

doi: 10.7690/bgzdh.2014.09.010

基于 JACK 的虚拟人维修动作生成设计

王华, 陈永科, 杨艾军, 何伟

(解放军陆军军官学院军事训练教研室, 合肥 230031)

摘要: 针对动作仿真软件 JACK 已不能满足虚拟维修训练和仿真需要的问题, 设计基于 JACK 软件的虚拟维修动作生成系统。在分析某型防空火箭武器系统维修性的基础上, 构建虚拟人维修动作生成系统的基本框架, 根据我国国情对 JACK 软件人体模型的相关参数进行调整, 在构建了虚拟人树形分层模型后, 对 IK 算法进行改进, 使生成的动作连贯、自然、流畅, 并将生成的维修动作转化为 JackScript 脚本, 在 JACK 仿真软件中进行虚拟人的维修动作仿真。当前这种维修动作生成设计已应用于某型防空火箭武器系统虚拟维修仿真中。

关键词: 虚拟人; 维修动作; 逆向运动学; 虚拟样机

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Virtual Human Maintenance Motion Generation Design Based on JACK

Wang Hua, Chen Yongke, Yang Aijun, He Wei

(Staff Room of Military Training, Army Officer Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: The motion simulation software JACK can't meet the requirements of virtual maintenance training and simulation, design virtual maintenance motion generation system based on JACK software. Based on analyzing certain type air defense rocket weapon system maintenance, establish basic frame of virtual human maintenance motion generation system. According to domestic situations, debug corresponding parameters of JACK software human model, after establish virtual human tree stratification model, improve IK algorithm to make the motion coherent, natural and fluent. At last change the maintenance motion into JackScript script, simulate virtual human maintenance motion in JACK simulation. The design has been applied into certain type air strike rocket weapon system virtual maintenance simulation.

Keywords: virtual human; maintenance motion; inverse kinematic; virtual prototype

0 引言

提高装备的维修性对于提高装备效能, 减少寿命周期费用具有重要意义^[1-2]。多年以来, 维修人员通过在实际装备上的操作进行训练, 提高技能, 这种方式效率低, 训练成本高, 越来越不适应新形势下维修训练的要求。相对于实物维修训练, 虚拟维修训练具有费用低、安全、不受场地和时间等条件限制等特点, 在维修训练中发挥着越来越大的作用。

在虚拟维修训练和仿真中, 维修的可达性、可视性、维修舒适性、维修疲劳性等都需要在虚拟人的动作仿真过程中进行分析和评估, 因此虚拟人的动作仿真在虚拟维修仿真中起到重要作用^[3-4]。JACK 是一个专门用于虚拟人动作仿真的软件, 能进行虚拟人动作仿真和过程分析。但由于装备的维修操作太过复杂, 并且人体模型具有高自由度的特点, 使自动化生成逼真的维修动作变得十分困难, 而手工编辑维修动作的效率又非常低, 不能满足虚拟维修训练和仿真的需要。

逆向运动学方法在虚拟人运动控制领域有着广

泛的应用^[5-7]。逆向运动学方法通过给定虚拟人运动关节末端效应器的位置来反求出其他关节的运动信息, 实现虚拟人的运动^[8]; 因此, 笔者在对某型防空火箭武器系统维修性分析的基础上, 用虚拟人进行维修动作的仿真, 对基于 JACK 软件的虚拟维修动作生成系统进行了初步设计。

1 系统设计思路和基本框架

1.1 某型防空火箭武器系统维修特点

某型防空火箭武器系统具有结构复杂、功能层次多、系统种类多、自动化程度高、不同部分之间互相关联耦合紧密的特点, 具有复杂装备的维修特点, 包括维修任务的复杂性、维修作业的网络化、维修时考虑不同单元重要度、维修知识多样性等。

其虚拟维修动作仿真具有如下特点: 1) 动作精度要求高; 2) 虚拟人和虚拟样机交互时约束条件多; 3) 虚拟维修动作复杂。

针对以上特点, JACK 软件虽然能实现人体模型的基本运动仿真控制, 但研究发现, 对于一些精度要求高的维修动作的仿真还存在一些不足, 需要

收稿日期: 2014-04-13; 修回日期: 2014-05-07

基金项目: 依托军队“十二五”装备维修预研项目(51327010204)

作者简介: 王华(1976—), 男, 湖北人, 博士, 讲师, 从事虚拟现实和仿真研究。

采用其他方式进行改进。

1.2 设计思路

虚拟人维修动作生成系统的主要设计思路为：

- 1) 建立虚拟人运动模型和某型防空火箭系统的虚拟样机。
- 2) 结合 JACK 仿真软件的特点，构建维修动作层次化模型。
- 3) 把维修动作分为目标接近阶段(target approaching, TA)与目标到达阶段(target overlapping, TO)2个阶段^[9]。TA段采用 JACK 软件中提供二次开发 IK 函数实现求解。针对接近目标时 JACK 软件计算的动作不连贯、不精确问题，采用改进的 IK 算法实现 TO 段求解。
- 4) 将动作生成结果转化成 JavaScript 脚本，完成虚拟人维修动作的生成。

笔者对虚拟样机的生成和 TA 段的维修动作不做讨论，重点分析 TO 阶段改进的 IK 算法生成维修动作。

1.3 设计基本框架

维修动作生成系统的基本框架如图 1 所示。虚拟样机、虚拟人模型和虚拟人动作库为动作的生成提供支撑。首先构建层次化动作模型，将维修动作分解后在 TA 段由 JACK 工具的动态库函数生成动作，对于 TO 段的动作由改进的 IK 算法生成动作，最后将生成的结果转化为 JavaScript 脚本，在 JACK 软件中展示整个虚拟人的维修动作。

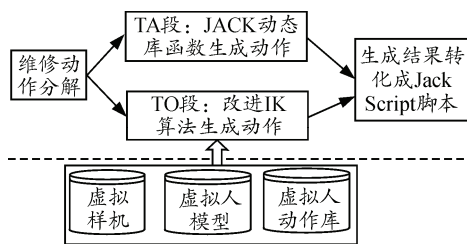


图 1 维修动作生成系统基本框架

2 虚拟人模型

在计算机仿真中，虚拟人的表示方法主要有骨架模型、表面模型和体模型。JACK 软件中的人体模型在骨架模型的基础上构建的。在该模型中，骨骼与骨骼之间通过关节(joint)连接起来，可以把关节视作铰点，关节是有自由度的，这种模型可以准确地描述出人体骨骼与关节的运动关系，进而形成人体运动模型。该模型具有层次化的结构，如图 2。

由于 JACK 软件建立虚拟人体模型更适合欧美

人，对我国并不适用，需要进行调整。笔者根据 GB10000—88 《中国成年人人体尺寸》中的男子(18~60岁)数据，对 JACK 软件人体模型的相关参数进行调整，使之更适合我国国情。笔者生成了中国男子/女子 1%、5%、10%、50%、90%、95%、99%百分位的 7 组人体模型，供维修仿真试验使用。

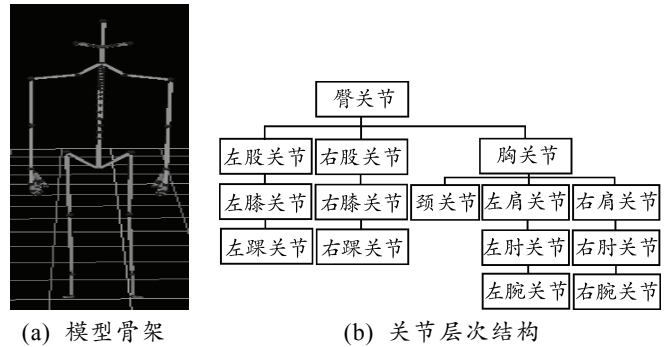


图 2 虚拟人模型层次结构

3 层次化动作模型的建立

虚拟人动作的分层设计思想是根据维修任务分解后的各个过程，将维修动作进行层次化分解，笔者按照文献[10]分层设计思想，对每个维修过程的维修活动进行层次化构建，自下而上依次为动素层、动作层、作业层。

动素(motion element)即动作元素，如行走中的摆臂、伸腿等，描述 1 个或几个关节的一小段运动轨迹，不与任务语义相关。

动作层主要由动作单元(action unit)构成，动作单元是根据相关语义规则由若干动素组成，如走、跑、托举等动作单元，这些动作单元仍然不与维修任务相关。

作业层由作业单元(task unit)构成，作业单元简称作业，它是在动素和动作单元的基础上面向特定维修任务构造的，如安装顶盖、拆卸机壳等。作业单元用来描述虚拟人模型为达到一较小的维修目标而需完成的各项维修活动的总称，可以通过对具体维修任务的分解来得到这些维修目标。

图 3 是维修任务分解后，人体移动的维修动作层次化模型。

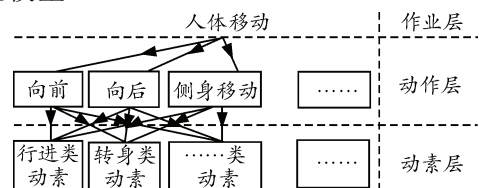


图 3 层次化动作模型

JACK 软件提供了基本动作模块，按上述层次

化维修动作设计思路，对其进行封装，生成动作库模块：

- 1) *lxjWalkMotion*：行进和姿态调整动素，提供动素接口函数；
- 2) *jsaMotionInterface*：操作动作接口，提供动作接口函数；
- 3) *jsaArmMotion*：徒手操作动作，提供动作对象定义；
- 4) *jsaToolMotion*：工具操作动作，提供动作对象定义；
- 5) *jsaHandMove*：操作动素，提供动素对象定义；
- 6) *jsIK*：逆向运动学模块，提供手臂逆向运动学对象定义。

动作库模块的结构及相互关系如图4所示。

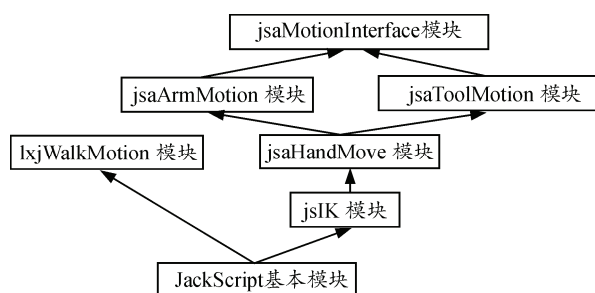


图4 动作库模块结构

4 改进的 IK 算法

4.1 逆向运动学问题概述

在构建了虚拟人树形分层模型后，关节和骨骼就构成了运动链。利用运动链对运动进行控制主要有2种方法：正向运动学和逆向运动学。正向运动学实现的是在给定运动链或人体模型上各个关节旋转角度的基础上，求解出末端效应器的空间位置信息。在本课题中，在虚拟人模型上就是确定各个关节的旋转角后，计算出操作手的空间位置。

但在实际维修动作仿真中，要实现维修，必须使维修操作手到达维修点，即需要在维修操作手空间位置确定的情况下，反推虚拟人模型各关节应有的角度，这就是逆向运动学要解决的问题。逆向运动学问题是已知末端效应器的位置，求解使末端效应器到达指定位置而各关节最终需要旋转的角度。

4.2 改进的 IK 算法原理

当前传统的逆向运动学方法可以较好地解决目标接近阶段的维修动作生成，但对于本课题中的某

型防空火箭武器系统的维修动作仿真中，由于维修任务的复杂、动作精度要求高，维修动作在目标到达阶段 JACK 提供的逆向运动学二次开发函数生成的虚拟动作不连贯，某些特殊动作的求解没有收敛，导致动作仿真时抖动频繁，不能满足精确维修仿真的需要，因此需要对 IK 算法进行改进，使生成的动作连贯、自然、流畅。

如图5所示，2关节的模型中，关节A对应的关节角为 a ，关节B对应的关节角为 b ，关节臂长度均为10，末端效应器到目标点的矢量记为 $error$ 。

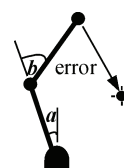


图5 二关节的模型

改变 a, b 的取值，则可以直接计算出末端效应器到目标点的距离。笔者以 a 为 X 轴， b 为 Y 轴，到目标点的距离用图像的灰度值表示，绘图如图6。

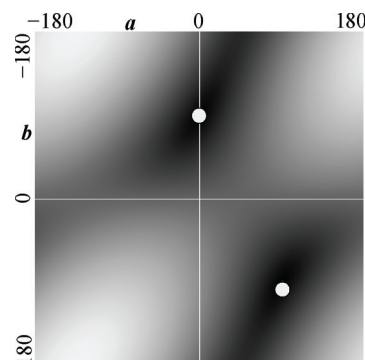


图6 二关节的模型

图6中标记的两点最黑，换句话说，在这两点的末端效应器到目标点的距离最近，即最后的求解结果。因此，虚拟动作的生成转化为从初始位置移动到目标位置的路径的求解。

1种典型情况如图7所示，目标点为D所在的位置，旋转关节A一个很小的角度，末端效应器会向矢量 a 方向移动，旋转关节B一个很小的角度，末端效应器会向矢量 b 方向移动。很显然，末端效应器到目标点的方向为矢量 t 方向，矢量 b 方向的移动垂直于矢量 t ，矢量 a 有助于移动到目标点。

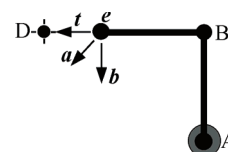


图7 典型关节移动示意图

对于一般情况，如图 8(a)所示，为了快速地从初始点移动到目标点，同时尽量使维修动作连贯、平滑，可以沿灰度图梯度方向生成移动轨迹，如图 8(b)所示，初始点为 start，沿梯度方向移动到 P 点，再转移到目标点 target。

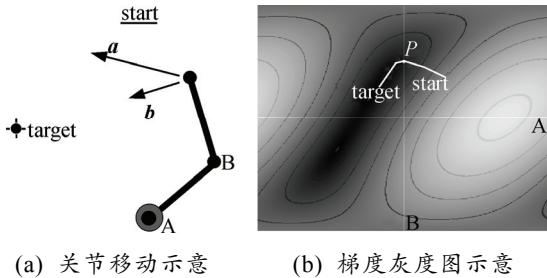


图 8 按梯度方向移动示意图

这种改进的 IK 求解方法的优点是在动作变化过程连贯、平滑，不会产生波动，但不是直接移动到目标点，沿梯度方向移动轨迹的计算需要迭代完成。其关键代码如下：

```
function Calc_Distance(angle_A, angle_B) //已知关节角 a 和 b，计算末端效应器到目标点距离函数
dist = Calc_Distance(a, b)
while (dist > 0.1)
{
    gradient_a=Calc_Distance(a+1,b)-Calc_Distance(a-1, b)
    gradient_b = Calc_Distance(a, b+1)-Calc_Distance(a, b-1)
    a -= gradient_a
    b -= gradient_b
    dist = Calc_Distance(a, b)
}
```

5 维修动作转化为 JavaScript 脚本

与 JACK 相关的有 3 种语言：JavaScript、Tcl/Tk 和 LISP。

JavaScript 是为 JACK 工具包提供服务的脚本系统，使用了 Python 编程语言并将其嵌入到 JACK 软件中。它封装了 JACK 产品的核心基本功能，并扩展了相关用途。与其他脚本系统不同的是，JavaScript 是 1 个面向对象的脚本系统，系统中可以使用变量，这些变量是对对象的引用(如虚拟角色、关节等)。JavaScript 除了具有一般 Python 语言的功能外，还增加了在 JACK 软件系统中的虚拟人实体对象模型的映射^[11]。

许多 JavaScript 命令带有一些可选参数，这些参数描述了它应该如何实现某种仿真目标，执行

JavaScript 命令，开始制作动画。每个能够 JavaScript 命令在生成动画后都会返回 1 个 Action 对象。通过这些动画对象和几个简单的特殊命令序列，用户可以构建或组合生成复杂的动画脚本，实现复杂维修动作仿真功能。构建复杂仿真动作的能力是 JavaScript 动画的主要特点之一。正是由于 JavaScript 在编辑和生成维修动作仿真上具有优势，采用 JavaScript 脚本生成仿真动画。

JavaScript 脚本和 JACK 软件系统协同仿真的流程如下：

- 1) 当该工具包是从主机应用程序启动时，通过调用 jcKit:: Init 实现初始化。JavaScript 会自动在其默认状态加载，这时它可能已经进入到 JACK 软件系统的内部循环。
- 2) 调用 jcSim:: advance 给 JACK 软件系统发送一个心跳数据，实现 JavaScript 和 JACK 软件系统的同步。
- 3) 通过 C++程序调用编写好的 JavaScript 脚本函数，实现维修动作的仿真。

如实现一个虚拟人在 5 s 内从位置(0,0,0)移动到(200,0,200)的 JavaScript 脚本代码是：

```
from js import *
def t():
    human = CreateHuman()
    human.Walk( (200, 0, 200), duration=5)
```

C++程序调用代码为：

```
jcPy::evalSimple("import t");
jcPy::evalSimple("t.t()");
```

维修动作生成脚本时，一系列的動作可以封装为 1 个函数，最后对多个进行合并，生成一整套维修动作的 JavaScript 脚本，供 JACK 仿真软件调用，展示其虚拟人的维修动作，如图 9。

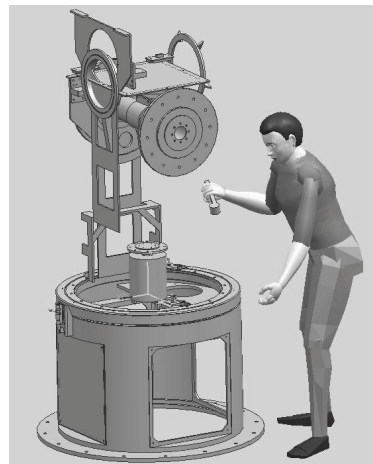


图 9 维修动作生成效果

6 小结

在对某型防空火箭武器系统维修性分析的基础上,笔者对基于 JACK 的虚拟维修动作生成系统进行了初步设计,并提出一种两阶段方法,把虚拟维修动作生成分为目标接近阶段与目标到达阶段。在目标接近阶段应用 JACK 提供的二次开发 IK 模块快速求解;在目标到达阶段,提出改进的 IK 算法,利用关节角沿梯度变化计算运动变化轨迹,使动作变化过程相对连贯、平滑。最后将生成的维修动作转化为 JackScript 脚本,在 JACK 仿真软件中进行虚拟人的维修动作仿真。

参考文献:

- [1] 甘治茂. 军用装备维修工程学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999: 1-33.
- [2] Badler N. Virtual Humans for Animation, Ergonomics, and Simulation[C]//In: IEEE Proceedings of Non Rigid and Articulated Motion Workshop, 1997.
- [3] Bowen LR, Kenney PJ. Training the Hubble Space Telescope Flight Team[J]. IEEE Computer Graphics and

Applications, 1995, 15(5): 31-37.

- [4] Biman D, Aruit K. Computer Aided Human Modeling Programs for Workstation Design[J]. Ergonomics, 1995, 38(9): 1958-1972.
- [5] Glor PJ, Boyle SE. Design Evaluation for Personnel Training and Human Factors(DEPTH)[C]//In: Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1993.
- [6] Ranko V. Maintainability Analysis in Concurrent Engineering of Mechanical System[J]. Research and Applications, 1995, 3(1): 28-36
- [7] 常高祥, 徐晓刚, 张雷. 虚拟维修中虚拟人的动作模型设计[J]. 工程图学学报, 2011(1): 89-95.
- [8] Badler N I, Erignac C, Liu Y. Virtual Humans for Validating Maintenance Procedures[J]. Communication of the ACM, 2002, 45(7): 56-63.
- [9] 毛小松, 张锡恩, 袁德国, 等. 一种虚拟维修动作生成的两阶段方法[J]. 系统仿真学报, 2009(14): 34-36.
- [10] 卢晓军, 李焱, 贺汉根, 等. 维修仿真中虚拟人动作数据库的研究与实现[J]. 计算机仿真, 2006, 23(1): 187-190.
- [11] 杨宇航, 苏曼迪, 李雅峰. 基于 Transom Jack 仿真支持平台的维修仿真系统[J]. 计算机工程与设计, 2006(7): 100-102.

(上接第 32 页)

以机床振动分析为例,在深孔加工过程中,机床与刀杆的刚性直接影响到拉削时的稳定性,通过 Pro Engineer 的 mechanica 模块可得到机床(如图 3 所示)和刀杆(如图 4 所示)的各阶振型,可有力指导机床设计,避免机床共振情况的发生。

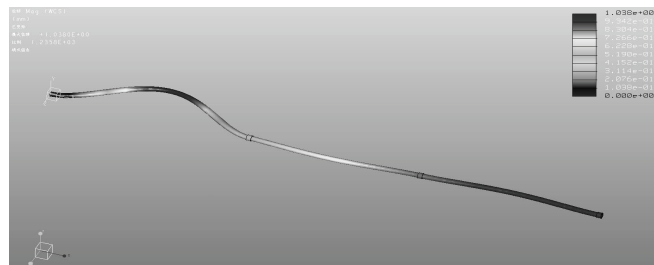


图 4 机床拉杆某阶振型

4 结束语

从多年的实际生产情况来看,通过采用数控拉削工艺和数控深孔拉床加工各特种深孔沟槽,可有效提高加工质量和效率。笔者所述工艺及设备具有很好的推广前景。

参考文献:

- [1] 王世清. 深孔加工技术[M]. 陕西: 西北工业大学出版社, 2003: 10-22.
- [2] 陈昌金, 尹健. 虚拟样机技术在数控深孔螺旋拉床整机设计中的应用[J]. 兵工自动化, 2008, 27(2): 65-67.
- [3] 王昕, 何沛霖. 大型汽轮发电机转子线圈槽衬加工机床[J]. 兵工自动化, 2013, 32(4): 40-41.