

# 带有优先级的分层满意优化控制算法研究

陈 琼

(合肥工业大学, 安徽 合肥 230061)

**摘 要:**满意控制作为预测控制的实用发展,是基于模型在线实现有约束多目标多自由度优化(CMMO),并由操作者参与决策的一种实用控制方法。针对有约束多目标多自由度优化中输出变量逼近期望值时存在的优先级结构,将一般的用二次规划表示的满意优化控制问题转化为一个分两层进行的直接优先级优化的满意优化控制问题,使用宽容分层优化方法进行分层,使用变可行域优化方法进行每层的优化,最终决策者得到满意解。

**关键词:**满意控制;宽容分层优化;变可行域优化;有约束多目标多自由度

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2008)06-0125-03

## Application of Varying - Domain Optimization Method in Satisfactory Control

CHEN Qiong

(Hefei University of Technology, Hefei 230061, China)

**Abstract:** As a practical development of predictive control, satisfactory control bases on the model of plants to realize constrained multi-objective multi-degree-of-freedom optimization (CMMO) on-line, and at the same time, the operator is involved in the decision-making process. With the priority structure given by the decision-maker in the constrained multi-objective multi-degree-of-freedom optimization problem, the commonly used quadratic programming model is converted into a two-level optimization problem solved by the tolerant lexicographic method and the varying-domain optimization method. In this way, the operator can get the satisfying solution.

**Key words:** satisfactory control; tolerant lexicographic method; varying-domain optimization method; CMMO

## 0 引 言

当前,以优化为基础的动态控制级已经成为工业过程递阶控制结构中的重要一层。动态控制的质量高,上层优化级就可将工作点设置得临近其约束边界(卡边),在保证安全性的同时,使得经济效益大为提高,因而,提高动态控制级的优化控制质量至关重要。

复杂工业过程存在难以建模、关联复杂、对象结构与参数时变、干扰与环境不确定、要求与约束多样等特点,由于存在多种软硬约束和多种目标要求,传统的自由度概念已不适用,而代之以操作者对各种要求以主观意识加以选择的满意概念<sup>[1]</sup>。

复杂环境下控制的优化问题与传统的优化理论并不一致,主要表现在如下几点<sup>[2]</sup>:

1) 优化问题的性能指标和约束条件在传统控制理论中是界限分明的,但在工业环境中,用户对两者的区

别已经淡化。

2) 所有的要求并不是同样的重要。

3) 优化问题的求解是利用所有控制变量的自由度,按照从硬到软的优先级逐步满足所有或部分要求。

如果将总控制目标和约束从不同方面(比如时间、空间等)考虑,可以分成许多控制子目标和子约束,这样就可以综合考虑它们之间的相对权重,加权后再以另一简洁的或易解决的形式综合起来形成新的控制目标,此时控制策略就容易得到了<sup>[3]</sup>。在这样的优化问题中,强调的是“满意”而不是“最优”。

## 1 带有优先级的递阶满意优化控制算法

### 1.1 问题的提出

在CMMO问题中,优化的目标是使得被控变量和控制变量与理想值尽可能接近。在决策者对于被控变量和控制变量有不同的重要性和优先级的情况下,一般形成加权的二次规划问题,其中权系数的大小表示目标的重要性的和优先级的不同。形成的二次规划问题

收稿日期:2007-09-18

作者简介:陈 琼(1976-),女,安徽合肥人,硕士,研究领域为智能控制、模式识别。

如下所示:

$$\left. \begin{aligned} \min J &= (\|u_s - u_d\|_R^2 + \|y_s - y_d\|_Q^2) \\ \text{s. t. } y_s &= Hu_s \\ u_{\min} &\leq u \leq u_{\max}, y_{\min} \leq y \leq u_{\max} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

其中  $R = \text{diag}(r_1, \dots, r_n) > 0$ ,  $Q = \text{diag}(q_1, \dots, q_m) > 0$ , 是相应的权矩阵。两个权矩阵中的元素  $r_i, i = 1, \dots, n, q_i, i = 1, \dots, m$ , 是相应的权系数, 它反映了目标的相对重要性。为了归一化, 使得

$$\sum_1^n r_i + \sum_1^m q_i = 1$$

但是由于约束的存在, 目标对于全系数的变化不是单调的。因此, 在满意控制过程中, 如果需要调整偏差的话, 得到的解可能是失望的。在约束目标规划问题中, 特别是在目标函数和约束条件变得复杂时, 上面的情况很难分析。为了得到更实用的解法, 按照优先级的结构, 把上面的二次规划问题转换为一个两层的优化问题, 层次之间的优化问题使用宽容分层优化方法求解, 而每一层形成的目标规划问题, 可以用变可行域优化方法求解之。得到的解可以使得较高的优先级获得较高的满意度。

## 1.2 字典分层优化方法的描述

### (1) 完全分层规划法。

分层规划法是一种传统的求解有优先级多目标优化问题的方法<sup>[4]</sup>。主要包括完全分层法、分层评价法和分层单纯形法等。完全分层法研究的问题是多个目标分别处于不同的优先层次, 但每层只有一个目标需要优化。其求解思想是按照模型所规定的优先层次依次对每层求出最优解, 则最后一层的最优解即为所求解。

### (2) 宽容分层规划法。

在完全分层规划法中需注意的是, 若在某一中间优先层次得到了唯一最优解, 则下一层次的求解实际上已不必再进行了。若出现这种情况, 以后各优先层次的目标函数在问题中就不起任何作用, 而这种情况是经常发生的。为了在求解中避免出现这样的情况, 对上述的简单完全分层法做如下的修正: 即在对每一优先层次求解之后给其最优值以适当的宽容, 从而使下一层次的可行域得到适当的放宽。作了这样修正的求解模型的方法, 叫做宽容完全分层法。

## 1.3 变可行域优化方法

文献[5]中提出了变可行域优化方法, 在此不再做描述。

## 1.4 带有优先级的 CMMO 满意控制算法

同式(1)一样, 取  $u \in R^n, y \in R^m$  分别代表操作变量和被控变量,  $u_s$  和  $y_s$  分别表示它们的稳态值, 于是有  $y_s = Hu_s$ , 它们的稳态值分别为  $u_d$  和  $y_d$ 。因此

CMMO 问题可以看作是以  $u_s$  和  $y_s$  为决策变量,  $u_d$  和  $y_d$  为目标值的目标规划问题。在操作过程中, 操作者往往对操作变量和被控变量有不同的优先级和重要性的要求, 而普遍的情况是被控变量的优先级大大高于操作变量的优先级。我们把被控变量和操作变量之前差别很大的优先级成为硬优先级; 而操作变量之间和被控变量之间的优先级差别不大, 称之为软优先级。考虑到被控变量和操作变量之间的优先级的显著不同, 把式(1)所示的问题转换为一个两层的优化问题, 使用宽容分层优化方法求解硬优先级; 而对于软优先级, 基于高的优先级有高的满意度的原则, 使用变可行域优化方法进行求解。

结合宽容完全分层优化方法和变可行域优化算法, 给出如下的 CMMO 满意控制优化算法。

Step 1: 操作者给出控制变量  $y_s \in R^m$  和操作变量  $u_s \in R^n$  的优先级结构。

Step 2: 根据理想值和取值区域, 给出操作变量  $u_s \in R^n$  和被控变量  $y_s \in R^m$  的隶属度函数。

Step 3: 使用变可行域优化方法对被控变量  $y_s$  进行优化。

Step 4: 对被控变量  $y_s$  的解进行适当的宽容。

Step 5: 使用变可行域优化方法对控制变量  $u_s$  进行优化。

Step 6: 如果操作者对得到的解不满意, 返回 step 4 对控制变量  $u_s$  进行重新优化。

## 1.5 算法举例

例: 工业过程系统的模型和实际方程分别是<sup>[6]</sup>:

$$y_1 = u_1 - u_2 + 2y_2 + \alpha_1$$

$$y_2 = u_3 - u_4 + y_1 + \alpha_2$$

$$y_3 = 2u_4 - u_5 - y_1 + \alpha_3$$

$$\text{和 } y_1 = 1.4u_1 - 0.6u_2 + 1.8y_2$$

$$y_2 = 1.3u_3 - 1.1u_4 + 1.1y_1$$

$$y_3 = 2.3u_4 - 0.7u_5 - 1.1y_1$$

系统约束是:

$$UY = \{(u, y) \in R^8 \mid (|u_i| \leq 1, i = 1, \dots, 5) \cap (0 \leq y_1 \leq 7.4, 0 \leq y_2, y_3 \leq 3) \cap 0.8 - u_2 - 0.6y_2 \geq 0 \cap 2.04 + 1.05y_1 - u_3^2 - u_4^2 - u_5^2 \geq 0\}$$

输出变量  $y_i, i = 1, 2, 3$  的设定值分别是 1, 2, 3, 优先级结构是  $y_1 \sim y_3 < y_2$ 。对操作变量  $u_i, i = 1, \dots, 5$ , 操作者控制能量最小, 即, 它们的设定值都是 0。操作变量的优先级结构是  $u_1 \sim u_4 < u_5 < u_2 < u_3$ 。

利用上面提出的分层满意控制算法求解上面的问题,  $\lambda = 1$  时, 得到如下的解:

$$y'_1 = 0.2245, y'_2 = -0.1183, y'_3 = -0.6136$$

相应的隶属度分别是:

$$\mu_{y_1} = 0.7755, \mu_{y_2} = 0.8817, \mu_{y_3} = 0.3864$$

可以看出,得到的隶属度很好地满足优先级结构。

现在考虑对输出变量  $y_i (i = 1, 2, 3)$  的隶属度进行放松,以便按照优先级结构对操作变量  $u_i, i = 1, \dots, 5$  进行优化。假设放松的条件为:  $|y'_1| \leq 0.3, |y'_2| \leq 0.15, |y'_3| \leq 0.8$ , 得到如下的表达式:

$$|y'_1| \leq 0.3, |y'_2| \leq 0.15, |y'_3| \leq 0.8, u_1, u_5 \in [-1, 1]$$

$\lambda = 3$  时,得到按照优先级结构排列的解:

$$(u_1, u_4, u_5, u_2, u_3) = (-0.7658, 0.9402, -0.7535, -0.3035, 0.3802)$$

相应的隶属度分别是:

$$(\mu_{u_1}, \mu_{u_4}, \mu_{u_5}, \mu_{u_2}, \mu_{u_3}) = (0.2342, 0.0598, 0.2465, 0.6965, 0.6198)$$

可以看出优先级结构得到了很好的满足。

注释1:在第二层的操作变量进行优化时,必须考虑操作者的要求和第一层优化得到的解(包括通过调整参数  $\lambda$  而得到的解),防止优化的不可行性。

注释2:在进行了第一层的优化之后,仅仅通过调整参数  $\lambda$ , 输出变量和操作变量的优先级结构就可以得到满足,而且这种方法可以节省计算量。但是这样做可能使得某些操作变量到达取值的上界或者下界,不利于优化。

(上接第121页)

Continuous nearest neighbor monitoring in road Networks[C]//Very Large Data Bases (VLDB). Proceeding of the 32nd international conference on very large data bases. Seoul, Korea: [s. n.], 2006: 43-54.

- [2] Xiaopeng X, Mokbel F M, Walid A G. SEA - CNN: Scalable processing of continuous K - nearest neighbor queries in spatio-temporal databases[C]//ICDE, 21st International Conference on Data Engineering (ICDE'05). Tokyo, Japan: [s. n.], 2005: 643-654.

(上接第124页)

过调整并发线程的最大数量,能够有效控制并发用户;  
(2)通过限制 EJB 实例池,限制 EJB 构件实例的个数。总之,为了对基于 J2EE 应用系统进行优化设计,需要充分考虑系统的各个方面和环节,进行周密设计,这样才能构建出性能良好的应用系统。

参考文献:

- [1] 苗晓辉. 基于 J2EE 的数据持久化的研究与实现[J]. 计算

## 2 结束语

对于稳态的 CMMMO 问题,考虑到输出变量的优先级大大高于操作变量的优先级,因此采用宽容完全分层方法将优化过程分为两层进行,在每一层都使用变可行域优化方法进行问题的求解。由此得到的解可以使得较高的优先级有较高的满意度。

参考文献:

- [1] 席裕庚. 复杂工业过程的满意控制[J]. 信息与控制, 1995, 24(1): 14-20.  
[2] Sakawa M, Yano H. An interactive fuzzy satisficing method for multi-objective nonlinear programming with fuzzy members [J]. Fuzzy sets and systems, 1989, 30(3): 221-238.  
[3] 李少远, 席裕庚. 基于模糊目标和模糊约束的满意控制[J]. 控制与决策, 2000, 15(6): 674-677.  
[4] 胡疏达. 实用多目标最优化[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987.  
[5] Li Shaoyuan, YANG Yipeng, Teng Changjun. Fuzzy Goal Programming with Multiple Priorities via Generalized Varying-domain Optimization Method[J]. IEEE Trans. on Fuzzy Systems, 2004, 12(5): 596-605.  
[6] Brdy's M, Chen S, Roberts P D. An extension to the modified two-step algorithm for steady-state system optimization and parameter estimation[J]. Int. J. Systems Science, 1986, 17(8): 1229-1243.

- [3] Corral A, Manolopoulos Y, Theodoridis Y, et al. Algorithms for processing k-closest-pair queries in spatial databases [J]. Data and Knowledge Engineering, 2004, 49: 67-104.  
[4] 廖巍, 雄, 王钧, 等. 可伸缩的增量连续 k 近邻查询处理[J]. 软件学报, 2007, 18(2): 268-278.  
[5] 刘灿, 张德贤. 一种在 KNN 查询处理中预估剪枝阈值的方法[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(2): 89-91.  
[6] Sad J R, Urrutia J. Voronoi diagrams [M]. Handbook on Computational Geometry. Ottawa: Elsevier Science, 2000.

机工程, 2007(3): 272-274.

- [2] 成典勤, 崔杜武. J2EE 架构下数据库访问的性能优化[J]. 计算机应用研究, 2006(4): 64-66.  
[3] Roman E, Sriganesh R P, Brose G. 精通 EJB[M]. 第3版. 罗时飞译. 北京: 电子工业出版社, 2006.  
[4] Spell B. Java 专业编程指南[M]. 邱仲潘, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2001.  
[5] 杨瑞. J2EE 中提高数据库应用性能的方法[J]. 计算机系统应用, 2003(11): 60-62.