

# 自动判别基坑支撑位置的图像识别方法

李晓军<sup>1,2</sup>, 孙仕敏<sup>1,3</sup>, 朱合华<sup>1,2</sup>

(1. 同济大学 地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 同济大学 岩土及地下工程教育部重点实验室, 上海 200092;  
3. 上海市地下空间设计研究总院有限公司, 上海 200032)

**摘要:** 提出了一种基于设计信息的基坑支撑位置图像识别方法. 首先, 在室内相机标定的基础上对采集到的基坑图像进行镜头畸变校正; 然后, 利用控制点法确定相机在真实世界坐标系中的位置和姿态(以下简称位姿); 根据针孔摄像机模型成像原理将支撑区域投影到图像上; 再对形成的支撑图像区域进行特征提取, 使用颜色分量关系对图像特征进行分析, 以达到判断支撑是否施工完毕的目的; 对基坑的所有支撑进行循环判断, 最终得到当前基坑施工的支撑位置. 与传统数字照相识别方法相比, 能有效避免复杂施工现场环境的干扰; 最后, 给出了一个基坑支撑位置识别的工程实例. 结果表明, 基于设计信息的识别基坑施工过程支撑位置的方法是有效可行的.

**关键词:** 支撑位置; 设计信息; 数字照相; 识别

**中图分类号:** O319.56

**文献标志码:** A

## Automatic Identification of Braced Excavation Support Positions Photogrammetry

LI Xiaojun<sup>1,2</sup>, SUN Shimin<sup>1,3</sup>, ZHU Huhua<sup>1,2</sup>

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Key Laboratory of Geotechnical and Underground Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. Shanghai Underground Space Architectural Design & Research Institute, Shanghai 200032, China)

**Abstract:** The paper presents a design information-based photogrammetric technique to identify the support positions of braced excavations. First, the acquired image is rectified based on laboratory camera calibration parameters. Then, the position and orientation of the camera in the real world are calculated with the control points method. Support regions designated in the design are projected to the image according to the pinhole camera model. Features of the support regions are extracted from the image and analyzed by using a proposed

color component relationship to determine whether the support is constructed or not. Finally, all support positions can be determined according to design information and their positions can be identified one by one. This technique can effectively avoid interference caused by complex construction environment. A case study of this technique in a braced excavation project is also presented. The application shows this technique is practicable and effective.

**Key words:** support positions; design information; photogrammetry; identification

基坑施工过程的支撑位置是描述基坑当前施工状态的重要指标之一. 随着图像处理技术的飞速发展, 利用数字图像技术对工程施工状态进行监控量测已成为研究热点之一<sup>[1-3]</sup>, 它利用相机、标志物等简单设备, 基于图像处理技术测量结构或地层位移等, 可视化工程生产率、费用、施工进度与计划进度差异等信息.

基坑施工过程的支撑位置变化对基坑变形和支护体系的内力具有重要影响<sup>[4]</sup>. 采用数字图像技术能够实现基坑施工状态实时、在线监测, 同时还可方便地利用计算机对所采集的数据进行存储、传输和处理, 识别的支撑位置可作为反分析方法的重要数据来源, 为自动化反分析提供了可能, 也为基坑工程的安全性分析、预警提供更为可靠有效的途径. 因此, 使用图像处理技术方法自动识别基坑支撑位置对工程实时控制和自动管理具有重要参考价值.

传统的图像处理可分为图像预处理、图像分割、特征提取等步骤. 许多学者对数字图像技术在岩土工程中的应用作了研究<sup>[1-3, 5-11]</sup>. 黄醒春等<sup>[1]</sup>将近景化

收稿日期: 2012-08-18

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划(2012BAJ01B02); 国家“九七三”重点基础研究发展计划(2011CB013800); 长江学者和创新团队发展计划(IRT1029); 中央高校基本科研业务费专项资金

第一作者: 李晓军(1975—), 男, 副教授, 工学博士, 主要研究方向为隧道与地下工程分析计算, 数字地下空间与工程等.

E-mail: lixiaojun@tongji.edu.cn

通讯作者: 孙仕敏(1987—), 男, 工学硕士, 主要研究方向为地下工程数字图像技术. E-mail: ssm2595@163.com

摄影测量方法用于大型沉井施工全过程的位移监测,结果为沉井施工现场所采用,达到了防偏纠偏、及时改善后续工程施工方法、保证沉井稳定下沉的目的;王洋等<sup>[5]</sup>从获取的隧道开挖岩体结构面的数字图像中提取节理几何形态空间分布信息,快速识别关键块体并建立模型,记录并且分析开挖过程岩体变形塌落全过程,最后根据数值计算结果来反馈分析指导施工;李元海等<sup>[6]</sup>提出了一种基于数字照相量测和图像相关性分析技术的土体剪切带识别方法,适用于模型试验中岩土材料的剪切带识别及其厚度、倾角、带内变形和演变过程等特性的试验研究;田胜利等<sup>[7]</sup>将摄影测量、图像处理、自由网平差技术综合应用到隧道及地下空间结构变形中,使用MATLAB编制程序完成处理过程,在布设足够的监测点后,能够获得监测断面变形的整体信息;豆海涛等<sup>[8]</sup>对室外大型混凝土模型墙体注水模拟隧道衬砌渗漏水,利用红外热像仪获取渗漏水图像,并使用MATLAB编程提取混凝土渗漏水红外热图像特征;Golparvar-Fard等<sup>[2]</sup>将施工场地数字化模型和真实图像叠加,提出了项目管理人员在施工过程中需掌握的监控信息,包括实际施工信息和预测监控信息等,并用色谱来表示信息差异。这些研究主要是测量结构或地层位移,对工程生产率、费用、施工进度与计划进度差异等信息进行可视化,没有涉及到基坑施工支撑位置的识别。由于现场施工环境的干扰,以上研究在获得理想的图像方面往往存在很大的困难,导致分割效果不够稳定,且图像后处理过程需要大量人为干预。本文提出基于设计信息来识别基坑施工过程的支撑位置。通过确定三维空间点与二维图像点之间的对应关系,将已知的处于真实世界坐标系下的基坑支撑的坐标直接映射到二维图像中并形成图像区域。然后针对不同类型、颜色的支撑利用颜色信息区分支撑与非支撑区域,以达到判断支撑是否已施工完毕的目的。

## 1 基于设计信息的支撑区域识别

基坑支撑方案的设计中通常包括支撑结构类型、支撑体系的布置形式、支撑道数等内容,即在施工前支撑类型与位置信息是已知的。基于设计信息的基坑施工过程支撑位置的识别就是要充分利用这些已知信息,避开复杂现场施工环境的干扰,快速准确地找到支撑在图像中的位置,并对其进行图像识别。

首先,根据基坑现场施工环境,确定拍摄范围尽

量大且图像清晰的相机焦距,室内标定在该焦距下的相机内参;在此基础上对采集到的基坑图像进行镜头畸变校正。然后,利用控制点法<sup>[12]</sup>确定相机在真实世界坐标系中的位姿;根据针孔摄像机模型成像原理将支撑区域直接映射到图像上。再对形成的支撑图像区域进行特征提取,使用颜色分量关系对图像特征进行分析,以达到判断支撑是否施工完毕的目的。对基坑的所有支撑进行循环判断,最终得到当前基坑施工的支撑位置。其原理如图1所示。

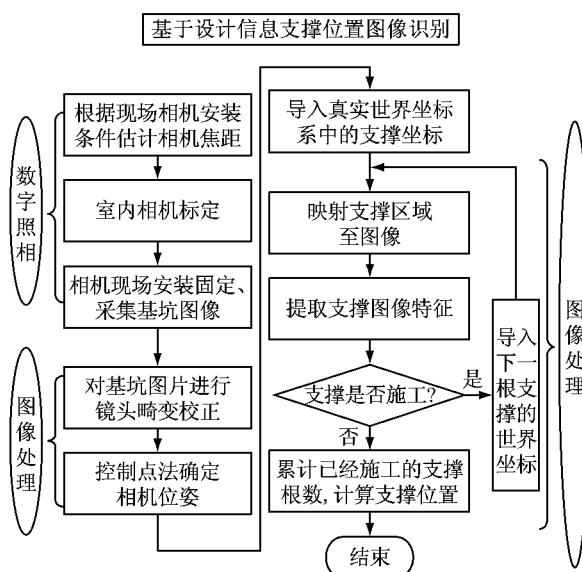


图1 基于设计信息的基坑支撑位置的图像识别原理

Fig. 1 Principle for identifying support positions of braced excavations based on design information

### 1.1 数字成像基本原理

数字成像的基本原理可用如图2所示的针孔摄像机模型来描述。

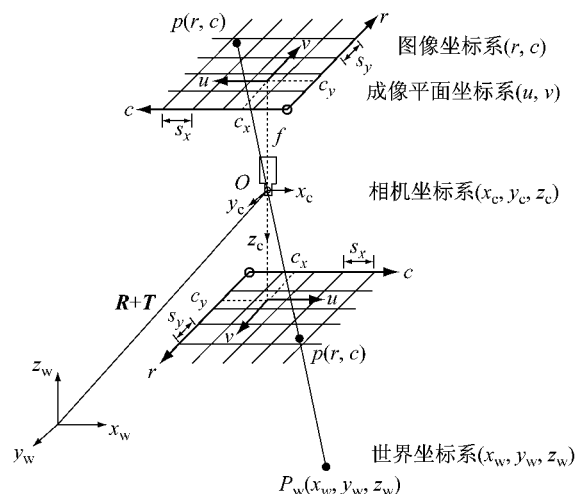


图2 三维空间点坐标的投影过程

Fig. 2 Projection of a 3D point coordinates

(1) 世界坐标系中的点  $P_w(x_w, y_w, z_w)$  首先被转换成相机坐标系下的点  $P_c(x_c, y_c, z_c)$ , 这个过程通过一个旋转矩阵  $R$  和平移矩阵  $T$  来完成. 相机坐标系原点位于相机光心,  $z_c$  轴为相机的光轴, 和图像平面垂直.

(2)  $P_c(x_c, y_c, z_c)$  从相机坐标系投影到成像平面坐标系下点  $p(u, v)$ , 这个过程为透视投影. 成像平面坐标系用来描述像素在图像中的物理位置.

(3) 由于实际的镜头并非理想的透视成像, 而是带有不同程度的畸变, 导致坐标  $p(u, v)$  变化为  $p(\tilde{u}, \tilde{v})$ . 为提高识别或测量精度, 在数字图像处理过程中应对镜头畸变进行校正, 本文通过除法模型校正镜头畸变, 该模型的特点是只需要一个畸变系数就可以比较精确地对图像进行畸变校正<sup>[13]</sup>.

(4) 最后, 成像平面坐标系下的点  $p(\tilde{u}, \tilde{v})$  被转换到图像坐标系  $p(r, c)$ . 图像坐标系以像素为单位, 表示像素位于数字图像中的列数和行数.

上述步骤(1)中旋转矩阵  $R = R(\alpha, \beta, \gamma)$ , 参数  $\alpha, \beta, \gamma$  分别表示绕相机坐标系  $x$  轴,  $y$  轴和  $z$  轴的角度,  $R$  用矩阵表示如式(1)所示. 平移向量  $T = T(t_x, t_y, t_z)$ ,  $T$  表示世界坐标系原点在相机坐标系下的坐标. 旋转矩阵  $R$  和平移向量  $T$  的 6 个参数也称为相机位姿参数或外参. 本文通过控制点法, 即图像上若干控制点的图像坐标和这些对应点的已知世界坐标来确定相机的位姿.

$$R(\alpha, \beta, \gamma) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

上述步骤(2)至步骤(4)中相机坐标系到成像平面坐标系的变换、图像镜头畸变校正、成像平面坐标系到图像坐标系的变换必须要用到相机内参. 相机内参包括 8 个参数  $(f, \kappa, s_x, s_y, c_x, c_y, W_1, H_1)$ ,  $f$  是相机主距, 表示成像平面与相机投影中心的距离;  $\kappa$  是相机镜头畸变参数, 表示径向畸变量级, 如果为负, 畸变为桶型畸变, 如果为正, 畸变为枕型畸变;  $s_x, s_y$  分别是  $x, y$  方向上的比例缩放因子, 它们表示图像传感器上水平和垂直方向上相邻像素之间的距离;  $c_x, c_y$  是光心垂直于 CCD (charge-coupled

device) 平面的投影点, 称为主点;  $W_1, H_1$  分别是像宽和像高. 相机内参确定了相机内部的几何和光学特性, 决定了三维空间点到二维图像点的投影, 其数值可通过相机内参标定得到.

## 1.2 相机内参标定

在实际基坑现场施工环境下识别支撑位置时不可能每次识别都对相机进行繁琐的内参标定. 本文通过室内标定解决这个问题. 将相机调至全手动模式, 在模拟实际拍摄环境条件下准确对焦后锁定变焦镜头和对焦环, 然后对相机进行标定. 考虑相机确定则成像的 CCD 尺寸确定, 镜头变焦、对焦功能固定则畸变、主点、主距均确定, 通过全手动模式锁定变焦镜头和对焦环的方法即可实现相机内参的固定, 在此后的拍摄中无需再次标定.

本文采用两步法<sup>[14]</sup>对相机进行标定, 该方法的第一步是解线性方程, 得到部分外部参数的精确解, 第二步再将其余外部参数与畸变修正系数进行迭代求解. 本文只考虑径向畸变, 不考虑切向畸变. 对 Sony  $\alpha 550$  配置标准镜头的标定结果如表 1 所示.

表 1 一组相机内参标定结果

Tab.1 Calibration results of internal parameters of the camera

$f/\text{m}$	$\kappa$	$s_x/10^{-6} \text{ m}$	$s_y/10^{-6} \text{ m}$
0.018 843 1	-434.009	5.089 01	5.1
$c_x$	$c_y$	$W_1$	$H_1$
2 300.47	1 570.48	4 592	3 056

## 1.3 图像镜头畸变校正

由于镜头畸变, 光线通过光心后将会改变原来的方向, 导致空间点的实际成像点偏离原来的位置, 如图 3 所示.

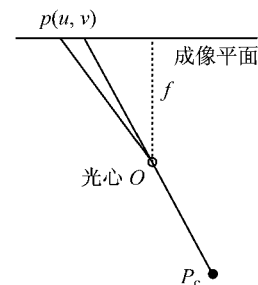


图 3 镜头畸变的效果

Fig.3 Effect of lens distortion

基坑区域在图像上是一个比较大的面域, 受镜头畸变的影响较大, 如果将世界坐标系下的支撑坐标直接投影到未经过畸变校正的图像上形成支撑图像区域就会产生比较大的偏差.

镜头畸变主要有径向畸变、偏心畸变和薄棱镜

畸变<sup>[15]</sup>. 偏心畸变和薄棱镜畸变相对于径向畸变都要小得多<sup>[15-16]</sup>. 因此,本文考虑的镜头畸变为径向畸变,这种镜头畸变随着镜头视角的增大而增大. 本文上节已经确定了镜头畸变系数,采用除法模型来描述镜头径向畸变,并通过公式(2)对图像进行畸变校正,从而保证支撑识别结果的准确性.

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \frac{1}{1 + \kappa(\tilde{u}^2 + \tilde{v}^2)} \begin{pmatrix} \tilde{u} \\ \tilde{v} \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中: $u, v$  是畸变校正后的投影点在成像平面坐标系下的图像坐标; $\tilde{u}, \tilde{v}$  表示镜头畸变的投影点  $p(\tilde{u}, \tilde{v})$  在成像平面坐标系下的图像坐标.

值得注意的是,采用该法镜头畸变校正后的图像可见区域较校正前有轻微的减少,但这并不影响相机外参的确定和基坑支撑图像区域的映射.

#### 1.4 控制点法确定相机位姿

为了使图像能反映尽可能大的基坑范围,又不影响支撑识别的精度,需将相机固定在基坑附近具有一定高度的建筑物或支架上. 因此,相机在真实空间中的位姿通常是固定不变的.

为将世界坐标系下的支撑坐标转换到相机坐标系下,为下一步将支撑三维坐标点从相机坐标系投影到成像平面中做好准备,必须要知道相机坐标系与世界坐标系的相对关系,如图4所示.

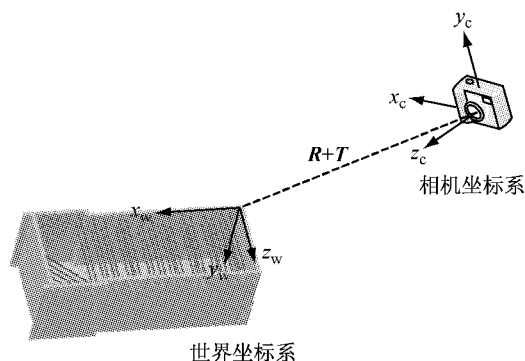


图4 相机坐标系与世界坐标系的相对关系

Fig. 4 Relationship between camera coordinate system and world coordinate system

从世界坐标系到相机坐标系的变换用一个旋转矩阵  $R$  和平移向量  $T$  来描述,用齐次坐标与矩阵形式表示世界坐标系下点  $P_w(x_w, y_w, z_w)$  与相机坐标系下点  $P_c(x_c, y_c, z_c)$  的关系,如式(3)所示.

$$\begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

相机在世界坐标系下的位姿可以通过控制点法

计算得到,即通过获取控制点的图像坐标和对应的世界坐标计算出相机外部参数. 通过这种方法得到外参的前提是相机的内参必须已知,也就是说相机需要预先标定好,且不变焦、不改变光圈大小.

当相机的内参已知时,控制点的图像坐标  $p(r, c)$  与成像平面坐标系下有畸变的图像坐标  $p(\tilde{u}, \tilde{v})$  之间的变换关系用式(4)表示为

$$\begin{pmatrix} \tilde{u} \\ \tilde{v} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} cs_x - c_x s_y \\ rs_y - c_y s_y \end{pmatrix} \quad (4)$$

接着由公式(2)可以计算出成像平面坐标系下经过畸变校正以后的图像坐标  $p(u, v)$ .

相机坐标系到二维成像平面坐标系的投影是一个透视投影,其投影关系为

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \frac{f}{z_c} \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \end{pmatrix} \quad (5)$$

这里的  $f$  表示摄像机常量或主距,并不是镜头的焦距. 由公式(5)知,对应于已知投影点  $p(u, v)$  的空间点有无穷多个,不能唯一确定. 联合公式(5)和公式(3)不难发现,至少需要知道3个控制点的世界坐标和图像坐标才能求解得到摄像机位姿的6个参数.

为了准确地计算出这些参数,选择对应的控制点应尽量符合以下条件:

(1) 对于长方形基坑,世界坐标系的原点一般可设置在基坑壁转角处的顶端,以基坑一边为  $x$  轴,相邻边为  $y$  轴,  $z$  轴竖直向下;对于圆形基坑,世界坐标系的原点可设置在基坑顶面圆心位置,以直径为  $x$  轴,相垂直的另一直径为  $y$  轴,  $z$  轴竖直向下.

(2) 控制点的世界坐标必须已知,且在对应的图像中清晰可见并容易提取;控制点可设置在基坑壁转角处的顶端与底端、支撑与立柱桩的交点处等特征比较明显的点,避免选择如细杆顶端等容易产生位移的物体、可移动物体或照片边缘易变形部位. 此外,应尽量让控制点均匀地分布于整个图像中,以便使真实世界坐标系下的支撑两端空间点精确地投影到图像上的对应位置. 在控制点不能均匀分布时,为了得到识别率高的支撑位置,可在无明显特征点处人为设置标志点. 另外,为了能够求解该方程,所选特征点不应该是共面的,而应在基坑的三维坐标系空间内尽可能均匀地分布.

(3) 由于图像是由像素组成的,从图像中提取控制点的精确位置常带有一定的误差. 减少由于这种误差对支撑识别精度影响的较好方法是在图像中选取尽可能多的控制点,控制点的个数至少为3个.

由于相机内参已知,图像坐标  $p$  与对应的世界

坐标  $P$  可以用式(6)表示.

$$p = f(P; x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) \quad (6)$$

式中:  $x_1, x_2, \dots, x_6$  为相机的 6 个位姿参数. 当控制点个数大于 3, 需求解如下非线性最小二乘问题:

$$\min F(x) = F(x_1, x_2, \dots, x_6) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n r_i^2(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \|r(x)\|_2^2 \quad (7)$$

式中:  $r_i(x) = p_i - f(P_i; x_1, x_2, \dots, x_6)$ , 且  $r(x) = (r_1(x), r_2(x), \dots, r_n(x))^T$ ,  $n$  为控制点个数.

采用高斯-牛顿迭代法、牛顿迭代法等方法计算以下非线性方程组的根得到相机位姿参数:

$$F'(x) = [J(x)]^T r(x) = 0 \quad (8)$$

式中:  $J(x) = r'(x) = \frac{\partial r_i(x)}{\partial x_j}$  是函数  $r(x)$  的雅克比矩阵,  $j=1, 2, \dots, 6$ .

### 1.5 支撑图像区域投影

联立公式(2)~(5), 可以精确地将世界坐标系下的空间点投影到基坑图像上. 基坑支撑两端的空间点坐标投影到图像上的过程如图 5 所示. 处于世界坐标系  $(x_w, y_w, z_w)$  下的支撑端点坐标首先由式(3)转换到相机坐标系  $(x_c, y_c, z_c)$  下, 再将相机坐标系下的点由式(5)投影到成像平面坐标系  $(u, v)$  下, 最后将该点从成像平面坐标系由式(2), (4)转换到图像坐标系  $(r, c)$ .

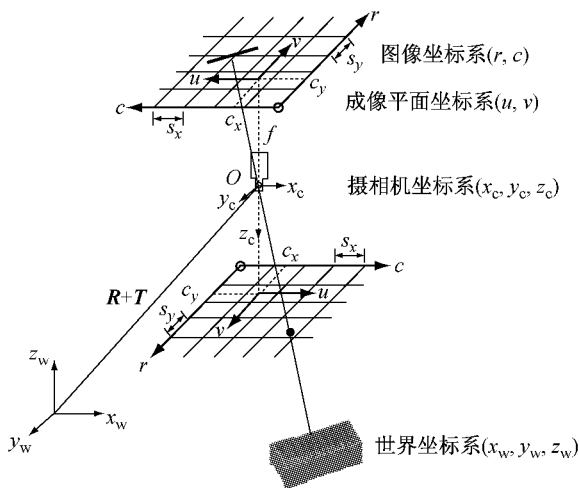


图 5 支撑两端空间点坐标投影过程

Fig. 5 Projection of 3D end-points of a support

当支撑两端空间点投影到支撑图像上后, 将图像投影点用直线连接就可以得到该支撑在图像上形成的轮廓, 再将直线轮廓包围的封闭面积形成一块面域即可得到基坑某一根支撑在图像上的投影区域. 如果该支撑已经施工完毕, 根据投影区域提取的

图像正好是该支撑的图像; 如果该支撑还未完成施工, 根据投影区域提取的图像是基坑壁或其他物体的图像.

对支撑两端空间点的图像投影点形成的区域进行特征提取, 如果该区域的特征刚好与支撑在图像上表现的特征一致, 这样就可以判断该支撑已经施工完毕; 如果该区域的特征与支撑在图像上表现的特征不一致, 认为该支撑还没有施工.

## 2 使用颜色分量关系判断支撑施工

实际基坑工程施工过程中, 为了使钢管支撑不易生锈, 钢管支撑表面常涂有保护漆(例如红色、蓝色), 对于混凝土支撑, 其在图像上呈现比基坑壁颜色更显眼的灰白色, 因此, 本文针对不同类型的支撑利用颜色特征区分支撑与非支撑区域, 以达到对该支撑是否已施工完毕的判断.

RGB 颜色空间是最基本、最常用的颜色空间, 该颜色空间中图像的每个像素的颜色由  $R, G, B$  这 3 个分量决定. 利用 RGB 颜色空间单个分量处理光照条件经常变化情况下的基坑图像时, 由于不容易提供稳定的用于判断支撑区域的阈值, 程序鲁棒性不强. 本文利用 RGB 颜色空间 3 个分量高度相关的特性, 提出使用颜色分量关系描述基坑支撑的图像区域特征, 即提取支撑(红色钢管支撑、蓝色钢管支撑和混凝土支撑)、基坑壁及开挖土体的彩色图像, 将其分解为  $R, G, B$  这 3 个颜色分量, 统计各分量之间的相对关系(如  $R$  与  $G$  的比值), 作为判断支撑图像区别于其他物体图像的依据.

## 3 工程实例应用

### 3.1 工程概况

上海市轨道交通 10 号线一期工程吴中路停车场主要由列检库和相关商业配套组成, 工程占地面积约为 29 754 m<sup>2</sup>, 地下一、二层为综合开发, 地面一层为停车列检库 2, 地下综合开发部分与车站牵引变电站已建成部分合建为一整体, 并与外环路地铁车站站厅相接. 本工程地下 2 层, 开挖深度约为 15 m, 基坑面积约为 17 000 m<sup>2</sup>, 主体基坑长 270 m, 宽 51 m, 如图 6 所示.

### 3.2 现场试验

(1) 将相机调至全自动拍摄模式, 根据施工现场情况估计在某天气条件下使基坑画面完整清晰的



图6 吴中路停车场基坑全貌

Fig.6 Overview of the Wuzhong Road Parking Lot braced excavation

合适焦距和光圈值。

(2) 将相机调至全手动拍摄模式,固定焦距和光圈值,利用标定板室内标定相机内参。

(3) 将相机安装在三脚架的云台上或手持相机,在基坑周围选择合适的位置对基坑进行拍摄。

(4) 拍摄结束后,将相机内存储的图像下载到工作站上,利用编制的程序对基坑施工过程中的开挖深度进行测量。

### 3.3 支撑位置识别结果

基坑支撑位置的识别程序主要包括支撑区域识别和区域判断两部分。支撑区域识别包括相机内参标定、镜头畸变校正、外参确定和支撑区域投影。支撑区域判断使用颜色分量关系,根据基坑设计的支撑坐标信息对基坑所有的支撑进行循环判断并返回支撑位置的识别结果。程序在德国MVTec公司计算机视觉工具包HALCON基础上开发,相机内参和外参可保存为数据文件,分析时只需直接读入即可。

选取该基坑的某区域对其施工过程中的支撑位置进行识别。该区域为停车列检库2-1号坑,混凝土支撑截面类型为 $600\text{ mm}\times 600\text{ mm}$ 、 $900\text{ mm}\times 800\text{ mm}$ 与 $1\,000\text{ mm}\times 900\text{ mm}$ ,第一道支撑间距 $11.2\text{ m}$ ,第二道支撑间距 $8.3\sim 12.0\text{ m}$ 不等,一、二道支撑垂直间距为 $5.8\text{ m}$ 。将世界坐标系原点设置于第一道第一根支撑(镜头远端)的左端上部位置。图7中支撑与横梁的交汇点清晰可见容易提取,且这些点在不同平面上均匀地分布于整个图像中,可作为计算相机外参的特征点。图8为基坑支撑识别区域内第一道第二根支撑形成的轮廓图像的放大图,由4个支撑端点的空间坐标投影到图像上连接而成。从图8可以看出,投影的支撑轮廓包围的图像区域基本上覆盖了真实的支撑图像区域。图9为该支撑轮廓形成的图像区域,覆盖在真实支撑图像区域上。

将基坑支撑识别区域内每一根支撑两端的空间坐标点投影到图像中,依次连接各点成支撑轮廓并

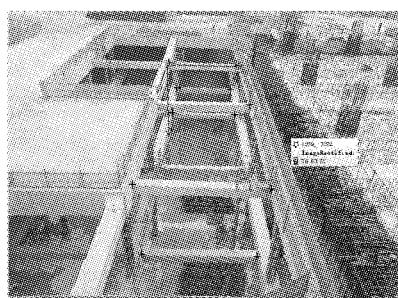


图7 世界坐标系与特征点

Fig.7 The world coordinate system and characteristic points

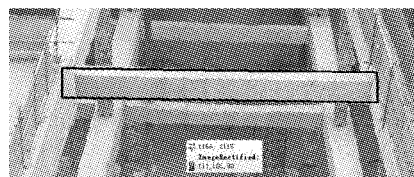


图8 支撑轮廓图像

Fig.8 Contour of a support

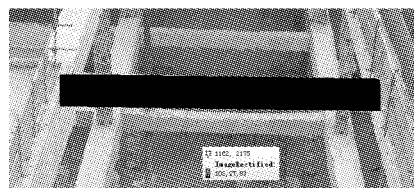


图9 支撑区域图像

Fig.9 Regional image of the support

形成支撑的图像区域,提取区域特征并对其判断。对该基坑区域内的所有支撑进行循环判断,结果如图10所示,识别结果为:已施工支撑根数为7根。根据设计资料返回的支撑位置为距离地面 $6.7\text{ m}$ ,第二道支撑已全部施工完毕。

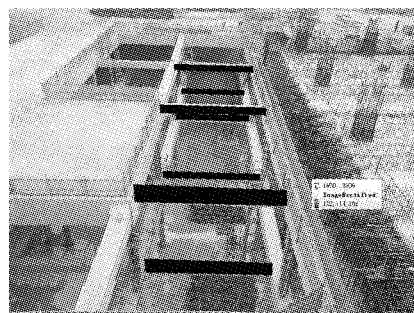


图10 支撑位置识别结果

Fig.10 Identification results of the support positions

## 4 结论

本文提出了一种基于设计信息的基坑支撑位置的图像识别方法。

该法充分利用了基坑设计与施工阶段的支撑类型、支撑体系的布置形式、支撑道数和支撑颜色等已知信息,通过确定三维空间点与二维图像点之间的对应关系,将世界坐标系下的支撑端点空间坐标投影到图像上形成图像区域,提取特征后使用颜色分量关系判断支撑是否施工完毕,最终达到基坑施工支撑位置自动判别的目的。其主要步骤为:①相机内参标定;②镜头畸变校正;③相机位姿确定;④支撑区域投影图像求取;⑤图像特征提取与分析。

与传统数字照相识别方法相比,该法能快速准确地找到支撑在图像中的位置,有效避免复杂施工现场环境的干扰。

### 参考文献:

- [1] 黄醒春,寇新建,徐张生. 大型沉井施工过程的数字化摄影监测[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(5): 559.  
HUANG Xingchun, KOU Xinjian, XU Zhangsheng. Monitoring of dynamic displacement of large scale well-sinking by close-up photogrammetry [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1999, 21(5): 559.
- [2] Golparvar-Fard M, Peña-Mora F, Arboleda C, et al. Visualization of construction progress monitoring with 4D simulation model overlaid on time-lapsed photographs [J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2009, 23(6): 391.
- [3] Zhang Xiaonan, Bakis N, Lukins T C, et al. Automating progress measurement of construction projects[J]. Automation in Construction, 2009, 18(3): 294.
- [4] 刘润,闫玥,闫淑旺. 支撑位置对基坑整体稳定性的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(1): 174.  
LIU Run, YAN Yue, YAN Shuwang. Stability analysis of foundation pit with position change of braces [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(1): 174.
- [5] 王洋,王述红,郭牡丹,等. 隧道掌子面节理信息快速数字识别及稳定性分析[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(11): 1734.  
WANG Yang, WANG Shuhong, GUO Mudan, et al. Fast digital identification of joint information of tunnel work face and its stability analysis [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(11): 1734.
- [6] 李元海,靖洪文,朱合华,等. 基于图像相关分析的土体剪切带识别方法[J]. 岩土力学, 2007, 28(3): 522.  
LI Yuanhai, JING Hongwen, ZHU Hehua, et al. A technique of identifying shear band accurately in granular soil using image correlation analysis [J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(3): 522.
- [7] 田胜利,葛修润,涂志军. 隧道及地下空间结构变形的数字化近景摄影测量试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(7): 1309.
- [8] 豆海涛,黄宏伟,薛亚东. 隧道渗漏水红外辐射特征模型试验及图像处理[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(增2): 3386.  
DOU Haitao, HUANG Hongwei, XUE Yadong. Model test on infrared radiation feature of tunnel seepage and image processing [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(Supplement 2): 3386.
- [9] 徐安权,徐卫亚,石崇. 基于小波变换的数字图像技术在堆积体模拟中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(5): 1007.  
XU Anquan, XU Weiya, SHI Chong. Application of digital image technology to simulation of talus deposit based on wavelet transform [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(5): 1007.
- [10] Abeid J, Allouche E, ARDITI D, et al. PHOTO-NET II: a computer-based monitoring system applied to project management[J]. Automation in Construction, 2003, 12(5): 603.
- [11] Everett J G, Halkali H, Schlaff T G. Time-lapse video application for construction project management[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 1998, 124(3): 204.
- [12] MVTec Software GmbH. HALCON 9.0 [CD]. Munich: MvTec Software GmbH, 2008.
- [13] Steger C, Ulrich M, Wiedemann C. 机器视觉算法与应用 [M]. 杨少荣, 吴迪静, 段德山, 译. 北京: 清华大学出版社, 2011.  
Steger C, Ulrich M, Wiedemann C. Machine vision algorithms and applications [M]. Translated by YANG Shaorong, WU Dijing, DUAN Deshan. Beijing: Tsinghua University Press, 2011.
- [14] Tsai R Y. A versatile camera calibration technique for high accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses [J]. IEEE Journal of Robotics Automat, 1987, RA-3(4): 323.
- [15] 周春霖. 基于数字图像技术的岩体节理精细描述及应用研究 [D]. 上海: 同济大学土木工程学院, 2009.  
ZHOU Chunlin. Rock mass discontinuities description and application research based on digital image technique [D]. Shanghai: College of Civil Engineering of Tongji University, 2009.
- [16] 田原嫒,杨浩,刘思阳. CCD摄像机镜头薄棱镜畸变的研究 [J]. 东北电力大学学报, 2010, 30(6): 64.  
TIAN Yuanyuan, YANG Hao, LIU Siyang. Research on thin prism distortion of CCD camera [J]. Journal of Northeast Dianli University, 2010, 30(6): 64.