



# 基于对象定量和定性信息的组合预测控制<sup>1)</sup>

徐立鸿 施建华

(东南大学自动化所 南京 210096)

**摘要** 针对预测控制存在的设计参数选取困难和对建模误差的鲁棒性问题,提出了组合预测控制算法. 该算法将预测控制和模糊控制有机地结合起来,取长补短,充分利用对象的定量信息和定性信息进行控制. 仿真结果表明,该算法较好地解决了预测控制的以上两个问题.

**关键词** 定量信息,定性信息,预测控制,模糊控制,鲁棒性.

## 1 引言

近年来对多种预测控制算法<sup>[1,2]</sup>的研究表明,预测控制主要存在以下两方面的问题:

1) 需要一个比较准确的对象的预测模型,因而它对建模误差的鲁棒性是有限的.

2) 主要设计参数(如预测时域和控制时域等)与控制性能有密切的关系,怎样选取?理论上至今没能给出定量分析结果,因而实际应用中只能靠试凑,这就是预测控制还不能同PID控制那样被广泛应用的又一主要困难.

产生以上问题的主要原因是,象许多控制算法一样,预测控制仍然是一类局限于只能利用对象的定量信息的算法,它的单纯数学结构难以表达和处理被控对象的不确定信息或定性信息(即非量化信息). 在实际问题中,建模误差的精确的定量描述是不可能的,但如对象类别(是否振荡对象)、建模误差大小等定性信息是可以得到的. 用好这些非量化信息对提高控制性能是重要的. 本文工作正是这方面的一个尝试.

## 2 控制算法

假定被控对象的单位阶跃响应的采样值为 $[a_i, i=1, 2, \dots, N]$ ,以此作为对象的一个定量模型.

由此可得对象输出的一个预测模型如下:

$$\tilde{y}_m(k+i|k) = \tilde{y}_0(k+i|k) + \sum_{j=1}^{\min(M,i)} a_{i-j+1} \Delta u_1(k+j-1), (i=1, \dots, p), \quad (2.1)$$

1) 国家自然科学基金和江苏省青年基金资助.

其中  $\tilde{y}_0(k+i|k), \tilde{y}_m(k+i|k)$  分别是对象在  $k$  时刻的初始预测值和  $k$  时刻以后的预测值.

优化性能指标为

$$\min J(k) = \sum_{i=1}^P [\omega(k+i) - \tilde{y}_m(k+i|k)]^2 + \sum_{i=1}^M [\Delta u_1(k+i-1)]^2, \quad (2.2)$$

这里,  $P$  和  $M$  分别为优化时域和控制时域, 它们是预测控制中的两个重要设计参数<sup>[1]</sup>,  $\omega(k)$  是被跟踪的参考信号, 通常  $\omega(k) \equiv r$  为一常数.

极小化性能指标(2.2)的控制量为<sup>[1]</sup>

$$\Delta u_1(k) = \sum_{i=1}^P d_i [\omega(k+i) - \tilde{y}_0(k+i/k)], \quad (2.3)$$

这里  $\Delta u_1(k)$  是只用到对象模型的定量信息的预测控制增量, 它由 DMC 算法<sup>[1]</sup> 得到, 同样它也可由其它预测控制算法得到.

于是, 构造本文的组合预测控制(CPC)律如下:

$$\Delta u(k) = \alpha \cdot \Delta u_1(k) + (1 - \alpha) \cdot \Delta u_2(k), \quad (2.4)$$

其中

$$\Delta u_2(k) = \mu \cdot [u_2(k) - u_2(k-1)], \quad (2.5)$$

这里  $u_2(k)$  由常规的模糊控制算法得到<sup>[3]</sup>,  $\mu$  为设计者选取的常数, 以保证  $\Delta u_2(k)$  与  $\Delta u_1(k)$  在同一数量级上.  $\alpha$  被称为组合因子, 在 CPC 中它是一重要设计参数.  $\alpha$  由下式确定:

$$\alpha = f(G, \Delta G), \quad \Delta G(s) = G(s) - G'(s), \quad (2.6), (2.7)$$

这里  $G(s)$  和  $G'(s)$  分别为被控对象及其模型的传递函数,  $\Delta G$  称为建模误差. 实际问题中  $G$  与  $\Delta G$  的精确量一般得不到, 所以函数关系  $f$  也就不能精确给出. 在 CPC 中, 只用对象  $G$  的类型(是一阶惯性的还是振荡型的)和建模误差  $\Delta G$  的大小(例如振荡对象采用一阶惯性模型就认为  $\Delta G$  是大的)的定性信息来确定  $\alpha$  的值, 选取方法如下:

- 1) 当  $0 \leq t < t_1$  (即初始阶段), 取  $0.5 < \alpha < 1$ .
- 2) 当  $t \geq t_1$  后,  $\alpha$  的选取见表1.

表 1

G \ ΔG	α			
	大	较大	较小	小
本质一阶惯性对象 (一般取 α 为)	(0.1, 0.3] 0.2	(0.3, 0.7) 0.4	[0.7, 0.9) 0.7	[0.9, 1) 0.9
振荡对象 (一般取 α 为)	(0, 0.1] 0.1	(0.1, 0.3] 0.2	(0.3, 0.7) 0.4	[0.7, 0.9) 0.7

由此看到, 通过  $\alpha$  的选取, 把对象类型及建模误差等非量化信息用进算法中, 这是本文算法的显著特点. 另外, 由于模糊控制和预测控制分别采用对象的定性和定量信息, 因而二者之间不会出现相互干扰的问题.

### 3 仿真研究

将单纯的预测控制(DMC)、模糊控制(FC)和本文的组合预测控制(CPC)进行仿真比较如下:



1) 二阶振荡对象  $G$  及其模型  $G'$  为

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}, \quad G'(s) = \frac{\omega_n'^2}{s^2 + 2\xi'\omega_n' s + \omega_n'^2},$$

分别考虑振荡频率失配(即  $\omega_n \neq \omega_n'$ ,  $\omega_n = 0.63, \omega_n' = 1.26, \xi = \xi' = 0.14$ )和阻尼比失配(即  $\xi \neq \xi', \xi = 0.47, \xi' = 0.12, \omega_n = \omega_n' = 1.26$ )的情形,都取参数  $p = 4, M = 1, t_1 = 20, \alpha = 0.9$  (当  $t \leq t_1$ )和  $\alpha = 0.1$  (当  $t > t_1$ ),三种控制算法的跟踪情况分别见图1和图2.

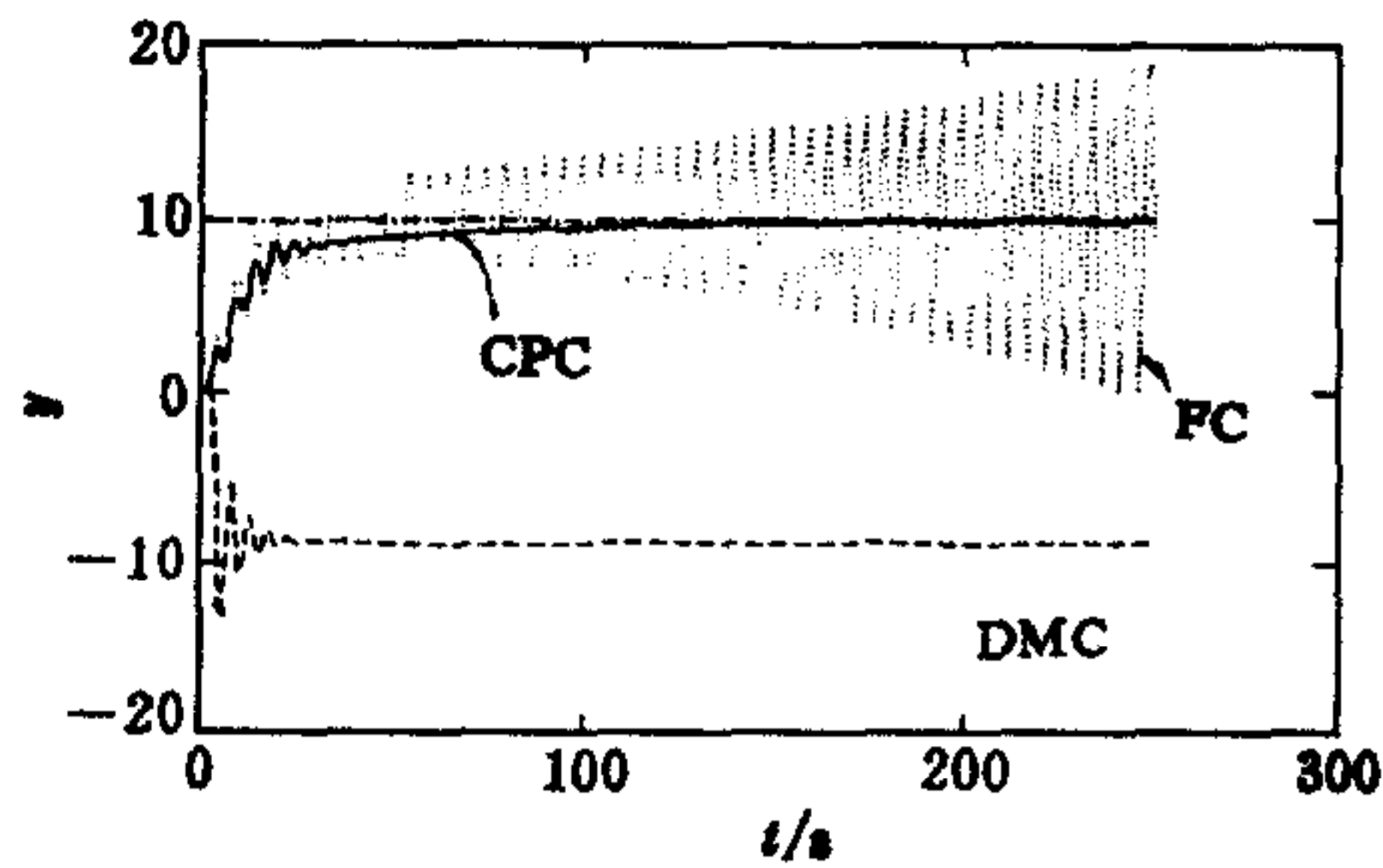


图 1

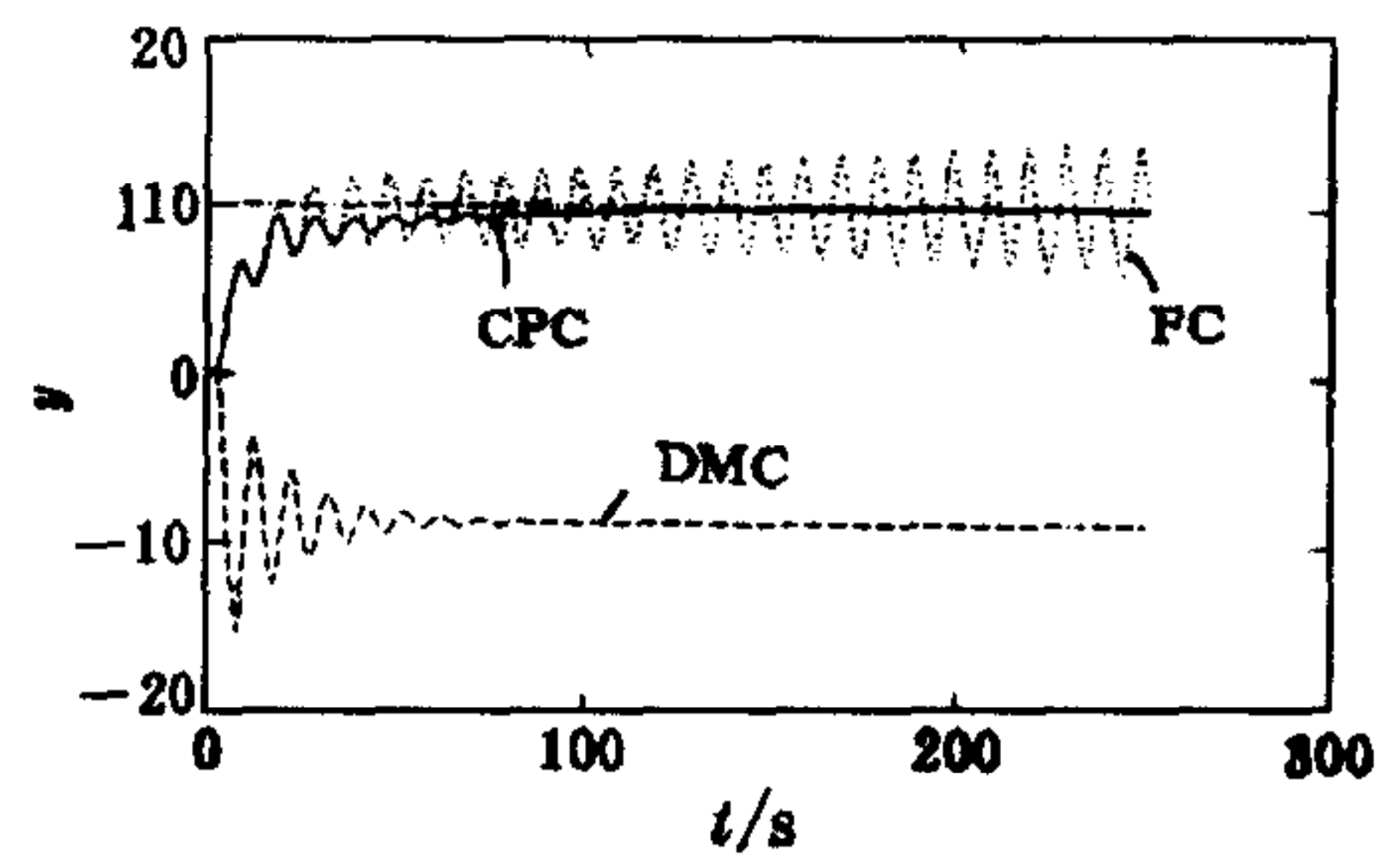


图 2

2) 二阶对象 ( $\xi = 0.67, \omega_n = 1.26$ )用一阶模型  $G'$ 设计控制器,这里,  $G'(s) = \frac{1}{1+2s} e^{-0.4s}$ ,取  $t_1 = 10, p = 4, M = 1, \alpha = 0.7$  (当  $t \leq t_1$ )和  $\alpha = 0.1$  (当  $t > t_1$ ),跟踪情况见图3.

3) 高阶对象  $G$ , 模型  $G'$ 失配为一个二阶振荡环节. 即  $G(s) = G'(s) \cdot \frac{\omega_2^2}{s^2 + \alpha\xi_2\omega_2 s + \omega_2^2}$ ,  $G'(s) = \frac{\omega_1^2}{s^2 + \alpha\xi_1\omega_1 s + \omega_1^2}$  ( $\xi_1\omega_1 > \xi_2\omega_2$ ). 假定  $\xi_1 = 0.3, \omega_1 = 1.9, \xi_2 = 0.1, \omega_2 = 1.05$ ,取  $p = 4, M = 1, t_1 = 10, \alpha = 0.6$  (当  $t \leq t_1$ ),  $\alpha = 0.1$  (当  $t > t_1$ ),跟踪情况见图4.

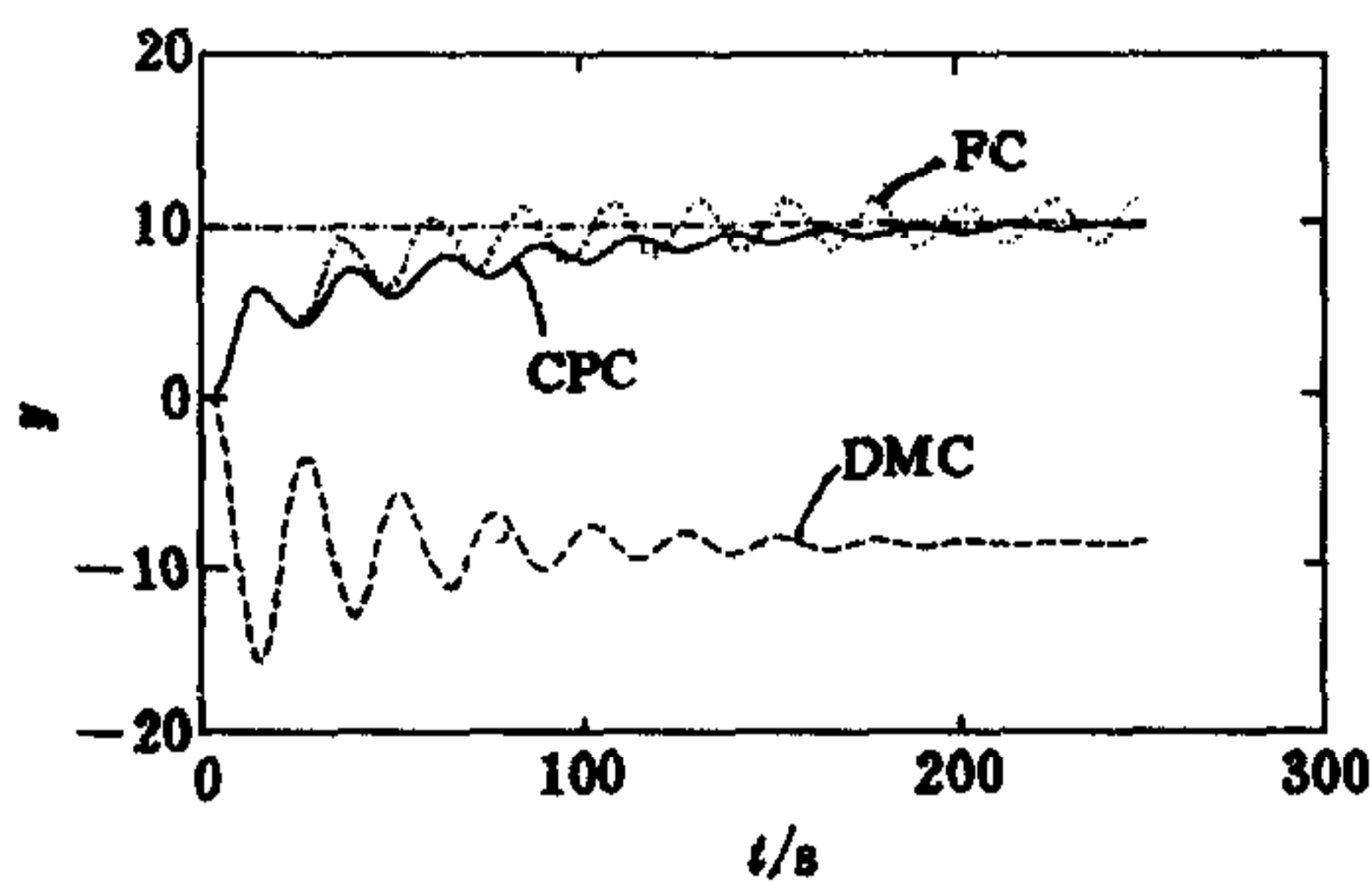


图 3

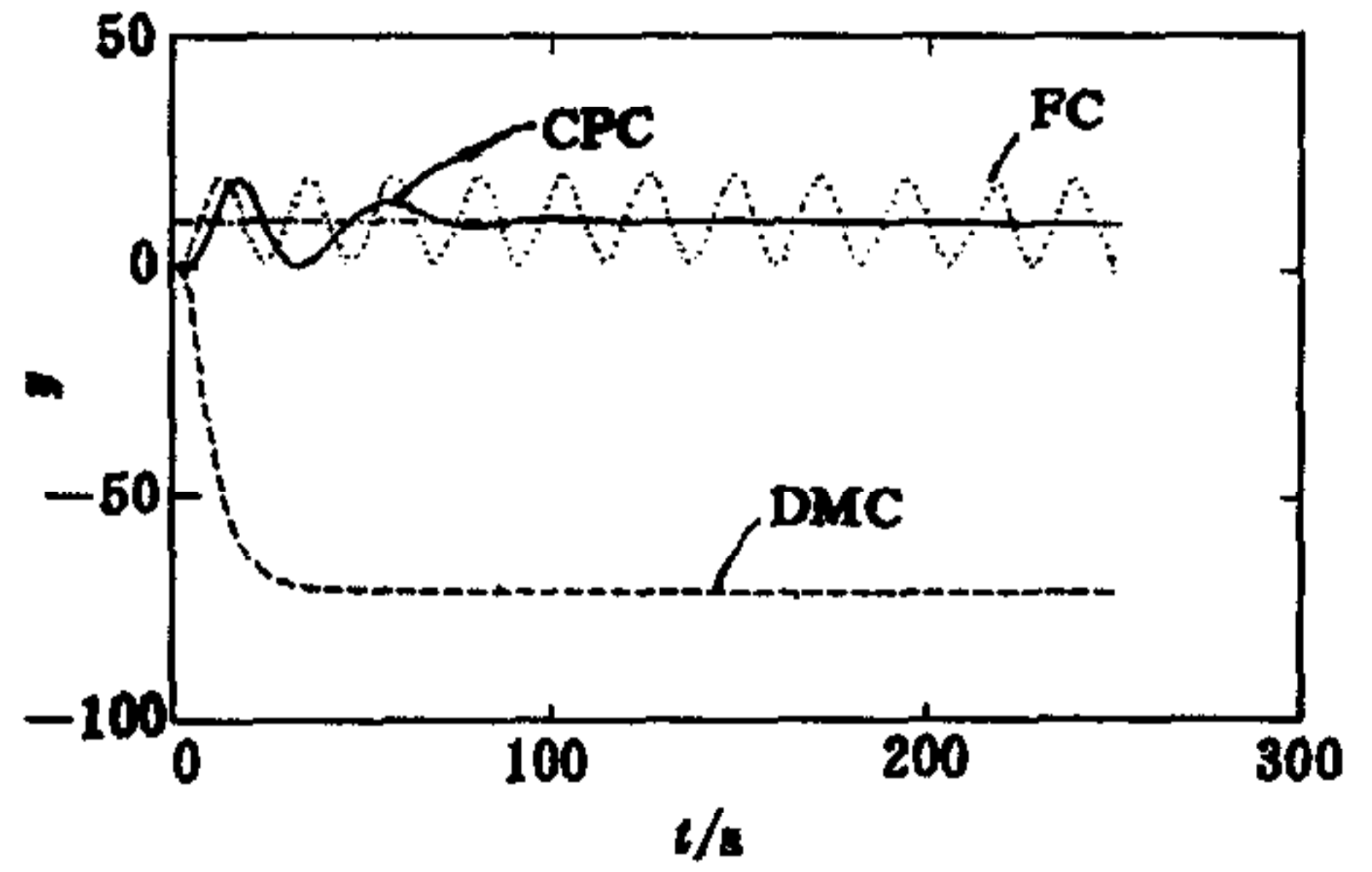


图 4

此外,仿真中发现,当参数  $p$  和  $M$  改变时,组合预测控制的跟踪性能仍是好的,而预测控制的跟踪性能则是随它们的变化而变化的. 这表明,预测控制中参数  $p$  和  $M$  的选取是较复杂的,而组合预测控制(CPC)中它们的选取则是较容易的.

仿真结果表明,本文的组合预测控制算法对模型失配具有较强的鲁棒性,并且设计参数选取容易,通常取  $p = 4, M = 1$  即可. 参数  $\alpha$  的选取须在分析了对象特性及确定了使用的模型之后根据文中表1得到.

## 4 结论

将本文的组合预测控制算法与预测控制及模糊控制比较,可得到以下结论:

1) 组合预测控制(CPC)时模型失配有好的鲁棒性. 对二阶振荡对象等一类难以控制的对象,对常见的模型失配,均有令人满意的控制效果. 这是因为算法中定性信息的采用弥补了定量化模型丢失了一部分有用的非量化信息的缺陷,从而降低了对模型的要求.

2) 组合预测控制算法具有设计参数易取的优点. 模糊控制的引入、定性信息的采用,使得设计参数的选取比较容易满足控制要求.

因此,预测控制的两个突出的问题——对模型失配的鲁棒性和设计参数选取困难,在CPC中都得到了解决.

3) 能充分采用对象的定量信息和定性信息,是组合预测控制算法的一个显著特点.

4) 过去预测控制与模糊控制结合的算法大都是这两种算法在不同时域段的切换. 本文算法则是通过引进组合因子,将两种算法在整个时域上自始至终地结合在一起,从而自始至终地采用对象的定量与定性信息,达到两种算法优势互补的目的.

## 参 考 文 献

- [1] Cutler C R, Ramaker B L. Dynamic matrix control—a computer control algorithm, In: Proc. JACC, San Francisco, WP5-B, 1980.
- [2] Xu Lihong, Feng Cunbo. Weighted long-range predictive control. *Chinese Journal of Automation*, 1992, 4(2): 163—173.
- [3] 李士勇等. 模糊控制和智能控制理论与应用. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1990. 89—105.

## COMPOSITE PREDICTIVE CONTROL BASED ON THE INFORMATION OF CONTROLLED OBJECT

XU LIHONG    SHI JIANHUA

(Research Institute of Automation, Southeast University, Nanjing 210096)

**Abstract** This paper proposes a Composite Predictive Control (CPC) algorithm which has the advantages of predictive control and fuzzy control, and can fully utilize both the quantitative and qualitative information of the plant. The simulation shows that CPC can solve the main problems of the predictive control, i. e., deficiency of robustness for oscillating plant and difficulty in the selection of design parameters in practice.

**Key words** Quantitative information, qualitative information, predictive control, fuzzy control, robustness.