

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G06T 5/50 (2006.01)

G06T 5/00 (2006.01)

G06T 1/00 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610053842.9

[45] 授权公告日 2009年5月6日

[11] 授权公告号 CN 100485720C

[22] 申请日 2006.10.13

[21] 申请号 200610053842.9

[73] 专利权人 浙江师范大学

地址 321004 浙江省金华市迎宾大道 688 号

[72] 发明人 朱信忠 赵建民 徐慧英 杨琳

[56] 参考文献

CN1437165A 2003.8.20

WO2005062256 A1 2005.7.7

CN1727992A 2006.2.1

CN1567385A 2005.1.19

审查员 梁心新

[74] 专利代理机构 浙江杭州金通专利事务所有限公司

代理人 徐关寿

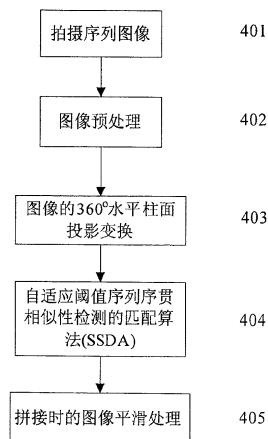
权利要求书 4 页 说明书 12 页 附图 3 页

## [54] 发明名称

一种基于序列静态图像的 360°环视全景生成方法

## [57] 摘要

本发明公开了一种序列静态图像的全景生成方法，用于将一组静态图像拼接成一个柱形全景图，所述的一组静态图像是由数码相机对需要合成全景图的物体或者环境从不同角度拍摄的 12 幅或者更多幅图像；该方法包括：序列图像的拍摄；对拍摄图像的预处理；图像的拼接。本发明所述方法优点在于：对于硬件设备的要求低，不需要昂贵的硬件投入；合成速度快，智能化程度高；对于曝光度不同、亮度严重不一致的图像最后得到的全景图清晰且没有接痕，视觉效果良好，能很好的表现出全景图像。



1、一种基于序列静态图像的 360° 环视全景生成方法，其特征在于：该方法包括如下步骤：

(1) 用相机拍摄所需的序列图像；

(2) 对序列图像进行预处理：采用中值滤波进行去噪，直方图均衡化处理；

(3) 序列图像的拼接：通过将相邻前后图像的拼接形成 360° 环视全景图像，包括以下步骤：

(3.1) 把拍摄的图片通过变换投影到 360° 水平柱面；

(3.2) 在读入的两幅相邻图像的前一幅图像中，选定一块大小和位置均合适的图像作为模板，确定在后一幅图像中的搜索范围，得到相邻两幅图像的最佳匹配位置  $l_i$ ，依次得到序列图像中每相邻两幅图像的最佳匹配位置；

(3.3) 在两幅相邻图像的重叠区域  $S$  和  $T$ ，将其对应的各像素按一定权值合成到新的图像。各像素在各图像上的权值计算公式如下：

$$W_{value} = \cos\left(\frac{\pi}{2} * \left| \frac{x-x_0}{2} \right| * \cos\left(\frac{\pi}{2} * \left| \frac{y-y_0}{2} \right| \right) \right) \quad (1)$$

式中  $W_{value}$  表示权值， $(x_0, y_0)$  为重合部分的中心位置， $(x, y)$  为像素坐标；

将相邻图像的重叠区域  $S$  和  $T$  对应的各像素值按一定的权值合成为新的图像，重合部分的像素值可表示为：

$$I_{N'} = I_N \times W_{value1} + I_{N+1} \times W_{value2} \quad (2)$$

其中， $I_N$  和  $I_{N+1}$  分别表示两个相邻图像的某个相应重叠位置的像素在各自原图像中的像素值， $W_{value1}$  和  $W_{value2}$  是根据公式 (1) 计算出的该像素在各自图像上的权值，其取值范围为 (0, 1)，且和为 1。

2、如权利要求 1 所述的一种基于序列静态图像的 360° 环视全景生成方

法，其特征在于：在所述的步骤（2）中，采用直方图均衡化处理变换函数：

$$s_k = T(r_k) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (3)$$

其中， $n$ 是图像中像素的总数， $n_k$ 是灰度级为 $r_k$ 的像素个数， $L$ 为图像中可能的灰度级数，一般取值为256；

通过公式（3）将输入图像中灰度级为 $r_k$ 的像素映射为输出图像灰度级为 $s_k$ 的对应像素。

3、如权利要求1所述的一种基于序列静态图像的360°环视全景生成方法，其特征在于：在所述的步骤（3.1）中，360°水平柱面投影变换公式为：

$$\begin{cases} x_1 = r \cdot \sin \frac{\theta}{2} + r \cdot \sin \left[ \tan^{-1} \left( \frac{x - \frac{W}{2}}{r} \right) \right] \\ y_2 = \frac{H}{2} + \frac{r \cdot \left( y - \frac{H}{2} \right)}{k} \end{cases} \quad (4)$$

其中， $r = \frac{W}{2 \cdot \tan \frac{\theta}{2}}$ ， $k = \sqrt{r^2 + \left( \frac{W}{2} - x \right)^2}$ ， $(x, y)$ 为输入图像上的任意一点，

$(x_1, y_1)$ 为该点经过柱面投影变换后的坐标值， $\theta$ 为投影角度， $W$ 为图像的宽度， $H$ 为图像的高度。

4、如权利要求1-3之一所述的一种基于序列静态图像的360°环视全景生成方法，其特征在于：在所述的步骤（3.2）中，定义图像的绝对误差函数为：

$$\varepsilon(i, j, m_k, n_k) = \left| s^{i,j}(m_k, n_k) - \hat{s}(i, j) - T(m, n) + \hat{T} \right| \quad (5)$$

其中， $\hat{s}(i, j) = \frac{1}{M^2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M s^{i,j}(m, n)$ ， $\hat{T} = \frac{1}{M^2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M T(m, n)$ ， $T$ 为模板， $S$ 为被搜

索图,  $s^{i,j}$  为子图, 即模板覆盖下的那块搜索图,  $i, j$  为子图左上角像素点在  $S$  中的坐标,  $M$  为模板的宽和高。

将模板中心与所在图像的垂直中心线的水平距离记作  $x_1$  之后, 遍历模板图像和第一个位置的子图像中所有的像素点, 计算对应像素点的  $\varepsilon(i, j, m_k, n_k)$  并累加后将其作为阈值的初始值  $T_0$ 。

再计算模板图像和下一个位置子图像中对应像素点的  $\varepsilon(i, j, m_k, n_k)$  并累加, 记作  $T$ , 在计算并累加的过程中比较  $T$  与  $T_0$  的大小, 若在完全遍历模板图像和子图像的像素点之前, 得到  $T \geq T_0$ , 则停止计算, 并将子图像移动到下一个位置, 重新开始新一轮的计算; 若完全遍历模板图像和子图像的像素点后, 得到  $T < T_0$ , 则更新阈值  $T_0$ , 并将此时子图像中心像素点的坐标位置  $(i, j)$  记录下来, 得到  $i$  值与被搜索图像垂直中心线的水平距离, 记作  $x_2$ , 取  $x_1$  与  $x_2$  的平均值作为相邻两幅图像的最佳匹配位置  $l_i$ , 即  $l_i = (x_1 + x_2) / 2$ 。

5、如权利要求 4 所述的一种基于序列静态图像的 360° 环视全景生成方法, 其特征在于: 在每累加相应位置的一行或者一列的  $\varepsilon(i, j, m_k, n_k)$  之后, 将  $T$  与  $T_0$  进行大小比较。

6、如权利要求 5 所述的一种基于序列静态图像的 360° 环视全景生成方法, 其特征在于: 在所述的步骤 (3.3) 中, 对于拼接后的图像, 并不是直接取  $I_N$  的值, 而是引入一个阈值  $K$ , 首先计算该点在平滑前的灰度值和加权平均值的差值, 若此值小于阈值, 则取  $I_N$  为此点的灰度值, 反之, 则取平滑前的灰度值为该点的灰度值。

7、如权利要求 1—3 之一所述的一种基于序列静态图像的 360° 环视全景生成方法, 其特征在于: 在所述的步骤 (1) 中, 序列图像的张数不少于 12 张, 相邻两幅图像必须具有重叠部分, 且重叠部分在 30% 到 50% 之间。

8、如权利要求 4 所述的一种基于序列静态图像的 360° 环视全景生成方法，其特征在于：在所述的步骤（1）中，一组序列图像的张数不少于 12 张，相邻两幅图像必须具有重叠部分，且重叠部分在 30%到 50%之间。

9、如权利要求 8 所述的一种基于序列静态图像的 360° 环视全景生成方法，其特征在于：在所述的步骤（1）中，对拍摄一个完整 360 度环视实景全景或者仅部分视角的环视实景场景，在一个固定位置，按顺时针或者逆时针方向等角度水平旋转拍摄。

10、如权利要求 8 所述的一种基于序列静态图像的 360° 环视全景生成方法，其特征在于：在所述的步骤（1）中，对于实物实体 360° 立体造型展示的虚拟拍摄，将实物实体放在赤道仪或者带刻度转盘上，逆时针或顺时针方向等角度地旋转载物仪盘进行拍摄。

## 一种基于序列静态图像的 360° 环视全景生成方法

### 技术领域

本发明涉及 360° 环视全景图像的生成方法。

### 背景技术

全景图是虚拟现实和计算视觉中一种重要的场景表示方法，它指的是在固定的视点，在垂直方向 180° 和水平方向 360° 的图像视图，简单的形式可以是固定视平面上的 360° 环视视图。通常有两种方式来获得全景图：直接方式和图像拼接方式。前一种方式简单易行，但它需要使用专业全景相机、全景摄像机等特殊器材，这些器材通常价格昂贵且使用复杂，实际应用面较窄，难以普及。因此基于图像拼接思想的全景视图生成方法的应用非常广泛。图像拼接就是利用若干离散局部图像作为基础数据，经过一系列的图像分析处理后生成全景。

全景图一般有三种形式：立方体全景图、球面全景图和柱面全景图。立方体全景图在图像的获取和校正过程中会遇到很大困难。球面全景图拼接过程中的图像求交、定位较困难，且很难找到一种与球面对应、易于计算机存储访问的数据结构来存放球面图像数据。柱面全景图在单幅图像获取比立方体形式和球面形式简单，而且容易展开为一个矩形图像，可直接用计算机常用的图像格式存储和访问。

如专利申请号为 200410015828.0 的中国发明专利申请，公开了一种 180° 大视场全景凝视成像方法。它采用圆柱平面投影法，用二次反射的环形透镜

作第一次成像，实现大视角全景凝视成像，用中继透镜作第二次成像，获得实像，用平面光电成像器件接收并显示三维空间，主要应用于机器人全景视觉、管道内壁检测、医学内窥成像等领域，虽然提出了一种直接获取全景图像的方案，但该方案中全景图像的生成方法对硬件条件及环境要求较高，且不能生成完整的 360° 环视全景。

如申请号为 03115149.3 的中国发明专利，公开了一种基于两张鱼眼图像的全景生成方法。该方法包括鱼眼图像预处理、建立空间模型、拼合参数寻优、生成全景图像四个部分。但在实际应用中并不能自动、快速的找到模型的最佳拼合参数，需要人工调整拼合参数。尤其关键的是，由于本发明要求待拼合的鱼眼图像必须具备理论上完备的空间模型，只能采用两张鱼眼图像，需要相机装配价格昂贵的鱼镜头，普通平面图像不能使用，难以得到平民化普及应用。

再如申请号为 03137660.6 的中国发明专利，公开了一种平面图像全景重建立体图像的方法，其过程包括，选择平面图像，针对平面图像的空间分布，建立每个像素的深度列表，根据深度列表对平面图像的每个像素进行视差位移处理，重建全部视差序列图像，将视差序列图像立体合成。其中，采用了三维建模、图像几何变换、图像视差变换技术来实现立体图像的重建。但该方法在平面图像的获取、处理和定位、校正过程中会遇到很多实际困难，且难以处理实景大图和实现可控立体景深。

另外，申请号为 200510087641.6 的中国发明专利，公开了一种用于创建全景图像的数字成像设备及其方法，其中，数字成像设备包括用于连续捕获多个图像的捕获部分；用于分别检测从捕获部分输出的多个图像的图像信息检测部分；用于图像转换的全景图像生成部分。通过选择从图像信息检测部

分输出的多个图像信息中的一组，通过对所选择的图像信息进行合并转换，从而创建全景图像。但该方法实际处理速度较慢，且只能用于专用的全景数字成像设备。

现有的全景图像生成方法存在的缺点是：1、若采用直接生成全景图像的方法，则对硬件设备要求较高，价格昂贵，难以普及应用；2、现有的通过图像拼合技术生成全景图像的方法，要么需要专用鱼镜头设备，要么实现困难、智能化程度低、对图像要求高、定位和校正困难、普通相机照片无法使用，处理速度较慢等，甚至最终合成的全景图效果也较差。

### 发明内容

为了克服已有的全景图像生成方法存在的缺点和不足,本发明提供了一种对设备要求低（仅需普通数码相机或普通平面照片）、实用廉价、实现简便、智能化程度高、处理速度快、全景图清晰、真实感强、适用性广、易于普及的基于序列静态图像的 360° 环视全景生成方法。

本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：

一种基于序列静态图像的 360° 环视全景生成方法，该方法包括如下步骤：

- (1) 用相机拍摄所需的序列图像；
- (2) 对序列图像进行预处理：采用中值滤波进行去噪，直方图均衡化处理；

- (3) 序列图像的拼接：通过将相邻前后图像的拼接形成 360° 环视全景图像，包括以下步骤：

- (3.1) 把拍摄的图片通过变换投影到 360° 水平柱面；



(3.2) 在读入的两幅相邻图像的前一幅图像中，选定一块大小和位置均合适的图像作为模板，确定在后一幅图像中的搜索范围，得到相邻两幅图像的最佳匹配位置  $l_i$ ，依次得到序列图像中每相邻两幅图像的最佳匹配位置；

(3.3) 在两幅相邻图像的重叠区域  $S$  和  $T$ ，将其对应的各像素按一定权值合成到新的图像。各像素在各图像上的权值计算公式如下：

$$W_{value} = \cos\left(\frac{\pi}{2} * \left| \frac{x - x_0}{\frac{x_0}{2}} \right| * \cos\left(\frac{\pi}{2} * \left| \frac{y - y_0}{\frac{y_0}{2}} \right| \right)\right) \quad (1)$$

式中  $W_{value}$  表示权值， $(x_0, y_0)$  为重合部分的中心位置， $(x, y)$  为像素坐标；将相邻图像的重叠区域  $S$  和  $T$  对应的各像素值按一定的权值合成新的图像；重合部分的像素值可表示为：

$$I_{N'} = I_N \times W_{value1} + I_{N+1} \times W_{value2} \quad (2)$$

其中， $I_N$  和  $I_{N+1}$  分别表示两个相邻图像的某个相应重叠位置的像素在各自原图像中的像素值， $W_{value1}$  和  $W_{value2}$  是根据公式 (1) 计算出的该像素在各自图像上的权值，其取值范围为 (0, 1)，且和为 1。

作为优选的一种方案：在所述的步骤 (2) 中，采用直方图均衡化处理变换函数：

$$s_k = T(r_k) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n} \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (3)$$

其中， $n$  是图像中像素的总合， $n_k$  是灰度级为  $r_k$  的像素个数， $L$  为图像中可能的灰度级数，一般取值为 256；

通过公式 (3) 将输入图像中灰度级为  $r_k$  的像素映射为输出图像灰度级为  $s_k$  的对应像素。

作为优选的另一种方案：在所述的步骤 (3.1) 中， $360^\circ$  水平柱面投影变换公式为：

$$\begin{cases} x_1 = r \cdot \sin \frac{\theta}{2} + r \cdot \sin \left[ \tan^{-1} \left( \frac{x - \frac{W}{2}}{r} \right) \right] \\ y_2 = \frac{H}{2} + \frac{r \cdot \left( y - \frac{H}{2} \right)}{k} \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $r = \frac{W}{2 \cdot \tan \frac{\theta}{2}}$ ,  $k = \sqrt{r^2 + \left( \frac{W}{2} - x \right)^2}$ ,  $(x, y)$  为输入图像上的任意一点,  $(x_1, y_1)$

为该点经过  $360^\circ$  水平柱面投影变换后的坐标值,  $\theta$  为投影角度,  $W$  为图像的宽度,  $H$  为图像的高度。

作为优选的再一种方案: 在所述的步骤 (3.2) 中, 定义图像的绝对误差函数为:

$$\varepsilon(i, j, m_k, n_k) = \left| s^{i,j}(m_k, n_k) - \hat{s}(i, j) - T(m, n) + \hat{T} \right| \quad (5)$$

其中,  $\hat{s}(i, j) = \frac{1}{M^2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M s^{i,j}(m, n)$ ,  $\hat{T} = \frac{1}{M^2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M T(m, n)$ ,  $T$  为模板,  $S$  为被搜索图,  $s^{i,j}$  为子图, 即模板覆盖下的那块搜索图,  $i, j$  为子图左上角象素点在  $S$  中的坐标,  $M$  为模板的宽和高。

将模板中心与所在图像的垂直中心线的水平距离, 记作  $x_1$  之后, 遍历模板图像和第一个位置的子图像中所有的象素点, 计算对应象素点的  $\varepsilon(i, j, m_k, n_k)$  并累加后将其作为阈值的初始值  $T_0$ 。

再计算模板图像和下一个位置子图像中对应象素点的  $\varepsilon(i, j, m_k, n_k)$  并累加, 记作  $T$ , 在计算并累加的过程中比较  $T$  与  $T_0$  的大小, 若在完全遍历模板图像和子图像的象素点之前, 得到  $T \geq T_0$ , 则停止计算, 并将子图像移动到下一个位置, 重新开始新一轮的计算; 若完全遍历模板图像和子图像的象素点后, 得到  $T < T_0$ , 则更新阈值  $T_0$ , 并将此时子图像中心象素点的坐标位置  $(i, j)$

记录下来,得到 $i$ 值与被搜索图像垂直中心线的水平距离,记作 $x_2$ ,取 $x_1$ 与 $x_2$ 的平均值作为相邻两幅图像的最佳匹配位置 $l_i$ ,即 $l_i = (x_1 + x_2)/2$ 。

进一步,在每累加相应位置的一行或者一列的 $\varepsilon(i, j, m_k, n_k)$ 之后,将 $T$ 与 $T_0$ 进行大小比较。

再进一步,在所述的步骤(3.3)中,对于拼接后的图像,并不是直接取 $I_N$ 的值,而是引入一个阈值 $K$ ,首先计算该点在平滑前的灰度值和加权平均值的差值,若此值小于阈值,则取 $I_N$ 为此点的灰度值,反之,则取平滑前的灰度值为该点的灰度值。

更进一步,在所述的步骤(1)中,序列图像的张数不少于12张,相邻两幅图像必须具有重叠部分,且重叠部分在30%到50%之间。

在所述的步骤(1)中,对拍摄一个完整360度环视实景全景或者仅部分视角的环视实景场景,在一个固定位置,按顺时针或者逆时针方向等角度水平旋转拍摄。

在所述的步骤(1)中,对于实物实体360°立体造型展示的虚拟拍摄,将实物实体放在赤道仪或者带刻度转盘上,逆时针或顺时针方向等角度地旋转载物仪盘进行拍摄。

本发明的技术构思为:本发明提出一种利用照相机得到一组部分重叠的图像序列,通过图像的预处理、图像的拼接和融合算法来生成全景图像。使用普通相机就可以完成360°环视全景图虚拟场景构造所需图像的采集工作,方便实用,易于普及。鉴于360°环视全景图实现快速、简便,又不影响全景图像浏览的真实性;并且对于一些场景只需要360°环视,因此360°环视全景图就有很广泛的适用性。

本发明的有益效果主要表现在:对设备要求低、普通相机照片即可、成

本低廉、实现简便、智能化程度高、处理速度快、全景图清晰、无需完备空间、真实感强、适用性广，易于普及及具有广泛的适用性。

### 附图说明

图 1 是本发明所述方法生成的 360° 环视全景图样本图像示例。

图 2 是本发明中由 2D 图像到 360° 水平柱面投影变换示意图。

图 3 是图像拼接算法的流程图。

图 4 是 360° 环视全景图的生成过程示意图。

### 具体实施方式

下面结合附图对本发明作进一步描述。

参照图 1~图 4，一种基于序列静态图像的 360° 环视全景生成方法，包括以下步骤：（1）用相机拍摄所需的序列图像；（2）序列图像的预处理；（3）序列图像的拼接。

拍摄所需的序列图像是指采用普通相机镜头，对不同的场景采用不同的拍摄方法所拍摄的一组序列图像，每组图像不少于 12 张且相邻两幅图像必须具有一定的重叠部分，且重叠部分在 30%到 50%之间。对拍摄一个完整 360 度环视实景全景或者仅部分视角的环视实景场景，在一个固定位置，按顺时针或者逆时针方向等角度水平旋转拍摄。对于实物实体 360° 立体造型展示的虚拟拍摄，将实物实体放在赤道仪或者带刻度转盘上，逆时针或顺时针方向等角度地旋转载物仪盘进行拍摄。

为了得到效果较好的全景图像，本实施例提出了在图像拼接之前，对序列图像采用中值滤波进行去噪、直方图均衡化处理，以平衡光照条件不同带

来的影响。我们采用如下直方图均衡化处理变换函数：

$$s_k = T(r_k) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (3)$$

其中， $n$ 是图像中象素的总数， $n_k$ 是灰度级为 $r_k$ 的象素个数， $L$ 为图像中可能的灰度级数，一般取值为256。通过公式(3)将输入图像中灰度级为 $r_k$ 的象素映射为输出图像灰度级为 $s_k$ 的对应象素。

在完成图像的预处理后，我们通过三个步骤来完成对12幅图像的拼接从而完成一幅360°环视全景图的生成，这三个步骤为：①图像的变换；②图像的匹配；③图像的平滑处理。本发明所述的方法首先要对序列图像进行360°水平柱面投影变换，将各投影平面的重叠图像映射到一个标准投影即360°水平柱面投影上得到360°水平柱面投影图像。在平面透视投影中，对于一个固定的观点，任意两个2D平面的透视变换可以由矩阵相乘完成：

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_0 & m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 & m_5 \\ m_6 & m_7 & m_8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix}$$

其中， $(x, y)$ 代表第一幅图像的象素坐标， $(x', y')$ 是 $(x, y)$ 在第二幅图像上的对应坐标，首先把拍摄的图片通过变换投影到标准360°水平柱面，相应的投影变换公式为：

$$\begin{cases} x_1 = r \cdot \sin \frac{\theta}{2} + r \cdot \sin \left[ \tan^{-1} \left( \frac{x - \frac{W}{2}}{r} \right) \right] \\ y_2 = \frac{H}{2} + \frac{r \cdot \left( y - \frac{H}{2} \right)}{k} \end{cases} \quad (4)$$

其中， $r = \frac{W}{2 \cdot \tan \frac{\theta}{2}}$ ， $k = \sqrt{r^2 + \left( \frac{W}{2} - x \right)^2}$ ， $(x, y)$ 为输入图像上的任意一点，

$(x_1, y_1)$ 为该点经过柱面投影变换后的坐标值， $\theta$ 为投影角度， $w$ 为图像的宽

度， $H$ 为图像的高度。

参见图 2， $360^\circ$  水平柱面投影变换的核心是投影变换公式，首先要建立坐标系，如图 2 (a) 所示假定所有相机运动都发生在  $X-Z$  平面，以原始输入图对应的观察方向为  $Z$  轴，以原始输入图像所在的视平面为  $XY$  平面，坐标原点就是光轴与图像平面的交点，并将原始输入图像标定为  $I$ ，柱面投影图像标定为  $J$ ，投影柱面标定为  $K$ ，观察点标定为  $O$ （投影中心）。现在是要在  $O$  点观察图像  $I$  在柱面  $K$  上的投影像  $J$ 。

图 2 (b) 和图 2 (c) 分别是横向观察方向（ $X-Z$  平面）和纵向观察方向（ $Y-Z$  平面）的柱面投影示意图，图中标定了原始输入图像和柱面投影图像上的两个对应点  $M$  和  $N$  的相互位置关系，以及投影柱面半径、横向观察角  $\alpha$  和纵向观察角  $\beta$  的情况。

本实施例提出的一种自适应阈值序列序贯相似性检测算法（*SSDA*, *Sequential Similarity Detection Algorithms*），该算法中包括确定阈值的选取、模板的大小、模板位置和搜索范围。首先，定义图像的绝对误差函数为：

$$\varepsilon(i, j, m_k, n_k) = \left| s^{i,j}(m_k, n_k) - \hat{s}(i, j) - T(m, n) + \hat{T} \right| \quad (5)$$

其中， $\hat{s}(i, j) = \frac{1}{M^2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M s^{i,j}(m, n)$ ， $\hat{T} = \frac{1}{M^2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M T(m, n)$ ， $T$  为模板， $S$  为被搜索图， $s^{i,j}$  为子图，即模板覆盖下的那块搜索图， $i, j$  为子图左上角像素点在  $S$  中的坐标， $M$  为模板的宽和高。

参照图 3，在读入的两幅相邻图像的前一幅图像中，选定一块大小和位置均合适的图像作为模板，将模板中心与所在图像的垂直中心线的水平距离记作  $x_1$  之后，确定在后一幅图像中的搜索范围（即子图的遍历范围）。遍历模板图像和第一个位置的子图像中所有的像素点，计算对应像素点的

$\varepsilon(i, j, m_k, n_k)$  并累加后将其作为阈值的初始值  $T_0$ 。再计算模板图像和下一个位置子图像中对应象素点的  $\varepsilon(i, j, m_k, n_k)$  并累加, 记作  $T$ , 在计算并累加的过程中比较  $T$  与  $T_0$  的大小。为了加快匹配拼接速度, 在每累加相应位置的一行或者一列的  $\varepsilon(i, j, m_k, n_k)$  之后, 将  $T$  与  $T_0$  进行大小比较。对于某一位置, 若在完全遍历模板图像和子图像的象素点之前, 得到  $T \geq T_0$ , 则停止计算, 并将子图像移动到下一个位置, 重新开始新一轮的计算。若完全遍历模板图像和子图像的象素点后, 得到  $T < T_0$ , 则更新阈值  $T_0$ , 并将此时子图像中心象素点的坐标位置  $(i, j)$  记录下来, 得到  $i$  值与被搜索图像垂直中心线的水平距离, 记作  $x_2$ 。

阈值  $T_0$  按下式取值:  $T_0 = \begin{cases} T & T \leq T_0 \\ T_0 & T > T_0 \end{cases}$ , 这样在搜索范围内遍历子图像, 即可找到  $x_2$ 。

取  $x_1$  与  $x_2$  的平均值作为相邻两幅图像的最佳匹配位置  $l_i$ , 即  $l_i = (x_1 + x_2) / 2$ 。同理可求得序列图像中每相邻两幅图像的最佳匹配位置。

本实施例为了使得拼接后的图像效果更好, 更具有整体感, 提出一种改进的带权缝合的方法进行拼接后的平滑过渡, 在两幅相邻图像的重叠区  $S$  和  $T$ , 将其对应的各象素按照一定权值合成到新的图像。各象素在各图像上的权值计算公式如下:

$$W_{Value} = \cos\left(\frac{\pi}{2} * \left| \frac{x - x_0}{x_0} \right| \right) * \cos\left(\frac{\pi}{2} * \left| \frac{y - y_0}{y_0} \right| \right) \quad (1)$$

式中  $W_{Value}$  表示权值,  $(x_0, y_0)$  为重合部分的中心位置,  $(x, y)$  为象素坐标。

将相邻图像的重叠区域  $S$  和  $T$  对应的各象素值按一定的权值合成新的图像。重合部分的象素值可表示为:

$$I_N = I_N \times W_{Value1} + I_{N+1} \times W_{Value2} \quad (2)$$

其中,  $I_N$  和  $I_{N+1}$  分别表示两个相邻图像的某个相应重叠的象素在各自原图像中的象素值,  $W_{Value1}$  和  $W_{Value2}$  是根据公式 (1) 计算出的该象素在各自图像

上的权值，其取值范围为  $(0, 1)$ ，且和为 1。

对于拼接后的图像，并不是直接取  $I_N$  的值，而是引入一个阈值  $K$ ，首先计算该点在平滑前的灰度值和加权平均值的差值，若此值小于阈值，则取  $I_N$  为此点的灰度值，反之，则取平滑前的灰度值为该点的灰度值。

如图 4 所示，是整个  $360^\circ$  环视全景图像的生成过程。首先根据所拍摄场景的不同选择不同的拍摄方式，根据 401 拍摄序列图像。对拍摄一个完整  $360^\circ$  环视实景全景或者仅部分视角的环视实景场景，在一个固定位置，按顺时针或者逆时针方向等角度水平旋转拍摄；对于实物实体  $360^\circ$  立体造型展示的虚拟拍摄，将实物实体放在赤道仪或者带刻度转盘上，逆时针或顺时针方向等角度地旋转载物仪盘进行拍摄。拍摄时相邻两幅图像要有一定的重叠，且对同一场景图像的张数不少于 12 张。402 对序列图像进行中值滤波去噪、直方图均衡化处理等图像预处理，以平衡光照条件不同带来的影响，采用直方图均衡化处理变换函数：

$$s_k = T(r_k) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (3)$$

其中， $n$  是图像中像素的总数， $n_k$  是灰度级为  $r_k$  的像素个数， $L$  为图像中可能的灰度级数，一般取值为 256。通过公式 (3) 将输入图像中灰度级为  $r_k$  的像素映射为输出图像灰度级为  $s_k$  的对应像素。

403 通过  $360^\circ$  水平柱面投影变换公式将各投影平面的重叠图像映射到一个标准投影即  $360^\circ$  水平柱面投影上得到  $360^\circ$  水平柱面图像，相应的变换公式为：



$$\begin{cases} x_1 = r \cdot \sin \frac{\theta}{2} + r \cdot \sin \left[ \tan^{-1} \left( \frac{x - \frac{W}{2}}{r} \right) \right] \\ y_2 = \frac{H}{2} + \frac{r \cdot \left( y - \frac{H}{2} \right)}{k} \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $r = \frac{W}{2 \cdot \tan \frac{\theta}{2}}$ ,  $k = \sqrt{r^2 + \left( \frac{W}{2} - x \right)^2}$ ,  $(x, y)$  为输入图像上的任意一点,  $(x_1, y_1)$  为

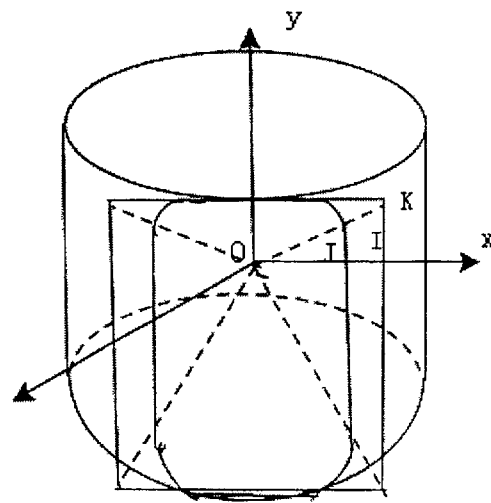
该点经过  $360^\circ$  水平柱面投影变换后的坐标值,  $\theta$  为投影角度,  $W$  为图像的宽度,  $H$  为图像的高度。

404 采用一种自适应阈值序列序贯相似性检测算法 (SSDA), 先完成相邻两幅图像的拼合, 最终通过同样的方法完成一组序列图像的拼合。

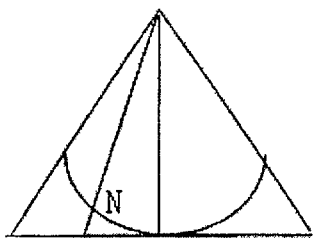
405 为消除痕迹采用改进的带权缝合的方法进行拼接后的平滑过渡, 在该步骤中并不是直接采用按照一定权值合成到新的图像, 而是在之前引入一个阈值, 首先计算该点在平滑前的灰度值和加权平均值的差值, 若此值小于阈值, 则将该点对应的像素按一定权值合成到新的图像, 反之则取平滑前的灰度值为该点的灰度值。最终完成序列图像的全景生成。



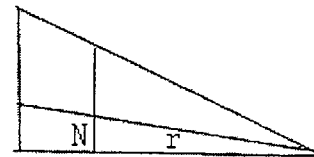
图 1



(a)



(b)



(c)

图 2

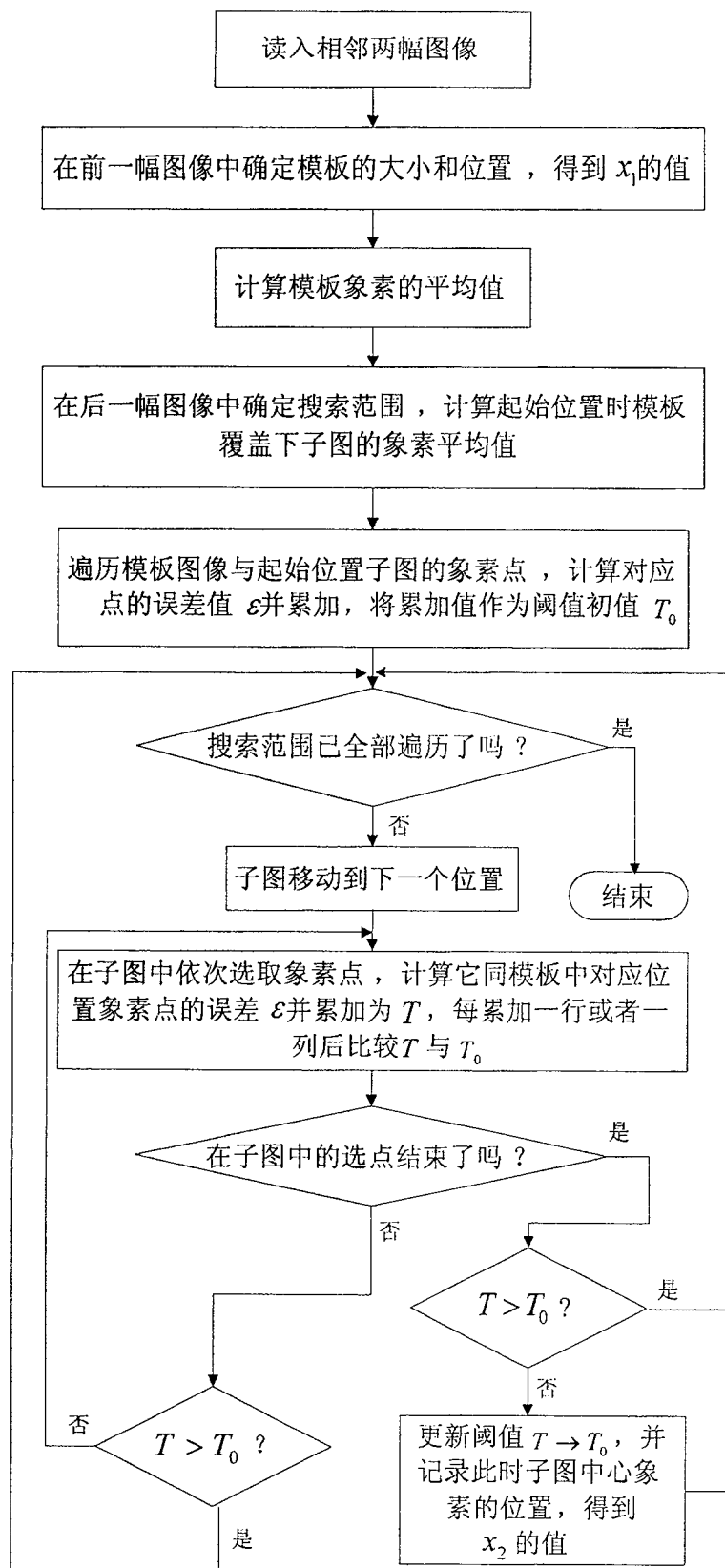


图 3

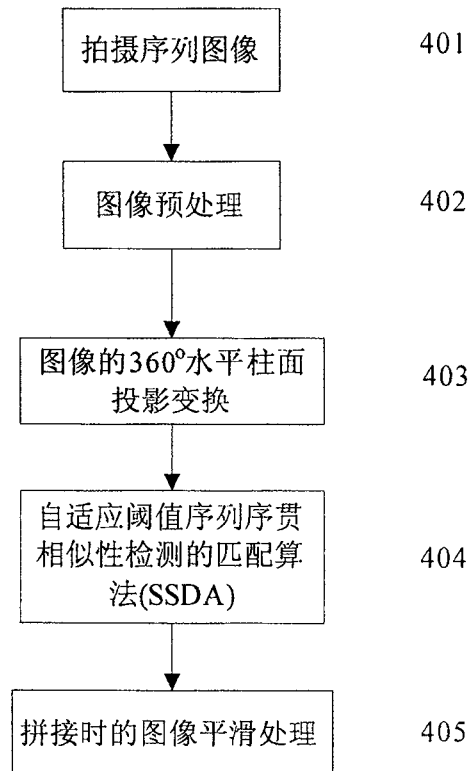


图 4