

基于双目立体视觉的果蔬深度信息获取

乔方博^{1,2}, 曾松伟^{1,3}, 宋洪军^{1,3}, 郜园园^{1,3*} (1. 浙江农林大学信息工程学院智慧农业研究中心, 浙江杭州 311300; 2. 北京交通大学电子信息工程学院, 北京 100044; 3. 浙江省林业智能监测与信息技术研究重点实验室, 浙江杭州 311300)

摘要 针对果蔬采摘机械采摘过程中深度信息不易获取的缺陷, 该研究运用双目立体视觉技术通过摄像机标定对豆角的位姿信息进行获取。首先根据相机成像原理阐述图像坐标系、相机坐标系、世界坐标系三者之间的转换; 其次通过对单目摄像机模型与平行相机模型之间的比较, 推导双目相机定位算法; 最后通过对试验结果的研究, 分析该技术在不同场景应用过程中的注意事项, 并对未来改进方向进行展望。

关键词 深度信息; 双目; 立体视觉; 摄像机标定

中图分类号 S126 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)36-374-05

视觉是人类观察世界、认知世界的重要功能手段, 人类感知外部世界主要通过视觉、触觉、听觉和嗅觉等感觉器官, 其中 80% 的信息是由视觉获取的, 机器视觉是人类利用计算机实现人的视觉功能一对客观世界三维场景的感知、识别和理解, 机器视觉是一个相当新而且发展迅速的研究领域, 机器视觉技术正广泛地应用于各个方面, 许多人类无法感知的场合, 如危险场景感知等, 机器视觉更突显其优越性^[1-3]。机器视觉属于影像的重构技术, 具有非接触性测量、实施简便的特点, 具有广阔的应用前景, 是有待于进一步开发的领域。计算机视觉被认为是计算机科学和人工智能的一个分支, 计算机视觉就是用机器代替人的眼睛和大脑, 对客观世界进行感知和解释的技术。该系统的首要目标是使计算机具有通过一幅或者多幅二维图像认知周围的三维环境信息的能力。这种能力不仅可以使计算机能够感知三维环境中物体的几何信息, 并且能够对它们进行描述、存储并使用图像来创建和恢复现实世界模型, 从而达到认知现实世界的目的。因此, 自从计算机视觉这门科学出现以来就成为计算机科学的重要研究领域之一并且发展十分迅速。笔者在对摄像机成像模型进行分析的基础上, 以豆角为例, 进行了果蔬位姿深度信息恢复试验, 对未来基于双目立体视觉的果蔬深度信息获取的改进方向提出展望。

1 摄像机成像模型

1.1 图像坐标系、摄像机坐标系、世界坐标系 摄像机主要的功能是把三维环境映射到二维平面上, 这种映射方式要用成像变换来描述, 即摄像机成像模型。以下介绍图像坐标系、相机坐标系、世界坐标系三者之间的转化。

图 1 中, (u, v) 轴表示以像素为单位的像素坐标系, (X, Y) 表示以“mm”为单位的图像坐标系。在 (X, Y) 坐标系中, 原点 O_1 定义在摄像机光轴和图像平面的交点, 位于图像中心处。若 O_1 在 u, v 轴坐标系中的坐标为 (u_0, v_0) , 每一个像

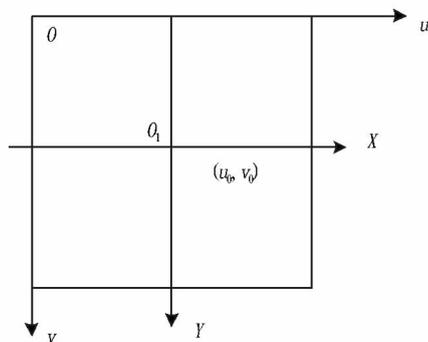


图 1 图像坐标系

素在 X 轴与 Y 轴方向上的物理尺寸为 dX, dY , 则图像中任意一点的像素坐标与图像坐标转换关系如下:

$$\begin{cases} u = \frac{X}{dX} + u_0 \\ v = \frac{Y}{dY} + v_0 \end{cases} \quad (1)$$

转换为齐次坐标形式:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{dX} & 0 & u_0 \\ 0 & \frac{1}{dY} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

由像素坐标表示图像坐标:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dx & 0 & -u_0 dx \\ 0 & dy & -v_0 dy \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

在实践中, 摄像机可安放在环境中的任意位置, 可任意选择一个基准坐标系描述环境中所有物体的位置, 同时也可表示摄像机的位置, 该坐标系称为世界坐标系。其坐标轴由 X_w, Y_w, Z_w 表示。图 2 表示摄像机的成像模型。

图 2 中 O 点是光学中心, 光轴和所成图像平面的交点 O_1 一般在图像的正中心, 在这里是图像坐标的原点, OO_1 为摄像机焦距^[1]。 x 轴和 y 轴与图像的 X 轴与 Y 轴平行, Z 轴为摄像机光轴, 垂直于图像平面。由点 O 与 x, y, z 轴构成的直角坐标系称为像机坐标系。

摄像机坐标系与世界坐标系之间的变换关系, 可以用选

基金项目 国家自然科学基金项目(61302185, 31300539); 浙江省自然科学基金项目(LQ14F030014, LQ13F030012); 浙江省林业智能监测与信息技术研究重点实验室开放基金项目; 浙江农林大学智慧农业研究中心预研项目(2013ZHNL03); 浙江农林大学人才启动基金项目(2013FR023, 2013FR085)。

作者简介 乔方博(1991-), 男, 山西大同人, 硕士研究生, 研究方向: 智能机器人、农林业信息监测等。* 通讯作者, 讲师, 博士, 从事农林业信息监测、智能机器人控制技术等研究。

收稿日期 2015-11-20

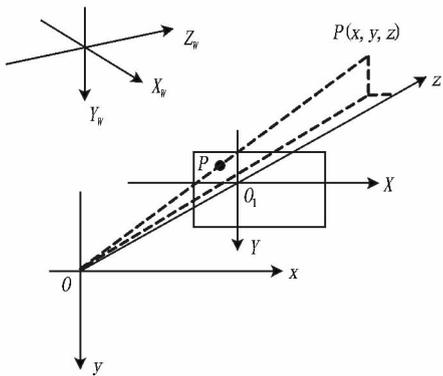


图2 摄像机坐标系与世界坐标系

择旋转矩阵 R 和平移向量 t 来建立^[1]。则摄像机坐标系下的齐次坐标 $[X_c, Y_c, Z_c, 1]^T$ 与空间中任意一点 P 在世界坐标系下的齐次坐标 $[X_w, Y_w, Z_w, 1]^T$ 可通过如下关系来转换:

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{M}_1 \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, \mathbf{R} 为 3×3 旋转矩阵, 同时也是单位正交矩阵; \mathbf{t} 为三维平移向量; $\mathbf{0} = [0, 0, 0]^T$; \mathbf{M}_1 为 4×4 矩阵。

1.2 摄像机线性模型(针孔模型) 摄像机线性模型也叫做针孔成像模型^[4-5]。空间任意点 P 在图像上的投影位置 P 是光心 O 与 P 点的连线 OP 与图像平面的交点, 根据坐标比例模型, 有如下关系:

$$\begin{cases} x = \frac{fX_c}{Z_c} \\ y = \frac{fY_c}{Z_c} \end{cases} \quad (5)$$

式中, (x, y) 为 p 点的图像物理坐标; (X_c, Y_c, Z_c) 为空间点 P 的摄像机坐标, 这种关系也成为称为中心摄影或透视摄影, 根据这一关系空间中任意一点 P 的图像坐标可用针孔模型近似表示。利用齐次坐标与矩阵形式表示此透视投影关系:

$$Z_c \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

将式(3)、式(4)与式(6)合并, 得到 P 点的世界坐标 (X_w, Y_w, Z_w) 与其投影点 p 的图像像素坐标 (u, v) 之间的关系:

$$Z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{d_x} & 0 & u_0 \\ 0 & \frac{1}{d_y} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} a_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & a_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{M}_1 \mathbf{M}_2 \mathbf{X}_w$$

$$= \mathbf{M} \mathbf{X}_w \quad (7)$$

式中, $a_x = f/d_x, a_y = f/d_y, \mathbf{X}_w = [X_w, Y_w, Z_w]^T$; \mathbf{M} 为 3×4 的投影矩阵, \mathbf{M}_1 由相机内参决定, \mathbf{M}_2 由相机外参决定。

1.3 标定原理 摄像机标定是指建立摄像机图像像素位置与点场景位置之间的关系, 主要是根据摄像机模型, 选取已知特征点的图像坐标和世界坐标^[6], 来求解摄像机的模型参数, 也就是上一节提到的内参和外参, 如表 1 所示。

表 1 摄像机模型内参外参

参数	表达式	自由度
透视变换	$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_x & \gamma & u_0 \\ 0 & a_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	5
径向畸变、横向畸变	k_1, k_2, p_1, p_2	4
外部参数	$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix}, \mathbf{T} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$	6

表 1 表达式中, $a_x, a_y, u_0, v_0, \gamma$ 是线性模型的内部参数, a_x, a_y 分别为 u 轴和 v 轴的尺度因子, 或称为有效焦距, 与式(2)对比可得 $a_x = f/d_x, a_y = f/d_y, d_x, d_y$ 分别为水平方向与竖直方向的相邻两像素点之间的间距, u_0, v_0 是光学中心, γ 是 u 轴和 v 轴不垂直因子(一般为 0)内参与摄像机的内部结构有关; \mathbf{R} 和 \mathbf{T} 是旋转矩阵和平移矩阵, 称为外部参数, 由摄像机相对于世界坐标系的位置决定。在非线性模型中, 内部参数除了线性模型的 $a_x, a_y, u_0, v_0, \gamma$ 外, 还包括径向畸变参数 k_1, k_2 切向畸变参数 p_1 和 p_2 ^[7]。

根据已知的参照物求投影 \mathbf{M} 矩阵, 当作其余算法的参照数据。可将式(7)中的 \mathbf{M} 矩阵改写成下式:

$$Z_{ci} \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{wi} \\ Y_{wi} \\ Z_{wi} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中, $(X_{wi}, Y_{wi}, Z_{wi}, 1)^T$ 为场景中第 i 个已知参照点的世界坐标; $(u_i, v_i, 1)$ 为 i 个点的图像像素坐标; m_{ij} 为投影矩阵中位于第 i 行 j 列元素, 式(8)可列为以下方程组:

$$\begin{cases} Z_{ci} u_i = m_{11} X_{wi} + m_{12} Y_{wi} + m_{13} Z_{wi} + m_{14} \\ Z_{ci} v_i = m_{21} X_{wi} + m_{22} Y_{wi} + m_{23} Z_{wi} + m_{24} \\ Z_{ci} = m_{31} X_{wi} + m_{32} Y_{wi} + m_{33} Z_{wi} + m_{34} \end{cases} \quad (9)$$

将 \mathbf{M} 矩阵分解, 式(2)~(7)的 \mathbf{M} 矩阵与摄像机的内外参数如下:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{m}_1^T & m_{14} \\ \mathbf{m}_2^T & m_{24} \\ \mathbf{m}_3^T & m_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & a_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{r}_1^T & t_x \\ \mathbf{r}_2^T & t_y \\ \mathbf{r}_3^T & t_z \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

式中, $\mathbf{m}_i^T (i=1, 2, 3)$ 为 \mathbf{M} 矩阵中位于第 i 行除去第四列的元素; $\mathbf{r}_i^T (i=1, 2, 3)$ 为旋转矩阵 \mathbf{R} 的第 i 行; t_x, t_y, t_z 分别为平移

向量 t 的 3 个分量。将式(10)右端两矩阵合并,得到:

$$\begin{bmatrix} m_1^T & m_{14} \\ m_2^T & m_{24} \\ m_3^T & m_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x r_1^T + u_0 r_3^T & a_x t_x + u_0 t_z \\ a_y r_2^T + v_0 r_3^T & a_y t_y + u_0 t_z \\ r_3^T & t_z \end{bmatrix} \quad (11)$$

依次计算得到 r_3, u_0, v_0, a_x 及 a_y :

$$r_3 = m_{34} m_3 \quad (12)$$

$$u_0 = (a_x r_1^T + u_0 r_3^T) r_3 = m_{34}^2 m_1^T m_3 \quad (13)$$

$$v_0 = (a_y r_2^T + v_0 r_3^T) r_3 = m_{34}^2 m_2^T m_3 \quad (14)$$

$$a_x = m_{34}^2 |m_1 \times m_3| \quad (15)$$

$$a_y = m_{34}^2 |m_2 \times m_3| \quad (16)$$

进一步求出以下参数:

$$r_1 = \frac{m_{34}}{a_x} (m_1 - u_0 m_3) \quad (17)$$

$$r_2 = \frac{m_{34}}{a_y} (m_2 - v_0 m_3) \quad (18)$$

$$t_x = m_{34} \quad (19)$$

$$t_x = \frac{m_{34}}{a_x} (m_{14} - u_0) \quad (20)$$

$$t_y = \frac{m_{34}}{a_y} (m_{24} - v_0) \quad (21)$$

综上所述,场景中最少 6 个点的世界坐标点以及相对应的像素坐标点可以求出 M 矩阵,并根据式(12)~(21)依次确定摄像机的内外参数。

2 果蔬位姿深度信息恢复试验

2.1 双目平行相机模型 人们早就认识到,双眼观察物体时会有立体感,双目平行相机模型就是模仿这一视觉机理,通过对同一物体在左右图像上投影的视差,根据几何比例模型来计算该物体在场景中的坐标。如图 3 所示视差原理,左相机和右相机的光学中心分别设为 C_l 和 C_r ,目标点 P 在两相机图像上的投影点分别为 P_l 和 P_r ,相机距离为 b ,焦距为 f 。 P 与 C_l, C_r 的连线距离为 d ,过 C_l, C_r 分别向图像平面作垂线 $C_l A_l, C_r A_r$,过点 P 向图像平面作垂线 $P B$ 。令 $|A_l P_l| = l_a$, $|A_r P_r| = l_b$, $|P_r B| = a$ 。

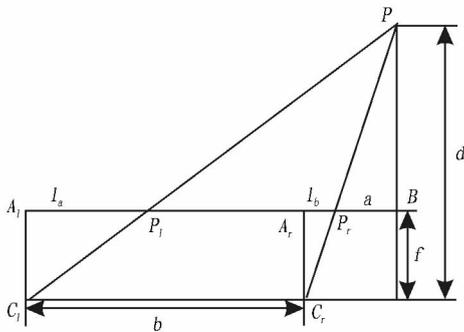


图 3 视差测距原理

按照三角形相似原理得出:

$$\begin{cases} \frac{d-f}{d} = \frac{a}{a+l_b} \\ \frac{d-f}{d} = \frac{b-l_a+l_b+a}{b+l_b+a} \end{cases} \quad (22)$$

解得:

$$\begin{cases} a = \frac{a \times l_b}{l_a - l_b} - l_b \\ d = f \frac{a+l_b}{l_b} = \frac{b \times f}{l_a - l_b} \end{cases} \quad (23)$$

假设 C_1, C_2 分别为两相机的位置,则在三维空间的坐标分别为 $O_1 x_1 y_1 z_1, O_2 x_2 y_2 z_2$,则在上述摄像机配置下,若任何空间 P_1 点的坐标在 C_1 坐标系下为 $(x_1, y_1, z_1), C_2$ 在坐标系下为 $(x_1 - b, y_1, z_1)$ 。由中心摄影的比例关系可得:

$$\begin{cases} u_1 - u_0 = \alpha_x \frac{x_1}{z_1} \\ v_1 - v_0 = \alpha_y \frac{x_1}{z_1} \end{cases} \quad (24)$$

$$\begin{cases} u_2 - u_0 = \alpha_x \frac{x_1 - b}{z_1} \\ v_2 - v_0 = \alpha_y \frac{y_1}{z_1} \end{cases} \quad (25)$$

其中 $(u_1, v_1), (u_2, v_2)$ 分别为 p_1 与 p_2 的图像坐标。在图 3 所示的简单摄像机配置下,假设 C_l 坐标系就是世界坐标系的情况下,可得:

$$\begin{cases} x_1 = \frac{b(u_1 - u_0)}{u_1 - u_2} \\ y_1 = \frac{b a_x (v_1 - v_0)}{a_y (u_1 - u_2)} \\ z_1 = \frac{b a_x}{u_1 - u_2} \end{cases} \quad (26)$$

可见,由 p_1 与 p_2 的图像坐标 $(u_1, v_1), (u_2, v_2)$ 可求出空间点 P 的三维坐标 (x_1, y_1, z_1) 。同理可得出以另一个相机为基准的空间坐标。

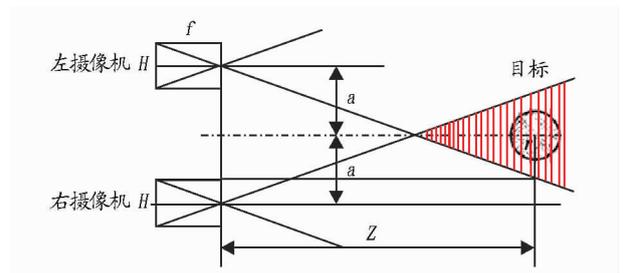


图 4 基线长度的讨论

2.2 基线长度的选取 调整双目摄像机的过程中,要注意 2 个摄像头在同一高度,2 个镜头保持同一平面,以保证 2 个相机光轴平行。摄像机使其在试验过程中不受干扰。在调整两摄像机距离的过程中,需考虑以下问题:

(1) 双目摄像机由于平行放置而很有可能导致 2 幅图的共同特征点不能匹配。一种可能是由于两相机的视差太大或在测量目标元素距离太近时,导致两相机共同视野下不

存在目标元素,只可在一个相机中成像;第二种可能是由于拍摄环境较为复杂,目标元素被其他物体遮挡下只可在其中一个相机中有投影。以上情况导致特征点在两幅图上找不到相互的对应性。解决方法只能减小相机距离,如图4所示阴影部分为共同可视部分,随着 a 的长度减小,可使其共同视野增加,出现上述情况的概率也随之减小。

(2)虽然上述方法解决了视野问题,但随之带来的就是精确度问题。若一味地减小相机距离,当像机间隔趋近0时,虽不存在视野问题,但是双目也就失去了意义。随着基线长度增加,可减小2幅图匹配后视差的相对误差,将增加

深度测量的精度,而共同视野及匹配的概率也随之降低。

总而言之,基线长度的选取要充分考虑拍摄对象的大小和拍摄距离。

2.3 豆角坐标定位 考虑到豆角的长宽相对较小,拍摄距离相比豆角的实际大小相对较远,为了提高结果的准确性,基线长度选定为200 mm。

根据标定结果,分别依次输入2个摄像机的内外参数,读入左右图片(2幅图尽可能保证在同一帧下拍摄,注意分辨率要与标定时一致),再对同一目标分别在左右图片上点选取特征点,计算2幅图的相机坐标系。计算结果见图5。

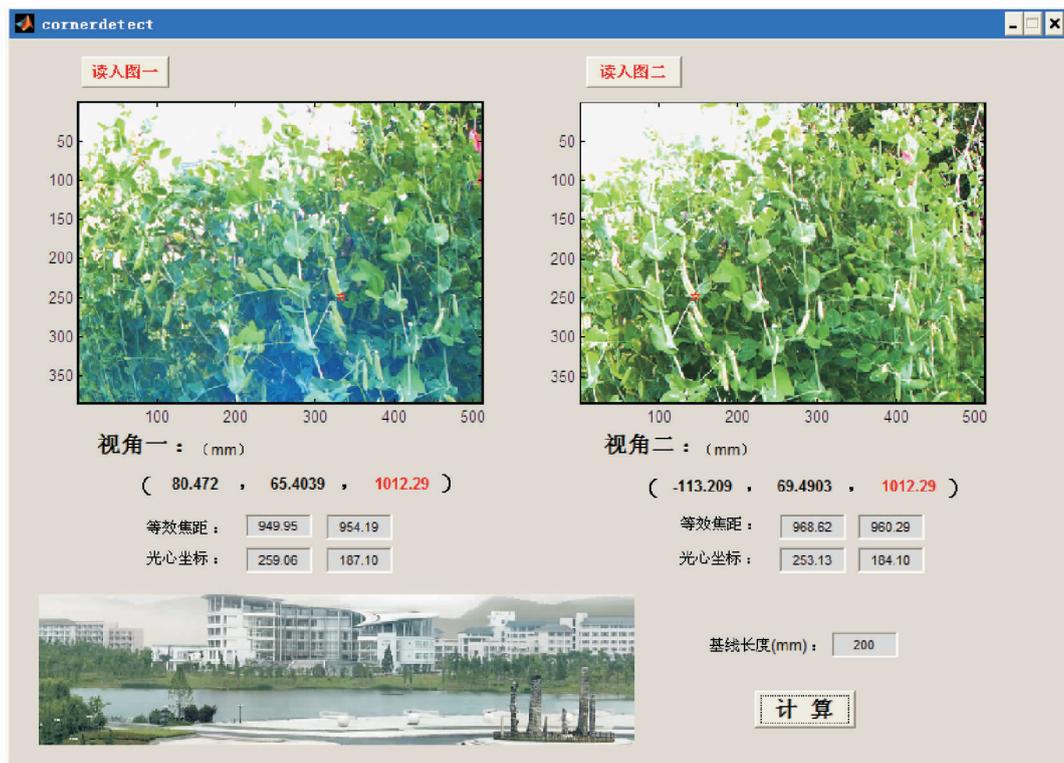


图5 豆角位姿坐标定位结果

针对豆角不同距离进行定位测试,将实际距离与测试距离比较,测试结果见表2。

表2 豆角位姿恢复试验测试结果

序号	实测距离 mm	计算距离 mm	水平视差 $ x_l - x_r $	垂直视差 $ y_l - y_r $	绝对误差 mm	相对误差 %
1	500	511.40	196.89	5.01	11.40	2.28
2	1 000	952.31	194.37	5.30	47.69	4.76
3	1 500	1 430.21	193.53	4.98	69.79	4.65
4	2 000	1 833.67	188.98	4.31	166.33	8.32
5	2 500	2 350.80	191.12	5.02	149.20	5.97
6	3 000	2 756.13	194.21	4.98	243.87	8.13
7	5 000	4 604.76	177.25	3.96	395.24	7.90

由表2可知,当测试距离较近时,由于左右图像上同一目标的横向坐标相差较大,取点匹配后相对误差较小,距离的计算结果较为精确。但随着测试距离增加,同一目标点在左右图像上的坐标变化不再明显,这为取点匹配带来一定困难,误差随之增大。事实上,随着测试距离变为无限远,双目就失去了意义。

3 结论

利用双目平行相机模型,可以对三维场景进行模拟,但

是人工调节下设备难以达到理想效果,并且需考虑实际拍摄物的远近、大小来适当调整。如果需要进一步精确,还需要对拍摄图像进行畸变处理。

智能化的发展对特征点自动提取和立体匹配的需求越来越强烈,但是自动提取需要在应对不同拍摄环境下需针对性处理,尤其是复杂的场景中特征点的提取难度也随之增加。因此,优化算法以应对实际生产生活中的诸多不确定因素,仍是双目立体视觉信息获取技术改进的方向。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 崔岩. 基于双目立体视觉的距离测量[D]. 长春:长春理工大学,2007.
- [3] 田国会,李晓磊,赵守鹏,等. 家庭服务机器人智能空间技术研究与进展[J]. 山东大学学报(工学版),2007,37(5):53-59.
- [4] 徐冠华,田国良,王超,等. 遥感信息科学的进展和展望[J]. 地理学报,

- 1996,51(5):385-397.
- [5] 马玉真,胡亮,方志强,等. 计算机视觉检测技术的发展及应用研究[J]. 济南大学学报(自然科学版),2004,18(3):222-227.
- [6] 乔毅. 移动机器人双目视觉的三维重构[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2007.
- [7] 徐杰. 机器视觉中摄像机标定 Tsai 两步法的分析与改进[J]. 计算机工程与科学,2010,32(4):45-48.

(上接第 373 页)

的空间分辨率为 5 m、10 m 的 NDVI 数据进行两独立样本的

T 检验,结果见表 8。

表 8 空间分辨率不同、起始坐标点相同的两独立样本的 *T* 检验结果

NDVI	方差齐性检验		平均值 <i>t</i> 检验				偏差的 95% 置信区间		
	<i>F</i> 值	<i>Sig.</i> 值	<i>t</i> 值	<i>df</i> 值	<i>Sig.</i> 双边检验	平均差	标准误差	最低值	最高值
假定方差相等	0.755	0.388	0.807	58.00	0.423	0.031 9	0.039 51	-0.047	0.110 96
假定方差不等			0.807	57.92	0.423	0.031 9	0.039 51	-0.047	0.110 97

按照分析表 7 同样的方法分析可知,表 8 中被检验的 2 个总体没有显著差异。说明起始坐标点不变或分析窗口不变,仅改变空间分辨率对总体无影响。

在以上研究的基础上,对起始坐标点为(303 439.257 839 7,2 745 637.453 32)的空间分辨率为 5 m、10 m、30 m 的 NDVI 数据两组合并进行独立样本的 *T* 检验,结果表明 5 m 与 10 m、10 m 与 30 m 分辨率的总体的相伴概率分别为 0.113、0.578,其相伴概率明显高于显著性水平 0.05,表明了起始坐标点相同或分析窗口相同的 NDVI 总体不受空间分辨率的影响。

对不同空间分辨率,不同起始点坐标的 NDVI 数据分别进行独立样本的 *T* 检验,其相伴概率都要高于显著性水平,表明空间分辨率及起始坐标点的不同对总体无影响。因总体不变,故可得出空间尺度的差异对总体总值、均值估计无影响。

3 结论与讨论

3.1 结论 该研究借助 GIS 软件,以 5 m × 5 m、10 m × 10 m、30 m × 30 m 为空间栅格单元,以不同的坐标原点、不同坐标系剖分出多种不同栅格数据集表达同一已知总体;对不同数据模型下形成的总体分别进行了全部自由个体的统计检验,抽取部分样品进行假设检验,结果表明,这些样本的总值、均值都来自同一总体,即地理空间的栅格尺度、建立栅格数据的坐标原点、或野外调查的样地大小发生了改变,对总体的总值和均值的估计没有影响。

显然,利用不同空间尺度、不同坐标系建立地图的栅格数据表达模型,对其表达的地理指标的均值、总值估计没有影响,但前提是指标与栅格形状、栅格的尺度无关,这对于描述与几何形状或尺度无关的地理指标、或指导野外抽样调查是有意义的。

由于空间尺度即栅格大小的改变,影响了地理指标表达的图像的精细程度,影响了其在空间中的连续分布格局的现实逼近及地图的可视化表达和理解应用,但这与地理指标的统计估计不是同一问题。换言之,该研究建立的几个数据模

型是为了估计地理指标,而在不需要强调地面格局精确化表达时,不见得需要栅格分辨率越细越好。

3.2 讨论

(1)该研究中因起始坐标点移动而使研究区有小部分变动,对空间分辨率为 5 m、10 m、30 m 的 NDVI 数据而言,因 random 函数产生的在随机值分别为 0 ~ 10、0 ~ 30、0 ~ 100,故由于起始坐标的移动而产生的误差在 1 个像元之内。

(2)数据重采样产生的误差。最邻近重采样法最大会产生 0.5 个像元大小的位移。因 NDVI 是植被生长状态及植被覆盖度的最佳指示因子,且在植被覆盖的情况下,NDVI 为正值,并随植被覆盖度的增大而增大;对于云、雪、水等而言,因其在可见光波段比近红外波段有较高的反射作用,故其 NDVI 为负值;岩石、裸土在两波段有相似的反射作用,因而其 NDVI 值接近于 0^[9]。故从研究意义上讲,该研究在随机采样的过程中只取了正值,而忽略了 0 值和负值。

参考文献

- [1] 张华国,黄韦良. 基于分形的海岸线遥感信息空间尺度研究[J]. 遥感学报,2006,10(4):463-468.
- [2] 刘勇,黄海军,严立文. 不同空间尺度下石臼陀岛海岸线提取的遥感应用研究[J]. 遥感技术与应用,2013,28(1):144-149.
- [3] 李静静,陈健,朱金玲. 基于 DEM 的河流长度尺度转换与不确定性分析[J]. 人民长江,2010,40(8):55-58.
- [4] 沈涛,苏山舞. 基于 DEM 的河流多尺度显示研究[J]. 测绘科学,2003,28(2):20-22.
- [5] 张宏才. 不同尺度数字高程模型提取水系的尺度效应[D]. 西安:西北大学,2003.
- [6] KUSTAS W P, HUMES K S. Sensible heat flux from remotely-sensed data at different resolutions[M]//STEWART J B, ENGMAN E T, FEDDES R A, et al. Scaling up in hydrology using remote sensing. New York: John Wiley & Sons, 1996:127-145.
- [7] ARBIA G, ESPA G. Effects of the MAUP on image classification[J]. Geographical systems, 1996, 3:123-141.
- [8] 杨培玉,陈圣波,吴琼,等. 城市地区 ETM 和 QUICKBIRD 影像 NDVI 值比较研究[J]. 遥感技术与应用,2008,23(5):69-72.
- [9] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [10] 胡云锋,徐芝英,刘越,等. 地理空间数据的尺度转换[J]. 地球科学进展,2013,28(3):297-304.
- [11] 茆诗松,程依明,濮晓龙,等. 概率论与数理统计教程[M]. 北京:高等教育出版社,2010.
- [12] W · G · 科克伦. 抽样技术[M]. 北京:中国统计出版社,1985.