第 16 卷 第 3 期　　控 制 与 决 策　　2001 年 5 月
Vol. 16 No. 3　　CONTROL AND DECISION　　May 2001

文章编号: 1001-0920(2001) 03-378-02

基于阶跃响应的非自衡对象预测控制

张政江, 孙优贤
(浙江大学 工业控制技术研究所, 浙江 杭州 310027)

摘　要: 针对现有非自衡对象 DMC 算法预测模型不易建立的局限性, 提出一种基于非自衡对象阶跃响应的 DMC 算法。分析与仿真结果表明, 该算法对于设定值变化和输入扰动均无控制余差, 且预测模型易于建立。

关键词: 预测模型; 非自衡对象控制; 动态矩阵控制
中图分类号: TP 273　　文献标识码: A

Predictive Control Algorithm of Integrating Plant Based on Step-response

ZHANG Zheng-jiang, *SUN You-xian*
(Institute of Industrial Process Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: A novel DMC algorithm for non-self-regulating plant is presented based on step response. Analytical and simulation results show that the final control errors for changes in set-point and integral disturbance can be eliminated and the predictive model can be easily formulated.

Key words: predictive control; integrating plant control; dynamic matrix control

1 引　　言

动态矩阵控制算法(DMC)无法直接对非自衡对象进行控制[1]。文献[2]提出的改进算法在建立预测模型时, 将非自衡对象分为开环稳定和积分两部分, 显然, 应用中无法得到实际非自衡对象开环稳定部分的阶跃响应。

本文根据非自衡对象阶跃响应的最后阶段可视为直线的特点, 提出一种基于非自衡对象阶跃响应的 DMC 算法, 克服了文献[2]中预测模型不易获得的局限性。

2 算法基本原理

2.1 对象模型

非自衡对象的阶跃响应在一定时间后便以一定速度直线变化[3], 因此可将这部分响应表达成直线形式。假设单位阶跃响应于 N 时刻开始进入直线, 则对象在单位阶跃作用下第 i 时刻的响应系数为 $a_{N+1} = a_N + \delta, a_{N+2} = a_N + 2\delta, \cdots, a_i(i = 1, 2, \cdots, N, \cdots)$。所以单位阶跃响应可写成

$$y(z) = (a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \cdots + a_{N-1}z^{-N+1}) + a_Nz^{-N+1}(z - 1) + \delta z^{-N+1}/(z - 1)^2 \quad (1)$$

收稿日期: 2000-04-17; 修回日期: 2000-07-10
作者简介: 张政江(1962—), 男, 浙江温州人, 博士生, 从事过程计算机控制技术与应用等研究; 孙优贤(1940—), 男, 浙江诸暨人, 教授, 博士生导师, 中国工程院院士, 从事过程控制理论及应用、鲁棒控制理论及应用等研究。

显然, 对于采样时刻 k 的输入 $u(k)$, 有

$$(1-z^{-1})y(k)=u(k)\{[a_1z^{-1}+a_2z^{-2}+\cdots+a_{N-1}z^{-N+1}]\times(1-z^{-1})^2+a_Nz^{-N}(1-z^{-1})+\delta z^{-N-1}\}\quad(2)$$

令

$$\bar{A}(z^{-1})=A(z^{-1})\Delta$$

$$B(z^{-1})=\alpha_1+\alpha_2z^{-1}+\cdots+\alpha_{N+1}z^{-N}$$

由式(2) 可得对象模型为

$$\bar{A}(z^{-1})y(k)=B(z^{-1})\Delta u(k-1)\quad(3)$$

其中, $\alpha_1=a_1$, $\alpha_2=a_2-2a_1$, $\alpha_i=a_i-2a_{i-1}+a_{i-2}$, $i=3,4,\cdots,N+1$; Δ 为差分算子。

2.2 j 步导前预测

由式(3) 经迭代可得 j 步导前预测

$$y(k+j/k)=\sum_{i=1}^{N+1}g_{ji}\Delta u(k-i)+\sum_{i=1}^{2}h_{ji}y(k-i)+\sum_{i=1}^{j}b_i\Delta u(k+j-i)\quad(4)$$

其中

$$h_{ji}=(j+3-i)(-1)^{i+1}$$

$$b_i=\sum_{l=1}^{i}(-l+i+1)\alpha_l$$

$$g_{ji}=\begin{cases}\sum_{l=1}^{j+1}(-l+j+2)\alpha_{l+i-1}, & i\le N-2\\ \sum_{l=1}^{3}(j+2-l)\alpha_{N+l-2}, & i=N-1\\ \sum_{l=1}^{2}(j+2-l)\alpha_{N+l-1}, & i=N\\ (j+1)\alpha_{N+1}, & i=N+1\end{cases}$$

2.3 控制律

控制目标是使下列二次型性能指标取最小值, 即

$$J=\sum_{j=1}^{P}[y_{SP}(k+j)-y(k+j/k)]^2+\lambda\sum_{j=1}^{M}[\Delta u(k+j-1)]^2\quad(5)$$

其中, $y_{SP}(k+j)$ 为设定值期望轨迹, λ 是控制增量的加权值。

对 J 最小化, 可得 M 个未来最优控制增量。采用滚动优化方案, 只将第一个控制增量 $\Delta u(k)$ 作用于对象, 下一控制周期重新计算新的控制增量。

3 仿真结果

仿真采用文献[2] 的对象和扰动通道的传递函数

$$G_P(s)=\frac{0.1(-2s+1)}{s(4s+1)}$$

$$G_d(s)=\frac{-0.1}{s(4s+1)}$$

取 $P=10$, $M=2$, $N=20$, $\lambda=1$, 采样周期 $T=1$。在 $k=20$ 时设定值 $r(s)$ 单位阶跃变化, $k=100$ 时输入扰动 $d(s)$ 单位阶跃变化, 其结果如图 1 所示。

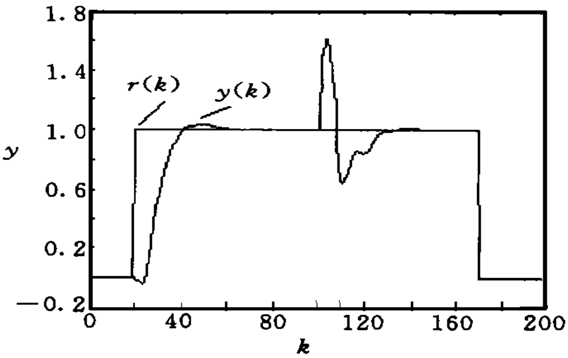

图 1　仿真结果

由图 1 可见, 本文提出的算法对于设定值变化和输入扰动均无余差。

4 结　　语

本文算法利用易于测取的非自衡对象阶跃响应建立预测模型, 克服了现有算法所用的阶跃响应难以获得的局限性。分析与仿真结果表明, 该算法对于设定值的变化无控制余差, 并能消除输入扰动阶跃变化引起的控制余差。这为 DMC 方法在非自衡对象控制中的应用提供了一种新方法。

参考文献:

[1] Lundstrom P, Lee J H, Morari M. Limitations of dynamic matrix control[J]. Comp Chem Eng, 1995, 19(4): 409-421.

[2] 戴连奎. 非自衡系统的动态矩阵控制[J]. 控制理论与应用, 1999, 16(5): 744-746.

[3] 陈来九. 热工过程自动调节原理和应用[M]. 北京: 水利电力出版社, 1982.