

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2105812

一种基于透视变换的远距离双目测距方法^{*}

李一航¹ 周东兴² 韩东升²

(1.深圳供电规划设计院有限公司 深圳 518000; 2.华北电力大学 电子与通信工程系 保定 071000)

摘要:针对双目测距技术在远距离测距应用中存在误差较大的问题,提出了一种基于透视变换的远距离双目测距方法。首先使用标定所得的相机内外参数对存在畸变的图像进行立体校准,使用模板匹配的方法得到四对特征点的世界坐标以及所选基线的距离,然后利用所得特征点的世界坐标,通过透视变换以及三角测量的方法计算目标物体与相机之间的距离。实验结果表明,当待测物体距离相机10 m甚至更远时,采用传统的双目测距方法测量误差较大甚至无法测量,而采用所提出的透视变换的方法,测量物体距离相机达到45 m时测量误差仍能够保证在5%左右,准确度较高。因此该方法能够有效地解决双目测距技术在远距离测距应用中误差较大的问题,有一定的实用性。

关键词: 双目测距;远距离测距;立体校准;模板匹配;透视变换

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

Long-distance binocular ranging method based on perspective transformation

Li Yihang¹ Zhou Dongxing² Han Dongsheng²

(Shenzhen Power Supply Planning Design Institute Co., Ltd., Shenzhen 518000, China;

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

Abstract: Aiming at the large error of binocular ranging technology in long-distance ranging applications, this paper proposes a long-distance binocular ranging method based on perspective transformation. First, use the internal and external parameters of the camera to perform stereo calibration on the distorted image, use the template matching method to obtain the world coordinates of the four pairs of feature points and the distance of the selected baseline, and then use the world coordinates of the obtained feature points through perspective transformation and The method of triangulation calculates the distance between the target object and the camera. The experimental results show that when the object to be measured is 10 m or more away from the camera, the traditional binocular distance measurement method has a large measurement error or even cannot be measured. However, the perspective transformation method proposed in this paper is used to measure when the object is 45 m away from the camera. The error can still be guaranteed to be around 5%, and the accuracy is high. Therefore, this method can effectively solve the problem of large errors in the long-distance ranging application of the binocular ranging technology, and has certain practicability.

Keywords: binocular ranging; long-distance ranging; stereo calibration; template matching; perspective transformation

0 引言

采用立体视觉技术进行测距可以实现非接触式测量近年来受到广泛关注。随着双目立体视觉技术的发展,双目测距技术被应用于解决实际测距问题。双目测距技术是通过使用双目相机来模拟人类的视觉特征,获取物体的三维信息,确定物体的位置和方向^[1]。目前,双目测距技术已广泛的应用于各种领域,如输电线路的检测与运维、建筑工程

中物体距离的测量、以及无人驾驶中车辆间距离的检测等。因此对双目测距技术测量精度的研究具有重要的意义。然而,传统的双目测距方式在测量远距离物体时存在测量精度不准确的问题。传统的双目测距方法主要是通过图像匹配找到同一空间点在左右两张图片中的位置,求得该空间点在左右中的视差,进而得到该点的三维坐标。然而,研究人员发现^[2],当被测物体距离双目相机较远时,其在双目相机获得的左右图片中的空间位置十分接近,其匹配后的视

收稿日期:2021-02-15

^{*} 基金项目:国家自然科学基金(61771195)项目资助

差值往往不足一个像素值。现有的匹配方式精确度达不到要求,导致实际的测距结果出现较大的误差。

因此,双目测距的误差问题近年来受到研究者的广泛关注。文献[3]提出了一种基于双目 CCD 测距的图像匹配算法,利用基于模板的灰度互相关算法进行匹配,该方法在测量距离方面有一定的提升,但所使用相机成本较高实现较为困难。文献[4]提出一种基于硬件 SURF 算法的自校准双目测距系统使用位置敏感探测器将双目摄像头校准至同一平面,再用 SURF 匹配算法对图像进行匹配。文献[5]提出了一种基于 SIFT 特征点的双目视觉定位方法,利用 SIFT 特征点匹配算法对双目相机采集的图片进行匹配,获取特征点的空间坐标,进而求得物体的距离。文献[6]提出了一种基于角点检测的摄像机标定算法,从相机标定的角度提升标定精度,进而达到提高测距精度的目的。文献[7]提出了一种双目区域视差快速计算及测距算法,对传统的 Census 变换算法进行了改进,使其对中心点的依赖度降低,减小了匹配时间,增大了匹配精度。文献[8]提出一种远距离目标的多基线立体视觉点云成像技术,在测量不同距离的物体时采用不同的基线长度来达到测量远距离物体的目的。上述测距方法虽然分别是图像匹配的角度和相机标定的角度来对双目测距的方法进行了改进,对匹配速度以及测距精度都有一定的提升,然而,却只提高了近距离测距的精度,而且一味地增大基线距离使得双目相机不能满足实际测距的需求。

为此,本文针对上述问题,提出了一种基于透视变换的远距离双目测距方法,该方法先测出一条近距离线段的长度,再通过透视变换的方法^[9-12]将包含该线段的图像透视到一个新的俯视平面中,最后通过三角测量的方法,以该线段为基准测得远方物体的距离。从而达到测量远距离物体距离的目的。

1 双目测距原理

双目测距是指通过两个不同位置但固定范围的摄像机拍摄具有相同场景的两张图像。通过空间点在两个图像中的视差来计算空间点的三维坐标,获得对象的深度和距离信息。测距模型如图 1 所示。

其中 $O_1 - X_1Y_1Z_1$ 为左相机的相机坐标系, $O_2 - X_2Y_2Z_2$ 为右相机的相机坐标系, $o_1 - x_1y_1$ 与 $o_2 - x_2y_2$ 分别为左右图像的图像坐标系,点 $P(X_w, Y_w, Z_w)$ 在左右图像中的像点分别为 $p_1(X_{left}, Y)$ 和 $p_2(X_{right}, Y)$ 由比例关系可以得到下式:

$$\begin{cases} X_{left} = f \frac{X_w}{Z_w} \\ X_{right} = f \frac{X_w - B}{Z_w} \\ Y = f \frac{Y_w}{Z_w} \end{cases} \quad (1)$$

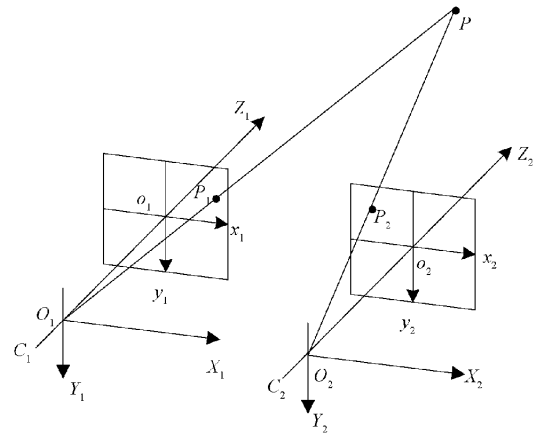


图 1 双目测距原理

整理后可得:

$$\begin{cases} X_w = \frac{BX_{left}}{D} \\ Y_w = \frac{BY}{D} \\ Z_w = \frac{Bf}{D} \end{cases} \quad (2)$$

其中, B 为基线距离,即两摄像头之间的距离, f 为摄像机的焦距, D 为视差。通过上式即可求出点 P 以左相机为基准的世界坐标,进而求出点 P 到相机的距离^[13]。

2 基于透视变换的双目测距方法

为解决传统的双目测距方法测量远距离目标时误差较大的问题,本文提出一种基于透视变换的双目测距方法,该方法流程如图 2 所示。首先对双目相机进行标定,得到左右相机的内外参数,利用标定得到的相机参数对左右图像进行校正,消除图像的畸变并使图像行对齐,然后对左右图像进行模板匹配,得到欲求距离基线两端点的视差,进而求得基线距离,之后对图像进行透视变换,采用三角测量的方法计算出远距离目标的距离。

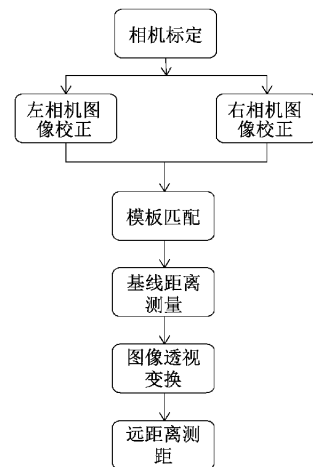


图 2 双目立体视觉测距流程

2.1 相机标定

相机标定是为了得到空间中某物体的三维坐标与其在相机图像中对应点的二维坐标之间的关系以及两相机之间的位置关系^[14]。因此,必须建立起相机的成像模型。模型中的参数就是相机的内外参数,通过这些参数才可以对后续相机拍摄的图片进行畸变校正和立体校正^[15]。具体标定过程如下:首先将世界坐标系通过旋转向量与平移向量转化到相机坐标系。然后将相机坐标系通过透视投影转化到图像坐标系。最后将图像坐标系再通过像素转化为图像的像素坐标系。由世界坐标系到像素坐标系的转化关系如下所示:

$$\frac{1}{Z_c} * \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{A} * \mathbf{M}_2 * \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \frac{f}{dx} & r & u_0 \\ 0 & \frac{f}{dy} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{M}_2 = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{3 \times 3} & \mathbf{T}_{3 \times 1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中, \mathbf{A} 为内参数矩阵, \mathbf{M}_2 为外参数矩阵,将 \mathbf{A} 、 \mathbf{M}_2 的乘积记为矩阵 \mathbf{H} 。 \mathbf{R} 、 \mathbf{T} 分别为相机相对于世界坐标系的旋转矩阵与平移矩阵。 f/dx 、 f/dy 为有效焦距, u_0 、 v_0 为主点坐标。

本实验是将平面黑白棋盘格作为标志物,因此在标定时可以把世界坐标系构造在该平面上,并将该平面定义为 $Z_w=0$ 的平面,则可将上式转化为:

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{A} * [r_1 \quad r_2 \quad t] \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{A} * [r_1 \quad r_2 \quad t] \quad (7)$$

\mathbf{H} 是一个 3×3 的矩阵,由式(4)可知 \mathbf{A} 有 f/dx 、 f/dy 、 r 、 u_0 、 v_0 这5个未知量, $[r_1 \quad r_2 \quad t]$ 有3个未知量,则 \mathbf{H} 有8个未知量, X_w 、 Y_w 是标定板上点的坐标,实验者可根据自己测量的需要调整标定板的位置,因此该坐标为已知量, u 、 v 为该点的像素坐标也可以直接得到,因此可以得到一组 $(X_w Y_w)$ 与 (uv) 的对应关系,并列两个方程,则若想求得8个未知量,只需要得到4组对应关系即可。因此可以选择黑白棋盘格的4个角点来得到4组对应关系,这样就可求出矩阵 \mathbf{H} 。进而得到相机的内外参数矩阵 \mathbf{A} 与 \mathbf{M}_2 。

由于 \mathbf{H} 为内外参数矩阵的乘积,因此需要先求出内参数矩阵 \mathbf{A} ,进而得到外参数矩阵 \mathbf{M}_2 。由式(6)可以得到:

$$\begin{cases} \mathbf{h}_1^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{h}_2 = 0 \\ \mathbf{h}_1^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{h}_1 = \mathbf{h}_2^T \mathbf{A}^{-T} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{h}_2 \end{cases} \quad (8)$$

其中, \mathbf{h}_1 、 \mathbf{h}_2 为已知量, \mathbf{A} 有5个未知量(前文已列出)需要3个矩阵 \mathbf{H} 来求解,3个不同的矩阵 \mathbf{H} 则由相机在3个不同角度拍摄3张标定板图片,在每张图片中选取4点通过求解矩阵 \mathbf{H} 的方法来得到。得到内参数矩阵后就可以通过式(7)利用求得的 \mathbf{A} 与 \mathbf{H} 得到外参数矩阵 \mathbf{M}_2 。

2.2 畸变校正

广角相机由于设计问题通常会出现很明显的畸变,利用消除畸变后的图片进行测距,可以提高测量精度。镜头的畸变有径向畸变与切向畸变两种^[16],以径向畸变为主切向畸变对图片的影响较小,因此本文只考虑了径向畸变。径向畸变的模型如下:

$$\begin{cases} \bar{u} = u + (u - u_0)[k_1(x^2 + y^2) + k_2(x^2 + y^2)^2] \\ \bar{v} = v + (v - v_0)[k_1(x^2 + y^2) + k_2(x^2 + y^2)^2] \end{cases} \quad (9)$$

式中: k_1 、 k_2 为畸变系数。由于高阶的畸变系数对畸变的影响很小且阶数过大计算量也会增大很多,因此张氏标定法只考虑到了二阶畸变系数, (uv) 为理想情况下点的像素坐标, $(-u-v)$ 为实际情况下点的像素坐标, $(u_0 v_0)$ 为主点坐标, (xy) 为实际情况下点的图像坐标,总共有 m 张待标定图片,每张图片可以选择 n 个点,则共有 mn 个点可利用,由之前求得的内外参数矩阵我们可以得到这些点的像素坐标与图像坐标,通过最小二乘法进而求得 $k_1 k_2$ 。进而实现对图像畸变的矫正。

2.3 Bouguet 立体矫正

在理想双目系统中,两相机的成像平面平行,相机的光轴与成像平面垂直,极点位于无穷远处,如图1所示。而实际使用中建立的双目系统很难达到这种理想情况。因此,本文通过采用立体校正使实际的双目系统趋近于理想双目系统。

Bouguet校正方法是将求解出来的旋转矩阵 \mathbf{R} 和平移矩阵 \mathbf{T} 分解为两个相机各旋转和平移一半的 \mathbf{R}_1 、 \mathbf{R}_2 与 \mathbf{T}_1 、 \mathbf{T}_2 ,使得左右图像由重投影造成的畸变最小,左右相机共同的视角最大。此时相机的成像平面平行,但基线与成像平面并不平行,极点并没有位于无穷远处。然后通过右相机相对于左相机的平移矩阵 \mathbf{T} 构造变换矩阵 \mathbf{R}_{rect} ,使得基线与成像平面平行。就能够得到理想的行对齐。对齐后的双目立体图像如图3所示。从图3中可以看出,左右图像中相同的物体都位于同一水平面上,说明图像矫正达到了使图像行对准的目的。

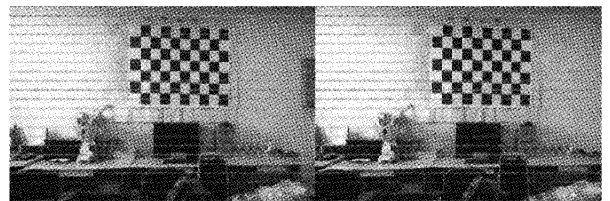


图3 双目校正图

2.4 图像匹配

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^[17],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为 100 pixel 的矩形框并以该矩形框为模板与右相机图像进行匹配^[18],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,进而求出所选点的视差值。

本文中模板匹配采用归一化相关算法,基本原理如式(10)所示。

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x', y'} [T(x', y') * I(x+x', y+y')]}{\sqrt{\sum_{x', y'} T(x', y')^2} * \sqrt{\sum_{x', y'} I(x+x', y+y')^2}} \quad (10)$$

其中, T 表示原始图像, I 表示待匹配图像,求得相关系数最接近于 1 的两点即为最佳匹配点。

2.5 图像透视变换

使用双目相机拍摄图片,由于存在相机的高度与角度的问题,拍摄的球场场景存在很大的透视畸变变形,以学校足球场中线为例,同样的中线宽度,距离相机较近的位置在图片中显示的宽度很大,而距离相机较远的位置在图片中显示的宽度就很小,如果能把图片校正为远近中线在图片中显示的宽度相等,则能够为后续的计算处理提供很大的便利,而透视变换可以很好地完成这个任务。

透视变换是将图片由一个平面透视到另一个新的平面,也称作投影映射。透视变换的模型可以表示为如下矩阵方程:

$$\begin{bmatrix} x' & y' & w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u & v & w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (11)$$

u, v 是原始图片中点的像素坐标, x, y 为与之对应的新图片中点的像素坐标,其中 $x = x'/w', y = y'/w'$,

(u, v_i) 与 (x_i, y_i) 称为第 i 组对应点。 $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$ 为透

视变换矩阵,可分为 4 部分,其中 $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$ 表示线性变换,

$\begin{bmatrix} a_{31} & a_{32} \end{bmatrix}$ 用于平移, $\begin{bmatrix} a_{13} & a_{23} \end{bmatrix}^T$ 用于透视变换, $a_{33} = 1$ 。

一般来说经过透视变换处理的图片都不是矩形的,图片中总会有两个角有残缺,除非原始平面与新平面是平行的。因此上式可变换为:

$$x = \frac{x'}{w'} = \frac{a_{11}u + a_{21}v + a_{31}}{a_{13}u + a_{23}v + a_{33}} \quad (12)$$

$$y = \frac{y'}{w'} = \frac{a_{12}u + a_{22}v + a_{32}}{a_{13}u + a_{23}v + a_{33}} \quad (13)$$

透视变换矩阵中除 a_{33} 以外的 8 个未知量需要求解,每组对应点可列两个式子,则需要 4 组对应点来求取透视

变换矩阵。因此,选择原始图像平面上的 4 个像素点,并设该 4 点分别为 $A(x_a, y_a)$ 、 $B(x_b, y_b)$ 、 $C(x_c, y_c)$ 、 $D(x_d, y_d)$,定义新平面上与之对应的 4 点及其坐标 $A'(00)$ 、 $B'(10)$ 、 $C'(11)$ 、 $D'(01)$,将上述 4 组对应点分别代入式(12)、(13)可得式(14)如下:

$$\begin{cases} x_a = a_{31} \\ x_b = a_{11} + a_{31} - a_{31}x_b \\ x_c = a_{11} + a_{21} + a_{31} - a_{13}x_c - a_{23}x_c \\ x_d = a_{21} + a_{31} - a_{23}x_d \\ y_a = a_{32} \\ y_b = a_{12} + a_{32} - a_{13}y_b \\ y_c = a_{12} + a_{22} + a_{32} - a_{13}y_c - a_{23}y_c \\ y_d = a_{22} + a_{23} - a_{23}y_d \end{cases} \quad (14)$$

定义几个辅助变量:

$$\begin{cases} \Delta x_1 = x_b - x_c \\ \Delta x_2 = x_d - x_c \\ \Delta x_3 = x_a - x_b + x_c - x_d \\ \Delta y_1 = y_b - y_c \\ \Delta y_2 = y_d - y_c \\ \Delta y_3 = y_a - y_b + y_c - y_d \end{cases} \quad (15)$$

由式(14)、(15)可得:

$$\begin{cases} a_{11} = x_b - x_a + a_{12}x_b \\ a_{21} = x_d - x_a + a_{12}x_c \\ a_{31} = x_a \\ a_{12} = y_b - y_a + a_{13}y_b \\ a_{22} = y_d - y_a + a_{23}y_c \\ a_{32} = y_a \\ a_{13} = \frac{\begin{vmatrix} \Delta x_3 & \Delta x_2 \\ \Delta y_3 & \Delta y_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \Delta x_1 & \Delta x_2 \\ \Delta y_1 & \Delta y_2 \end{vmatrix}} \\ a_{23} = \frac{\begin{vmatrix} \Delta x_1 & \Delta x_3 \\ \Delta y_1 & \Delta y_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \Delta x_1 & \Delta x_2 \\ \Delta y_1 & \Delta y_2 \end{vmatrix}} \end{cases} \quad (16)$$

通过上式即可求解出透视变换矩阵,完成图像由平面 1 转换到平面 2 的过程。透视变换效果如图 4 所示, $ABCD$ 为原始图像平面中的 4 点,经过透视变换以后该 4 点在新平面中的对应点为 $A'B'C'D'$ 。

3 实验过程及结论

实验的软件环境为 MATLAB2014a 以及 opencv3.4.1,双目相机采用的是锐尔威视型号为 RER-1MP2CAM 的 USB 双目相机,镜头焦距为 3.6 mm,两摄像头之间的基线距离为 6 cm,最高图像分辨率左右摄像头均为 $1\ 920 \times 1\ 080$ 。标定板采用的是 10×7 的棋盘,棋盘每个黑白方格的大小均为 $15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$,整个棋盘中的角点数为 9×6 。测距示意图如图 5 所示。

3.1 相机标定与畸变校正

实验首先对左右摄像头进行标定处理,每个摄像头采

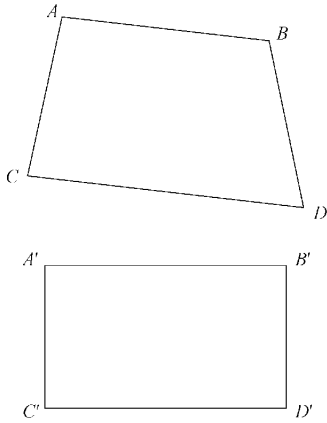


图4 透视变换效果

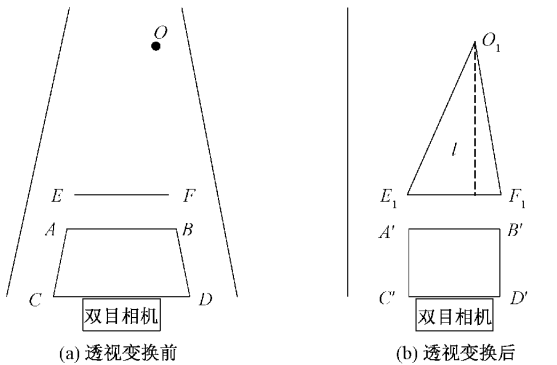


图5 测距示意图

集25张图片用于标定,首先进行单目标定,得到相机的焦距、畸变系数等内部参数,之后再由单目标定得到的结果对相机进行双目标定,得到旋转向量与平移向量,标定得到的内外参数如表1所示。

表1 相机的内外参数

相机	左	右
f	1 440.27	1 443.73
O_x	978.77	944.51
O_y	540.64	580.17
K_1	0.028 9	0.029 9
K_2	-0.045 6	-0.049 7
O_m	[0.000 35, 0.007 48, 0.000 30]	
T	[-58.904 08, 0.243 46, 8.621 1]	

其中, O_x, O_y 为两相机的主点坐标, K_1, K_2 为两相机的畸变系数, O_m 是旋转向量, T 是平移向量, 得到相机的内外参数以后, 就可以对拍摄的图片进行校正, 矫正结果如图6、7所示。

由图6可以看出, 进行图像矫正之前图片的周围存在着较大的畸变, 且越靠近边缘处图像的畸变越严重。畸变校正之后, 如图7所示, 图片周围的畸变程度得到了明显的

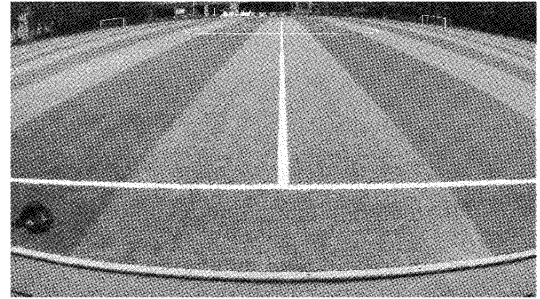


图6 校正前图片

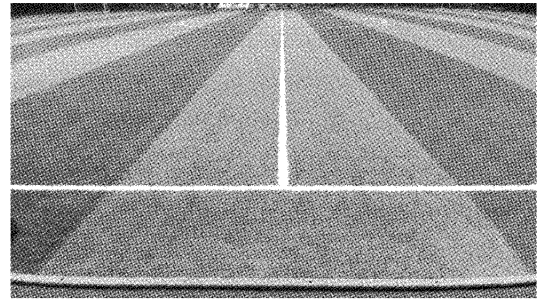


图7 校正后图片

改善, 与原图相比有较好的校正效果。

3.2 透视变换

对校正后的图片使用模板匹配的方法进行匹配, 得到位于同一平面上的4个点A、B、C、D对应的左右图像的像素坐标, 本实验选取的4个点分别为图6下方的4个角点即操场上所画网格的4个角点, 将角点的视差值带入式(2)求出所选4点的世界坐标, 之后再取任意两个像素点E、F, 连接E、F令其为基线L, 并求取基线的实际长度。

得到4个匹配点的坐标之后, 将左相机拍摄的图片中的操场平面通过透视变换转换到一个新的平面, 为了使远处和近处的中线宽度相等, 将原有平面透视到一个俯视的平面, 从而达到上述目标。根据之前求得的4个点的世界坐标, 可以求得4点中任意两点之间的长度, 本实验所选取的4点围成一个矩形, 根据计算得到的矩形长宽的比例, 在新平面中按照该比例定义一个新的矩形, 新矩形的长度与宽度通过像素点的数目来表示, 只要满足与原矩阵长宽比相同即可, 定义出新矩形之后即可得到与原矩形对应的4个角点的像素坐标, 通过新旧矩形角点的像素坐标即可求得透视变换矩阵, 通过透视变换矩阵将图片中的操场平面转换到新的俯视平面中去, 并可在比例不变的情况下, 通过变换矩形相邻两边像素点的数目, 来改变新平面的视场大小, 直到满足所测距需求即可, 透视变换后新平面图如图8所示。

最后将点E、F通过透视变换矩阵将其转换到新平面上记为 E_1, F_1 并求得其在新平面下的像素坐标, 连接点 E_1, F_1 以及欲求取实际距离的点 O_1 形成一个三角形并读取其各内角角度, 根据角度以及EF两点之间的实际距离就可以测得点O与基线之间的距离l, 基线与相机之间的

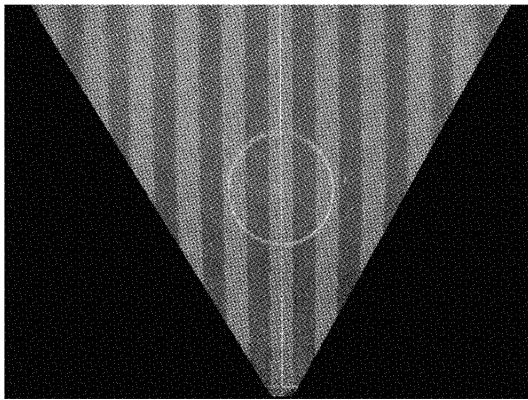


图 8 透视变换后操场平面图

距离已知,即可求得点 O 与相机之间的距离,即球场上的某点与相机之间的距离。

3.3 固定基线长度的测距实验

首先进行的是距离测量实验,通过固定基线长度,改变物体与双目相机之间的距离来对物体进行测距。记物体的实际距离为 d_1 ,测量距离为 d_2 ,误差为 μ 。本实验选取的基线长度为 4 m,实验结果如表 2 所示。

表 2 基线长度 4 m 的测距结果

组别	实际距离 d_1/m	测量距离 d_2/m	误差 $\mu/\%$
1	25	25.74	2.96
2	30	31.38	3.14
3	35	36.33	3.38
4	40	41.59	3.97
5	45	47.07	4.60
6	50	53.77	7.53

由表 2 可知,采用透视变换的方法当待测物体距离相机 45 m 以内时,测量误差能够保持在 5% 以内,极大地提升了远距离测距的准确性,具有一定的工程实用性。为了更加明显地体现出透视变换方法的优势,将传统双目测距方法与本文方法的测量误差进行了对比,对比结果如图 9 所示。

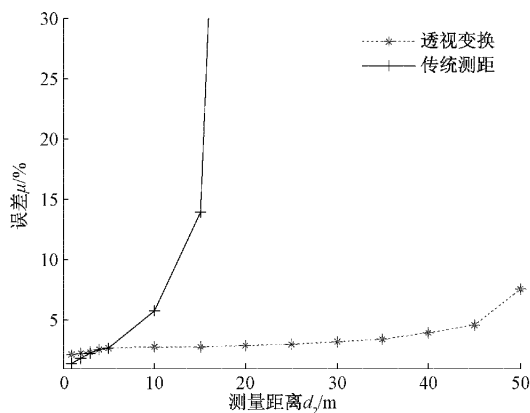


图 9 测量误差对比

由图 9 可以看出,传统双目测距方法的测量误差随着测量距离的增加而急剧增加,采用透视变换的方法可使测量误差稳定在 5% 左右,这是由于当物体距离相机较远的时候将会得到一个极小的视差值,使得测量结果趋近于无穷,与实际距离相差过大。实验结果表明,本文提出的测距方法,使远距离测距时的测量精度得到了极大地提升。

3.4 改变基线长度的测距实验

实验为了进一步确定所选基线长度对实际测距结果有无影响,将欲求点 O 的位置固定,改变基线的长度来对实际距离为 25 m 的物体进行测量,基线长度记为 d_3 ,测量结果如表 3 所示。

表 3 改变基线长度的测距结果

基线长度 d_3/m	1.5	2	2.5	3	3.5	4
实际距离 d_1/m	25	25	25	25	25	25
测量距离 d_2/m	25.74	25.66	25.60	25.63	25.58	25.74
误差 $\mu/\%$	2.96	2.62	2.38	2.51	2.32	2.96

由表 3 可知,当选择不同的基线长度时测量结果稍有波动但总体趋于稳定,表明所选基线长度对测量精度的影响不大,因此在实际应用中可以根据现场环境的情况自行选择适用于当前环境且方便测量的基线进行测距,具有一定的工程实用性。

4 结 论

为了解决传统双目视觉系统无法准确测量远距离物体的问题,本文提出了一种基于透视变换的远距离双目测距方法,利用双目相机测量近距离物体准确度高的特点,测量出一条近距离基线的长度,再通过透视变换与三角测量的方法,求解出远处物体的距离,突破了双目测距测量距离的局限性,通过改变基线长度进行多组实验,验证了在不同基线长度下该测距方法的可行性,并与传统双目测距方法进行了对比,实验结果表明测量误差能够维持 5% 以内,测距结果较为稳定,具有一定的工程实用性。可用于输电线路长度的测量、电缆沟长度的测量以及车辆间距离的测量等。本文仅对远距离物体的长度及其与相机间的距离进行了研究,未来可以在测量远距离物体的高度等方向进行突破。

参考文献

- [1] 张颖江,潘尧,吴聪.基于车载系统双目 CCD 相机测距[J].信息安全与技术,2016,7(1):57-62.
- [2] 赵林,王丽丽,刘艳,等.电网实时监控可视化技术研究与分析[J].电网技术,2014,38(2):538-543.
- [3] 张丽娟,杨进华,姜雨彤,等.基于双目 CCD 测距的目标图像匹配算法研究[J].激光与光电子学进展,2014,51(9):101-108.
- [4] 蒋晓东,于纪言,朱立坤,等.基于硬件 SURF 算法的自校准双目测距系统[J].光学学报,2018,38(10):

- 408-410.
- [5] 孟浩,程康. 基于 SIFT 特征点的双目视觉定位[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2009, 30(6): 649-652, 675.
- [6] 王晓辉,李星. 基于角点检测的摄像机标定算法及应用[J]. 计算机与数字工程, 2019, 47(2): 442-445, 475.
- [7] 仲伟波,姚旭洋,冯友兵,等. 双目区域视差快速计算及测距算法[J]. 中国图象图形学报, 2019, 24(9): 1537-1545.
- [8] 郝丽婷,蔡树国,杨兴雨,等. 远距离目标的多基线立体视觉点云成像技术[J]. 激光杂志, 2020, 41(1): 18-21.
- [9] MANTEL C, SPATARU S, PARIKH H, et al. Correcting for perspective distortion in electroluminescence images of photovoltaic panels[C]. 2018 IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion(WCPEC)(A Joint Conference of 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC & 34th EU PVSEC), IEEE, 2018: 0433-0437.
- [10] YU Z, ZHANG H, GUO B, et al. A mosaic method for large perspective distortion image[C]. Proceedings of 2012 International Conference on Measurement, Information and Control, IEEE, 2012, 1: 506-510.
- [11] 刘萍,孙耀航. 基于反透视变换的车道线检测算法[J]. 计算机与数字工程, 2019, 47(3): 678-681.
- [12] 孙雯,洪留荣,葛方振. 一种改进的透视变换算法[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2016, 36(6): 75-80.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 迟德霞,王洋,宁立群,等. 张正友法的摄像机标定试验[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(2): 287-289, 337.
- [16] LEE M, KIM H, PAIK J. Correction of barrel distortion in fisheye lens images using image-based estimation of distortion parameters[J]. IEEE Access, 2019, 7: 45723-45733.
- [17] 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.
- [18] 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.

作者简介

李一航,工学硕士,主要研究方向为电力系统通信、图像处理。

E-mail: 335620243@qq.com

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,博士生导师,主要研究方向为无线通信新技术、电力系统通信、视觉测距。

E-mail: handongsheng@ncepu.edu.cn