

文章编号: 1001-0920(2001)03-299-04

# 有约束多变量动态矩阵控制算法

余世明, 杜 维

(浙江大学 工业控制技术国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

**摘 要:** 针对多变量有约束动态矩阵控制问题, 以输出预测值与未来参考轨迹序列误差的绝对值之和作为性能指标, 通过线性化处理使其转化为目的规划问题, 从而使在线滚动优化变得非常容易, 并可充分利用全部操作变量优化系统的动态性能。当约束遭到扰动短暂破坏时, 不会象线性规划那样终止计算, 而是继续向参考轨迹逼近, 在有限时域内达到设定值。仿真实例验证了该算法的有效性。

**关键词:** 多变量; 约束; 动态矩阵控制; 线性化; 目的规划

中图分类号: TP 273. 23

文献标识码: A

## Constrained Multivariable Dynamic Matrix Control Algorithm

YU Shi-ming, DU Wei

(State Key Laboratory of Industrial Control Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** Focusing on the constrained multivariable dynamic matrix control, the sum of the error absolute values between predictive outputs and reference trajectory sequences is taken as the criterion function. By linearization of the criterion function, the on-line optimization is cast as goal programming which can be easily solved. The presented algorithm can make full use of all manipulative variables to optimize the dynamic performance of process. Unlike linear programming, when constraints are not satisfied due to temporary disturbance, it continues to approach reference trajectory and reach the set-point in finite horizon. A simulation example shows the effective performance of the algorithm.

**Key words:** multivariable; constraints; dynamic matrix control; linearization; goal programming

### 1 引 言

在实际工业过程控制中, 被控对象大都是多变量、多目标和有约束的, 利用解析法几乎不可能求解。如何提供快速有效的在线有约束求解算法, 是一个很有意义的研究课题<sup>[1,2]</sup>。文献[3]针对液体催化裂化装置提出一种多变量协调控制算法, 其基本思想是: 当输出在规定范围内变化时, 从输出变量集中去除该变量; 当操作变量达到约束边界(饱和)时, 则从操作变量集中去除该变量; 当对某个输出量施加

控制作用时, 通过优先权矩阵给出的优先因子选取控制变量。这种算法的优点是简单易行, 缺点是优先权矩阵依赖人的经验, 不能充分利用多余的自由度来改善系统的动态性能。文献[4]针对有约束预测控制问题, 采用无穷范数, 通过使跟踪误差的最大绝对值极小化, 把有约束预测控制的滚动优化问题转化为易于求解的线性规划问题。

本文通过线性化处理, 把有约束多变量动态矩阵控制的滚动优化策略转化为目的规划问题。这样

收稿日期: 2000-03-10; 修回日期: 2000-06-20

作者简介: 余世明(1962—), 男, 甘肃天水人, 博士生, 从事大系统建模与优化预测控制及计算机控制等研究; 杜维

(1938—), 男, 浙江杭州人, 教授, 博士生导师, 从事模糊控制、智能信息处理等研究。



$$b_{pi} = Y^i(k+1) + \sum_{j=1}^n Y_{ij}^0 u_j(k-1) - \sum_{j=1}^n G_{ij}^0 U_j(k-1) - e_i(k)h$$

结合式(8), 则(9) 可重写为

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n R_{ij} U_j(k) + D_{pi}^- - D_{pi}^+ = b_{pi} \\ \min D_{pi}^-, D_{pi}^+, \quad i = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (10)$$

对控制施加幅值约束, 不失一般性, 假设控制幅值的下限为零, 即

$$0 \leq U_j(k) \leq u_{j\max} \beta, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

其中,  $u_{j\max}$  为第  $j$  个控制的最大幅值,  $\beta = (1, 1, \dots, 1)^T$ ,  $\mathbf{0} = (0, 0, \dots, 0)^T$ 。如果控制幅值的下限约束为负, 则可通过坐标平移或利用线性规划变量非负化的方法使其为零, 以满足单纯形法迭代寻优的要求。对式(11) 引入相应维数的正、负偏差变量列向量, 使不希望偏差最小化, 则式(11) 成为

$$\begin{cases} U_j(k) + D_{uj}^- - D_{uj}^+ = u_{j\max} \beta \\ \min D_{uj}^+, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (12)$$

对控制变化速率施加上下限约束, 即

$$\Delta u_{j\min} \beta \leq \Delta U_j \leq \Delta u_{j\max} \beta, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

其中,  $\Delta u_{j\max}$ ,  $\Delta u_{j\min}$  为第  $j$  个控制变化速率的上、下限。同理, 引入相应维数的正、负偏差变量列向量, 最小化不希望偏差, 则式(13) 可表示为

$$\begin{cases} S U_j(k) + D_{1j}^- - D_{1j}^+ = \Delta u_{j\max} \beta + \alpha u_j(k-1), \quad \min D_{1j}^+ \\ S U_j(k) + D_{2j}^- - D_{2j}^+ = \Delta u_{j\min} \beta + \alpha u_j(k-1), \quad \min D_{2j}^- \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (14)$$

### 4 多变量动态矩阵控制滚动优化的目的规划形式

设  $m$  个参考轨迹约束分为  $L$  个优先级, 令  $S_i(i$

$= 1, 2, \dots, L)$  为第  $i$  优先级包含的参考轨迹约束集, 且  $S_i = \{1, 2, \dots, m\}$ 。把控制幅值约束和速率约束看作硬约束, 放在第一优先级, 于是可得  $L + 1$  个优先级的目的规划模型

$$\begin{aligned} \min J = & \{P_1 \left[ \sum_{j=1}^n (\lambda_{ij}^+ D_{ij}^+ + \lambda_{ij}^- D_{ij}^- + \lambda_{2j} D_{2j}^-) \right], \\ & P_2 \left[ \sum_{i \in S_1} (\lambda_{pi}^+ D_{pi}^+ + \lambda_{pi}^- D_{pi}^-) \right], \dots, \\ & P_{L+1} \left[ \sum_{i \in S_L} (\lambda_{pi}^+ D_{pi}^+ + \lambda_{pi}^- D_{pi}^-) \right] \} \\ \text{s. t. } & \begin{cases} \sum_{j=1}^n R_{ij} U_j(k) + D_{pi}^- - D_{pi}^+ = b_{pi} \\ U_j(k) + D_{uj}^- - D_{uj}^+ = u_{j\max} \beta \\ S U_j(k) + D_{1j}^- - D_{1j}^+ = \Delta u_{j\max} \beta + \alpha u_j(k-1) \\ S U_j(k) + D_{2j}^- - D_{2j}^+ = \Delta u_{j\min} \beta + \alpha u_j(k-1) \\ U_j = 0, \quad D_{1j}^-, D_{2j}^+ = 0, \quad l \in \{pi, uj, 1j, 2j\} \\ i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \end{aligned}$$

其中带上、下角标的各  $\lambda$  表示相应的偏差变量对应的权系数行向量,  $P_i(i = 1, 2, \dots, L + 1)$  表示第  $i$  优先级。

### 5 计算实例

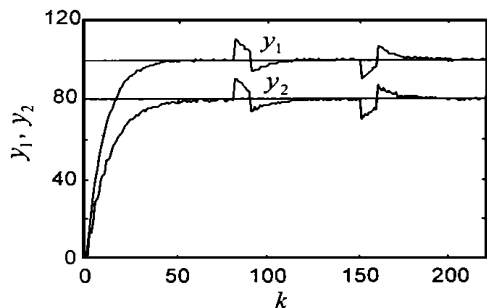
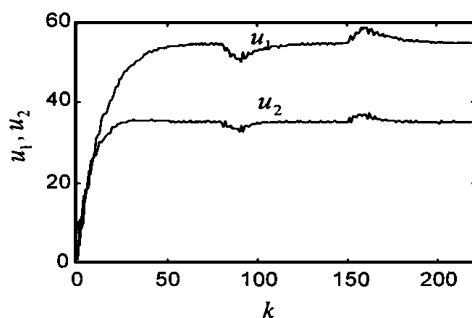
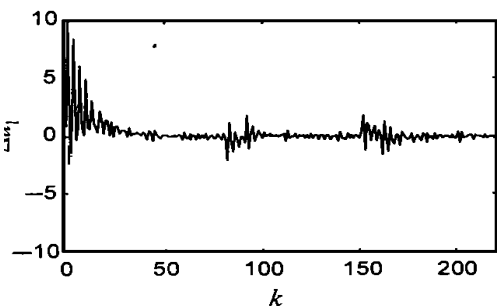
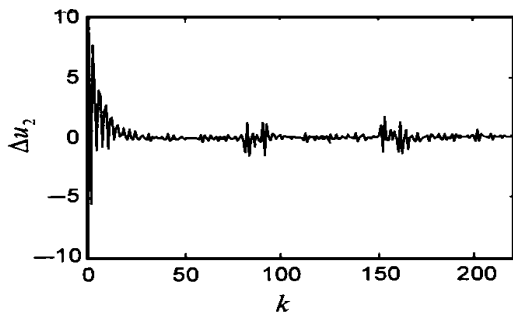
现给出一个二输入二输出系统, 如表 1 所示。

对于上述问题, 仿真步长取为 220, 其余参数取为:  $u_{1\max} = 60, u_{2\max} = 40, \Delta u_{1\min} = \Delta u_{2\min} = -10, \Delta u_{1\max} = \Delta u_{2\max} = 10$ 。当  $81 \leq k \leq 90$  时, 对输出  $y_1$  和  $y_2$  迭加幅值为 10 的干扰; 当  $151 \leq k \leq 160$  时, 对  $y_1$  和  $y_2$  迭加幅值为 -10 的干扰。仿真结果如图 1 ~ 图 4 所示。

从图 1 不难看出, 算法抑制干扰的能力较强, 当有干扰存在时, 能够快速逼近设定值目标。由图 2 ~ 图 4 可以看到, 控制及其速率均在约束允许范围内。

表 1 二输入二输出系统

输出	$u_1(k-1)$	$u_2(k-1)$	噪声
$y_1(k)$	$\frac{0.41 + 0.253Z^{-1}}{1 - 0.5235Z^{-1} + 0.3426Z^{-2}}$	$\frac{0.76 + 0.32Z^{-1}}{1 - 0.7463Z^{-1} + 0.4246Z^{-2}}$	$\xi_1(k)$
$y_2(k)$	$\frac{0.74 - 0.23Z^{-1}}{1 - 0.9231Z^{-1} + 0.3624Z^{-2}}$	$\frac{0.562 + 0.124Z^{-1}}{1 + 0.1253Z^{-1} + 0.3325Z^{-2}}$	$\xi_2(k)$

图1 输出  $y_1, y_2$ 图2 控制  $u_1, u_2$ 图3 控制  $u_1$  变化率图4 控制  $u_2$  变化率

## 6 结 语

本文通过线性化处理,把有约束预测控制的滚动优化问题转化为线性规划问题。理论推导及仿真实例均表明,目的规划是求解多目标、多变量和有约束预测控制滚动优化问题的有效方法。由于采用线性优化策略,该算法的计算效率高,数值稳定性好。

### 参考文献:

[1] 王伟. 广义预测控制理论及其应用[M]. 北京: 科学出版

社, 1998. 188-189.

[2] 舒迪前. 预测控制系统及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996. 377-381.

[3] Yang S H, Wang X Z, Mcgreavy C. A multivariable coordinated control system based on predictive control strategy for FCC reactor-regenerator system[J]. Chem Eng Sci, 1996, 51(11): 2977-2982.

[4] Campo P J, Morari M. Robust model predictive control [A]. Proc of the 1987 American Control Conf [C]. Green Valley: American Automatic Control Council, 1987. 1021-1026.

(上接第 298 页)

## 5 结 语

由于汉字种类繁多,印刷体汉字识别系统一般采用多级分类器,在每一级中又采用不同的分类算法。本文侧重于比较两种单一算法的有效性,而不是对不同算法组合的有效性进行比较。邮政编码是印刷体字符的小子集,不需要进行多级粗分,用一种分类算法就能达到较为满意的结果,因此可更方便有效地进行不同识别算法的优越性比较。

本文提出一种新的模板匹配方法,通过设定合理的阈值将浮点运算转化为整数运算,大大减少了识别算法的计算复杂性,缩短了识别时间。算法中充

分考虑了代表样本之间相关性的因素在识别过程中所起的不同作用,并赋以相应的权系数。利用遗传算法的优良全局搜索能力,确定上述阈值和权系数,取得了令人满意的效果。

### 参考文献:

[1] 裘聿皇. 成组技术与相似性系数[J]. 自动化学报, 1999, 25(2): 275-278.

[2] 裘聿皇. 我国草兔的聚类研究[J]. 兽类学报, 1989, 9(3): 168-172.

[3] 潘正君, 康立山, 陈毓屏. 演化计算[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.