparity-space Images and Large Occlusion Stereo [J]. Proceedings of the Third European Conference on Computer Vision, Sweden 1994(2): 179- 186

(编辑: 温泽宇)