双臂移动机器人三维仿真与离线编程系统的研究

Research on 3D Simulation and Programming System of Dual - arm Mobile Robot

徐 化[1] 曹其新[1] 邱长伍[1] 长孙郁男[2] 横山和彦[2]
(1 上海交通大学机器人研究所,上海 200052;
2 日本安川电机株式会社机器人技术开发部,日本北九州 803 - 8530)

摘 要:文章介绍了一种双臂移动机器人三维仿真与离线编程系统。用户通过图形编程界面对机器人进行任务规划,在三维仿真环境中预览和分析规划结果,最后可将优化程序下载到真实机器人中以进行控制。系统运行于 RT - Linux 平台,采用 Java3D 实现三维仿真,能实现多机器人机制。目前该系统支持日本安川公司研制的 SmartPal 双臂移动机器人。

关键词:双臂移动机器人 三维仿真 离线编程

Abstract: This paper describes a 3D simulation and progamming system which provides dual - arm robot an easy way of 3D simulation and programming. User can program a dual - arm robot through graphical programming, preview and check motion simulation in 3D simulation, then download optimal program to actual robot controller to ensure the desired results. The system uses Java3D and VRML for 3D simulation, and runs on RT - Linux platform to ensure real - time in simulation and control. Multi - robot mechanism is realized to support cooperation between robots. The system can be used to YASWAKA company's product SmartPal which is a dual - arm mobile robot.

Key words: dual - arm mobile robot 3D simulation programming

0 引 言

双臂移动机器人具有良好的机动性,可由两个机械臂相互协调、相互配合去完成某种作业,比如独立搬运外形复杂的物体,调整被抓取物体的抓取位置,进行装配作业等等。因此,双臂机器人具有比单臂机器人更大的优越性和更广的应用场合。

但是长期以来,对双臂机器人的研究多集中在控制和算法的研究上,如果需要对双臂机器人做深入研究的话,需要从国内外知名机器人厂商购买成套硬件,其价格非常昂贵。因此,随着研究的不断深入,使用机器人仿真系统作为双臂机器人的研究,使研究者脱离昂贵的机器人工作站,进行机器人的运动学、动力学及控制方法等研究,对机器人的设计研究和实际工作前的碰撞检测将起到非常重要的作用。

针对以上情况,笔者设计了面向双臂移动机器人的三维仿真与离线编程系统。用户可以使用简便的图形化菜单进行机器人程序的快速编制,其编制的程序可以脱离真实机器人在三维仿真环境中执行,经过仿真分析后的正确程序可以通过系统下载到实际机器人中。

该系统是上海交大机器人研究所与日本安川电机株式会社合作开发的项目 GPSR(graphical programming and simulation for robot)的二期开发结果。通过该系统可进行机器人在线/离线仿真、动态分析和过程模拟。限于篇幅,文中主要叙述 GPSR 系统框架的设计和三维仿真的关键技术。

1 整体系统结构

机器人离线编程与三维仿真系统总体由 4 个层次构成:用户界面及编程工具层(UI 层)由 Java 开发;三维仿真层由 Java 3D 和 VRML 开发;实时层运行于

RedHat Linux 9.0 平台，系统实时支持由 RTLinux 3.2 完成；总体结构中的最底层由一块 PCI 接口的 I/O 卡驱动机器人伺服控制器和一块 16 路输入与 16 路输出的 I/O 驱动卡组成。

1.1 UI 层

用户界面层及编程工具层采用多文档界面风格（multi - document interface）。三维仿真和离线编程分别在不同的分离窗口中实现。UI 层中包含系统主窗口、程序窗口、仿真器调试窗口、文件浏览窗口、三维仿真调节面板、信息窗口、程序变量监视窗口、程序运行控制工具和编程元素工具。UI 层向用户提供人机交互环境和信息显示。

编程工具栏提供 4 类编程元素的图标：系统、逻辑、I/O 和运动控制。系统图标类中有程序开始、结束，ID 设置，运动学正逆向解算，位姿坐标解算等；逻辑图标类中提供 For，endFor，If，endIf，DoWhile，endDoWhile 等编程逻辑。I/O 类中提供机械手开闭、变量的运算（数值和逻辑）、外部 I/O 的输入和输出。运动控制类提供关节空间控制、笛卡儿坐标控制、增减量运动控制和直线运动控制等。编程类的图标实现了基于图形界面的输入输出对话机制。该编程元素类模拟了 C + + 语言的类似功能，使用户可以快速上手。

三维仿真调节面板提供了机器人的关节数据微调工具，用户在特定仿真环境下可以根据实际任务的要求进行微细调整。调整后的结果可以在信息窗口中记录。系统还提供了一整套编程、三维仿真、数据调节、程序优化的机器人仿真与离线编程功能。图 1 为系统 UI 界面图，其中包括了程序窗口、编程元素图标、三维仿真窗口、仿真调节面板、信息窗口等。

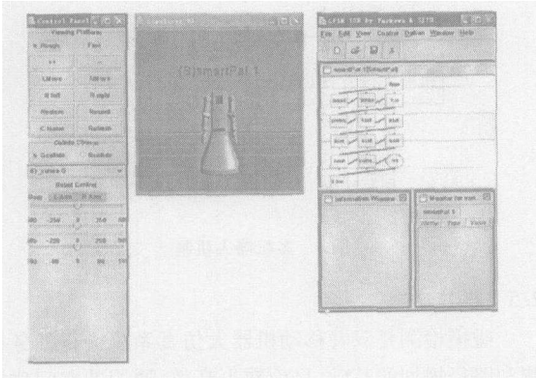

图 1 系统 UI 界面图

1.2 三维仿真层

三维仿真环境采用 JAVA 3D 和 VRML 技术。在 Linux 平台上，JAVA 3D 基于 OpenGL 驱动三维图形显示。机器人模型由 CAD 软件 UG 构建，通过 Translator 接口转换成 VRML2.0 数据格式存储，通过 JAVA 语言实现的 Xj3D 软件包加载 VRML 所描述的机器人模型数据，从而在 JAVA 3D 虚拟环境中实现虚拟装配和构建机器人。三维仿真环境提供完整的机器人运动过程仿真和碰撞检测机制，能够表达实际机器人的运行效果。仿真机器人各关节位姿以及运动轨迹的解算由 RTLab API 内核完成。

1.3 实时层

系统在三维场景中对机器人进行轨迹模拟和运动仿真时，必须能具有与真实机器人保持同步的功能，这对系统提出了很高的实时性要求。本系统采用 JNI 技术封装了底层中用 C 语言实现的控制核心 RTLab API。RTLab API 是一组用于机器人学所究的软件包，由日本安川电机株式会社机器人技术开发部基于 RTLinux（real time Linux）内核技术开发，位置控制周期为 0.5ms，故具备优良的实时性能。RTLab API 可以提供 6 自由度串联机械臂正/逆向运动学的解算。

1.4 硬件支持层

系统通过用户编程、三维仿真环境对程序进行仿真、调试和优化，最后可将程序下载到实际机器人。系统支持 ADLINK 公司的 PCI 7230 I/O 卡。该卡具备 16Bit 的 16 路输入与 16 路输出。通过该卡的 I/O 扩展可实现丰富的信号检测及交互功能，如力学传感器、限位开关的信号检测和其他扩展设备（如多指灵巧手）的输入输出控制。RTLab 基于 RTLinux 的 FIFO（first - in，first - out）管道实现机械臂的实时控制。目前 RTLab API 具备 32 个管道，其中 16 个管道用于对真实机器人的实时控制，其余 16 个管道用于对虚拟机器人的实时仿真。

2 机器人三维仿真系统

2.1 三维仿真环境的系统框架

仿真系统需要全面再现机器人与环境的互动和机器人之间的协作。全三维的虚拟场景和虚拟机器人采用不同技术构建。

虚拟场景基于 Java 3D 构建。Java 3D 通过场景图树状结构对虚拟环境进行管理。场景图基于根节点（virtual universe）展开，环境因素（基本 Java 3D 形体、灯光、雾、背景、声音）作为叶节点附在根节点上。通过 UG 软件对机器人各部分建模，并转换为 VRML 数据格式存于数据库中，随后系统通过 Java 的 Xj3D 软件包调用各关节的 VRML 数据作为节点加载到虚拟场景中，从而完成机器人的虚拟三维模型。最后按照机器人的 DH 参

数进行运动学装配，以正确反映机器人实际位置坐标。

2.2 三维虚拟机器人的构建

系统对 SmartPal 双臂移动机器人进行了三维仿真。通过三维 CAD 建模软件 UG(unigraphics)对机器人的各关节的外型结构进行了精确的建模，并通过 UG 的 translator 转换接口转换成 VRML(虚拟现实建模语言)数据格式存储。Java 通过 Xj3D 软件包加载 VRML 描述的机器人各个节点模型，在 JAVA 3D 虚拟环境中进行虚拟装配。

双臂移动机器人由 2 个机械手安装在机器人移动基座上构成。每个机械手在虚拟装配中可以看成一系列相互连接的关节部件，每个关节部件加载到 Java 3D 中后都作为一个叶节点处理。如图 2 所示，该机器人每一只机械手具有 8 个关节部件和 7 个回转关节，具有 7 个自由度；移动基座具有 X、Y 向移动和回转共 3 个自由度，故建立起具有 17 个关节部件、17 个自由度的机器人节点系统。

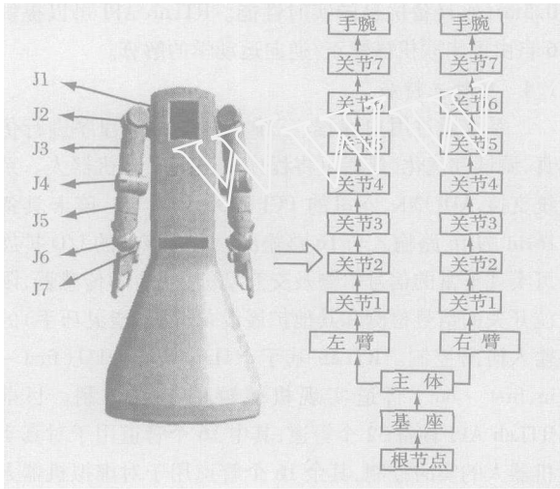

图 2 机器人虚拟装配图

在三维虚拟场景中，按照机器人的 DH 参数[5]将每一个关节定义为一个 Java 3D 节点，将每个节点定义为一个局部坐标系，运用文献[5]中介绍的计算方法，计算相邻坐标之间的变换矩阵关系，即：

$$A_i = \mathrm{Rot}(z,\theta_i)\mathrm{Trans}(0,0,d)\mathrm{Trans}(a_i,0,0)\mathrm{Rot}(x,\omega_i)$$

$$= \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i C\omega_i & S\theta_i S\omega_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\theta_i C\omega_i & -C\theta_i S\omega_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\omega_i & C\omega_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

机器人某关节末端对基座的关系为

$$^{i-1}T_n = A_i A_{i+1} \cdots A_n \quad (2)$$

通过求解得到每个关节相对于基坐标系的位置，按照此关系进行机器人的虚拟装配，保证运动仿真过程能反映实际机器人的正确位姿。

2.3 机器人的运动学仿真

机器人的正逆运动学解算由 RTLab API 完成。系统通过虚拟机器人 VRobot 类调用 RTLab API。VRobot 类中封装了机器人行为动作处理、碰撞检测等功能。用户程序在下载到实际机器人后，可选择启动仿真环境，同时创建虚拟机器人。在程序执行过程中，当执行到运动指令时，系统启动以下代码段：

```
While( motionStatus = RTLab. RtlGetJoint( theta ) >0)
{robotManager. robotMove( progName, robotType, theta) ;}
```

RtlGetJoint 在执行过程中从 RTLab API 中取得机器人实时位姿数据，写入 theta，通过 robotManager. robotMove() 接口驱动虚拟机器人以实现运动过程仿真。

2.4 多机器人机制

由于双臂移动机器人常用于智能合作的应用和研究，系统开发了多机器人机制，在同一个仿真窗口可以开启多个虚拟机器人进行任务合作。如图 3 所示，采用 Java 多线程机制实现多个机器人任务，每个机器人的实时位姿数据经 RTLab API 解算后都存储在数据池中。当监测线程检测到当前时间片运行的机器人时，系统立即唤醒该虚拟机器人并从数据池中读取数据，并根据时间片的划分来协调 RTLab API 的解算，从而规划多个机器人之间的协作。

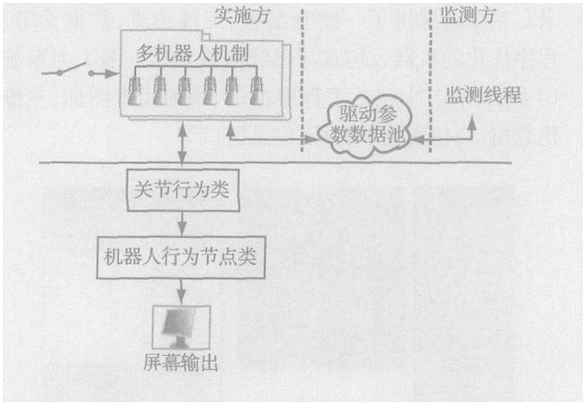

图 3 多机器人机制

2.5 碰撞检测

碰撞检测是双臂移动机器人仿真系统进行任务检测和路径规划的基础，目前缺少高效、通用的空间碰撞检测算法。本系统就此展开研究，采用 Java 3D 碰撞检测功能检测机器人在三维空间的干涉问题。

Java3D 提供 WakeupOnCollissionEntry 类以及 WakeupOn CollisionExit 类。虚拟场景图中任何对象与被

检测的对象发生碰撞时，WakeupOnCollisionEntry 都会被唤醒，当碰撞解除时，系统会唤醒 WakeupOnCollisionExit。把它们作为成对的唤醒条件加入到 Behavior 类中，就可以在 processStimulus 过程中检测碰撞并加以处理。为了在三维仿真系统中直观地表达碰撞，采取将被碰物体做高亮显示的方式来显示碰撞效果。图 4 是碰撞检测流程图，图 5 是碰撞任务效果图。

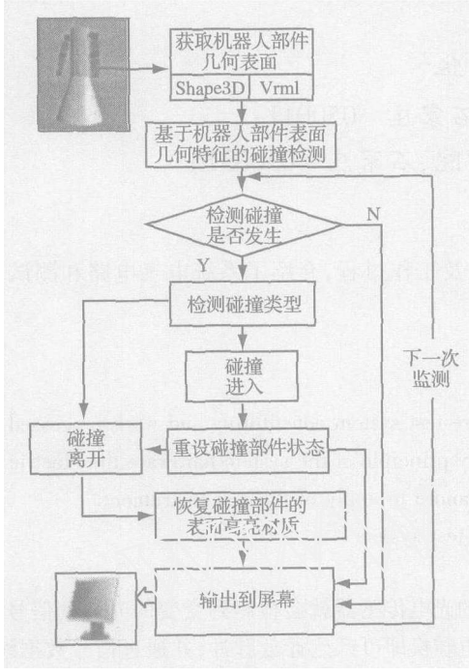

图 4 碰撞检测流程

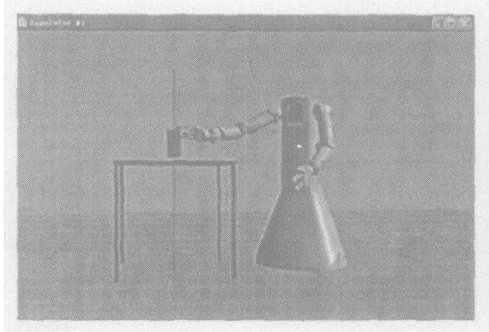

图 5 碰撞任务检测效果

3 结束语

本文提出的机器人三维仿真与离线编程系统为用户提供了一种低成本、易操作的研究平台。目前在国内还未出现同类集双臂移动机器人三维仿真与离线编程于一体的集成化系统。最后，笔者还要致谢日本安川电机公司为本研究提供了整套伺服控制机器人系统，并安排本项目成果参加 2005 年 6 月在日本爱知县举办的世界博览会。

参 考 文 献

[1] 潘周骥平，颜景平，陈文家. 双臂机器人研究的现状与思考[J]. 机器人，2001，23(2)：175－177.

[2] R&D Center YASKAWA Corporation. Instructions for RTLab API(Ver 1.1.2)[M]. YASKAWA Robotics Technology R&D Dept，2004.

SolidWorks 公司近日推出了其主打产品的最新版本

SolidWorks 公司近日推出了 SolidWorks® 2007。这款领先的 3D CAD 软件的最新版本除了有超过 200 种新特性外，还推出了 SolidWorks 智能特性技术“SWIFT”。该技术首次将 3D CAD 中最具挑战性设计的专家级技术交付到每位用户手中。

SWIFT™技术颠覆了“强大软件必然复杂”的观念，在简化软件使用的同时还带来了效率的指数级增加。例如，以前 3D CAD 应用程序需要设计团队耗费宝贵的时间来确定其生成零件特征（如草图和圆角）的顺序。SolidWorks 2007 改变了这一切，让 SWIFT Feature Xpert 能自动以设计师所需的正确顺序生成新的特征。这样，设计师可以将更多时间投入到手头的工作上。

SWIFT 为 SolidWorks 2007 带来了诸多增强特征，其中 90% 都是直接根据客户反馈而产生的。这些增强特征将共同发挥作用，以帮助用户设计出更好的产品。

SolidWorks 2007 包括一系列其他新的绘图增强特性，使用户能更轻松有效地将 2D 工程图转化为 3D 模型，并生成完整、专业和可交付生产的 2D 文件。