

# 机器人图形仿真软件

李善本 徐毓良

(浙江大学计算机系)

## 摘 要

本文介绍通用机器人图形仿真系统 ZDRSSS。该系统以人机交互方式工作,可用于机器人机构设计和运动学、轨迹规划仿真,机器人运动及环境用三维线框图显示。本文将阐述开发 ZDRSSS 系统时采用的若干技巧和方法。

**关键词**——仿真,计算机图形学,数学模型,几何模型。

ZDRSSS 是一个通用的机器人图形仿真系统,能仿真已有的工业机器人(如 PUMA, T<sup>3</sup> 等),也可仿真用户自己设计的多关节机器人。ZDRSSS 中,以矩阵变换、体素造型、数据文件等为特征的机器人数学模型更趋通用,并加强了图形显示、图形交互功能。ZDRSSS 的运动学仿真功能丰富,能仿真机械手在抓手空间或关节空间的点点运动和连续运动,匀速/变速运动,绝对量/相对量运动。也能仿真机械手抓手的定点到位。仿真过程中,ZDRSSS 实时地显示机器人的状态和工作参数。ZDRSSS 增加了新的仿真模块,如微分运动学仿真,轨迹规划算法验证,运动学方程正解、逆解算法的验证等。ZDRSSS 采用执行效率极高的 C 语言编程,对硬件接口和实时处理的关键模块用 8088/8087 汇编语言编程。ZDRSSS 在 IBM-PC 和 PC-DOS 支持下运行,但它独立地管理内存、键盘、磁盘驱动器等资源。

## 一、机器人的数学模型

ZDRSSS 的机器人数学模型建立在齐次坐标、关节坐标系、坐标变换等概念基础上<sup>[1]</sup>。机器人系统由关节坐标系来描述,而一个  $4 \times 4$  的齐次变换矩阵表示了从一个坐标系到另一个坐标系的转换关系。用 Denavit-Hartenberg 规则<sup>2), [2]</sup>定义的  $A$  矩阵是最简的关节坐标系变换矩阵。设  $A_i$  是机器人第  $i$  个关节坐标系到第  $i+1$  个关节坐标系的  $A$  矩阵,则对  $n$  关节机器人来说,抓手上一点的坐标(由抓手坐标系表示)经变换矩阵  $A = A_0 A_1 \cdots A_n$  变换后,就变换成世界坐标系的坐标<sup>[1]</sup>。

设在世界坐标系上,机器人抓手的姿态矩阵为  $T$ ,则抓手坐标系上点  $m$  的世界坐标应该是  $m' = Tm$ 。因此,  $T = A_0 A_1 \cdots A_n$ , 这就是机器人的正运动学模型。

本文于 1988 年 1 月 16 日收到。

1) 本课题得到国家自然科学基金资助。

2) 李善本,机器人图形仿真系统的设计和实现,浙江大学硕士论文,1987年,9--84。

设各关节的关节变量分别是  $p_i (i = 1, 2, \dots, n)$ , 即  $A_i = A_i(p_i)$ , 于是存在关系  $T = f(p_1, p_2, \dots, p_n)$ . 利用适当的逆运动学求解算法, 可以导出从  $T$  到  $p_i$  的关系  $(p_1, p_2, \dots, p_n) = f^{-1}(T)$ , 这就是机器人的逆运动学模型.

运用类似的方法<sup>[1]</sup>, 也可导出机器人的正微分运动学模型和逆微分运动学模型.

## 二、ZDRSSS 数据库的结构

ZDRSSS 数据库拥有所有支持仿真系统工作的信息, 它的主要组成部分是表示机器人数学模型的结构和表示机器人及其工作环境几何模型的结构.

### 1. 表示机器人数学模型的数据结构

ZDRSSS 的机器人通用数学模型很大程度上依赖于  $A$  矩阵. 用 Denavit-Hartenberg 规则建立关节坐标系后, 参数  $\theta, d, a$  和  $\alpha$  集中地反映了机器人的结构特征. 再考虑到机器人关节的独立性, ZDRSSS 为每个关节定义了这样的结构:

```
struct {
    int 类型号;
    float  $\theta, d, a, \alpha$ ;
    float  $4 \times 4$   $A$ 矩阵;
} 关节变量.
```

此外, 为反映机器人关节的有序性, 还定义了指针数组来连接各个关节变量. 这个指针数组的第  $i$  个元素就是指向关节  $i$  的指针.

### 2. 表示机器人和工作环境几何模型的数据结构

机器人及其工作环境的几何模型属于三维模型. ZDRSSS 用体素造型的方法构造这些三维物体. 系统可用的基本体素包括实心球、直线、矩形、圆、弧、椭圆、圆柱、圆台、长方体、直纹曲面、耳片、多边形等十二类. 若干个基本体素组成了机器人及其工作环境的几何模型, 而处于同一关节坐标系中的基本体素具有相似的处理过程, 不妨把它们拉成一条双向链. 为了表示机器人关节的有序性, 也定义一个指针数组来连接各个双向链, 这个数组的第  $i$  个元素就是关节  $i$  体素链的链头指针.

### 3. 机器人的数据文件

ZDRSSS 数据库的数据以文件形式存贮在外设中. 这些数据文件以 GF 作为统一的扩展名, 它们的格式符合 DOS 2.0 的要求. 仿真时, 只要从外设中调入指定机器人的数据文件, 就能获得该机器人的数学模型和几何模型.

## 三、人机界面与仿真图形的生成

### 1. 人机界面

ZDRSSS 的 I/O 界面立足于 IBM-PC 基本系统, 它把显示器分成三个窗口 (即命令区、菜单区和图形区), 能分别通过命令方式、菜单方式和图形方式进行会话. 会话时, ZDRSSS 给出足够的提示信息, 帮助用户掌握交互手段, 仿真中必需的参数可由用户在会



话时动态输入,与此同时,ZDRSSS 将仿真结果告知用户。

## 2. 仿真图形的生成

为把机器人的三维图形再现在显示器上,ZDRSSS 需做以下三步工作: 1) 依靠关节的  $A$  矩阵把机器人几何模型从关节坐标系转换到世界坐标系; 2) 把世界坐标表示的几何模型转换成景象坐标表示的几何模型; 3) 经透视变换将景象坐标系表示的几何图形投影到二维平面上。这时,机器人的静态图形已经绘在显示器上。机器人的动态仿真图形是静态图形的有序组合,它可由下述算法实现:

```
while (1) {
    清除屏平面;
    调整机器人几何参数;
    进行各种坐标变换;
    绘图;
    等待一段时间;
}
```

动画显示时,如何提高静态图形的生成速度是一个关键,ZDRSSS 主要采取了三条措施:

1) 设计的所有绘图算法,以软件指令数和执行周期与同类算法比较,都是最优的或较优的; 2) ZDRSSS 的后备屏处理系统解决了绘图时影响动画效果问题(见作者的硕士论文),同时也提高了动画显示速度。3) ZDRSSS 的图形生成算法以“变换基本图形元素”这一概念为基础(见作者的硕士论文),变换机器人的几何模型时,只要找出基本体素的特征量,对这些特征量施行如上所述的三步坐标变换,再调用相应的绘图算法,就可画出机器人的静态图形。用该算法生成图形,避免了对所有点施行坐标变换这一复杂而费时的工作。

## 参 考 文 献

- [1] Richard, P. P., Robot Manipulators: Mathematics, Programing and Control, MIT Press (1981), 1—155.
- [2] Denavit, J., Hartenberg, R. S., A Kinematic Notation for Lower-pair Mechanisms Based on Matrices, *ASME Journal of Applied Mechanics*, 22(1955), 215—221.

# A SOFTWARE PACKAGE FOR GRAPHIC SIMULATION OF ROBOTS

LI SHANBEN XU YULIANG  
(Zhejiang University)

## ABSTRACT

This paper describes a general purpose robot simulation system ZDRSSS. It works with man-machine interactive communication. ZDRSSS can be used for mechanism design, kinematics, and trajectory planning. The robot motion and its environment is simulated in terms of a 3D frame-structured graph. A number of design techniques have been embedded in the ZDRSSS system.

**Key words** ——Simulation; computer graphics; mathematical model; geometric model.