

一种新型 Bang-Bang 控制仿真研究

吉 君 江青茵 曹志凯

(厦门大学化学工程与生物工程系, 福建 厦门 361005)

摘要:介绍了一种基于因素空间变权理论的 Bang-Bang 控制算法, 该算法利用变权均衡的原理确定开关控制策略, 避免了控制器的频繁切换, 无须整定控制器参数, 仿真效果较好, 且简单实用。

关键词:Bang-Bang 控制; 因素空间; 变权

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2004)S2-0212-02

Simulation on a new Bang-Bang control algorithm

JI Jun, JIANG Qing-yin, CAO Zhi-kai

(Department of Chemical Engineering & Bioengineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: This paper introduces a new Bang-Bang control algorithm based on factor space. Variable weight is used to determine the switch time and avoid the shake of controller. It is not necessary to calculate the parameter. The simulation result shows good effect.

Key words: Bang-Bang control; factor space; variable weight

Bang-Bang 控制, 又称开关控制, 在工业在线过程控制中, 伺服系统的控制结构主要是伺服阀, 其控制精度高, 但成本也较高, 而 Bang-Bang 控制的控制元件仅需要简单的开关通断器件, 如开关阀, 该元件造价较低, 但开关控制点不易确定, 容易造成超调。

基于常规的 PID 控制的 Bang-Bang 控制需要对控制器的 PID 参数进行有效整定, 若参数选择不当则控制效果难以符合要求。本文在因素空间理论上提出了一种新型的 Bang-Bang 控制算法, 将因素空间变权理论引入到 Bang-Bang 控制中, 利用变权均衡的原理确定控制器的开关控制点, 避免了控制器的频繁切换, 且无需整定 PID 参数。对一阶系统进行了仿真, 取得了良好的仿真结果。在此基础上, 针对时延及高阶系统的特点, 增加超调惩罚因素, 有效地改善了二阶加时延系统的控制。

1 因素空间理论简介

因素空间理论由我国的汪培庄教授在 20 世纪 80 年代首先提出^[1-2], 从那时起, 我国学者进一步发展了因素空间理论并开展了一些应用研究。但由于因素空间理论较为抽象难懂, 使它的应用受到限制。在因素空间中, 任何事物(或概念)都可用诸多因素描述, 如一个人可以由年龄、性别、身高、职业、学历等因素加以确认, 但一个事物并非与任何因素有关, 事物 u_i 与因素 f 相关, 是指从 f 到 u_i , 有一个

状态 $f(u_i)$ 与之相对。与因素 f 相关的事物 u_i 形成一个集合 $D(f)$, 而所有由 f 到 u_i 的状态 $f(u_i)$ 形成一状态空间 $X(f)$, 称为因素空间。

2 基于因素变权的 Bang-Bang 控制

在 Bang-Bang 控制中, 主要需决定开关控制点, 相当于进行一个模糊决策, 因此可采用因素空间理论的决策思路来解决问题。

在因素空间中, 决策主要要确定全因素和确定相应的全状态; 首先给定描述架 (U, C, F) , 其中 U 为一组策略组成, 或称策略集, C 为与策略有关的概念集, F 为与策略有关的因素集。如果 C 中的概念 α 与策略的隶属关系已知, 则根据最大隶属原则很容易做出决策。但恰恰此隶属关系(也称为 α 在 U 中的外延)往往未知, 因此决策问题主要是在上述描述架中通过寻找 C 中概念与相关因素的关系(也称为概念 α 的反馈外延)来近似的确定概念与策略的隶属关系, 具体步骤如下:

- (1) 确定 $C = \{\alpha\}$, 其中 α 为概念;
- (2) 给定策略集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$;
- (3) 选择与 U 有关的原子因素族 $\pi = \{f_1, \dots, f_m\}$, 确定其状态空间 $X(f_j)$, $j = 1, 2, \dots, m$;
- (4) 对每个原子因素 f_j , 确定其关于策略 u_i 的状态 $x_{ij} = f_j(u_i)$, $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$, 于是全因素 1 关于策略 u_i 的全状态

$$1(u_i) = \{f_1(u_i), f_2(u_i), \dots, f_m(u_i)\} = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}\} \quad (1)$$

其中 $x_{ij} = f_i(u_i) \in (0, 1)$ 。

(5)通过降维操作,即用综合函数得到策略 u_i 在全因素空间表现论域 $X(1)$ 中的表现外延 $B(1)$;

(6)确定概念 α 关于全因素的反馈外延 $1^{-1}(B(1))$,则概念 α 在 U 中关于某策略 u_i 的外延

$$A(u_i) \approx 1^{-1}(B(1))(u_i) = B(1)(1(u_i)) \quad (2)$$

(7)按最大隶属原则找出最优策略 $u_g (1 \leq g \leq n)$ 。

很明显在上述决策操作中,步骤(4)、(5)是关键。

首先确定有关因素。在本问题中,可参照常规 PID 控制,选择控制偏差 $e(k)$ 和一阶偏差 $\Delta e(k)$ 、二阶偏差 $\Delta^2 e(k)$ 作为因素,对应策略为“开”、“关”,相应状态 $x_{ij} (i = 1, 2; j = 1, 2, 3)$ 可定为上述因素关于“开”、“关”策略表现函数。

在可加性系统中,综合函数(ASMm-func) M_m 经常取成(1)式的映射 Σ ,即

$$M_m(x_1, x_2, \dots, x_m) = \sum_{j=1}^m (x_1, x_2, \dots, x_m) = \sum_{j=1}^m w_j x_j \quad (3)$$

其中 $w_j \in [0, 1] (j = 1, 2, \dots, w_j)$ 且满足 $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ 。该式通常叫做加权平均或加权求和。因诸权 w_j 是常数,故称由(3)确定的综合函数为常权综合。

常权综合在一定程度上反映了各基本因素在全因素的相对重要性。但是当因素状态 $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ 的取值不同,权向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ 是不变的,因此在某些实际问题中会出现不合理的现象。

因此考虑采用文献[1-3]提出的均衡变权思想来解决综合问题,即定义变权为

$$w_{ij}^* = \begin{cases} \frac{\omega_{ij} Q / x_{ij}}{\sum_{\mu_{ij} \in [0, 0.5]} \omega_{ij} Q / x_{ij} + \sum_{\mu_{ij} \in [0.5, 1]} \omega_{ij} x_{ij}} & 0 \leq x_{ij} < 0.5 \\ \frac{\omega_{ij} \mu_{ij}}{\sum_{z_{ij} \in [0, 0.5]} \omega_{ij} Q / x_{ij} + \sum_{z_{ij} \in [0.5, 1]} \omega_{ij} x_{ij}} & 0.5 \leq x_{ij} \leq 1.0 \end{cases} \quad (4)$$

其中 x_{ij} 为因素状态, ω_{ij} 为固定权, $Q = \prod_{z_{ij} \in [0, 0.5]} x_{ij}$ 。

在上述变权的基础上,求出关于控制策略 u_i 的外延 $B(1)(1(u_i))$,按最大隶属原则可得到开关策略。

3 一阶系统仿真研究

设一阶被控过程数学模型 $G(s) = \frac{50}{0.4s + 1}$ (时

间常数单位为 h),采样时间 5 s,开关量为 1, PID 参数经整定后取 1、0.5、0.2。其闭环响应如图 1 和图 2 所示。由图 1 和图 2 可以看出,变权 Bang-Bang 控制振荡较少,且超调小。

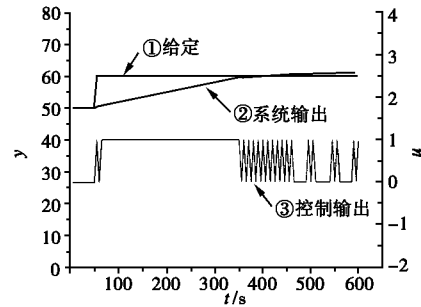


图 1 基于 PID 的 Bang-Bang 控制仿真曲线

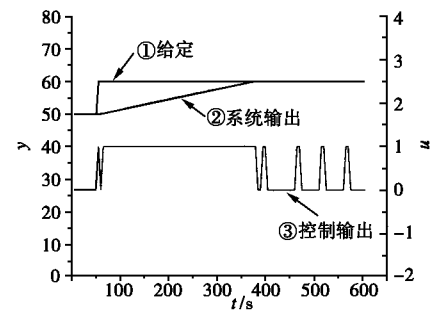


图 2 基于因素变权 Bang-Bang 控制仿真曲线

4 时延系统的 Bang-Bang 控制

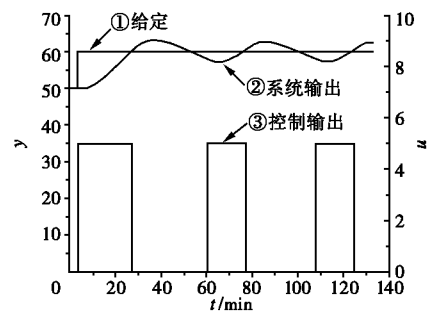


图 3 基于 PID 的 Bang-Bang 控制仿真曲线

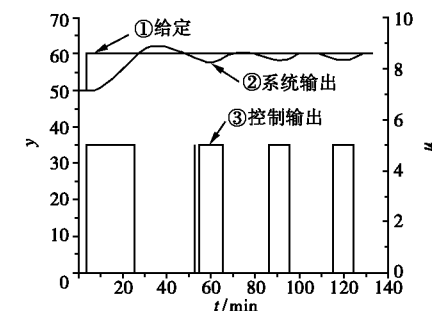


图 4 基于因素变权(有超调惩罚因素)的二阶时延系统仿真曲线

(下转第 220 页)

Zürich, 1999.

- [3] Zitzler E, Laumanns M, Thiele L. SPEA2: Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm[R]. Zürich: TIK-Report 103, Swiss Federal Institute of Technology Zürich, 2001.
- [4] Eberhart R C, Kennedy J. A new optimizer using particle swarm theory [A]. In: Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Ma-

chine and Human Science[C]. New Jersey: IEEE, 1995. 39 - 43.

- [5] Douglas J M. 化工过程的概念设计[M]. 蒋楚生, 夏平译. 北京: 化学工业出版社, 1994. 85 - 98.
- [6] Shi Lei, Shi Hanchang, Qian Yi. A new cleaner production framework based on multi-objective evolutionary algorithms[EB/OL]. <http://www.chinacp.org.cn/newcn/chinacp/iccpaper-39.htm>, 2001. ■

(上接第 213 页)

不少工业过程为具有时延的系统, 这类系统的主要控制问题是容易超调, 继而造成不稳定, Bang-Bang 控制由于只有 2 种控制状态, 超调情况会更严重。

为解决时延系统控制的超调问题, 考虑增加一超调惩罚因素, 其状态值为控制输出的函数, 这样取因素集为控制偏差 $e(k)$ 和一阶偏差 $\Delta e(k)$ 、二阶偏差 $\Delta^2 e(k)$ 、超调惩罚因素。

对二阶时延过程进行仿真, 设被控过程数学模型 $G(s) = \frac{5.75}{(0.4s+1)(0.2s+1)} e^{-0.0333s}$ (时间单位为 h), 采样时间 5 s, 滞后 24 步, 开关量为 5, PID 参

数经整定后取 10、5、5。其闭环响应如图 3 和图 4 所示。由图 3 和图 4 可以看出, 基于因素变权 Bang-Bang 控制超调明显小于基于 PID 的 Bang-Bang 控制, 且振荡也较小。

5 结语

基于因素空间变权理论的 Bang-Bang 控制算法, 是一种新型的智能算法, 鲁棒性好, 超调小, 并且参数容易整定, 简单实用, 特别适用于工业过程。

参考文献

- [1] 李洪兴. [J]. 模糊系统与数学, 1995, 9(3): 1 - 9.
- [2] 李洪兴. [J]. 模糊系统与数学, 1996, 10(3): 12 - 19.
- [3] 柴杰, 江青茵, 等. [J]. 厦门大学学报, 2002, 7(4): 448 - 452. ■

中国石化与 BP 携手拓展浙江成品油零售市场

2004 年 5 月 11 日, 中国石油化工集团公司总经理、中国石油化工股份有限公司董事长陈同海先生同 BP 集团首席执行官约翰·布朗勋爵在英国伦敦正式签署了两公司在浙江合资经营成品油零售市场业务项目的合同和章程。

按合同规定, 中国石油化工股份有限公司与 BP 集团将共同投资在浙江省设立中石化碧辟浙江石油有限公司。合资公司自成立起 3 年内, 将在浙江省境内收购, 新建并经营和管理 500 座加油站。该合资项目经营期限为 30 年, 投资总额约为 2.5 亿美元, 合资初期双方股比为 60:40。

该合资公司是中石化与 BP 公司加强合作伙伴关系的具体体现和深入, 将集合作双方的优势, 为浙江的消费者提供清洁的燃料和一流的服务, 为经济发展加油。该项目的签署充分体现了两国政府对于该项目及双方合作的重视和肯定。