

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2013年9月19日 (19.09.2013)



(10) 国际公布号
WO 2013/135033 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01B 11/16 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2012/079896
- (22) 国际申请日: 2012年8月9日 (09.08.2012)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201210071452.X 2012年3月16日 (16.03.2012) CN
- (71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): 同济大学 (TONGJI UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国上海市杨浦区四平路 1239 号, Shanghai 200092 (CN)。
- (72) 发明人; 及
- (75) 发明人/申请人 (仅对美国): 朱合华 (ZHU, Hehua) [CN/CN]; 中国上海市杨浦区四平路 1239 号, Shanghai 200092 (CN)。 刘学增 (LIU, Xuezheng) [CN/CN]; 中国上海市杨浦区四平路 1239 号, Shanghai 200092 (CN)。 桑运龙 (SANG, Yunlong) [CN/CN]; 中国上海市杨浦区四平路 1239 号, Shanghai 200092 (CN)。
- (74) 代理人: 上海科盛知识产权代理有限公司 (SHANGHAI KESHENG INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY LTD.); 中国上海市徐汇区斜土路 2601 号 T1 幢 25C-D 室, Shanghai 200030 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。
- (84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

[见续页]

(54) Title: TUNNEL DEFORMATION ONLINE MONITORING SYSTEM BASED ON IMAGE ANALYSIS AND APPLICATION THEREOF

(54) 发明名称: 基于图像分析的隧道变形在线监测系统及其应用



图1/ Fig.1

- AA ARRANGE IDENTIFICATION POINTS
- BB PERIODICALLY CONTROL A CAMERA TO CARRY OUT ZOOMING PHOTOGRAPHY
- CC TRANSMIT PHOTOS TO A CENTRAL CONTROL COMPUTER
- DD PERFORM ADAPTIVE FILTER TRANSFORMATION ON THE PHOTOS
- EE PERFORM GRAY THRESHOLD VALUE TRANSFORMATION TO ACQUIRE BINARY IMAGES
- FF PERFORM IMAGE EDGE DETECTION TO ACQUIRE IDENTIFICATION POINTS
- GG CALCULATE DISPLACEMENT OF THE IDENTIFICATION POINTS
- HH MONITOR ARCH CROWN SINKING AND ARCH SPRINGING CONVERGENCE

(57) Abstract: A tunnel deformation online monitoring system based on image analysis and an application thereof. The online monitoring system comprises identification points (A, B, C), a network camera, a central control computer, and a transmission network. The application of the system comprises the following steps: 1) arranging the identification points (A, B, C); 2) the central control computer periodically controlling the network camera to carry out zooming photography; 3) the network camera transmitting photos to the central control computer; 4) the central control computer performing adaptive filter transformation on the photos; 5) the central control computer performing gray threshold value transformation; 6) the central control computer performing image edge detection to acquire the identification points (A, B, C); 7) calculating arch crown sinking displacement and arch springing convergence displacement of the identification points (A, B, C); and 8) determining whether the arch crown sinking displacement and the arch springing convergence displacement are smaller than set threshold values, and if so, returning to step 2), otherwise, giving an alarm. Compared with the prior art, the present invention has the advantages that the system is easy to implement and can realize online monitoring and automatic alarm.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2013/135033 A1

根据细则 4.17 的声明:

— 发明人资格(细则 4.17(iv))

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种基于图像分析的隧道变形在线监测系统及其应用，该在线监测系统包括标识点(A, B, C)、网络摄像机、中心控制电脑和传输网络，该系统的应用包括以下步骤：1) 布设标识点(A, B, C)；2) 中心控制电脑周期性控制网络摄像机变焦拍照；3) 网络摄像机将照片传输至中心控制电脑；4) 中心控制电脑对照片进行自适应滤波变换；5) 中心控制电脑进行灰度的阈值变换；6) 中心控制电脑进行图像边缘检测，获取标识点(A, B, C)；7) 标识点(A, B, C)拱顶下沉位移和拱脚收敛位移计算；8) 判断拱顶下沉位移和拱脚收敛位移是否都小于设定阈值，若为是，返回步骤2)，否则进行报警。与现有技术相比，具有实施简单、可以实现在线监测与自动预警等优点。

基于图像分析的隧道变形在线监测系统及其应用

技术领域

本发明涉及一种隧道变形在线监测相关技术，尤其是涉及一种基于图像分析的隧道变形在线监测系统及其应用。

背景技术

目前，国内隧道变形量测多采用人工现场量测手段，一方面效率比较低，另一方面，人为因素影响较大，量测误差较大，且无法实现在线监测以及自动预警。

随着计算机性能的不断提高，电脑图像处理性能的增强和高分辨率数字产品的出现，以及功能强大的图像处理计算软件的诞生，使得基于数字照相的变形测量在岩土工程领域中的开发应用成为可能。基于数字照相的变形测量是以数码相机拍摄获得的数码照片为基础，通过计算机分析和处理，获取数字图形和数字图像信息的测量技术。利用数码相机进行变形量测的方法，根据是否在岩土工程结构上布置量测物理标志点，变形量测法可以分为有标点法和无标点法。目前大部分测量方法属于有标点法。

由于网络摄像机的精度已经达到了百万以上，而且，方便实现远程控制，因此，采用高清网络摄像机进行有标点法的隧道变形在线监测成为一种容易实施的隧道变形在线监测系统。但是目前的隧道变形在线监测系统普遍存在实现成本高、监测进度差等缺陷。

发明内容

本发明的目的就是为了解决上述现有技术存在的缺陷而提供一种实施简单、能实现在线监测与自动预警且能保存现场历史照片以便于回溯分析的基于图像分析的隧道变形在线监测系统及其应用。

本发明的目的可以通过以下技术方案来实现：

一种基于图像分析的隧道变形在线监测系统，其特征在于，包括标识点、网络摄像机、中心控制电脑和传输网络，所述的网络摄像机对准标识点，所述的传输网络用于连接网络摄像机与中心控制电脑。

所述的标识点由 3 行 3 列连续排列的组成；从上到下每行标识点的颜色排列分别为黑白黑、白黑白、黑白黑。

所述的正方形为 2cm×2cm 的正方形。

所述的标识点共布放 3 个，分别位于拱顶和左右拱脚处，并处于同一个直立面上。

所述的网络摄像机安装位置垂直于标识点安装立面并设有 LED 白光补光灯。

所述的中心控制电脑包括依次连接的拍照控制模块、图像处理模块和监测预警模块。

所述的图像处理模块通过 sobel 算子进行边缘检测识别标识点边缘，提取标识点中心坐标。

一种基于图像分析的隧道变形在线监测系统的应用，其特征在于，包括以下步骤：

- 1) 布设标识点；
- 2) 中心控制电脑周期性控制网络摄像机变焦拍照；
- 3) 网络摄像机将照片传输至中心控制电脑；
- 4) 中心控制电脑对照片进行自适应滤波变换，根据图像的局部方差来调整滤波器的输出，当局部方差大时，滤波器的平滑效果较小，当局部方差小时，滤波器平滑效果强；
- 5) 中心控制电脑进行灰度的阈值变换，判断图像中像素的灰度值是否小于设定的阈值，若为是则将该像素的灰度值设置为 0，即黑色，否则灰度值设置为 255，即白色，以获取二值图像；
- 6) 中心控制电脑进行图像边缘检测，获取标识点；
- 7) 标识点拱顶下沉位移和拱脚收敛位移计算；
- 8) 判断拱顶下沉位移和拱脚收敛位移是否都小于设定阈值，若为是，返回步骤 2)，否则进行报警。

所述的标识点拱顶下沉位移和拱脚收敛位移计算如下：

根据 3×3 标识点的边缘检测结果，以照片左上角为坐标原点，水平方向为 X 轴，竖直方向为 Y 轴，计算中心黑色方格的中心像素坐标，拱顶下沉位移的计算为计算前后两次照片中标识点的 y 坐标变化值，根据相机标定参数，把像素坐标 y 变化值换算为位移量，即得到隧道掌子面的拱顶下沉位移；拱脚收敛位移计算为计算前后两次照片中左右拱脚标识点的 x 坐标变化值，根据相机标定参数，把像素坐标 x 变化值换算为位移量，即得到隧道掌子面的左右拱脚收敛位移。

与现有技术相比，本发明现场实施简单、可以实现在线监测与自动预警，同时可以保存现场历史照片以便于回溯分析。

附图说明

图 1 为隧道变形监测系统工作流程；

图 2 为标识点布设示意图；

图 3 为标识点示意图。

图 2 中：A-位于拱顶的标识点，B-位于左拱脚的标识点，C-位于右拱脚的标识点。

具体实施方式

下面结合附图和具体实施例对本发明进行详细说明。

实施例

一种基于图像分析的隧道变形在线监测系统，包括标识点、网络摄像机、中心控制电脑和传输网络，所述的标识点的布设保证正对网络摄像机的安装位置，所述的传输网络用于连接网络摄像机与中心控制电脑。

如图 2 所示，所述的标识点由 3 行 3 列连续排列的 2cm×2cm 的正方形组成；从上到下每行标识点的颜色排列分别为黑白黑、白黑白、黑白黑。标识点布放 3 个，分别位于拱顶和左右拱脚，位于同一个竖直立面上。

所述的网络摄像机安装位置垂直于标识点安装立面并设有 LED 白光补光灯。网络摄像机拍摄图像分辨率不小于 120 万像素；网络摄像机安装位置垂直

于权利要求 2 的标识点安装立面；网络摄像机安装距离掌子面在 30 米到 50 米之间；网络摄像机镜头的变焦范围保证满画面能够拍摄 10m 见方的场景，也能够拍摄 1m 见方的场景；

所述的中心控制电脑包括拍照控制模块、图像处理模块和监测预警模块，所述的拍照控制模块、图像处理模块和监测预警模块依次连接。所述的图像处理模块通过 sobel 算子，进行边缘检测识别标识点边缘，提取标识点中心坐标。拍照控制模块，通过网络控制网络摄像机的调焦和拍照，并将照片保存到中心控制电脑；图像处理模块，对保存的照片进行平滑处理，灰度修正，提取标识点坐标；监测预警模块，对标识点坐标与历史数据对比，实现拱顶下沉、拱脚位移监测。

如图 1~图 3 所示，一种基于图像分析的隧道变形在线监测系统的应用，其特征在于，包括以下步骤：

- 1) 布设标识点，作为照片的控制点；
- 2) 中心控制电脑周期性控制网络摄像机变焦拍照，网络摄像机带云台安装于已经稳定的隧道围岩内壁上；
- 3) 中心控制电脑控制将照片传输至中心控制电脑；
- 4) 中心控制电脑对照片进行自适应滤波变换，根据图像的局部方差来调整滤波器的输出，当局部方差大时，滤波器的平滑效果较小，当局部方差小时，滤波器平滑效果强；
- 5) 中心控制电脑进行灰度的阈值变换，如果图像中像素的灰度值小于设定的阈值，则将该像素的灰度值设置为 0，即黑色，否则灰度值设置为 255，即白色，以获取二值图像；
- 6) 中心控制电脑应用经典的 Sobel 图像边缘检测算法进行图像边缘检测，获取标识点；
- 7) 标识点拱顶下沉位移和拱脚收敛位移计算，以得到变形数据，具体方式为：根据 3×3 标识点的边缘检测结果，以照片左上角为坐标原点，水平方向为 X 轴，垂直方向为 Y 轴，计算中心黑色方格的中心像素坐标，所述的拱顶下沉位移的计算方法为计算前后两次照片中标识点的 y 坐标变化值，根据相机标定参数，把像素坐标 y 变化值换算为位移量，即得到隧道掌子面的拱顶下沉；所

述的拱脚收敛位移计算方法为计算前后两次照片中左右拱脚标识点的 x 坐标变化值，根据相机标定参数，把像素坐标 x 变化值换算为位移量，即得到隧道掌子面的左右拱脚收敛；

8) 拱顶下沉、拱脚收敛的判断，实现变形实时监测预警。

运用标识点、网络摄像机和中心控制电脑，实现隧道掌子面变形的实时分析与自动监测。在拍照前，首先在隧道掌子面布设标识点，作为照片的控制点，网络摄像机安装于不会随掌子面变形的固定位置上，通过网络与中心控制电脑连接，控制程序远程控制摄像机拍照，并对照片进行实时分析，实现隧道掌子面变形的自动监测与预警。首先进行标识点的布设，多个标识点粘贴于不稳定围岩的初期支护上，网络摄像机带云台安装于已经稳定的隧道围岩内壁上。然后摄像机朝向标识点，对隧道掌子面进行拍照，并将照片传送到中心控制电脑。接着中心控制电脑对照片进行分析处理，得出隧道掌子面的变形数据，实现变形实时监测预警。

1、图像预处理

在对掌子面拍照过程中，由于隧道内部潮湿、灰尘以及照明不足等环境影响，所得到的图像常常不尽人意，在拍摄过程中常会引入噪声、照片局部可能会欠曝或过曝，这时我们需要对图像进行图像平滑、灰度变换等预处理。具体操作如下：

① 图形变换

常用的图像变换方法有线性变换、中值变换、自适应滤波变换等三种，其中，线性滤波是对于给定的图像 $f(i,j)$ 中的每个像点 (m,n) ，取其邻域 S 。设 S 含 M 个像素，取其平均值作为处理后所得图像像点 (m,n) 处的灰度。用一像素邻域内各像素灰度平均值来代替该像素原来的灰度，即使邻域平均技术。而中值滤波是抑制噪声的非线性处理方法。对于给定的 n 个数值 $\{a_1, a_2 \dots a_n\}$ ，将它们按大小有序排列。当 n 为奇数时，位于中间位置的那个数值称为这 n 个数值中值。当 n 为偶数时，位于中间位置的两个数值的平均值称为这 n 个数值的的中值，中值滤波就是图像中滤波后某像素的输出等于该像素邻域中各像素灰度的中值。只有自适应滤波可以实现图像噪声的自适应滤除，他根据图像的局部方差来调整滤波器的输出，当局部方差大时，滤波器的平滑效果较小，当局

部方差小时，滤波器平滑效果强。通常自适应滤波比线性滤波效果好，它比相应的线性滤波具有更好的选择性，可以更好的保存图像的边缘和高频细节信息。由于标识点设计 3x3 方格的图像边缘变化剧烈，照片其他掌子面部分相对变化平缓，而照片处理的目标是获取标识点位置，因此，采用自适应滤波图形变换算法。

②灰度变换

灰度变换可实现图像动态范围的加大，对比度的扩展，提高图像清晰度，使图像特征明显。常用方法包括：灰度的线性变换、灰度的拉伸、灰度的阈值变化等。

灰度的线性变换

灰度的线性变换就是将图像中所有点的灰度按照线性灰度变换函数进行变换。在处理图像时，选用一维线性函数 $T(x)=A*x+B$ 做为变换函数，因此灰度变换方程为：

$$D_B = T(D_A) = A \times D_A + B$$

式中参数 A 为线性函数的斜率，B 为线性函数的在 y 轴的截距，DA 表示输入图像的灰度，DB 表示处理后输出图像的灰度。当 $A>1$ 时，输出图像的对比度将增大；当 $A<1$ 时，输出图像的对比度将减小；当 $A=1$ 时，输出图像将变得更暗或更亮；如果 $A<0$ 时，图像暗区域变亮，亮区域变暗。可根据图像的实际情况由用户输入斜率 A 和截距 B 的数值，以便处理后的图像达到预期效果。

灰度的拉伸

灰度拉伸与灰度线性变换同样用到了灰度的线性变换，不同在于灰度拉伸使用的不是完全的线性变换，而是分段进行线性变换。它采用的灰度变换函数表达式如下：

$$T(x) = \begin{cases} \frac{y_1}{x_1} x & x < x_1 \\ \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1 & x_1 > x > x_2 \\ \frac{255 - y_2}{255 - x_2} (x - x_2) + y_2 & x > x_2 \end{cases}$$

式中，(x1, y1)和(x2, y2)是分段线性图形中两个转折点的坐标。可以自定

义输入其数值。

灰度拉伸可以有选择的拉伸某段灰度区间以改善输出图像。如果一幅图像灰度集中在较暗的区域而导致图像偏暗，可以用此功能来拉伸(斜率>1)物体灰度区间以使图像变亮；反之如果图像灰度集中在较亮的区域而导致图像偏亮，也可以用此功能来压缩(斜率<1)物体灰度区间以改善图像质量。

灰度的阈值变换

灰度的阈值变换可以将一幅灰度图像转换成黑白二值图像。它的操作过程是先由用户指定一个阈值，如果图像中某像素的灰度值小于该阈值，则将该像素的灰度值设置为 0(黑色)，否则灰度值设置为 255(白色)。灰度阈值变换的变换函数表达式如下：

$$T(x) = \begin{cases} 0 & x < T \\ 255 & x \geq T \end{cases}$$

其中 T 为用户指定的阈值。

标点法位移量测的关键是正确识别标点坐标，要求标识点颜色与背景表面颜色有较好的对比度，利用图像处理中的阈值技术和特定算法识别标点坐标，通过比较不同时刻标识点的坐标的变化，分析出标识点位移，进而得到隧道掌子面的位移变形；针对我们设计的 3x3 黑白交错的标识点，我们选取灰度阈值变换算法，最终得出黑白二值图像。

2、图像边缘检测

边缘是图像中重要的特征之一，主要表现为图像局部特征的不连续性，是图像中灰度变化比较强烈的地方，也即通常所说的信号发生奇异变化的地方。传统的边缘检测算法通过梯度算子来实现，在求边缘的梯度时，需要对每个像素位置计算。在实际中常用小区域模板卷积来近似计算，模板是 N*N 的权值方阵，经典的梯度算子模板：Sobel 模板、Kirsch 模板、Prewitt 模板、Roberts 模板、Laplacian 模板等。

在边缘检测中边缘定位能力和噪声抑制能力方面，有的算子边缘定位能力强，有的抗噪声能力比较好：Roberts 算子利用局部差分算子寻找边缘，边缘定位精度较高，但容易丢失一部分边缘，同时由于没经过图像平滑计算，不能抑制噪声。该算子对具有陡峭的低噪声图像响应最好；Sobel 算子和 Prewitt 算子

都是对图像进行差分和滤波运算，差别只是平滑部分的权值有些差异，对噪声具有一定的抑制能力，不能完全排除检测结果中出现伪边缘。这两个算子的边缘定位比较准确和完整，但容易出现边缘多像素宽。对灰度渐变和具有噪声的图像处理的较好；Krisch 算子对 8 个方向边缘信息进行检测，因此有较好的边缘定位能力，并且对噪声有一定的抑制作用，该算子的边缘定位能力和抗噪声能力比较理想，但该算子的运算量比较大。不适合实时检测分析；Laplacian 算子是二阶微分算子，对图像中的阶跃型边缘点定位准确且具有旋转不变性即无方向性。但该算子容易丢失一部分边缘的方向信息，造成不连续的检测边缘，同时抗噪声能力比较差，比较适用于屋脊型边缘检测。

由于已知检测目标的图像边缘为阶跃边缘，模型为： $f(x) = cI(x)$ ，其中 $c > 0$ 为边缘幅度， $I(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$ 为阶跃函数。若存在噪声，可以选用大尺度的模板平滑图像，不会影响边缘的定位。

由于前面经过了自适应滤波，为了提高图像分析的效率与监测的实时性，选择经典的 Sobel 图像边缘检测算法进行边缘检测。该算法计算简单，速度快，但由于只采用了两个方向模板，只能检测水平方向和垂直方向的边缘，适用于纹理简单的图像。因此，在本系统中标识点设计为 3X3 的黑白交错方格，对于背景图像，通过灰度的阈值变换先期去除。Sobel 算法的基本原理是由于图像边缘附近的亮度变化较大，所以可以把那些在邻域内，灰度变化超过某个适当阈值 TH 的像素点当作边缘点。

3、标识点位移计算

根据 3X3 标识点的边缘检测结果，以照片左上角为坐标原点，水平方向为 X 轴，竖直方向为 Y 轴，计算中心黑色方格的中心像素坐标。

对于照片 p1，只需要计算前后两次照片中标识点的 y 坐标变化值。根据相机标定参数，把像素坐标 y 变化值换算为位移量，即得到隧道掌子面的拱顶下沉。

对于照片 p2，需要计算前后两次照片中左右拱脚标识点的 x 坐标变化值。根据相机标定参数，把像素坐标 x 变化值换算为位移量，即得到隧道掌子面的左右拱脚收敛。

权利要求

1. 一种基于图像分析的隧道变形在线监测系统,其特征在於,包括标识点、网络摄像机、中心控制电脑和传输网络,所述的网络摄像机对准标识点,所述的传输网络用于连接网络摄像机与中心控制电脑。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于图像分析的隧道变形在线监测系统,其特征在於,所述的标识点由 3 行 3 列连续排列的组成;从上到下每行标识点的颜色排列分别为黑白黑、白黑白、黑白黑。

3. 根据权利要求 2 所述的一种基于图像分析的隧道变形在线监测系统,其特征在於,所述的正方形为 2cm×2cm 的正方形。

4. 根据权利要求 2 所述的一种基于图像分析的隧道变形在线监测系统,其特征在於,所述的标识点共布放 3 个,分别位於拱顶和左右拱脚处,并处于同一个竖直立面上。

5. 根据权利要求 1 所述的一种基于图像分析的隧道变形在线监测系统,其特征在於,所述的网络摄像机安装位置垂直于标识点安装立面并设有 LED 白光补光灯。

6. 根据权利要求 1 所述的一种基于图像分析的隧道变形在线监测系统,其特征在於,所述的中心控制电脑包括依次连接的拍照控制模块、图像处理模块和监测预警模块。

7. 根据权利要求 4 所述的一种基于图像分析的隧道变形在线监测系统,其特征在於,所述的图像处理模块通过 sobel 算子进行边缘检测识别标识点边缘,提取标识点中心坐标。

8. 一种如权利要求 1 所述的基于图像分析的隧道变形在线监测系统的应用,其特征在於,包括以下步骤:

- 1) 布设标识点;
- 2) 中心控制电脑周期性控制网络摄像机变焦拍照;
- 3) 网络摄像机将照片传输至中心控制电脑;
- 4) 中心控制电脑对照片进行自适应滤波变换;
- 5) 中心控制电脑进行灰度的阈值变换,判断图像中像素的灰度值是否小于

设定的阈值，若为是则将该像素的灰度值设置为 0，即黑色，否则灰度值设置为 255，即白色，以获取二值图像；

6) 中心控制电脑进行图像边缘检测，获取标识点；

7) 标识点拱顶下沉位移和拱脚收敛位移计算；

8) 判断拱顶下沉位移和拱脚收敛位移是否都小于设定阈值，若为是，返回步骤 2)，否则进行报警。

9. 根据权利要求 8 所述的一种基于图像分析的隧道变形在线监测系统的应用，其特征在于，所述的标识点拱顶下沉位移和拱脚收敛位移计算如下：

根据 3×3 标识点的边缘检测结果，以照片左上角为坐标原点，水平方向为 X 轴，垂直方向为 Y 轴，计算中心黑色方格的中心像素坐标，拱顶下沉位移的计算为计算前后两次照片中标识点的 y 坐标变化值，根据相机标定参数，把像素坐标 y 变化值换算为位移量，即得到隧道掌子面的拱顶下沉位移；拱脚收敛位移计算为计算前后两次照片中左右拱脚标识点的 x 坐标变化值，根据相机标定参数，把像素坐标 x 变化值换算为位移量，即得到隧道掌子面的左右拱脚收敛位移。

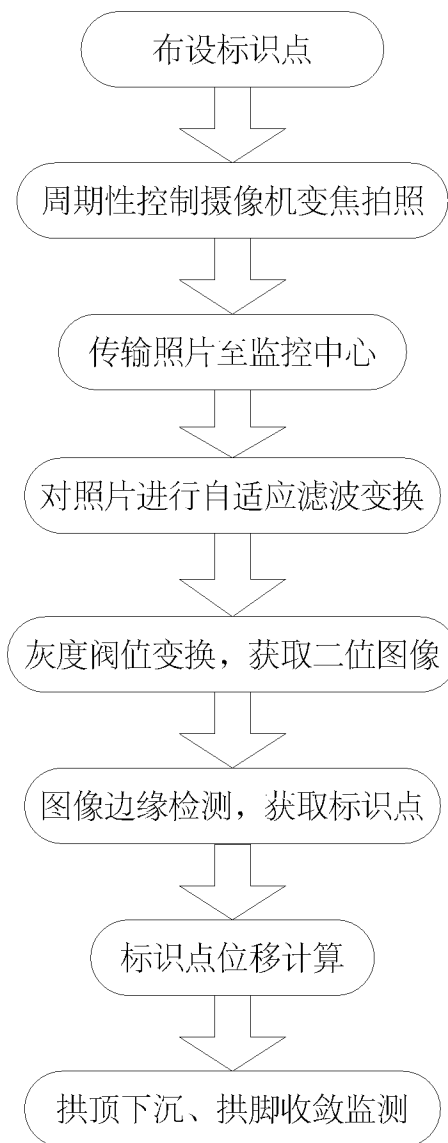


图 1

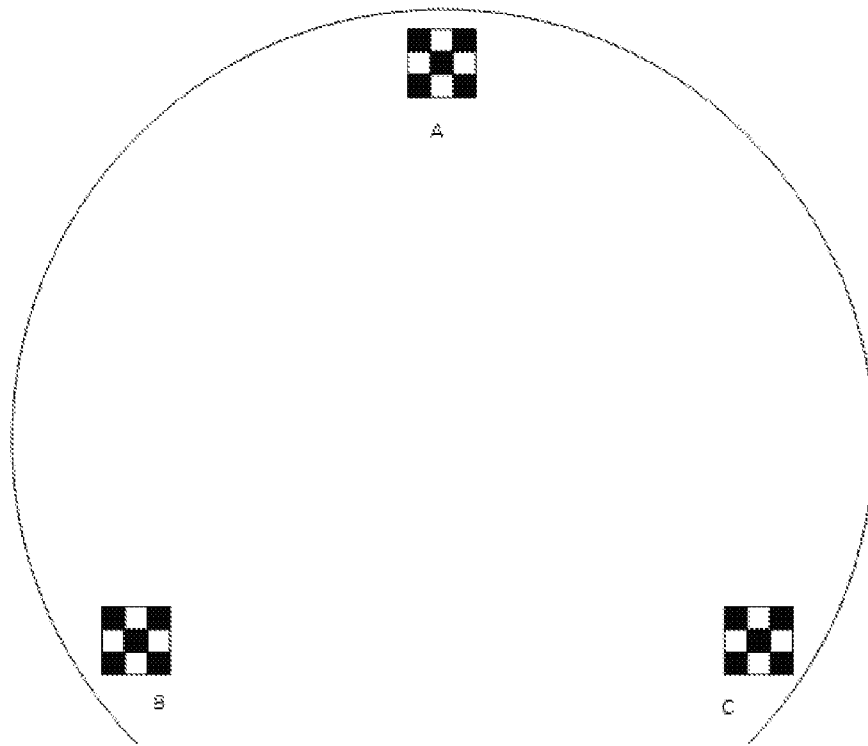


图 2

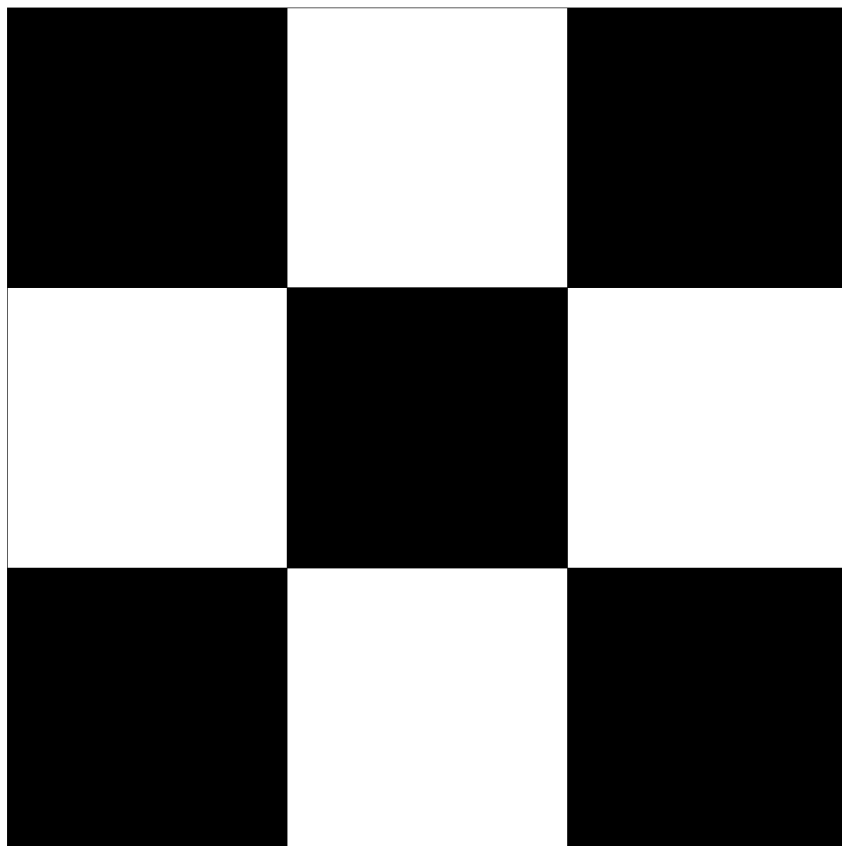


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2012/079896

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B 11/16 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: G01B 11

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CPRSABS, CNKI, CNTXT: deformation, displacement, position offset, monitoring, tunnel, pipe, CIVIL, surrounding rock, shelter, mark, image, imagery, camera shooting, take photos, number, threshold, gray level, video camera, camera, optics, CCD

VEN: deform+, deflect+, test+, measure+, monitor+, tunnel, pipe, image+, photo+, mark, target, displacement

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 102620673 A (TONGJI UNIVERSITY), 01 August 2012 (01.08.2012), claims 1-9	1-9
Y	CN 201463843 U (SHANGHAI TONGYAN CIVIL ENGINEERING TECHNOLOGY CO., LTD.), 12 May 2010 (12.05.2010), description, paragraphs 24-33, and figures 1-5	1-9
Y	CN 201757642 U (TONGJI UNIVERSITY), 09 March 2011 (09.03.2011), description, paragraphs 26-39, and figures 1-5	1-9
Y	CN 101345862 A (SHENZHEN IMAGINE TECHNOLOGY CO., LTD.), 14 January 2009 (14.01.2009), description, page 3, the last paragraph to page 5, paragraph 2, and figure 1	1-9
Y	CN 102345795 A (PETROCHINA CO., LTD.), 08 February 2012 (08.02.2012), description, paragraphs 19-62	8-9

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search
25 November 2012 (25.11.2012)

Date of mailing of the international search report
06 December 2012 (06.12.2012)

Name and mailing address of the ISA/CN:
State Intellectual Property Office of the P. R. China
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao
Haidian District, Beijing 100088, China
Facsimile No.: (86-10) 62019451

Authorized officer
PENG, Zhiping
Telephone No.: (86-10) **62085741**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2012/079896

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 101936714 A (SHANGHAI METRO SHIELD MACHINE EQUIPMENT & ENGINEERING CO., LTD. et al.), 05 January 2011 (05.01.2011), the whole document	1-9
A	CN 201181203 Y (CHINA RAILWAY SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE CO., LTD.), 14 January 2009 (14.01.2011), the whole document	1-9
A	CN 102345472 A (PETROCHINA CO., LTD.), 08 February 2012 (08.02.2012), the whole document	1-9
A	CN 102345793 A (PETROCHINA CO., LTD.), 08 February 2012 (08.02.2012), the whole document	1-9
A	CN 102345796 A (PETROCHINA CO., LTD.), 08 February 2012 (08.02.2012), the whole document	1-9
A	CN 102345797 A (PETROCHINA CO., LTD.), 08 February 2012 (08.02.2012), the whole document	1-9
A	CN 102345798 A (PETROCHINA CO., LTD.), 08 February 2012 (08.02.2012), the whole document	1-9
A	CN 101957178 A (SHANGHAI TONGYAN CIVIL ENGINEERING TECHNOLOGY CO., LTD.), 26 January 2011 (26.01.2011), the whole document	1-9
A	CN 102297660 A (TONGJI UNIVERSITY), 28 December 2011 (28.12.2011), the whole document	1-9
A	CH 645979 A5 (ING AMBERG AG), 31 October 1984 (31.10.1984), the whole document	1-9
A	JP 11173839 A (CHICHU SALVAGE KK et al.), 02 July 1999 (02.07.1999), the whole document	1-9
A	JP 2000329554 A (OHYAYASHI GUMI KK), 30 November 2000 (30.11.2000), the whole document	1-9
A	JP 2193006 A (OK UMURA CORP.), 30 July 1990 (30.07.1990), the whole document	1-9
A	US 4889997 A (CARPIO SRL et al.), 26 December 1989 (26.12.1989), the whole document	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2012/079896

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102620673 A	01.08.2012	None	
CN 201463834 U	12.05.2010	None	
CN 201757642 U	09.03.2011	None	
CN 101345862 A	14.01.2009	CN 101345862 B	09.06.2010
CN 102345795 A	08.02.2012	None	
CN 101936714 A	05.01.2011	CN 101936714 B	28.09.2011
CN 201181203 Y	14.01.2009	None	
CN 102345472 A	08.02.2012	None	
CN 102345793 A	08.02.2012	None	
CN 102345796 A	08.02.2012	None	
CN 102345797 A	08.02.2012	None	
CN 102345798 A	08.02.2012	None	
CN 101957178 A	26.01.2011	CN 101957178 B	23.05.2012
CN 102297660 A	28.12.2011	None	
CH 645979 A5	31.10.1984	None	
JP 11173839 A	02.07.1999	None	
JP 2000329554 A	30.11.2000	None	
JP 2193006 A	30.07.1990	JP 7037890 B	26.04.1995
		JP 2024147 C	26.02.1996
US 4889997 A	26.12.1989	EP 0275511 A	27.07.1988
		IT 1205317 B	15.03.1989

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2012/079896

A. 主题的分类		
G01B 11/16 (2006.01) i		
按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域		
检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)		
IPC: G01B 11		
包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献		
在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))		
CNABS, CPRSABS, CNKI, CNTXT: 变形, 位移, 位置偏移, 监测, 监控, 隧道, 管道, 土木, 围岩, 掩体, 标志, 标记, 图像, 图象, 成像, 成象, 摄像, 照相, 数字, 阈值, 灰度, 摄像机, 照相机, 摄像, 光学, CCD		
VEN: deform+, deflect+, test+, measure+, monitor+, tunnel, pipe, image+, photo+, mark, target, displacement		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN102620673A (同济大学) 01.8 月 2012 (01.08.2012) 权利要求 1-9	1-9
Y	CN201463843U (上海同岩土木工程科技有限公司) 12.5 月 2010 (12.05.2010) 说明书第 24-33 段, 附图 1-5	1-9
Y	CN201757642U (同济大学) 09.3 月 2011 (09.03.2011) 说明书第 26-39 段, 附图 1-5	1-9
Y	CN101345862A (深圳市迈进科技有限公司) 14.1 月 2009 (14.01.2009) 说明书第 3 页倒数第 1 段到说明书第 5 页第 2 段, 附图 1	1-9
Y	CN102345795A (中国石油天然气股份有限公司) 08.2 月 2012 (08.02.2012) 说明书第 19-62 段	8-9
<input checked="" type="checkbox"/> 其余文件在 C 栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型:		“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件
“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件		“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性
“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利		“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性
“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)		“&” 同族专利的文件
“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件		
“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件		
国际检索实际完成的日期 25.11 月 2012 (25.11.2012)	国际检索报告邮寄日期 06.12 月 2012 (06.12.2012)	
ISA/CN 的名称和邮寄地址: 中华人民共和国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088 传真号: (86-10)62019451	受权官员 彭志萍 电话号码: (86-10) 62085741	

C(续). 相关文件		
类 型	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN101936714A (上海地铁盾构设备工程有限公司等) 05.1 月 2011 (05.01.2011) 全文	1-9
A	CN201181203Y (中铁西南科学研究院有限公司) 14.1 月 2009 (14.01.2011) 全文	1-9
A	CN102345472A (中国石油天然气股份有限公司) 08.2 月 2012 (08.02.2012) 全文	1-9
A	CN102345793A (中国石油天然气股份有限公司) 08.2 月 2012 (08.02.2012) 全文	1-9
A	CN102345796A (中国石油天然气股份有限公司) 08.2 月 2012 (08.02.2012) 全文	1-9
A	CN102345797A (中国石油天然气股份有限公司) 08.2 月 2012 (08.02.2012) 全文	1-9
A	CN102345798A (中国石油天然气股份有限公司) 08.2 月 2012 (08.02.2012) 全文	1-9
A	CN101957178A (上海同岩土木工程科技有限公司) 26.1 月 2011 (26.01.2011) 全文	1-9
A	CN102297660A (同济大学) 28.12 月 2011 (28.12.2011) 全文	1-9
A	CH645979A5 (ING AMBERG AG) 31.10 月 1984 (31.10.1984) 全文	1-9
A	JP11173839A (CHICHU SALVAGE KK 等) 02.7 月 1999 (02.07.1999) 全文	1-9
A	JP2000329554A (OH BAYASHI GUMI KK) 30.11 月 2000 (30.11.2000) 全文	1-9
A	JP2193006A (OK UMURA CORP) 30.7 月 1990 (30.07.1990) 全文	1-9
A	US4889997A (CARPIO SRL 等) 26.12 月 1989 (26.12.1989) 全文	1-9

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2012/079896

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN 102620673 A	01.08.2012	无	
CN 201463834 U	12.05.2010	无	
CN 201757642 U	09.03.2011	无	
CN 101345862 A	14.01.2009	CN 101345862 B	09.06.2010
CN 102345795 A	08.02.2012	无	
CN 101936714 A	05.01.2011	CN 101936714 B	28.09.2011
CN 201181203 Y	14.01.2009	无	
CN 102345472 A	08.02.2012	无	
CN 102345793 A	08.02.2012	无	
CN 102345796 A	08.02.2012	无	
CN 102345797 A	08.02.2012	无	
CN 102345798 A	08.02.2012	无	
CN 101957178 A	26.01.2011	CN 101957178 B	23.05.2012
CN 102297660 A	28.12.2011	无	
CH 645979 A5	31.10.1984	无	
JP 11173839 A	02.07.1999	无	
JP 2000329554 A	30.11.2000	无	
JP 2193006 A	30.07.1990	JP 7037890 B	26.04.1995
		JP 2024147 C	26.02.1996
US 4889997 A	26.12.1989	EP 0275511 A	27.07.1988
		IT 1205317 B	15.03.1989