

工业过程有约束多目标多自由度优化控制的可行性分析*

席裕庚 李 慷

(上海交通大学自动化研究所·上海, 200030)

摘要: 有约束多目标多自由度优化(Constrained Multi-objective Multi degree of freedom Optimization, CMMO)是从复杂工业过程优化控制的实际应用背景出发而提出的,本文介绍了CMMO的基本思想,着重讨论了CMMO中的可行性问题,给出了可行性分析的有效方法.该方法从一般意义来讲,又可以解决两类数学问题.第一类是高维空间具有一定规则的两平直多面体之间是否相交,以及相交区域的估计问题,第二类是一组不等式之间是否相容,以及相容区域的估计问题.

关键词: 复杂工业过程; 有约束多目标多自由度优化; CMMO的可行性分析

1 有约束多目标多自由度优化控制

随着计算机技术的迅速发展,现代工业正向着大型化、集成化发展.由于人们面临的控制对象日趋复杂,对控制系统总体性能的要求也在不断提高,在过程控制中必须考虑多种约束及综合的要求,从而构成了区别单一目标的、包括多种约束及要求在内的广义综合目标.因此,工业过程的在线优化控制不是一个简单的优化问题,而是一个有约束多目标多自由度的优化问题(CMMO问题)^[2].这里的在线优化,应当包括以下几个部分:

- 1) 系统模型: 包括控制量—被控量的动态响应及可测扰动量—被控量的动态响应.
- 2) 系统约束: 包括控制变量约束,被控变量约束,中间变量约束.这些约束一般为界域/设定值(或设计值)约束.
- 3) 系统目标: 包括优化性能指标及辅助性能指标.
- 4) 系统自由度: 表现为操作变量与被控变量数目可以不等.

在复杂的工业环境下控制中的优化问题即这里的CMMO问题与传统的优化理论有不一致的地方,主要表现在^[1]:

1) 优化问题的性能指标与约束条件在传统的理论中界限分明,但在工业环境中,用户对两者的区别已经淡化.性能指标的最小化可理解为取值为“0”的“软”约束;而各种约束反过来也可以看作控制必需满足的或尽可能满足的目标.因此,广义来讲,系统的性能指标及约束条件都是优化问题的要求.

2) 所有的要求,其优先级是不一样的,它们可以分为三类:

1° 由于执行机构、量测机构的物理性质及出于安全考虑的要求,对被控变量、操作变量甚至中间变量都存在着各种必须满足的约束,否则不能实现或不予允许.这种约束称为硬约束.

* 国家自然科学基金重点课题资助项目.

本文于1994年7月7日收到,1994年11月21日收到修改稿.

2° 为保证产品质量所提出的工艺要求,如被控量的设定点要求,应尽量得到满足,但还存在着一定的柔性,如允许其值控制在某一允许的范围,这类约束可称之为软约束.但超出了一定的允许范围,则会变成硬约束.

3° 出于经济方面的要求所给出的性能指标和操作变量的期望值等,这些要求只有在满足前面的条件时才能进一步考虑,这是一种更“软”的约束.

3) 优化问题的求解是利用所有操作变量的自由度,从软到硬的优先级,全部或部分满足这些要求的过程.这一过程以优先满足全部可能出现的硬约束条件作为系统优化控制可行的必要条件,其多余的自由度用来进一步满足第二类要求,如不满足,可将其转化为不超过允许范围的界域要求;在满足以上约束的基础上,若还有自由度,则可以满足第三类要求.

4) 上述优化过程中,操作者可以通过良好的人机界面直接对各种要求加以权衡(如被控变量不能同时达到设定值时的权衡)及改变(如对某控制变量的设定值要求放宽为某一允许的界域要求),所得到的解是反映用户对各种要求不同重视程度的满意解,是各种要求在有冲突下的权衡结果.

因而,这种具有上述特征的以 CMMO 为核心并由操作者参与决策的复杂工业过程的集成优化控制实际上是一种满意控制的概念^[1].

对于 CMMO,可行性问题是首先需要研究的一个方面.所谓 CMMO 的可行性是指:稳态下 CMMO 问题是否存在满足所有可能出现的硬约束,包括全部固定的硬约束及可能转化为硬约束条件的解.这是过程可控的基本要求.

本文将主要研究 CMMO 的可行性问题.

2 有约束多目标多自由度优化控制的可行性分析

在本文中,假定欧几里德空间内的多面体都是平直的.设线性时不变系统输入输出传递函数为

$$S: \quad y(s) = H(s)u(s). \quad (2.1)$$

其中, $u \in R^m$, $y \in R^l$, $H(s) = [h_{ij}(s)]_{l \times m}$, $i = 1, \dots, l$, $j = 1, \dots, m$.

假设系统 S 的稳态增益矩阵存在. 这样稳态下系统的输入输出可表示为:

$$y_s = Hu_s. \quad (2.2)$$

其中, $y_s = y(0)$, $u_s = u(0)$, 分别为输入输出的稳态值, $H = [h_{ij}]_{l \times m}$ 为系统的增益矩阵, $h_{ij} = h_{ij}(0)$ 为 y_i 与 u_j 之间的稳态增益.

正如第一节所述,由于执行机构的物理性质和出于安全性的考虑,以及为保证产品质量所提出的工艺要求,使得操作变量与被控变量都存在一定的界域要求.

设 $u = [u_1, \dots, u_m]^T$, $y = [y_1, \dots, y_l]^T$, 有:

$$u_i \in [\alpha_{i\min}, \alpha_{i\max}], \quad i = \overline{1, m}, \quad (2.3)$$

$$y_i \in [\beta_{i\min}, \beta_{i\max}], \quad i = \overline{1, l}. \quad (2.4)$$

输入和输出的约束空间分别定义为 $P(u)$, $P(y)$:

$$P(u) = \{u = [u_1, \dots, u_m]^T | u_i \in [\alpha_{i\min}, \alpha_{i\max}], i = \overline{1, m}\}, \quad (2.5)$$

$$P(y) = \{y = [y_1, \dots, y_l]^T | y_i \in [\beta_{i\min}, \beta_{i\max}], i = \overline{1, l}\}. \quad (2.6)$$

并定义输入约束空间中一凸体 V 经过稳态增益矩阵 H 线性映射后的输出生成空间为

$Q(y, u)$:

$$Q(y, u) = \{y = [y_1, \dots, y_l]^T | y = Hu, u \in V \subseteq P(u)\}. \quad (2.7)$$

命题 2.1^[4] R^n 空间一有界凸集经一线性算子影射到 R^l 空间上, 其映射区域也必定是 R^l 空间一有界凸集.

从定义可知, $P(u)$ 与 $P(y)$ 是边界面分别与坐标轴垂直的方体. 而 $Q(y, u)$ 不一定是方体, 但一定是凸体.

如果 $V = P(u)$, 记

$$Q_{yu} = Q(y, u) | V = p(u). \quad (2.8)$$

定义 2.1 已知系统 S , H 为系统 S 的稳态增益矩阵, $P(u)$, $P(y)$ 分别为系统的输入及输出约束空间. 如果存在 $P(u)$ 的一个有界凸子集 $V \subseteq P(u)$, 使得 $Q(y, u) \subseteq P(y)$, 则称系统 S 的 CMMO 问题具有可行性.

命题 2.2 输出生成空间 $Q(y, u)$ 的顶点必定由凸集 $V \subseteq P(u)$ 的顶点影射得到.

命题 2.2 的结果可由命题 2.1 直接得到.

$$\text{设} \quad \gamma_{j\min} = \sum_{i=1}^m h_{ji} \theta_i, \quad j = \overline{1, l}. \quad (2.9)$$

其中

$$\theta_i = \begin{cases} \alpha_{i\min}, & \operatorname{sgn} h_{ji} = 1, \\ \alpha_{i\max}, & \operatorname{sgn} h_{ji} = -1. \end{cases}$$

设

$$\gamma_{j\max} = \sum_{i=1}^m h_{ji} \bar{\theta}_i, \quad j = \overline{1, l}. \quad (2.10)$$

其中

$$\bar{\theta}_i = \begin{cases} \alpha_{i\max}, & \operatorname{sgn} h_{ji} = 1, \\ \alpha_{i\min}, & \operatorname{sgn} h_{ji} = -1. \end{cases}$$

记 $Q_{\max}(y, u) = \{y = [y_1, \dots, y_l]^T | y_j \in [r_{j\min}, r_{j\max}], j = \overline{1, l}\}.$

显然, $Q_{\max}(y, u)$ 也是 y 空间中边界面与坐标轴垂直的方体, 同时有 $Q_{yu} \subseteq Q_{\max}(y, u)$.

命题 2.3(不可控命题) 对于系统 S , $P(y)$ 是输出约束空间, $Q_{\max}(y, u)$ 是包含 Q_{yu} 的方体, 如果 $Q_{\max}(y, u) \cap P(y) = \emptyset$ (空集), 则系统 S 的 CMMO 不可行.

命题 2.3 结论显然.

命题 2.2 及式 (2.9) (2.10) 提供了检验系统 S 的 CMMO 问题不可行的快速方法. 然而 $Q_{\max}(y, u) \cap P(y) = \emptyset$ 并不意味着系统 S 的 CMMO 问题可行.

记 $Q_{\min}(y, u) = \{y = [y_1, \dots, y_l]^T | y_i \in [\sigma_{i\min}, \sigma_{i\max}], i = \overline{1, l}\}.$

其中 $\sigma_{i\min} = \max\{\beta_{i\min}, \gamma_{i\min}\}; \quad \sigma_{i\max} = \min\{\beta_{i\max}, \gamma_{i\max}\}; \quad (2.11)$

显然 $Q_{\min}(y, u)$ 也是 y 空间的方体, 且 $Q_{\min}(y, u) = Q_{\max}(y, u) \cap P(y)$.

命题 2.4 输出约束空间 $P(y)$ 与输出生成空间 Q_{yu} 的交集必然包含于方体 $Q_{\min}(y, u)$ 之内.

命题 2.4 的结论显然.

众所周知, l 维欧几里德空间任一方体都有 2^l 个顶点, $2l$ 个 $l-1$ 维边界面, $l \times 2^{l-1}$ 条棱边. $Q_{\min}(y, u)$ 上对应于第 k 个坐标的两 $l-1$ 维边界面可分别表示为:

$$F^k = \{y = [y_1, \dots, y_l]^T | y_k = \sigma_{r\max}, y_r \in R, i \neq k, i = \overline{1, l}\}, \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} \bar{F}^k &= \{y = [y_1, \dots, y_l]^T | y_k = \sigma_{i\min}, y_i \in R, i \neq k, i = \overline{1, l}\}, \\ k &= \overline{1, l} \end{aligned} \quad (2.13)$$

引以 $l-1$ 维边界 $\bar{F}^k$ 及 F^k 切割输出生成空间 Q_{yu} , 记 Q_{yu} 被边界面 $\bar{F}^k$ 及 F^k 切割后当中所凸体为 Q_{yu}^k . 同时, 设 W^k 为包含 Q_{yu}^k 的最小方体. 显然 W^k 上各边界面与 Q_{yu}^k 都有交点.

命题 2.5 系统 S 的 CMMO 问题可行的充要条件是方体 $W^k, k = \overline{1, l}$ 之间有交集, 即: $\cap W^2 \cap \dots \cap W^l \neq \emptyset$.

证 必要性. 令 $\Omega = W^1 \cap W^2 \cap \dots \cap W^l$, 如果 CMMO 可行, 则存在一点 $y^* \in P(y)$, 对 $y^* \in Q_{yu}$, 也即 $y^* \in Q_{\min}(y, u)$, 因此, 根据定义, 不难知道, $y^* \in W^1, y^* \in W^2, \dots, y^* \in W^l$, 也即 $\Omega = W^1 \cap W^2 \cap \dots \cap W^l \neq \emptyset$.

充分性. 如果 $\Omega = W^1 \cap W^2 \cap \dots \cap W^l \neq \emptyset$, 任取一点 $y \in \Omega$, 则有 $y \in Q_{\min}$, 也即 $y \in Q_{yu}$. 同时, 由于 $Q_{\min} \subset Q_{\max}$, 因此, $\Omega = W^1 \cap W^2 \cap \dots \cap W^l$ 唯一由 $Q_{\min} \cap Q_{yu}$ 确定, 也即 $= W^1 \cap W^2 \cap \dots \cap W^l$ 的各面都有 Q_{yu} 上的点, 因此, 存在 Ω 中的点 y^* , 有 $y^* \in Q_{yu}$, 综上所述, 如果 $\Omega \neq \emptyset$, 则系统 S 的 CMMO 问题可行. 证毕.

从上述证明还可知, Ω 就是在满足输入约束条件下包含最大输出约束可行域的最小方

命题 2.5 还可以用图 1, 2 作一说明.

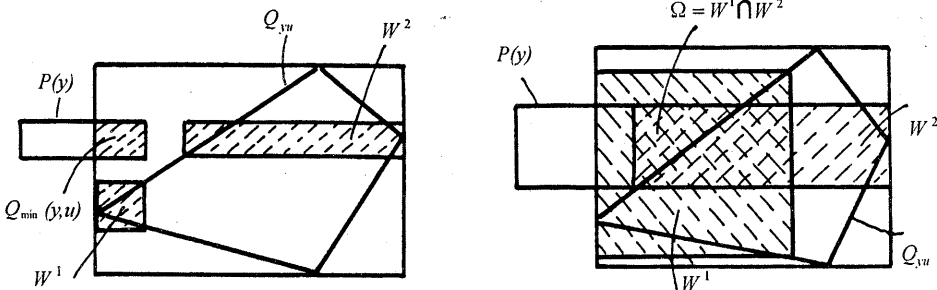


图 1 $\Omega = W^1 \cap W^2 = \emptyset$, 系统 CMMO 不可行情形 图 2 $\Omega = W^1 \cap W^2 \neq \emptyset$, 系统 CMMO 可行情形

CMMO 的可行性分析算法及输出约束可行域的估计

第二节给出了具有几何意义的系统 CMMO 可行性分析的几个命题. 下面将给出系统 IMO 可行性分析的算法, 同时将给出在满足输入约束条件下包含最大输出约束可行域的小方体 Ω 的计算方法.

根据命题 2.5, 易知, 求出 Ω 的关键是如何求出 $W^k, k = \overline{1, l}$. 不失一般性, 我们这里只给出 W^1 的算法.

设集合 $D = \{\text{方体 } P(u) \text{ 上一维棱线 } L_i^k \text{ 的集合, 其中 } i = \overline{1, m2^{m-1}}\}$, L_i^k 可表达为:

$$\begin{aligned} L_i^k &= \{u = [u_1, \dots, u_m]^T | u_k \in [\alpha_{k\min}, \alpha_{k\max}], \\ &\quad u_j = \alpha_{j\min} \text{ or } \alpha_{j\max}, j = \overline{1, m}, j \neq k\}. \end{aligned} \quad (3.1)$$

果存在 $\underline{U}_i^1 = [u_1^* \dots u_m^*]^T \in L_i^k$, 满足:

$$y_1^* = \sigma_{1\min} = \sum_{j=1}^m h_{1j} u_j^*.$$

其中 $\sigma_{1\min}$ 为式(2.11)中所定义的值,则可求出 L_i^k 映射到 y 空间后与 $\underline{F}^1$ 的交点, $\underline{Y}_1^i = [y_1^*, \dots, y_i^*]^T$, 满足:

$$\begin{cases} y_1^* = \sigma_{1\min} \\ y_i^* = \sum_{j=1}^m h_{ij} u_j^*, \quad i = \overline{2, l}. \end{cases} \quad (3.2)$$

同样,如果存在 $\bar{U}_1^i = [u_1^*, \dots, u_m^*]^T \in L_i^k$, 满足:

$$y_1^* = \sigma_{1\max} = \sum_{j=1}^m h_{1j} u_j^*.$$

其中 $\sigma_{1\max}$ 为式(2.11)中所定义的值,则可求出 L_i^k 映射到 y 空间后与 $\bar{F}^1$ 的交点, $\bar{Y}_1^i = [y_1^*, \dots, y_i^*]^T$, 满足:

$$\begin{cases} y_1^* = Q_{1\max}, \\ y_i^* = \sum_{j=1}^m h_{ij} u_j^*, \quad i = \overline{2, l}. \end{cases} \quad (3.3)$$

可以得知, $\underline{Y}_1^i = [y_1^*, \dots, y_i^*]^T$ 是输出生成空间 Q_{yu} 上被 $l-1$ 维边界面 $\underline{F}^1$ 切割后切面上的端点; $\bar{Y}_1^i = [y_1^*, \dots, y_i^*]^T$ 是输出生成空间 Q_{yu} 上被边界面 $\bar{F}^1$ 切割后切面上的端点.

由于方体 $P(u)$ 上的一维棱边有 $m2^{m-1}$ 条,因此,满足(3.2) (3.3)的 Q_{yu} 截面上的点最多有 $m2^{m-1}$ 个.

命题 3.1 输出生成空间 Q_{yu} 被 $Q_{\min}(y, u)$ 上的边界面 $\underline{F}^1$ 切割后凸形截面上的端点必定包含在集合 $\{\underline{Y}_1^i, i \leq m2^{m-1}\}$ 中; 同样,输出生成空间 Q_{yu} 被 $Q_{\min}(y, u)$ 上的边界面 $\bar{F}^1$ 切割后凸形截面上的端点,必定包含在 $\{\bar{Y}_1^i, i \leq m2^{m-1}\}$ 之中.

命题 3.1 及式(3.2) (3.3)给出了输出生成空间 Q_{yu} 被 $Q_{\min}(y, u)$ 上的边界曲面 $\underline{F}^1$ 及 $\bar{F}^1$ 切割后截面上端点的计算方法. 由此求出两截面上的顶点,另外由 $P(u)$ 的顶点直接映射可算出夹在边界面 $\underline{F}^1$ 及 $\bar{F}^1$ 之间的 Q_{yu} 上的顶点,由这两部分顶点便很容易求出 W^1 .

按同样的方法,可求出其它的方体 $W^i, i = \overline{1, l}$, 根据命题 2.5, 可求出 $\Omega = W^1 \cap W^2 \cap \dots \cap W^l$, 如果 $\Omega \neq \emptyset$, 则系统 S 的 CMMO 问题可行, 同时, Ω 也是包含最大输出可行域的最小方体.

现将稳态下系统的可控性分析方法归纳如下:

Step 1: 根据式(2.9) (2.10) 求出包含输出生成空间 Q_{yu} 的最小方体 $Q_{\max}(y, u)$.

Step 2: 根据式(2.11) 求出 $Q_{\min}(y, u)$.

Step 3: 如果 $Q_{\min}(y, u) = \emptyset$, 系统不可控, 否则, 继续进行.

Step 4: 求出 $W^i, i = \overline{1, l}$, 及 $\Omega = W^1 \cap W^2 \cap \dots \cap W^l$,

Step 5: 如果 $\Omega \neq \emptyset$, 则系统 S 的 CMMO 问题可行, 同时, Ω 为包含输入约束条件下最大输出可行域的最小方体.

4 算 例

设一系统的稳态增益矩阵 H 为:

$$H = \begin{bmatrix} 0.7 & 0 & 0 \\ 2 & 0.4 & 0 \\ 2.3 & 2.3 & 2.1 \end{bmatrix}.$$

其中

$$P(u) = \left\{ u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \left| \begin{array}{l} u_1 \in [-1, 2] \\ u_2 \in [-0.1, 0.8] \\ u_3 \in [-2, 3] \end{array} \right. \right\},$$

$$P(y) = \left\{ y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} \left| \begin{array}{l} y_1 \in [1, 1.5] \\ y_2 \in [3, 3.5] \\ y_3 \in [8, 8.5] \end{array} \right. \right\}.$$

Q_{yu} 的顶点分别为:

$$\left\{ \begin{bmatrix} -0.7 \\ -2.04 \\ -6.73 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -0.7 \\ -2 \\ 3.77 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1.4 \\ 3.96 \\ 0.17 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1.4 \\ 3.96 \\ 10.67 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -0.7 \\ -1.68 \\ -4.66 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -0.7 \\ -1.68 \\ 5.84 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1.4 \\ 4.32 \\ 2.24 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1.4 \\ 4.32 \\ 12.7 \end{bmatrix} \right\}.$$

根据式(2.9) (2.10)以及(2.11)可得:

$$Q_{\max} = \left\{ y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} \left| \begin{array}{l} y_1 \in [-0.7, 1.4] \\ y_2 \in [-2.04, 4.32] \\ y_3 \in [-6.73, 12.74] \end{array} \right. \right\},$$

$$Q_{\min} = \left\{ y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} \left| \begin{array}{l} y_1 \in [1, 1.4] \\ y_2 \in [3, 3.5] \\ y_3 \in [8, 8.5] \end{array} \right. \right\}.$$

$P(u)$ 的棱边有 $3 \times 2^2 = 12$ 条, 根据式(3.2) (3.3) 可求出它们与边界面 $\underline{F}^1, \bar{F}^1$ 的交点 $\underline{Y}_1^i$, $\bar{Y}_1^i$ 以及输入约束空间 $P(u)$ 所对应的棱边上的点 $\underline{U}_1^i$ 及 $\bar{U}_1^i$,

$$\left\{ \underline{U}_1^i, \bar{U}_1^i = \begin{bmatrix} 1.43 \\ -0.1 \\ -2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1.43 \\ -0.1 \\ 3 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1.43 \\ 0.8 \\ -2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1.43 \\ 0.8 \\ -3 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 \\ -0.1 \\ -2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 \\ -0.1 \\ -3 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 \\ 0.8 \\ -2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 \\ 0.8 \\ 3 \end{bmatrix} \right\},$$

$$\left\{ \underline{Y}_1^i, \bar{Y}_1^i = \begin{bmatrix} 1 \\ 2.82 \\ -1.14 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 2.82 \\ 9.36 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 3.18 \\ 0.93 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ 3.18 \\ 11.43 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1.4 \\ 3.96 \\ 0.17 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1.4 \\ 3.96 \\ 10.6 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1.4 \\ 4.32 \\ 2.24 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1.4 \\ 4.32 \\ 12.7 \end{bmatrix} \right\}.$$

注意, 其中 $P(u)$ 的某些棱边经映射后与 $\underline{F}^1, \bar{F}^1$ 无交点, 此外, Q_{yu} 在 $\underline{F}^1$ 与 $\bar{F}^1$ 之间没有其它的点. 这样, 根据 $\underline{Y}_1^i, \bar{Y}_1^i$ 可求得 W^1 为:

$$W^1 = \left\{ y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} \left| \begin{array}{l} y_1 \in [1, 1.4] \\ y_2 \in [2.82, 4.32] \\ y_3 \in [-1.14, 12.74] \end{array} \right. \right\}.$$

同样, 可以求得 W^2 及 W^3 , 它们分别为:

$$W^2 = \left\{ y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} \left| \begin{array}{l} y_1 \in [0.94, 1.24] \\ y_2 \in [3, 3.5] \\ y_3 \in [-0.934, 11.8] \end{array} \right. \right\},$$

$$W^3 = \left\{ y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} \left| \begin{array}{l} y_1 \in [-0.042, 1.4] \\ y_2 \in [0.2, 4.32] \\ y_3 \in [8, 8.5] \end{array} \right. \right\}.$$

这样,可求得 $\Omega = W^1 \cap W^2 \cap W^3$ 为

$$\Omega = \left\{ y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} \left| \begin{cases} y_1 \in [1, 1.24] \\ y_2 \in [3, 3.5] \\ y_3 \in [8, 8.5] \end{cases} \right. \right\}.$$

显然, $\Omega \neq \Phi$, 系统的 CMMO 可行. 同时, Ω 为包含输出约束最大可行域的最小方体.

5 结 论

本文介绍了 CMMO 的基本思想,着重讨论了系统 S 的 CMMO 可行性问题,给出了系统 CMMO 问题可行性分析的方法以及相应的计算方法,同时给出了算例. 该方法解决了两类问题,第一类是高维空间具有一定规则的两平直多面体之间是否相交,以及相交区域的估计问题,第二类是一组不等式之间是否相容,以及相容区域的估计问题. 该方法具有较强的几何意义,便于直观理解. 同时,计算方法简易,便于计算机编程实现.

参 考 文 献

- [1] 席裕庚. 从预测控制到满意控制. 第一届中国智能控制与智能自动化学术会议论文集, 沈阳, 1994, 429—434
- [2] 席裕庚. 关于预测控制的进一步思考. 控制理论与应用, 1994, 11(2): 219—221
- [3] The IDCOM Controller. Setpoint Inc., 1992
- [4] 运筹学教材组编写. 运筹学. 北京: 清华大学出版社, 1982
- [5] 江泽涵. 拓扑学引论. 上海: 上海科学技术出版社, 1977

Feasibility Analysis of Constrained Multi-Objective Multi-Degree-of-Freedom Optimization Control in Industrial Processes

XI Yugeng and LI Kang

(Institute of Automation, Shanghai Jiaotong University • Shanghai, 200030, PRC)

Abstract: CMMO (constrained multi-objective multi degree of freedom optimization, CMMO) is proposed from the application background of optimization control for complex industrial processes. In this paper, the main idea of CMMO is discussed, the emphasis of this paper is focused on the feasibility analysis of CMMO, and effective method is suggested.

Key words: complex industrial process; CMMO; feasibility analysis of CMMO

本文作者简介

席裕庚 1946 年生. 1968 年毕业于哈尔滨军事工程学院, 1984 年在慕尼黑工业大学获德国工学博士学位. 现为上海交通大学教授, 自动控制理论与应用专业博士生导师. 目前主要研究方向是复杂工业过程及智能机器人控制的理论和方法.

李 慷 1968 年生. 1992 年毕业于哈尔滨工业大学, 获硕士学位. 现为上海交通大学博士研究生. 研究方向是复杂工业过程的建模、控制及优化.