

# 基于可视化计算的图形建模及参数寻优环境的设计与实现

张延华

(北京工业大学电子工程系, 北京 100022)

许阳明

(Sarcos Research Corp UT, 84103, USA)

**摘要** 研究了复杂非线性系统参数优化环境的可视化建模技术及软件实现问题. 应用先进的仿真技术, 采用面向对象和结构化设计方法, 通过通用软件实现了复杂系统参数自动寻优环境的高度可视化的一体化; 与基于常规高级和谐设计语言的参数寻优方法相比, 该方法不仅不用传统程序代码对算法编程, 而且可方便地对系统进行多参数自动迭代寻优试验及进行智能化分析.

**关键词** 非线性系统 可视化 建模 参数优化

中图分类号: TP391.72 文献标识码: B 文章编号: 1006-8961(2000)01-0080-05

## Design and Its Implementation for Visual Modeling and Parameter Optimization Environment

ZHANG Yan-hua

(Department of Electronics Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)

XU Yang-ming

(Sarcos Research Corp UT, 84103, USA)

**Abstract** The paper presents a visual modeling and parameter optimization approach using advanced simulation techniques and object oriented approach for complex nonlinear systems. By creating integrated simulation frame, a parameter optimization environment with graphical modeling and visual simulation is built for the complex nonlinear systems with SIMULINK 2.2. Compared to the parameter optimization approach with conventional computer advanced programming language, this method is programming free and can be engaged in intelligent analysis and multiparameter auto-iteration optimization test.

**Keywords** Nonlinear system, Visualization, Modeling, Parameter optimization

## 0 引言

最优化方法是对各类极值问题进行数值求解的过程. 由于现代自然科学和工程设计问题日益复杂化, 人们对极值问题的求解也相应提出了更高的要求. 在自适应滤波, 最优控制等复杂系统的参数优化

问题研究中, 可视化建模、最优化环境作为先进寻优方法的重要组成部分现已引起人们的普遍重视<sup>[1-3]</sup>. 近年来随着科学计算可视化、多媒体以及计算机办、硬件技术的发展<sup>[4,5]</sup>, 为应用先进可视化技术进行各类复杂极值问题的数值迭代求解提供了新的方法和平台. 它在可视环境中完成对复杂系统从模型转换、图形化到参数寻优的各个阶段的全面动

态分析试验以及演示论证, 以便可以事先检验新设计、新方法和新技术的有效性、寻优的可行性等等. 与常规参数优化方法相比, 该方法不但起点高、技术先进、结果可靠, 而且可方便地对系统建模及控制器、滤波器参数进行智能化设计和鲁棒性分析.

本文基于可视化计算技术, 讨论复杂非线性系统的图形化建模及可视化参数寻优问题, 应用先进仿真软件 SIMULINK2. 2<sup>[6]</sup>, 采用结构化设计方法及面向对象的交互式建模、仿真技术, 经二次开发对复杂系统参数优化过程建立了优化模型库、算法库和数据库; 并支持这些相关资源的无缝链接及调用, 实现了整个参数自动寻优环境的高度可视化和一体化. 同时, 这种可视化寻优方法亦可方便地应用于各类线性和非线性动态系统的建模与仿真研究中.

## 1 参数最优化问题的描述

### 1.1 参数优化模型

参数最优化就是在设计向量  $\alpha = [\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_{i-1}, \alpha_i]^T$  的可行域内, 寻找一组最优参数值  $\alpha^* \in \alpha$ , 使目标函数  $J = f(\alpha^*)$  取最小(或最大)值.

对参数优化问题, 如果设计变量  $\alpha$  是一组参数, 则当设计问题是  $r$  维时, 有

$$\alpha = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r]^T \quad (1)$$

显然, 此时  $\alpha$  是由  $\alpha$  组成的欧氏向量空间  $E^r$  (既设计空间) 中的一个定点, 可以表示为  $\alpha \in E^r$ .

当设计变量为参数时, 目标函数通常可描述为

$$J = f(\alpha) = f(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r) \quad (2)$$

根据(1)和(2)式, 参数优化数学模型的一般形式可由(3)式表示

$$\min_{\alpha \in D} f(\alpha) \quad (3)$$

其中目标函数  $f(\alpha)$  是实值函数,  $D$  为  $f(\alpha)$  的定义域. (3)式也可以写成更一般的形式

$$\min_{\alpha \in D} f(\alpha) \quad (4)$$

$$s. t. \quad d(\alpha) = 0 \quad (5)$$

$$h(\alpha) \leq 0 \quad (6)$$

式中,  $\alpha = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_r]^T$  是  $r$  维设计向量,  $d(\alpha) = [d_1(\alpha), d_2(\alpha), \dots, d_p(\alpha)]^T$  是  $p$  维等式约束, 而  $h(\alpha) = [h_1(\alpha), h_2(\alpha), \dots, h_q(\alpha)]^T$  为  $q$  维不等式约束.

在(3)式中, 因设计变量可不受约束地取遍定义域  $D$  内所有值, 故属于无约束极值问题. 而(4)式中

$\alpha \in D$  受(5)和(6)式约束, 即

$$d_i(\alpha) = 0, \quad i = 1, 2, \dots, p \quad (7)$$

$$h_j(\alpha) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, q \quad (8)$$

故称(4)式为约束极值问题.

### 1.2 可视化参数寻优条件

对于可视化参数寻优问题, 应明确以下条件:

(1) 系统的数学模型及图形化转换 可视化参数优化的关键问题之一, 就是将数学模型以何种形式进行图形化或可视化转换. 它实际上是将优化问题的等式约束, 如微分方程、差分方程、传递函数、状态方程等形式, 根据模块化建模思想用图形化显示技术进行可视化描述.

(2) 可行域 它是在设计空间中满足全部约束条件的点的集合.

(3) 激励函数 系统激励函数包括指令函数及干扰函数, 为便于比较系统动态特性, 一般选用某些典型信号函数作为指令信号, 如阶跃函数、脉冲函数、随机信号等.

(4) 如端和终端条件 初始时间  $t_0$ 、终端时刻  $t_f$ 、初始状态  $x(t_0)$ 、终端状态  $x(t_f)$ , 根据任务条件, 它们或者给定、或者任意取值.

(5) 目标函数 对可视参数优化问题, 目标函数一般如(2)式所示.

### 1.3 算法流程

对实际参数优化问题通常采用数值迭代法解算. 针对一般的(多目标)优化问题, 其算法流程如下:

第一步 选择初始设计向量  $\alpha_0$

第二步 寻找迭代可行方向  $s_0$

第三步 沿可行方向选择步长因子  $l_0$ , 由  $s_0$  和  $l_0$  得到新设计向量

$$\alpha_1 = \alpha_0 + l_0 s_0 \quad (9)$$

第四步 再由  $\alpha_1$  寻找新的设计方向  $s_1$  及步长  $l_1$ ; 从  $\alpha_1$  点出发向前迭代一步到  $\alpha_2$  点, 以此类推, 多次迭代. 从第  $k$  步到第  $(k+1)$  步的迭代形式为

$$\alpha_{k+1} = \alpha_k + l_k s \quad (10)$$

使

$$f(\alpha_{k+1}) < f(\alpha_k), \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

第五步 每迭代一步需检查是否达到预设精度, 是则认为已找到了极小点, 否则继续进行迭代计算. 本文取(11)式作为迭代终止的判据:

$$\frac{\|\alpha_{k+1} - \alpha_k\|}{\|\alpha_k\|} \leq \epsilon \quad (11)$$

这里  $\epsilon$  是给定精度值.

## 2 可视化参数优化环境的建模策略及寻优流程

### 2.1 可视化参数优化环境的建模策略

可视化参数寻优环境的设计我们选择 MATLAB5.2<sup>[7,8]</sup> 作为寻优运算的数值计算引擎, 使用 SIMULINK 2.2<sup>[6]</sup> 作为非线性参数优化系统的可视化建模支持环境; 其建模思想基于系统的可分性, 即认为大系统可分解为若干子系统, 而子系统又可分解为更原始的子系统. 子系统本身则被定义成一种用拥有独立运算功能的可视化组件或模块, 它一般包含若干输入、输出端口且彼此间通过数据流通道连接; 其功能是对流入数据或信号进行变换. 由于定义了这种性质, 构造可视化优化模型的方式就是通过连接组成系统模型的组件模型(子模型或模块)来建立整体寻优仿真模型. 如果组件模型本身由更为原始的组件模型构造而成, 则可构成可视化模型的分层次结构或递阶结构. 因此, 基于 SIMULINK 的可视模块(组件)图形建模体系是先进可视化参数寻优环境的重要组成部分. 它可以为用户提供一个灵活、快捷且易于扩展的高水平可视化综合信息处理平台. 为此, 根据参数优化问题的需要, 可视化寻优环境的设计基于了以下策略:

(1) 可视化寻优环境与仿真软件包 SIMULINK 的图形化建模组件直接联系, 并在可视环境中保留了与模型各层次子模块的接口.

(2) 对复杂非线性参数优化模型采用分离系统技术将复杂模型按功能分解成若干个下一层子系统. 对大的子系统还可进一步分解成更下一层子系统, 为此类推建立自上而下的仿真分层递阶结构.

(3) 增强了对寻优运行过程中的人机交互能力, 使用户在寻优进程中可随时暂停或终止迭代, 并能在寻优结束后对数据进行再处理.

(4) 允许用户随时修改寻优模型的分层次结构、参数和迭代初始值等, 并允许分别运行和测试各层子系统, 方便用户对各层子系统进行优化分析及出错定位.

(5) 子系统重用技术允许用户设计的(子)系统或文档可以多次重用.

(6) 用户可以自定义、修改或扩展优化模型库、算法库.

以上考虑可保证寻优系统具有结构清晰, 易于独

立修改, 便于调试维护以及良好的可扩展性等. 该可视化寻优环境主要由以下 6 部分经无缝链接而成:

① 模型库 通过图形化方式提供可视化建模平台以及辅助图形建模工具. 模型组件由 SIMULINK 2.2 中的模型库功能模块组成, 用于完成系统仿真寻优模型的连接、转换、计算及结果输出.

② 优化算法库 通过调用 MATLAB 优化工具箱, 可为用户提供多种优化算法用于解决诸如参数优化、无约束优化、拟牛顿实现、最小平方优化、非线性最小平方实现、约束优化、SQP 实现和多目标优化等问题. 亦可由用户自行设计、开发优化算法.

③ 模型管理 优化模型管理包括仿真层管理和应用层管理. 仿真层管理用于新建、修改打开、存取系统模型, 并对子模型块进行包括参数、类型及属性的定义和修改; 应用层管理则根据优化任务, 对所建模型进行文件管理, 并通过 M-文件和 mdl-文件格式提供模型间或跨平台间的资源共享.

④ 优化数据库管理 以 MATLAB 语言为宿主语言, 帮助用户对优化过程的数据进行全面管理、存取、检索和分析, 亦可动态分析优化过程, 用寻优数据动态修正模型参数; 比较不同条件下系统优化的结果等等.

⑤ 优化环境设置 主要用于可视化建模区域中前景、背景和关系类型(线型、线宽、颜色等)的设置, 以及运行环境的设置等.

⑥ 实时监控 应用虚拟示波器技术, 可在优化进程的任一阶段、任一时刻, 对寻优模型的任意多对端口(输入或输出)进行波形监视和分析.

### 2.2 可视化参数寻优流程

如上所述, 一般非线性系统的可视化参数寻优环境的建立可采取 SIMULINK 建模、仿真策略, 其基本寻优流程为:

第一步 确定优化数学模型的设计变量、目标函数和约束条件;

第二步 由系统数学模型建立可视化寻优的模拟图或信流图;

第三步 由第二步从 SIMULINK 模型库中调用基本模块或模型组件建立寻优仿真图;

第四步 编写寻优 M. 文件指定优化算法, 调用 MATLAB 优化工具箱子程序;

第五步 执行优化运算, 可视化输出每次的迭代结果并将迭代数据存入优化数据库;

第六步 自动寻找系统的最优参数值;

第七步 对实验数据进行后处理. 如图 1 所示. 这里涉及三个具体问题: ① 非线性参数优化系统的数学模型描述形式, 它可以是微分方程、差分方程、传递函数或状态方程; ② 面向对象的可视化寻优建模技术; ③ 寻优 M-文件的编写.

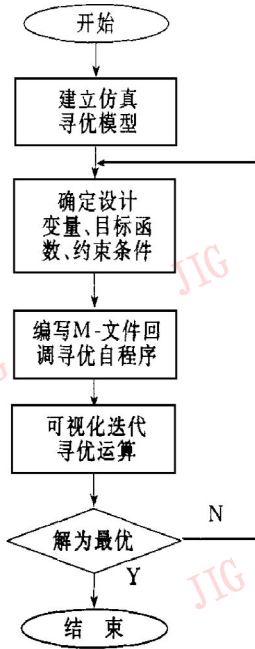


图 1 程序流程图

### 3 参数优化示例

设非线性系统微分方程由 (12) 式描述:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_2(y^2 - 2y) = u(t) \quad (12)$$

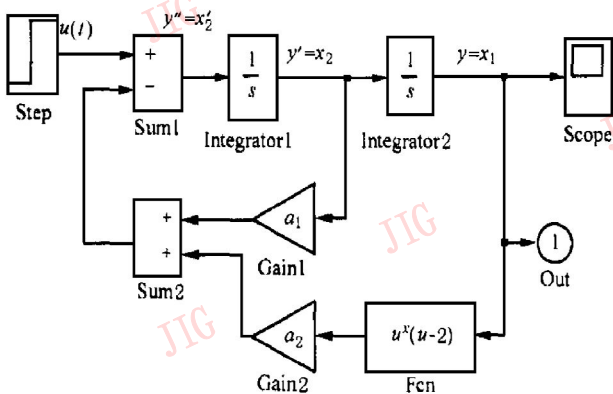


图 2 二阶微分方程寻优仿真图

## 4 结论

在复杂动力学系统的可视化建模及参数寻优研究中, 对模型和计算数据进行可视化处理具有重要意义. 本文针对多目标参数优化问题用通用软件实现了非线性系统寻优环境从建模、参数优化到结果

其初始值  $y(0) = 0$ . 设系统激励信号  $u(t)$  是幅值为 10 的阶跃函数, 要求确定参数  $a_1, a_2$  使 (12) 式的跟踪误差为最小, 也即输入与输出信号之间的误差为最小. 显然, 这是一个典型的多目标参数优化问题, 寻优变量是微分方程的系数  $a_1$  和  $a_2$ .

现对上式设  $x_1 = y, x_2 = \dot{y}$ , 则可将 (12) 式写成状态方程形式:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -a_1 x_2 - a_2(x_1^2 - 2x_1) + u \end{aligned} \quad (13)$$

由 (13) 式按前述建模策略, 打开 SIMULINK 优化模型库并通过鼠标拖放操作既可建立 (12) 式的仿真寻优图如图 2 所示. 由于希望对跟踪误差信号进行最小二乘拟和, 故需编写 M-文件, 给定参数初始值 (本例初始值  $a_{10} = 0.02, a_{20} = 0.02$ )、调用算法库约束优化子程序, 回调仿真寻优图, 在 45 次迭代计算之后, MATLAB 给出使系统跟踪误差为最小的  $a_1$  如下:

$$a_1 = 1.0080$$

$$a_2 = 0.1285$$

图 3 则给出系统寻优结束时的最优跟踪曲线.

上述自动寻优化计算从建模、参数装入、算法指定到最优结果的输出均已实现了全程可视化和一体化. 其中接入的虚拟示波器可在自动寻优进程中全程监视每步迭代曲线, 实时观测运行过程, 为系统参数优化分析带来极大方便.

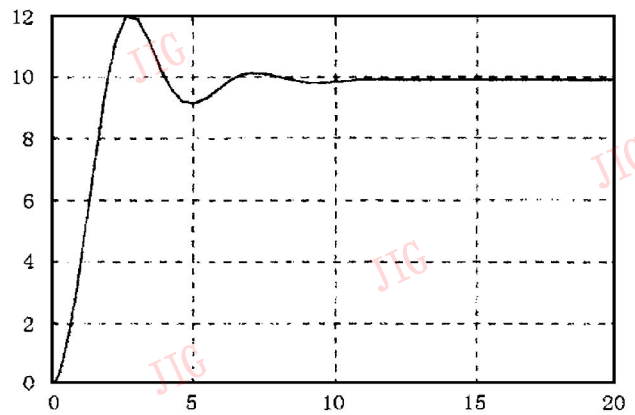


图 3 系统最优跟踪输出曲线

输出的全程可视化、一体化. 解决了在非线性系统多目标优化过程中人-机交互性差, 对系统进行综合动态分析、计算及设计过程不直观困难. 具有广泛的应用价值.

可以预计, 通过对 SIMULINK 2x 的二次开发, 这种可视化寻优技术还可广泛应用于以下方面: ① 模糊逻辑, 神经网络; ② 计算机辅助设计; ③ 系统

的棒性分析、设计及试验; ④ 智能控制和专家系统的建立; ⑤ 先进仿真环境设计等等。

### 参考文献

- 1 MathWorks, Inc. MATLAB Optimization Toolbox User's Guide. 1997.
- 2 Vinay K Ingle, John G Proakis. Digital Signal Processing Using MATLAB. PVVS Publishing Company, 1997.



**张延华** 1988年兰州大学毕业, 获理学硕士学位, 现为北京工业大学电子工程系副教授. 从事先进仿真技术、科学计算可视化、现代通信系统图形建模及可视化仿真等方面的研究工作. 1995—1996年加拿大 CONCORDIA 大学访问学者. 出版专著一部, 已发表论文 20 余篇。



**许阳明** 1991年美国麻省理工学院 (MIT) 毕业, 获哲学博士学位. 现任美国 Sarcos Research Corp 的高级工程师和项目领导人, Utah 大学兼职教授, 美国电力电子学院成员. 从事先进仿真技术、虚拟现实、机器人和实时控制等方面的研究。

- 3 张延华, 许阳明. 动态参数摄动系统可视化建模及群仿真研究, 高技术通讯, 1998, 8(11): 20~ 24.
- 4 Braham R. Math and visualization (new tools nevvfrontiers). IEEE Spectrum, 1995, (11).
- 5 Braham R. Application software. IEEE Spectrum, 1995, (1).
- 6 MathWorks, Inc. Using Simulink 2.2. 1998.
- 7 MathWorks, Inc. Using Matlab 5.2. 1998.
- 8 张延华, 许阳明. 面向多学科的新一代程序设计语言——MATLAB 5.1 概述. 计算机应用研究, 1998, 15(6): 4~ 8.

## 益世公司宣布其新一代技术 全新几何处理引擎交付高性能三维图形解决方案

益世电脑公司在 SIGGRAPH' 99 会上所宣布的两项新技术中包含了其研制的关于三维图形性能的新标准: HYPERpixel™ 图形系统和下一代有着 Vertex Streaming™ 的 REALimage® 4000 透视芯片集。

### HYPERpixel™ 图形系统简介

HYPERpixel™ 图形系统是第四代强大的硬件几何引擎和第四代益世公司 REALimage 处理控制器密切结合的成果. HYPERpixel 是通过平衡具有多处理器的多重硬件几何引擎的动力来提供最高性能需求的可升级的系统, 具备最新公布的 REALimage 4000 控制器的特征。

该系统完全采用高级的第四代几何引擎和第四代 REALimage 4000 处理器配置, 提供给用户填充速率为每秒 550 兆像素的真实纹理和以每秒 90 亿的流动点运转的几何处理器生成的令人惊异的三维图形. 通过采用益世公司的 DYNAMICgeometry 软件驱动构架, 三维图形用户能够利用 Intel 的强大 SIMD 指令集和内置硬件几何加速器获得最佳几何图形性能. 动用多几何引擎和多处理芯片可以有效地在屏幕上处理三维物体的每个三角形, 确保了尖端性能的实现. HYPERpixel 系统达到了以单像素交叉存取要素处理物体的效果, 确保无论三维物体在何处移动, 每个硬件几何引擎和每个 REALimage 处理芯片都能被充分利用. HYPERpixel 系统较之其它可升级系统共用一块或一段技术的体系要高级, 那些系统把屏幕分成几大块处理区, 结果却使多数处理功能无法得到利用或由于做一些不必要的分类操作而造成损耗。

### REALimage 4000 简介

新一代 REALimage 4000 芯片是由具有独一无二稳定传输高性能图象功能的 REALimage 技术发展而来的. 用户能从下列高级性能中获益非浅: ① 行业领先的每秒 1800 万多边形输出功能; ② 每秒达 1.43 亿个三线纹理像素的单芯片填充率; ③ 可最有效利用系统带宽的 Vertex 集合; ④ 128 位像素扩展, 精度增长的 32 位 Z 型缓冲器; ⑤ 业内最佳视觉质量: 包括现实非线性视觉深度, CleanLine 和 CrystalClear 透明度; ⑥ 支持可升级的 HYPERpixel 系统; ⑦ 可升级的系统: 1, 2, 3 或 4 代几何引擎和 1, 2 或 4 代 REALimage 4000 处理器; ⑧ 每秒达 550 纹理兆像素的多边填充率; ⑨ 被变址的纹理; ⑩ 支持多重输出; ⑪ 立体支持; ⑫ 兼容 AGP2x/AGP4x; ⑬ AGP 领先适应(对于大型 HYPERpixel 系统配置)。