



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1917658 B

(45) 授权公告日 2011.04.27

(21) 申请号 200610052740.5

CN 1741621 A, 2006.03.01, 全文.

(22) 申请日 2006.08.01

US 4807024 A, 1989.02.21, 全文.

(73) 专利权人 杭州镭星科技有限公司

审查员 刘园园

地址 310012 浙江省杭州市西湖区黄姑山路
29号颐高创业大厦1103

(72) 发明人 华炜 鲍虎军 章国锋 何治

(74) 专利代理机构 杭州求是专利事务所有限公
司 33200

代理人 林怀禹

(51) Int. Cl.

H04N 13/02 (2006.01)

H04N 15/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 1126344 A, 1996.07.10, 全文.

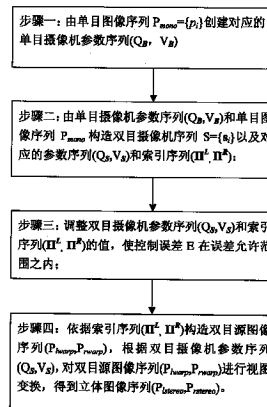
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 4 页

(54) 发明名称

一种从单目图像序列生成立体图像序列的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种从单目图像序列生成立体图像序列的方法,包括四个步骤:首先,由单目图像序列创建对应的单目摄像机参数序列;接着构造双目摄像机序列、对应的参数序列和索引序列;然后,调整双目摄像机参数序列和索引序列的值,使控制误差在误差允许范围之内;最后,依据索引序列构造双目源图像序列,再根据双目摄像机参数序列对双目源图像序列进行视图变换,得到立体图像序列。本发明针对现有立体视频制作技术的高成本、制作方法复杂的缺点,提出一种把单目视频转化为立体视频的方法,该方法不需要特殊硬件辅助、制作过程简单、制作素材丰富且易获得。



1. 一种从单目图像序列生成立体图像序列的方法,其特征在于包括以下步骤:

1) 由单目图像序列 $P_{\text{mono}} = \{p_i\}$ 创建对应的单目摄像机参数序列 (Q_B, V_B) :单目摄像机序列 $B = \{b_i\}$ 的参数序列包括旋转向量序列 $Q_B = \{q_i\}$ 与空间位置序列 $V_B = \{v_i\}$,通过摄像机跟踪算法得到每一帧单目图像 p_i 对应的摄像机参数 $(q(b_i), v(b_i))$;

2) 由单目摄像机参数序列 (Q_B, V_B) 和单目图像序列 P_{mono} 构造双目摄像机序列 $S = \{s_i\}$ 以及对应的参数序列 (Q_S, V_S) 和索引序列 (Π^L, Π^R) :令左眼索引序列 $\Pi^L = i$,然后对选择到单目摄像机 b_i 距离最接近双目距离 d_{eye} 的单目摄像机 b_k ,令 $\Pi^R[i] = k$;双目摄像机旋转向量 $q(s_i) = (q(b_i) + q(b_k))/2$,中心位置 $c(s_i) = (v(b_i) + v(b_k))/2$,由此可确定双目摄像机左右眼参数 $(q(s_i), c(s_i))$;

所述双目摄像机:指用于生成立体图像的两台摄像机组成的系统,由相同旋转向量且距离不变的同步左右眼摄像机构成,且两摄像机旋转向量和摄像机连线垂直;所述双目距离:指左右眼摄像机距离;

3) 用已知的 (Q_S, V_S) 和 (Π^L, Π^R) 计算控制误差 E ,若 E 在误差允许范围之内,则直接进行下一步,否则,调整 (Q_S, V_S) 和 (Π^L, Π^R) 的值使 E 减小至误差允许范围之内;调整方法分两步:首先,固定 (Π^L, Π^R) ,调整 (Q_S, V_S) ,得到使 E 最小的 (Q_S, V_S) ,然后,固定 (Q_S, V_S) ,调整 (Π^L, Π^R) ,得到使 E 最小的 (Π^L, Π^R) ;重复这两个步骤直至 E 减少到误差允许范围之内;

4) 依据索引序列 (Π^L, Π^R) 构造双目源图像序列 $(P_{\text{lwarp}}, P_{\text{rwarp}})$,其中左眼源图像序列 $P_{\text{lwarp}} = \{P_{\Pi^L[i]}\}$,右眼源图像序列 $P_{\text{rwarp}} = \{P_{\Pi^R[i]}\}$,根据双目摄像机参数序列 (Q_S, V_S) ,对双目源图像序列 $(P_{\text{lwarp}}, P_{\text{rwarp}})$ 进行视图变换,得到立体图像序列 $(P_{\text{lstereo}}, P_{\text{rstereo}})$;视图变换的方法是为图像上的每个像素赋予一个常深度 Z_c ,将每个像素先投影到三维空间的正确位置上,然后再投影到双目摄像机参数指定的图像平面上,从而生成立体图像的左右眼图像;这里的 $z_c = 2(1/z_{\text{min}} + 1/z_{\text{max}})^{-1}$,其中 $[z_{\text{min}}, z_{\text{max}}]$ 是场景的深度范围,在摄像机跟踪步骤中,恢复摄像机运动参数的同时,可以得到一些稀疏点的三维深度,取这些稀疏点当中的最小深度作为 z_{min} ,最大深度作为 z_{max} ;

所述的控制误差 $E(S, \Pi^L, \Pi^R) = E_S + E_Q + (E_{CV} + E_{CQ})$,包括以下几个部分:

(1) 立体感误差 E_S : $L(s)$ 指双目摄像机 s 的左眼摄像机, $R(s)$ 指双目摄像机 s 的右眼摄像机:

$$\delta(s, l, r) = \|v(b) - v(L(s))\|_V^2 + \|v(b) - v(R(s))\|_V^2$$

$$E_S(S, \Pi^L, \Pi^R) = \sum_{i=1}^N (\delta(S[i], \Pi^L[i], \Pi^R[i]))$$

(2) 相似性误差 E_Q :

$$\gamma(s, l, r) = \|q(s) - q(b_l)\|^2 + \|q(s) - q(b_r)\|^2$$

$$E_Q(S, \Pi^L, \Pi^R) = \sum_{i=1}^N \gamma(S[i], \Pi^L[i], \Pi^R[i])$$

(3) 方向连续性误差 E_{CQ} :

$$E_{CQ}(S, \Pi^L, \Pi^R) = \sum_{i=2}^{N-1} \|2q(s_i) - q(s_{i+1}) - q(s_{i-1})\|^2$$

(4) 位置连续性误差 E_{CV} :

$$\begin{aligned}
 E_{CV}(\mathbf{S}, \Pi^L, \Pi^R) &= \sum_{i=2}^{N-1} \left\| 2\mathbf{v}(\mathbf{s}_i) - \mathbf{v}(\mathbf{s}_{i+1}) - \mathbf{v}(\mathbf{s}_{i-1}) \right\|^2 \\
 &+ \sum_{i=2}^{N-1} \left\| 2\mathbf{v}(\mathbf{b}_{\Pi^L[i]}) - \mathbf{v}(\mathbf{b}_{\Pi^L[i+1]}) - \mathbf{v}(\mathbf{b}_{\Pi^L[i-1]}) \right\|^2 \\
 &+ \sum_{i=2}^{N-1} \left\| 2\mathbf{v}(\mathbf{b}_{\Pi^R[i]}) - \mathbf{v}(\mathbf{b}_{\Pi^R[i+1]}) - \mathbf{v}(\mathbf{b}_{\Pi^R[i-1]}) \right\|^2
 \end{aligned}$$

2. 根据权利要求 1 所述的一种从单目图像序列生成立体图像序列的方法,其特征在 于:所述的固定 (Π^L, Π^R) , 调整 (Q_s, V_s) , 得到使 E 最小的 (Q_s, V_s) 的方法可以是:固定 (Π^L, Π^R) , 以 E 为目标函数, 使用非线性最优化方法调整 (Q_s, V_s) , 得到使 E 最小的 (Q_s, V_s) 。

3. 根据权利要求 1 所述的一种从单目图像序列生成立体图像序列的方法,其特征在 于:所述的固定 (Q_s, V_s) , 调整 (Π^L, Π^R) , 得到使 E 最小的 (Π^L, Π^R) 的方法可以是:固定 (Q_s, V_s) , 将 (Π^L, Π^R) 分段, 每次同时调整其中某一段中的所有连续帧, 同时每个 $\Pi^L[i]$, $\Pi^R[i]$ 都在各自临近的若干帧内进行枚举配对, 对所有的情况重新计算控制误差 E , 找出使 E 最小的一组作为调整结果, 对每个分段逐个调整, 直至全部调整完毕。

一种从单目图像序列生成立体图像序列的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一般的视频数据立体化方法,尤其涉及一种从单目图像序列生成立体图像序列的方法。

[0002] 技术背景

[0003] 从无三维几何信息的单目视频构造双目立体视频,有三种主要方法:一种是使用同步摄像硬件;一种是基于稠密三维几何恢复的图像绘制方法;一种是基于稠密采样的图像绘制技术。这几种方法都有其局限性,高度自动、精确的稠密三维重建仍然是计算机视觉里的难题。

[0004] 基于视频的绘制利用多个同步视频生成三维视频,需要特殊的硬件设备或重建三维模型。

[0005] 早期工作主要是利用场景的三维几何信息。然而,现实场景的三维模型通常很难获得。也有人提出了基于两幅或多幅图像的三维重建方法,然而这类方法全自动尚不能得到理想的结果,需要人工介入,成本高。

[0006] 一些基于图像绘制的方法通过稠密的采样而避免三维重建,也能合成立体图像。如 Light-field, 可参考 M. Levoy and P. Hanrahan. Lightfield rendering. In SIGGRAPH'96: Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pages 31.42, New York, NY, USA, 1996. ACM Press; Lumigraph, 可参考 S. J. Gortler, R. Grzeszczuk, R. Szeliski, and M. F. Cohen. The lumigraph. In SIGGRAPH'96: Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pages 43.54, New York, NY, USA, 1996. ACM Press。采用的方法都是使用多个摄像机从各角度对场景进行密集采样,在没有任何场景三维几何信息的条件下合成立体图像。这种方法所需数据量大,处理过程复杂。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于针对现有技术的不足,提出一种从单目图像序列生成立体图像序列的方法,该方法不需要硬件辅助、无需恢复深度和三维几何就能从单目视频图像序列构建出立体图像序列。

[0008] 为了达到上述目的,本发明采用的技术方案如下:

[0009] 一种从单目图像序列生成立体图像序列的方法,包括以下步骤:

[0010] 1) 由单目图像序列 $P_{\text{mono}} = \{p_i\}$ 创建对应的单目摄像机参数序列 (Q_B, V_B) : 单目摄像机序列 $B = \{b_i\}$ 的参数序列包括旋转向量序列 $Q_B = \{q_i\}$ 与空间位置序列 $V_B = \{v_i\}$, 通过摄像机跟踪算法得到每一帧单目图像 p_i 对应的摄像机参数 (q_{bi}, v_{bi}) ;

[0011] 2) 由单目摄像机参数序列 (Q_B, V_B) 和单目图像序列 P_{mono} 构造双目摄像机序列 $S = \{s_i\}$ 以及对应的参数序列 (Q_S, V_S) 和索引序列 (Π^L, Π^R) : 令左眼索引序列 $\Pi^L = i$, 然后对选择到单目摄像机 b_i 距离最接近双目距离 d_{eye} 的单目摄像机 b_k , 令 $\Pi^R[i] = k$; 双目摄像机旋转向量 $q(s_i) = (q(b_i) + q(b_k))/2$, 中心位置 $c(s_i) = (v(b_i) + v(b_k))/2$, 由此可确定双

目摄像机左右眼参数 $(q(s_i), v(s_i))$;

[0012] 3) 用已知的 (Q_s, V_s) 和 (Π^L, Π^R) 计算控制误差 E , 若 E 在误差允许范围之内, 则直接进行下一步, 否则, 调整 (Q_s, V_s) 和 (Π^L, Π^R) 的值使 E 减小至误差允许范围之内; 调整方法分两步: 首先, 固定 (Π^L, Π^R) , 调整 (Q_s, V_s) , 得到使 E 最小的 (Q_s, V_s) , 然后, 固定 (Q_s, V_s) , 调整 (Π^L, Π^R) , 得到使 E 最小的 (Π^L, Π^R) ; 重复这两个步骤直至 E 减少到误差允许范围之内;

[0013] 4) 依据索引序列 (Π^L, Π^R) 构造双目源图像序列 $(P_{l\text{warp}}, P_{r\text{warp}})$, 其中左眼源图像序列 $P_{l\text{warp}} = \{P_{\Pi^L[i]}\}$, 右眼源图像序列 $P_{r\text{warp}} = \{P_{\Pi^R[i]}\}$, 根据双目摄像机参数序列 (Q_s, V_s) , 对双目源图像序列 $(P_{l\text{warp}}, P_{r\text{warp}})$ 进行视图变换, 得到立体图像序列 $(P_{l\text{stereo}}, P_{r\text{stereo}})$ 。

[0014] 所述的控制误差 $E(S, \Pi^L, \Pi^R) = E_s + E_q + (E_{cv} + E_{co})$, 包括以下几个部分:

[0015] 1) 立体感误差 E_s : $L(s)$ 指双目摄像机 s 的左眼摄像机, $R(s)$ 指双目摄像机 s 的右眼摄像机:

$$[0016] \quad \delta(s, l, r) = ||v(b_l) - v(L(s))||^2 + ||v(b_r) - v(R(s))||^2$$

$$[0017] \quad E_s(\mathbf{S}, \Pi^L, \Pi^R) = \sum_{i=1}^N (\delta(\mathbf{S}[i], \Pi^L[i], \Pi^R[i]))$$

[0018] 2) 相似性误差 E_q :

$$[0019] \quad \gamma(s, l, r) = ||q(s) - q(b_l)||^2 + ||q(s) - q(b_r)||^2$$

$$[0020] \quad E_q(\mathbf{S}, \Pi^L, \Pi^R) = \sum_{i=1}^N \gamma(\mathbf{S}[i], \Pi^L[i], \Pi^R[i])$$

[0021] 3) 方向连续性误差 E_{co} :

$$[0022] \quad E_{co}(\mathbf{S}, \Pi^L, \Pi^R) = \sum_{i=2}^{N-1} ||2\mathbf{q}(s_i) - \mathbf{q}(s_{i+1}) - \mathbf{q}(s_{i-1})||^2$$

[0023] 4) 位置连续性误差 E_{cv} :

$$[0024] \quad E_{cv}(\mathbf{S}, \Pi^L, \Pi^R) = \sum_{i=2}^{N-1} ||2\mathbf{v}(s_i) - \mathbf{v}(s_{i+1}) - \mathbf{v}(s_{i-1})||^2$$

$$[0025] \quad + \sum_{i=2}^{N-1} ||2\mathbf{v}(b_{\Pi^L[i]}) - \mathbf{v}(b_{\Pi^L[i+1]}) - \mathbf{v}(b_{\Pi^L[i-1]})||^2$$

$$[0026] \quad + \sum_{i=2}^{N-1} ||2\mathbf{v}(b_{\Pi^R[i]}) - \mathbf{v}(b_{\Pi^R[i+1]}) - \mathbf{v}(b_{\Pi^R[i-1]})||^2$$

[0027] 所述的固定 (Π^L, Π^R) , 调整 (Q_s, V_s) , 得到使 E 最小的 (Q_s, V_s) 的方法可以是: 固定 (Π^L, Π^R) , 以 E 为目标函数, 使用非线性最优化方法调整 (Q_s, V_s) , 得到使 E 最小的 (Q_s, V_s) ;

[0028] 所述的固定 (Q_s, V_s) , 调整 (Π^L, Π^R) , 得到使 E 最小的 (Π^L, Π^R) 的方法可以是: 固定 (Q_s, V_s) , 将 (Π^L, Π^R) 分段, 每次同时调整其中某一段中的所有连续帧, 同时每个 $\Pi^L[i] \Pi^R[i]$ 都在各自临近的若干帧内进行枚举配对。对所有的情况重新计算控制误差 E , 找出使 E 最小的一组作为调整结果。对每个分段逐个调整, 直至全部调整完毕。

[0029] 本发明与背景技术相比, 具有的有益效果是:

[0030] 本发明针对以往立体视频制作方法昂贵, 复杂, 数据量大, 处理时间长等缺点, 提

出了一种将普通的单目视频图像序列转化为立体图像序列的新思路。

[0031] 本发明不需要特殊的硬件,或基于图像的密集采样以及三维建模,不需要深度信息的恢复,仅需要一段包括运动镜头的单目视频图像序列,即可构造出制作立体视频所需的立体图像序列。

[0032] 本发明计算效率高,结果稳定,由该方法产生的立体图像序列可用于制作立体视频等用途。由于单目视频素材丰富,因此适合用于将单目视频立体化的场合。

附图说明

[0033] 下面结合附图和实施方式对本发明作进一步说明。

[0034] 图 1 是本发明方法的四个步骤的流程图;

[0035] 图 2 是步骤一中单目摄像机 b 以及单目摄像机序列 B 的示意图;

[0036] 图 3 是步骤二中双目摄像机 s 的结构示意图;

[0037] 图 4 是步骤二中索引序列 Π^L, Π^R 的用途示意图;

[0038] 图 5 是步骤二中的双目摄像机序列和索引摄像机序列的初始化方法。

具体实施方式

[0039] 本发明提出了一种从单目图像序列生成立体图像序列的方法,包括四个步骤:首先,由单目图像序列创建对应的单目摄像机参数序列;接着构造双目摄像机序列、对应的参数序列和索引序列;然后,调整双目摄像机参数序列和索引序列的值,使控制误差在误差允许范围之内;最后,依据索引序列构造双目源图像序列,根据双目摄像机参数序列对双目源图像序列进行视图变换,得到立体图像序列。

[0040] 具体流程如图 1 所表示,现具体介绍每一步骤的实现细节:

[0041] 1) 单目图像序列 $P_{\text{mono}} = \{p_i\}$ 创建对应的单目摄像机参数序列 (Q_b, V_b) 本文所指摄像机参数包括某个时刻摄像机的两个外部参数空间位置 v 以及旋转向量 q , 其中旋转向量 q 用欧拉角形式表达,如 (q_x, q_y, q_z) , q_x, q_y, q_z 分别为绕 x, y, z 轴旋转的欧拉角。摄像机在一个时间段内的参数构成摄像机参数序列空间位置序列 V 和旋转向量序列 Q 。

[0042] 如图 2, 单目摄像机 b 代表某帧单目视频图像对应的摄像机。 B 指单目摄像机 b 的序列, $B[i]$ 指第 i 个单目摄像机, 即 b_i 。 $v(b)$ 是单目摄像机 b 的空间位置, $q(b)$ 是单目摄像机 b 的旋转向量。

[0043] 单目摄像机序列 $B = \{b_i\}$ 的参数序列包括旋转向量序列 $Q_B = \{q_{bi}\}$ 与空间位置序列 $V_B = \{v_{bi}\}$ 。

[0044] 通过摄像机跟踪算法得到每一帧单目图像 p_i 对应的摄像机参数 (q_{bi}, v_{bi}) 。

[0045] 有许多种可用于摄像机跟踪的算法,一般采用非实时的基于结构和运动恢复 (Structure And Motion Recovery, 简称 SMR) 的摄像机跟踪方法,即可对大部分的视频图像序列高精度地恢复摄像机运动参数。如 2D3 公司的 boujou、REALVIZ 公司的 matchmover 或 ranovae 公司的 WecamTrack 等都可以用于摄像机跟踪。

[0046] 这一步得到 (Q_b, V_b) 和一些稀疏点的三维深度,在步骤四中可以取这些稀疏点当中的深度作为视图变换的参数。

[0047] 2) 由单目摄像机参数序列 (Q_b, V_b) 和单目图像序列 P_{mono} 构造双目摄像机序列 $S =$

$\{s_i\}$ 以及对应的参数序列 (Q_s, V_s) 和索引序列 (Π^L, Π^R) :

[0048] 如图 3, 双目摄像机 s 指用于生成立体图像的两台摄像机组成的系统, 由相同旋转向量且距离不变的同步左右眼摄像机构成, 且两摄像机旋转向量和摄像机连线垂直。其中 $v(L(s)), v(R(s))$ 为立体摄像机的左右眼摄像机的空间位置; $L(s)$ 与 $R(s)$ 的中点 $c(s)$ 称为双目摄像机中心; 左右眼摄像机距离 d 称为摄像机双目距离; 并定义 $L(s)$ 与 $R(s)$ 的旋转向量为 s 的旋转向量 $q(s)$; $L(s)$ 与 $R(s)$ 连线为双目摄像机 x 轴, e_x 为 x 轴的单位矢量, $q(s)$ 和 e_x 垂直。 S 指双目摄像机 s 的序列, $S[i]$ 指第 i 个双目摄像机, 即 s_i 。

[0049] Π 指索引序列, Π^L, Π^R 分为左眼索引序列和右眼索引序列。左眼索引序列的某一项 $\Pi^L[i]$ 指双目摄像机序列 S 的每一个左眼摄像机 $L(S[i])$ 所对应的单目摄像机 $B[k]$ 在单目摄像机序列中的索引 k ; 右眼索引摄像机序列的某一项 $\Pi^R[i]$ 指双目摄像机序列的每一个右眼摄像机 $R(S[i])$ 所对应的单目摄像机 $B[m]$ 单目摄像机序列中的索引 m 。

[0050] 如图 4, 从单目摄像机序列中按要求挑出的是 b_{27}, b_1, b_{30}, b_9 四个摄像机, 其中 b_{27}, b_1 对应的单目视频帧 f_{27}, f_1 将用来生成双目摄像机 $S[i]$ 的左右眼图像, b_{30}, b_9 对应的单目视频帧 f_{30}, f_9 用于生成双目摄像机 $S[i+1]$ 的左右眼图像。则 $\Pi^L = \{27, 30\}, \Pi^R = \{1, 9\}, B^L = \{b_{27}, b_{30}\}, B^R = \{b_1, b_9\}$ 。

[0051] 构造左右眼索引序列 Π^L, Π^R : 如图 5, 令 $\Pi^L[i] = i$, 即左眼索引序列即为单目摄像机序列的序号, 然后再为右眼索引序列选择初始值。考虑第 i 个左眼摄像机, 其对应的单目摄像机是 b_i , 选择到 b_i 距离最接近双目距离 d_{eye} 的单目摄像机 b_k , 以 k 作为相应的右眼摄像机的索引, 即 $\Pi^R[i] = k$ 。

[0052] 双目摄像机序列 S 的参数: 双目摄像机旋转向量 $q(s_i)$ 初始值就是 b_i 和 b_k 的旋转向量的平均值 $q(s_i) = (q(b_i) + q(b_k)) / 2$; 中心位置 $c(s_i)$ 即 b_i 和 b_k 空间位置的中点, $c(s_i) = (v(b_i) + v(b_k)) / 2$ 。则相应的双目摄像机左右眼摄像机的空间位置分别为 $c(s_i) \pm 0.5d_{eye} \cdot e_x$, 即在 x 轴上与中点相距 $d_{eye}/2$ 的两个空间点, 旋转向量即为 $q(s_i)$ 。 e_x 为 x 轴的单位矢量 (我们把摄像机的正左方向作为 x 轴正方向)。

[0053] 双目摄像机 s_i 除 q, v 外的其它内部参数如焦距 f 等, 与构造它的相应单目摄像机 $B^L[i]$ 或 $B^R[i]$ 相同 (这里假定摄像机不变焦)。

[0054] 3) 调整双目摄像机参数序列 (Q_s, V_s) 和索引序列 (Π^L, Π^R) 的值, 使控制误差 E 在误差允许范围之内: 用已知的 (Q_s, V_s) 和 (Π^L, Π^R) 计算控制误差 E , 若 E 在误差允许范围之内, 则直接进行下一步; 否则, 调整 (Q_s, V_s) 和 (Π^L, Π^R) 的值使 E 减小至误差允许范围之内。

[0055] 控制误差 $E(S, \Pi^L, \Pi^R) = E_s + E_q + (E_{cv} + E_{co})$;

[0056] 立体感误差 E_s :

[0057] $\delta(s, l, r) = ||v(b_l) - v(L(s))||^2 + ||v(b_r) - v(R(s))||^2$

[0058] $E_s(S, \Pi^L, \Pi^R) = \sum_{i=1}^n (\delta(S[i], \Pi^L[i], \Pi^R[i]))$

[0059] 相似性误差 E_q :

[0060] $\gamma(s, l, r) = ||q(s) - q(b_l)||^2 + ||q(s) - q(b_r)||^2$

[0061] $E_q(S, \Pi^L, \Pi^R) = \sum_{i=1}^n \gamma(S[i], \Pi^L[i], \Pi^R[i])$

[0062] 连续性误差 E_c , 包括方向连续性目标函数 E_{CQ} , 空间连续性目标函数 E_{CV} :

$$[0063] \quad E_{CQ}(\mathbf{S}, \Pi^L, \Pi^R) = \sum_{i=2}^{N-1} \|2\mathbf{q}(\mathbf{s}_i) - \mathbf{q}(\mathbf{s}_{i+1}) - \mathbf{q}(\mathbf{s}_{i-1})\|^2$$

$$[0064] \quad E_{CV}(\mathbf{S}, \Pi^L, \Pi^R) = \sum_{i=2}^{N-1} \|2\mathbf{v}(\mathbf{s}_i) - \mathbf{v}(\mathbf{s}_{i+1}) - \mathbf{v}(\mathbf{s}_{i-1})\|^2$$

$$[0065] \quad + \sum_{i=2}^{N-1} \|2\mathbf{v}(\mathbf{b}_{\Pi^L[i]}) - \mathbf{v}(\mathbf{b}_{\Pi^L[i+1]}) - \mathbf{v}(\mathbf{b}_{\Pi^L[i-1]})\|^2$$

$$[0066] \quad + \sum_{i=2}^{N-1} \|2\mathbf{v}(\mathbf{b}_{\Pi^R[i]}) - \mathbf{v}(\mathbf{b}_{\Pi^R[i+1]}) - \mathbf{v}(\mathbf{b}_{\Pi^R[i-1]})\|^2$$

[0067] 控制误差 E 的允许范围为经验常数, 用于控制最后输出立体图像的效果, 如果输出结果不够精确, 可以通过缩小该范围, 通过调整 (Q_s, V_s) 和 (Π^L, Π^R) 的值对结果进行优化求精。

[0068] 调整 (Q_s, V_s) 和 (Π^L, Π^R) 的方法有很多, 最简单的策略是枚举所有可能, 但由于枚举出的组合过多, 大大增加了计算复杂度。因此, 可将调整分为两部分: 首先, 固定 (Π^L, Π^R) , 调整 (Q_s, V_s) , 得到使 E 最小的 (Q_s, V_s) ; 然后, 固定 (Q_s, V_s) , 调整 (Π^L, Π^R) , 得到使 E 最小的 (Π^L, Π^R) ; 重复这两个步骤直至 E 变化不大, 如 $(E_i - E_{i-1})/E_i < 0.0001$ 时即可停止。

[0069] 采用分两部分枚举所有组合的计算量仍是很大, 因此, 实际采用最优化算法和局部枚举法相结合的策略, 分别降低调整 (Q_s, V_s) 和 (Π^L, Π^R) 的计算复杂度。

[0070] 例如, 首先, 固定 (Π^L, Π^R) , 以 E 为目标函数, 使用非线性最优化方法如 Levenberg-Marquardt 方法调整 (Q_s, V_s) , 得到使 E 最小的 (Q_s, V_s) 。

[0071] 然后分段局部枚举法调整 (Π^L, Π^R) : 固定 (Q_s, V_s) , 将 (Π^L, Π^R) 分段, 前后段有重复元素, 每次同时调整 (Π^L, Π^R) 中某一段中的所有连续帧, 同时每个 $\Pi^L[i], \Pi^R[i]$ 都在各自临近的几帧内进行枚举配对。对所有情况重新计算控制误差 E , 找出使 E 最小的一组作为调整结果。对每个分段逐个调整, 直至全部调整完毕。

[0072] 分段局部枚举法举例如下: 假设采用同时调整连续三帧, 每一帧的调整范围为包括自己 5 帧的策略。对于第一组被调整的三帧 $S[0], S[1], S[2]$, 其对应的左右眼索引为 $(\Pi^L[0], \Pi^R[0]), (\Pi^L[1], \Pi^R[1]), (\Pi^L[2], \Pi^R[2])$, 假设其中第 0 帧的双目摄像机对应左右眼索引为 $\Pi^L[0] = 31, \Pi^R[0] = 9$, 那么第 0 帧左眼索引调整范围 $\Pi^L[0] = \{29, 30, 31, 32, 33\}$, 右眼索引调整范围 $\Pi^R[0] = \{7, 8, 9, 10, 11\}$, 其他帧同理。对于每一帧共 25 组 $(\Pi^L[i], \Pi^R[i])$ 的组合, 连续三帧 $(\Pi^L[0], \Pi^R[0]), (\Pi^L[1], \Pi^R[1]), (\Pi^L[2], \Pi^R[2])$ 总共有 25^3 种组合。在其中若发现有某个组合能使总目标函数 E 最小, 则取该值。这样依次调整, 先同时调整 0, 1, 2 帧, 再接着调整 1, 2, 3 帧, 直至全部调整完毕。

[0073] 4) 依据索引序列 (Π^L, Π^R) 构造双目源图像序列 $(P_{\text{l warp}}, P_{\text{r warp}})$, 根据双目摄像机参数序列 (Q_s, V_s) , 对双目源图像序列 $(P_{\text{l warp}}, P_{\text{r warp}})$ 进行视图变换, 得到立体图像序列 $(P_{\text{l stereo}}, P_{\text{r stereo}})$ 。

[0074] 视图变换的方法是为图像上的每个像素赋予一个常深度 Z_c , 将每个像素先投影到三维空间的正确位置上, 然后再投影到双目摄像机参数指定的图像平面上, 从而生成立体

图像的左右眼图像。这里的 $z_c = 2(1/z_{\min} + 1/z_{\max})^{-1}$, 其中 $[z_{\min}, z_{\max}]$ 是场景的深度范围, 在摄像机跟踪步骤中, 恢复摄像机运动参数的同时, 可以得到一些稀疏点的三维深度, 可以取这些稀疏点当中的最小深度作为 z_{\min} , 最大深度作为 z_{\max} 。

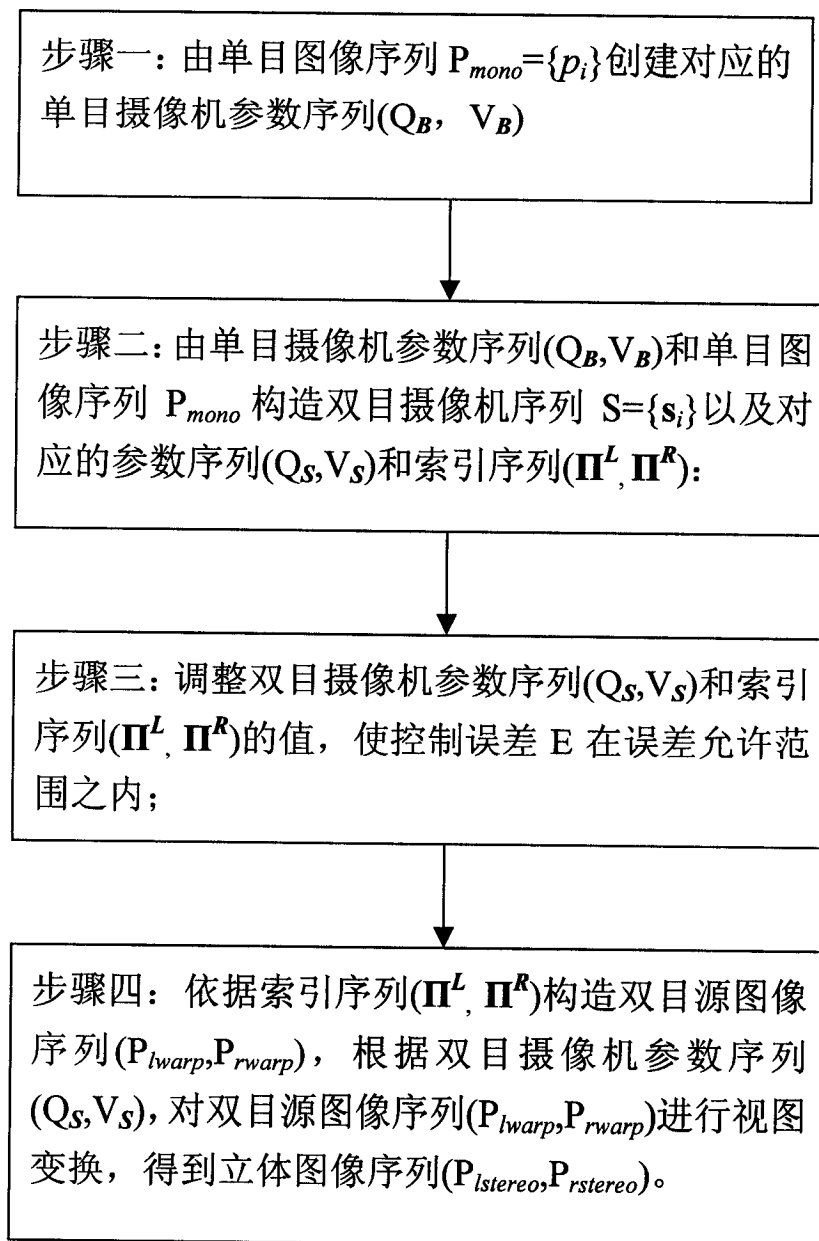


图 1

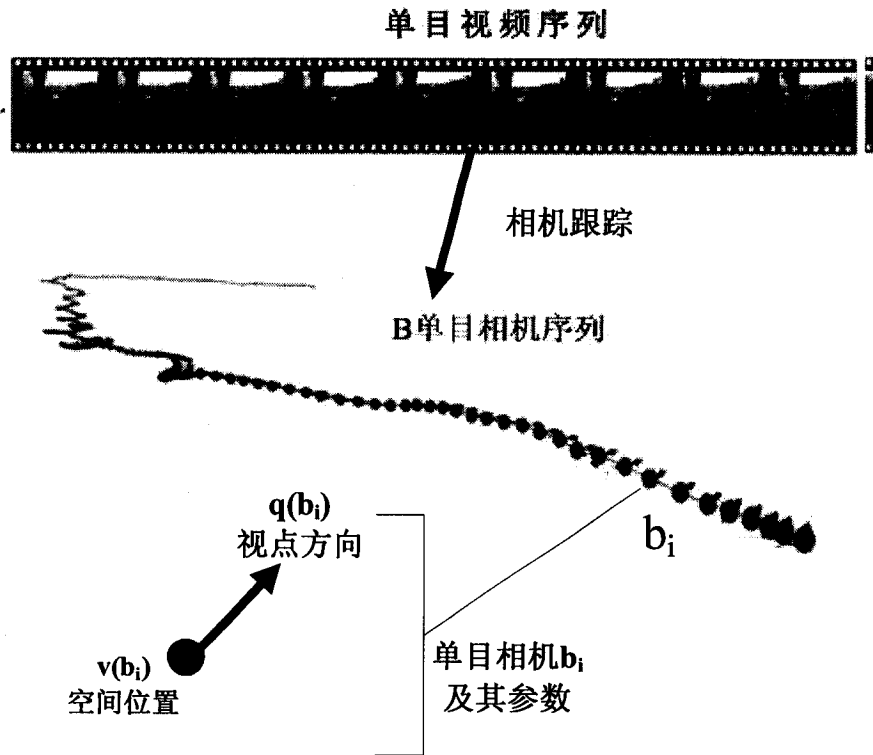


图 2

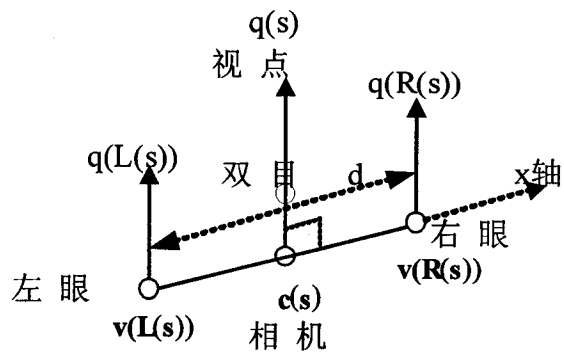


图 3

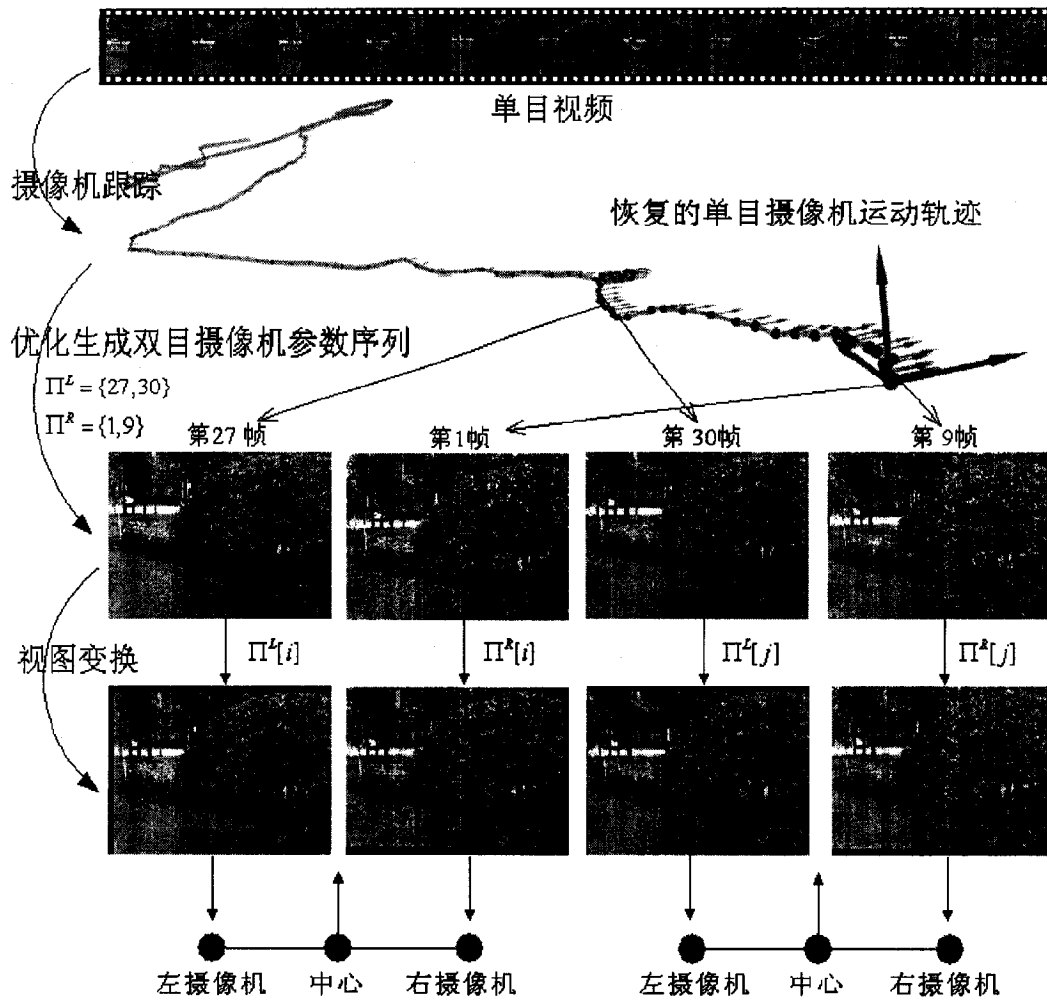


图 4

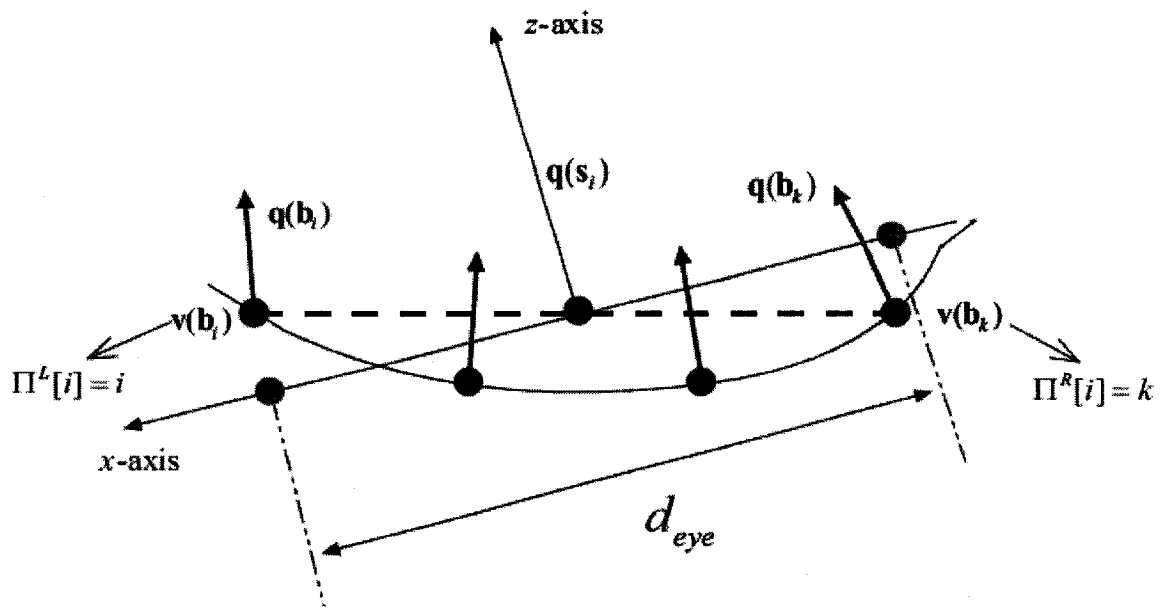


图 5