

基于遗传算法的刨煤机系统多目标模糊可靠性优化

张强

辽宁工程技术大学机械工程学院, 辽宁阜新 123000

中国煤矿机械装备有限责任公司, 北京 100011

大连理工大学工业装备结构分析国家重点实验室, 辽宁大连 116023

摘要 针对刨煤机系统常规优化方法难以处理具有相互矛盾属性的系统可靠性多目标优化设计问题, 提出一种基于遗传算法非概率分布信息的多目标模糊可靠性优化决策方法。该方法利用模糊集隶属函数的特性将各个单一目标函数模糊优化处理为能够反映各子目标相对重要程度, 对不完全概率信息采用随机摄动法和 Edgeworth 级数方法转化为标准正态分布函数, 将各个目标的协调满意度函数综合统一的单目标优化模型, 再用常规优化方法即可求出多目标优化模型的满意解, 最后给出刨煤机实例以验证该方法的有效性。

关键词 遗传算法; 多目标; 模糊可靠性优化; 随机摄动法

中图分类号 TD42

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.01.009

Fuzzy Multi-objective Reliability Optimization of Plow Based on Genetic Algorithms

ZHANG Qiang

College of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning Province, China

China National Coal Mining Equipment Co. Ltd., Beijing 100011, China

State Key Laboratory of Structural Analysis for Industrial Equipment, Dalian University of Technology, Dalian 116023, Liaoning Province, China

Abstract For a reliable multi-objective optimization design of the plow system, the conventional optimization method can not treat cases with mutually contradictory attributes. To overcome this difficulty, this paper proposes a multi-objective fuzzy reliability optimization decision method based on genetic algorithms and non-probability distribution information. The special features of the fuzzy set membership function are used to reflect the relatively important degree of the objective function and the probabilistic perturbation method and Edgeworth series technique are used to transform the incomplete probability information into the standardized normal distribution function, then a simple target model is established for each goal coordinated degree, and the conventional optimization method is used to obtain the multi-objective optimization satisfactory solution. Finally, a plow example is given to verify this method.

Keywords genetic algorithm; multi-objectives; fuzzy reliable optimization; stochastic perturbation method

0 引言

在实际系统设计决策中, 由于客观条件的限制和工程实际的需要, 对系统可靠性优化设计是在满足费用、体积、质量、尺寸性能等条件约束下, 使系统可靠性达到最高或是满足一定可靠性要求的条件下使投资最少, 以取得最大经济效

益的设计方法^[1-3]。国内外针对多目标优化设计问题已经做了很多研究, 如吴卫东等^[4]对机械系统的可靠性模糊多目标优化问题采用综合协调法处理, 取得了一定的效果; 何光宇等^[5-6]对多目标优化问题采用遗传算法; 叶秉良等^[7]、张凯燕等^[8]、徐小军等^[9]引入物元分析和波浪补偿系统理论研究多目

收稿日期: 2011-07-11; 修回日期: 2011-12-07

基金项目: 工业装备结构分析国家重点实验室开放基金项目(GZ0818); 辽宁省高等学校优秀人才支持计划项目(2008RC23)

作者简介: 张强, 副教授, 研究方向为机械系统优化设计, 电子信箱: lgdjx042@tom.com

标模糊可靠性优化,考虑了系统多方面的模糊因素和约束条件的模糊性,在一定条件下提高系统可靠度。以上研究方法的基础是假设系统为标准正态的概率分布,由于实际系统数据不容易全部统计,往往只能计算出数据的前四阶矩,假设概率估计系统可靠性具有一定局限性。本文采用随机摄动法和 Edgeworth 级数方法^[10-16]将不完全概率信息转化为标准正态分布函数,然后建立模糊可靠性多目标模型,运用遗传算法对此模型求解,得到了比较好的效果。

1 模糊多目标优化数学模型

大多数机械系统都属于串联系统,因此,本文以串联系统作为研究对象,对于一个由 n 个单元串联而成的系统,要求确定各单元的可靠度,使系统的可靠度 R 尽可能大,系统的成本 C 尽量低,这一问题可用无约束模糊优化表示:

$$\begin{aligned} \min F(x) &= [f_1(x), f_2(x), \dots, f_i(x)] \\ \text{st } g_j(x) &< 0 \end{aligned}$$

对各约束条件模糊采用线性三角隶属函数:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x < m - \alpha \\ 1 - \frac{m - \alpha}{\alpha} & m - \alpha \leq x \leq m \\ 1 - \frac{x - m}{\beta} & m < x \leq m + \beta \\ 0 & x > m + \beta \end{cases}$$

2 基于遗传算法的模糊优化求解

应用遗传算法求该模型的最优解,其步骤如下。

(1) 编码和搜索点。在进行搜索前,将变量编成一个用二进制字符串来表示定长的码。这些字符串的不同组合,便构成了搜索空间的不同搜索点。

(2) 初始群体的产生。随机产生 N 个字符串,每个字符串代表一个个体。

(3) 交叉。将选出的 N 个个体两两杂交,产生 N 个新的子代个体。

(4) 计算适应值。利用模糊优化方法计算子代和父代共 $2N$ 个个体的相对优属度,并将相对优属度作为适应值。

(5) 选择。对子代和父代共 $2N$ 个个体进行适应值排序,挑选排在前面的 N 个个体。

(6) 变异。对步骤 5 选择出的 N 个个体按给定的概率进行变异,形成新一代群体。

(7) 判断。判断新一代群体是否满足约束条件,若满足,则停止;否则,转至步骤(3)继续进行。

3 实例分析

采用线性加权和法将多目标优化转化为单目标优化来求解。考虑到各单目标具有同等地位,将各单目标最优值的倒数取作权系数,这也实现了多目标的规范化,转化后的目标函数表示为

$$F(x) = \frac{f_1(x)}{f_1} + \frac{f_2(x)}{f_2} + \dots + \frac{f_i(x)}{f_i}$$

式中, $f_i(x)$ 是单一目标优化函数, f_i 为各单一目标的最优值。

将系统划分为各个单元的串联,完成系统的单元可靠度分别为 R_i , R 为系统要求可靠度, C 为其他约束条件。工程上对一些参数指标进行可靠度约束计算时假设参数服从正态分布,但有时候是不准确的,往往可靠度计算所需数据采集不全,数据信息量不够,很难建立完整的正态分布。因此,在此情况下,在得知约束的前四阶矩时,采用随机摄动法和 Edgeworth 级数方法将不完全概率信息转化为标准正态分布函数,从而建立单一目标的数学模型:

$$\begin{cases} \min F(x) \\ \text{st} \\ R_1 \times \dots \times R_i \geq R \\ C_i \leq C \end{cases}$$

以某型号刨煤机系统为例,主要结构参数为:设计长度 300m,理论生产能力 800t/h,适应煤层厚度 0.9—2.0m,适应煤层倾角 $\leq 25^\circ$,适应煤层硬度小于 350N/mm,刨煤部装机功率 $2 \times 400\text{kW}$,调速范围 0.64—2.3m/s,刨削深度小于 120mm,自动化和远程集中控制。刨煤机系统的多目标模糊优化计算是将系统的可靠度 $f_1(x)$ 和成本 $f_2(x)$ 为双优化目标,将刨煤机系统分为截割部、牵引部、控制部 3 个单元,3 个单元以串联组成系统,要求可靠度大于 0.9 且系统成本不高于 100 万元。设成本与可靠度的关系为

$$C_i(R) = b_i + a_i \ln[1/(1-R)] \quad i=1, 2, 3$$

其中, a_i 为结构可靠性对成本影响系数, b_i 为结构对成本影响基数。

Matlab 的优化工具箱中含有一系列优化算法函数,为用户编程求解优化问题提供了方便,文中利用优化箱的 $Fmincon$ 函数编程求解,对系统多目标模糊优化计算结果如表 1 所示。

表 1 性能特征及中心个体

Table 1 Characteristics of class and centroid

满意度		中心个体			
可靠度	成本	R_1	R_2	R_3	C
较低	较高	0.991	0.987	0.977	90.57
较低	中等	0.993	0.988	0.985	92.62
中等	中等	0.995	0.991	0.991	95.01
中等	较低	0.998	0.994	0.993	97.43
较高	较低	0.997	0.997	0.994	98.74

由表 1 可知,将刨煤机系统采用多目标模糊可靠性方法是可行的,当系统双目标可靠度达到较高、成本达到较低时,截割部的单元可靠度为 0.997,牵引部可靠度为 0.997,控制部为 0.994,系统满意度达到 98.74。

从表 2 可以看出,常规优化设计方法计算的刨削参数与系统模糊可靠性优化设计方法计算的刨削参数有所变化,系

表2 模糊优化设计与常规设计方法设计变量对比

Table 2 Comparison between fuzzy optimization design method and conventional design method

设计变量	刨速 /(m·s ⁻¹)	刨深 /mm	牵引力 /kN	截割功 率/kW	调高控 制/mm
常规优化设计	1.32	100	213	746	75
系统模糊可靠 性优化设计	1.42	98.54	246	783	60

统模糊可靠性优化设计方法计算的刨速提高7%，牵引力调高15.5%，截割功率提高4.96%，刨深下降1.48%，刨头调高控制量下降25%。

从表3可以看出，经系统模糊可靠性优化后刨煤机系统刨头载荷波动率下降25%，大大提高刨煤机的刨头可靠度，单位比截割能耗下降11.1%，使用过程中设备维护率降低，使得产量提高2.18%，系统总体可靠度提高6.75%。对两种优化方法比较发现，系统多目标模糊可靠性优化方法克服了不完全信息下的数理统计问题，系统多目标优化结果优势明显。

表3 模糊优化设计与常规设计方法目标函数比较

Table 3 Objective function results obtained by the fuzzy optimization design method and the conventional design method

目标函数	载荷波 动率/%	比截割能 耗/(kW· h·m ⁻³)	可靠度 最高	产量最高 /(t·h ⁻¹)
常规优化设计	0.035	0.41	0.8	730
系统模糊可靠性优化	0.028	0.369	0.854	745.9
目标函数变化	-25%	-11.1%	6.75%	2.18%

4 结论

在系统可靠性的多目标优化决策中，由于大量模糊信息的存在，设计决策系统时，计算结果往往不尽相同，主要是由于约束条件均采用正态分布假设，但在系统数据不容易全部统计条件下，采用单一正态分布假设将不能有效反映真正的数学模型，计算可靠结果存在偏差。在系统统计中往往能够计算数据前四阶矩，笔者采用随机摄动法和Edgeworth级数方法将不完全概率信息转化为标准正态分布函数，建立模糊可靠性多目标模型，从而运用遗传算法对此模型求解。实例及对比分析表明，用本文方法进行设计计算能够提高系统可靠度6.75%，降低截割部载荷波动率25%，降低刨煤机比截割能耗11.1%，提高产量2.18%，降低投入成本，因此，该模型和优化方案更接近客观实际。

参考文献 (References)

[1] 玄光男，程调伟. 遗传算法与工程优化 [M]. 于歆杰，周根贵，译. 北京：清华大学出版社，2004.
Xu Guangnan, Cheng Diaowei. Genetic algorithms and engineering

optimization [M]. Yu Xinjie, Zhou Gengui, trans. Beijing: Qinghua University Press, 2004.
[2] 王小平，曹立明. 遗传算法理论应用与软件实现 [M]. 西安：西安交通大学出版社，2005.
Wang Xiaoping, Cao Liming. Genetic algorithms theory applications and software[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2005.
[3] 高尚. 基于遗传算法的可靠性优化 [J]. 工程设计学报, 2001 (3): 146-149.
Gao Shang. *Journal of Engineering Design*, 2001, 8(3): 146-149.
[4] 吴卫东，黄洪钟，古莹奎. 机械系统可靠性模糊多目标优化设计的综合协调法[J]. 应用科学学报, 2003, 21(3): 263-268.
Wu Weidong, Huang Hongzhong, Gu Yingkui. *Journal of Applied Sciences*, 2003, 21(3): 263-268.
[5] 何光宇，刘新学，尉询楷. 基于遗传算法的多目标可靠性优化[J]. 数学的实践与认识, 2006, 36(3): 20-23.
He Guangyu, Liu Xinxue, Wei Xunkai. *Mathematics in Practice and Theory*, 2006, 36(3): 20-23.
[6] 马清亮，胡昌平. 进化算法在系统可靠性多目标优化中的应用[J]. 上海航天, 2004(2): 7-10.
Ma Qingliang, Hu Changping. *Aerospace Shanghai*, 2004(2): 7-10.
[7] 叶秉良，俞高红，赵匀. 拖拉机最终传动多目标模糊可靠性优化设计 [J]. 农业机械学报, 2010, 41(4): 95-101.
Ye Bingliang, Yu Gaohong, Zhao Yun. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41(4): 95-101.
[8] 张凯燕，莫云辉，邓召义，等. 改进遗传算法的行星齿轮传动多目标模糊元可靠性优化[J]. 上海大学学报, 2007, 13(1): 22-28.
Zhang Kaiyan, Mo Yunhui, Deng Shaoyi, et al. *Journal of Shanghai University*, 2007, 13(1): 22-28.
[9] 徐小军，陈循，尚建忠，等. 波浪补偿系统差动行星传动多目标模糊可靠性优化设计[J]. 中国机械工程, 2008, 19(4): 394-398.
Xu Xiaojun, Cheng Xun, Shang Jianzhong, et al. *China Mechanical Engineering*, 2008, 19(4): 394-398.
[10] Zhang Qiang. Multi-objective optimization reliability design for cutting head of roadheader base on incomplete probability information[C]. IEEE Computer Society of International Conference on Information and Computing Science, England, May 20-23, 2009.
[11] 傅晓锦. 弹簧的模糊可靠性优化设计 [J]. 机械设计与制造, 2000, 37 (1): 4-6.
Fu Xiaojin. *Machinery Design Manufacture*, 2000, 37(1): 4-6.
[12] 张强，毛君. 基于遗传算法掘进机截割头多目标模糊可靠性优化[J]. 煤炭学报, 2008, 33(12): 1534-1437.
Zhang Qiang, Mao Jun. *Journal of China Coal Society*, 2008, 33(12): 1534-1437.
[13] 张强，毛君. 基于神经网络的硬岩掘进机截割头反设计方法[J]. 机械设计与研究, 2010, 26(2): 99-102.
Zhang Qiang, Mao Jun. *Machine Design and Research*, 2010, 26(2): 99-102.
[14] 张义民，黄贤振，贺向东. 任意分布参数平面连杆机构运动精度可靠性设计[J]. 机械设计, 2007, 24(11): 8-10.
Zhang Yiming, Huang Xianzhen, He Xiangdong. *Journal of Machine Design*, 2007, 24(11): 8-10.
[15] 张义民，刘巧伶，闻邦椿. 不完全概率信息的车辆常用弹簧的可靠性灵敏度设计[J]. 中国工程科学, 2004, 6(1): 74-78.
Zhang Yiming, Liu Qiaoling, Wen Bangchun. *Engineering Science*, 2004, 6(1): 74-78.
[16] 朱丽莎，张义民，唐乐. 基于随机摄动法的可靠性灵敏度计算的修正公式[J]. 东北大学学报, 2010, 31(11): 1603-1606.
Zhu Lisha, Zhang Yimin, Tang Le. *Journal of Northeastern University*, 2010, 31(11): 1603-1606.

(责任编辑 马宇红,代丽)