

基于计算机视觉的远距离动态前景测距方法

周华强 胡广平

(中原工学院, 郑州 450007, 河南工程学院, 郑州 451191)

摘要 针对当前测距算法标定步骤复杂、图像匹配困难和不准确的问题,提出了一种远距离动态前景测距的方法,系统中由两个摄像头负责采集实时环境图像,利用前景检测算法检测出实时图像中的目标物,根据透视投影模型通过测量两个摄像头之间的距离、标定板与摄像头之间的距离、标定板自身的宽度和高度等数据,计算出目标物在标定板上映射点的三维坐标;再根据两个摄像头坐标,得到空间两条直线的方程,则两直线的交点就是目标物的物理坐标;最后利用欧氏距离公式,计算出目标物距离摄像头的距离。通过实验可知,在目标距离小于3 000 m时,两种方法测量误差均小于3%;当目标距离大于3 000 m时,计算机视觉动态前景测距和传统测距方法的测得的数据平均误差分别为2.90%和25.50%,计算机视觉动态前景测距方法表现出更高的精度。

关键词 计算机视觉 测距 动态前景 标定板

中图分类号 TP751.1; **文献标志码** A

物体在空间三维中的场景被投影为二维图像时,在不同视点的图像会有较大的区别,而且场景中的光照条件、物体几何形状、物理特性、噪声干扰和畸变以及摄像机特性等,都被综合成单一的图像中的灰度值,要完全准确地对图像进行匹配是十分困难的^[1-3]。事实上对于一个移动的物体,不必对图像上的特征点进行一一匹配,而可通过前景检测算法找出目标物。目标物是一个整体,在精度要求不高的情况下可利用目标物的形心与摄像头的距离代替整个目标物与摄像头的距离^[4]。故提出了一种用于动态场景的测距实现方法,通过两个摄像头采集实时图像,再通过前景检测算法检测出目标物在图像中所在的位置,分别计算其在左右摄像头成像平面内的形心位置,测量出两个摄像头之间的距离,标定板与摄像头之间的距离、标定板自身的宽度和高度等数据,利用求空间直线交点的方法近似地求出目标物与摄像头之间的实际距离。实验表明,虽然此方法会损失一定的精度,但是避免了

摄像机标定和特征点匹配的步骤,简化了传统测距方法的步骤,且具有较高的实时性与准确性。

1 空间建模与测量原理

1.1 空间建模

将两个摄像头 Cam_1 和 Cam_2 固定在摄像头支架上,使其镜头主轴线方向保持平行。两个摄像头分别采集当前环境的实时图像,获取目标物的二维坐标,然后再由透视投影模型及摄像头与标定板之间的距离,将目标物在视平面上的二维映射点坐标转换为其在标定板上的三维物理坐标,将其分别与两个摄像头连接,得到空间中的两条直线,而这两条直线的交点就是目标物在空间中的位置坐标,利用此坐标,可以计算出目标物距离摄像头的实际距离。基本的透视投影模型主要由视点 E 和视平面 V 两部分构成,如图1所示。

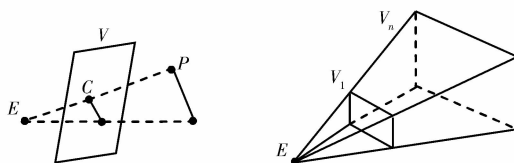


图1 基本透视投影模型与锥体透视模型

视点位置可以看作是摄像头所放置的位置,视

2013年7月19日收到,8月2日修改

国家自然科学基金项目

(71173248)资助

第一作者简介:周华强(1979—),男,汉族,讲师,硕士。研究方向:计算机视觉与图像处理。E-mail:zhouhq79@126.com。

平面可以认为是摄像头的成像平面,对于现实世界中的任意一点 P 与视点 E 的连线交视平面 V 于点 C , C 为投影透视结果,也就是其在成像平面上的一个成像点。基本的透视模型对视平面 V 的大小是没有限制的,但是实际上 V 总是被限定为一个矩形平面内,透视结果位于 V 之外的部分将被裁减。这样视点 E 的可视空间退化为一个以 E 为顶点的四棱锥体,该锥体是一个无限区域,视平面 V 为该锥体的一个横切面,显然在此模型下,视平面有无穷多个。在摄像头系统内,摄像头的成像平面就是一个视平面^[5]。

1.2 实现原理

由摄像头的透视投影模型可知,如果引入一个与摄像头成像平面长与宽等比例的标定板 B ,使其置于摄像头的前方,立体坐标系如图 2 所示。

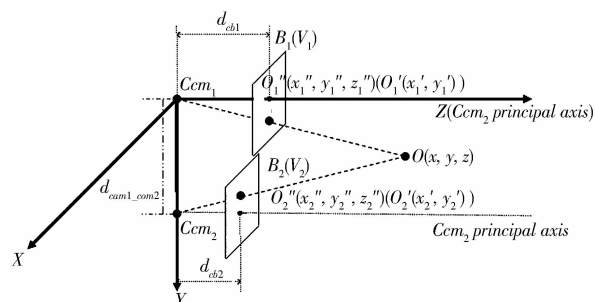


图 2 立体坐标系

沿着主轴线方向移动标定板,在移动过程中始终保持标定板位于摄像头的主轴线上,则必然存在一个距离 d ,使得标定板移动到 d 时与其中的一个视平面完全重合,此时视平面上的点集合与其在标定板上的映射点集合一一对应。假设目标物在 $O(x, y, z)$ 两个摄像头 Cam_1 和 Cam_2 的视界内,则其在摄像头 Cam_1 和 Cam_2 的视平面 V_1 和 V_2 中分别存在一个映射点 $O_1'(x, y)$ 和 $O_2'(x, y)$,由于视平面上的点集和标定板上的点集一一对应,则必然存在 O_1' 和 O_2' 的映射点 $O_1''(x, y)$ 和 $O_2''(x, y)$,此映射点 O_1'' 和 O_2'' 为标定板上映射点的实际物理坐标,而目标物就在摄像头与映射点 O_1'' 和 O_2'' 连线的交点上,目标物 O 的坐标即为这两条线的交点坐标。由于精度的限制及误差的存在,实际求出的两条线可能没有交点,此时,可以通过求两条空间直线公

垂线中点的方法,近似的求出目标物 O 的坐标。最后,利用欧氏距离公式,求出目标物与摄像头的实际距离 d_l 。

2 前景检测算法

前景检测算法的主要任务是在场景序列图像中找到静止不变化的背景区域,从而找到运动的前景区域。前景检测采用的方法一般有光流法、帧差法、背景差法。由于光流法运算公式相当繁琐,计算量又很大,非常不适用实时性要求较强的场合;帧差法前后两帧相减,将足够大的差别标为前景,这种方法往往只能捕捉到目标的边缘;背景差分的基本思想是选取视频图像序列的一帧或提取背景图像作为参考图像,然后将待检测图像与背景参考图像逐像素相减,经过阈值划分的方法得到目标的二值化图像,定义公式如下^[6]:

$$D_n(x, y) = \begin{cases} 1, & |f_n(x, y) - B_n(x, y)| \geq T \\ 0, & |f_n(x, y) - B_n(x, y)| < T \end{cases} \quad (1)$$

背景差分法克服了帧间差分法的缺点,也实现对运动目标进行完整和精确地检测。但是此方法不能自适应环境的变化,需要对背景进行实时的更新。

背景实时更新采用了 Surendra 算法,通过自适应地方法获取目标图像背景,再根据当前帧帧差图像从而找到目标运动的区域,再对运动区域内的背景保持不变,而不是运动区域的背景,再用当前图像帧进行不断替换和更新,经过一段时间后,就提取出了背景图像^[7]。

2.2 像素坐标与物理坐标转换

由于在计算机系统中,摄像头的视平面表现为打开摄像头时在屏幕上所呈现出的一个受限的矩形图像平面,设此图像平面的分辨率为 $M \times N$,选用一个满足下列条件的宽为 W_b 、高为 H_b 的标定板。

$$W_b/H_b = M/N \quad (2)$$

将此标定板的中心始终处于图像平面的中心,前后移动进行调节,直至标定板完全填充整个成像平面为止,此时图像平面上的点与标定板上的映射点一一对应,记下此时标定板中心距离摄像头中心

的距离 d_{cb1} 和 d_{cb2} , 如图 2 所示, 当标定板 B_1 与摄像头 Cam_1 距离为 d_{cb1} 时, 标定板 B_1 和视平面 V_1 全重合; 当标定板 B_2 与摄像头 Cam_2 距离为 d_{cb2} 时, 标定板 B_2 和视平面 V_2 完全重合^[8]。

建立一个空间直角坐标系, 以摄像头 Cam_1 所在的位置为坐标原点 $C_1(0,0,0)$, 假设另一个摄像头 Cam_2 与摄像头 Cam_1 之间的距离为 $d_{cam1-cam2}$, 则摄像头 Cam_2 所在位置坐标 $C_2(0, d_{cam1-cam2}, 0)$ 。由目标物 O 在视平面上的映射点 O' 再次映射到其在标定板 O'' 的过程, 实质上是一个由以像素为单位的二维图像坐标转换为以 mm 为单位的三维物理坐标的过程。以摄像头 Cam_1 为例, 设摄像头拍摄图像的分辨率为 $M \times N$, $O'_1(x'_1, y'_1)$ 为目标物 O 在 Cam_1 视平面上所映射的点, 标定板 B_1 位于摄像头 Cam_1 的主轴线上, 且在距离 d_{cb1} 时, 使标定板完全填充整个成像平面, 由于视平面上的映射点与标定板上的映射点满足一一对应关系, 因此对于一幅分辨率为 $M \times N$ (单位: 像素) 的图像在一个 $W_b \times H_b$ (单位: mm) 的标定板上均存在一个映射点, 在不考虑图像与标定板单位的情况下, 图像中每一点相对于图像中心的 X 和 Y 方向的坐标就是标定板中每一点相对于标定板中心的 X 和 Y 方向的坐标, 而其在标定板上映射点 O' 的 Z 轴坐标由标定板与摄像头之间的距离 d_{cb1} 决定, 则在此坐标轴内, 由图像坐标点 $O'_1(x, y)$ 转换为物理坐标点 $O''_1(x, y, z)$ 的公式如下:

$$\begin{cases} x'' = (x' - x'_c)(W_b/M) \\ y'' = (y' - y'_c)(H_b/N) \\ z'' = d_{cb1} \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中 (x'_c, y'_c) 为成像平面中心坐标。同理, 可以求出目标物 O 在标定板 B_2 上所成的映射点 $O'_2(x, y)$ 所对应的物理坐标 $O''_2(x, y, z)$ 。

有了 C_1 、 C_2 、 O'_1 和 O'_2 这四点的空间坐标, 由空间直线的关系, 可以求得目标物 O 的物理坐标。而事实上, 由于精度的限制及误差的存在, 直线 $C_1O'_1$ 和直线 $C_2O'_2$ 不一定会有交点, 这时可以用这两条直线的公垂线的中点来代替目标点 O ^[9]。

记 C_1 坐标为 (x_a, y_a, z_a) , O'_1 坐标为 (x_b, y_b, z_b) , C_2 坐标为 (x_c, y_c, z_c) , O'_2 坐标为 (x_d, y_d, z_d) ,

则 $C_1O'_1$ 的直线方程为:

$$\frac{x - x_a}{H} = \frac{y - y_a}{I} = \frac{z - z_a}{J} \quad (4)$$

$C_2O'_2$ 的直线方程为:

$$\frac{x - x_c}{K} = \frac{y - y_c}{L} = \frac{z - z_c}{M} \quad (5)$$

式(5)中 $H = x_b - x_a$, $I = y_b - y_a$, $J = z_b - z_a$, $K = x_d - x_c$, $L = y_d - y_c$, $M = z_d - z_c$ 。

由公垂线方向向量方程:

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ H & I & J \\ K & L & M \end{vmatrix} = 0 \quad (6)$$

可以计算出其方向向量为:

$$\left(\begin{vmatrix} I & J \\ L & M \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} J & H \\ M & K \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} H & I \\ K & L \end{vmatrix} \right) \quad (7)$$

该方向向量简记为 (E, F, G) , 将直线 $C_1O'_1$ 和公垂线确定的平面记 β , 则平面 β 的方程为:

$$\begin{vmatrix} x - x_a & y - y_a & z - z_a \\ H & I & J \\ E & F & G \end{vmatrix} = 0 \quad (8)$$

将其改为平面的一般方程即:

$$Nx - Oy + Px + Q = 0 \quad (9)$$

式(9)中, $Q = -x_aN + y_aO - z_aP$;

$$N = HIJ - I^2K - J_2K + HJM;$$

$$O = H^2L - HIK - IJM + J^2M;$$

$$P = HJK - H^2M - I^2M + IJL。$$

设 P 为直线 $C_2O'_2$ 与平面 β 的交点, 则由公式(5)和公式(9)可计算得 P_1 点的坐标为:

$$\begin{cases} x_p = Kk + x_c \\ y_p = Lk + y_c \\ z_p = Mk + z_c \end{cases} \quad (10)$$

$$k = (Oy_c - Nx_c - Pz_c - Q)/(NK - OL + PM)。$$

同理, 可以计算出直线 $C_2O'_2$ 与其公垂线确定的平面的交点 $q(x_q, y_q, z_q)$, 则目标物的 O 物理坐标为: $[(x_p + x_q)/2, (y_p + y_q)/2, (z_p + z_q)/2]$

$$\begin{cases} x_0 = (x_p + x_q)/2 \\ y_0 = (y_p + y_q)/2 \\ z_0 = (z_p + z_q)/2 \end{cases} \quad (11)$$

在计算出目标物在空间中的实际坐标后, 由欧氏

距离公式: $d = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}$, 求出目标物距离高压线的实际距离 d 。

3 实验与分析

计算机视觉测距的关键在于目标物三维坐标的定位,因此仿真实验通过计算目标物在 Z 轴距离方向上的误差来表示算法的误差。首先测量目标物与摄像头之间的实际距离,再由预警系统计算出与摄像头之间的距离,最后计算误差。实验采用主频为 Core i5—3.0 GHz、内存为 4GB 的计算机,计算机视觉测距实验结果如表 1 所示,并将与表 2 数据进行对比。

从表 1 中数据可以看出,对于实验方法,当目标物距离摄像头太近或者太远时,摄像头中的成像太大或者太小,从而造成两个摄像头中采用的匹配像素点一致性误差更大,造成的误差更大。当距离很远时,对于像素尺寸和成像平面大小固定的摄像头来说,目标在像平面上的成像很小,这时会产生较大的误差,在实际的应用中,可以使用两个长焦、广角的摄像头减小此误差。传统测距结果及误差如表 2 所示,并将其与表 1 数据进行对比。

由表 1 和表 2 的数据可得出结论,在目标距离小于 3 000 m 时,采用所提出的计算机视觉测距方法和传统的测距方法误差均小于 3%,说明该系统达到了一定的精度的,满足实际应用需求。当距离大于 3 000 m 时,计算机视觉动态前景测距方法 7 次测得的数据平均误差为 2.90%,传统测

距方法 7 次测得的数据平均误差为 25.50%。实验表明,当距离大于 3 000 m 时,计算机视觉动态前景测距的误差远远小于传统测量方法的误差,但随着距离的增加误差也会慢慢变大。

4 结束语

提出了一种基于计算机视觉的远距离动态前景测距方法,该方法没有经过传统测距算法中的摄像头内参数获取、图像畸变矫正和视差图像匹配等步骤,而是利用双摄像头,通过测量两个摄像头之间的距离、摄像头与标定板之间的距离等数据,由透视投影模型将图像上的目标物映射为标定板上的某点,并连接两个摄像头中心和标定板上映射点产生两条空间直线,计算交点求得目标物的空间三维坐标,最后求出目标物与摄像头之间的距离。由于摄像头成像能力的限制,利用该方法所测得距离与实际距离之间会存在一定的误差,因此,该方法适合在精度要求不高的场合下使用,但是该方法具有安装简单、高实时性的特点,在工程上很具有实用性和指导意义。

参 考 文 献

1 任亚飞,吴向阳,王毅刚. 可视化的交互式计算机视觉系统设计. 计算机应用与软件,2012;29(9):171—174

2 蒋 鹏,金炜东. 基于加权核密度估计的自适应运动前景检测方法. 西南交通大学学报,2012;47(5):769—775

3 罗世民,李茂西. 双目视觉测量中三维坐标的求取方法研究. 计算机工程与设计,2006;27(19):3622—3624

4 许晓玲. 基于计算机视觉的逃逸车辆识别系统设计与研究. 科技通报,2012;28(11):175—178

5 马其华,张春燕,任洪娟等. 单目 OV6620 数字摄像头在视觉测距中的应用. 机械设计与制造,2011(2):71—73

6 蒋珍今,裴承鸣,杨 亮. 基于摄像头测距的数字图像处理方法研究. 弹箭与制导学报,2009;29(6):259—262

7 彭永强,李祖枢,薛方正. 基于舵机云台的人型机器人单目视觉测距. 计算机测量与控制,2009;17(11):2253—2255

8 张 娟,毛晓波,陈铁军等. 基于视频流连续性的快速运动目标检测方法. 计算机应用研究,2010;27(8):3198—3200

9 杜 鹏,刘金刚,高 鹏. 基于图像信息的雷达测距系统实现. 计算机仿真,2012;29(1):269—272

Long-range Dynamic Foreground Distance Measurement Based on Computer Vision

ZHOU Hua-qiang, HU Guang-ping

(Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, P. R. China;

Henan Institute of Engineering, Zhengzhou 451191, P. R. China)

[Abstract] For the problem of complex calibration step, image matching and inaccurate in the current distance measurement algorithm, a long-range dynamic foreground distance measurement was proposed. The two cameras in the system were responsible for collecting real-time environment image and detecting the object by foreground detection algorithm. Three-dimensional coordinate of the object in the calibration mapping points on the board was worked out by measuring the distance between the two cameras, the distance between calibration and cameras, the width and height of calibration board according to perspective projection model. The two line formulas whose intersection point is the object was work out according to the two camera coordinates. The distance from the object to the camera was calculated by Euclidean distance formula. The experiments show that all the measured errors are less than 3% when the target distance is less than 3 000 meters, the average measurement errors of computer vision dynamic foreground and traditional distance measurement methods are separately 2.90% and 25.50% when the target distance is more than 3 000 meters, and the computer vision dynamic foreground distance measurement method shows a higher accuracy.

[Key words] computer vision distance measurement dynamic foreground calibration board