



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103245322 B

(45) 授权公告日 2015. 11. 11

(21) 申请号 201310121750. X

(22) 申请日 2013. 04. 10

(73) 专利权人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市白下区御道街
29号

(72) 发明人 曹力 陈文

(74) 专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限公司 32200

代理人 许方

(51) Int. Cl.

G01C 3/14(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101458081 A , 2009. 06. 17,

CN 101946156 A , 2011. 01. 12,

CN 102506815 A , 2012. 06. 20,

CN 1914481 A , 2007. 02. 14,

EP 2239538 A1 , 2010. 10. 13,

US 2006/0210147 A1 , 2006. 09. 21,

陈刚等. 一种基于立体模板的双目视觉传感器现场标定方法. 《光学精密工程》. 2004, 第 12 卷 (第 6 期),

李海滨等. 双目立体视觉测距系统误差模型的研究. 《光学技术》. 2006, 第 32 卷 (第 1 期),
叶海加等. 双目 CCD 结构光三维测量系统中的立体匹配. 《光学精密工程》. 2004, 第 12 卷 (第 1 期),

审查员 裴显

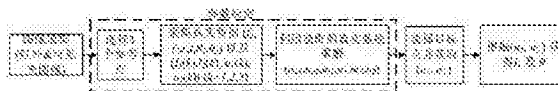
权利要求书2页 说明书9页 附图1页

(54) 发明名称

一种基于双目立体视觉的测距方法及系统

(57) 摘要

本发明公开了一种基于双目立体视觉的测距方法及系统,该方法通过获得两个固定点之间的位置关系从而转换为以一个固定点为原点构建测距模型,根据该模型通过简单的标定即可获取未知参数,实现目标测距;同时利用热像仪与可见光 CCD 摄像机组成的异源测距,提高了红外-可见光图像的信息量,提供了目标的位置信息。



1. 一种基于双目立体视觉的测距方法,该方法通过旋转左右两台摄像机来实现汇聚模式下的测距,其特征在于,包括以下步骤:

步骤 1、设置两个固定点 R1 和 R2,并测量这两个固定点之间的垂直间距 t 和水平间距 r ,将旋转前左光心 O_1 与固定点 R1 的连接线围绕着固定点 R1 旋转、旋转前右光心 O_2 与固定点 R2 的连接线围绕着固定点 R2 旋转使得旋转后的两个光轴相交;其中,旋转前两个光轴平行;

步骤 2、采集一组图像,并在交汇视野范围内任选三个空间参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 ,分别确定三个空间参考点在左视图中的横坐标和右视图中的横坐标,并测量这三个空间参考点与固定点 R1 之间的水平距离和垂直距离;

步骤 3、根据三角形的相似原理,构建上述三个空间参考点与固定点 R1 构成的透视投影关系模型;

步骤 4、利用步骤 3 建立的三个空间参考点与固定点 R1 构成的透视投影关系模型来确定固定点 R1 与旋转前左光心 O_1 之间的垂直间距 n_1 和水平间距 m_1 、固定点 R2 与旋转前右光心 O_2 之间的垂直间距 n_2 和水平间距 m_2 、左镜头的主点横坐标 u_{o1} 和右镜头的主点横坐标 u_{o2} ;

步骤 5、选取待测目标点 P,并根据步骤 4 中获得的固定点 R1 与旋转前左光心 O_1 之间的垂直间距 n_1 和水平间距 m_1 以及固定点 R2 与旋转前右光心 O_2 之间的垂直间距 n_2 和水平间距 m_2 、左镜头的主点横坐标 u_{o1} 和右镜头的主点横坐标 u_{o2} 来确定待测目标点 P 在以固定点 R1 为原点的坐标系下的距离关系即待测目标点 P 与固定点 R1 之间的水平间距 x_0 和垂直距离 z_{o1} 、待测目标点 P 到固定点 R1 的直线距离 l_1 、待测目标点 P 到固定点 R1 的水平间距 x_0 与待测目标 P 到固定点 R1 的直线距离 l_1 的夹角 θ 。

2. 根据权利要求 1 所述的基于双目立体视觉的测距方法,其特征在于,所述步骤 3 中建立的三个空间参考点与固定点 R1 构成的透视投影关系模型如下:

$$u_1(k) - u_{o1} = \frac{f_1(x_0(k) - z_{o1}(k) \tan \theta_1 - m_1 \sec \theta_1)}{z_{o1}(k) + x_0(k) \tan \theta_1 + n_1 \sec \theta_1}$$

$$u_2(k) - u_{o2} = \frac{f_2((x_0(k) - r) - (z_{o1}(k) + t) \tan \theta_2 - m_2 \sec \theta_2)}{z_{o1}(k) + t + (x_0(k) - r) \tan \theta_2 + n_2 \sec \theta_2}$$

式中, $u_1(k)$ 、 $u_2(k)$ 分别为三个空间参考点 Q_1 、 Q_2 和 Q_3 在左、右视图的横坐标,其中 $k = 1, 2, 3$, f_1 为左镜头的焦距, f_2 为右镜头的焦距, u_{o1} 为左镜头的主点横坐标; u_{o2} 为右镜头的主点横坐标, $x_0(k)$ 为三个参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到 R_1 点的水平距离, $z_{o1}(k)$ 为三个参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到固定点 R_1 的垂直距离, θ_1 为左光轴的旋转角度, θ_2 为右光轴的旋转角度。

3. 根据权利要求 2 所述的基于双目立体视觉的测距方法,其特征在于,所述步骤 5 中利用下式确定待测目标点 P 在以固定点 R1 为原点的坐标系下的距离关系:

$$u_1 - u_{o1} = \frac{f_1(x_0 - z_{o1} \tan \theta_1 - m_1 \sec \theta_1)}{z_{o1} + x_0 \tan \theta_1 + n_1 \sec \theta_1}$$

$$u_2 - u_{o2} = \frac{f_2((x_0 - r) - (z_{o1} + t) \tan \theta_2 - m_2 \sec \theta_2)}{z_{o1} + t + (x_0 - r) \tan \theta_2 + n_2 \sec \theta_2}$$

式中, u_1 为待测目标点 P 在左视图中的横坐标, u_2 为待测目标点 P 在右视图中的横坐标, x_0 为待测目标点 P 到固定点 R_1 的水平距离, z_{o1} 为待测目标点 P 到固定点 R_1 的垂直距

离；

待测目标点 P 在 XR_1Z 坐标系下的距离公式如下：

$$z_{01} = \frac{a_2 t + r + e_2 - e_1}{a_1 - a_2}$$

$$x_0 = a_1 z_{01} + e_1$$

$$l_1 = \sqrt{x_0^2 + z_{01}^2}$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{z_{01}}{x_0}\right)$$

$$\text{其中 } a_1 = \frac{f_1 \tan \theta_1 + u_1 - u_{o1}}{f_1 - \tan \theta_1 (u_1 - u_{o1})}, a_2 = \frac{f_2 \tan \theta_2 + u_2 - u_{o2}}{f_2 - \tan \theta_2 (u_2 - u_{o2})}, e_1 = \sec \theta_1 \frac{f_1 m_1 + n_1 (u_1 - u_{o1})}{f_1 - \tan \theta_1 (u_1 - u_{o1})}, e_2 = \sec \theta_2 \frac{f_2 m_2 + n_2 (u_2 - u_{o2})}{f_2 - \tan \theta_2 (u_2 - u_{o2})}。$$

4. 根据权利要求 2 或 3 所述的基于双目立体视觉的测距方法,其特征在于,所述三个空间参考点与固定点 R1 构成的透视投影关系模型中的三个参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到固定点 R₁ 的水平距离 $x_0(k)$ 和垂直距离 $z_{01}(k)$ 通过测量得到。

5. 根据权利要求 2 或 3 所述的基于双目立体视觉的测距方法,其特征在于,所述三个空间参考点与固定点 R1 构成的透视投影关系模型中的三个参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到固定点 R₁ 的水平距离 $x_0(k)$ 和垂直距离 $z_{01}(k)$ 通过下式确定：

$$z_{01}(k) = l_1(k) \sin\left(\arccos\left(\frac{l_1(k)^2 + t^2 + r^2 - l_2(k)^2}{2l_1(k) \cdot \sqrt{t^2 + r^2}}\right) - \arctan\left(\frac{t}{r}\right)\right)$$

$$x_0(k) = l_1(k) \cos\left(\arccos\left(\frac{l_1(k)^2 + t^2 + r^2 - l_2(k)^2}{2l_1(k) \cdot \sqrt{t^2 + r^2}}\right) - \arctan\left(\frac{t}{r}\right)\right)$$

其中, $l_1(k)$ 为三个参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到固定点 R₁ 的直线距离; $l_2(k)$ 为三个参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到固定点 R₂ 的直线距离。

6. 根据权利要求 1 所述的基于双目立体视觉的测距方法,其特征在于,所述步骤 5 中待测目标点 P 的选取范围为步骤 2 中采集的一组图像内选取或重新采集一组图像并在该图像中选取。

一种基于双目立体视觉的测距方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种测距方法,更具体的说是一种基于双目立体视觉的测距方法及系统。

背景技术

[0002] 双目立体视觉测距法是一种被动测距方法,该方法是模仿人类利用双目感知距离的一种测距方法。其主要是运用两台摄像机对公共视野范围内同一物体在不同位置成像获得立体相对,并根据成像视差测量物体的距离信息。现有的双目立体视觉测距系统都是通过单一源的可见光图像传感器实现的。然而当遭遇大雾、下雨等能见度比较低的恶劣天气或其它复杂环境时,仅仅依靠一对可见光摄像机实现目标测距是比较困难的。随着科学技术的飞速发展,多传感器技术的应用日益广泛。如果能够在可见光摄像机基础上融合其它类型传感器信息,就可以为复杂环境下的目标测距提供更加丰富的信息。

[0003] 2011年浙江理工大学王雷雷的硕士论文《基于可见光与红外汽车夜视系统目标测距》中提出了一种主动红外的双目视觉测距系统。这种主动红外摄像机通过红外灯发出红外线,利用 CCD 或 CMOS 感受红外光的光谱(即可以感受可见光,也可以感受红外光),配合红外灯作为“照明源”实现成像。由此可见,该系统需要由红外灯发射红外光照射目标才能由 CCD 或 CMOS 观察到,因此需要携带红外探照灯和额外的电源;并且该系统的作用距离还受限于红外探照灯的功率,因此主动式红外探测器适用于室内。使用于室外时,受环境气候影响较大。如遇雾天、下雪、下雨、刮风沙等恶劣天气时,能见度下降,作用距离因此而缩短。此外,其接受光谱的设备 CCD 或 CMOS 依然是可见光摄像机。

[0004] 不同于主动红外探测器,热像仪是一种对物体散发出的红外线进行感光成像的设备,可以将物体发出的不可见红外能量转变为可见的热图像。热图像上的不同颜色代表被测物体的不同温度,因此并不需要额外的光源。热像仪采集的图像具有很好的云雾穿透、以及特殊的识别伪装的能力。而可见光摄像机有较高的时空分辨率,所成的图像含有丰富的几何和纹理细节。这两种图像的信息具有互补性,冗余性,可以利用它们来改变实际应用中单一成像传感器的不足,从而有效拓展目标检测的空间和时间覆盖范围,提高系统的空间分辨率以及目标检测和抗干扰能力。因此如果能够利用红外-可见光图像实现双目测距可以提高图像的信息量,提供目标的位置信息,这对于复杂背景条件下目标跟踪、事先预警等是非常有意义的。

[0005] 传统的双目测距方法是利用两台性能参数完全一致的可见光摄像机,将其置于平行摄像模式,根据三角形原理求解目标的距离信息。此外,虽然立体平行摄像系统成像模型简单便于计算,可是不允许摄像机左右旋转,从而大大减小了摄像机的等效视界,甚至会造成盲区。理论上,对于立体视觉而言只要两台摄像机的内参数(焦距、主点等)及外参数(两台摄像机的相对位置关系)已知,即可根据透视投影矩阵实现三维重建从而获取空间任意点的三维空间坐标。这样即可不受视野限制,扩大系统的测距范围。此外,如果两台摄像机相对位置关系为已知更可以降低双目测距的难度。实际上,两台摄像机的相对位

置通常是指两个镜头光心的相对位置。然而镜头光心并不是一个明确定义的不变的物理位置,它看不见摸不着,经常随着镜头焦距的变换或者镜头位置的变化而移动,因此实际操作中很难测量光心到各个点的距离。目前主要通过标定算法对摄像系统进行精确标定获取外参数。然而精确的标定算法大多需要借助额外的标定模板,操作复杂,耗时较长,而且一旦摄像系统的任意参数发生变化就需要重新标定,只适用于摄像机固定的场所。因此如果能够简单获取摄像机的相对位置关系将大大降低测距系统的复杂度。

发明内容

[0006] 本发明解决的技术问题是一种避免重复标定摄像系统参数的基于双目立体视觉的测距方法,该方法主要用于计算机视觉领域。

[0007] 为解决上述技术问题,本发明一种基于双目立体视觉的测距方法,该方法通过旋转左右两台摄像机来实现汇聚模式下的测距,包括以下步骤:

[0008] 步骤 1、设置两个固定点 R1 和 R2,并测量这两个固定点之间的垂直间距 t 和水平间距 r,将旋转前左光心 O_1 与固定点 R1 的连接线围绕着固定点 R1 旋转、旋转前右光心 O_2 与固定点 R2 的连接线围绕着固定点 R2 旋转使得旋转后的两个光轴相交;其中,旋转前两个光轴平行;

[0009] 步骤 2、采集一组图像,并在交汇视野范围内任选三个空间参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 ,分别确定三个空间参考点在左视图中的横坐标和右视图中的横坐标,并测量三个空间参考点与固定点 R1 之间的水平距离和垂直距离;

[0010] 步骤 3、根据三角形的相似原理,构建上述三个空间参考点与固定点 R1 构成的透视投影关系模型;

[0011] 步骤 4、利用步骤 3 建立的三个空间参考点与固定点 R1 构成的透视投影关系模型来确定固定点 R1 与旋转前左光心 O_1 之间的垂直间距 n1 和水平间距 m1、固定点 R2 与旋转前右光心 O_2 之间的垂直间距 n2 和水平间距 m2、左镜头的主点横坐标 u_{o1} 和右镜头的主点横坐标 u_{o2} ;

[0012] 步骤 5、选取待测目标点 P,并根据步骤 4 中获得的固定点 R1 与旋转前左光心 O_1 之间的垂直间距 n1 和水平间距 m1 以及固定点 R2 与旋转前右光心 O_2 之间的垂直间距 n2 和水平间距 m2、左镜头的主点横坐标 u_{o1} 和右镜头的主点横坐标 u_{o2} 来确定待测目标点 P 在以固定点 R1 为原点的坐标系下的距离关系即待测目标点 P 与固定点 R1 之间的水平间距 x_0 和垂直距离 z_{01} 、待测目标点 P 到固定点 R1 的直线距离 l_1 、待测目标点 P 到固定点 R1 的水平间距 x_0 与待测目标 P 到固定点 R1 的直线距离 l_1 的夹角 θ 。

[0013] 进一步地优选方案,本发明基于双目立体视觉的测距方法中,所述步骤 3 中建立的三个空间参考点与固定点 R1 构成的透视投影关系模型如下:

$$[0014] \quad u_1(k) - u_{o1} = \frac{f_1(x_0(k) - z_{01}(k) \tan \theta_1 - m_1 \sec \theta_1)}{z_{01}(k) + x_0(k) \tan \theta_1 + n_1 \sec \theta_1}$$

$$[0015] \quad u_2(k) - u_{o2} = \frac{f_2((x_0(k) - r) - (z_{01}(k) + t) \tan \theta_2 - m_2 \sec \theta_2)}{z_{01}(k) + t + (x_0(k) - r) \tan \theta_2 + n_2 \sec \theta_2}$$

[0016] 式中, $u_1(k)$ 、 $u_2(k)$ 分别为三个空间参考点 Q_1 、 Q_2 和 Q_3 在左、右视图的横坐标,其中 $k = 1, 2, 3$, f_1 为左镜头的焦距, f_2 为右镜头的焦距, u_{o1} 为左镜头的主点横坐标; u_{o2} 为右

镜头的主点横坐标, $x_0(k)$ 为三个参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到 R_1 点的水平距离, $z_{01}(k)$ 为三个参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到固定点 R_1 的垂直距离, θ_1 为左光轴的旋转角度, θ_2 为右光轴的旋转角度。

[0017] 进一步地优选方案, 本发明基于双目立体视觉的测距方法中, 所述步骤 5 中利用下式确定待测目标点 P 在以固定点 R_1 为原点的坐标系下的距离关系:

$$[0018] \quad u_1 - u_{01} = \frac{f_1(x_0 - z_{01} \tan \theta_1 - m_1 \sec \theta_1)}{z_{01} + x_0 \tan \theta_1 + n_1 \sec \theta_1}$$

$$[0019] \quad u_2 - u_{02} = \frac{f_2((x_0 - r) - (z_{01} + t) \tan \theta_2 - m_2 \sec \theta_2)}{z_{01} + t + (x_0 - r) \tan \theta_2 + n_2 \sec \theta_2}$$

[0020] 式中, u_1 为待测目标点 P 在左视图中的横坐标, u_2 为待测目标点 P 在右视图中的横坐标, x_0 为待测目标点 P 到固定点 R_1 的水平距离, z_{01} 为待测目标点 P 到固定点 R_1 的垂直距离;

[0021] 待测目标点 P 在 XR_1Z 坐标系下的距离公式如下:

$$[0022] \quad z_{01} = \frac{a_2 t + r + e_2 - e_1}{a_1 - a_2}$$

$$[0023] \quad x_0 = a_1 z_{01} + e_1$$

$$[0024] \quad l_1 = \sqrt{x_0^2 + z_{01}^2}$$

$$[0025] \quad \theta = \arctan\left(\frac{z_{01}}{x_0}\right)$$

$$[0026] \quad \text{其中 } a_1 = \frac{f_1 \tan \theta_1 + u_1 - u_{01}}{f_1 - \tan \theta_1 (u_1 - u_{01})}, a_2 = \frac{f_2 \tan \theta_2 + u_2 - u_{02}}{f_2 - \tan \theta_2 (u_2 - u_{02})}, e_1 = \sec \theta_1 \frac{f_1 m_1 + n_1 (u_1 - u_{01})}{f_1 - \tan \theta_1 (u_1 - u_{01})},$$

$$e_2 = \sec \theta_2 \frac{f_2 m_2 + n_2 (u_2 - u_{02})}{f_2 - \tan \theta_2 (u_2 - u_{02})}, l_1 \text{ 为待测目标点 P 到 } R_1 \text{ 的直线距离。}$$

[0027] 进一步地优选方案, 本发明基于双目立体视觉的测距方法中, 所述三个空间参考点与固定点 R_1 构成的透视投影关系模型中的三个参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到固定点 R_1 的水平距离 $x_0(k)$ 和垂直距离 $z_{01}(k)$ 通过测量得到。

[0028] 进一步地优选方案, 本发明基于双目立体视觉的测距方法中, 所述三个空间参考点与固定点 R_1 构成的透视投影关系模型中的三个参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到固定点 R_1 的水平距离 $x_0(k)$ 和垂直距离 $z_{01}(k)$ 通过下式确定:

$$[0029] \quad z_{01}(k) = l_1(k) \sin\left(\arccos\left(\frac{l_1(k)^2 + t^2 + r^2 - l_2(k)^2}{2l_1(k) \cdot \sqrt{t^2 + r^2}}\right)\right) - \arctan\left(\frac{t}{r}\right)$$

$$[0030] \quad x_0(k) = l_1(k) \cos\left(\arccos\left(\frac{l_1(k)^2 + t^2 + r^2 - l_2(k)^2}{2l_1(k) \cdot \sqrt{t^2 + r^2}}\right)\right) - \arctan\left(\frac{t}{r}\right)$$

[0031] 其中, $l_1(k)$ 为三个参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到固定点 R_1 的直线距离; $l_2(k)$ 为三个参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到固定点 R_2 的直线距离。

[0032] 进一步地优选方案, 本发明基于双目立体视觉的测距方法中, 所述步骤 5 中待测目标点 P 的选取范围为步骤 2 中采集的一组图像内选取或重新采集一组图像并在该图像中选取。

[0033] 为了实现该测距方法, 本发明同时提出了一种基于双目立体视觉的测距系统, 该

系统包括两台摄像装置、左转台和右转台,所述两台摄像装置分别设置在左转台和右转台上,将左转台和右转台的旋转中心作为两个固定点,通过旋转左右转台使得两台摄像装置实现交汇模式。其中,两台摄像装置为热像仪和可见光 CCD 摄像机的组合或均为可见光 CCD 摄像机或均为热像仪。

[0034] 本发明与现有技术相比具有以下显著的进步:(1)该方法通过获得两个固定点之间的位置关系从而转换为以一个固定点为原点构建测距模型,根据该模型通过简单的标定即可获取未知参数,实现目标测距;该方法实现简单,大部分参数通过人工测量即可获得,大大简化了汇聚模式下的测距过程。(2)该方法和系统实现了热像仪与可见光 CCD 摄像机组成的异源测距,提高了红外-可见光图像的信息量,提供了目标的位置信息,这对于复杂背景条件下目标跟踪、事先预警等是非常有意义的。

[0035] 下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的描述;

附图说明

[0036] 图 1 是本发明中转台水平转动引起的光心和旋转中心的相对位置变化示意图;

[0037] 图 2 是本发明中立体汇聚模式下双目测距原理示意图;

[0038] 图 3 是本发明中立体汇聚模式下转台旋转中心与待测点的几何位置关系图

[0039] 图 4 是本发明中测距系统的结构示意图。

[0040] 图 5 是本发明的测距流程示意图。

具体实施方式

[0041] 本发明一种基于双目立体视觉的测距方法,该方法通过旋转左右两台摄像机来实现汇聚模式下的测距,包括以下步骤:

[0042] 步骤 1、设置两个固定点 R1 和 R2,并测量这两个固定点之间的垂直间距 t 和水平间距 r ,将旋转前左光心 O_1 与固定点 R1 的连接线围绕着固定点 R1 旋转、旋转前右光心 O_2 与固定点 R2 的连接线围绕着固定点 R2 旋转使得旋转后的两个光轴相交;其中,旋转前两个光轴平行;

[0043] 步骤 2、采集一组图像,并在交汇视野范围内任选三个空间参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 ,分别确定三个空间参考点在左视图中的横坐标和右视图中的横坐标,并测量三个空间参考点与固定点 R1 之间的水平距离和垂直距离;其中采集的一组图像可以为红外-可见光图像、可见光图像-可见光图像、红外-红外图像三种组合中的任意一组;

[0044] 步骤 3、根据三角形的相似原理,构建上述三个空间参考点与固定点 R1 构成的透视投影关系模型,具体如下:

$$[0045] \quad u_1(k) - u_{o1} = \frac{f_1(x_0(k) - z_{01}(k) \tan \theta_1 - m_1 \sec \theta_1)}{z_{01}(k) + x_0(k) \tan \theta_1 + n_1 \sec \theta_1}$$

$$[0046] \quad u_2(k) - u_{o2} = \frac{f_2((x_0(k) - r) - (z_{01}(k) + t) \tan \theta_2 - m_2 \sec \theta_2)}{z_{01}(k) + t + (x_0(k) - r) \tan \theta_2 + n_2 \sec \theta_2}$$

[0047] 式中, $u_1(k)$ 、 $u_2(k)$ 分别为三个空间参考点 Q_1 、 Q_2 和 Q_3 在左、右视图的横坐标,其中 $k = 1, 2, 3$, f_1 为左镜头的焦距, f_2 为右镜头的焦距, u_{o1} 为左镜头的主点横坐标; u_{o2} 为右镜头的主点横坐标, $x_0(k)$ 为三个参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到固定点 R1 的水平距离, $z_{01}(k)$ 为三个参考

点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到固定点 R_1 的垂直距离, θ_1 为左光轴的旋转角度, θ_2 为右光轴的旋转角度; 其中, 三个参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到固定点 R_1 的水平距离 $x_0(k)$ 和垂直距离 $z_{01}(k)$ 通过测量得到或者利用下式确定:

$$[0048] \quad z_{01}(k) = l_1(k) \sin(\arccos(\frac{l_2(k)^2 + t^2 + r^2 - l_2(k)^2}{2l_1(k) \cdot \sqrt{t^2 + r^2}})) - \arctan(\frac{t}{r})$$

$$[0049] \quad x_0(k) = l_1(k) \cos(\arccos(\frac{l_2(k)^2 + t^2 + r^2 - l_2(k)^2}{2l_1(k) \cdot \sqrt{t^2 + r^2}})) - \arctan(\frac{t}{r})$$

[0050] 其中, $l_1(k)$ 为三个参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到固定点 R_1 的直线距离; $l_2(k)$ 为三个参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到固定点 R_2 的直线距离;

[0051] 步骤 4、利用步骤 3 建立的三个空间参考点与固定点 R_1 构成的透视投影关系模型来确定固定点 R_1 与旋转前左光心 O_1 之间的垂直间距 n_1 和水平间距 m_1 、固定点 R_2 与旋转前右光心 O_2 之间的垂直间距 n_2 和水平间距 m_2 、左镜头的主点横坐标 u_{o1} 和右镜头的主点横坐标 u_{o2} ;

[0052] 步骤 5、选取待测目标点 P , 并根据步骤 4 中获得的固定点 R_1 与旋转前左光心 O_1 之间的垂直间距 n_1 和水平间距 m_1 以及固定点 R_2 与旋转前右光心 O_2 之间的垂直间距 n_2 和水平间距 m_2 、左镜头的主点横坐标 u_{o1} 和右镜头的主点横坐标 u_{o2} 来确定待测目标点 P 在以固定点 R_1 为原点的坐标系下的距离关系即待测目标点 P 与固定点 R_1 之间的水平间距 x_0 和垂直距离 z_{01} 、待测目标点 P 到固定点 R_1 的直线距离 l_1 、待测目标点 P 到固定点 R_1 的水平间距 x_0 与待测目标 P 到固定点 R_1 的直线距离 l_1 的夹角 θ , 具体为:

[0053] 利用下式确定待测目标点 P 在以固定点 R_1 为原点的坐标系下的距离关系:

$$[0054] \quad u_1 - u_{o1} = \frac{f_1(x_0 - z_{01} \tan \theta_1 - m_1 \sec \theta_1)}{z_{01} + x_0 \tan \theta_1 + n_1 \sec \theta_1}$$

$$[0055] \quad u_2 - u_{o2} = \frac{f_2((x_0 - r) - (z_{01} + t) \tan \theta_2 - m_2 \sec \theta_2)}{z_{01} + t + (x_0 - r) \tan \theta_2 + n_2 \sec \theta_2}$$

[0056] 式中, u_1 为待测目标点 P 在左视图中的横坐标, u_2 为待测目标点 P 在右视图中的横坐标, 这两个参数可以人工提取, 也可以通过计算机运算获得; 当采集的一组图像为可见光-可见光图像和红外-红外图像时, 通过诸如背景差、二值分割等预处理可以提取出目标点在左视图中的横坐标 u_1 , 再利用同源图像视差匹配方法可以获得目标点在右视图中的横坐标 u_2 ; 而当采集的一组图像为红外-可见光图像时, 同样可以通过诸如背景差、二值分割等预处理可以提取出目标点在左视图中的横坐标 u_1 , 但需要利用异源图像视差匹配方法获得目标点在右视图中的横坐标 u_2 ; x_0 为待测目标点 P 到固定点 R_1 的水平距离, z_{01} 为待测目标点 P 到固定点 R_1 的垂直距离;

[0057] 待测目标点 P 在 XR_1Z 坐标系下的距离公式如下:

$$[0058] \quad z_{01} = \frac{a_2 t + r + e_2 - e_1}{a_1 - a_2}$$

$$[0059] \quad x_0 = a_1 z_{01} + e_1$$

$$[0060] \quad l_1 = \sqrt{x_0^2 + z_{01}^2}$$

$$[0061] \quad \theta = \arctan\left(\frac{z_{01}}{x_0}\right)$$

$$[0062] \quad \text{其中 } a_1 = \frac{f_1 \tan \theta_1 + u_1 - u_{o1}}{f_1 - \tan \theta_1 (u_1 - u_{o1})}, a_2 = \frac{f_2 \tan \theta_2 + u_2 - u_{o2}}{f_2 - \tan \theta_2 (u_2 - u_{o2})}, e_1 = \sec \theta_1 \frac{f_1 m_1 + n_1 (u_1 - u_{o1})}{f_1 - \tan \theta_1 (u_1 - u_{o1})}, e_2 = \sec \theta_2 \frac{f_2 m_2 + n_2 (u_2 - u_{o2})}{f_2 - \tan \theta_2 (u_2 - u_{o2})},$$

l_1 为待测目标点 P 到 R_1 的直线距离。

[0063] 实现上述测距方法的系统,该系统包括两台摄像装置、左转台和右转台,所述两台摄像装置分别设置在左转台和右转台上,将左转台和右转台的旋转中心作为两个固定点,通过旋转左右转台使得两台摄像装置实现交汇模式。其中,两台摄像装置为热像仪和可见光 CCD 摄像机的组合或均为可见光 CCD 摄像机或均为热像仪。

[0064] 利用上述系统来实现测距的具体过程如下:

[0065] 该方法以左转台的旋转中心为基准点,测量汇聚模式下待测目标点 P 到旋转中心的距离。转台的水平转动将导致光心和转台旋转中心的相对位置发生变化,该位置变化如图 1 所示,左转台旋转中心 R_1 和右转台旋转中心 R_2 的位置不会随着旋转而改变。旋转前左镜头光轴 001 和旋转前右镜头光轴 002 相平行。旋转后左镜头光轴 003 和旋转后右镜头光轴 004 相交且交点为 O 点。P 为待测目标点,以左转台旋转中心 R_1 为坐标系原点,根据图 1 可得到 XR_1Z 坐标系中的旋转前后光心距离的变化关系:

$$[0066] \quad \text{旋转前: } b = r + m_2 - m_1 \quad (1)$$

$$[0067] \quad d = |t + n_2 - n_1| \quad (2)$$

$$[0068] \quad x = x_0 - m_1 \quad (3)$$

$$[0069] \quad z_1 = z_{o1} + n_1 \quad (4)$$

$$[0070] \quad \text{旋转后: } b_v = r + (m_2 \cos \theta_2 - n_2 \sin \theta_2) - (m_1 \cos \theta_1 - n_1 \sin \theta_1) \quad (5)$$

$$[0071] \quad d_v = |t + (n_2 \cos \theta_2 + m_2 \sin \theta_2) - (n_1 \cos \theta_1 + m_1 \sin \theta_1)| \quad (6)$$

$$[0072] \quad x_v = x_0 - (m_1 \cos \theta_1 - n_1 \sin \theta_1) \quad (7)$$

$$[0073] \quad z_{v1} = z_{o1} + (n_1 \cos \theta_1 + m_1 \sin \theta_1) \quad (8)$$

[0074] (1)、(2)、(3)、(4)、(5)、(6)、(7) 和 (8) 式中:

[0075] m_1 为旋转前 R_1 和 O_1 的水平间距,对应图 1 中的 $|O_1B|$; n_1 为旋转前 R_1 和 O_1 的垂直间距,对应图 1 中的 $|R_1B|$; m_2 为旋转前 R_2 和 O_2 的水平间距,对应图 1 中的 $|O_2C|$; n_2 为旋转前 R_2 和 O_2 的垂直间距,对应图 1 中的 $|R_2C|$; r 为 R_1 和 R_2 水平间距,对应图 1 中的 $|R_1A|$; t 为 R_1 和 R_2 的垂直间距,对应图 1 中的 $|R_2A|$; b 为旋转前 O_1 和 O_2 的水平间距,对应图 1 中的 $|DO_2|$; d 为旋转前 O_1 和 O_2 的垂直间距,图 1 中的 $|DO_1|$; x_0 为 P 点到 R_1 点的水平距离,对应图 1 中的 $|PE|$; z_{o1} 为 P 点到 R_1 点的垂直距离,对应图 1 中的 $|R_1E|$; x 为旋转前 P 点到 O_1 点的水平距离,对应图 1 中的 $|PF|$; z_1 为 P 点到 O_1 点的垂直距离,对应图 1 中的 $|O_1F|$; b_v 为旋转后 O_1' 和 O_2' 的水平距离; d_v 为旋转后 O_1' 和 O_2' 的垂直距离; x_v 为旋转后 P 点到 O_1' 点的水平距离,对应图 1 中的 $|PG|$; z_{v1} 为旋转后 P 点到 O_2' 点的垂直距离,对应图 1 中的 $|O_1'G|$ 。|| 表示绝对值。注:在 XR_1Z 坐标系中,当 O_i 在 R_i 右边时, $m_i > 0$; 当 O_i 在 R_i 后方时, $n_i > 0$; 当 R_1 在 R_2 前方时 $t > 0$; 顺时针旋转时 $\theta_i > 0$, ($i = 1, 2$)。

[0076] 通过旋转将立体视觉系统从平行模式转换至汇聚模式,立体汇聚模式的双目视觉测距法的原理图如图 2 所示。在图 2 中, P 为待测目标点。根据三角形的相似原理,得出以下等式:

$$[0077] \quad u_1 - u_{o1} = \frac{f_1(x_v - z_{v1} \tan \theta_1)}{z_{v1} + x_v \tan \theta_1} \quad (9)$$

$$[0078] \quad u_2 - u_{o2} = \frac{f_2((z_{v1} + d_v) \tan \theta_2 - (b_v - x_v))}{z_{v1} + d_v + (b_v - x_v) \tan \theta_2} \quad (10)$$

[0079] (9) 式和 (10) 式中, u_1 为 P 点在左像平面 005 中的横坐标; u_2 为 P 点在右像平面 006 中的横坐标; u_{o1} 为左镜头的主点横坐标; u_{o2} 为右镜头的主点横坐标; f_1 为左镜头的焦距, 对应图 2 中的 $|O_1' U_{o1}|$; f_2 为右镜头的焦距, 对应图 2 中的 $|O_2' U_{o2}|$; f_1 、 f_2 在摄像机出厂时已设定, b_v 为 O_1' 和 O_2' 的水平间距, 对应图 2 中的 $|HO_2'|$; d_v 为 O_1' 和 O_2' 的垂直间距, 对应图 2 中的 $|HO_1'|$; x_v 为 P 点到 O_1' 点的水平距离, 对应图 1 中 $|PG|$, 图 2 中的 $|PG|$; z_{v1} 为 P 点到 O_2' 点的垂直距离, 对应图 1 中的 $|O_1' G|$, 图 2 中 $|O_1' G|$ 。

[0080] 结合图 1 和图 2, 根据式 (1)-(8), 可以将式 (9) 和 (10) 转化为下式:

$$[0081] \quad u_1 - u_{o1} = \frac{f_1(x_0 - z_{01} \tan \theta_1 - m_1 \sec \theta_1)}{z_{01} + x_0 \tan \theta_1 + n_1 \sec \theta_1} \quad (11)$$

$$[0082] \quad u_2 - u_{o2} = \frac{f_2((x_0 - r) - (z_{01} + t) \tan \theta_2 - m_2 \sec \theta_2)}{z_{01} + t + (x_0 - r) \tan \theta_2 + n_2 \sec \theta_2} \quad (12)$$

[0083] 为了获得目标点 P 在 XR_1Z 坐标系下的距离公式即 z_{01} 、 x_0 、 l_1 和 θ , 必须先对公式 (11)、(12) 中的未知参数 u_{o1} 、 u_{o2} 、 m_1 、 m_2 、 n_1 、 n_2 进行标定, 具体标定如下:

[0084] 在实际应用中, 红外热像仪和可见光相机的镜头焦距可以通过出厂技术参数获取; u_1 和 u_2 可以通过图像匹配获取; θ_1 和 θ_2 可以通过转台的旋转刻度读取; r 和 t 也可以通过人工测量得到。此外还要求解 u_{o1} 、 u_{o2} 、 m_1 、 n_1 、 m_2 和 n_2 才能实现测距。对于一个 f 、 θ_1 、 θ_2 、 r 和 t 已经固定的双目测距系统, 一个已知 u_1 、 u_2 、 x_0 和 z_{01} 的空间点可以提供两个方程。因此选择三个已知空间参考点, 组成一个六元二次方程组即能求解这 6 个未知参数。假设已知三个空间参考点 Q_1 、 Q_2 和 Q_3 , 它们与左旋转中心 R_1 的位置关系分别为 $x_0(k)$ 和 $z_{01}(k)$ ($k = 1, 2, 3$), 它们在左右视图的横坐标分别为 $u_1(k)$ 、 $u_2(k)$, 则可以根据式 (11) 和 (12) 得到方程组 (13):

$$[0085] \quad u_1(k) - u_{o1} = \frac{f_1(x_0(k) - z_{01}(k) \tan \theta_1 - m_1 \sec \theta_1)}{z_{01}(k) + x_0(k) \tan \theta_1 + n_1 \sec \theta_1}$$

$$[0086] \quad u_2(k) - u_{o2} = \frac{f_2((x_0(k) - r) - (z_{01}(k) + t) \tan \theta_2 - m_2 \sec \theta_2)}{z_{01}(k) + t + (x_0(k) - r) \tan \theta_2 + n_2 \sec \theta_2} \quad k=1,2,3 \quad (13)$$

[0087] 在实际操作中, r 和 t 比较容易测量; $x_0(k)$ 和 $z_{01}(k)$ 虽然也可以测量, 但是相对比较复杂, 而且也容易造成比较大的误差。相对而言, 目标点到各个旋转中心的直线距离确是比较方便测量的, 并且该直线距离与水平距离 $x_0(k)$ 和垂直距离 $z_{01}(k)$ 也存在固定的几何位置关系 (如图 3 所示)。根据图 3 所示的几何关系可以求解出下式:

$$[0088] \quad z_{01}(k) = l_1(k) \sin(\arccos(\frac{l_1(k)^2 + t^2 + r^2 - l_2(k)^2}{2l_1(k) \cdot \sqrt{t^2 + r^2}}) - \arctan(\frac{t}{r})) \quad (14)$$

$$[0089] \quad x_0(k) = l_1(k) \cos(\arccos(\frac{l_1(k)^2 + t^2 + r^2 - l_2(k)^2}{2l_1(k) \cdot \sqrt{t^2 + r^2}}) - \arctan(\frac{t}{r})) \quad (15)$$

[0090] 其中, $l_1(k)$ 为三个参考点 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 到 R_1 点的直线距离; $l_2(k)$ 为三个参考点 Q_1 、

Q_2 、 Q_3 到 R_2 点的直线距离；

[0091] 因此可以通过直接测量 r 、 t 、 $l_1(k)$ 、 $l_2(k)$ 这四个值计算出三个参考点的 $x_0(k)$ 和 $z_{01}(k)$ ，进而根据方程组 (13) 求解出 u_{o1} 、 u_{o2} 、 m_1 、 n_1 、 m_2 和 n_2 。

[0092] 根据式 (1)–(15) 中所有参数 f_1 、 f_2 、 u_{o1} 、 u_{o2} 、 u_1 、 u_2 、 r 、 t 、 θ_1 、 θ_2 、 m_1 、 n_1 、 m_2 、 n_2 的数值均为已知。

[0093] 联立式 (11) 和 (12) 即可求解出目标点 P 在 XR_1Z 坐标系下的距离公式：

$$[0094] \quad z_{01} = \frac{a_2 t + r + e_2 - e_1}{a_1 - a_2} \quad (16)$$

$$[0095] \quad x_0 = a_1 z_{01} + e_1 \quad (17)$$

$$[0096] \quad l_j = \sqrt{x_0^2 + z_{01}^2} \quad (18)$$

$$[0097] \quad \theta = \arctan\left(\frac{z_{01}}{x_0}\right) \quad (19)$$

$$[0098] \quad \text{其中 } a_1 = \frac{f_1 \tan \theta_1 + u_1 - u_{o1}}{f_1 - \tan \theta_1 (u_1 - u_{o1})}, a_2 = \frac{f_2 \tan \theta_2 + u_2 - u_{o2}}{f_2 - \tan \theta_2 (u_2 - u_{o2})},$$

$$[0099] \quad e_1 = \sec \theta_1 \frac{f_1 m_1 + n_1 (u_1 - u_{o1})}{f_1 - \tan \theta_1 (u_1 - u_{o1})}, e_2 = \sec \theta_2 \frac{f_2 m_2 + n_2 (u_2 - u_{o2})}{f_2 - \tan \theta_2 (u_2 - u_{o2})}.$$

[0100] l_1 为 X-Z 平面上点 P 到 R_1 的直线距离，对应图 3 中的 $|PR_1|$ ； θ 为 X-Z 平面上目标点 P 的水平方向角，对应图 3 中的 $\angle PR_1J$ 。

[0101] 设计如图 4 所示的双目立体汇聚模式测距系统，热像仪在左，可见光 CCD 在右，两台摄像机分别安装在可以左右旋转的转台上，调节转台的水平仪确保两台转台水平放置。两转台的旋转轴夹角（即摄像机光轴夹角）为 $\theta_1 + \theta_2$ ，转台的转盘上有刻度可以显示旋转的角度。

[0102] 如图 5 所示，当两台摄像机分别为红外热像仪和可见光摄像机时，本方法的基本流程如下：

[0103] (1) 建立初始固定场景：将热像仪和 CCD 分别安装在平行转台上，测量 R_1 和 R_2 前后左右的距离 r 和 t 。旋转摄像机，使左右镜头交汇，从转盘上读取 θ_1 和 θ_2 。

[0104] (2) 采集真实数据：采集两幅图像，在双摄像机的视景范围内随机选取 3 个参考点，分别测量这 3 个点的 $l_1(k)$ 及 $l_2(k)$ 。结合步骤 (1) 中测得的 r 和 t ，根据式 (14) 和 (15) 计算出 $x_0(k)$ 和 $z_{01}(k)$ 。记录每个参考点在红外热图像中的横坐标 $u_1(k)$ 及其在可见光图像中的横坐标 $u_2(k)$ ，($k = 1, 2, 3$)。为提高标定的准确性，减少误匹配对参数标定的影响，该过程中的对应点横坐标通过人为匹配。

[0105] (3) 未知参数标定：将 $(u_1(k), u_2(k), x_0(k), z_{01}(k), f_1, f_2, \theta_1, \theta_2, r, t)$ 作为参数输入方程组 (13)，结合对应的约束条件（如主点横坐标必然小于图像的像素尺寸），利用 Levenberg-Marquardt 法寻找 $(u_{o1}, u_{o2}, m_1, m_2, n_1, n_2)$ 的最优解。

[0106] (4) 距离计算：在红外图或可见光图中指定待测点，利用匹配算法在另一幅图中获取对应点横坐标 u_i ，($i = 1, 2$)，利用步骤 (3) 中求解出的 $(u_{o1}, u_{o2}, m_1, m_2, n_1, n_2)$ ，结合事先获得的 $(f_1, f_2, \theta_1, \theta_2, r, t)$ ，输入 u_1 和 u_2 ，即可求解出 l_1 和 θ 。

[0107] 实施例

[0108] 利用热像仪和 CCD 摄像机以不同的夹角分别对两个不同距离的目标点 A 和 B 进行

了测距实验,实验中所用的热像仪是氧化钒非制冷式焦平面探测器,测距结果如表 1 所示。该场景中 $r = 155\text{mm}$, $t = -120\text{mm}$ 。

[0109] 表 1 本发明测距方法结果

[0110]

真实值(l_t, θ_t)/(mm,度)	序号	(θ_1, θ_2)	(u_1, u_2)	l_{1c}/mm	$\theta_c/\text{度}$	$E_l/\%$	$E_\theta/\%$
A(947,87)	1	(0,0)	(187,123)	981.6	86.8	3.7	0.26
	2	(0,-9)	(187,196)	956.6	86.7	1	0.29
	3	(0,-13.5)	(187,226)	946.4	86.9	0.1	0.12
	4	(-9,0)	(244,123)	938.6	86.7	0.9	0.36
	5	(-9,-9)	(244,196)	965.4	87	1.9	0.05
	6	(-9,-13.5)	(244,226)	962.2	87.2	1.6	0.21
B(2365,80)	1	(0,0)	(228,216)	2180.8	80.4	7.8	1.15
	2	(0,-9)	(228,285)	2372	80.9	0.3	1.35
	3	(0,-13.5)	(228,313)	2329.5	81.1	1.5	1.35
	4	(-9,0)	(282,216)	2470.1	80.9	4.4	1.17
	5	(-9,-9)	(282,285)	2444.6	81.1	3.4	1.4
	6	(-9,-13.5)	(282,313)	2343.5	81.3	0.9	1.57

[0111] 注:相对误差计算公式:

$$[0112] \quad E_l = |l_{1t} - l_{1c}| / l_{1t} \times 100\%$$

$$[0113] \quad E_\theta = |\theta_t - \theta_c| / |\theta_t| \times 100\%$$

[0114] 其中 l_{1t} 、 θ_t 表示目标的真实距离和方向角, l_{1c} 、 θ_c 为根据本文方法计算出的目标距离和方向角, $||$ 表示绝对值。

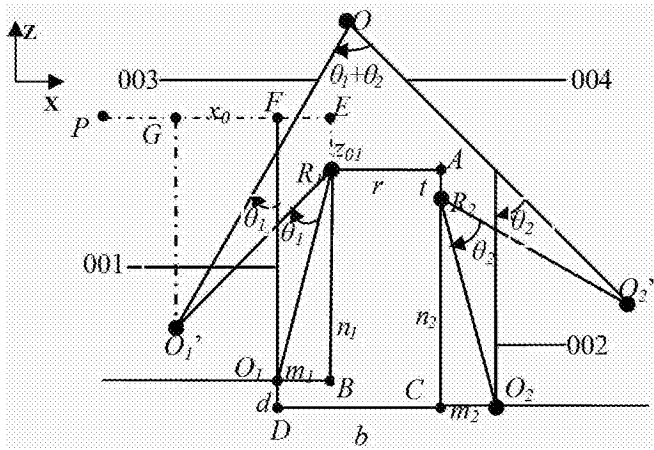


图 1

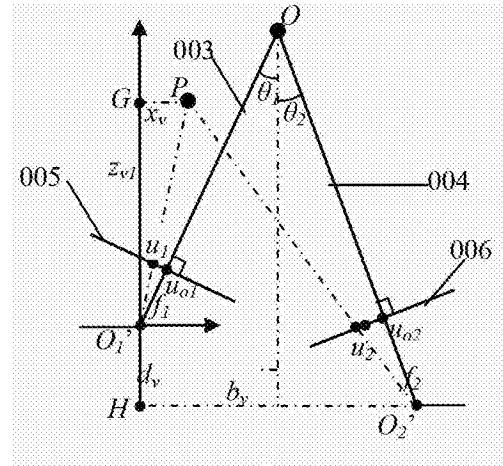


图 2

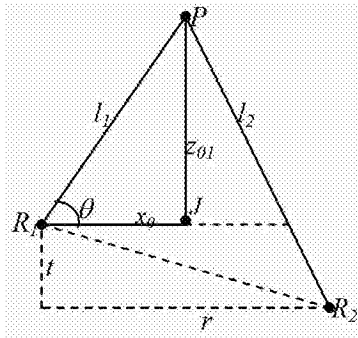


图 3

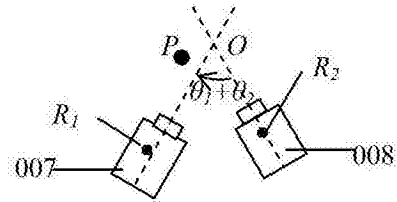


图 4

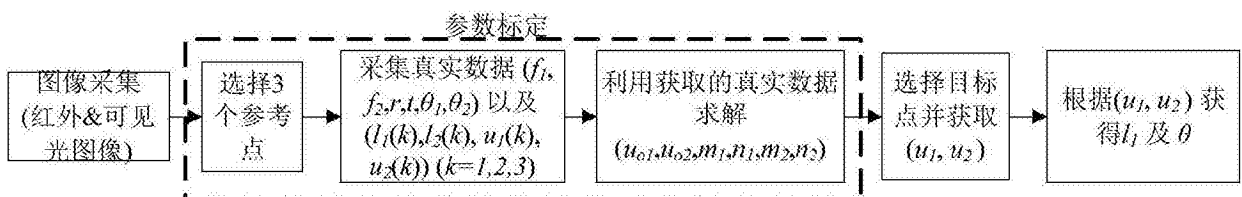


图 5