

## 机器人作业过程的动态图形仿真

潘存云 高理基

(精密机械与仪器系)

**摘要** 本文阐述了机器人作业运动过程的计算机动态图形仿真的基本原理和实现方法,介绍了机器人本体及其环境物的三维几何造型、图形示教编程技术以及动画制作技术,并指出了在研制机器人的运动仿真系统时应考虑的几个问题。最后给出了 Adapt I 机器人搬运作业过程的图形仿真实例。

**关键词** 机器人, 计算机图形学, 仿真

**分类号** TP242. 2

看图识物是人类认识自然的一种思维活动方式,用图形表达设计思想的方法早已在工程上得到了广泛的采用。用计算机产生的动态图形来模拟机器人的作业运动过程的基本原理可这样叙述:首先,将真实机器人与作业环境抽象成简化的几何模型并转化成计算机能够接受的数据形式(即三维几何造型),然后将机器人的作业运动过程离散成一系列的定格画面,利用计算机的图形显示功能将这一系列的画面依次在屏幕上推出,从而产生模拟真实机器人作业运动的动画效果。图形仿真可用于机器人研究的许多方面。例如,可为机器人的机构设计提供参考依据;帮助研究人员了解工作空间的形状及达限;可用于分析轨迹规划和作业规划的正确性与合理性;为离线编程技术和碰撞干涉检测的研究提供一种直观的验证手段。

### 1 三维几何造型技术

机器人运动图形仿真就是用动态图形来模拟机器人的作业运动过程,仿真系统首先要解决的问题是如何将真实的机器人与作业环境抽象成计算机能接受的几何模型。因此,三维几何造型功能是机器人运动图形仿真的基础。由于机器人是一多刚体运动链系统,各部件之间存在着相对运动关系,因此,部件模型是造型系统提供的基本几何模型。一般而言,一个部件模型是一至数个规则几何形体(单元体)所组成,各单元体之间具有固定不变的位置关系。为了便于交互式三维几何造型,造型系统不仅要提供构造部件模型

\* 1990年3月22日收稿

所需的基本体素，如：点、线、面和长方体、柱、锥、台等简单的实体，还要提供对这些基本体素进行操纵、调整其位置和姿态的手段。此外，三维几何造型是一循序渐近的过程，其间，常需要更改部件模型中的某些几何信息，因此，造型系统还应提供对几何模型进行图形编辑与变形操作的功能，常用的图形编辑功能有：部件与单元体的添加与删除、平移与旋转。变形操作有：部件整体与个别单元体的放大与缩小；单元体的局部修改如：单元体的外侧面、棱边和顶点沿某一方向的拉伸等。具备上述功能的造型系统对于构造单个的部件模型是没有问题的。但是，一个表示机器人与作业环境的几何模型是由若干个部件模型所组成的，机器人本体各个部件模型之间的位置又总是在不断变化。因此，造型系统还应解决如下两个问题：一是如何将环境模型与机器人本体几何模型区分开来，并分别进行不同的处理；二是如何将各个零散的部件模型拼装成一个完整的机器人与作业环境的几何模型，亦即将各个部件模型安放到指定位置。此处，我们把这两个问题称之为几何模型的定义与拼装。为了正确识别环境模型与机器人本体模型，可将这两个部件子集分块连续存放，而把位于其连接处的部件作一特殊标记，比如将机器人的基座部件取一个专用的名字。这样，造型系统只要搜索到这一特殊标记，就很容易将两者区分开来。

机器人本体模型拼装的关键是建立相邻两个部件的装配关系。这种关系与运动学关系表达式是一致的，其表现形式与坐标架的定义与选择有关。最常用的坐标系有收野坐标系和 D-H 坐标系。不管选择哪种坐标系，相邻部件模型的装配关系必包含如下四方面的信息：关节类型、关节轴线位置、相邻部件坐标架之间的相对位置和关节变量。

## 2 运动图形仿真的实现方法

机器人本体与作业环境几何造型完成之后，只要对几何模型进行相应的操纵，使机器人本体模型以某些特定的位形显示出来，即可实现机器人作业运动图形仿真。一般而言，机器人各部件之间的相对位置关系由装配信息唯一确定。如前所述，装配信息中包含了如下参数：关节类型、关节轴线位置、相邻部件坐标架原点之间的相对位置以及关节变量（相对转角或位移）。其中，反映关节结构参数如关节类型和关节轴线位置等信息一经定义之后就不再改变了，而部件坐标架  $O_i$  ——  $x_i, y_i, z_i$  的原点相对于部件坐标架  $O_{i-1}$  ——  $x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1}$  中的位置随关节运动参数  $\theta_i$  变化，因此，四项关节参数中只有关节变量是一个独立的参变量。对于真实的机器人，不同的位形对应一组不同的关节变量。通过更改部件记录中域 Displacement 的数值，实际上就改变了相邻两部件之间的装配关系，再经过相应的几何变换与投影变换，将按新参数装配好的几何模型显示在屏幕上，就得到一幅对应于机器人某一作业位置的画面。重复进行改变关节变量——变换——显示画面的过程就实现了机器人作业运动过程的图形仿真。一个完整的机器人作业过程是由一系列稍有差异的画面所组成，每一画面与一组关节变量相对应。因此，图形仿真的实质就是用动态图形的形式来验证反映机器人作业过程的关节变量序列取值的正确性与合理性。一般来讲，关节变量序列的获取有两种方法，一种方法是由专门的作业规划模块自动生成；另一种方法是由人通过交互设备（如键盘）对机器人几何模型进行图形示教时生成。

### 3 机器人作业图形示教方法

目前,在工业现场使用的机器人绝大部分仍是示教再现型机器人,这种机器人在正式作业之前,必须由人以手把手或通过示教盒引导机器人沿作业路径走一遍。示教时,机器人所属生产线不得不停止运行,这无疑是一种极大的浪费。图形示教编程技术可以克服现场示教的缺点。图形示教的实质是以人一机交互方式控制机器人的位形,以完成机器人作业的运动模拟。图形示教可采用两种方式进行:一种方式是在直角坐标空间内进行,示教时,由人一机交互给出机器人手部末端点的直角坐标值,由仿真系统进行逆运动学计算、求出相应的关节变量值,然后显示机器人对应该组关节变量的位形。这种方式与作业现场手把手示教方式类似,只不过现场示教时不需要进行逆运动学计算,而由控制系统对位置传感器进行直接采样。图形示教的第二种方式是在关节空间内进行,即由人直接交互给出关节变量值,这种示教方式与示教盒方式类似。直接关节示教方式可这样进行:首先调整好程序指针使之指向所需示教的关节,然后,更改该关节的运动参数,接着按新的装配信息对整个几何模型进行重新装配,最后在屏幕上显示出来,即实现了单关节示教过程。

示教过程的再现有两种方法实现。一种方法是将示教时产生的一系列画面依次存入磁盘形成动画文件,调用该文件时即可再现示教过程;另一种是将示教过程对应的关节变量值存盘,形成关节参数文件,在进行图形仿真时,从该文件读入关节变量,也可再现示教过程。

### 4 动画技术

一次完整的机器人作业过程的图形仿真,往往需要显示数十幅甚至上百幅不同的画面。显示这些画面时有两种方法。一种是生成一幅,显示一幅。由于在生成一幅画面的过程中要进行大量的运算处理,花费时间较多,在微机上推出两幅不消隐的画面的时间间隔约为1~2秒钟。很显然,这种显示方法的动画效果甚差。另一种方式是预先按以上方法生成的画面依次存盘,形成动画文件,然后再按顺序将画面从磁盘调入内存逐幅显示。在有硬磁盘的微机上,读入一幅画面的时间很短,一秒钟大约可推出十幅画面,因而产生的动画效果相当好,使人有身临其境之感。画面的存储应采用动态数据结构中的线性链表形式,每幅画面作为一个记录,每个记录占用16K字节空间。这种动态图形显示的唯一缺点是当画面较多时,将占用很多外存空间。

### 5 几个值得考虑的问题

利用计算机图形仿真技术研究机器人的作业运动过程,具有通用性强、适用面广、价格低廉和仿真结果直观明了的特点,因而,引起越来越多的研究者的关注。作者认为,在设计机器人运动图形仿真软件时,还须考虑以下几个问题:

(1) 为了输出具有高真实感的反映机器人作业运动的三维图形,必须进行三维消隐处理。

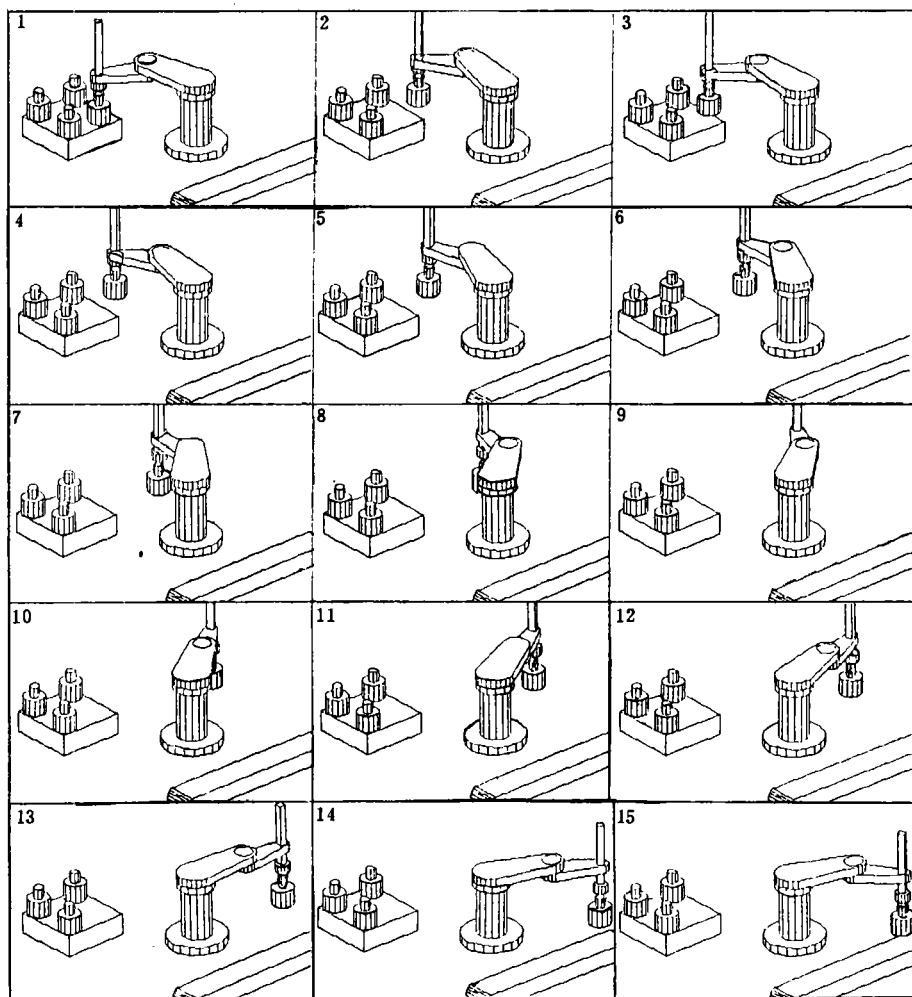
(2) 为了能够了解整个作业过程中机器人手部末端经过的路径,仿真系统应该有设

置/取消末端点轨迹显示功能。

(3) 为了能从不同的位置和角度观察机器人作业运动图形仿真的效果，仿真系统应提供多种投影显示方式和视点变换功能。

(4) 一个有实用价值的仿真系统，应考虑在进行作业运动图形仿真的同时，进行机器人与作业环境的碰撞干涉检测与处理。

## 6 实例



如图所示为用作者设计的 IRKSS 仿真软件对 Adapt II 机器人搬运作业进行图形仿真得到的部分画面，这些画面系由图形示教方法生成。

本文阐述的基本原理和方法是作者在完成“工业机器人运动仿真系统”(IRKSS)设计的基础上总结出来的。IRKSS 具备如下主要功能：运动学符号模型自动推导、轨迹规划、三维几何造型、动态图形仿真、图形示教编程、碰撞与干涉检测、三维消隐显示等。图形示教编程方法是实现机器人离线编程的手段之一，这种方法可以克服工业机器人现场作业示教的种种弊端。当然，要使该方法真正应用于生产现场，还必须解决仿真系统与真实机器人的接口问题。

### 参 考 文 献

- [1] Dschraft R, Alten hein A and Gohner M. Simulation and off-Line-Programming for Industrial Robot. proc. 2nd Int. conf. on ROBOTS in the Automative Industrial, 1985
- [2] 理查德·P·保罗著；郑时雄，谢存禧译。机器人操作手、数学、编程与控制。机械工业出版社，1986
- [3] 潘存云。通用的机器人仿真系统研究。国防科技大学硕士论文，1990

## Dynamic Graph Simulation for Robot Tasking

Pan Cunyun Gao Liji

(Department of Precision Mechinery and Instrument)

### Abstract

This paper introduces a basic theory and implementation method of computer graphic simulation for robot tasking. The contents are 3-D geometric modelling for robot body and its environment objects, technology of graphic teaching programming for robot tasking, and making technique for animated cartoon. It is pointed out that some important problem should be taken into account in designing a robot kinematic simulation system. As an example, graphic simulation demonstration of Adapt II robot in transporting is given in the end of the paper.

**Key words** robot, computer graphics, simulation