

文章编号: 1001-0920(2003)05-0633-04

基于直线间结构信息的立体视觉图像动态匹配方法

崔巍, 强文义, 陈兴林

(哈尔滨工业大学 控制科学与工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 针对立体视觉匹配问题, 介绍一种改进的动态规划图像匹配方法, 它将边缘直线相似测度分为局部相似测度和全局相似测度, 在后者中加入图像边缘直线之间的结构关系信息, 并在动态搜索最优匹配路径的过程中利用结构关系约束删除不合理的匹配路径。仿真实验结果证明, 采用该方法解决立体视觉中边缘线段的匹配问题, 不仅提高了匹配的准确率, 而且大大减少了匹配时间。

关键词: 立体视觉匹配; 全局相似测度; 动态规划匹配

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

Image dynamic matching for stereo vision based on structural information between lines

CU I W ei, Q I A N G W en-yi, C H E N X ing-lin

(Department of Control Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: The stereo correspondence problem is the problem of matching two images of the same scene from different viewing positions. A dynamic programming approach is used to solve the correspondence problem in stereo vision. The similarity measure between the straight lines in left and right image is divided into local similarity measure (LSM) and global similarity measure (GSM). The structural information is added to GSM. Some rules based on the structural network of each image are used to eliminate the incorrect matching between edge lines of left image and right image. The simulation result shows that the image matching achieves a high success rate and needs less time when improved dynamic programming is used for stereo matching.

Key words: Stereo correspondence; Global similarity measure; Dynamic programming matching

1 引言

利用立体视觉分析的方法恢复景物的三维信息, 是计算机视觉理论实际应用的一个重要方面。其中, 立体匹配是最重要也是难度最大的环节。在过去的十几年中, 出现了许多立体匹配的新方法^[1], 其中动态规划匹配法已被证明是一种简单、高效的立体匹配方法。其核心思想是从左右两幅图像中提取出图像边缘直线特征, 将这些特征按照一定的排序分别构成一个二维相似测度图像的 X 轴和 Y 轴, 其上

一点坐标 (i, j) 处的值代表横轴的第 i 个特征值与纵轴的第 j 个特征值之间的相似测度。若满足直线特征排序在左右两幅图像中保持不变的条件, 则可将立体匹配问题看作是在二维相似测度图像上搜索一条最优匹配路径的过程。然而, 一些相对应的直线特征在两幅图像上的次序可能因为某种原因而改变。如果采用原动态规划匹配法进行立体直线的匹配, 这些发生变异的特征直线就会导致错误的匹配结果。

收稿日期: 2002-05-27; 修回日期: 2003-01-23。

作者简介: 崔巍(1975—), 男, 吉林省吉林市人, 博士生, 从事计算机视觉、模式识别等研究; 强文义(1937—), 男, 江苏无锡人, 教授, 博士生导师, 从事智能机器人、智能控制等研究。

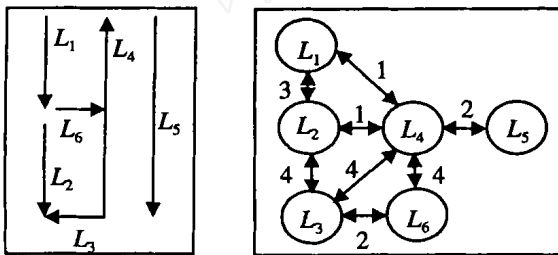
本文介绍一种改进的动态规划匹配方法。它将直线特征的相似测度分为局部相似测度和全局相似测度,在后者中加入直线特征之间的结构关系信息,并在动态搜索最优匹配路径过程中利用结构关系约束删除不合理的匹配路径。仿真结果证明,采用该方法解决立体视觉中边缘线段的匹配问题,不仅提高了匹配的准确率,而且大大减少了匹配时间。

2 算法的前期工作

2.1 提取特征直线间的结构关系信息

图像的边缘直线包含两种原始结构信息:一种是直线本身固有的长度、方向、位置、边缘强度和左右区域亮度值等特征,它们是低层次信息,受外界干扰时误差较大,抗噪声的能力较弱;另一种是边缘直线之间的几何结构关系信息,它是将直线间的相对位置、相互连接关系等信息进行有机组合,形成完整的结构表达,因此这种信息的抗干扰性很强。

本文用一种边缘直线结构网络图直观体现一幅图像边缘直线间的结构信息。匹配时,一幅图像中某一直线所拥有的相对结构关系,一定可在另一幅图像中找到相对应的结构关系,通过对两幅图像匹配直线相对结构关系的比较,判断出匹配的合理性。



(a) 局部图像边缘直线 (b) 局部结构网络

图 1 局部图像边缘直线及其结构网络

图 1 是包括 6 条直线的局部图像边缘直线和它的结构网络,图中 1, 2, 3, 4 分别表示左侧、右侧、共线及共同交点关系。

2.2 直线水平内极线约束和局部相似测度

本文的应用对象是左右两台平行放置的 CCD 摄像机,构成平行立体视系统。这里采用水平内极线约束,对于左侧图像中的直线 l_i ,在右侧图像中所有满足水平内极线约束的直线 r_j 都是 l_i 的候选匹配直线, (l_i, r_j) 成为候选匹配对^[2]。

水平内极线约束只给出了对应直线的候选范围,因而还需用直线间的相似测度函数找到唯一匹配。先给出匹配直线的局部相似测度函数,它由直线的中点位置相似测度、长度相似测度、角度相似测度组成。

1) (l_i, r_j) 中点位置相似测度

$$PSM(l_i, r_j) = \max \left[1 - \frac{\sqrt{\Delta x_{ij}^2 + \Delta y_{ij}^2}}{N}, 0 \right] \quad (1)$$

其中: $\Delta x_{ij} = |x(l_i) - x(r_j)|$ 和 $\Delta y_{ij} = |y(l_i) - y(r_j)|$ 分别为待匹配直线 l_i 与 r_j 中点横、纵坐标的差值; $\sqrt{\Delta x_{ij}^2 + \Delta y_{ij}^2}$ 为直线 l_i 与 r_j 中点坐标的距离; $N \times N$ 为图像的分辨率。

2) (l_i, r_j) 长度相似测度

$$LnSM(l_i, r_j) = 1 - \frac{|\text{len}(l_i) - \text{len}(r_j)|}{\max[\text{len}(l_i), \text{len}(r_j)]} = 1 - \frac{\max[\text{len}(l_i), \text{len}(r_j)] - \min[\text{len}(l_i), \text{len}(r_j)]}{\max[\text{len}(l_i), \text{len}(r_j)]} = \frac{\min[\text{len}(l_i), \text{len}(r_j)]}{\max[\text{len}(l_i), \text{len}(r_j)]} \quad (2)$$

其中 $\text{len}(l_i)$ 和 $\text{len}(r_j)$ 分别是直线 l_i, r_j 的长度。

3) (l_i, r_j) 角度相似测度

$$OSM(l_i, r_j) = \max \left[1 - \frac{|\theta_i - \theta_j|}{\pi/8}, 0 \right] \quad (3)$$

其中 θ_i 和 θ_j 分别为 l_i 和 r_j 的水平倾角。

综合以上 3 种相似测度,给出 l_i 与 r_j 的局域相似测度函数

$$LSM(l_i, r_j) = \frac{\omega A + \omega B + \omega C}{3} \quad (4)$$

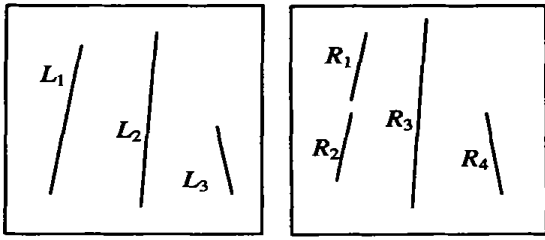
其中: $A = PSM(l_i, r_j), B = LnSM(L_i, r_j), C = OSM(l_i, r_j), \omega = \omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = 1, \omega_i$ 为各相似测度的权值。

局部相似测度体现的是待匹配图像边缘直线间的第 1 种结构信息的相似程度,下面介绍体现第 2 种结构信息相似程度的全局(结构)相似测度。

3 改进动态规划匹配算法的实现

3.1 建立全局(结构)相似测度函数

图 2 为左右图像的局部边缘直线,图 3 为相应的简单的多层路径匹配。实际上,路径匹配比这幅图复杂得多。每条匹配路径都由 Start 起始,到 End 结束。例如,其中一条匹配路径 Start $SM_{1,1}$ $SM_{2,2}$ $SM_{3,4}$ End 对应的匹配为图 2 中的 (l_1, r_1) (l_2, r_2) (l_3, r_4) 。最左边的 $SM_{i,0}$ 表示左侧图像中的直线 l_i 在右侧图像中未找到相应的匹配直线;每个节点代表左图中一条直线与右图中一条直线的匹配相似测度,其值用 $SM_{i,j}$ 表示。本文的目的是要在 G_{nh} 上搜索一条最优匹配路径 $P_{optimal}$,得到最大的相似测度累积值,即各匹配对的相似测度之和最大。在直线局部相似测度的基础上,将 $SM_{i,j}$ 中加入全局



(a) 左边缘直线 (b) 右边缘直线
图 2 左右图像的局部边缘直线

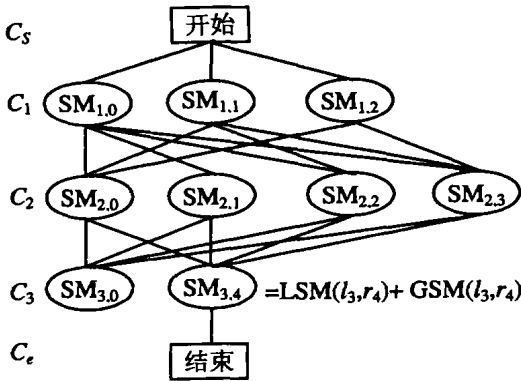


图 3 根据图 2 建立的多层路径匹配 G_{nh}

(结构) 相似测度函数 $GSM(l_i, r_j)$, 其定义如下

$$GSM(l_i, r_j) = \frac{1}{k} \max_{p=1}^k \left\{ 1 - \frac{|m\theta(L_p, l_i) - m\theta(R_p, r_j)|}{\pi/32}, 0 \right\} + \frac{1}{2k} \max_{p=1}^k \left\{ 1 - \frac{|m\varphi(L_p, l_i) - m\varphi(R_p, r_j)|}{\pi/32}, 0 \right\} + \frac{1}{2k} \max_{p=1}^k \left\{ 1 - \frac{|m\varphi(R_p, r_j) - m\varphi(L_p, l_i)|}{\pi/32}, 0 \right\} \quad (5)$$

其中: k 为已经匹配的直线数目; L_p 与 R_p 为已经匹配的一对直线; $m\theta(L_p, l_i), m\theta(R_p, r_j)$ 分别为 L_p 与 l_i, R_p 与 r_j 中点之间的水平夹角; $m\varphi(L_p, l_i), m\varphi(R_p, r_j)$ 分别为 L_p 与 l_i, R_p 与 r_j 中点之间的垂直夹角. 图 4 为全局(结构)相似测度的示意.

全局(结构)相似测度函数 $GSM(l_i, r_j)$ 定量地

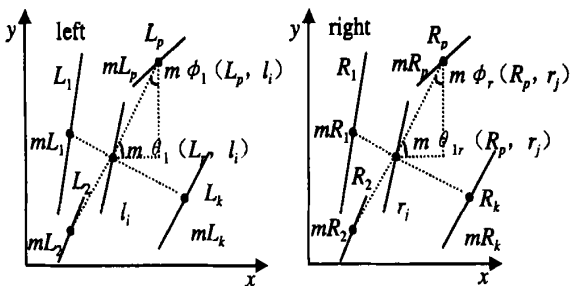


图 4 全局(结构)相似测度

反映了待匹配直线与已匹配直线之间的结构关系.

3.2 G_{nh} 中加入局部结构约束的最优匹配路径动态搜索

文献[3]运用一个累积相似测度函数(A SM)搜索最优匹配的路径,当 A SM 达到最大值时对应的匹配路径为最佳. A SM 的定义为

$$ASM(l_i, r_j) = \max_{\forall SM_{i-1,p}} [ASM(l_{i-1}, r_p)] + GSM(l_i, r_j) \quad (6)$$

本文根据式(6)原理来搜索图像多层路径匹配 G_{nh} 中的最优匹配路径,但是加入图像边缘直线间结构信息后发现, G_{nh} 有许多匹配路径,相邻两层匹配对之间并不满足原图像的结构关系.例如图 3 中,考察 $SM_{1,1}$ 与 $SM_{2,2}$ 之间的匹配路径,图 2 中 R_1 和 R_2 两条直线为共线的关系,而 L_1 和 L_2 两条直线却为左右的关系,将 L_1 与 R_1, L_2 与 R_2 匹配在一起是不符合原图像结构关系的.针对这种情况,根据本文的直线局部结构网络,提出了最优匹配路径搜索中需要遵守的直线局部结构约束规则.

考虑两个匹配边缘直线对 L_i/R_a 和 L_j/R_b , 这两个匹配对建立在满足水平内极线约束的基础上, L_i 和 L_j 是左侧图像中的边缘直线, R_a 和 R_b 是右侧图像中的边缘直线. 令 $m_{ia} = L_i/R_a, m_{jb} = L_j/R_b$

约束 1(共线性): m_{ia} is compatible with m_{jb} if:

(($i = j$) and ($a = b$) and (R_a 与 R_b 共线)) 或 (($i = j$) and ($a = b$) and (L_i 与 L_j 共线)) 或 (($i = j$) and ($a = b$) and (L_i 与 L_j 共线) and (R_a 与 R_b 共线))

约束 2(连接性): m_{ia} is compatible with m_{jb} if:

(($i = j$) and ($a = b$) and (L_i 与 L_j 拥有共同交点) and (R_a 与 R_b 拥有共同交点))

约束 3(相对位置): m_{ia} is compatible with m_{jb} if:

(($i = j$) and ($a = b$) and ((L_i 在 L_j 左侧) and (R_a 在 R_b 左侧) 或 (L_i 在 L_j 右侧) and (R_a 在 R_b 右侧)))

约束 4(不合理): m_{ia} is incompatible with m_{jb} if and only if:

L_i 与 L_j 在局部直线结构网络中呈现一种结构关系,而 R_a 与 R_b 在局部直线结构网络中呈现另外一种结构关系.

约束 1 反映了空间中两条共线的直线在左侧和右侧图像中所呈现的像保持共线关系; 约束 2 反映了空间中多条相交直线在左侧和右侧图像中所呈现的像保持相交的关系; 约束 3 将匹配过程与图像结构网络中边缘直线和与其相邻的左右两边直线的相对位置关系紧密地联系起来。

以上约束反映了图像结构的 3 种关系, 即共线性、连接性和左右相对位置不变性。

在 G_{nh} 中搜索最优匹配路径时, 结合直线局部结构网络, 利用上述 4 个直线局部结构约束来检验多层路径匹配 G_{nh} 中 $C_i \sim C_{i+1}$ 层匹配的合理性, 删除不合理的匹配路径。

4 实验结果

与原算法相比, 改进的动态规划匹配算法在图像边缘直线的局部相似测度基础上, 加入全局相似测度的概念, 使得边缘直线的匹配更加依赖于直线间的结构关系信息。这种信息具备稳定、抗干扰能力强的特点, 提高了匹配准确率, 并使得由断线造成的错误匹配现象大大减少, 而且在动态搜索最优匹配路径的过程中, 利用局部结构关系约束删除不合理的匹配路径, 减少了不必要的时间开销, 提高了视觉系统实时处理图像的能力。

图 5 给出了边缘直线基于实际室内场景的仿真匹配结果, 图像分辨率为 795(H) × 596(V)。表 1 为两种算法的性能参数对比。可以看出, 由于大量运用了图像边缘直线之间的结构信息, 改进的动态规划匹配算法较原算法在匹配准确率上有了较大的提高, 时间消耗减少了一半。

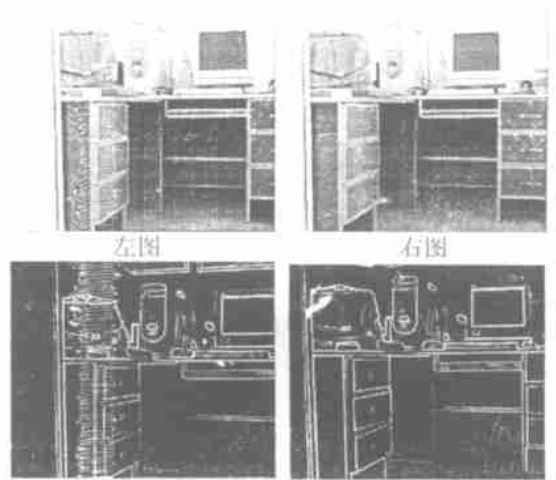


图 5 平行立体视觉系统利用改进动态规划匹配算法的仿真匹配结果

表 1 匹配算法仿真结果对比 ($L = 120, R = 125$)

	Original method	Improved method
Total matched	116	113
Correct matched	98	107
Discover rate/%	89.1	97.3
Success rate/%	84.8	94.7
Time/s	0.2	0.08

注: 人工匹配直线对 = 110。

参考文献 (References):

- [1] Torkar D. 3-D building reconstruction from aerial stereo images (in slovene) Master's thesis [R]. University of Ljubljana, 1995
- [2] 高文, 陈熙霖. 计算机视觉 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999
- [3] Lee S H, Leou J J. A dynamic programming approach to line segment matching in stereo vision [J]. *Pattern Recognition*, 1994, 27(8): 961-986

(上接第 629 页)

参考文献 (References):

- [1] 吴重光. 仿真技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 117-160
- [2] 何新贵. 特种数据库技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 81-113
- [3] 华建新, 王贞祥. 全连续式冷连轧机过程控制 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000: 1-16, 30-97
- [4] 崔建江, 吴胜昔, 袁枫华, 等. 仿真技术在冷连轧系统的应用及发展 [J]. *系统仿真学报*, 2001, 13(1): 86-88
(Cui J J, Wu S X, Yuan F H, et al. Application and development of simulation technology in cold continuous rolling mill [J]. *J of System Simulation*, 2001, 13(1): 86-88)

- [5] 吴胜昔, 袁枫华, 徐心和. 轧制过程动态仿真数据库系统的设计与实现 [J]. *系统仿真学报*, 2001, 13(6): 823-826
(Wu S X, Yuan F H, Xu X H. The design and realization of database system for rolling process dynamic simulation [J]. *J of System Simulation*, 2001, 13(6): 823-826)
- [6] Philippe A, Marc D, Philippe R. Using active database mechanisms to build cooperative application [J]. *Trans of the SDPS*, 1999, 3(1): 1-14
- [7] Younghun Kim. A generalized active agent system for extending the active capabilities of a RDBMS [D]. Gainesville: University of Florida, 2000