

文章编号:1001-9081(2006)08-1873-03

基于对应点匹配的物体深度信息测量

范秋凤^{1,2}, 杨国胜¹, 马晓燕¹, 王应军¹

(1. 河南大学 先进控制与智能信息处理研究所, 河南 开封 475001;

2. 安阳工学院 电子信息与电气工程系, 河南 安阳 455000)

(fqf_god@eyou.com)

摘 要:提出了一种基于对应点匹配的物体深度信息测量方法。首先给出了物理图像坐标系与像素坐标系之间的关系;其次,借助于相关法计算两幅图像中目标的相似度,以实现同一目标在不同成像中的匹配;然后从目标几何形状的点出发,结合对应点的外极线约束条件,提出一种有效的对应点匹配算法,并利用对应点的视差计算基于光轴平行的双摄像机成像的目标深度信息。计算机仿真结果验证了算法的有效性。

关键词:立体视觉;图像匹配;相关法;视差;外极线约束

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

Depth measurement of the object based on the corresponding points matching

FAN Qiu-feng^{1,2}, YANG Guo-sheng¹, MA Xiao-yan¹, WANG Ying-jun¹

(1. Institute of Advanced Control and Intelligent Information Processing, Henan University, Kaifeng Henan 475001, China;

2. Department of Electronic Information and Electrical Engineering, Anyang Institute of Technology, Anyang Henan 455000, China)

Abstract: A method for measuring the depth of an object was proposed based on the corresponding points matching. Firstly, the transform relation between physics image coordinate system and pixel coordinate system was presented. Secondly, the matching of the same object in two different images was achieved by use of the similarity calculated through the correlation algorithm of two images. Thirdly, from the viewpoint of the corner of the object, a method for matching the corresponding points was presented based on the epipolar restriction of corresponding points. By making use of the disparity of corresponding points, the depth information was computed based on the images that were obtained from the parallel dual cameras. Simulation results demonstrate the effectiveness of this algorithm.

Key words: stereo vision; image matching; correlation; disparity; epipolar restriction

0 引言

人类通过正常的双眼能够获得判断物体深度的感觉。外界物体成像在双眼的视网膜上,而且同一物体在左右眼视网膜上的成像存在微小的差异,即视差^[1],也正是这种微小的差异,为人们获取目标距离提供了最基本的信息。

立体视觉指运用两个或多个 CCD 对同一景物从不同位置进行成像,并根据成像视差确定物体深度信息^[2]。解决立体视觉的关键问题是在两个或多个 CCD 对同一景物所成的图像中寻找对应点,即要解决一个匹配问题。如果对对应点用亮度定义,则由于 CCD 所处的观测位置不同,导致目标上同一点在不同 CCD 成像上的对应点亮度不同;如果对对应点用几何形状定义,则物体几何形状本身就是所需求取的。本文正是基于这种思想,从目标几何形状的点出发,力图寻找一种有效的对应点匹配算法,以达到确定物体深度信息的目的。

1 基于双 CCD 成像的目标深度信息

1.1 目标深度信息

当两个 CCD 参数(摄像机的焦距 f)相同且光轴(O_1C_1 和

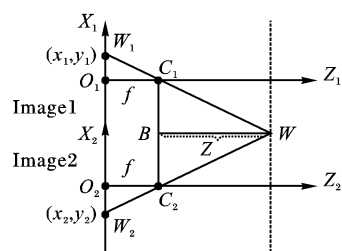


图1 光轴平等双目成像

O_2C_2) 平行时,成像示意图如图1所示^[3]。图1中两个镜头中心 C_1 和 C_2 间的连线称为系统的基线 B ,空间任一点 W 在左右摄像机像平面上的投影点分别为 W_1 和 W_2 。分别以左右摄像机对应的像平面中心为坐标原点建立 $X_1O_1Z_1$ 和 $X_2O_2Z_2$ 坐标系,并设在此图像物理坐标系下两个投影点 W_1 和 W_2 可分别表示为 $W_1(x_1, y_1)$ 和 $W_2(x_2, y_2)$,则点 W 到摄像机的距离(即物体到两个摄像机中心连线的距离) Z 可表示为:

$$Z = \frac{fB}{x_2 - x_1} = \frac{fB}{D} \quad (1)$$

式中 $D = x_2 - x_1$ 表示视差。

1.2 坐标变换

摄像机获得的连续图像经过采样、量化和编码后,转化成数字图像,以二维数组(M 行, N 列)的形式存放在计算机里。数组中的每一个元素对应图像中的一个像素,共有 $M \times N$ 个

收稿日期:2006-03-06;修订日期:2006-05-12

基金项目:河南省科委自然科学基金资助项目(0523020600);河南省高校杰出科研人才创新工程资助项目(2005KYCX012)

作者简介:范秋凤(1978-),女,河南安阳人,硕士研究生,主要研究方向:图像处理 and 模式识别; 杨国胜(1963-),男,河南济源人,教授,博士,CCF会员,主要研究方向:多传感器多目标数据融合技术、目标识别、图像处理技术和机器人控制; 马晓燕(1980-),女,河南郑州人,硕士研究生,主要研究方向:图像处理和模式识别; 王应军(1979-),男,河南禹州人,硕士研究生,主要研究方向:图像处理技术。

像素。定义屏幕的左上角为坐标原点 O_0 , 建立如图2所示的以像素为单位的图像坐标系 UO_0V_0 。在这一坐标系下, 每一像素的坐标 (u, v) ($1 \leq u \leq N, 1 \leq v \leq M$) 和这一像素在物理图像坐标系的坐标 (x_i, z_i) ($i = 1, 2$) 可表示为^[4]:

$$u = \frac{x_i}{d_x} + u_0 \quad (2)$$

$$v = \frac{z_i}{d_z} + v_0 \quad (3)$$

式中 (u_0, v_0) 为物理图像坐标原点 O_1 或 O_2 在像素坐标系下的坐标, d_x 和 d_z 分别表示每一像素在 X_i 轴和 Z_i 轴方向上的物理单位。

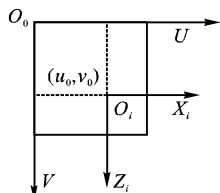


图2 图像坐标变换

2 目标匹配

测量物体深度的关键问题是求解视差, 即求解同一物体上的同一点在两个像平面中的位置偏移量。因此, 求解视差可分解成两步: 1) 在同一场景的不同成像中确定同一物体, 即图像匹配; 2) 在不同图像对应的同一物体上确定对应点, 即对应点匹配。

图像匹配主要涉及相似性度量问题。归一化积相关是一种典型的基于灰度相关的算法, 具有不受比例因子误差的影响, 抗白噪声干扰能力强等优点而被广泛采用。因此, 本文采用这一方法。设参考图像 X_{ij} 的大小为 $m \times n$, 输入图像 Y_{ij} 的大小为 $M \times N$, 其中 $M > m, N > n$, $Y(a, b)_{ij}$ 表示输入图像以 (a, b) 为中心, 与参考图大小相等, 对应 (i, j) 位置的像素灰度, 则参考图像和输入图像的相似性可用如下的相似性公式度量^[5]:

$$R(a, b) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij} Y(a, b)_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Y^2(a, b)_{ij}}} \quad (4)$$

比较参考图像和输入图像在各个位置的相关系数, 如果相关值大于一定的阈值, 则认为两幅图像中的目标是同一目标。否则, 认为是非同一目标。

3 对应点匹配

3.1 对应点的选取

空间同一物点在两个摄像机中的成像点称为对应点。立体匹配的本质就是给定一幅图像中的一点, 寻求另一幅图像中的对应点, 使得这两点为空间同一物体点的投影^[6,7]。为了便于对应点匹配, 通常选取特征点作为对应点。最常用的特征点是图像中的边缘点、角点等灰度不连续点^[4]。本文采用改进的面积比角点检测方法提取目标几何形状的角点, 作为一种有效对应点的特征点^[8]。

从不同角度获取的同一场景的两幅图像同时进行二值化, 把物体上的标签作为目标, 物体本身作为背景。在目标边界上任意选取以点 i 为中心的 9×9 的网格化邻域。邻域内目标所占的面积等于邻域内目标各个像素点所在网格的面积之和。边界上 i 点对应的面积比 ρ_i ($i \in n, n$ 是边界上点的总数) 等于其邻域内目标所占的面积与邻域的总面积之比。求出边界点的面积比之后, 选取一定的阈值 (本实验取 $T1 = 0.35$, $T2 = 0.65$), 面积比小于 $T1$ 或大于 $T2$ 的点作为候选角点。以候选角点为中心, 5 个像素为半径取一个邻域。角点是候选角点处的面积比与其邻域内其他任一点相比较为局部最大

(当角点角度大于 180° 时) 或局部最小 (当角点角度小于 180° 时) 所对应的角点^[8]。

3.2 对应点的约束条件和对应点匹配

对于两幅从不同角度获取的同一场景的图像来说, 传统的特征点搜索方法是在一幅图像上选择一个特征点, 然后在第二幅图像上搜索对应的特征点。这种匹配方法计算量大, 速度慢。如果对应点满足一定的约束条件的, 匹配时加入约束条件, 则可加快对应点的匹配速度。

唯一性约束: 一幅图像 (左或右) 上的每一个特征点最多只能与另一幅图像上的一个特征点对应^[1]。

外极线约束: 图3为外极线的几何示意图。基线与象平面 I_l 的交点 e_l 称为象平面 I_l 的外极点。基线与象平面 I_r 的交点 e_r 称为象平面 I_r 的外极点。设空间中有一点 P , 在 I_l 上的投影为 P_l , 在 I_r 上的投影为 P_r 。将由点 P 和基线所确定的平面称为外极平面, 外极平面与象平面 I_l 的交线 $P_l e_l$ 称为极点 e_l 的外极线, 外极平面与象平面 I_r 的交线 $P_r e_r$ 称为极点 e_r 的外极线^[2]。象平面 I_l 上点 P_l 在象平面 I_r 上的对应点一定位于极点 e_r 的外极线上^[9]。这一约束为外极线约束。

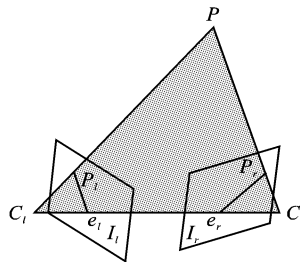


图3 外极线几何示意图

目标中的角点可能不只一个, 根据唯一性约束, 左图中的一个角点只能与右图中唯一的一个角点相对应。并且根据外极线约束原理, 左图中的角点一定位于右图中上对应的极线上。因此, 只要求得外极线, 则在外极线上而不是在二维图像平面上求解对应点, 这是一个一维搜索问题。尤其是当两个摄像机的光轴平行且位于同一水平高度的情况下, 两条外极线与水平轴平行且位于同一水平高度, 即两幅图像中的对应点位于同一水平线上, 其垂直坐标相同, 即在像素坐标系下只有像素坐标 u 不同。因此两幅图像上处于同一水平坐标下的两个角点为对应点。如果在一幅图像上的某一水平线上有多个角点, 根据特征点之间的位置相对不变性^[10] 仍可以实现对应点匹配。

3.3 计算视差

设物点 W 在像素坐标系下的两个投影点 W_1 和 W_2 可分别表示为 $W_1(u_l, v_l)$ 和 $W_2(u_r, v_r)$, 则对于光轴平行的两个摄像机来讲, 视差只与像素坐标 u_l 和 u_r 有关。根据式(2)和(3)可知, 像素坐标 u_l 和 u_r 与物理坐标 x_1 和 x_2 之间的关系可表示为:

$$x_1 = (u_l - u_0) \times d_x \quad (5)$$

$$x_2 = (u_r - u_0) \times d_x \quad (6)$$

由(5)和(6)可得视差的计算公式为:

$$D = x_1 - x_2 = (u_l - u_r) \times d_x \quad (7)$$

将式(7)代入式(1)即可求得物体的深度信息。

4 实验仿真

为了验证本文算法的有效性, 拍摄实际物体进行仿真。实验中用的 CCD 是 Sony DSC-S75 型数码相机, 成像平面是 $7.18\text{mm} \times 5.32\text{mm}$ ^[11], 分辨率是 2048×1536 , 由此可以推算

出 $d_x = 7.18/2048 = 0.0035\text{mm}$ 。拍摄物体为放在实验室电脑桌上的标有标签的棕色药瓶,棕色药瓶到相机前端距离是 337mm ,背景为白色墙壁,拍摄的图像如图4的(a)所示。固定相机焦距 $f = 9.3\text{mm}$ 不变,保持光轴平行使相机水平移动 123mm (即 $B = 123\text{mm}$),再拍一幅图像,如图4的(b)图所示。



图4 相机水平移动前后得到的两幅原始图像

提取目标物体的角点 P_{1l} 和 P_{2l} ,如图5(a)所示;匹配的对应角点为 P_{1r} 和 P_{2r} ,如图5(b)所示。借助于图像处理技术,求得的 P_{1l} 、 P_{2l} 、 P_{1r} 和 P_{2r} 像素坐标分别为 $P_{1l}(1675,475)$ 、 $P_{2l}(1673,801)$ 、 $P_{1r}(790,475)$ 和 $P_{2r}(790,801)$ 。

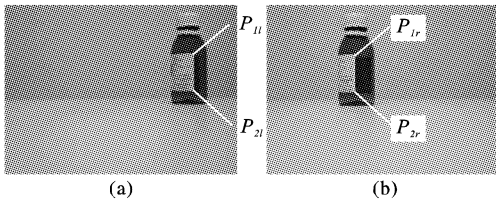


图5 匹配的对应角点 P_1, P_2

根据式(1)和(7),物体上的点 P_1 和 P_2 到摄像机的距离分别为:

$$Z_1 = \frac{fB}{d}$$

$$= \frac{fB}{(u_{1l} - u_{1r}) \times d_x}$$

$$= \frac{9.3 \times 123}{(1675 - 790) \times 0.0035}$$

$$= 369.30\text{mm} \quad (8)$$

$$Z_2 = \frac{fB}{d}$$

$$= \frac{fB}{(u_{2l} - u_{2r}) \times d_x}$$

$$= \frac{9.3 \times 123}{(1673 - 790) \times 0.0035}$$

$$= 370.13\text{mm} \quad (9)$$

式(8)和(9)所示的求解结果是否正确,有待于和实际测量值进行比较。但是,在实际中比较容易测量的是物体到摄像机镜头前端的距离。因此,为验证式(8)和(9)所示的求解结果是否正确,有必要确立物体到摄像机光心的距离和物体到摄像机镜头前端的距离之间的关系。

假设 CCD 中心到 CCD 镜头前端的距离为 ΔL ,物体到摄像机镜头前端的距离为 L ,如图6所示。

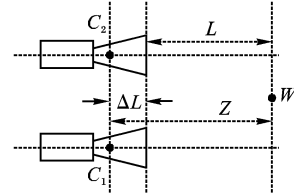


图6 由物体到摄像机光心距离与镜头的距离关系

$$\Delta L = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (Z_j - L_j) \quad (10)$$

式中, N 代表测量次数, Z_j 和 L_j 分别表示第 j 次物体到摄像机光心和物体到摄像机镜头前端的距离测量值。

不改变相机的焦距对物体进行多次拍摄,测量数据及结果如表1所示。

表1 测量数据及计算结果

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
基线 B	117	62.5	85.5	79	84	52.5	67	94	69	88
P_{1l} 坐标 (u, v)	(1518, 436)	(1295, 451)	(1436, 462)	(1300, 478)	(1246, 489)	(1281, 505)	(1151, 509)	(1295, 517)	(1330, 526)	(1191, 542)
P_{1r} 坐标 (u, v)	(520, 436)	(797, 451)	(794, 462)	(726, 478)	(681, 489)	(944, 505)	(730, 509)	(740, 517)	(934, 526)	(736, 542)
计算值 Z/mm	310.99	332.92	353.28	365.09	394.38	413.25	422.16	449.29	462.21	513.05
测量值 L/mm	290	310	330	350	370	390	410	430	450	490
$\Delta L/\text{mm}$	19.66									

根据式(8)和(9)以及表1提供的数据,可求得图5中所拍摄的物体到相机前端距离是 $369.30 - 19.66 = 349.64\text{mm}$,而物体到相机前端距离的实际测量值是 337mm 。计算值与测量值之间的相对误差为 $(349.64 - 337)/337 = 3.75\%$,可以满足一般工程测量要求。而且,完全可以通过增大基线 B 来提高这一精度。

5 结语

本文从目标几何形状的角点出发,结合对应点的外极线约束条件,提出一种有效的对应点匹配算法,并利用对应点的视差计算基于平行双 CCD 成像的目标深度信息。实验仿真验证了该算法的有效性。因此,该方法可直接用于平行双目系统中物体深度信息的求取。

参考文献:

- [1] 贾云得. 机器视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [2] 高文, 陈熙霖. 计算机视觉——算法与系统原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.

- [3] 章毓晋. 图像工程(下册)——图像理解与计算机视觉[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [4] 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.
- [5] 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, 40(19): 42-44.
- [6] 郝晓辰, 刘爽, 张强, 等. 双目立体视觉测量模型与同名点匹配研究[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(8): 11-13.
- [7] 胡明昊, 任明武, 杨静宇. 一种快速实用的特征点匹配算法[J]. 计算机工程, 2004, 30(9): 31-33.
- [8] 范秋凤, 杨国胜, 王应军, 等. Freeman 链码角点和面积比角点检测的比较研究[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(29): 55-57.
- [9] Ghlita O, Mallon J, Whelan PF. Epipolar line extraction using feature matching[A]. Proceeding of the Irish Machine Vision & Image Processing (IMVIP) [C]. 2001. 87-97.
- [10] 陈清今, 邓中亮, 黄明吉. 图像的同名点的匹配算法[J]. 北京邮电大学学报, 2002, 25(4): 65-69.
- [11] 老田. 数码相机的“胶卷”(续)[J]. 电气评价, 2003, (9): 38-41.