

机械系统运动仿真中用户输入函数的求解和实现

周一鸣 袁泉 张旭

(中国农业大学车辆工程学院)

摘要 在对机械系统运动仿真中用户输入函数进行分析研究的基础上,采用 C++ 语言和面向对象的方法实现了对用户数据文件中函数的自动查找、识别、存储、分析、读取直至调用的功能。采用适合的数据结构存储函数信息,并用一内嵌式程序语言解释器对其进行分析。建立了实现这些用户输入函数功能的通用组件(函数库),供求解计算时方便调用。分别采用笔者开发的仿真软件和 ADAMS 软件对实例进行了仿真分析,二者结果基本吻合。

关键词 机械系统; 运动仿真; 用户输入函数; 面向对象方法

分类号 TP 391.72; TH 122

Solution and Realization of Users-Input Functions During Motion Simulation of Mechanical System

Zhou Yiming Yuan Quan Zhang Xu

(College of Vehicle Engineering, CAU)

Abstract It is important and difficult to solve the problem of users-input functions during the motion simulation of mechanical system. The users-input functions and their characteristics are described. Searching, identifying, saving, analyzing and getting the functions are realized automatically, and a general model including the functions is developed on the basis of the language C++ and the object-oriented modeling method. In this model, a proper data structure is developed to store the information of functions, and a tiny programming language interpreter is designed and embedded to analyze the functions. The calculation of the functions is provided by this model. A typical example for the motion simulation of a manipulator is given and the results are compared with ADAMS to show that the method is feasible. So the motion simulation can be realized by the software system.

Key words mechanical system; motion simulation; users-input functions; object-oriented method

机械系统运动仿真是指利用计算机对机械系统实际工作中的运动和受力等情况进行模拟,仿真技术为研究人员在设计过程中对设计方案进行检验和考核提供了有效手段^[1]。机械系统运动仿真技术是建立在多体系统动力学理论和先进的计算机实用技术基础上的新技术,仿真所分析和解决的问题主要包括静力学、运动学和动力学等方面;实现仿真的软件包括前处理、求解器和后处理 3 个组件,其中求解器是核心部分。一般地,用户通过前处理组件建立起机

收稿日期: 1999-09-28

高校博士点基金资助项目

周一鸣,北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)206 信箱,100083

机械系统模型, 然后通过求解器进行求解, 给出计算结果, 最后由后处理组件实现动画显示和曲线图输出。

在机械系统运动仿真的求解计算过程中, 需要处理大量由用户输入的专用函数, 如数学函数、运动函数和力函数等。通过计算机实现这些函数功能的工作非常重要, 关系到运动仿真算法的实现和仿真软件的实际应用, 其中既包括用于基本的数学和数值计算的函数, 也包括取得机械系统运动和力的参数的函数。对函数的处理是运动仿真的技术难点: 一方面用户使用的函数多种多样, 其参数、形式和功能各不相同, 通过输入的数据文件体现出来; 另一方面为使用户在使用这些函数时能自然方便地直接调用, 对用户通过数据文件输入的专用函数, 程序必须能够自动实现从查找、识别、分类、存储和读取直至调用这样比较复杂的功能。采用面向对象方法及其建模技术^[2], 因其追求现实问题空间与软件系统解空间的近似和直接模拟, 比较适合用于机械系统运动仿真软件的开发, 应用此种技术也解决了用户输入函数的求解和实现问题。

1 用户输入函数的分类

参照著名的 ADAMS 仿真软件和实现该软件功能的 FORTRAN 语言中的函数, 机械系统运动仿真软件中涉及到的由用户输入的函数共有 80 多个, 可分为 4 类(见表 1)。这些函数所带有的参数多种多样, 其中主要包括常量、变量、数组和函数; 参数类型包括整型、实型、双精度型和字符型; 参数数目从 1 到 8 个不等。

表 1 机械系统运动仿真中涉及的用户输入函数

常用数学函数	通用和插值函数	运动函数	力函数
绝对值 abs	多项式 poly, cheby	位移 dx, dy, dz	标志点的力 fx, fy, fz, fm
正差 dim	简谐 shf	角位移 ax, ay, az	标志点的力矩 tx, ty, tz, tm
指数 exp	正弦级数 forsin	转角 psi, theta, phi	实际力 gforce, nforce
对数 log, lg	余弦级数 forcos	yaw, pitch, roll	实际运动副的力 jint
求余 mod	阶跃函数 step	线速度 vx, vy, vz,	虚设运动副的力 jprim
舍入 nint, anint, int, aint	havsln	vm, vr	高副约束力 ptecv, cvecv
三角 sin, cos, tan	插值/样条 akspl	角速度 wx, wy, wz, wm	弹簧-阻尼器的力 spdp
反三角 arcsin, arccos,	cubsp1, curve	线加速度 accx, accy,	衬套力 bush
arctan	接触碰撞 impact	accz, acan	实际力场 field
双曲 sinh, cosh, tanh	bistop	角加速度 wdtx, wdy,	实际单向力 sforce
符号传送 sign	分支逻辑控制 if	w dtz, w dtm	实际力向量 vforce
开平方 sqrt		实际运动分量 motion	实际力矩向量 vtorq

2 用户输入函数的读取与存储

若要实现函数功能, 首先必须将用户数据文件中的函数信息提取出来。有些函数经常出现嵌套结构, 比如常用的近似阶跃函数 STEP() 等, 为此还应判断函数的参数是否为嵌套的另一(或同一)函数, 这也是函数读取和存储时的一个难点。

对用户通过前处理组件建立起来的用于仿真分析的机械系统模型数据文件, 要在求解器中读取。函数的读取包括查找、识别、分类和存储等项工作。在用户建立的数据文件中, 函数主

要出现在力(FORCE)和运动(MOTION)的描述部分。读函数时,在该文件中全程查找FORCE和MOTION的相应部分,找到后将它们各项信息分别提取和存储,包括所在构件、力、运动和运动副及其类型,然后读取函数名称、返回类型及其各项参数等函数的相关信息。先将函数的这些信息以字符串表达式形式存储起来,然后通过自编的内嵌式程序语言解释器进行词法分析和语法分析,了解函数表达式所代表的意义^[3]。

运用C++语言及面向对象方法,采用顺序链表的数据结构FuncList进行存储^[4],这样的结构比较适合存储机械系统运动仿真的用户输入函数。为此,在程序中建立了Function类,其中以字符串表达式形式存放函数的所有信息。如下给出了实现Function类的源程序部分。

```
class Function
{
protected:
    char expression[128];
public:
    void SetFuncExpression(const char * expr);    存放函数表达式
    virtual int& DKey()= 0;
    friend class MSS - Simulate;
}; class Function
```

3 函数功能的设计实现

在前面对函数进行了表达式分析并确定无误后,就可以区分出函数的类型、名称、返回类型及其参数等相关信息。函数功能由通用函数库来实现。利用C++语言采用穷举方法,在程序中编制出由各常用函数组成的一个通用函数库,利用逻辑判断匹配方法在其中查找用户数据文件中出现的是哪一种函数,然后调用相应函数实现其功能,从而得出计算结果。

下面以滑动摩擦力近似函数 $F_m(\mu, F_n, v_t, v_{cr}, t)$ 为例介绍函数功能的实现。该计算模型是在库仑滑动摩擦模型方法的基础上加以改进而得到的,即引入临界相对速度随时间的变化规律,从而避免了在静摩擦力与滑动摩擦力之间存在的不连续突变,以及由此造成的数值发散的计算困难。

$$F_m(\mu, F_n, v_t, v_{cr}, t) = \begin{cases} 0 & v_t = 0 \\ -2/\pi\mu F_n \arctan(v_t/v_{cr}) t & v_t \neq 0 \end{cases}$$

式中: F_m 为滑动摩擦力,N; μ 为滑动摩擦因数; F_n 为法向力,N; v_t 为切向速度, $m \cdot s^{-1}$; v_{cr} 为发生滑动时接触体之间的临界相对速度, $m \cdot s^{-1}$; t 为相对滑动速度方向上的单位向量。其中 v_{cr} 的大小决定了该数学模型与实际呈阶梯状变化的摩擦力的接近程度。实现上述模型的程序如下:

```
double MSS - Simulate:: s - fric()
{
    double value, u, fn, vt, vcr, t;          函数的参数
    if(match(LP)) {                          单词匹配检查
        advance();                            读下一词文
        u = expr();                          计算表达式当前值
    }
```

```

assert(m atch (COMMA));           匹配逗号
advance ();
fn= expr ();
assert(m atch (COMMA));
advance ();
vt= expr ();
assert(m atch (COMMA));
advance ();
vcr= expr ();
assert(m atch (COMMA));
advance ();
t= expr ();
if(m atch (RP)) {
    advance ();
    if(vt= 0);
        value= 0;
    else
        value= - 2/pi * u * fn * (: : arctan (vt/vcr)) * t;   计算函数值
} else
    cerr<< function s - fric: M is m atched parenthesis \n ;   提示出错信息
} else
    cerr<< function s - fric: Parenthesis expected \n ;
return value;
} double M SS - Sim ulate: : s - fric()

```

4 应用实例

图 1 所示为一斯坦福机械手。除约束 2 外其余 5 个约束处的相对速度依次为 $0.001\pi + \arcsin 0.53 \arctan 1.0 - \sin(3.7, 2.2) \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, $2\text{step}(t, 0, 0, 0.1, \pi) \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, $-50.0 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, $0.5\pi \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $0.4\pi \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ 。该模型的用户数据文件中含有几个常见的用户输入函数, 如: 反三角函数 $\arcsin()$ 、多项式函数 $\text{poly}()$ 和近似阶跃函数 $\text{step}()$ 等, 部分用户数据文件如下:

```

M S M S/model name: robot
.....
! ----- CONSTRAINTS -----
!
!                               m s n s - name= MOT 1
MOT DN /1

```

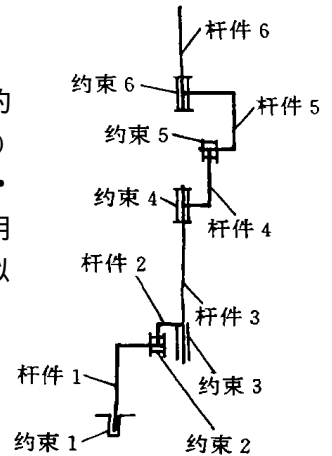


图 1 机械手示意图

```

, ROTATIONAL, VELOCITY, JOINT= 1
, FUNCTION= 0.001 * pi+ arcsin(0.53) * arctan(1.0)- dim(3.7, 2.2)
!, FUNCTION= POLY(time, dtor, pi, - 2, 5.0, 0, 0, 0, 23.0, - 342.0, 0, 0, 1)
!, FUNCTION= 0.01 * DY(1, 6) * PI
!, FUNCTION= - 2.0 * pi
!
!
!                               m s m s - name= MOT2
MOTION/2
, ROTATIONAL, VELOCITY, JOINT= 3
, FUNCTION= 2.0 * step(time, 0, 0, 0.1, pi)
.....

```

对该模型中出现的用户输入函数通过前述方法进行处理和求解, 从而进行运动仿真计算。分别采用本课题中所开发的仿真软件和ADAMS软件对该机械系统进行仿真分析, 所得结果基本吻合(图2)。

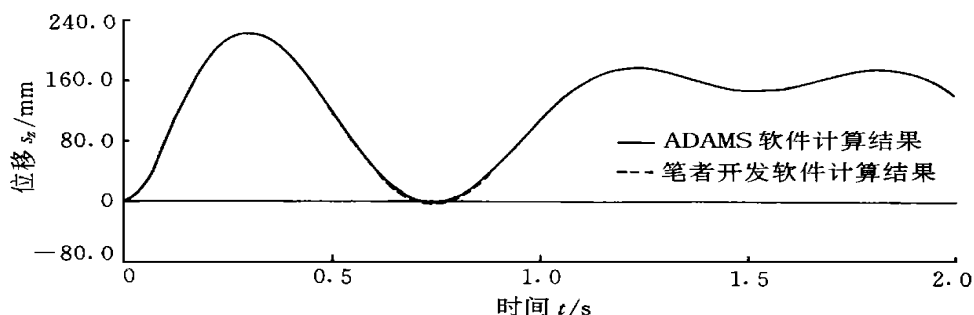


图2 用自编软件和ADAMS软件分析末级构件位移 z 分量结果比较

5 结束语

利用C++语言及面向对象的方法, 提出并设计实现了机械系统运动仿真软件对用户通过数据文件输入的专用函数的读取、存储和求解计算。采用适合的数据结构存储函数信息, 并用内嵌式程序语言解释器进行函数表达式分析, 解决了函数的嵌套、组合、多样性、混合运算和信息冗余等问题。开发的用于实现用户输入函数功能的函数库, 具有结构简单、易于扩充、调用方便和通用性强的特点, 是机械系统运动仿真求解器的重要组成部分。

参 考 文 献

- 1 常思勤 车辆及其发动机CAD技术 北京: 北京理工大学出版社, 1996 183~ 191
- 2 Coad P, Yourdon E 著 面向对象的设计 邵维忠, 廖钢城, 苏渭珍, 等译 北京: 北京大学出版社, 1995 25~ 51
- 3 张旭 机械系统虚拟样机技术的研究: [学位论文], 1999 34~ 37
- 4 严蔚敏, 吴伟民编著 数据结构 北京: 清华大学出版社, 1997 27~ 35