

文章编号: 1001-0920(2004)01-0108-03

基于区间放松的冲突化解策略

张少彤, 熊光楞, 李 涛

(清华大学 国家 CMS 工程研究中心, 北京 100084)

摘 要: 针对基于约束网络的参数设计冲突提出一种化解策略。首先量化各约束的满足程度; 然后构造出反映约束网络冲突严重程度的指标, 并采用遗传算法以该指标为优化目标寻找制约产品设计的“瓶颈”变量; 最后利用设计参数区间的可扩展性, 以最小的设计区间损失争取最佳的产品指标。该方法已应用于某型铁路货车转向架弹性元件的设计过程。

关键词: 参数设计; 约束网络; 冲突化解; 遗传算法

中图分类号: TP311

文献标识码: A

Conflict resolution method based on interval extendibility

ZHANG Shao-tong, XIONG Guang-leng, LI Tao

(National CMS Engineering and Research Center, Tsinghua University, Beijing 100084, China. Correspondent: ZHANG Shao-tong, E-mail: zhangst99@mails.tsinghua.edu.cn)

Abstract: A conflict resolution method for parameter design based on interval extendibility of design variables is proposed. A specification reflecting the satisfactory degree of the constraint networks is constructed, and the bottleneck variables are found with a genetic algorithm. Due to interval extendibility, the initial intervals of the very parameters could be enlarged at the least cost to mitigate the conflicts. An adjustment instance of the parameter design for damping springs of the bogie is introduced.

Key words: parameter design; constraint networks; conflict resolution; genetic algorithm

1 引 言

在产品参数设计阶段, 可以利用约束网络模型辅助决策产品的参数取值, 但由于难以合理给出各设计变量和产品指标的初始范围, 设计冲突将会频繁发生。因此, 冲突化解方法在基于约束网络的产品参数设计过程中占有重要地位。Buszman^[1]提出通信和协商并行设计的冲突化解的两种重要手段; McGuire 等人^[2]采用知识共享技术来实现协同设计中的冲突仲裁; Tan 等人^[3]利用 multi-agent 技术保证产品开发子过程间的协调。此外, 人工智能技术在冲突化解中也发挥了作用, 如 Sycara^[4]基于实例推

理的方法; Subba 等人^[5]应用神经网络和专家系统技术处理手写体识别过程中的冲突现象。

上述定性方法并不适于处理参数设计中量化的冲突信息, 也很难说明如何修改约束网络才能最有效地化解冲突。为此, 本文提出一种基于设计参数区间放松的冲突化解策略, 可找到约束网络中制约设计的“瓶颈”变量, 利用参数区间的可扩展性, 以最小的区间损失争取到最佳的产品指标。

2 设计参数区间放松模型

在参数设计中, 冲突通常表现为不能找到一组满足全部约束条件的设计参数的取值。针对约束

收稿日期: 2002-07-01; 修回日期: 2002-08-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60104008)。

作者简介: 张少彤(1977—), 男(苗族), 湖南沅陵人, 博士生, 从事约束网络、协同设计等研究; 熊光楞(1936—), 男, 江西南昌人, 教授, 博士生导师, 从事并行工程、协同仿真等研究。

网络产生冲突的根源, 一般可将冲突化解策略分为 3 个方面: 1) 调整设计变量取值范围, 以解决设计变量的初始区间给定不合理, 易产生人为冲突的问题; 2) 降低对某些指标参数的要求; 3) 修改设计参数间的约束关系

修改设计参数间的约束关系, 将导致设计过程返工到结构设计阶段并需重新论证, 因而不是冲突化解的首选方法 在协同环境下, 设计者都有将自己负责的参数限制在对自己工作较为有利的狭小区间的倾向, 从而加大了发生人为冲突的机率; 而且由于产品某些性能指标相当于“软约束”, 使得设计参数区间通常具有一定的可扩展性 因此在假定产品结构合理的前提下, 可采用适当扩大某些设计参数初始区间的方法来化解冲突 参数设计冲突化解的数学模型为

$$z \begin{cases} [z^{L0}, z^{U0}], I = \Phi^A z & I = [z^L, z^U]; \\ \text{s.t.} \begin{cases} d_1 = g(z), g(z) = [g_1(z), \dots, g_l(z)]^T, \\ d_2 = h(z), h(z) = [h_1(z), \dots, h_m(z)]^T. \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

式中: z 为 k 维设计参数, 包括连续型和离散型两种设计变量; d_1 和 d_2 为设计指标向量; I 为设计参数的可行解空间; $C = \{f(z)\} = \{g, h\}$ 表示约束关系集合; A 为冲突化解策略 当设计参数可行解空间为空时, 在化解策略 A 的作用下, 逐个扩展“瓶颈”变量的初始范围, 重新检查约束网络, 直至出现一组设计参数的取值使 C 中的约束条件全部满足为止

3 冲突化解策略

冲突化解策略 A 分为 3 个步骤: 首先评估当前冲突的严重程度; 然后针对严重程度指标进行优化, 找到冲突严重程度最小的解; 最后由该解逐步扩展参数初始区间, 直至冲突完全化解为止

3.1 冲突严重程度指标

冲突严重程度指标 spec 可由约束重要程度因子 imp 与约束满足程度因子 μ 合成得到 例如选取

$$\text{spec}(\omega) = \prod_{i=1}^{l+m} \text{imp}_i \cdot \mu_i(d_i), \quad (2)$$

表示设计解 ω 对整体约束集 C 的满足度

3.1.1 确定每条约束的重要程度因子

等级化约束网络以评价每条约束的重要程度 $\text{mag}(f_i) \in [0, 1]$, 当 $\text{mag}(f_i) = 0$ 时, 表示该约束可删除; 当 $\text{mag}(f_i) = 1$ 时, 表示该约束不可修改 对于每一条约束的重要程度因子 imp_i , 有

$$\text{imp}_i = \text{mag}(f_i) / \prod_{i=1}^{l+m} \text{mag}(f_i),$$

$$i = 1, 2, \dots, l + m. \quad (3)$$

3.1.2 确定每条约束的满足程度因子

利用模糊理论计算指标变量的满足程度作为约束满足程度因子 μ , 因此需要扩展指标变量的取值范围 本文采用线性满足度函数以简化计算

1) 对等式约束条件 $d_i = f_i(z)$, 有

$$\mu_i(d_i) = \begin{cases} \frac{d_i - d_i^{LL}}{d_i^L - d_i^{LL}}, d_i^{LL} < d_i < d_i^L; \\ 1, d_i^L < d_i < d_i^U; \\ \frac{d_i^{UU} - d_i}{d_i^{UU} - d_i^U}, d_i^U < d_i < d_i^{UU}; \\ 0, \text{other wise} \end{cases} \quad (4)$$

2) 对不等式约束 $d_i < f_i(z)$, 可以单方向放松指标变量, 有

$$\mu_i(d_i) = \begin{cases} 1, d_i < d_i^U; \\ \frac{d_i^{UU} - d_i}{d_i^{UU} - d_i^U}, d_i^U < d_i < d_i^{UU}; \\ 0, \text{other wise} \end{cases} \quad (5)$$

式中: d_i 为指标变量值, d_i^L 和 d_i^U 为 d_i 的初始范围界限, d_i^{LL} 和 d_i^{UU} 为 d_i 扩展后的允许界限

3.2 基于冲突满足程度指标的寻优

针对式(2)寻优, 获得当前条件下约束满足程度最高的解 $\omega_{\text{best}} = \underset{\omega}{\text{max}} \{ \text{spec}(\omega) \}$; 然后放松 ω_{best} 以寻找约束满足程度更高的解, 直至冲突完全化解

复杂工程优化问题的目标函数一般是多峰的, 要求搜索算法能够避免陷入局部最优 本文采用遗传算法寻优 通用的遗传算法为一个 8 元组

$$\text{SGA} = \{C, E, P_0, M, \Phi, \Gamma, \Psi, T\}. \quad (6)$$

其中: C 为个体的编码方法, 对于连续型变量采用浮点数转化为二进制数的编码方法, 对于离散型变量则采用代号法, 即为离散变量的每个可能的取值分配一个代号以建立状态转化表, 通过查询该表实现代号与离散变量实际取值间的转化; E 为个体适应度评价函数, 本文即为式(2); P_0 为初始种群个体集合; M 为种群大小; Φ, Γ 和 Ψ 分别为选择算子、交叉算子和变异算子; T 为停止条件

3.3 设计参数的区间扩展

由于每条约束的重要程度因子 imp 为常量, 优化指标 spec 仅随各约束满足度的变化而变化

定理 1 设 $\omega = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n]$ 为约束集在当前给定区间状态下针对式(2)指标的最优解, 如果满足以下条件: 1) ω 的某个分量(不妨设为 $\omega, b < n$)的取值位于该变量值域区间的端点上; 2) 约束表达式 $f_i(\omega)$ 在分量 ω 上的投影函数 $f_i(\omega)$ 在最优

解点附近为单调函数 则沿该分量 ω 的端点方向扩大区间一定可使 d_i 的满足度提高

证明 考虑其他变量区间固定, 仅对 ω 区间进行扩展的情况 设 $\omega = [\omega, \omega]$, 考虑所有未满足的约束条件, 其满足度 $\mu_i(d_i)$ 1

1) 当 $\mu_i = \frac{f_i(\omega) - d_i^{LL}}{d_i^L - d_i^{LL}}, d_i^{LL} < d_i < d_i^L$ 时, μ_i 的增减性与函数 $f_i(\omega)$ 相同 此时, 若 $f_i(\omega)$ 为减函数, 则当 $\omega = \omega$ 时 μ_i 取最大值; 若 $f_i(\omega)$ 为增函数, 则当 $\omega = \omega$ 时 μ_i 取最大值 沿 ω 所在的区间端点方向扩大区间, 必然可使 μ_i 的最大值增大

2) 当 $\mu_i = \frac{d_i^{UU} - f_i(\omega)}{d_i^{UU} - d_i^U}, d_i^U < d_i < d_i^{UU}$ 时, μ_i 的增减性与函数 $f_i(\omega)$ 相反 此时, 若 $f_i(\omega)$ 为减函数, 则当 $\omega = \omega$ 时 μ_i 取最大值; 若 $f_i(\omega)$ 为增函数, 则当 $\omega = \omega$ 时 μ_i 取最大值 沿 ω 所在的区间端点方向扩大区间, 必然可使 μ_i 的最大值增大

综上所述, 命题得证

由定理 1 可以看出, 扩展某些连续型设计变量的区间边界可以提高约束的满足度, 从而降低了整体约束的冲突程度 该定理为化解冲突提供了理论依据 离散型设计变量多是遵循国家标准规定的参数, 其允许值不易扩充, 因此在实际约束化解时, 优

先对连续型设计变量区间进行扩展 针对当前条件下冲突程度最小(或约束满足度最大)的设计向量, 根据各设计参数的重要程度, 从最不重要、取值位于区间边界的连续型设计参数开始进行区间扩展 此外, 还应考虑是否需要扩展离散型设计变量的取值范围, 或者是否需要降低某些设计指标要求, 直到出现满足所有约束条件的可行解

4 设计实例

在铁路货车的转向架设计过程中, 需要考虑各方面的要求(工艺、工装等), 而且约束条件往往带有矛盾性, 因此参数设计过程中会频繁发生冲突

抽取相对重要的应力、稳定性等指标约束进行检验, 并扩展产品指标变量的初始区间 遗传算法的计算参数为: 连续型变量染色体长度为 22 位, 种群个体数 $M = 500$, 交叉概率 $p_c = 0.8$, 变异概率 $p_m = 0.1$, 停止条件为 $spec = 1$ 或 $T = 200$ 代

冲突化解过程及其结果如表 1 所示 表中变量名称标记“*”的是离散型变量, 取值须遵循国家标准 化解冲突时扩展了 D_1 和 $H d_2$ 的区间, 采用遗传算法再次寻优, 则可得到最优解 $\omega_{best} = [135.025, 25, 4.787, 75.959, 20, 7.33]^T$, $spec(\omega_{best}) = 1$, 全部约束得到满足

表 1 转向架设计参数

变量描述	变量名称	初始上限	初始下限	当前最优解	扩展上限	扩展下限
外簧平均直径 /mm	D_1	136.0	135.0	135.314	136.0	134.0
外簧簧丝直径 /mm	$H d_1^*$	25	21	25	25	21
外簧有效圈数	n_1	11.8	4.1	4.873	11.8	4.1
内簧平均直径 /mm	D_2	78.0	74.0	76.956	78.0	74.0
内簧簧丝直径 /mm	$H d_2^*$	18.0	16.0	18.0	20.0	16.0
内簧有效圈数	n_2	7.5	6.8	7.129	7.5	6.5

5 结论

本文提出一种基于区间扩展的冲突化解策略 该方法利用设计参数区间的可扩展性, 以最小的设计参数区间损失有效地化解设计冲突 与约束一致性算法相配合, 能在参数设计早期就发现设计过程中的潜在冲突并化解冲突, 避免设计后期出现大的返工

参考文献(References):

[1] Bussman S. A communication architecture for cooperative agents [J]. *Computers and Artificial Intelligence*, 1993, 12(1): 13-18
 [2] McGuire J G, Kuokka D R, Weber J C, et al. SHADE: Technology for knowledge-based collaborative

engineering [J]. *Concurrent Engineering: Research and Application*, 1993, 1(3): 137-146
 [3] Tan G W, Hayes C C, Shaw M. An intelligent-agent framework for concurrent product design and planning [J]. *IEEE Trans on Engineering Management*, 1996, 43(3): 297-306
 [4] Sycara K. Resolving goal conflicts via negotiation [A]. *Proc 7th National Conf on Artificial Intelligence* [C]. MN: St Paul, 1988. 223-235.
 [5] Subba N V, Nagabhushan P. A connectionist expert system model for conflict resolution in unconstrained handwritten numeral recognition [J]. *Pattern Recognition Letters*, 1998, 19(2): 161-169.