

文章编号:1001-9081(2009)02-0429-04

## 单视图对称曲面建模及纹理提取

曾纪国

(江西师范大学 计算机信息工程学院,南昌 330022)

(jgzeng@ qq.com)

**摘要:**给出了镜面对称物体的水平图像等价于从另外一个位置拍摄图像的完整证明。利用物体中平行结构实现相机标定。在原始图像和水平翻转图像上匹配特征点,通过传统的基于运动的重建技术恢复特征点的位置。把特征点的位置、共面、共线、透视投影等作为约束,通过最小化线性约束下的二次目标函数实现曲面重建。最后采用基于重心坐标的加权纹理提取方法提取纹理图像。利用真实的图像验证了该方法的可行性。

**关键词:**单视图建模; 对称曲面; 纹理提取

**中图分类号:** TP391   **文献标志码:**A

## Single view modeling of symmetric curved surfaces and texture extraction

ZENG Ji-guo

(School of Computer and Information Engineering, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China)

**Abstract:** An entire demonstration on that the horizontally flipped image of a reflective symmetric object was equivalent to an image photographed from another position was given. The parallel structure was used on calibrating the camera first. Then the feature points were matched between the original image and the horizontally flipped image. Traditional structure from motion techniques can be used on recovering these points. With the constraints of these feature points, perspective projection, coplanarity and collinearity, the curved surfaces can be recovered by minimizing the linearly constrained quadric objective function. Finally, the pixels of the recovered texture were obtained as a barycentric combination of the colors of the near four pixels. The effectiveness of this method was verified by experiments.

**Key words:** single view modeling; symmetric curved surfaces; texture extraction

### 0 引言

在过去的几十年里,单视图建模技术引起了计算机视觉和计算机图形学领域研究人员的极大兴趣。利用只含有二维信息的单幅图像进行重建,显然无法根据三角测量原理求解空间点位置,因此只能通过场景本身的几何约束或通过用户交互输入深度信息的方法实现三维重建。

对于类似于建筑物等含有强约束的结构场景,可以利用平行、共面、共线及正交等约束实现相机自标定及精确建模。文献[1]通过用户提供图像中的共面、垂直、平行等约束实现平面物体的三维重建。文献[2]选择一个基准面,计算它的影灭线和位于基准面垂直方向的影灭点,然后基于一个单点到基准面的参考距离,计算场景中每一个特征点到基准面的垂直距离,从而实现场景重建。文献[3]利用结构场景中三组互相正交的平行线组,实现了三个内参数(焦距及主点位置)的方形像素相机标定的几何约束,实现了对未标定单幅图像的三维重建。文献[4]以建筑物场景中的几何结构作为约束条件,从单幅图像中求解相机的焦距,然后计算基平面位置和法向,最后通过交互式操作指明场景中各平面之间的相互关系实现重建。

单视图曲面建模方面,文献[5]提出了一种对于任意曲面进行重建的方法,该方法将用户定义的一系列约束重建出了最光滑的 2.5 维面片模型。主要贡献在于提出了一种通用的约束机制及一个曲面优化目标函数。对于单视图曲面建模,这是一个重要的里程碑。但是也有一些缺点:1) 2.5 维的

面片模型仅仅表示了模型的一侧,且经常导致空洞;2) 尽管用户能够很好地理解曲面上点的深度及法向,但要准确输入这些约束却非常困难,导致建模效果很差;3) 即使简单的模型也需要大量的用户交互。文献[6-7]采用一种标准的参数曲面表示方法,并将侧影轮廓线作为主要约束条件,获得了真实的三维模型。与文献[5]的方法相比,文献[6,7]提出的方法的突出优点在于用户交互较少,而且可获得更逼真的三维模型。但是,该方法仍存在一些局限性:1) 在普通视点位置下拍摄的图像,用户难于估计准确的深度值,因此只能重建几何结构较为简单的物体(如香蕉、桔子等);2) 该方法采用正交投影模型,并不适合有较明显透视变形图像的重建。文献[8]利用镜面对称约束对该方法进行了两个方面的改进:1) 利用三角测量原理精确计算特征点的深度值,而不是通过用户估计;2) 利用透视投影模型,而不是正交投影模型,所以利用单视图重建出了更复杂的物体,如车头及战斗机。

在文献[8]提出的方法中,存在以下不足:1) 镜面对称物体图像的水平翻转图像等价于从另外一个角度拍摄的图像证明不完整;2) 只给出了相机焦距的近似估计方法,没有利用场景约束进行标定;3) 没有介绍纹理提取方法。本文针对以上不足,提出了完整的解决方案。

### 1 镜面对称与多视图几何

如果采用一个简化的透视投影模型,即假设相机纵横比为 1,倾斜因子为 0,主点在图像的中心,焦距  $f$  是唯一的未知参数,可以证明水平翻转后的镜面对称物体的图像完全等价

收稿日期:2008-08-13;修回日期:2008-10-06。

作者简介:曾纪国(1976-),男,江西赣县人,讲师,博士,主要研究方向:图像重建、虚拟现实。

于从另外一个位置拍摄的图像,因此对现有的多视图几何算法不需要进行任何修改,即可用于求解物体上特征点的空间位置。由于现在的数码相机制作工艺越来越精良,主点通常都非常接近图像的中心,因此利用只含有一个未知数(焦距)的相机内参数模型是合理的。

### 1.1 坐标变换

假定空间中有一点  $p$ ,分别用两个坐标系进行定位; $p$  在第一个坐标系下的坐标  $p_1 = (x_1, y_1, z_1)$ ,在第二个坐标系下的坐标  $p_2 = (x_2, y_2, z_2)$ ,那么它们之间的关系为:

$$p_2 = \mathbf{R}p_1 + t \quad (1)$$

其中矩阵  $\mathbf{R}$  是一个  $3 \times 3$  的正交矩阵,用于表示旋转变换;向量  $t = (t_x, t_y, t_z)^T$  表示平移,平移是在旋转之后进行的。需要注意的是  $t$  是第一个坐标系原点在第二个坐标系下的坐标,因此在实际过程中非常难以描述,我们需要能在第一个坐标系下进行描述的平移。

为了便于区分,重新用  $t_2$  表示第一个坐标系原点在第二个坐标系下的坐标。因此式(1)重新写成:

$$p_2 = \mathbf{R}p_1 + t_2 \quad (2)$$

根据式(2)可知,将第二个坐标系下的坐标变换为第一个坐标系下的坐标为:

$$p_1 = \mathbf{R}^{-1}(p_2 - t_2) = \mathbf{R}^{-1}p_2 + t_1 \quad (3)$$

其中  $\mathbf{R}^{-1}$  是矩阵  $\mathbf{R}$  的逆矩阵,由于  $\mathbf{R}$  是正交矩阵,因此  $\mathbf{R}^{-1} = \mathbf{R}^T$ ;  $t_1$  是第二个坐标系的原点在第一个坐标系下的坐标。从式(3)可以得出:

$$t_2 = -\mathbf{R}t_1 \quad (4)$$

因此,将式(4)带入式(2)可得:

$$p_2 = \mathbf{R}p_1 - \mathbf{R}t_1 \quad (5)$$

式(5)就是利用第一个坐标系下的参数描述的坐标变换,旋转可以通过绕  $X$  轴旋转  $\alpha$ ,绕  $Y$  轴旋转  $\beta$ ,绕  $Z$  轴旋转  $\gamma$  实现,因此矩阵  $\mathbf{R}$  可以表示为:

$$\begin{bmatrix} \cos\beta\cos\gamma & \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma - \cos\alpha\sin\gamma & \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma + \sin\alpha\sin\gamma \\ \cos\beta\sin\gamma & \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma + \cos\alpha\cos\gamma & \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma - \sin\alpha\cos\gamma \\ -\sin\beta & \sin\alpha\cos\beta & \cos\alpha\cos\beta \end{bmatrix}$$

### 1.2 单幅镜面对称物体图像特性证明

采用传统的针孔相机模型,对于世界坐标系下的任意一点  $M = (X, Y, Z)^T$  经过透视投影后在图像中得到  $m = (u, v)^T$  可以表示为:

$$\lambda [u, v, 1]^T = K[\mathbf{R} | t][X, Y, Z, 1]^T \quad (6)$$

其中  $\lambda$  是一个非零缩放系数,  $(\mathbf{R}, t)$  是世界坐标系相对于摄像机坐标系的旋转和平移,  $K$  是摄像机内参数矩阵:

$$K = \begin{bmatrix} f & 0 & I_w/2 \\ 0 & f & I_h/2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中  $I_w$  和  $I_h$  分别是图像的宽度和高度。

考虑如图 1 所示的情况,  $C$  和  $C'$  分别是第一架和第二架相机的光心,  $OXYZ$  是世界坐标系,  $M_1M_2$  是关于  $YOZ$  对称的两个点,  $m_1, m_2$  是  $M_1, M_2$  在第一架相机上的投影,  $m'_1, m'_2$  是  $M_1, M_2$  在第二架相机上的投影。给定一幅对称物体的图像后,第一架相机的朝向和位置就确定了。根据下面两个原则确定世界坐标系:1)  $YOZ$  与物体对称平面重合;2) 第一、二架相机的光心在  $OX$  轴上。这里的世界坐标系相当于坐标变换中的第一个坐标系,相机坐标系相当于第二个坐标系。

如果将世界坐标系绕  $OX$  轴旋转角度  $\alpha$ ,然后绕  $OY$  轴旋转  $-\beta$ ,最后沿着原  $OX$  轴平移  $-t_x$  后与第一架相机坐标系重合,因此第一架相机的旋转和平移可以表示如下:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos\beta & -\sin\alpha\sin\beta & -\cos\alpha\sin\beta \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\beta & \sin\alpha\cos\beta & \cos\alpha\cos\beta \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$t = -\mathbf{R}[-t_x \ 0 \ 0]^T \quad (9)$$

同理,第二架相机的坐标系可以看作是通过绕  $OX$  旋转  $\alpha$ ,绕  $OY$  旋转  $\beta$ ,最后沿着原  $OX$  平移  $t_x$  得到的,因此第二架相机的旋转和平移可以表示如下:

$$\mathbf{R}' = \begin{bmatrix} \cos\beta & \sin\alpha\sin\beta & \cos\alpha\sin\beta \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ -\sin\beta & \sin\alpha\cos\beta & \cos\alpha\cos\beta \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$t' = -\mathbf{R}'[t_x \ 0 \ 0]^T \quad (11)$$

给定一对空间对称点  $M_1(-X, Y, Z)$  和  $M_2(X, Y, Z)$ ,它们在第一和第二幅图像中的投影点分别表示为  $m_1(u_1, v_1)$ ,  $m_2(u_2, v_2)$ ,  $m'_1(u'_1, v'_1)$ ,  $m'_2(u'_2, v'_2)$ ,根据式(7),有如下的投影关系:

$$\begin{cases} \lambda_1[u_1, v_1, 1]^T = K[\mathbf{R} | t][-X, Y, Z, 1]^T \\ \lambda_2[u_2, v_2, 1]^T = K[\mathbf{R} | t][X, Y, Z, 1]^T \\ \lambda'_1[u'_1, v'_1, 1]^T = K[\mathbf{R}' | t'][-X, Y, Z, 1]^T \\ \lambda'_2[u'_2, v'_2, 1]^T = K[\mathbf{R}' | t'][X, Y, Z, 1]^T \end{cases} \quad (12)$$

根据式(12)可以获得如下关于  $m'_1$  和  $m_2, m'_2$  和  $m_1$  之间的关系:

$$\begin{cases} (u'_1, v'_1) = (I_w - u_2, v_2) \\ (u'_2, v'_2) = (I_w - u_1, v_1) \end{cases} \quad (13)$$

从式(13)可以看出,第二幅图像中的图像点位置,等价于将第一幅图像中对应的对称空间点的图像坐标进行水平翻转。由此可以得出结论:在简化后的透视成像模型下,水平翻转后的镜面对称物体的图像就等价于从另外一个对称位置拍摄的图像。

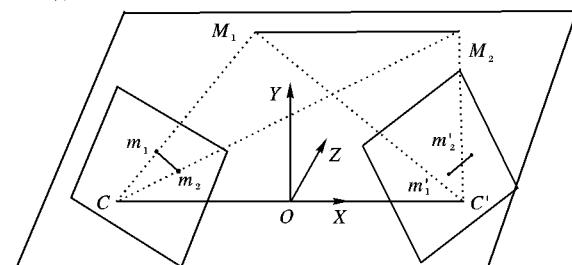


图 1 对称位置拍摄对称物体示意图

### 2 相机标定

对于只有焦距为未知的摄像机内参数,可以利用场景中的角结构和平行结构实现单视图的相机自标定<sup>[4]</sup>。 $op, oq, uv, ab$  分别是空间线段  $OP, OQ, UV, AB$  的投影;  $OP$  与  $OQ$  垂直并交于一点  $O$ ,  $OP$  与  $UV$  平行,  $OQ$  与  $AB$  平行。

假设  $f$  是相机的焦距,  $[x_a, y_a]$  表示点  $a$  的图像坐标,线段  $ca$  的方向向量可以用  $d_{ca} = [x_a, y_a, f]^T$  来表示,则  $ab$  与投影中心  $c$  共同确定的平面  $cab$  的法向量可以表示为  $n_{ab} = d_{ca} \times d_{cb}$ ,其中  $\times$  表示两个向量的矢量积。图像中的每条线段与投影中心构成的平面的法向都可以按照上面的方法写成焦距  $f$  的表达式。

设  $d_{op}$  是直线段  $OP$  的方向向量,  $d_{oq}$  是  $OQ$  的方向向量,则:

$$\begin{cases} d_{op} = n_{op} \times d_{ab} \\ d_{oq} = n_{oq} \times d_{ab} \end{cases} \quad (14)$$

又因为  $d_{op} \perp d_{oq}$ ,因此可以得到:

$$d_{op} \cdot d_{oq} = 0 \quad (15)$$

式(15)写成 $f$ 的表达式,将图像点的坐标带入式(15)并化简,可以得到一个关于焦距 $f$ 的4次方程,此方程可以写成一个关于 $f^2$ 的二次方程,因此可以求出唯一的 $f$ 的正实数解。

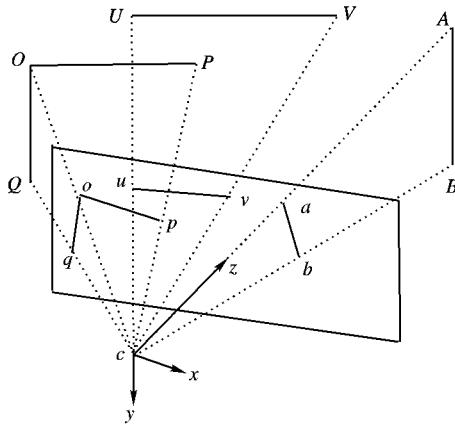


图2 平行结构在针孔相机中的投影关系

### 3 线性约束下的曲面重建及纹理提取

#### 3.1 基于运动的重建技术求解空间点位置

已知相机内参数,在镜面对称物体的原始图像和水平翻转图像之间匹配特征点后,利用传统的基于运动的重建技术就可以计算出特征点的空间位置,具体步骤为:首先计算两幅图像之间的本质矩阵,然后利用本质矩阵分解出相机的相对运动 $R$ 和 $t$ ,最后利用三角测量原理求解空间点的位置。

求解出曲面上特征点的空间位置后,就可以利用空间点的位置作为曲面重建求解中的线性约束。

#### 3.2 曲面的表示

利用标准的参数曲面 $r:[0,1]^2 \rightarrow R^3$ ,来表示真实的三维模型<sup>[6-7]</sup>。连续的曲面用 $r(u,v) = [X(u,v), Y(u,v), Z(u,v)]^T$ 表示,曲面的计算是通过最小化光滑目标函数 $E(r)$ 来实现<sup>[5-7]</sup>。

$$E(r) = \int_0^1 \int_0^1 \|r_{uu}\|^2 + \|r_{uv}\|^2 + \|r_{vv}\|^2 du dv \quad (16)$$

采用离散化的网格来优化该函数。曲面 $r$ 是通过三个 $m \times n$ 的矩阵 $X, Y, Z$ 来表示的。图3是将离散的二维网格映射到三维模型的示意图。

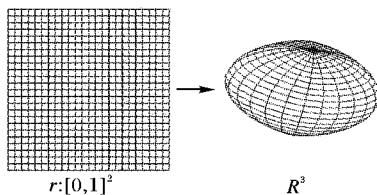


图3 二维映射三维示意图

在曲面的求解过程中,将曲面上所有的网格点坐标组成一个列向量 $\mathbf{g} = [\mathbf{x}^T, \mathbf{y}^T, \mathbf{z}^T]^T$ ,其中 $\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}$ 分别表示将矩阵 $X, Y, Z$ 中的元素排列成列向量。另外,对网格点坐标的一阶和二阶导数的求解采用近似的中心差分方法,即任意一点 $(i, j)$ 的一阶导数离散化表示为:

$$\begin{cases} X_u(i, j) = X(i+1, j) - X(i-1, j) \\ X_v(i, j) = X(i, j+1) - X(i, j-1) \end{cases} \quad (17)$$

同理,二阶导数可离散化表示为:

$$\begin{cases} X_{uu}(i, j) = X(i+1, j) - 2X(i, j) + X(i-1, j) \\ X_{uv}(i, j) = X(i+1, j+1) - X(i, j+1) - X(i+1, j) + X(i, j) \\ X_{vv}(i, j) = X(i, j+1) - 2X(i, j) + X(i, j-1) \end{cases} \quad (18)$$

这些导数可以利用一个 $mn \times mn$ 的常数矩阵 $C$ 方便地表

示,则一阶导数可表示为: $x_u = C_{uu}x, x_v = C_{vv}x$ 。同样地, $C_{uu}$ 和 $C_{vv}$ 可以用来表示二阶偏导数。由此,式(16)可以表示成一个关于 $g$ 的二次离散函数。

$$\begin{cases} \varepsilon(x) = \mathbf{x}^T (C_{uu}^T C_{uu} + 2C_{uv}^T C_{uv} + C_{vv}^T C_{vv}) \mathbf{x} \\ E(g) = \varepsilon(x) + \varepsilon(y) + \varepsilon(z) = \mathbf{g}^T C_{3mn \times 3mn} \mathbf{g} \end{cases} \quad (19)$$

#### 3.3 线性约束

如果不添加约束,则对式(19)中的 $E(g)$ 进行最小化将得到奇异解,即 $r(u, v) = 0$ 。现在将特征点的位置、透视投影、共面作为最小化 $E(g)$ 过程中的线性约束。

1)位置约束:位置约束是基于 $r(u, v) = [X(u, v), Y(u, v), Z(u, v)]^T$ 形式的。当然,也可以采用部分位置约束,即只约束 $(X, Y, Z)$ 中的一个或两个参数。

2)透视投影约束:在利用三角测量原理计算特征点的空间位置时,为了简化计算,通常将第一架相机的相机坐标系与世界坐标系重合,所以旋转和平移就不用考虑了。透视投影模型可以用式(20)表示:

$$\lambda \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

其中 $f$ 是相机焦距, $(u_0, v_0)$ 是主点的图像坐标, $(x, y, z)$ 为世界坐标系下的坐标, $(u, v)$ 为图像坐标, $\lambda$ 是一个非零缩放系数。根据式(20),可以获得两个线性约束:

$$\begin{cases} fx + (u_0 - u)z = 0 \\ fy + (v_0 - v)z = 0 \end{cases} \quad (21)$$

3)平面约束:如果曲面上的点位于某个平面上,则可以用式(22)表示约束。

$$Ax(i, j) + By(i, j) + Cz(i, j) + D = 0 \quad (22)$$

其中 $(A, B, C, D)$ 是平面的参数。

#### 3.4 线性约束下二次目标函数的优化

寻找满足这些约束的最光滑曲面就是在这些线性约束条件下的二次优化问题。所有的线性约束都可以表示为 $A\mathbf{g} = b$ 的形式,并且都是线性约束。 $E(g)$ 是二次的,可以表示为 $\mathbf{g}^T C \mathbf{g}$ ,其中 $C$ 是海色矩阵(Hessian matrix)。因此,线性约束二次优化可以定义如下:

$$\begin{cases} g^* = \arg \min_g \{E(g) = \mathbf{g}^T C \mathbf{g}\} \\ \text{满足 } A\mathbf{g} = b \end{cases} \quad (25)$$

通过拉格朗日乘数法可以将式(25)转化为线性系统:

$$\begin{bmatrix} C & A^T \\ A & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ b \end{bmatrix} \quad (26)$$

海色矩阵 $C$ 是一个带状稀疏矩阵,对于一个 $m \times n$ 的网格来说, $C$ 的大小为 $3mn \times 3mn$ ,每行大约有13个非零元素。式(26)的求解是利用Matlab来实现的,运算速度极快,并且所求的解为全局最优解。

#### 3.5 纹理提取

通常纹理图像都是按照矩形的方式来进行存储和表示的,这正好与曲面的离散网格对应,把离散网格上的点投影到图像上,提取图像的颜色信息,从而按照离散网格拓扑结构排列成纹理。但这样过于稀疏,因此需要将网格进行细化,每个细化后的网格点对应于纹理图像上的一个像素(例如,将每一个几何网格再均匀细化为 $4 \times 4$ 的网格)。

利用式(20)可以将空间点投影到图像上,但投影后的图像点的坐标值往往是浮点数,如果直接取其某一个邻近像素的颜色值作为当前点的颜色值,这样提取的纹理将会变得较为模糊。因此,本文根据当前点所处的位置与其周围四个邻近像素的远近程度采用基于重心坐标加权方式提取颜色信

息。如图 4 所示,  $(x, y)$  为当前图像点的像素坐标,  $(x_0, y_0)$ 、 $(x_1, y_1)$ 、 $(x_0, y_1)$ 、 $(x_1, y_0)$  为四个邻近像素的坐标(坐标值为整数)。令  $f(x, y)$  为点  $(x, y)$  处的颜色信息, 那么基于重心坐标的纹理提取可以用下式表示:

$$f(x, y) = \frac{V_{00}}{V} f(x_0, y_0) + \frac{V_{01}}{V} f(x_0, y_1) + \frac{V_{10}}{V} f(x_1, y_0) + \frac{V_{11}}{V} f(x_1, y_1) \quad (27)$$

其中  $V_{00} = (x_1 - x)(y_1 - y)$ ,  $V_{01} = (x_1 - x)(y - y_0)$ ,  $V_{10} = (x - x_0)(y_1 - y)$ ,  $V_{11} = (x - x_0)(y - y_0)$ ,  $V = V_{00} + V_{01} + V_{10} + V_{11}$ 。

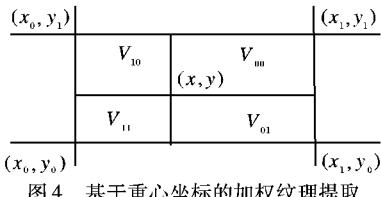
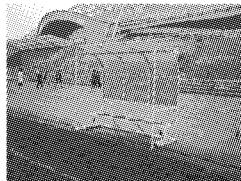


图 4 基于重心坐标的加权纹理提取

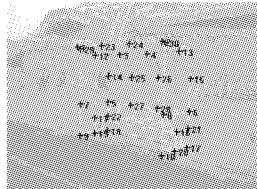
## 4 实验与分析

图 5(a) 为利用 SONY-PS2 相机拍摄的雨棚的照片, 图像大小为  $1600 \times 1200$ , 利用前面介绍的单视图相机标定算法, 估计相机的焦距  $f = 1865.83$ 。

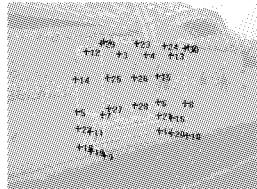
首先在原始图像和水平翻转图像中匹配特征点, 如图 5(b), (c) 所示。然后利用三角测量原理求解空间点的位置, 利用多边形将这些特征点连接起来, 得到如图 6 所示的平面模型。



(a) 原始图像

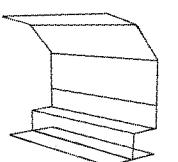


(b) 在原始图像中匹配特征点

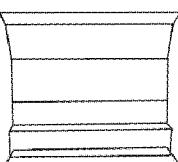


(c) 在水平翻转图像中匹配特征点

图 5 对雨棚图像匹配的特征点



(a) 重建的雨棚平面模型



(b) 重建的纹理映射后的雨棚平面模型

图 6 重建雨棚平面模型

为了实现雨棚曲面的重建, 采用如图 7 所示的离散网格结构, 网格的大小为  $24 \times 24$ 。将直线段  $M_1M_2$ 、 $M_2M_3$  及  $M_3M_4$  添加为曲线  $v = 0$  上的透视投影约束; 将直线段  $M_5M_6$ 、 $M_6M_7$  及  $M_7M_8$  添加为曲线  $v = 1$  上的透视投影约束; 将曲线  $M_1A_1M_5$  添加为曲线  $u = 0$  上的透视投影约束; 将曲线  $M_2A_2M_6$  添加为曲线  $u = 1/3$  上的透视投影约束; 将曲线  $M_3A_3M_7$  添加为曲线  $u = 2/3$  上的透视投影约束; 将曲线  $M_4A_4M_8$  添加为曲线  $u = 1$  上的透视投影约束。另外, 添加曲线  $u = 0$  位于平面  $M_1A_1M_5$  上的平面约束; 添加曲线  $u = 1/3$

位于平面  $M_2A_2M_6$  上的平面约束; 添加曲线  $u = 2/3$  位于平面  $M_3A_3M_7$  上的平面约束; 添加曲线  $u = 1$  位于平面  $M_4A_4M_8$  上的平面约束。当这些约束都加上后, 利用前面介绍的方法就可以求得如图 8(a), (b) 所示的曲面模型(模型中的纹理图像是将图 7(c) 图所示的纹理图像经过简单处理), 并最终得到如图 9 所示的完整雨棚模型。

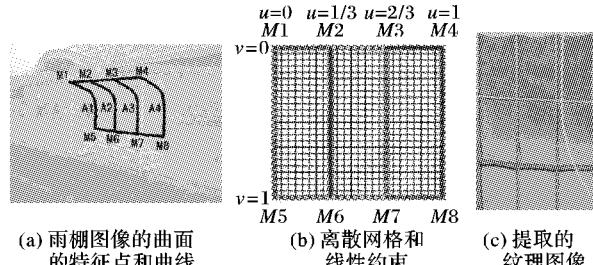


图 7 雨棚曲面的特征曲线、离散网格及提取的纹理图像

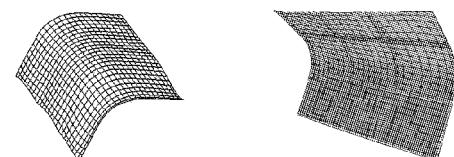


图 8 雨棚的曲面模型

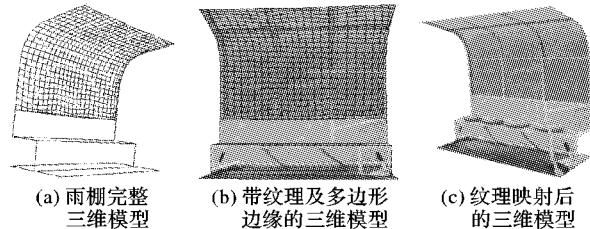


图 9 雨棚完整三维模型

利用本文介绍的方法, 可以对含有曲面和平行结构的物体进行单视图重建, 重建效果较好。但是该方法不适合非镜面对称曲面的建模, 因此不能完全替代文献[6-7]提出的曲面重建方法。

### 参考文献:

- [1] STURM P, MAYBANK S. A method for interactive 3D reconstruction of piecewise planar objects from single images[C]// Proceedings of British Machine Vision Conference. Nottingham: British Machine Vision Association, 1999: 265-274.
- [2] CRIMINISI A, REID I, ZISSERMAN A. Single view metrology [J]. International Journal of Computer Vision, 2000, 40(2): 123-148.
- [3] 杨敏, 沈春林. 未标定单幅结构场景图像的三维重构[J]. 中国图象图形学报, 2004, 9(4): 456-459.
- [4] 刘培琪, 石教英, 孙鑫. 基于平面的建筑物表面模型重建算法的研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(8): 1045-1050.
- [5] LI ZHANG, DUGAS-PHOCION G, SAMSON J S, et al. Single view modeling of free-form scenes [J]. Journal of Visualization and Computer Animation, 2002, 13(4): 225-235.
- [6] PRASAD M, FITZGIBBON A W, ZISSERMAN A. Fast and controllable 3D modelling from silhouette[C]// Proceedings of Eurographics. Dublin, Ireland: ACM Press, 2005: 9-12.
- [7] PRASAD M, ZISSERMAN A, FITZGIBBON A. Single view reconstruction of curved surfaces[C]// Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. New York: IEEE Press, 2006: 1345-1354.
- [8] ZENG JIGUO, ZHANG YAN, ZHAN SHOUYI, et al. Reconstructing symmetric curved surfaces from a single image and its application[C]// Lecture Notes in Computer Science. Xi'an: Springer, 2006: 204-213.