



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103871071 A

(43) 申请公布日 2014. 06. 18

(21) 申请号 201410138126. 5

(22) 申请日 2014. 04. 08

(71) 申请人 北京经纬恒润科技有限公司

地址 100101 北京市朝阳区安翔北里 11 号 B  
座 8 层

(72) 发明人 刘巍 王勇萍 李晨 陈筱婧

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 王宝筠

(51) Int. Cl.

G06T 7/00(2006. 01)

G06T 7/20(2006. 01)

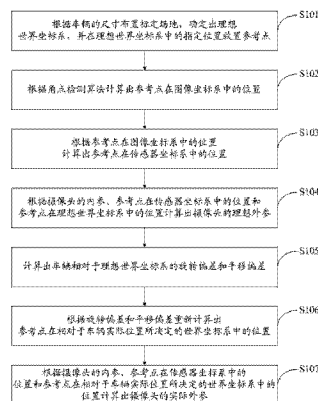
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

## (54) 发明名称

一种用于全景泊车系统的摄像头外参标定方法

## (57) 摘要

本发明公开了一种用于全景泊车系统的工业自动化外参标定方法,包括:布置标定场地,确定理想世界坐标系,放置参考点;计算参考点在图像坐标系中的位置;计算参考点在传感器坐标系中的位置;计算出摄像头的理想外参;计算出车辆相对于理想世界坐标系的旋转偏差和平移偏差;根据旋转偏差和平移偏差重新计算出参考点在相对于车辆实际位置所决定的世界坐标系中的位置;根据摄像头的内参、参考点在传感器坐标系中的位置和参考点在相对于车辆实际位置所决定的世界坐标系中的位置计算出摄像头的实际外参。本发明能够简化标定过程,提高计算精度,有利于在生产线上自动完成。



1. 一种用于全景泊车系统的摄像头外参标定方法,其特征在于,包括:

根据车辆的尺寸布置标定场地,确定出理想世界坐标系,并在理想世界坐标系中的指定位置放置参考点;

根据角点检测算法计算出参考点在摄像头采集的图像上形成的图像坐标系中的位置;

根据参考点在图像坐标系中的位置,计算出参考点在摄像头汇聚光线投影到传感器平面,传感器将光强度转换成电信号生成的图像上形成的传感器坐标系中的位置;

根据摄像头的内参、参考点在传感器坐标系中的位置和参考点在理想世界坐标系中的位置计算出摄像头的理想外参;

计算出车辆相对于理想世界坐标系的旋转偏差和平移偏差;

根据旋转偏差和平移偏差重新计算出参考点在相对于车辆实际位置所决定的世界坐标系中的位置;

根据摄像头的内参、参考点在传感器坐标系中的位置和参考点在相对于车辆实际位置所决定的世界坐标系中的位置计算出摄像头的实际外参。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据车辆的尺寸布置标定场地,确定出理想世界坐标系,并在理想世界坐标系中的指定位置放置参考点具体为:

根据车辆尺寸在地面上画出一个矩形区域,作为车辆所在位置的标定场地;

以矩形的纵向中轴线作为理想世界坐标系的X轴,X轴的指向为车辆理想停放在矩形区域时的车辆正前方;

以矩形的横向中轴线作为理想世界坐标系的Y轴,Y轴的指向为车辆理想停放在矩形区域时的车辆左侧;

理想世界坐标系的Z轴垂直地面向上;

以X轴、Y轴和Z轴的交点作为世界坐标系的原点O;

放置参考点,使每个摄像头都能看到四个参考点。

3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述根据参考点在图像坐标系中的位置计算出参考点在传感器坐标系中的位置具体为:

根据关系式:

$$\begin{bmatrix} u' \\ v' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c & d \\ e & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

计算出图像坐标系中的一参考点  $u' = [u', v']^T$  在传感器坐标系中对应的位置  $u = [u, v]^T$ ;

其中:图像坐标系  $(u', v')$  以像素为单位,原点在图像的左上角;传感器坐标系  $(u, v)$  的原点在摄像头光轴与传感器平面的交点上; $c$ 、 $d$ 、 $e$  表示由于摄像头光轴与传感器平面不垂直产生的仿射变换参数; $x_c$  和  $y_c$  表示摄像头光轴与传感器平面实际交点相对于图像坐标系原点的偏移量。

4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,根据摄像头的内参、参考点在传感器坐标系中的位置和参考点在理想世界坐标系中的位置计算出摄像头的理想外参具体为:

通过建立成像函数  $g$  建立传感器坐标系中的一参考点  $u = [u, v]^T$  与其相应成像点  $P$  之

间的关系：

$$\lambda g(u) = \lambda p, \lambda > 0; \quad (2)$$

其中,  $p$  为摄像头光心指向点  $P$  的向量,  $\lambda$  为常数；

成像函数  $g$  的表达式为：

$$g(u, v) = [u, v, f(u, v)]^T; \quad (3)$$

其中,  $f(u, v) = \alpha_0 + \alpha_1 \rho + \alpha_2 \rho^2 + \dots + \alpha_N \rho^N$ ,  $\rho = \sqrt{u^2 + v^2}$ ,  $N=4$ ,  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ ,

$x_c, y_c, c, d, e$  为摄像头的内参；

假设摄像机坐标系  $O_c X_c Y_c Z_c$  的原点  $O_c$  在摄像头光心,  $x_c, y_c$  轴与传感器坐标系同向平行,  $Z_c$  轴指向传感器平面, 理想世界坐标系选取地平面作为  $O_w X_w Y_w$  平面,  $Z_w$  轴垂直向上, 则空间中摄像头拍摄的一参考点  $P$  在理想世界坐标系中的坐标为  $P_w = [X_w, Y_w, Z_w]^T$ , 在摄像机坐标系中表示成  $P_c = [X_c, Y_c, Z_c]^T$ , 且：

$$P_c = R \cdot P_w + T; \quad (4)$$

其中,  $R = [r_1, r_2, r_3] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$  为旋转矩阵,  $T = t = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix}$  为平移矩阵；

根据每一个参考点的理想世界坐标和传感器坐标之间的关系建立方程：

$$\lambda \begin{bmatrix} u \\ v \\ f(\rho) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ 1 \end{bmatrix}; \quad (5)$$

将建立的方程(5)两端又乘该参考点在传感器平面上的投影坐标  $[u, v, f(\rho)]^T$  得到：

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ f(\rho) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ 1 \end{bmatrix} = 0; \quad (6)$$

根据方程(6)得出一个参考点的三方程：

$$v \cdot (r_{31}X_w + r_{32}Y_w + t_3) - f(\rho) \cdot (r_{21}X_w + r_{22}Y_w + t_2) = 0; \quad (7)$$

$$f(\rho) \cdot (r_{11}X_w + r_{12}Y_w + t_1) - u \cdot (r_{31}X_w + r_{32}Y_w + t_3) = 0; \quad (8)$$

$$u \cdot (r_{21}X_w + r_{22}Y_w + t_2) - v \cdot (r_{11}X_w + r_{12}Y_w + t_1) = 0; \quad (9)$$

采用上述方法得出摄像头拍摄到的其余三个参考点的方程, 根据参考点的方程联立得出摄像头的理想外参  $r_{11}, r_{12}, r_{13}, r_{21}, r_{22}, r_{23}, r_{31}, r_{32}, r_{33}, t_1, t_2$  和  $t_3$ 。

## 一种用于全景泊车系统的摄像头外参标定方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及全景泊车中的图像处理以及光学技术领域,更具体地说,涉及一种用于全景泊车系统的摄像头外参标定方法。

### 背景技术

[0002] 中国是世界上汽车发展速度最快的国家,随着我国城市的发展,汽车的保有量正在高速递增,随之而来的是人与车、车与车之间的矛盾日趋激烈。首先是停车难问题,在狭窄的区域内泊车成为了困扰驾驶员出行的一个突出问题,另外低速行驶时由于驾驶员视野盲区造成的安全事故也屡见不鲜,给行人的的人身安全带来了巨大的隐患。常规的后视镜头或倒车雷达等设备虽然在一定程度上起到了辅助作用,但是覆盖面窄,提供给驾驶员的信息不够具体。全景泊车系统针对上述问题,通过在车身四周安装拥有宽阔视场角的鱼眼摄像头,覆盖车身四周  $360^{\circ}$  的视野范围,在光学标定和图像处理理论的支撑下将车辆周遭景物投影到地平面,并将多路摄像头捕捉到的景物拼接成为一幅完整的景象,消除了驾驶员的视野盲区,为驾驶员提供了直观的参考信息。

[0003] 对于一般的乘用车来说,在车头、车尾和左右后视镜下安装 4 个视场角在  $160^{\circ}$  左右的鱼眼摄像头即可覆盖车辆四周的场景,并且保证相邻两个鱼眼摄像头的可视范围有公共叠加区域,这种方法也是当前最常见的安装方案。为了最终为驾驶员提供一个完整的  $360^{\circ}$  场景影像,就需要将 4 个摄像头捕获的信息进行投影、拼接以及融合,这些步骤的效果都要依赖于 4 个摄像头的光学特性和位置姿态等参数,获取这些参数的过程即标定。摄像头的标定可以分为内参标定和外参标定,其中内参标定主要是确定光学镜片的折射能力以及安装中由于镜片光轴与 CMOS/CCD 传感器平面不垂直而造成的畸变,由于这一环节可以在摄像头生产的时候完成,所以可以用相对复杂的仪器和较长的时间来完成。外参标定主要是对摄像头安装位置和姿态参数进行标定,这一过程需要在摄像头安装到车上之后进行,所以必须在汽车组装生产线上完成,这就对标定的时间和方式提出了更高的要求,典型的需求是整个标定过程自动完成并且耗时限制在 3 分钟之内。

[0004] 外参标定方案主要分为两种:一种是利用标定板等辅助工具提供标定参考点;另一种方法不需要人为提供参考点,而是根据车辆运动过程中获取的多幅图像中的相同点作为参考点,也称为自标定方法。由于自标定方案需要车辆运动一段距离来寻找足够的参考点,根据选点情况不同所需行驶距离和时间也不确定,并不适合在生产线上使用,同时该方法复杂、计算量大,很难在下位机上实时完成,所以一般来讲工业上采用第一种方案,用人为设置参考点的方法进行外参标定。常规的外参标定方法往往使用标定板等辅助工具分别对 4 个摄像头单独进行标定,然后再根据每次标定时标定板的位置计算出 4 个摄像头相互之间的位置关系,这种方法对参考点的位置设置指导性不强,而且过程复杂精度较差。

### 发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明提供一种用于全景泊车系统的摄像头外参标定方法,通过设置

统一的理想世界坐标系进行标定,并且在四个摄像头视野重叠的公共区域内设置参考点,将需要设置的参考点数量降到了最低,同时在统一的理想世界坐标系中计算四个摄像头的外参,简化了标定过程,提高了计算精度,有利于在生产线上自动完成。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明采用的技术方案为:一种用于全景泊车系统的摄像头外参标定方法,包括:

[0007] 根据车辆的尺寸布置标定场地,确定出理想世界坐标系,并在理想世界坐标系中的指定位置放置参考点;

[0008] 根据角点检测算法计算出参考点在摄像头采集的图像上形成的图像坐标系中的位置;

[0009] 根据参考点在图像坐标系中的位置,计算出参考点在摄像头汇聚光线投影到传感器平面,传感器将光强度转换成电信号生成的图像上形成的传感器坐标系中的位置;

[0010] 根据摄像头的内参、参考点在传感器坐标系中的位置和参考点在理想世界坐标系中的位置计算出摄像头的理想外参;

[0011] 计算出车辆相对于理想世界坐标系的旋转偏差和平移偏差;

[0012] 根据旋转偏差和平移偏差重新计算出参考点在相对于车辆实际位置所决定的世界坐标系中的位置;

[0013] 根据摄像头的内参、参考点在传感器坐标系中的位置和参考点在相对于车辆实际位置所决定的世界坐标系中的位置计算出摄像头的实际外参。

[0014] 优选地,所述根据车辆的尺寸布置标定场地,确定出理想世界坐标系,并在理想世界坐标系中的指定位置放置参考点具体为:

[0015] 根据车辆尺寸在地面上画出一个矩形区域,作为车辆所在位置的标定场地;

[0016] 以矩形的纵向中轴线作为理想世界坐标系的 X 轴, X 轴的指向为车辆理想停放在矩形区域时的车辆正前方;

[0017] 以矩形的横向中轴线作为理想世界坐标系的 Y 轴, Y 轴的指向为车辆理想停放在矩形区域时的车辆左侧;

[0018] 理想世界坐标系的 Z 轴垂直地面向上;

[0019] 以 X 轴、Y 轴和 Z 轴的交点作为世界坐标系的原点 O;

[0020] 放置参考点,使每个摄像头都能看到四个参考点。

[0021] 优选地,所述根据参考点在图像坐标系中的位置计算出参考点在传感器坐标系中的位置具体为:

[0022] 根据关系式:

$$[0023] \quad \begin{bmatrix} u' \\ v' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c & d \\ e & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0024] 计算出图像坐标系中的一参考点点  $u' = [u', v']^T$  在传感器坐标系中对应的位置  $u = [u, v]^T$ ;

[0025] 其中:图像坐标系  $(u', v')$  以像素为单位,原点在图像的左上角;传感器坐标系  $(u, v)$  的原点在摄像头光轴与传感器平面的交点上; $c$ 、 $d$ 、 $e$  表示由于摄像头光轴与传感器平面不垂直产生的仿射变换参数; $x_c$  和  $y_c$  表示摄像头光轴与传感器平面实际交点相对于

图像坐标系原点的偏移量。

[0026] 优选地,根据摄像头的内参、参考点在传感器坐标系中的位置和参考点在理想世界坐标系中的位置计算出摄像头的理想外参具体为:

[0027] 通过建立成像函数  $g$  建立传感器坐标系中的一参考点  $u=[u, v]^T$  与其相应成像点  $P$  之间的关系:

$$[0028] \quad \lambda g(u) = \lambda p, \quad \lambda > 0; \quad (2)$$

[0029] 其中,  $p$  为摄像头光心指向点  $P$  的向量,  $\lambda$  为常数;

[0030] 成像函数  $g$  的表达式为:

$$[0031] \quad g(u, v) = [u, v, f(u, v)]^T; \quad (3)$$

[0032] 其中,  $f(u, v) = \alpha_0 + \alpha_1 \rho + \alpha_2 \rho^2 + \dots + \alpha_N \rho^N$ ,  $\rho = \sqrt{u^2 + v^2}$ ,  $N=4$ ,  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, x_c, y_c, c, d, e$  为摄像头的内参;

[0033] 假设摄像机坐标系  $O_c X_c Y_c Z_c$  的原点  $O_c$  在摄像头光心,  $x_c, y_c$  轴与传感器坐标系同向平行,  $Z_c$  轴指向传感器平面, 理想世界坐标系选取地平面作为  $O_w X_w Y_w$  平面,  $Z_w$  轴垂直向上, 则空间中摄像头拍摄的一参考点  $P$  在理想世界坐标系中的坐标为  $P_w = [X_w, Y_w, Z_w]^T$ , 在摄像机坐标系中表示成  $P_c = [X_c, Y_c, Z_c]^T$ , 且:

$$[0034] \quad P_c = R \cdot P_w + T; \quad (4)$$

$$[0035] \quad \text{其中, } R = [r_1, r_2, r_3] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \text{ 为旋转矩阵, } T = t = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix} \text{ 为平移矩阵;}$$

[0036] 根据每一个参考点的理想世界坐标和传感器坐标之间的关系建立方程:

$$[0037] \quad \lambda \begin{bmatrix} u \\ v \\ f(\rho) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ 1 \end{bmatrix}; \quad (5)$$

[0038] 将建立的方程(5)两端又乘该参考点在传感器平面上的投影坐标  $[u, v, f(\rho)]^T$  得到:

$$[0039] \quad \begin{bmatrix} u \\ v \\ f(\rho) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ 1 \end{bmatrix} = 0; \quad (6)$$

[0040] 根据方程(6)得出一个参考点的三方程:

$$[0041] \quad v \cdot (r_{31}X_w + r_{32}Y_w + t_3) - f(\rho) \cdot (r_{21}X_w + r_{22}Y_w + t_2) = 0; \quad (7)$$

$$[0042] \quad f(\rho) \cdot (r_{11}X_w + r_{12}Y_w + t_1) - u \cdot (r_{31}X_w + r_{32}Y_w + t_3) = 0; \quad (8)$$

$$[0043] \quad u \cdot (r_{21}X_w + r_{22}Y_w + t_2) - v \cdot (r_{11}X_w + r_{12}Y_w + t_1) = 0; \quad (9)$$

[0044] 采用上述方法得出摄像头拍摄到的其余三个参考点的方程, 根据参考点的方程联立得出摄像头的理想外参  $r_{11}, r_{12}, r_{13}, r_{21}, r_{22}, r_{23}, r_{31}, r_{32}, r_{33}, t_1, t_2$  和  $t_3$ 。

[0045] 从上述的技术方案可以看出, 本发明公开的一种用于全景泊车系统的摄像头外参

标定方法,首先根据车辆的尺寸布置标定场地,确定出理想世界坐标系,并在理想世界坐标系中的指定位置放置参考点,然后根据角点检测算法计算出参考点在图像坐标系中的位置,然后根据参考点在图像坐标系中的位置计算出参考点在传感器坐标系中的位置,然后根据摄像头的内参、参考点在传感器坐标系中的位置和参考点在理想世界坐标系中的位置计算出摄像头的理想外参,然后计算出车辆相对于理想世界坐标系的旋转偏差和平移偏差,最后根据摄像头的内参、参考点在传感器坐标系中的位置和参考点在相对于车辆实际位置所决定的世界坐标系中的位置计算出摄像头的实际外参。由此可以看出,本发明通过设置统一的理想世界坐标系进行标定,简化了标定的过程,提高了计算精度,有利于在生产线上自动完成。

### 附图说明

[0046] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0047] 图1为本发明公开的根据车辆的尺寸布置的标定场地、确定的理想世界坐标系和放置的参考点的示意图;

[0048] 图2为本发明公开的一种用于全景泊车系统的摄像头外参标定方法的流程图。

### 具体实施方式

[0049] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0050] 本发明实施例公开了一种用于全景泊车系统的摄像头外参标定方法,通过设置统一的理想世界坐标系进行标定,并且在四个摄像头视野重叠的公共区域内设置参考点,将需要设置的参考点数量降到了最低,同时在统一的理想世界坐标系中计算四个摄像头的外参,简化了标定过程,提高了计算精度,有利于在生产线上自动完成。

[0051] 如图2所示,为本发明公开的一种用于全景泊车系统的摄像头外参标定方法,包括:

[0052] S101、根据车辆的尺寸布置标定场地,确定出理想世界坐标系,并在理想世界坐标系中的指定位置放置参考点;

[0053] S102、根据角点检测算法计算出参考点在摄像头采集的图像上形成的图像坐标系中的位置;

[0054] S103、根据参考点在图像坐标系中的位置,计算出参考点在摄像头汇聚光线投影到传感器平面,传感器将光强度转换成电信号生成的图像上形成的传感器坐标系中的位置;

[0055] S104、根据摄像头的内参、参考点在传感器坐标系中的位置和参考点在理想世界坐标系中的位置计算出摄像头的理想外参;

[0056] S105、计算出车辆相对于理想世界坐标系的旋转偏差和平移偏差；

[0057] S106、根据旋转偏差和平移偏差重新计算出参考点在相对于车辆实际位置所决定的世界坐标系中的位置；

[0058] S107、根据摄像头的内参、参考点在传感器坐标系中的位置和参考点在相对于车辆实际位置所决定的世界坐标系中的位置计算出摄像头的实际外参。

[0059] 具体的，上述的方法的工作过程及原理为：首先根据车辆的尺寸在地面上画出一个矩形区域，如图 1 所示，标志车辆所在的位置，令该矩形区域的长和宽稍大于实际车辆的长和宽。具体设置可以根据实际的情况调整，以保证车辆能够停止在该区域内，同时使车辆上的每个摄像头都能看到四个参考点，例如，车头安装的摄像头能够看见 a、b、c、d 四个参考点，车尾安装的摄像头能够看见 e、f、g、h 四个参考点，左后视镜下安装的摄像头能够看见 a、b、e、f 四个参考点，右后视镜下安装的摄像头能够看见 c、d、g、h 四个参考点。然后遵循右手定则确定出理想世界坐标系，如图 1 所示，以矩形的纵向中轴线作为理想坐标系的 X 轴，即为车辆在矩形区域内理想停放时的纵向中轴线在地面上的投影，X 轴的指向车辆正前方；以矩形的横向中轴线作为理想世界坐标系的 Y 轴，即平行于车辆的横向中轴线，垂直于 X 轴并指向车辆左侧，原点 O 是车辆横向、纵向中轴线的交点在地面上的投影；XOY 平面为地平面；Z 轴垂直地面向上。然后在 4 个摄像头视野覆盖的公共区域内指定位置放置参考点，优选的参考点位于最终可视拼接图像矩形范围的 4 个顶点和车辆限制矩形相应 4 个顶点的连线上。需要说明的是在设置参考点的时候，最好采用特征明显的角点图案。

[0060] 然后采用角点检测的方法计算出参考点在图像坐标系中的位置，角点检测算法目前已经非常成熟，精度可以达到亚像素级水平，此处只要按照需要在现有诸多算法中选择一种适合的方法即可获得参考点在图像坐标系中的位置，所以不再赘述。为了保证角点检测的准确性，除了采用特征明显的角点图案外，还应该保持标定场地的清洁，避免其他物体或污渍对该过程产生影响。放置参考点的时候优选的两两对称放置，这样更有利于对角点检测的结果进行验证。

[0061] 然后进入摄像头的外参计算过程，外参计算的具体理论为：采用 Davide Scaramuzza 提出的通用光学模型作为叙述基础。首先确定两个坐标系：图像坐标系  $(u', v')$  和传感器坐标系  $(u, v)$ 。图像坐标系  $(u', v')$  以像素为单位，原点在图像左上角；传感器坐标系的原点在摄像头光轴与传感器平面的交点上。图像坐标系中一参考点  $u' = [u', v']^T$ ，与其在传感器坐标系中对应位置  $u = [u, v]^T$  之间的关系可以表示为：

$$[0062] \quad \begin{bmatrix} u' \\ v' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c & d \\ e & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0063] 其中，c、d、e 表示由于摄像头光轴与传感器平面不垂直产生的仿射变换参数； $x_c$  和  $y_c$  表示摄像头光轴与传感器平面实际交点相对于图像坐标系原点的偏移量。通过建立一个成像函数  $g$  可以建立传感器坐标系中一点  $u = [u, v]^T$  与其相应成像点 P 之间的关系：

$$[0064] \quad \lambda g(u) = \lambda p, \lambda > 0 \quad (2)$$

[0065] 其中  $p$  为由镜头光心指向点 P 的向量， $\lambda$  为常数。

[0066] 成像函数  $g$  的表达式为：

$$[0067] \quad g(u, v) = [u, v, f(u, v)]^T \quad (3)$$



[0068] 其中函数  $f$  只与  $\rho = \sqrt{u^2 + v^2}$  有关,  $f(u, v) = \alpha_0 + \alpha_1 \rho + \alpha_2 \rho^2 + \dots + \alpha_N \rho^N$ , 实验证明  $N=4$  时效果较好。以上涉及到的参数  $\alpha_0$ 、 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$ 、 $\alpha_4$ 、 $x_c$ 、 $y_c$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$  为摄像头的内参, 这些参数可在摄像头生产的过程中通过标定得到为已知参数。

[0069] 然后假设摄像机坐标系  $O_c X_c Y_c Z_c$  的原点  $O_c$  在摄像头头光心,  $x_c$ 、 $y_c$  轴与传感器坐标系同向平行,  $Z_c$  轴指向传感器平面。理想世界坐标系根据需要自由设定, 一般选取地平面作为  $O_w X_w Y_w$  平面,  $Z_w$  轴垂直向上。如果空间中某点  $P$  在理想世界坐标系中的坐标为  $P_w = [X_w, Y_w, Z_w]^T$ , 那么其在摄像机坐标系中可以表示成  $P_c = [X_c, Y_c, Z_c]^T$ , 并且:

$$[0070] \quad P_c = R \cdot P_w + T \quad (4)$$

$$[0071] \quad \text{上式中 } R = [r_1, r_2, r_3] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \text{ 为旋转矩阵, } T = t = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix} \text{ 为平移矩阵, } r_{11}、r_{12}、$$

$r_{13}、r_{21}、r_{22}、r_{23}、r_{31}、r_{32}、r_{33}、t_1、t_2$  和  $t_3$  即为摄像头外参。由此可以看出, 实际内参标定确定了图像坐标系与摄像机坐标系之间的联系, 而外参标定确定了摄像机坐标系与理想世界坐标系之间的关系, 当内参外参都确定之后, 图像中的点与理想世界坐标系中的点就建立起了对应关系, 使投影变换和拼接融合等操作成为可能。

[0072] 如果假设理想世界坐标系中平面  $O_w X_w Y_w$  为地平面, 并且在地平面上放置参考点的话, 所有参考点的  $Z_w=0$ 。每一个参考点的理想世界坐标和传感器坐标之间的关系都可以联立一个方程:

$$[0073] \quad \lambda \begin{bmatrix} u \\ v \\ f(\rho) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

[0074] 将等式 (5) 两端又乘该参考点在传感器平面上的投影坐标  $[u, v, f(\rho)]^T$ , 可以得到

$$[0075] \quad \begin{bmatrix} u \\ v \\ f(\rho) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ 1 \end{bmatrix} = 0 \quad (6)$$

[0076] 通过公式 (6) 可知, 每一组参考点的理想世界坐标和传感器坐标都可以为求解贡献 3 个方程:

$$[0077] \quad v \cdot (r_{31}X_w + r_{32}Y_w + t_3) - f(\rho) \cdot (r_{21}X_w + r_{22}Y_w + t_2) = 0 \quad (7)$$

$$[0078] \quad f(\rho) \cdot (r_{11}X_w + r_{12}Y_w + t_1) - u \cdot (r_{31}X_w + r_{32}Y_w + t_3) = 0 \quad (8)$$

$$[0079] \quad u \cdot (r_{21}X_w + r_{22}Y_w + t_2) - v \cdot (r_{11}X_w + r_{12}Y_w + t_1) = 0 \quad (9)$$

[0080] 需要求解的未知数包括  $r_{11}、r_{12}、r_{13}、r_{21}、r_{22}、r_{23}、r_{31}、r_{32}、r_{33}、t_1、t_2$  和  $t_3$ , 共 9 个。所以只要设置 3 个参考点即可, 实际使用中为了对参数进行优化保持计算精度, 我们选择设置 4 个参考点。另外 3 个外参可以通过下式得到:

$$[0081] \quad \begin{bmatrix} r_{31} \\ r_{32} \\ r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} \\ r_{12} \\ r_{13} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} r_{21} \\ r_{22} \\ r_{23} \end{bmatrix} \quad (10)$$

[0082] 由上述的外参计算理论可以得出,在计算外参时首先获得内参,内参可以在摄像头组装时保存于摄像头自带的存储器内,在外参计算时将内参从摄像头存储器内读出。然后准备其他参数。在布置参考点之前已经提前设计了参考点的理想世界坐标位置,通过参考点自动检测又获得了参考点在图像坐标系中的位置。利用公式(1),可以得到参考点在传感器坐标系中的位置。之后将内参代入方程组并计算,由于8个参考点放置在了4个摄像头视野的公共部分,所以每个摄像头都能看到4个参考点。而每一个参考点都对应公式(8)、(9)和(10)三个方程。这样每个摄像头都能建立12个方程进行求解,通过最小二乘法可以得到每个摄像头的最优化外参结果。由于使用了统一的理想世界坐标系,此处得到的每个摄像头的外参都是相对于同一个理想世界坐标系的外参,无需进一步变换。

[0083] 由于参考点是按照理想状况预先放置的,而车辆在进入限制矩形之内的过程中难免会与理想位置产生偏差,导致车辆中轴线与限制矩形的中线产生旋转偏差,同时实际世界坐标系原点与理想世界坐标系原点之间产生平移偏差。为了消除这些偏差,首先需要计算车辆的旋转偏差。以某个摄像头位置为准(一般以后视摄像头为准,该摄像头所处位置不易变动,便于通过工装保证其安装精度),利用当前外参中的旋转矩阵信息即可计算得到其光轴与车辆处于理想位置时世界坐标系坐标轴的夹角,这个角度即为车辆的旋转偏差。

[0084] 然后计算车辆的平移偏差。计算前、后摄像头相对于理想世界坐标原点沿X轴平移的平移量,二者差值的一半即为车辆实际位置与理想位置之间的X方向平移距离;同理计算左右摄像头相对于理想世界坐标系原点沿Y轴平移的平移量,二者差值的一半即为车辆实际位置与理想位置之间的Y方向平移距离。

[0085] 根据旋转偏差和平移偏差,重新计算8个参考点相对于车辆实际位置所决定的世界坐标系中的位置,由于不涉及到Z轴的偏差,所以这个调整过程相当于一个二维的坐标变换过程。通过旋转偏差和平移偏差可以构造一个旋转矩阵和一个平移矩阵,利用坐标变换方法即可更新参考点在实际世界坐标系中的位置信息。然后根据摄像头的内参、参考点在传感器坐标系中的位置和参考点在相对于车辆实际位置所决定的世界坐标系中的位置,参照上述计算理想外参的方法计算出摄像头的实际外参。

[0086] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。

[0087] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

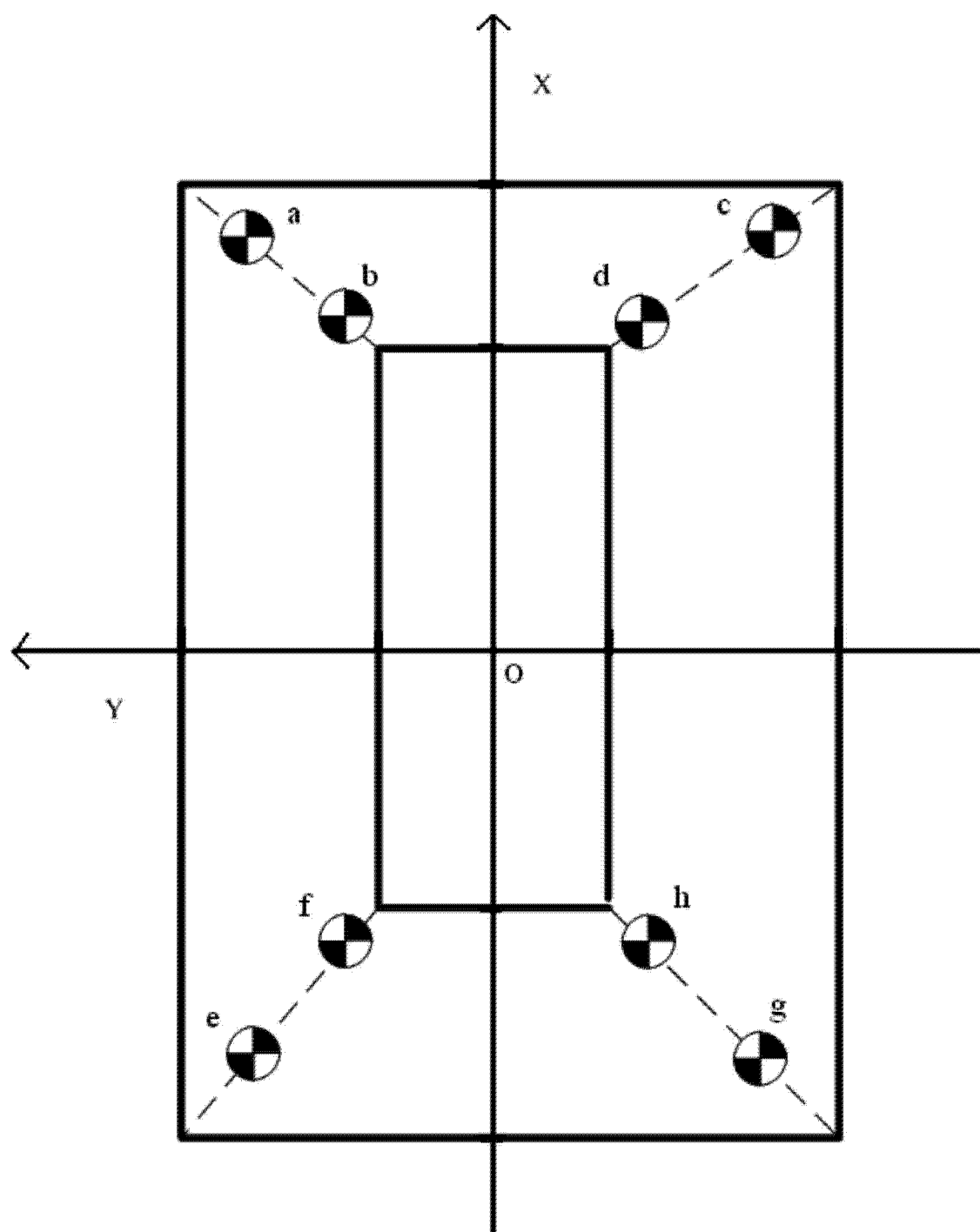


图 1

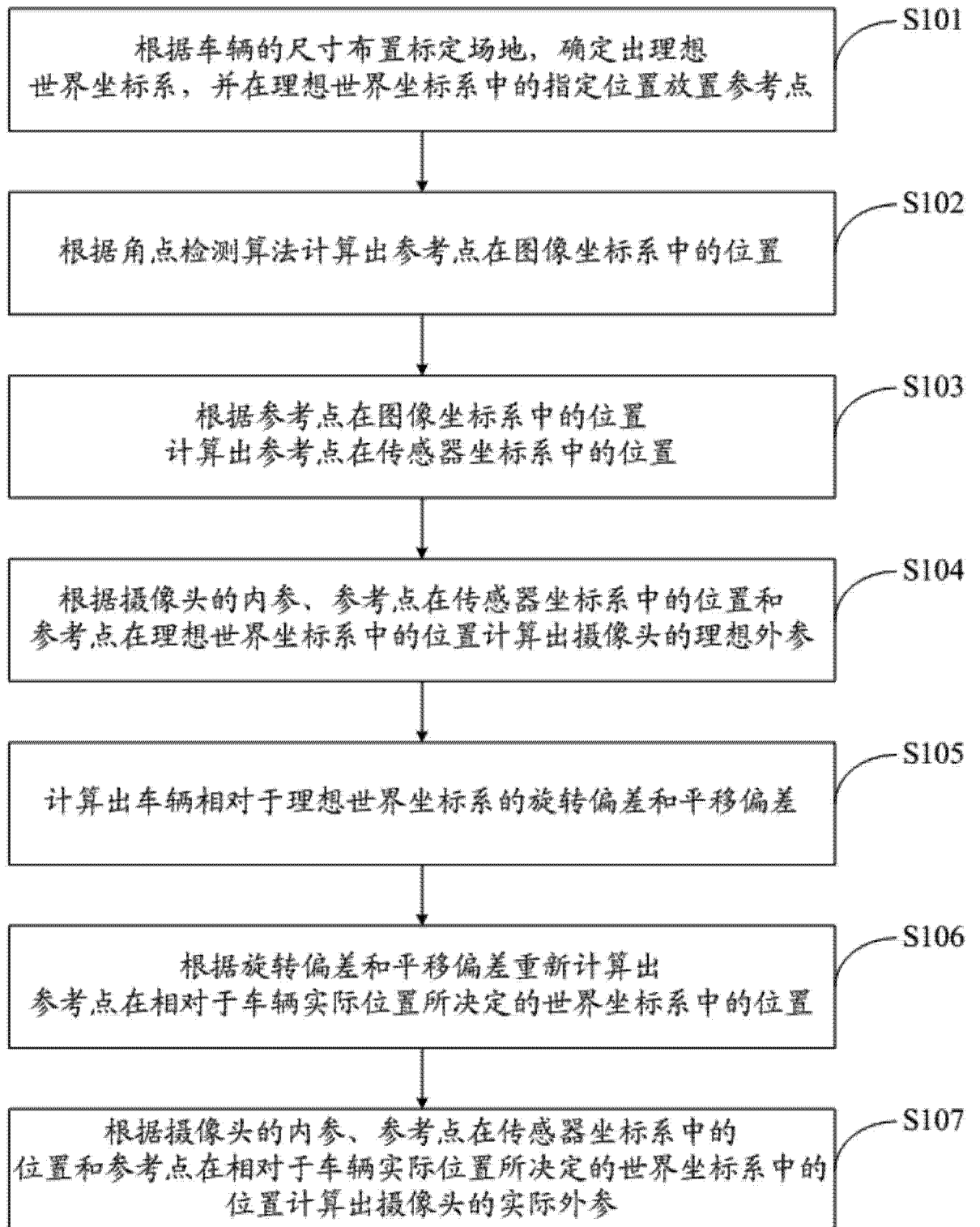


图 2