

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2005544

基于单目视频的伪双目动态测距方法^{*}

周东兴 韩东升

(华北电力大学 电子与通信工程系 保定 071000)

摘要: 传统的双目测距是通过待测物体在双目相机中成像的视差来计算物体在三维空间中的坐标信息,需要结合理想的双目测距模型来完成。然而在实际的工程应用中所使用的摄像机往往是单目摄像机,无法满足双目测距要求。针对以上问题提出一种基于单目视频的伪双目动态测距方法,针对在预定轨道上移动的摄像机拍摄的视频,对目标物体进行测距。对所使用的单目摄像机进行标定,得到摄像机的焦距、主点坐标等内部参数。在摄像机拍摄的视频中截取不同位置时的两帧图像,通过轨道参数计算出在不同位置时摄像机的位姿关系,运用归一化相关的模板匹配算法,得到最佳的像素匹配点,结合伪双目测距模型计算待测物体的距离,并与传统双目测距以及单目测距进行了对比。实验结果表明,当摄像机距待测物体 5 m 以内时,在摄像机视野范围内测量物体,误差能够维持在 4% 以内。

关键词: 伪双目;单目视频;动态测距;相机标定;模板匹配

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.6040

Pseudo binocular dynamic ranging method based on monocular video

Zhou Dongxing Han Dongsheng

(Department of Electronic and Communication Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071000, China)

Abstract: The traditional binocular distance measurement is to calculate the coordinate information of the object in the three-dimensional space through the parallax of the object to be measured in the binocular camera, which needs to be combined with the ideal binocular distance measurement model. However, the cameras used in actual engineering applications are often monocular cameras, which cannot meet the requirements of binocular distance measurement. Aiming at the above problems, a pseudo-binocular dynamic ranging method based on monocular video is proposed, and the target object is ranging from the video taken by a camera moving on a predetermined track. Calibrate the monocular camera used to obtain the camera's focal length, principal point coordinates and other internal parameters. Intercept two frames of images at different positions in the video taken by the camera, calculate the pose relationship of the camera at different positions through the track parameters, and use the normalized template matching algorithm to obtain the best pixel matching point, combined with pseudo. The binocular ranging model calculates the distance of the object to be measured, and compares it with traditional binocular ranging and monocular ranging. The experimental results show that when the camera is within 5 m of the object to be measured, the error can be maintained within 4% when measuring objects within the camera's field of view.

Keywords: pseudo-binocular; monocular video; dynamic ranging; camera calibration; template matching

0 引言

随着视觉测量技术的发展,视觉测距技术已经广泛的应用在人民的生产生活中,在各项工程项目中更是不可或缺的用到了视觉测距技术。在施工过程中使用视觉测距技术可以避免人工测量所带来的差错以及测量时存在的一些危险因素,提高测量精度以及测量效率。

然而,若使用单目摄像头作为唯一的传感设备进行测距是比较困难的,想测量空间中两物体的准确距离的条件也比较苛刻如需要提前测量出空间中一条参考直线的长度,并且还要保证待测物体的连线与参考直线保持水平。单目测距是通过相似三角形来计算相机到一个已知的物体或者目标的距离^[1],在很多测量条件下无法得到合适的相似三角形,仅使用一个摄像头在某些条件下难以实现测距

收稿日期:2020-12-15

^{*} 基金项目:国家自然科学基金(61771195)项目资助

要求。并且现有工程的监测设备绝大多数使用的都是单目摄像头,针对这一问题对单目摄像头进行大面积的改造会极大的消耗人力物力,这显然是不切实际的。

因此如何使用一个摄像头进行准确测距成为当前急需解决的问题。文献[2]提出了一种用于巡线机器人的单目测距算法,检测出机器人行走导线两侧边缘,通过边缘直线纵坐标差和障碍物处两直线纵坐标差之比来计算镜头与物体间的距离,该方法需要画出两条边缘导线并对其进行检测,然而在环境较为复杂的实际工程条件下难以画出两条便于检测的边缘导线,因此该方法在实际工程应用中难以广泛应用。文献[3]提出一种基于单目视觉的无人机测距算法,通过截取相邻两帧图像,将仅出现在一帧图像中物体视为障碍物并通过图像匹配的方法获得障碍物到无人机的距离。然而该方法仅适用于单目摄像机在固定水平高度前后移动,无法检测出单目摄像机左右移动时镜头与前方障碍物的距离。文献[4]提出了一种单目图像中运动物体距离的测量方法,通过检测并定位参考目标图像上的角来建立图像行像素值与实际距离之间的映射关系,并通过结合基于高斯混合模型的运动目标检测方法实时提取距离信息。该方法不需要计算相机的内部参数,但需要保证待测物体、标志物、摄像机处在同一水平线上,实现条件较为苛刻。上述测距方法在某些特定条件下实现了使用单目摄像机进行测距,然而都对单目摄像机的移动进行了不同程度的限制,这给其在工程中的应用带来了一定的局限性。

为此,本文针对上述问题,提出了一种基于单目视频的伪双目动态测距方法,将单目测距转换为伪双目测距。利用在预定轨道上移动的摄像机拍摄的视频进行伪双目测距,在摄像机拍摄的视频中截取摄像机位于不同位置对应视频中的帧图片,通过摄相机的内参以及预定轨道的参数计算相机在摄像机在不同位置时的相对位姿,利用伪双目测距模型得到待测物体的距离。

1 测距模型

本文采用伪双目测距模型,伪双目测距就是使用一个单目摄像机来模拟双目测距的两个相机。传统的双目测距方法需要使用理想双目测距模型,即两相机需严格处在一条水平线上并且保证两相机的光轴平行^[5-6],而伪双目测距模型只需使用一个单目摄像机,将其在两不同时刻所处的位置模拟为双目相机,并且无需对摄像机的位置进行限制。通过不同位置摄相机间的相对位姿以及摄相机的内参来求取物体待测物体的距离^[7]。测距模型如图1所示。

将相机截取第1帧图片时光心的位置记为点 o ,以点 o 为中心建立相机坐标 $o-xyz$,并规定该坐标系为世界坐标系,其对应的图像坐标系为 $O_l-X_lY_l$,焦距为 f_l 相机截取第2帧图片时光心处于点 o_r ,以点 o_r 为中心建立相机坐标系 $o_r-x_r y_r z_r$,其对应的图像坐标系为 $O_r-X_r Y_r$ 焦距为 f_r 。根据摄像机的投影模型能得到如下公式:

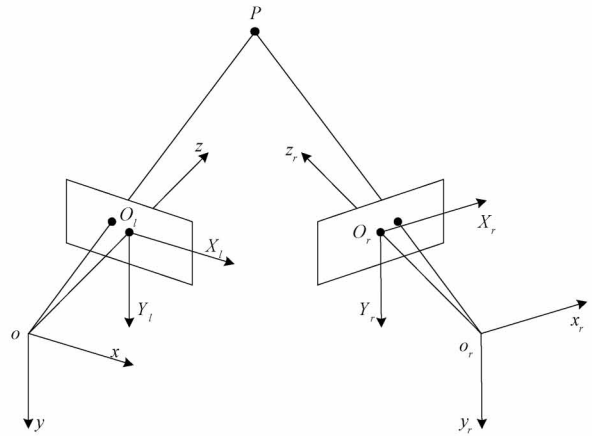


图1 伪双目测距原理

$$\begin{bmatrix} X_l \\ Y_l \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_l & 0 & 0 \\ 0 & f_l & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_r & 0 & 0 \\ 0 & f_r & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2)$$

因为 $o-xyz$ 坐标系与 $o_r-x_r y_r z_r$ 坐标系之间的位置关系可以通过外参数矩阵 M 表示为:

$$\begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & t_x \\ r_4 & r_5 & r_6 & t_y \\ r_7 & r_8 & r_9 & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中, $M = [R | t]$, $R = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix}$ 为旋转矩阵,

$t = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$ 为平移向量。结合式(1)~(3)可以得到两相机

坐标系之间的关系为:

$$\begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_r r_1 & f_r r_2 & f_r r_3 & f_r t_x \\ f_r r_4 & f_r r_5 & f_r r_6 & f_r t_y \\ r_7 & r_8 & r_9 & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z X_l / f_l \\ z Y_l / f_l \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

化简式(4)即可得到空间点的三维坐标表示为:

$$\begin{cases} x = z X_l / f_l \\ y = z Y_l / f_l \\ z = \frac{f_l (f_r t_x - X_r t_z)}{X_r (r_7 X_l + r_8 Y_l + f_l r_9) - f_r (r_1 X_l + r_2 Y_l + f_l r_3)} \end{cases} \quad (5)$$

因此,只要通过计算机标定技术^[8]获得相机的内参以及不同时刻相机的位姿关系,结合图像匹配的结果即可得到待测两物体的三维坐标 $(x_1 \ y_1 \ z_1)$ 与 $(x_2 \ y_2 \ z_2)$ 进而得到两物体间的距离 d 以及物体与摄像机之间的距离 l ^[9]。

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (6)$$

$$l = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2} \quad (7)$$

2 相机位姿估算与像素点提取

本文实验针对单目摄像机在固定轨道移动拍摄的场景,假设轨道数学模型已知,且该假设在实际应用场景中可以实现,可通过架设数学模型已知的轨道,也可以通过相应算法对轨道数学模型进行估计。其数学模型估算方法不是本文探讨问题,故假设数学模型已知。通过截取单目视频中的两帧图片来测量待测物体的距离。当摄像机处于不同位置时,由于轨道模型已知,则可通过轨道模型得到摄像机光心在不同位置之间的相对坐标以及摄像机坐标系对应坐标轴之间的夹角,为了对摄像机位姿进行估算,需要确定摄像机的旋转角度与旋转矩阵 \mathbf{R} 之间的关系以及摄像机光心之间的距离与平移向量 t 之间的关系。

2.1 旋转角度与旋转矩阵

任何维度的旋转都可表示为向量与合适尺寸方阵的乘积,也可将旋转理解为在另一个不同坐标系下对原始点位置的重新表述^[10-12]。摄像机的旋转角度即摄像机坐标系的旋转角度,摄像机坐标系的旋转角度等同于将目标点围绕坐标原点反方向旋转同样的角度。因此,为方便计算,本文将坐标系的旋转转化为目标点的旋转。

一个三维坐标系无论怎样旋转,都可将该旋转分为 3 次进行,即:1) 绕 X 轴逆时针旋转 θ_x , 旋转矩阵为 $\mathbf{R}_x(\theta_x)$; 2) 绕 Y 轴逆时针旋转 θ_y , 旋转矩阵为 $\mathbf{R}_y(\theta_y)$; 3) 绕 Z 轴逆时针旋转 θ_z , 旋转矩阵为 $\mathbf{R}_z(\theta_z)$ 。最终的旋转矩阵 \mathbf{R} 可用式(8)来表示。

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_x(\theta_x)\mathbf{R}_y(\theta_y)\mathbf{R}_z(\theta_z) \quad (8)$$

假设空间中有一个三维坐标系 $O - XYZ$, 如图 2 所示。

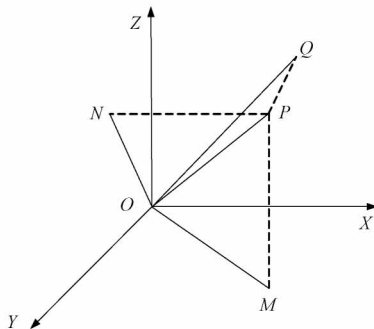


图 2 三维坐标系

该三维坐标系下有一向量 \vec{OP} , 其在坐标系中的位置如图所示,其中点 P 在平面 XY 、 XZ 、 YZ 的投影分别为点 M 、 Q 、 N 。

首先考虑坐标系绕 Z 轴旋转的情况,坐标系绕 Z 轴旋转相当于 \vec{OP} 在平面 XY 的投影 \vec{OM} 绕原点旋转,假设 \vec{OM} 顺时针旋转 θ_z 角到 \vec{OM}' , 如图 3 所示。

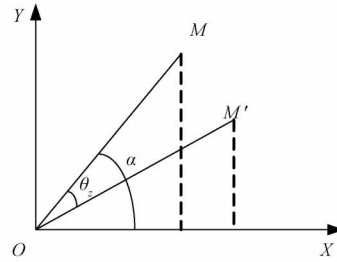


图 3 Z 轴投影

设旋转前 $\vec{OM} = (x \ y \ z)^T$, 旋转后 $\vec{OM}' = (x' \ y' \ z')^T$, 则 $M = (x \ y)^T, M' = (x' \ y')^T$, 由此可得:

$$\begin{cases} x = OM \cos \alpha \\ y = OM \sin \alpha \\ x' = OM' \cos(\alpha - \theta_z) \\ y' = OM' \sin(\alpha - \theta_z) \\ OM = OM' \\ z' = z \end{cases} \quad (9)$$

化简可得:

$$\begin{cases} x' = OM(\cos \alpha \cos \theta_z + \sin \alpha \sin \theta_z) = x \cos \theta_z + y \sin \theta_z \\ y' = OM(\sin \alpha \cos \theta_z + \cos \alpha \sin \theta_z) = y \cos \theta_z - x \sin \theta_z \\ z' = z \end{cases} \quad (10)$$

由式(10)可得:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_z & \sin \theta_z & 0 \\ -\sin \theta_z & \cos \theta_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (11)$$

则三维坐标系绕 Z 轴旋转的旋转矩阵为:

$$\mathbf{R}_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta_z & \sin \theta_z & 0 \\ -\sin \theta_z & \cos \theta_z & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

同理可得三维坐标系绕 X 轴、Y 轴旋转的旋转矩阵为:

$$\mathbf{R}_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_x & \sin \theta_x \\ 0 & -\sin \theta_x & \cos \theta_x \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\mathbf{R}_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta_y & 0 & -\sin \theta_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_y & 0 & \cos \theta_y \end{bmatrix} \quad (14)$$

将式(12)~(14)代入式(8)中即可推导出旋转矩阵 \mathbf{R} 的表达式:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos \theta_y \cos \theta_z & \sin \theta_z \cos \theta_y & -\sin \theta_y \\ \sin \theta_x \sin \theta_y \cos \theta_z - \sin \theta_z \cos \theta_x & \sin \theta_x \sin \theta_y \sin \theta_z + \cos \theta_z \cos \theta_x & \sin \theta_x \cos \theta_y \\ \cos \theta_x \sin \theta_y \cos \theta_z + \sin \theta_x \sin \theta_z & \cos \theta_x \sin \theta_y \sin \theta_z - \sin \theta_x \cos \theta_z & \cos \theta_x \cos \theta_y \end{bmatrix} \quad (15)$$

2.2 光心距离与平移向量

本文提出的伪双目测距方法,采用一个单目摄像机,利

用摄像机所处的不同位置构成伪双目测距场景,用摄像机处于不同位置时光心的相对坐标作为平移向量。

在摄像机拍摄的视频中截取摄像机位于不同位置时的两帧图片,并以截取第1帧图片时摄像机的位置作为世界坐标系的位置,在摄像机截取第1帧图片的位置处建立相机坐标系 $O_l - X_l Y_l Z_l$, 在摄像机截取第2帧图片的位置处建立摄像机坐标系 $O_r - X_r Y_r Z_r$, 位置关系如图4所示。

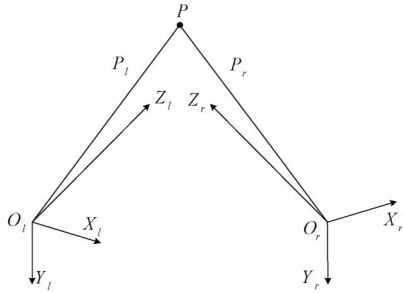


图4 坐标转换

空间中的点 P 在相机坐标系 $O_l - X_l Y_l Z_l$ 下的坐标为 P_l , 在 $O_r - X_r Y_r Z_r$ 下的坐标为 P_r , 则 P_l 与 P_r 之间的关系可由式(16)来表示。

$$P_r = R(P_l - t) \quad (16)$$

式中: t 为平移向量, 表示 P_l 先经过平移 t , 然后在平移后的坐标系下旋转得到 P_r , 平移向量 t 是以坐标系 $O_l - X_l Y_l Z_l$ 为基准的, 因此只需在坐标系 $O_l - X_l Y_l Z_l$ 的基准下根据轨道模型估算平移向量 t 。 t 表示为:

$$t = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad (17)$$

2.3 像素点提取

在得到相机的旋转矩阵与平移向量之后, 就需要对所截取的两帧图片进行图像匹配得到像素坐标, 像素坐标的提取方法目前主要有模板匹配与特征点匹配两种方法^[13]。模板匹配算法简单, 适用范围广, 因此本文采用的是模板匹配的方法, 以左相机图像为基准, 在左相机图像中选择一点, 以该点为中心做一个长宽为 100 像素点的矩形框并以该矩形框为模板与右相机图像进行匹配^[14], 得到右图中与之相匹配的矩形框后求出矩形框中心点的像素坐标。

匹配完成后即可得到待测物体的像素坐标 $(X_l \ Y_l)$ 与 $(X_r \ Y_r)$, 将其与式(15)、(17)共同代入式(5)中, 即可求得待测物体的世界坐标进而实现测距的目的。

3 测距实验

实验的软件环境为 MATLAB2014a 以及 opencv3.4.1, 单目相机采用的是 RMONCM 的 S 系列单目摄像机, 镜头焦距为 2.8 mm, 最高图像分辨率为 1 920×1 080。标定板采用的是 10×7 的棋盘, 标定板中每个黑白方格的大小均为 15×15 cm, 整个棋盘中的角点数为 9×6。

为了验证本文所提测距方法的可行性, 本实验分 4 部分进行。第 1 部分保持相机距待测物体的距离不变, 选择不同的场景对待测物体进行测距。第 2 部分为选取某一特定场景, 改变相机与待测物体间的距离进行测距。第 3 部分结合了前两部分的内容进行了一次综合实验。第 4 部分将伪双目测距结果与传统单目测距和单目测距结果进行了对比。

本文选择了 5 个不同的实验场景如图 5 所示。

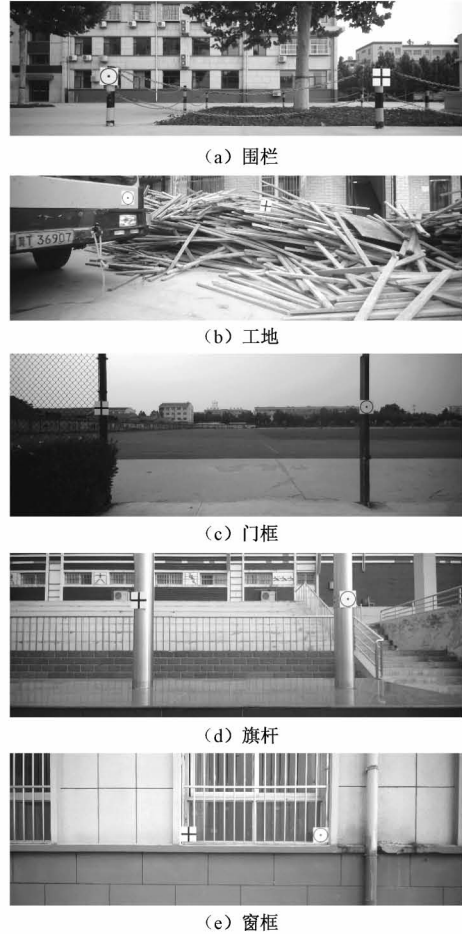


图5 实验场景

实验分别采集了围栏、施工现场、门框、旗杆、窗框的图像, 将测距结果与实际结果进行对比分析。

3.1 轨道模型的搭建

轨道模型如图 6 所示, 本实验所使用轨道是与地面水平的 U 型轨道, 轨道转弯处的夹角为 120°, 轨道上装有一可移动滑块, 可由轨道边缘处的刻度尺来测量滑块滑动的距离。滑块上装有一个单目摄像机, 以摄像机光心为坐标原点, 光轴所在直线为 Z 轴, 平行于滑块的直线为 X 轴建立相加坐标系, 摄像头可在滑块上方的刻度盘上旋转, 转角即为 θ_y , 可由刻度盘测量得出, 摄像机的两侧有固定支架, 摄像机可在支架上旋转, 旋转角度即为 θ_x , 可由摄像机两侧的刻度盘测量得到。本试验所采用的摄像机无法绕

Z 轴旋转,因此 $\theta_z = 0$ 。随着摄像机在轨道上移动,当摄像机运动到不同位置时截取两帧图片。两位置之间的旋转矩阵 R 可将刻度盘读出的摄像头的旋转角度代入式(15)得到。平移向量 t 则先根据轨道上的刻度以及轨道夹角计算出摄像机处于不同位置时光心之间的距离,再根据由刻度盘读出的摄像机旋转角度来计算得到。

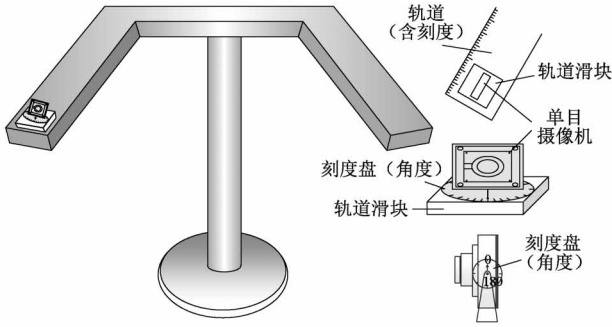


图 6 轨道模型

3.2 相机标定与畸变校正

实验前需要对单目相机进行标定,采集 25 张标定板图片用于标定,得到相机的焦距与畸变系数等内部参数,标定结果如下:

内参矩阵:

$$N = \begin{bmatrix} 907.44 & 0 & 995.92 \\ 0 & 906.77 & 590.08 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

畸变系数:

$$K_c = [0.0288 \quad -0.0256 \quad 0.0000]$$

截取图片后需使用内参以及畸变系数对图片进行校正,消除图像畸变^[15]。

3.3 不同实验场景下测距实验

随着摄像机在轨道上移动当摄像机运动到不同位置时截取两帧图片。两位置之间的旋转矩阵 R 可由轨道参数得到,由旋转矩阵 R 和不同位置摄像机间的距离可以得到平移向量 t ,截取图片后对两图片进行模板匹配。测距结果如表 1 所示。

表 1 相机距物体 3 m 时物体间距测量结果

测距场景	窗框	工地	旗杆	围栏	门框
实际距离/m	1.585	2.020	2.480	2.900	3.500
测量距离/m	1.614	2.091	2.445	2.979	3.614
误差/%	1.83	3.51	-1.44	2.71	3.26

由表 1 测距结果可以看出,当相机距离物体约 3 m 时,测量误差能够维持在 4% 以内,满足测距系统对测量误差的需求。然而只进行一组实验并不能反映测距结果的真实性。为了保证测距结果的准确性,避免随机误差对测距结果造成影响,在原有实验的基础上对实验方法进行了改进。

随着摄像机在轨道上移动,当摄像机运动到不同位置时截取 4 帧图片,记为 A、B、C、D,计算出不同位置之间的旋转矩阵与平移向量,以及模板匹配后的像素坐标,计算物体间的距离。由于确定了 4 个不同的位置,可以组成 6 组伪双目测距系统,得到 6 组测距结果,分别记为 AB、AC、AD、BC、BD、CD,使用最小二乘法对测距结果进行处理,最终的测距结果如表 2 所示。

表 2 最小二乘后测距结果

测距场景	实际距离/m	AB/m	AC/m	AD/m	BC/m	BD/m	CD/m	最小二乘后/m	误差/%
窗框	1.585	1.622	1.614	1.659	1.547	1.562	1.676	1.613	1.76
工地	2.020	2.056	2.114	2.163	2.032	2.021	2.049	2.073	2.62
旗杆	2.480	2.577	2.556	2.541	2.492	2.487	2.504	2.526	1.85
围栏	2.900	3.051	3.064	3.022	2.906	2.945	3.078	3.011	2.82
门框	3.500	3.589	3.641	3.694	3.522	3.533	3.603	3.593	2.66

由表 2 的测距结果可以看出,通过最小二乘法对多组测量结果进行优化后,消除了随机误差对测量结果的影响,测量误差能够保持在 3% 以下,测距结果良好,能够满足工程设计需求。本实验是在相机距离物体约 3 m 进行的,在接下来的实验中,将继续对该实验进行深化,考虑不同测量距离能否满足测距需求。

3.4 改变相机与待测物体间距实验

3.3 节的实验中考虑了相机距物体 3 m 时的测距情况,本节将在施工工地的场景下,改变摄像机距待测物体的距离进行实验。在轨道上的 4 个不同位置截取 4 帧图片,组成 6 组测距系统,分别记为 AB、AC、AD、BC、BD、

CD,分别在距待测物体 2、2.5、3、3.5、4、4.5、5 m 处进行实验,测量的 7 组数据记为 1、2、3、4、5、6、7 组。采用最小二乘法对测距结果进行优化,最终的测距结果如表 3 所示。

由表 3 可以看出,使用多组测距系统进行测距并对测距结果进行优化,极大地提升了测量结果的准确性,误差保持在 4% 以内,满足工程设计需求。实验表明使用本文测距方法测量距离相机 5 m 以内的物体时准确度较高。

3.5 综合实验

前两部分实验分别从不同测距场景和摄像机距待测物体距离的角度进行,本实验将两者结合起来,在距离待测物体 2、2.5、3、3.5、4、4.5、5 m 处分为 7 组进行

表3 最小二乘后测距结果

组别	AB/m	AC/m	AD/m	BC/m	BD/m	CD/m	最小二乘后/m	误差/%
1	2.043	2.102	2.094	2.026	2.022	2.047	2.056	1.28
2	2.069	2.083	2.105	2.022	2.014	2.092	2.066	2.27
3	2.056	2.114	2.163	2.032	2.021	2.049	2.073	2.62
4	2.107	2.122	2.049	2.025	2.017	2.088	2.073	2.62
5	2.088	2.108	2.147	2.053	2.079	2.151	2.087	3.35
6	2.115	2.144	2.077	2.062	2.057	2.084	2.090	3.47
7	2.121	2.154	2.136	2.015	2.058	2.113	2.099	3.91

测距,记为1、2、3、4、5、6、7组,每组选取4个测量点组成6组测距系统,分别在5个不同测距环境下进行测距

实验,并对测距结果进行优化,最终测距结果如表4所示。

表4 综合测距结果

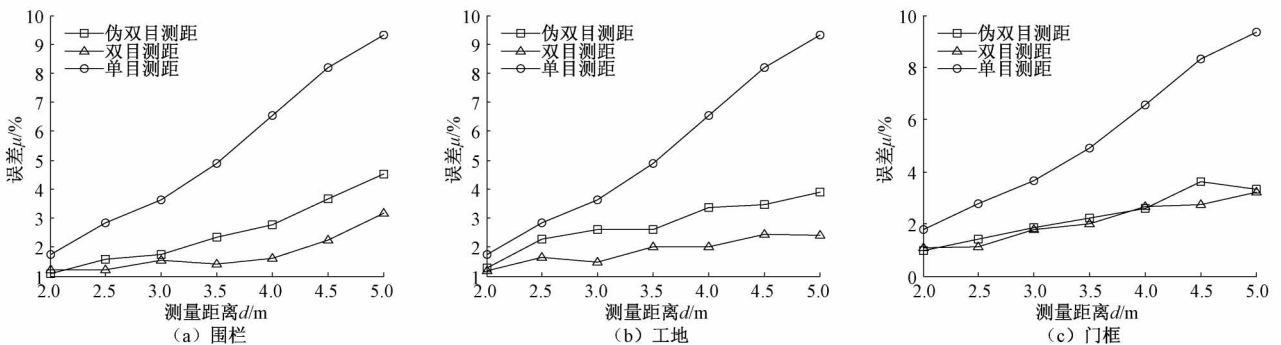
组别	窗框/m	误差/%	工地/m	误差/%	旗杆/m	误差/%	围栏/m	误差/%	门框/m	误差/%
	1.585		2.020		2.480		2.900		3.500	
1	1.602	1.07	2.056	1.28	2.505	0.99	2.958	1.47	3.552	1.48
2	1.621	1.59	2.072	2.27	2.512	1.42	2.983	2.35	3.570	1.99
3	1.613	1.76	2.073	2.62	2.526	1.85	3.011	2.82	3.593	2.66
4	1.622	2.13	2.073	2.62	2.534	2.21	3.010	3.29	3.592	2.63
5	1.645	2.59	2.114	3.35	2.544	2.58	3.016	3.54	3.609	3.11
6	1.643	3.46	2.090	3.47	2.570	3.62	3.010	3.57	3.618	3.37
7	1.657	4.34	2.099	3.91	2.562	3.31	3.005	3.62	3.614	3.26

由表4的测距结果可以看出,使用本文测距方法,在不同场景下对距相机5m以的物体进行测距,在相机视野能够到达的范围内,测距误差波动较小,测距结果较为准确,测距误差能够维持在4%以下。实验表明本文所提方法适合于多种测距场景,且在不同的测距场景都能够保持测距结果的准确性。

3.6 对比实验

上述实验验证了本文所使用的测距方法满足工程上对测量误差的精度要求,本实验将本文测距方法与传统的双目测距以及单目测距算法进行对比。使用基线距离为6cm的双目相机在5个不同测距场景下对距离相机分别为2.2、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5、5.0m的待测物体进行测距,并与伪

双目测距结果进行对比,测量距离记为d,误差记为μ,实验结果如图7所示。由图7的对比实验可以看出,本文使用的伪双目测距方法与传统的双目测距方法在相同实验条件下的测量误差非常接近,在满足工程测距精度要求的基础上与双目测距相比测量误差最大仅相差1.64%。本文测距方法与单目测距方法相比测量精度有了极大地提升,并且打破了单目测距需要参照物以及需保证图像平面与待测两物体所在平面平行的限制,测量误差的波动程度较为稳定。本实验仅采用一个单目摄像头就达到了传统双目测距的精度,即节约了采购摄像头的成本,同时又满足了工程上使用单目摄像机进行测距的需求,并且可用于监控摄像头的实时测距。



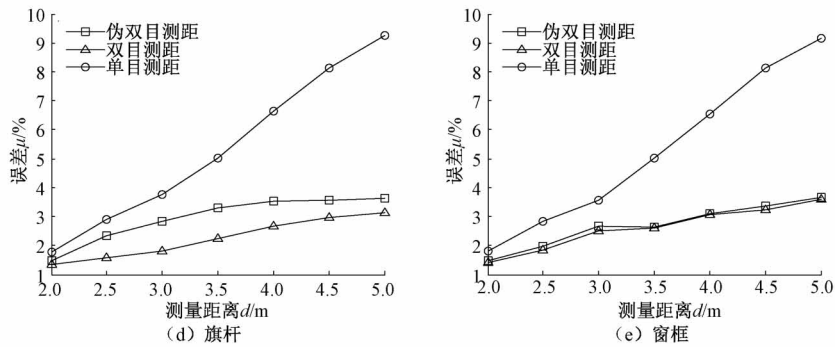


图 7 对比实验结果

4 结 论

本文对基于单目视频的伪双目动态测距方法进行了研究,通过在摄像机拍摄的视频中截取摄像机位于不同位置时的图片并结合伪双目测距模型实现了对物体距离的测量,突破了单目测距的局限性。通过改变测距场景以及摄像机与物体间的距离进行多组实验,验证了该测距方法的可行性,并与传统双目测距方法和单目测距方法进行了对比。实验结果表明,测量误差能够维持在 4% 以下,满足工程设计需求,并且与传统双目测距精度较为接近,测距结果较为稳定,具有一定的工程实用性。可用于施工现场测量任意两物体间的距离以及在视频监控的同时对监控场景中的物体进行实时测距。本研究的不足之处在于,当单目摄像机距待测物体较远时存在测距精度较差的情况,未来的研究可着重考虑改善截取图片的质量,提升匹配精度,进而达到提高测距精度的目的。

参考文献

- [1] WANG J, ZOU F, ZHANG M, et al. A monocular ranging algorithm for detecting illegal vehicle jumping[C]. 2017 International Conference on Green Informatics (ICGI), IEEE, 2017, DOI: 10.1109/ICGI.2017.15.
- [2] 程立,吴功平. 高压线路巡线机器人视觉导航中的单目测距算法[J]. 光电子·激光, 2016, 27(9): 941-948.
- [3] 韩那健. 基于单目视觉的无人机测距算法研究[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2019, 37(3): 54-57.
- [4] XU Z, WANG L, WANG J. A method for distance measurement of moving objects in a monocular image[C]. 2018 IEEE 3rd International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP), IEEE, 2018, DOI: 10.1109/SIPROCESS.2018.8600495.
- [5] GAO M, MENG X, YANG Y, et al. A traffic avoidance system based on binocular ranging[C]. 2017 12th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), IEEE, 2018, DOI: 10.1109/ICIEA.2017.8282992.
- [6] XU H, LIU X, ZHU C, et al. A real-time ranging method based on parallel binocular vision[C]. 2017 10th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID), 2017, DOI: 10.1109/ISCID.2017.33.
- [7] 付朋,陈新度,吴磊. 基于角点的双目视觉绝对定位研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2018, 32(3): 1-8.
- [8] 李文涛,王培俊,陈亚东,等. 钢轨全轮廓线结构光双目视觉测量系统标定[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(3): 203-211.
- [9] 王雪军,徐天成,张小强,等. 基于双目视觉的穴位坐标测量[J]. 电子测量技术, 2018, 41(22): 66-70.
- [10] SATO M, WANG X S, CHEN S W. Uniform polarimetric matrix rotation theory and its applications [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2014, 52(8): 4756-4770.
- [11] CHEN S W, WANG X S, XIAO S P, et al. Uniform polarimetric matrix rotation theory[M]. IEEE, 2013.
- [12] ZLOTNIK D E, FORBES J R. Rotation-matrix-based attitude control without angular velocity measurements[C]. American Control Conference, IEEE, 2014, DOI: 10.1109/ACC.2014.6858779.
- [13] 杜媛. 基于图像质量分析与分割算子的图像特征点匹配算法[J]. 电子测量技术, 2017, 40(8): 144-149.
- [14] 何涛,邱捷,张维. 信息增强在双目测距算法中的应用研究[J]. 电子测量技术, 2020, 43(9): 88-93.
- [15] 魏振婷,张仁杰,江磊. 基于人脸识别与畸变图像校正的监控研究 [J]. 电子测量技术, 2020, 43(14): 110-117.

作者简介

周东兴,工学硕士,主要研究方向为视觉测距、图像处理。

E-mail: 865349273@qq.com

韩东升,工学博士,副教授,主要研究方向为无线通信技术、电力系统通信、视觉测距。

E-mail: handongsheng@ncepu.edu.cn