



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104988928 B

(45)授权公告日 2017.01.25

(21)申请号 201510269598.9

(51)Int.Cl.

(22)申请日 2015.05.25

E02D 17/02(2006.01)

G01B 11/02(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104988928 A

审查员 姜海燕

(43)申请公布日 2015.10.21

(73)专利权人 浙江省围海建设集团股份有限公司

地址 315040 浙江省宁波市高新区广贤路1009号

专利权人 福建江夏学院

(72)发明人 郑敬云 蒋国平

(74)专利代理机构 福州元创专利商标代理有限公司 35100

代理人 蔡学俊

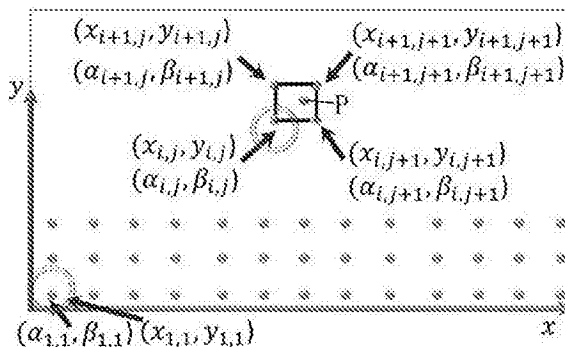
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

基于数字图像实时监测基坑开挖水平位移的方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于数字图像实时监测基坑开挖水平位移的方法。该方法建立了一种单一摄像机多个目标快速定位、监测系统,该系统安装简单,无需考虑相机安装位置、镜头参数等信息,安装完毕后整体标定,将系统误差进行整体标定考虑。本发明方法提高了测量精度,并且算法简单,代码执行效率高,适合长期野外工作环境;当基坑开挖过程中出现水平位移超过设定的阈值后系统将作出报警,并通过激光灯指示到报警位置,指导现场人员立刻对该区域进行加固和维修工作,以防基坑坍塌或更严重的事故发生。



1.一种基于数字图像实时监测基坑开挖水平位移的方法,其特征在于:包括如下步骤,

S1:提供一基坑开挖实时水平位移监测系统,包括中控计算机及与该中控计算机连接的安装在基坑附近的摄像机、云台、安装于所述云台上的激光灯;

S2:设整体坐标系,即相机坐标系为xyz,以云台为中心的坐标系为XYZ,云台绕X轴转动的角度记为 $\alpha$ ,绕Z轴旋转的角度记为 $\beta$ ;

S3:打开激光灯,通过转动云台使激光灯指向各监测点,即标定点,记录下此时云台转角 $(\alpha_{i,j}, \beta_{i,j})$ ,同时记录下各标定点在整体坐标系下的坐标 $(x_{i,j}, y_{i,j})$ ,即可得到整体坐标系下各标定点的坐标 $(x_{i,j}, y_{i,j})$ 与云台转角 $(\alpha_{i,j}, \beta_{i,j})$ 之间的一一对应关系,并存入中控计算机中,其中*i*表示行坐标,*j*表示列坐标;

S4:通过整体标定后,当监测到目标监测点发生偏移时,即可通过该目标监测点在整体坐标系下的坐标 $(x_p, y_p)$ ,获取云台转角 $(\alpha_{i,j}, \beta_{i,j})$ ,进而通过中控计算机控制云台转动该转角 $(\alpha_{i,j}, \beta_{i,j})$ ,打开激光灯即可照射至发生偏移的目标监测点处,进行报警;

所述步骤S4中,若监测到的发生偏移的目标监测点不是标定点时,需通过以下方式来控制云台的转动及激光灯报警,

S21:通过相机拍摄发生偏移的目标监测点P的图像,确定其在整体坐标系下的坐标 $(x_p, y_p)$ ,并获取位于其四周的标定点的坐标 $(x_{i,j}, y_{i,j})$ 、 $(x_{i+2,j}, y_{i+2,j})$ 、 $(x_{i+2,j+2}, y_{i+2,j+2})$ 、 $(x_{i,j+2}, y_{i,j+2})$ 以及其所对应的云台转角 $(\alpha_{i,j}, \beta_{i,j})$ 、 $(\alpha_{i+2,j}, \beta_{i+2,j})$ 、 $(\alpha_{i+2,j+2}, \beta_{i+2,j+2})$ 、 $(\alpha_{i,j+2}, \beta_{i,j+2})$ ;

S22:由于目标监测点P不是标定点,按照其周围的四个点进行插值计算,具体计算公式如下:

$$x_p = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) x_{i+m,j+n} \quad (1)$$

$$y_p = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) y_{i+m,j+n} \quad (2)$$

其中: $N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1 + \xi_{m+1}\xi)(1 + \eta_{n+1}\eta)$ ,  $m, n = 0, 1$ ,  $\xi_1 = -1$ ,  $\xi_2 = 1$ ,  $\eta_1 = -1$ ,  $\eta_2 = 1$ ;

将P点坐标 $(x_p, y_p)$ 与其周围的四个标定点坐标代入公式(1)和(2)即可以求解出参数 $\xi$ ,  $\eta$ ;

S23:由步骤S22,根据已知的四个标定点所对应的云台转角,即可通过下述公式计算出目标监测点P所对应的云台转角:

$$\alpha_p = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) \alpha_{i+m,j+n} \quad (3)$$

$$\beta_p = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) \beta_{i+m,j+n} \quad (4)$$

其中: $N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1 + \xi_{m+1}\xi)(1 + \eta_{n+1}\eta)$ ,  $m, n = 0, 1$ 。

2.根据权利要求1所述的基于数字图像实时监测基坑开挖水平位移的方法,其特征在于:所述步骤S4中,目标监测点的偏移的判断是通过以下方式实现,

S31:在基坑的各监测点均设置一标志板,所述标志板包括存储有标志板信息的条形码及5个黑白标志,该5个黑白标志呈以其中一个为中心,另四个排布于该中心黑白标志的上、下、左、右;各标志板的条形码信息均存至所述中控计算机中;

S32:通过摄像机拍摄标志板图像,并由中控计算机读取标志板的条形码获取该标志板的信息,得出该标志板左、右两个黑白标志间的距离 $L_{\text{左}}$ ,上、下两个黑白标志间的距离 $L_{\text{上}}$ ;通过图像识别原理分别识别计算出该4个黑白标志及中心黑白标志的图像像素坐标,即左

$(p_{xi}, p_{yi})$ 、右 $(p_{xr}, p_{yr})$ 、上 $(p_{xt}, p_{yt})$ 、下 $(p_{xd}, p_{yd})$ 、中心 $(p_{xo}, p_{yo})$ ;

S33: 当目标监测点发生偏移时, 标志板出现偏移, 此时通过摄像机拍摄标志板图像, 并通过图像识别原理计算得到此时中心黑白标志坐标 $(q_{xo}, q_{yo})$ , 有下述公式:

$$x = \frac{i_{xr}}{\sqrt{(p_{xr}-p_{xl})^2+(p_{yr}-p_{yl})^2}} \sqrt{(q_{xo}-p_{xo})^2+(q_{yo}-p_{yo})^2} \quad (7)$$

$$y = \frac{i_{yd}}{\sqrt{(p_{xt}-p_{xd})^2+(p_{yt}-p_{yd})^2}} \sqrt{(q_{xo}-p_{xo})^2+(q_{yo}-p_{yo})^2} \quad (8)$$

通过上述式子, 即可获取中心黑白标志在标志板内的水平和竖向位移;

S34: 步骤S33获取的水平和竖向位移超过阈值后, 即判断该目标监测点发生偏移。

3. 根据权利要求2所述的基于数字图像实时监测基坑开挖水平位移的方法, 其特征在于: 所述中心黑白标志为方形黑白标志, 排布于该中心黑白标志的上、下、左、右的黑白标志均为圆形黑白标志。

## 基于数字图像实时监测基坑开挖水平位移的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种基坑开挖实时监测方法,特别是涉及一种基于数字图像实时监测基坑开挖水平位移的方法。

### 背景技术

[0002] 随着我国城市化建设的发展,各种高层建筑、地下隧道、高架桥等工程的大量涌现,为了更加稳定和满足抗风、抗震等荷载作用,工程中通常都需要开挖基坑,基坑开挖是工程建设的基础,由于基坑开挖会对周围建筑物的稳定性造成一定的影响,常常会引起基坑周围的支护体系以及周边建筑物、环境等发生变化。同时由于周围高大建筑物的挤压,也可能对新开挖的基坑造成坍塌等不良影响,造成工期延长、经济损失,因此,为了全面、系统的对基坑支护、周围土体以及周围临近结构的影响,对基坑开挖进行水平位移监测是十分有必要的。

[0003] 现有的基坑监测方法很多,例如视准线法、小角度法、极坐标法以及前方交会法等。对于传统的基坑水平位移监测,一般采用经纬仪或者全站仪来进行观测。对于基坑水平位移监测的方法很多,实际工程中测量方法的精度、测量方法的简单化、实时化是目前人们普遍关心的问题,能够达到高精度是保证施工安全的重要条件。

[0004] 数字图像测量是近些年来迅速发展起来的一门新学科。它主要是由传统的摄影测量学、光学测量与现代时尚的计算机视觉和数字图像处理分析等学科交叉、融合,取各个学科的优势和长处而形成的。它的主要处理对象以数字(视频)序列图像为主。该方法是利用摄像机、照相机等对动态、静态物体的运动进行拍摄得到单帧或者序列数字图像,再利用数字图像处理等技术对目标进行识别、定位、跟踪,并进行求解和分析算方法,实现对目标实时的自动测量和估计的理论和技术的。该方法已经在很多领域得到了广泛的应用,并随着现代数字相机的日趋成熟,其应用前景将更为广泛。

[0005] 本发明专利主要是基于数字图像测量来实现基坑开挖水平位移实时监测。该系统操作简单、精度高、实时性好,适合野外工地作业,能够满足现有的基坑工程开挖水平位移监测的需要。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种基于数字图像实时监测基坑开挖水平位移的方法,该方法提高了测量精度,并且算法简单。

[0007] 为实现上述目的,本发明的技术方案是:一种基于数字图像实时监测基坑开挖水平位移的方法,包括如下步骤,

[0008] S1:提供一基坑开挖实时水平位移监测系统,包括中控计算机及与该中控计算机连接的安装在基坑附近的摄像机、云台、安装于所述云台上的激光灯;

[0009] S2:设整体坐标系,即相机坐标系为 $xyz$ ,以云台为中心的坐标系为 $XYZ$ ,云台绕 $X$ 轴转动的角度记为 $\alpha$ ,绕 $Z$ 轴旋转的角度记为 $\beta$ ;

[0010] S3:打开激光灯,通过转动云台使激光灯指向各监测点,即标定点,记录下此时云台转角 $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$ ,同时记录下各标定点在整体坐标系下的坐标 $(X_{ij}, Y_{ij})$ ,即可得到整体坐标系下各标定点的坐标 $(X_{ij}, Y_{ij})$ 与云台转角 $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$ 之间的一一对应关系,并存入中控计算机中,其中*i*表示行坐标,*j*表示列坐标;

[0011] S4:通过整体标定后,当监测到目标监测点发生偏移时,即可通过该目标监测点在整体坐标系下的坐标 $(X_p, Y_p)$ ,获取云台转角 $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$ ,进而通过中控计算机控制云台转动该转角 $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$ ,打开激光灯即可照射至发生偏移的目标监测点处,进行报警。

[0012] 在本发明一实施例中,所述步骤S4中,若监测到的发生偏移的目标检测点不是标定点时,需通过以下方式来控制云台的转动及激光灯报警,

[0013] S21:通过相机拍摄发生偏移的目标监测点P的图像,确定其在整体坐标系下的坐标 $(X_p, Y_p)$ ,并获取位于其四周的标定点的坐标 $(X_{i,j}, Y_{i,j})$ 、 $(X_{i+1,j}, Y_{i+1,j})$ 、 $(X_{i+1,j+1}, Y_{i+1,j+1})$ 、 $(X_{i,j+1}, Y_{i,j+1})$ 以及其所对应的云台转角 $(\alpha_{i,j}, \beta_{i,j})$ 、 $(\alpha_{i+1,j}, \beta_{i+1,j})$ 、 $(\alpha_{i+1,j+1}, \beta_{i+1,j+1})$ 、 $(\alpha_{i,j+1}, \beta_{i,j+1})$ ;

[0014] S22:由于目标监测点P不是标定点,按照其周围的四个点进行插值计算,具体计算公式如下:

$$[0015] \quad x_p = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) x_{i+m,j+n} \quad (1)$$

$$[0016] \quad y_p = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) y_{i+m,j+n} \quad (2)$$

[0017] 其中: $N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1 + \xi_{m+1}\xi)(1 + \eta_{n+1}\eta)$ ,  $m, n = 0, 1$ ,  $\xi_1 = -1$ ,  $\xi_2 = 1$ ,  $\eta_1 = -1$ ,  $\eta_2 = 1$ ;

[0018] 将P点坐标 $(X_p, Y_p)$ 与其周围的四个标定点坐标代入公式(1)和(2)即可以求解出参数 $\xi, \eta$ ;

[0019] S23:由步骤S22,根据已知的四个标定点所对应的云台转角,即可通过下述公式计算处目标监测点P所对应的云台转角:

$$[0020] \quad \alpha_p = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) \alpha_{i+m,j+n} \quad (3)$$

$$[0021] \quad \beta_p = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) \beta_{i+m,j+n} \quad (4)$$

[0022] 其中: $N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1 + \xi_{m+1}\xi)(1 + \eta_{n+1}\eta)$ ,  $m, n = 0, 1$ 。

[0023] 在本发明一实施例中,所述步骤S4中,监测目标监测点的偏移是通过以下方式实现,

[0024] S31:在基坑的各监测点均设置一标志板,所述标志板包括存储有标志板信息的条形码及5个黑白标志,该5个黑白标志呈以其中一个为中心,另四个排布于该中心黑白标志的上、下、左、右;各标志板的条形码信息均存至所述中控计算机中;

[0025] S32:通过摄像机拍摄标志板图像,并由中控计算机读取标志板的条形码获取该标志板的信息,得出该标志板左、右两个黑白标志间的距离 $l_{lr}$ ,上、下两个黑白标志间的距离 $l_{ud}$ ;通过图像识别原理分别识别计算出该4个黑白标志及中心黑白标志的图像像素坐标,即左 $(p_{xl}, p_{yl})$ 、右 $(p_{xr}, p_{yr})$ 、上 $(p_{xu}, p_{yu})$ 、下 $(p_{xd}, p_{yd})$ 、中心 $(p_{xc}, p_{yc})$ ;

[0026] S33:当目标监测点发生偏移时,标志板出现偏移,此时通过摄像机拍摄标志板图像,并通过图像识别原理计算得到此时中心黑白标志坐标 $(q_{xc}, q_{yc})$ ,有下述公式:

$$[0027] \quad x = \frac{l_{1x}}{\sqrt{(p_{x1}-p_{x2})^2+(p_{y1}-p_{y2})^2}} \sqrt{(q_{x0}-p_{x0})^2+(q_{y0}-p_{y0})^2} \quad (7)$$

$$[0028] \quad y = \frac{l_{1y}}{\sqrt{(p_{x1}-p_{x2})^2+(p_{y1}-p_{y2})^2}} \sqrt{(q_{x0}-p_{x0})^2+(q_{y0}-p_{y0})^2} \quad (8)$$

[0029] 通过上述式子,即可获取中心黑白标志在标志板内的水平和竖向位移;

[0030] S34:步骤S33获取的水平和竖向位移超过阈值后,即判断该目标监测点发生偏移。

[0031] 在本发明一实施例中,所述中心黑白标志位方形黑白标志,排布于该中心黑白标志的上、下、左、右的黑白标志均为圆形黑白标志。

[0032] 相较于现有技术,本发明具有以下有益效果:本发明方法测量精度高、实时性好,适合野外工地作业,能够满足现有的基坑工程开挖水平位移监测的需要。

## 附图说明

[0033] 图1为本发明云台坐标系示意图。

[0034] 图2为本发明数字图像中的位置与云台角度之间的对应关系图。

[0035] 图3为等参元插值计算图。

[0036] 图4为标志板示意图。

## 具体实施方式

[0037] 下面结合附图,对本发明的技术方案进行具体说明。

[0038] 本发明的一种基于数字图像实时监测基坑开挖水平位移的方法,包括如下步骤,

[0039] S1:提供一基坑开挖实时水平位移监测系统,包括中控计算机及与该中控计算机连接的安装在基坑附近的摄像机、云台、安装于所述云台上的激光灯;

[0040] S2:设整体坐标系,即相机坐标系为xyz,以云台为中心的坐标系为XYZ,云台绕X轴转动的角度记为 $\alpha$ ,绕Z轴旋转的角度记为 $\beta$ ;

[0041] S3:打开激光灯,通过转动云台使激光灯指向各监测点,即标定点,记录下此时云台转角 $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$ ,同时记录下各标定点在整体坐标系下的坐标 $(X_{ij}, Y_{ij})$ ,即可得到整体坐标系下各标定点的坐标 $(X_{ij}, Y_{ij})$ 与云台转角 $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$ 之间的一一对应关系,并存入中控计算机中,其中*i*表示行坐标,*j*表示列坐标;

[0042] S4:通过整体标定后,当监测到目标监测点发生偏移时,即可通过该目标监测点在整体坐标系下的坐标 $(X_{ij}, Y_{ij})$ ,获取云台转角 $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$ ,进而通过中控计算机控制云台转动该转角 $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$ ,打开激光灯即可照射至发生偏移的目标监测点处,进行报警。

[0043] 进一步的,所述步骤S4中,若监测到的发生偏移的目标检测点不是标定点时,需通过以下方式来控制云台的转动及激光灯报警,

[0044] S21:通过相机拍摄发生偏移的目标监测点P的图像,确定其在整体坐标系下的坐标 $(X_p, Y_p)$ ,并获取位于其四周的标定点的坐标 $(X_{i,j}, Y_{i,j})$ 、 $(X_{i+1,j}, Y_{i+1,j})$ 、 $(X_{i+1,j+1}, Y_{i+1,j+1})$ 、 $(X_{i,j+1}, Y_{i,j+1})$ 以及其所对应的云台转角 $(\alpha_{i,j}, \beta_{i,j})$ 、 $(\alpha_{i+1,j}, \beta_{i+1,j})$ 、 $(\alpha_{i+1,j+1}, \beta_{i+1,j+1})$ 、 $(\alpha_{i,j+1}, \beta_{i,j+1})$ ;

[0045] S22:由于目标监测点P不是标定点,按照其周围的四个点进行插值计算,具体计算公式如下:

$$[0046] \quad x_p = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) x_{i+m,j+n} \quad (1)$$

$$[0047] \quad y_p = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) y_{i+m,j+n} \quad (2)$$

[0048] 其中:  $N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1 + \xi_{m+1}\xi)(1 + \eta_{n+1}\eta)$ ,  $m, n = 0, 1$ ,  $\xi_1 = -1$ ,  $\xi_2 = 1$ ,  $\eta_1 = -1$ ,  $\eta_2 = 1$ ;

[0049] 将P点坐标( $x_p, y_p$ )与其周围的四个标定点坐标代入公式(1)和(2)即可以求解出参数 $\xi, \eta$ ;

[0050] S23:由步骤S22,根据已知的四个标定点所对应的云台转角,即可通过下述公式计算处目标监测点P所对应的云台转角:

$$[0051] \quad \alpha_p = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) \alpha_{i+m,j+n} \quad (3)$$

$$[0052] \quad \beta_p = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) \beta_{i+m,j+n} \quad (4)$$

[0053] 其中:  $N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1 + \xi_{m+1}\xi)(1 + \eta_{n+1}\eta)$ ,  $m, n = 0, 1$ 。

[0054] 进一步的,所述步骤S4中,监测目标监测点的偏移是通过以下方式实现,

[0055] S31:在基坑的各监测点均设置一标志板,所述标志板包括存储有标志板信息的条形码及5个黑白标志,该5个黑白标志呈以其中一个为中心,另四个排布于该中心黑白标志的上、下、左、右(所述中心黑白标志位方形黑白标志,排布于该中心黑白标志的上、下、左、右的黑白标志均为圆形黑白标志);各标志板的条形码信息均存至所述中控计算机中;

[0056] S32:通过摄像机拍摄标志板图像,并由中控计算机读取标志板的条形码获取该标志板的信息,得出该标志板左、右两个黑白标志间的距离 $i_{lr}$ ,上、下两个黑白标志间的距离 $i_{ud}$ ;通过图像识别原理分别识别计算出该4个黑白标志及中心黑白标志的图像像素坐标,即左( $p_{xl}, p_{yl}$ )、右( $p_{xr}, p_{yr}$ )、上( $p_{xu}, p_{yu}$ )、下( $p_{xd}, p_{yd}$ )、中心( $p_{xo}, p_{yo}$ );

[0057] S33:当目标监测点发生偏移时,标志板出现偏移,此时通过摄像机拍摄标志板图像,并通过图像识别原理计算得到此时中心黑白标志坐标( $q_{xo}, q_{yo}$ ),有下述公式:

$$[0058] \quad x = \frac{i_{lr}}{\sqrt{(p_{xr}-p_{xl})^2+(p_{yr}-p_{yl})^2}} \sqrt{(q_{xo}-p_{xo})^2+(q_{yo}-p_{yo})^2} \quad (7)$$

$$[0059] \quad y = \frac{i_{ud}}{\sqrt{(p_{xu}-p_{xd})^2+(p_{yu}-p_{yd})^2}} \sqrt{(q_{xo}-p_{xo})^2+(q_{yo}-p_{yo})^2} \quad (8)$$

[0060] 通过上述式子,即可获取中心黑白标志在标志板内的水平和竖向位移;

[0061] S34:步骤S33获取的水平和竖向位移超过阈值后,即判断该目标监测点发生偏移。

[0062] 以下为本发明的具体实施例。

[0063] 本发明方法主要通过以下技术手段来实现:提供一基坑开挖实时水平位移监测系统,包括中控电脑、安装在基坑附近的摄像机(一台摄像机监测多个目标)、云台2(1个)、安装于云台2上方的激光灯1(1个);所述的摄像机1台测量多个测点,对基坑开挖过程中的水平位移进行实时监测,并与中控电脑连接,由中控电脑控制摄像机拍摄,当出现情况时中控电脑再发送指令到云台,开启激光灯,使得云台(云台可以绕x轴和y轴360°旋转)转向激光灯指向报警目标。

[0064] 工程中固定好各个仪器设备,要求各个设备安装稳定牢固,激光灯安装于云台上,不需要测量云台与摄像机之间的位置关系。将所有的设备连接到中控电脑上,并进行初始

整体标定,标定各个摄像机与云台之间的对应关系,存入中控电脑中。

[0065] 具体标定办法:

[0066] 假定云台所在的坐标系为XYZ,激光灯安装在云台上,如图1所示。绕X轴转动可以改变激光灯远近,绕Z轴转动可以改变激光灯指向左或者右。绕X轴转动的角度记为 $\alpha$ ,绕Z轴旋转的角度记为 $\beta$ 。假定整体坐标系为xyz,则当有多个监测目标时,首先打开激光灯并转动云台到指定位置记录下云台 $(\alpha_{i,j}, \beta_{i,j})$ ,同时记录下目标监测点在整体坐标系下的坐标 $(X_{i,j}, Y_{i,j})$ ;依次转动云台指向各个目标监测点,并分别记录下云台的位置坐标 $(\alpha_{i,j}, \beta_{i,j})$ (i表示行坐标, j表示列坐标),相机中也得到了相应点在相机坐标系下的坐标 $(X_{ij}, Y_{ij})$ 。则通过上述标定后得到了整体坐标系下的坐标 $(X_{ij}, Y_{ij})$ 与云台转角 $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$ 之间的一一对应关系。通过整体标定后,当给定整体坐标系下的坐标 $(X_{ij}, Y_{ij})$ ,即可以找到其云台转角 $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$ ,关于两者的对于关系整体标定后由中控电脑完成并存入存储器中,不同的工程需要重新标定。整体标定无需考虑相机坐标系与云台坐标系之间的关系,施工安装简单,并且由于整体标定中包含了坐标系之间的关系、镜头畸变、系统误差等情况,因此所得到的对应关系中不再重新考虑,有效降低了复杂性,提高了计算的精度,提高了代码的执行效率。

[0067] 整体标定时标定所用的数据点数越多则计算精度越高,当目标点不在标定点上时,如图2所示的P点,该点位于四个标定点之间,此时这里还需再做处理。根据上述建立的相机坐标 $(X_{ij}, Y_{ij})$ 与云台角度 $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$ 的对应关系,在识别出目标后即得到了整体坐标系下P点的坐标 $(X_p, Y_p)$ ,由于该点不在标定点上,位于该点四周的点分别为 $(X_{ij}, Y_{ij})$ 、 $(X_{i+2,j}, Y_{i+2,j})$ 、 $(X_{i+2,j+2}, Y_{i+2,j+2})$ 、 $(X_{i,j+2}, Y_{i,j+2})$ ,在根据相应的对应关系这四个点所对应的云台位置分别为 $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$ 、 $(\alpha_{i+2,j}, \beta_{i+2,j})$ 、 $(\alpha_{i+2,j+2}, \beta_{i+2,j+2})$ 、 $(\alpha_{i,j+2}, \beta_{i,j+2})$ 。由于识别的目标点P不在标识点上时,那么就按照其周围的四个点进行插值计算,具体的计算方法如下(如图3所示):

$$[0068] \quad x_p = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) x_{i+m,j+n} \quad (1)$$

$$[0069] \quad y_p = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) y_{i+m,j+n} \quad (2)$$

[0070] 其中:  $N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1 + \xi_{m+1}\xi)(1 + \eta_{n+1}\eta)$ ,  $(m, n = 0, 1)$ ,  $\xi_0 = -1, \xi_1 = 1, \eta_0 = -1, \eta_1 = 1$ 。

[0071] 将P点坐标 $(X_p, Y_p)$ 与其周围的四个标定点坐标代入公式(1)和(2)即可以求解出参数 $\xi, \eta$ 。

[0072] 如图3所示,当求解出 $\xi, \eta$ 后,根据已知的四个标定点所对应的云台角度,则按照下面方法计算点P所对应的云台角度:

$$[0073] \quad \alpha_p = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) \alpha_{i+m,j+n} \quad (3)$$

$$[0074] \quad \beta_p = \sum_{m=0}^1 \sum_{n=0}^1 N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) \beta_{i+m,j+n} \quad (4)$$

[0075] 其中:  $N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) = \frac{1}{4}(1 + \xi_{m+1}\xi)(1 + \eta_{n+1}\eta)$ ,  $(m, n = 0, 1)$ 。

[0076] 当目标位于标定点上时,则目标快速定位的精度与图像识别精度一致;当目标位于标定点之外时,则目标快速定位需要通过周围四个标定点计算得到,因此,其精度与标定点间距(即标定点分辨率)有关。当标定点的分辨率为 $M_x \times M_y$ 时,相机所拍摄画面的分辨率



为 $N_x \times N_y$ ，则标定点之间的像素为 $N_x/(M_x - 1) \times N_y/(M_y - 1)$ ，标定点之间的任意一点计算精度为：

$$[0077] \quad \Delta x_p = \sum_{m=0}^i \sum_{n=0}^i N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) \Delta x_{i+m,j+n} \quad (5)$$

$$[0078] \quad \Delta y_p = \sum_{m=0}^i \sum_{n=0}^i N_{m+1,n+1}(\xi, \eta) \Delta y_{i+m,j+n} \quad (6)$$

[0079] 其中： $\Delta x_p$ 、 $\Delta y_p$ 、 $\Delta x_{i+m,j+n}$  和  $\Delta y_{i+m,j+n}$  分别表示图像识别的误差。从公式(5)、(6)可以看出标定点间距越小，即标定数据点越多，则计算两个标定点之间的精度也越高。例如距离100m位置处，相机分辨率为 $1280 \times 1024$ ，不同标定点分辨率下计算精度如表1所示，其中 $\Delta x$ 、 $\Delta y$ 为图像在x和y方向上的识别精度。

[0080]

表 1 目标快速标定算法精度

标定分辨率	X方向精度	Y方向精度
2 × 2	9.34Δx	9.30Δy
4 × 4	5.26Δx	5.22Δy
8 × 8	2.12Δx	2.10Δy
16 × 16	1.85Δx	1.83Δy
32 × 32	1.55Δx	1.52Δy
64 × 64	1.31Δx	1.30Δy
128 × 128	1.20Δx	1.19Δy
256 × 256	1.11Δx	1.10Δy
512 × 512	1.05Δx	1.05Δy
1024 × 1024	1.01Δx	1.00Δy

[0081] 实时水平位移测量：

[0082] 采用标志板能够有效的提高计算精度，本发明采用的标志板如图4所示，该标志板包括条形码(存储了标志板的数据和类型)、黑白标志5个(其中4个圆形，一个方形)，黑白标志之间为刻度线。

[0083] 在基坑周围布置多个标志板，根据上述的标定方法得到了激光灯与标志板之间的对应关系，对于每一个标志板，其测量方法相同，具体如下：

[0084] 首先读取条形码识别标志板类型，中控电脑调出该标志板的数据，例如水平两个圆形黑白标志距离 $l_{12}$ ，竖向两个圆形黑白标志距离 $l_{34}$ 。然后根据图像识别原理分别识别并计算出4个圆形黑白标志和中心方形黑白标志的图像像素坐标，分别为左标志 $(p_{x1}, p_{y1})$ 、右

标志 $(p_{xl}, p_{yl})$ 、上标志 $(p_{xt}, p_{yt})$ 、下标志 $(p_{xd}, p_{yd})$ 以及中间标志 $(p_{xo}, p_{yo})$ 。

[0085] 根据圆形黑白的四个点即可以得到这四个点所在的区域内的图像像素与坐标之间的关系。当中间方形黑白标识点变化时,图像像素坐标变为 $(q_{xo}, q_{yo})$ ,就可以通过计算得到其在该合作标志板面内的水平和竖向位移。

$$[0086] \quad x = \frac{i_{yl}}{\sqrt{(p_{xl}-p_{xd})^2+(p_{yl}-p_{yd})^2}} \sqrt{(q_{xo}-p_{xo})^2+(q_{yo}-p_{yo})^2} \quad (7)$$

$$[0087] \quad y = \frac{i_{xt}}{\sqrt{(p_{xt}-p_{xd})^2+(p_{yt}-p_{yd})^2}} \sqrt{(q_{xo}-p_{xo})^2+(q_{yo}-p_{yo})^2} \quad (8)$$

[0088] 设采集得到的标志板图像左右及上下标志间为 $m$ 像素,  $i_{xt}$ 、 $i_{yl}$ 实际尺寸为 $H$ 毫米,实际尺寸的偏差为 $\Delta$ 毫米,则测量结果的误差估计值为:

$$[0089] \quad \hat{\sigma} = \frac{H}{m} \times \delta \times \left(1 + \frac{\Delta}{H}\right) \times \left(1 + \frac{\delta}{m}\right) \quad (\text{毫米}) \quad (9)$$

[0090] 由于 $m \gg \delta$ ,  $H \gg \Delta$ ,故如果仪器足够稳定且环境条件良好(采图质量好、电源稳定、气流扰动小等),则测量精度主要由放大倍数( $H/m$ )和标志点提取精度 $\delta$ 决定。采用亚像素定位技术,对进行特殊标记的标靶板面标志点提取精度可达0.2个像素,目前仪器可采集分辨率 $1280 \times 1024$ 的图像,仪器视场角为 $\pm 15$ 分。设取 $m = 1000$ ,  $H = 500\text{mm}$ ,  $\Delta = 1\text{mm}$ ,  $\delta = 0.2$ ,则按式(1)计算得到的测量结果的误差估计值为0.1毫米。

[0091] 气流扰动及各种干扰可当作噪声,主要影响成像的像素精度,为精度分析方便,将其归结为图像点提取精度。为提高精度,采用多次平均方法。对纯随机噪声, $n$ 次平均的精度是单次精度的 $1/\sqrt{n}$ 。

[0092] 对于其他的标志板其测量方法相同,因此,通过快速定位算法得到了目标与云台之间的对应关系,并通过图像测量方法实时测量得到各个目标的水平和竖向位移,当某个目标测量位移超过阈值后,中控电脑将作出报警并将激光灯指向该目标,所有过程实时,对于工程安全是非常重要的。

[0093] 以上是本发明的较佳实施例,凡依本发明技术方案所作的改变,所产生的功能作用未超出本发明技术方案的范围时,均属于本发明的保护范围。

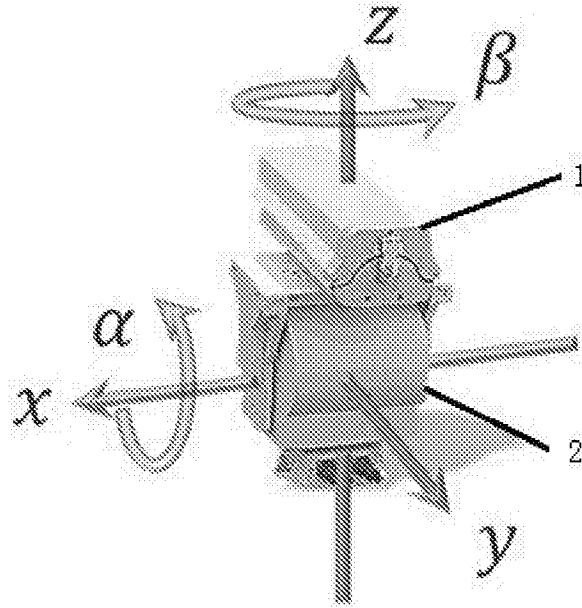


图1

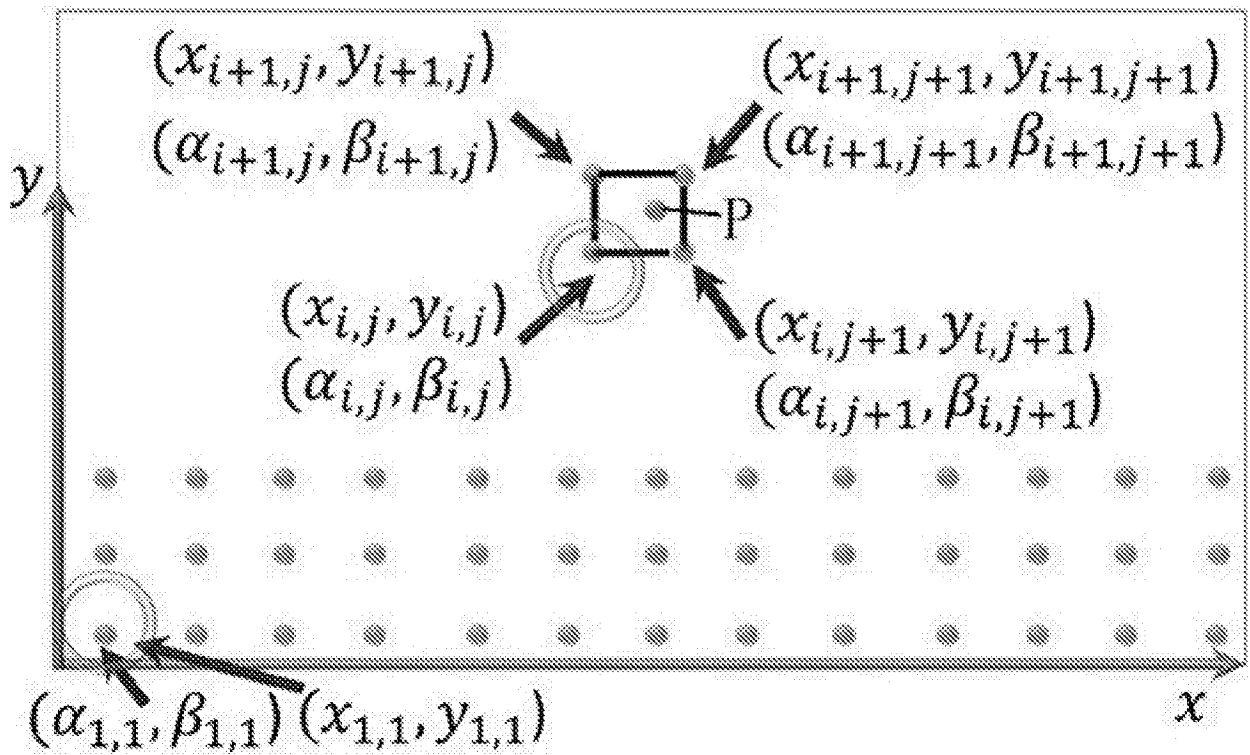


图2

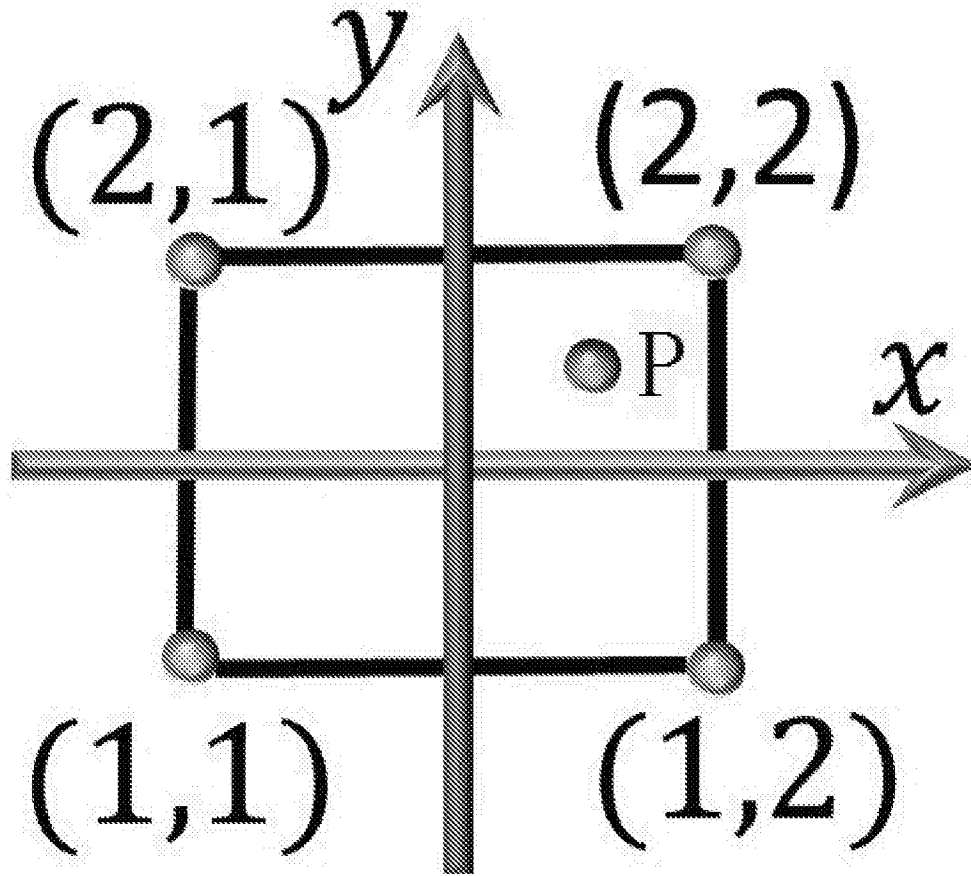


图3

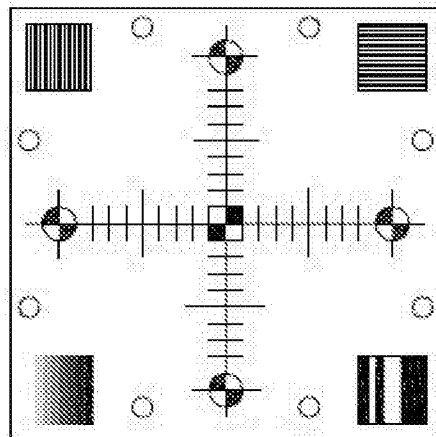


图4