

一种基于立体视觉的多视点建模方法*

董再励 王建刚 徐心平

(中国科学院沈阳自动化研究所, 沈阳 110015)

摘要 论述了一种基于立体视觉的建模方法。该方法利用立体视觉系统在不同视点对景物观测所获得的局部三维几何模型,通过空间特征点匹配和坐标变换将局部模型融合,从而建立景物的完整描述。文章重点介绍了一种基于空间向量的坐标变换求解方法。

关键词 立体视觉,建模,坐标变换

1 引言

三维物体建模是计算机视觉研究的重要内容。在三维景物分析、物体识别、移动机器人自主导航、虚拟环境生成,以及求反工程(Reverse Engineering)等不同领域有着广泛的应用。对于未知环境下观测对象的视觉建模,存在的问题是由单一视点观测时,只能得到有关场景的局部三维几何信息,无法构建完整的三维景物描述。近年来,利用主动视觉(Active Vision)的建模方法受到普遍重视,即通过视觉系统主动的移动(模仿人的头部或身体的移动),从不同的视点观测物体或场景,分别建立三维局部模型,然后将这些局部模型融合,建立完整的物体或场景模型。

这种多视点建模方法,关键是将不同视点下所获得的三维景物描述建立在同一参考坐标系下。目前有关多视点建模的研究通常都是假设视觉系统的位移和姿态变化已知^[1]。但在许多应用域,视点的空间位姿变化是无法准确知道的。为此,本文提出了一种在旋动(Screw)理论^[2]指导下的利用视觉信息确定视觉系统位姿变化的方法。该方法的特点是利用三个空间特征点在不同视点下的三维观测数据,计算出视觉系统的相对位移和姿态变化,从而将不同视点下观测的景物信息转换到同一参考坐标系下,完成景物的三维建模。这种坐标变换关系求解方法,

计算简单、鲁棒性强。本文重点论述了应用这种方法对不同视点之间坐标转移矩阵的求解。并介绍了采用该方法的多视点建模在遥控操作虚拟环境生成中的应用。

2 基于立体视觉的多视点景物建模原理

完整地建立景物的三维模型,需要获取可描述该景物足够的三维信息。并且这些三维信息必须在同一参考坐标系下表达。通常获取三维信息可采用各种立体视觉方法,包括双目立体视觉法,主动式测距法(激光照射+CCD摄像机)等。当立体视觉系统处于某一位置观测时,建立的局部景物三维描述只能是相对该位置的视觉系统坐标系。即使对同一物体,在不同视点下所建立的局部三维描述,不经过坐标变换也无法统一。同样,当被观测的物体相对视觉系统对位姿变化进行全面观测时(如求反工程中大型不规则曲面物体的建模),如果物体位姿变化无法准确测定,则对物体各向表面局部的观测结果进行整体三维融合也是不可能的。

图1为多视点观测建模示意图, C 为视觉系统相对某一参考坐标系标定参数矩阵。 M 为坐标转移矩阵。设物体上点 P 相对观测点 ω_0 的坐标为 x_0 。当立体视觉系统随载体移动 M_1 时, P 在新观测点 ω_1 下的坐标为 x_1 ,则有

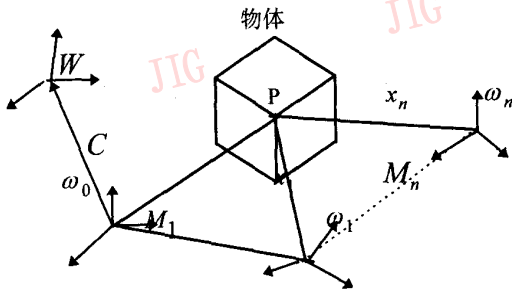


图1 多视点观测示意图

Fig. 1 Scheme of multi-viewpoint observation

$$x_0 = M_1 x_1 \quad (1)$$

这里,视点 ω_1 所观测到物体特征点的三维表达可通过 M_1 转换到 ω_0 下表达。通过 n 次观测结果和 n 次坐标转移矩阵 $M_i, i=1, 2, \dots, n$, 就可以将物体的所有观测结果统一在参考坐标系 W 下描述,完成物体的三维建模。

多视点建模方法存在两个主要障碍,一是物体特征点在不同位置观测时的对应匹配,二是确定坐标转移矩阵序列 $M_i, i=1, 2, \dots, n$ 。物体特征点匹配问题在许多应用场合可用人机交互解决^[3]。转移矩阵序列 M_i 的确定可以通过视觉系统移动载体的位姿传感器输出信号来计算,但在许多应用中无法获得其精确的位姿变化量。为此,本文给出利用视觉处理方法,即基于公共特征点计算坐标转移矩阵。

3 求解坐标转移矩阵 M

坐标转移矩阵 M 是一坐标变换关系矩阵,含有12个位姿参数。按一般求解方法,需要将 M 分解,建立关于 M 的各参数的方程组求解,求解过程复杂。我们根据旋动理论,利用空间向量分步求解 M ,使得求解过程简易可行。变换矩阵 M 可分解为旋转矩阵 R 和位移向量 T 两部分。因此,式(1)可以表示为

$$x_0 = R x_1 + T \quad (2)$$

3.1 旋转矩阵 R 的求解

假设 P_1 和 P_2 为给定的两个空间特征点,其连线构成了一空间向量 $\overline{P_1 P_2}$ 。根据空间向量的表达与其位置无关的性质, $\overline{P_1 P_2}$ 在两个坐标系 ω 和 ω' 下可分别表示为 X 和 X' (图2)。

当不考虑位移的影响时,有

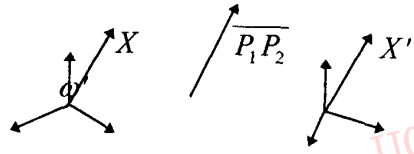


图2 空间向量 $\overline{P_1 P_2}$ 及其在两个不同坐标系下的表示

Fig. 2 Spatial vector $\overline{P_1 P_2}$ and its expression in two different coordinate system.

$$X = R X' \quad (3)$$

根据旋动理论的旋转变换关系等式,存在一个由旋转轴 $u = (u_x, u_y, u_z)$ 构成的关系矩阵 U ,使得式(3)满足

$$X - X' = U(X + X') \quad (4)$$

式中, U 与 u 的关系为

$$U = \text{Screw}(u) = \begin{bmatrix} 0 & -u_z & u_y \\ u_z & 0 & -u_x \\ -u_y & u_x & 0 \end{bmatrix}$$

并且,由 Cayley 定理, U 与 R 的关系为

$$R = [1 + U][1 - U]^{-1} \quad (5)$$

由于 U 具有奇异矩阵性质,用式(4)无法直接解出。由数学分析可知,当已知另一空间向量(假设为 $\overline{P_3 P_4}$)在 ω 和 ω' 下分别表示为 Y 和 Y' 时,式(4)可改写成

$$\begin{bmatrix} X - X' \\ Y - Y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U(X + X') \\ U(Y + Y') \end{bmatrix} \quad (6)$$

可以证明,只要向量 $(X + X')$ 与 $(Y + Y')$ 不共线,则

$$\Sigma u = \Delta \quad (7)$$

的解必存在。式中

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \text{Screw}(X + X') \\ \text{Screw}(Y + Y') \end{bmatrix} \quad \Delta = \begin{bmatrix} X - X' \\ Y - Y' \end{bmatrix}$$

通过式(7),可以直接解出 u 的3个参数,然后利用式(5)解出旋转矩阵 R 。可以证明 u 的解的存在具有良好的鲁棒性。

3.2 位移 T 的求解

式(2)中的 T ,实质是两个坐标系 ω_0 和 ω_1 之间的位移。当立体视觉确定了点 P 在 ω_0 和 ω_1 下的表达 x_0 和 x_1 时,位移 T 可直接由二者的差计算,即

$$T = x_0 - R x_1 \quad (8)$$

这样,两个坐标系 ω_0 和 ω_1 之间的坐标变换关系 M_1 就由 R 和 T 确定了。

3.3 多视点观测结果的统一

在多个视点观测时,只要任意视点间存在3个公共特征点,就可以建立视点间的位姿变换矩阵 M ,将任意两个视点间的坐标变换关系确定下来。同理,各视点的观测结果通过位姿变换矩阵序列 M_i 可统一在参考坐标系下表达。例如,视觉系统在位置 i 的观测结果可通过坐标变换关系 M_i 在 W 下表达。 M_i 可由下式得出

$$M_i = M_i M_{i-1} \dots M_1 \quad (9)$$

4 多视点建模应用——遥控操作虚拟环境的生成

远程操纵移动机器人在空间及海洋探测、战场侦察、危险场合作业等领域有广泛的应用。为了提高远程操作的效率和可靠性,临场感(Telepresence)及虚拟现实(Virtual Reality)技术受到广泛的重视。

遥控操作虚拟环境生成的关键技术之一是环境建模^[4]。对于未知环境中景物建模采用了本文介绍的多视点建模策略。其基本步骤为:

- (1) 对车载双目立体视觉系统进行标定;
- (2) 操作手根据车载视觉系统传递的景物图象,遥控移动车进入作业环境,发现作业对象后停止;
- (3) 通过人机交互给出该观测位置下左右图象中物体的对应特征点。利用立体视觉算法建立物体的局部模型(Mod1);
- (4) 遥控移动车绕物体转动约 90° 。重复步骤3,建立局部模型(Mod2);



董再励,中国科学院沈阳自动化研究所助理研究员。1986年获工学硕士学位。主要研究领域包括图象处理、机器视觉、传感器系统、信号处理、信息融合等。

(5) 通过人机界面给出 Mod1 和 Mod2 中的公共特征点,计算坐标转移矩阵 M ;

(6) 将 Mod1 和 Mod2 融合。如已建立了完整的模型,则将该模型送入虚拟环境库,用于虚拟环境生成。否则重复步骤4,直到建立完整的模型。

5 结 论

本文论述的物体建模方法的基本思想是利用立体视觉系统获取物体的三维信息,建立观测对象的局部三维描述,并结合视觉信息的特征匹配,建立各视点间的坐标变换关系。在此基础上,将观测对象的局部三维信息融合在同一参考坐标系下表示,完成物体三维完整模型的建立。本文提出并讨论了利用旋动理论解决多视点间系统坐标变换关系的确定问题。该方法具有计算简单、鲁棒性强等特点,并在遥控作业机器人虚拟环境生成的建模研究中得到了应用。通过多视点观测生成的物体模型与真实景物的迭加,验证了该方法的合理性和有效性。

参 考 文 献

- 1 Nishikawa A, Ogawa S, et al. Detecting Object Surfaces by Using Occlusion Information from Active Binocular Stereo. IEEE Int. conf. on Robotics & Automation, 1995, 2974~2981.
- 2 McCarthy J M. An Introduction to Theoretical Kinematics. MIT, 1990.
- 3 Cooke C, Stansfield S. Interactive Graphical Model Building Using Telepresence and Virtual Reality. IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, 1994, 1436~1440.
- 4 王建刚,董再励,徐心平. 遥控作业移动机器人环境建模方法研究,机器人,1997,(4).

(下转 467 页)

A New Method for Obtaining Moving-object 3-D Information Based on Single-vision

Hong Hai, Jiang Wei, Li Jinbao

(Department of Computer Science Heilongjiang University, Haerbin 150080)

Abstract Because of it's difficult to match the object model feature points in Multi-Vision system. In this paper a method which obtains moving-object 3D-information based on single-vision be given. This method based on object-model, camera-model and object-shape model applies a kind of special image-processor which may realize the real time extraction, matching of the object model feature points readize real-time obtain moving-object 3D information.

Keywords Single-vision, Real-time, 3D information obtain

(上接 463 页)

A Multi-viewpoint Modeling Method Based on Stereo Vision

Dong Zaili, Wang Jiangan, Xu Xinping

(Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015)

Abstract A multi-viewpoint modeling method based on stereo vision is presented in this paper. The local 3D information of objects are acquired by a stereo vision system at different viewpoints. The local models of an object are merged into a global model by matching feature points and using coordinate transformation. A spatial vector-based resolvent method of coordinate transformation has been developed.

Keywords Stereo vision, Model buiding, Coordinate transformation