

最优参数设计问题的软计算集成方法研究

Study of Optimal Parameter Design Based on Integration of Soft Computing Method

匡奕军/KUANG Yi-jun

1. 复旦大学管理学院, 上海 200433

1. Management Department, Fudan University, Shanghai 200433, China

[摘要] 最优参数设计是稳健性设计中的重要组成部分, 是一个不断连续改进的过程。应用人工神经网络、遗传算法、模糊理论等软计算方法和指数功效函数对具有定性定量输出变量的参数优化设计问题进行了研究, 并进行实证分析, 表明了方法的可行性。

[关键词] 最优参数设计; 软计算; 指数功效函数

[中图分类号] TP18, F253

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)09-0077-04

Abstract: Optimal parameter design is a very important part in robust design and is also a continuous improvement process. Optimal parameter design with qualitative and quantitative characteristics is studied using integration of Artificial Neural Network, Genetic Algorithm, Fuzzy theory and Exponential Desirability Functions. Some results are reached, which show that the method proposed is effective.

Key Words: optimal parameter design; soft computing; exponential desirability functions

CLC Numbers: TP18, F253

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)09-0077-04

1 引言

在新兴技术不断出现、现代管理和信息飞速发展、国际经济越来越趋向一体化的今天, 产品质量竞争已成为厂商竞争的最重要因素之一, 质量管理工作亦成为企业管理的最重要组成部分。以往的实践证明, 稳健性设计除了提高产品质量外, 还能给厂商带来可观的利润和其他无形的优势。最优参数设计作为稳健性设计中的重要组成部分, 通过控制选择最优性生产条件(可控因素)来达到降低产品受不可控因素(如老化、磨损等)影响灵敏性的目的^[1]。最优参数设计问题是一个不断连续改进的过程, 正成为稳健性设计中的一个动态领域。

工业界的先行者们正努力进行各种实验来模拟实际生产条件和结果表现之间的因果关系, 得出的结论是, 参数控制和结果表现之间呈非线性关系, 这点使研究最优参数控制设定受到很大限制。传统上, 工程师们利用田口方法来应对工业实践中的各种参数设计问题。田口方法作为一个革命性的概念, 其巨大成功主要是基于实验的统计方法和对流程的良好理解的结合。然而, 在实践中, 田口方法仍然具有很多局限性, 如田口方法仅仅在规定的控制因素水平下才能获得最优解, 一旦参数选定, 可行解空间也就确定; 当参数值呈连续性时, 田口方法不能实现适时的最优参数组合, 因为它仅涉及离散控制因素; 另外, 田口方法不能有效处理各参数之间的相互影响, 也不能处理包含定性和定量因素的

多输出系统。因而, 最优性条件仍然不确定^[2-5]。针对参数优化设计问题, 近年来, 学者们提出了很多其他的优化方法来进行工序流程优化。本文考虑通过集成人工神经网络、遗传算法、模糊理论等软计算方法和指数功效函数对参数最优化设计问题进行研究。

2 问题描述

某个产品的生产流程受 6 个参数的影响, 设为 $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}$, 每个参数分为 3 个等级; 产出特性, 也就是输出变量为 $\{y_1, y_2, y_3\}$, 其中, y_1, y_2 属于语言变量型, y_3 为数值型。根据工程人员经验, 参数及等级设定如表 1。

表 1 参数水平设定表
Tbl. 1 Parameter level setting table

参数	水平 1	水平 2	水平 3
x_1	150	175	200
x_2	1 500	1 800	2 100
x_3	3.0	6.0	9.0
x_4	300	600	900
x_5	50	70	90
x_6	70	100	130

收稿日期: 2006-06-29

基金资助: 国家自然科学基金项目 (70472057)

作者简介: 匡奕军, 男, 上海市邯郸路 220 号复旦大学管理学院, 博士生, 主要研究方向为运营管理和系统工程;

E-mail: Thomaskuang@126.com

现在的问题是,通过分析历史数据,找出输入参数变量与结果表现之间的非线性关系,设计优化参数,以达到提高产品质量与降低不可控因素灵敏度的目的。

3 相关知识

软计算的本质与传统的硬计算不同,其目的在于适应现实世界普遍的不精确性,其指导原则是开拓对不精确性、不确定性和部分真实的容忍,以达到可处理性、鲁棒性、低成本求解以及与现实更好的紧密联系。软计算不是一个单独的方法论,而是一个方法的集合,主要包括模糊逻辑、神经计算、概率推理、遗传算法、混沌系统以及部分的学习论等^[6]。下面简要介绍本文所使用的人工神经网络的 BP 网络(Backpropagation neural network)、遗传算法和模糊理论,以及指数功效函数。

3.1 人工神经网络

BP 网络被广泛应用在生产流程建模,其应用非常广泛^[7]。典型的 BP 网络由 3 层或 3 层以上组成,包括输入层、1 个或多个隐藏层和输出层。本文考虑 6 个流程参数作为输入,3 个结果变量作为输出,在比较几个隐层神经元数目的基础上,最终所用神经网络为 6-4-3 结构,仅包含 1 个隐藏层,神经网络此时表现最好。拓扑结构见图 1。基本 BP 算法的主要思想为:设样本集 $S=\{(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_s, Y_s)\}$,逐一地根据样本集中的样本 (X_k, Y_k) 计算出实际输出 O_k 和误差测度 E_p ,对 $W^{(1)}, W^{(2)}, \dots, W^{(L)}$ 各做 1 次调整,重复这个循环,直到 $\sum E_p < \varepsilon$ 其中 ε 为任意预先设定的任意正数。用输出层的误差调整输出层权矩阵,并用此误差估计输出层的直接前导层的误差,再用输出层前导层误差估计更前一层的误差。如此获得所有其他各层的误差估计,并用这些估计实现对权矩阵的修改,形成将输出端表现出的误差沿着与输入信号相反的方向逐级向输入端传递的过程^[8]。

3.2 模糊理论

模糊隶属度函数对不确定性现象具有很强的描述能力^[9]。本文利用模糊隶属度函数对定性输出变量进行描述,对于语言型输出变量 Y_1 和 Y_2 ,设定论域 $u \subseteq U = \{1, 2, 3, 4, 5\}$, $u=1$ 表示最差, $u=5$ 表示最好。根据工程人员经验,隶属函数设定如下:

$$u_{\text{好}}(y_1) = \frac{0.1}{1} + \frac{0.2}{2} + \frac{0.4}{3} + \frac{0.7}{4} + \frac{1.0}{5}$$

$$u_{\text{差}}(y_1) = \frac{1.0}{1} + \frac{0.9}{2} + \frac{0.3}{3} + \frac{0.1}{4} + \frac{0}{5}$$

$$u_{\text{好}}(y_2) = \frac{0}{1} + \frac{0.1}{2} + \frac{0.7}{3} + \frac{0.9}{4} + \frac{1.0}{5}$$

$$u_{\text{差}}(y_2) = \frac{1.0}{1} + \frac{0.8}{2} + \frac{0.5}{3} + \frac{0.2}{4} + \frac{0.1}{5}$$

其他几个隶属函数可以通过以上隶属函数进行计算得出,分别为:

$$u_{\text{极好}}(y_1) = \frac{\sum u_{\text{好}}^2(y_1)}{u} = \frac{0.01}{1} + \frac{0.04}{2} + \frac{0.16}{3} + \frac{0.49}{4} + \frac{1.0}{5}$$

$$u_{\text{极差}}(y_1) = \frac{\sum u_{\text{差}}^2(y_1)}{u} = \frac{1}{1} + \frac{0.81}{2} + \frac{0.09}{3} + \frac{0.01}{4} + \frac{0}{5}$$

$$u_{\text{极好}}(y_1) = \min\left\{\frac{\sum [1 - u_{\text{好}}(y_1), 1 - u_{\text{差}}(y_1)]}{u}\right\}$$

$$= \frac{0}{1} + \frac{0.1}{2} + \frac{0.6}{3} + \frac{0.3}{4} + \frac{0}{5}$$

$$u_{\text{极好}}(y_2) = \frac{\sum u_{\text{好}}^2(y_2)}{u} = \frac{0}{1} + \frac{0.01}{2} + \frac{0.49}{3} + \frac{0.81}{4} + \frac{1.0}{5}$$

$$u_{\text{极差}}(y_3) = \frac{\sum u_{\text{差}}^2(y_2)}{u} = \frac{1}{1} + \frac{0.64}{2} + \frac{0.25}{3} + \frac{0.04}{4} + \frac{0.01}{5}$$

$$u_{\text{一般}}(y_2) = \min\left\{\frac{\sum [1 - u_{\text{好}}(y_2), 1 - u_{\text{差}}(y_2)]}{u}\right\}$$

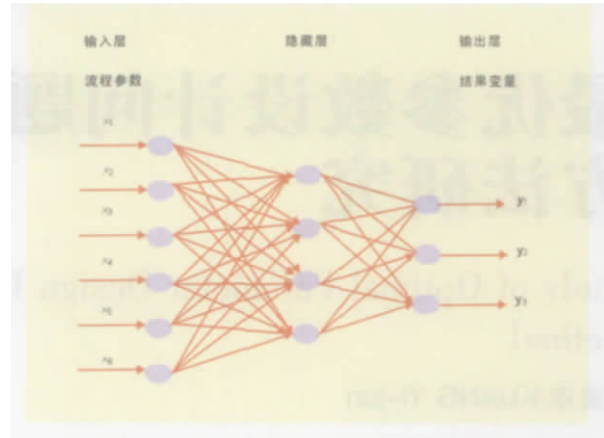


图 1 人工神经网络拓扑结构图

Fig. 1 Topology for artificial neural network

$$= \frac{0}{1} + \frac{0.2}{2} + \frac{0.3}{3} + \frac{0.1}{4} + \frac{0}{5}$$

根据定性输出变量的隶属度函数,进而可以计算模糊质量损失(Fuzzy Quality Loss Function, FQLF),具体表达式为:

$$FQLF = \sum_u [(u - u_r)^2 * \bar{\mu}(u)] \quad (1)$$

$$\bar{\mu}(u) = r_A * u_A(u) + r_B * u_B(u) + r_C * u_C(u) + L \quad (2)$$

$$r_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^I n_i} \quad (3)$$

模糊语言值

其中, u_A, u_B, u_C 分别表示语言值 A, B, C 的隶属度; u_r 表示定性变量的目标值; r_A, r_B, r_C 表示模糊语言值在实验中出现的相对频率; n_i 表示第 i 个模糊语言的数目。

3.3 指数功效函数

指数功效函数通过适当的数学变形,把多输出问题转化为单一输出问题^[10]。文献[11]提出了一个极大化指数功效函数方法,该方法不需要对被评价函数的形态作任何假设,且不要求各输出变量之间独立。该方法的目标是找出让各输出变量综合整体满意度较高时的输入参数。指数功效函数被广泛地应用在同时需要优化几个输出变量的场合,具有简单易理解的优点,让使用者考虑各输出分量的重要性权重。假设综合输出变量值为 λ ,则指数功效函数可表示为如下形式:

$$\max_x \lambda$$

St. $d_j(\hat{y}(x)) \geq \lambda \quad j=1, 2, L, r \quad (4)$

也就是找出一个 x^* ,使得对各个输出分量而言,综合满意度 λ 值达到最大,此 λ 值作为后续 GA 的适应度函数。典型指数功效函数形式如下:

$$d(z) = \begin{cases} \left(\frac{e^{-t|z|}}{e^{-t} + 1} \right) & \text{if } t \neq 0 \\ 1 - |z| & \text{if } t = 0 \end{cases} \quad (5)$$

t 是一常数, $(-\infty < t < \infty)$, z 是表示被评价输出变量值与目标值距离的一个标准化参数。若输出变量为望小型,则定义 z 为:

$$z = \frac{y_j^{\max} - \hat{y}_j(x)}{y_j^{\max} - y_j^{\min}} \quad y_j^{\min} \leq \hat{y}_j \leq y_j^{\max} \quad (6)$$

3.4 遗传算法

遗传算法^[12]从一组初始可行解出发,在不需要除目标函数值外的其他信息的条件下实现对可行域的全局高效搜索。这种良好的特性是遗传算法成为组合优化和函数优化的有力工具。遗传算法的操作对象是种群,种群由众多个体组成,所有个体都依照编码原则与问题的一个解相对应,个体的数目成为种群规模。在进

化的每一代中: 通过选择将具有优秀适应值的个体以较高的概率选择出来; 通过交叉和变异等遗传操作产生后代; 进行判断, 如满足预先确定的停止条件, 则结束, 否则继续迭代。

本文染色体的编码为 $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$, 即每个基因表示相应输入流程参数值, 编码之前, 每个参数值归一化到 $[0, 1]$ 之间的数。遗传算法其他参数设置分别为: 交叉率=0.5, 变异率=0.1, 种群大小为 50, 最大迭代次数为 6 000。适应度函数就是上文中的 λ , 通过已训练的函数结合指数功效函数求出。

4 求解思路

本文方法(ANN_GA_EDF_Fuzzy)主要分 3 阶段组成。阶段 1: 定义语言模糊值, 次品类型和定性输出变量的隶属度函数, 计算模糊质量损失。阶段 2: 运用 BP 网络训练生成输入变量与输出变量之间的关系, 然后利用神经网络预测各种可能输入参数组合对应的输出变量, 通过微调已训练的网络能得到相应的输出变量, 再利用指数函数把多输出变量变成单输出变量。阶段 3: 利用 GA 获得最优满意程度(λ)及其对应的解。染色体表示可能的解, 染色体中的每个基因表示每个参数值。求解流程如图 2。

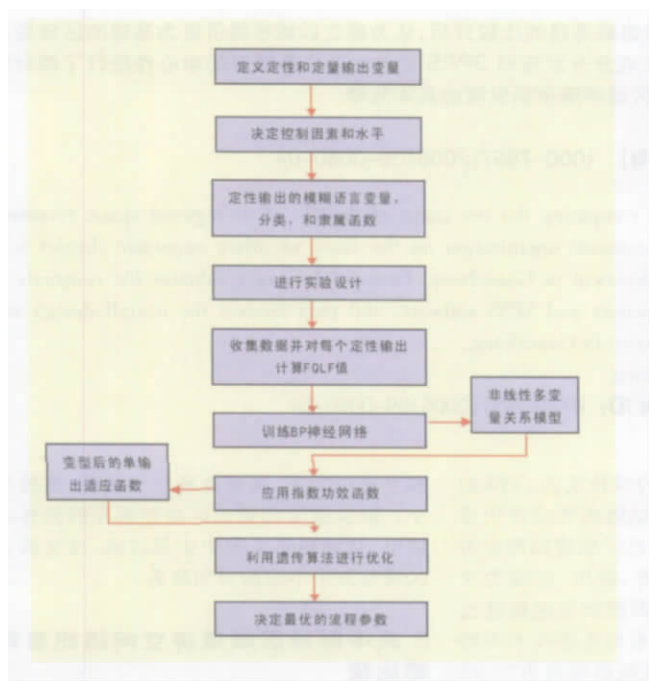


图 2 计算步骤流程图

Fig. 2 Flow chart for computing procedure

5 仿真结果

根据历史数据记录, 收集整理数据, 汇成表 2。80%的数据用来训练神经网络, 随机抽取 20%的数据用于测试。由于目前还没有一个确定隐层神经元数目的较好的方法, 本文通过试验法改变隐层神经元数目, 进行分析比较, 得出, 当隐层神经元个数为 4 时, 人工神经网络有较好表现, 所用人工神经网络结构为 6-4-3 结构。3 个输出变量均设定为望小型, 利用(6)式确定指数功效函数, 根据工程师的经验, 其中常数相对于 y_1, y_2, y_3 分别设为 $t=-3, -1$ 和 -2 , 所求出 λ 值作为后续遗传算法的适应度函数。染色体的编码为 $(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)$, 即每个基因表示相应参数值, 编码之前, 每个参数值归一化为 0 到 1 之间的数。遗传算法参数设置分别为: 交叉率=0.5, 变异率=0.1, 种族大小=50, 迭代次数=6 000。 λ 值和 GA 迭代 20 次的结果如表 3、表 4 和表 5 所示。

通过表 5 结果比较可以看出, 本文方法在 y_1, y_2 上都优于田口方法。对于 y_3 , 通过 t 检验方法来比较 2 种方法所得平均值, 原

表 2 实验数据表 Tbl. 2 Numerical experience table				
测试号	FOLF(y_1)	FOLF(y_2)	$y_3(1)$	$y_3(2)$
1	13.9	13.4	3.2	3.5
2	18.1	22.7	4.1	3.9
3	15.5	14.8	3.1	3.3
4	5.8	3.9	1.8	1.4
5	3.7	5.6	2.6	3.0
6	10.1	5.0	0.5	0.6
7	3.4	3.7	0.9	0.5
8	6.1	4.3	1.3	1.1
9	4.1	4.3	1.4	1.2
10	18.3	19.5	3.9	3.6
11	21.8	21.5	3.0	3.2
12	6.9	4.8	2.6	2.7
13	17.4	20.9	2.0	1.8
14	13.3	15.0	2.7	2.9
15	3.1	3.2	0.4	0.3
16	8.0	7.4	2.0	1.8
17	3.7	11.1	2.6	2.5
18	3.4	5.8	1.9	2.1

表 3 GA 计算结果表
Tbl. 3 Solutions for GA method

项目	数据
最大 λ 值	0.902 1
最小 λ 值	0.853 1
平均 λ 值	0.881 9

表 4 2 种方法最优参数结果比较表
Tbl. 4 Optimal parameter result comparison between GA and taguchi methods

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
本文方法	181	1 733	4	791	88	97
田口方法	200	2 100	6	600	90	100

表 5 2 种方法比较表
Tbl. 5 Performance comparison between two methods

	水平分类概率(y_1)				水平分类概率(y_2)				y_3	
	极好	好	一般	差	极好	好	一般	差	u	S
本文方法	0.88	0.11	0.01	0.0	0.0	0.94	0.06	0.0	1.4	0.3
田口方法	0.85	0.12	0.03	0.0	0.0	0.89	0.11	0.0	2.1	0.5

假设为田口方法优于本文方法, t 统计量值为 -5.46, 所算结果 P 值为 0.000 01, 显然, 本文方法明显优于田口方法。

6 结论

本文利用软计算集成的方法来研究具有多个定性定量输出变量的最优参数设计问题, 首先对每个定性输出变量计算模糊质量损失, 然后利用 BP 网络学习输入参数与输出变量之间的非线性关系, 并以连接权的形式保存下来, 训练好的网络结合指数功效函数的转换作为后续 GA 的适应度函数, 进行参数的优化。算例结果表明, 本文方法明显优于田口方法, 是一个行之有效的方法, 对工程师或生产管理人员的具体工作具有一定的指导意义。

参考文献(References)

- [1] BELAVENDRAM N. Quality by design: Taguchi techniques for industrial experimentation [M]. NJ:Prentice Hall, 1995.
- [2] KACKER R N. Off-line quality control, parameter design and Taguchi method [J]. Journal of Quality Technology, 1985,17:176-209.
- [3] TONG L I, SU C T. Robust design for the nominal - the - best performance characteristic [J]. International Journal of Industrial Engineering, 1996(3) 183- 193.
- [4] CHIU C C, SU C T, YANG G S, et al. Selection of optimal parameters in gas - assisted injection moulding using neural network model and the Taguchi methods[J].International Journal of Quality

陕西关中经济空间组织的对比分析及城市经济区的划分

Comparison of Space Economic Organizations and Classification of Urban Economic District in Guanzhong, Shaanxi Province

夏显力/XIA Xian-li, 赵 凯/ZHAO Kai

西北农林科技大学经济管理学院, 陕西杨凌 712100

College of Economics and Management, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi Province, China

[摘要] 根据陕西关中社会经济发展现状,通过对其两种区域经济空间组织思路的比较分析,认为建立以城市经济区为基础的区域经济空间组织形式是实现关中区域经济协调发展的必然选择。进而运用主成分分析法和 SPSS 软件对关中各城市的中心性进行了综合评价,提出了陕西关中地区构建 8 个城市经济区的总体设想和推进关中区域经济协调发展的具体策略。

[关键词] 陕西关中;城市经济区;空间组织

[中图分类号] F290

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)09-0080-04

Abstract: According to the reality in Guanzhong, Shaanxi, and based on comparing the two trains of thought of its regional space economic organization, the paper puts forward that building the regional space economic organization on the basis of urban economic district is a necessary choice to complement the regional economic coordination development in Guanzhong. Further, the paper values the centrality of every cities in Guanzhong by using the analytic approach of main component and SPSS software, and puts forward the overall design and countermeasures of promoting the regional economic coordination development in Guanzhong.

Key Words: Guanzhong, Shaanxi; urban economic district; space organization

CLC Number: F290

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)09-0080-04

1 关中区域概况

关中位于陕西省中部,第二亚欧大陆桥陇海-兰新线中段。关中有城市 8 个,建制镇 404 个,国土面积 53 598 km²,人口 2 179.9 万人,平均每 6 700 km² 有一座城市,每 133 km² 有一建制镇。关中城镇主要位于关中中部平原,沿陇海铁路和西宝及西潼高速、咸铜铁路和西铜高速、西韩铁路呈走廊-串珠状扩张。这里城镇连绵、产业

密布,聚集了全省 80% 的科技实力、73% 的国内生产总值,具有带动陕西省经济快速增长的巨大潜力^[4]。目前已经形成以西安为中心,以宝鸡、咸阳、渭南、铜川、杨凌为次级中心,以陇海铁路陕西段和宝潼高速公路等为轴线,以高新技术和先进技术为特点的产业经济体系,并被陕西省列为“一线两带”重点建设区域。但由这一地带的轴心向南、向北主要是以县城为核心的建制镇

和乡集镇为主,城镇逐渐趋于稀疏,规模变小,缺少能带动周边区域经济发展的核心城市,从而弱化了关中中部以南、以北两大区域与关中中部的密切联系。

2 关中两种区域经济空间组织思路的比较

改革开放以来,关中区域经济的空间组织处于不断的调整 and 变化中。综合各个

收稿日期: 2006-06-06

作者简介: 夏显力,男,陕西杨凌西北农林科技大学经济管理学院,讲师,主要从事区域经济、小城镇建设等方面的研究;

E-mail: xnxli@yahoo.com

Science, 1997,2(2):106-120.

[5] AMES A E, MATTUCCI N, MACDONALD S, et al. Quality loss functions for optimization across multiple responses surface[J]. Journal of Quality Technology, 1997, 29 (3):339-346.

[6] 张智星,等. 神经网络和软计算[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2000.

[7] LEE K K, BROWN T, DAGNALL G, et al. Using neural networks to construct model of the molecular beam epitaxy process[J]. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, 2000,13(1): 34-45.

[8] 蒋宗礼. 人工神经网络导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.

[9] 李登峰. 模糊多目标多人决策与对策[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.

[10] CASTILLO E D, MONTGOMERY D C, MACCARVILLE D R, Modified desirability functions for multiple response optimization, Journal of Quality Technology[J]. 1996, 28(3): 337-345.

[11] KIM K J, LIN K J. Simultaneous optimization of mechanical properties of steel by maximizing exponential desirability functions[J]. Applied Statistics, 2000,49(3):311-325.

[12] 陈国良,王熙法,庄镇泉,等. 遗传算法及其应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1995.

(责任编辑 王 芷)