

一种自适应双反馈递阶控制系统¹⁾

段文泽

(重庆建筑工程学院自动化研究室, 630045)

李远树

(重庆大学电气工程系, 630044)

摘 要

本文以水厂控制为背景, 研究一类受随机扰动作用、以时滞动态过程为关联约束的大系统最优控制问题, 提出一种自适应双反馈递阶控制方法. 它既能象闭环控制那样满足约束条件、改善性能指标; 又能象开环控制那样, 计算量小, 收敛性好.

关键词: 闭环递阶控制, 全局反馈, 局部反馈, 自适应控制, 水厂控制.

一、引 言

大系统开环递阶控制的主要缺点是由于模型和实际系统的差异, 使控制偏离最优, 甚至约束条件被破坏. 对稳态系统, Findeisen 等人研究了利用反馈信息进行迭代和协调的各种算法^[1,2]. 全局反馈可使情况改善, 但必须等暂态结束后进行测量, 需较长时间, 而且各子系统仍按模型寻优, 可能因附加约束导致性能指标损失. 局部反馈虽可节约在线计算时间, 总体性能指标仍不免受损. Siljak 等人对动态系统提出了结构摄动法^[3,4], 在局部控制的基础上加入全局“校正”控制, 改善了性能指标, 但问题的研究局限于具有二次性能指标的线性时不变大系统. 本文研究另一类大系统的控制, 其模型为

$$\text{Mod. 1 } \min_{u_i(k)} J = \sum_{k=0}^{N-1} \sum_{i=1}^n \varphi(x_i(k), u_i(k), z_i(k), x(k))T, \quad (1)$$

$$\text{s. t. } x_i(k) = f_i(u_i(k), z_i(k), x(k)), \quad (2)$$

$$x(k+1) = x(k) + \sum_i A_i(\tau, k)x_i(k) + \sum_i B_i(\tau, k)x_i(k-1), \quad (3)$$

$$\min x_i \leq x_i(k) \leq \max x_i, \quad (4)$$

$$\min x \leq x(k) \leq \max x, \quad (5)$$

其中 k 、 T 为采样时刻与采样周期, $x_i(k)$ 、 $u_i(k)$ 、 $z_i(k)$ 为第 i 个子系统的状态、控制与扰动变量, $x(k)$ 为关联过程的状态变量, $\tau(k)$ 为过程纯滞后, 是慢时变参量. 作为研究

本文于1990年11月1日收到.

1) 国家计经委资助节能研究课题. 本文曾于1991年11月在全国电气自动化控制理论与应用学术会(重庆)上宣读.

重点的各子系统是稳态系统((2)式),它们之间的关联可由一个动态时延过程来集中体现((3)式),目标函数非二次型且相应的 Lagrange 函数不可分. 其中某些参量甚至难于解析表达((1)式).

对上述系统实现双反馈(局部反馈加全局反馈)闭环递阶控制,可提出一些独具特色的控制方法. 本文以水厂控制为背景,讨论并总结这些方法.

二、水厂开环递阶控制概述

水厂最优控制问题是: 水厂根据水网下达的供水指令^[5], 利用清水池贮水作用对用电负荷调峰,使取水与送水泵站高效协调工作,既满足供水要求,又最大限度地节能. 这里,两个泵站通过沉砂池、混凝搅拌池、过滤池、清水池所形成的滞后而与水质处理过程相关联,情况是复杂的. 文[6]采用两级递阶控制,水厂协调级优化模型为

$$\text{Mod. 2 } \min_{u(k)} J = R[x(N) - x(0)]^2 + \sum_{k=0}^{N-1} \left[\frac{H_0(k) + \alpha u^2(k)}{102\eta_1(k)} u(k) + \frac{\hat{P}_2(k) - x(k)}{102\eta_2(k)} \hat{Q}_2(k) \right] v\beta(k)T, \quad (6)$$

$$\text{s. t. } x(k+1) = x(k) + \frac{T-\tau}{S(k)} u(k) + \frac{\tau}{S(k)} u(k-1) - \frac{T}{S(k)} \hat{Q}_2(k), \quad (7)$$

$$\min x \leq x(k) \leq \max x, \quad (8)$$

$$\min u \leq u(k) \leq \max u, \quad (9)$$

其中供水压头 $\hat{P}_2(k)$ 和流量 $\hat{Q}_2(k)$ 是在采样时刻 k 水网下达的运转指令, 与水网用水负荷的近似周期变化特性有关^[7], 此周期定义为运行周期 (24h); $H_0(k)$ 与 $Q_1(k) = u(k)$ 为取水静扬程与出口流量; α 为摩阻系数; $x(k)$ 为清水池水位; v 为水比重; $\eta_1(k)$ 与 $\eta_2(k)$ 是取水与送水泵站总效率,不能解析表达为泵站运转指令的函数; $\beta(k)$ 为电价函数; $S(k)$ 为清水池横截面; $T = 1h$ 为采样周期(或控制周期). 递阶结构中, $u(k)$ 与 $x(k)$ 取作关联变量.

性能指标中第二项要求一个运行周期中成本最低. 第一项是罚项 (R 为一很大正数), 它要求周期末态 $x(N)$ 等于初态 $x(0)$, 正是体现了过程的周期性和连续性. 第一个约束条件是清水池运动方程, $\tau(k)$ 为水量从取水泵站到清水池的传输滞后, 由于其慢时变特性, 只要对它进行辨识, 并在一个运行周期里认为它等于常数, 就可将水量控制与水质控制解耦. 第二和第三个约束为物理限制. 对 Mod. 2, 文[6]固定了周期初态并用后效型微分动态规划寻优, 文[8]则取消了这一人为约束, 用虚拟寻优法求解.

泵站现场级的优化模型为

$$\text{Mod. 3 } \min_{\delta_i s_i} N_j = \sum_{i=1}^N \delta_i(k) [c_i(k)s_i(k)^3 + d_i(k)q_i(k)s_i(k)^2], \quad (10)$$

$$\text{s. t. } \hat{Q}_j(k) = \sum_{i=1}^n \delta_i(k)q_i(k), \quad (11)$$

$$\hat{H}_j(k) = h_j(k) = a_j(k)s_j(k)^2 - b_j(k)q_j(k)^2, \tag{12}$$

$$\min s_j \leq s_j(k) \leq \max s_j, \tag{13}$$

$$i = 1, 2 \dots n, j = 1, 2,$$

$$\hat{H}_1(k) = H_0(k) + \alpha \hat{Q}_1(k)^2, \tag{14}$$

$$\hat{H}_2(k) = \hat{P}_2(k) - \hat{x}(k), \tag{15}$$

其中 N_j 为 j 泵站功耗； $a_i(k)$ 、 $b_i(k)$ 、 $c_i(k)$ 、 $d_i(k)$ 为第 i 台泵参数，可通过辨识得到^[9]； $s_i(k)$ 为相对转速； $h_i(k)$ 、 $q_i(k)$ 为它提供的扬程和流量； $\delta_i(k)$ 等于零（若第 i 台泵不投运）或 1（若投运）； $\hat{H}_j(k)$ 、 $\hat{Q}_j(k)$ 为 j 泵站应提供的总扬程和流量，取决于水厂指令，扬程由(14)、(15)式决定。文[9]解决了这一优化问题。

整个寻优在水厂协调级与泵站现场级之间反复迭代进行。先预估关联变量 $\hat{u}(k)$ 、 $\hat{x}(k)$ ，从而确定两泵站的运转指令 $[\hat{H}_1(k), \hat{Q}_1(k)]$ 、 $[\hat{H}_2(k), \hat{Q}_2(k)]$ ，通过现场级寻优，确定 $s_i(k)$ 、 $\delta_i(k)$ ，算出 $\eta_1(k)$ 、 $\eta_2(k)$ ，又送至协调级。如此反复直至收敛。

三、用知识库实现局部反馈控制

因模型与实际系统有差异，上述开环递阶控制策略 $\delta_i(k)$ 、 $s_i(k)$ 加到系统上时，其实际输出与指令值不同，效率也与计算值有异。采用文[2]的局部反馈算法来克服这一缺点，需要大量在线计算。为避免在线计算而直接构成局部闭环，考虑在离线寻优的基础上加入一个摄动量来得到任意时刻需要的实际最优转速

$$s_i^*(k) = s_i^* + \Delta s_i(k) = s_i^* + B_i \Delta s_1(k), \tag{16}$$

式中 s_i^* 为根据指令 $[\hat{H}_j(k), \hat{Q}_j(k)]$ 离线决策的最优相对转速， $\Delta s_i(k)$ 为摄动量， B_i 为 $\Delta s_i(k)$ 与 $\Delta s_1(k)$ 之比。将 s_i 按泰勒展开并取一次近似，可以证明^[10] B_i 与时间无关，且

$$B_i = \frac{s_i^*}{s_1^*}. \tag{17}$$

于是，可按图 1 构成局部反馈，其中 s_i^* 、 B_i 与指令 $[\hat{H}_j(k), \hat{Q}_j(k)]$ 的关系用表格形式存贮于现场控制机的知识库中以备调用。每经过一个运行周期，在新的水泵辨识基础上重

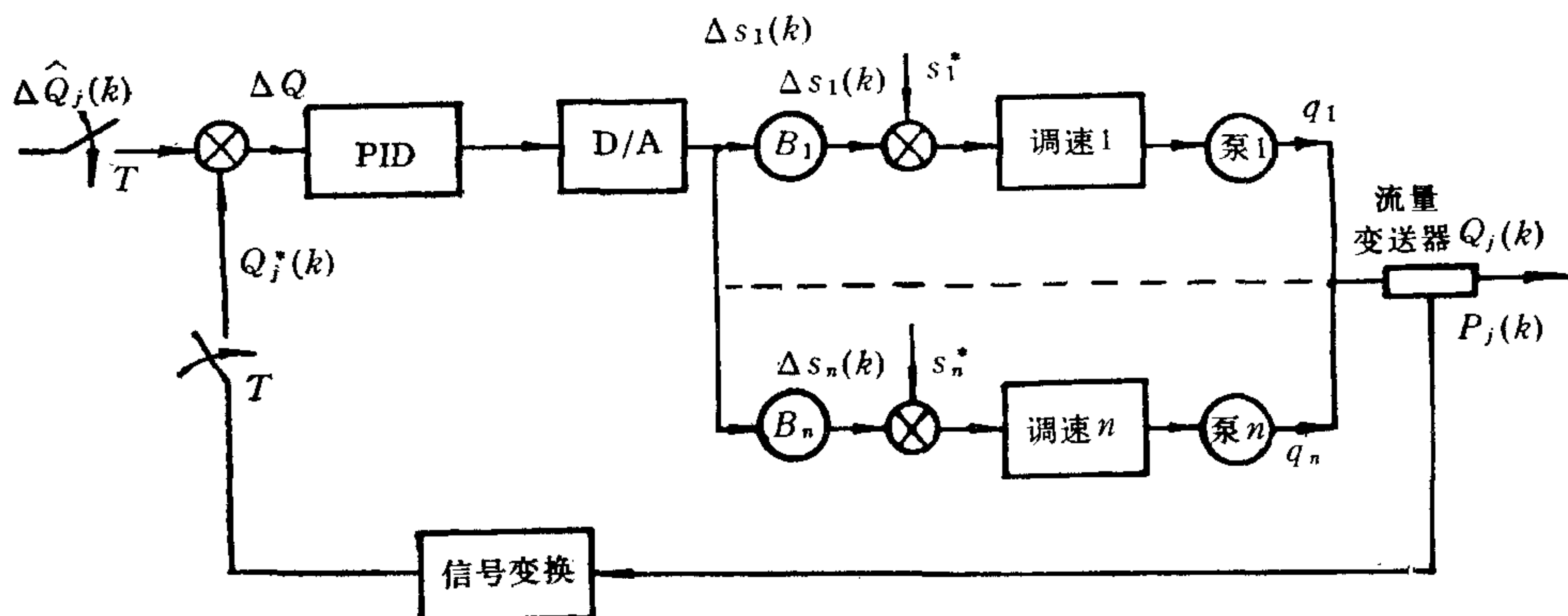


图 1 局部流量闭环方案

新决策, 应更换知识库中的 s_i^* 、 B_i 值. 相对于采样周期, B_i 是离线确定, 相对于运行周期, 又可认为是在线辨识, 使控制具备自适应特征.

有了这一局部闭环, 实际输出既能与指令值一致, 又能获得最优控制效果.

四、全局反馈的实现

1. 直接实现全局反馈

局部闭环使约束条件满足, 性能指标改善, 但因子系统仍按模型寻优且缺乏闭环协调, 改善有限. 一些未建模因素, 诸如电机与调速装置功耗等的影响, 使实际功耗与效率仍与计算值有差异. 从协调级的观点看, 这些影响都反映在效率 $\eta_1(k)$ 、 $\eta_2(k)$ 之上. 针对这点再加入全局反馈构成双反馈递阶控制系统, 如图 2 中的实线部分.

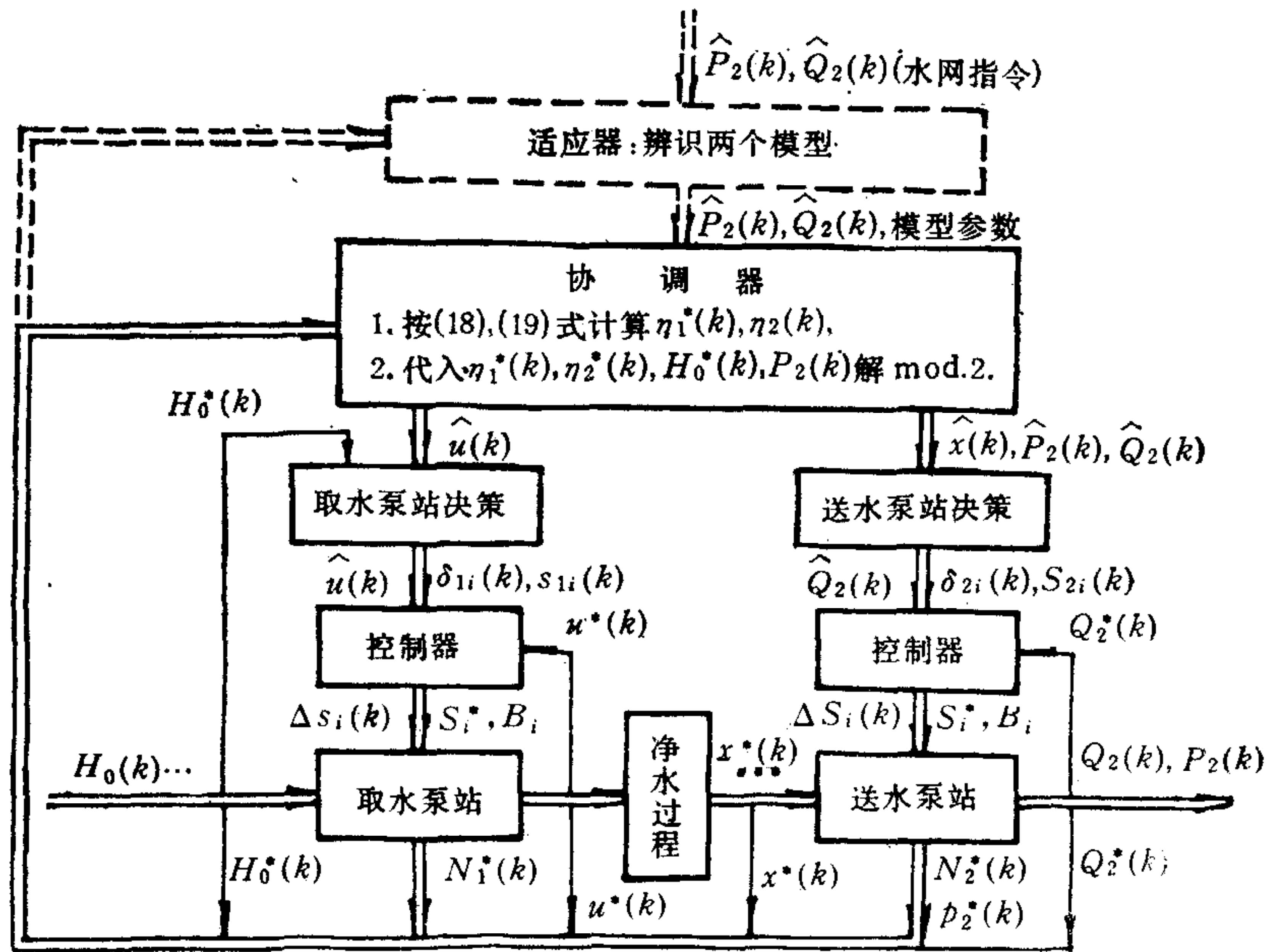


图 2 自适应双反馈递阶控制结构

闭环递阶控制按以下方案进行:

在每一采样时刻, 先将开环控制策略加到系统上, 局部闭环很快将子系统输出调整到指令值上, 待关联动态过程建立稳态后, 测量两个泵站的功耗 $N_1^*(k)$ 、 $N_2^*(k)$ 及其它相应值 $x^*(k)$ 、 $H_0^*(k)$ 、 $P_2^*(k)$, 协调器按下式求实际效率:

$$\eta_1^*(k) = \frac{\nu H_0^*(k) \hat{u}(k)}{102 N_1^*(k)}, \tag{18}$$

$$\eta_2^*(k) = \frac{\nu [P_2^*(k) - x^*(k)] \hat{Q}_2(k)}{102 N_2^*(k)}, \tag{19}$$

将相应的 $\eta_1^*(k)$ 、 $\eta_2^*(k)$ 、 $H_0^*(k)$ 、 $\hat{P}_2(k)$ 代入(6)式, 再附加 $x(0) = \hat{x}(0)$ 约束 ($\hat{x}(0)$ 为开环算法得出的最优初值), 按 Mod. 2 求解优化问题, 得出新的 $\hat{u}(k)$ 、 $\hat{x}(k)$. 子系统又

重新决策,在局部闭环下实现最优运行. 重复上述,直至收敛,可实现双反馈递阶控制.

2. 用知识模型实现全局反馈

如果稳态过程建立较快,上述双反馈的收敛过程小于采样周期,方案就有可能实现. 对于水厂, $\tau \approx 0.5h$, $T = 1h$, 只要算法迭代次数 $l \geq 2$, 方案就不可能实现. 针对水厂这类慢时变过程, 本文提出用知识模型在开环算法中体现全局反馈: 如果对泵站最优运行方式下其实测效率与运行指令的关系特性进行辨识建模, 此知识模型每隔一个运行周期更换一次并存入协调器的知识库,用以代替每个采样周期中的全局反馈. 于是,在一个协调器内,可在协调算法与泵站高效模型的效率计算之间,用开环递阶控制算法迭代求解,不必等稳态建立之后再行测量与计算,这就大大加快了算法的收敛过程. 又由于这一模型是根据功率实测值辨识得到的, 就使开环算法体现了全局反馈的效果. 为了辨识这一模型,在递阶结构协调级之上,增加一个适应级,如图2虚线部分所示. 在每个采样周期,加入新的控制指令并等过程暂态结束后,需将功率及其它有关实测值反馈到适应级作为模型辨识的“新息”,但每隔一个运行周期才更换一次模型,所以过程稳态建立时间虽然较长,对控制却无甚影响.

水泵并联运行时,特性分段连续^[10],可写作

$$\eta(Q) = \{\eta^i(Q) | \eta^i(Q) = \alpha_i + \beta_i Q + \nu_i Q^2\}, \quad (20)$$

$$Q_i \leq Q \leq Q_{im}, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

这里, $(\alpha_i, \beta_i, \nu_i)$ 为待辨识模型参数,估计时,

$$\eta^i(Q) = \alpha_i + \beta_i Q + \nu_i Q^2 + \varepsilon^i, \quad (21)$$

或
$$\eta^i(Q) = \boldsymbol{\phi}^T \boldsymbol{\theta} + \varepsilon^i. \quad (22)$$

其中 $\boldsymbol{\phi}^T = [1 \quad Q \quad Q^2]$, $\boldsymbol{\theta}^T = [\alpha_i \quad \beta_i \quad \nu_i]$, ε^i 为模型残差. 设有 M 组观测数据 $(H_l^*, Q_l^*, N_l^*), l = 1, 2, \dots, M$,

$$\eta_l^* = \frac{\nu H_l^* Q_l^*}{102 N_l^*} \quad (23)$$

为估计与之对应的参数 $\boldsymbol{\theta}_M^i$, 令残差平方和最小

$$\min J(\boldsymbol{\theta}_M^i) = \sum_{l=1}^M \varepsilon_l^2 = \sum_{l=1}^M (\eta_l - \boldsymbol{\phi}_l^T \boldsymbol{\theta}_M^i)^2, \quad (24)$$

或

$$J(\boldsymbol{\theta}_M^i) = \mathbf{V}_M^T \mathbf{V}_M = (\mathbf{Z}_M - \mathbf{H}_M \boldsymbol{\theta}_M^i)^T (\mathbf{Z}_M - \mathbf{H}_M \boldsymbol{\theta}_M^i), \quad (25)$$

其中

$$\mathbf{H}_M = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\phi}_1^T \\ \vdots \\ \boldsymbol{\phi}_M^T \end{bmatrix}, \quad \mathbf{Z}_M = \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \vdots \\ \eta_M \end{bmatrix}, \quad \mathbf{V}_M = \begin{bmatrix} \varepsilon_1^i \\ \vdots \\ \varepsilon_M^i \end{bmatrix},$$

且 $\mathbf{Z}_M = \mathbf{H}_M \boldsymbol{\theta}_M^i + \mathbf{V}_M$, (见(22)式).

令 $\partial J / \partial \boldsymbol{\theta}_M^i = 0$, 可得 $\boldsymbol{\theta}_M^i$ 的最小二乘估计为

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}_M^i = [\mathbf{H}_M^T \mathbf{H}_M]^{-1} \mathbf{H}_M^T \mathbf{Z}_M. \quad (26)$$

如新得到第 $M+1$ 组观测数据,则可用渐消记忆递推最小二乘法,递推公式为

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}_{M+1}^i = \hat{\boldsymbol{\theta}}_M^i + \mathbf{K}_{M+1} [\eta_{M+1}^i - \boldsymbol{\phi}_{M+1}^T \hat{\boldsymbol{\theta}}_M^i], \quad (27)$$

$$\mathbf{K}_{M+1} = \frac{\mathbf{P}_M \boldsymbol{\phi}_{M+1}}{\lambda + \boldsymbol{\phi}_{M+1}^T \mathbf{P}_M \boldsymbol{\phi}_{M+1}}, \quad (28)$$

$$\mathbf{P}_{M+1} = \frac{1}{\lambda} [\mathbf{I} - \mathbf{K}_{M+1} \boldsymbol{\phi}_{M+1}^T] \mathbf{P}_M, \quad (29)$$

式中, $\mathbf{P}_M = [\mathbf{H}_M^T \mathbf{H}_M]^{-1}$, $\boldsymbol{\phi}_{M+1}^T = [1 \ Q_{M+1} \ Q_{M+1}^2]$, λ 为遗忘因子, $0 < \lambda < 1$.

仿真表明,按辨识模型求得的效率与观测值之间的相对误差小于 1%.

五、自适应双反馈递阶控制系统

协调算法以关联过程的动态模型(式(7))为依据.若是动态特性发生变化,其影响是上述闭环控制不能克服的.为此,每个运行周期必须辨识一次,存入协调器知识库,以便进行自适应控制.

本文采用 CAR(n) 模型

$$\begin{aligned} x(t) = & a_1 x(t-1) + a_2 x(t-2) + \cdots + a_n x(t-n) \\ & + b_0 u(t) + b_1 u(t-1) + \cdots + b_n u(t-n) + \varepsilon(t), \end{aligned} \quad (30)$$

用递推最小二乘法进行参数估计,观测数据为 $\{u^*(k), x^*(k)\}$.模型阶的 F 检验按下述原则进行:逐次增加阶,对每个更高阶次模型,求 F 值

$$F = \frac{s(n) - s(n+1)}{s(n+1)} \cdot \frac{M - 2n - 3}{2}, \quad (31)$$

式中, $s(n)$ 与 $s(n+1)$ 为前后求得两个模型的残差平方和, M 为观测数据个数, F 满足 $F(1, M - n - 1)$ 的 F 分布^[11].对适当的显著水平 α ,若 F 检验不显著,则模型阶合适,否则增加阶次.

子阶和时滞的 F 检验实际上是检验式(30)中有关参数是否为零.若某些参数的置信区间包含零点,则删去后重新辨识,重新作 F 检验.

仿真实验中设定真实模型为

$$\frac{dx(t)}{dt} = \frac{u(t - \tau)}{10s} \times 3600,$$

并由此确定 31 组观测数据 $\{u^*(k), x^*(k)\}$,用上述方法得辨识模型后,可对 $k = 31 - 50$ 的水位值按流量给定 $u(k)$ 进行计算,与真实模型的结果相差小于 0.1%,满足实际控制要求.

以上各措施综合,构成本文的自适应双反馈递阶控制系统.递阶控制算法的收敛性取决于三级算法的收敛性以及问题解的唯一性.后者由问题的凸性保证(证明略).泵站决策算法的收敛性与初始解有关,由适当调整松弛因子解决^[10],选择合适,收敛较快.协调级算法取决于后效型微分动态规划的收敛性,文[6]证明指出,只要问题属于凸规划,算法可收敛到唯一的全局最优解.适应器的算法基于权记忆递推最小二乘法,具有很好的收敛性^[12].至于局部流量闭环的稳定性,由于采用经典的 PID 控制方式,是容易保证的.以上条件保证了本系统的可靠工作.

六、仿真研究

某水厂的取水与送水泵站均有 6sh-9A 和 10sh-9 型水泵各两台, 清水池截面积 $4 \times 10^5 \text{dm}^2$, 池深 4m, 泵站能力 30l/s—440l/s, 管网要求输出压头 $\hat{P}_2(k) = 34\text{m}$, 流量如图 3 的曲线 3, 取水泵站静扬程 $H_0 = 35\text{m}$, $\alpha = 10^{-4} \text{mg}^2/\text{l}^2$, $\nu = 1\text{kg}/\text{dm}^2$, 清水池水位下限 1m, $T = 1\text{h}$, 电价函数

$$\beta(k) = \begin{cases} 0.1 \text{ 元/仟瓦} \cdot \text{小时}, & 0 \leq k \leq 6, 18 \leq k < 24, \\ 0.2 \text{ 元/仟瓦} \cdot \text{小时}, & 6 \leq k < 18, \end{cases}$$

$\tau = 0.8\text{h}$.

由泵站最优决策程序算得泵站最高效率为

$$Fuc\ 1 \left\{ \begin{array}{l} \eta_1(k) = \begin{cases} 0.80, & 30 \leq u(k) \leq 100, \\ 0.83, & 100 < u(k) \leq 200, \\ 0.85, & 200 < u(k) \leq 300, \\ 0.82, & 300 < u(k) \leq 440, \end{cases} \\ \eta_2(k) = \begin{cases} 0.80, & 30 \leq Q_2(k) + 10x(k) \leq 100, \\ 0.83, & 100 < Q_2(k) + 10x(k) \leq 200, \\ 0.85, & 200 < Q_2(k) + 10x(k) \leq 300, \\ 0.82, & 300 < Q_2(k) + 10x(k) \leq 440, \end{cases} \end{array} \right.$$

$$k = 0, 1, \dots, N-1.$$

设实际系统中的 $\tau = 0.6\text{h}$, 而泵站最高效率为

$$Fuc\ 2 \left\{ \begin{array}{l} \eta_1^*(k) = \begin{cases} 0.8 - 2d + u(k)/500, & 30 \leq u(k) \leq 100, \\ 0.83 - d + u(k)/1200, & 100 < u(k) \leq 200, \\ 0.85 - d + u(k)/2000, & 200 < u(k) \leq 300, \\ 0.82 - d + u(k)/3000, & 300 < u(k) \leq 440, \end{cases} \\ \eta_2^*(k) = \begin{cases} 0.8 - 2d + Q_2(k)/500, & 30 \leq Q_2(k) \leq 100, \\ 0.83 - d + Q_2(k)/1200, & 100 < Q_2(k) \leq 200, \\ 0.85 - d + Q_2(k)/2000, & 200 < Q_2(k) \leq 300, \\ 0.82 - d + Q_2(k)/3000, & 300 < Q_2(k) \leq 440. \end{cases} \end{array} \right.$$

$$d = 0.15, k = 0, 1, \dots, N-1.$$

采用开环递阶控制的仿真曲线如图 3 的曲线 1. 采用闭环递阶控制可按系统真实模型决策, 仿真结果为曲线 2. 比较两者性能指标, 得闭环控制节能率为

$$\delta\% = (73667 - 70133)/70113 = 5.06\%.$$

如果实际系统为 $Fuc1$ 和 $\tau = 0.8\text{h}$, 开环控制使用模型 $Fuc2$ 和 $\tau = 0.6$, 则将开环控制加到系统上时, $x(k) > \max x$, 水位超限而发生“溢池”, 闭环则防止事故(仿真图略).

大量仿真还表明, 为使两次迭代指标差的相对值小于 10^{-5} , 所需计算时间为 15 分左右(长城 0520 机), 不但远小于运行周期, 也小于采样周期, 能满足控制要求.

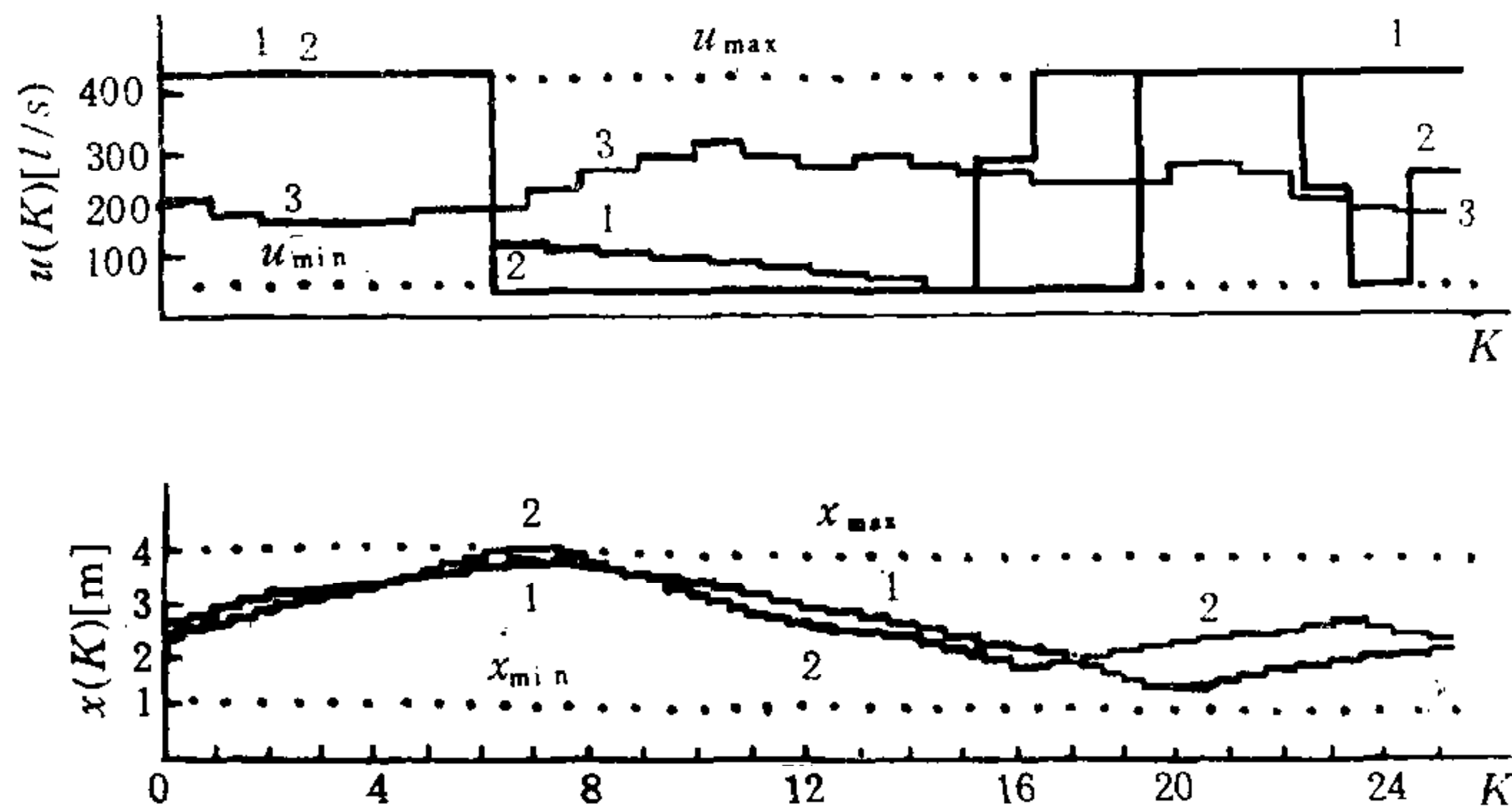


图3 开环与闭环控制仿真对比

需要指出,由于水网指令是在提前 24h 预报基础上给出的,所以实时控制时需要在线修正.

七、结 束 语

上面的研究虽是针对水厂控制,但其主要方法对引言中提出的一类问题却有普遍意义:对局部反馈,取控制变量的一阶近似并建立相应知识库,可实现最简单的实时最优局部反馈而避免在线计算;对全局反馈,一般总能建立一个性能指标的知识模型,将若干未建模因素考虑进去,用该模型代替直接的全局反馈可使开环算法具有闭环效果,从而既缩短收敛时间,又进一步改善控制性能.对关联模型进行辨识能收到自适应控制效果.

参 考 文 献

- [1] Findeisen, W., Bailey, F. N. et., Control and Coordination in Hierarchical Systems, Wiley, London, (1980).
- [2] 李人厚、邵福庆,大系统的递阶与分散控制,西安交通大学出版社,(1986),23—39.
- [3] Siljak, D. D. and Sundarreshan, M.K., On Hierarchical Optimal Control of Large Scale Systems, Proc. 8th Asilomar Conf. Cir-Cuits Systems Computers, (1974), 495—502.
- [4] M. 詹姆希迪,大系统建模与控制,陈中基等译,科学出版社,(1986),143—156.
- [5] 段文泽、刘士荣,大规模供水系统的动态递阶最优控制,系统工程理论与实践,10(1990),(6),39—47.
- [6] 段文泽,杨少林,后效型微分动态规划及其应用,控制与决策,5(1990),增刊1,13—18.
- [7] 段文泽,刘士荣,城市供水系统的负荷量分时分地预报,发展战略与系统工程,学术期刊出版社,(1987),573—579.
- [8] 李远树,段文泽,无限长概周期过程的虚拟寻优控制,信息与控制,20(1991),(4),11—15.
- [9] 段文泽,杨少林,泵站调速节能的自适应控制,电气传动,20(1990),(5),38—45.
- [10] 段文泽,李远树,给水泵站最优调度策略与通用程序,中国给水排水,3(1987),(6),3—9.
- [11] Åström, K. J., Lectures on the Identification Problem—The Least Squares Method, Div. Automatic Control, Lund. Inst. Technol. Lund, Sweden, Rep 6806,(1968).
- [12] Åström, K. J., and Wittenmark, B., Problem of Identification and Control, J. of Math. Analysis and Applic., 34(1971),(1),90—113.



段文泽 1935年生, 1957年毕业于莫斯科动力学院, 现为 CAA-EA 与 CES-CS 委员, 控制理论与应用学组副组长, 重庆建筑工程学院教授, 自动化研究室主任. 1980年前在工厂及设计研究部门从事电气传动自动化, 以后在高校从事科研教学, 主要研究领域是大系统理论及应用, 涉及供水系统、环境系统等.



李远树 1964年生, 1985年毕业于重庆建筑工程学院自动化专业, 1989年获控制理论与应用专业大系统控制方向硕士学位, 现在重庆大学从事教学科研工作、任教师. 曾先后参加调速系统、水厂控制等研究, 已发表论文十余篇. 目前研究领域为大系统控制与智能控制.

AN ADAPTIVE HIERARCHICAL CONTROL SYSTEM WITH DUAL FEEDBACK

DUAN WENZE

(Automatic Control Laboratory, Chongqing Univ. of Architecture and Engineering, 630045)

LI YUANSHU

(Department of Electrical Engineering, Chongqing Univ., 630044)

ABSTRACT

Based on the study of the Water Plant Control, this paper studies the optimal control problem of a kind of Large-Scale System with disturbances and its subsystems are interconnected by a Delay Dynamic Process. An Adaptive Hierarchical Control Method with Dual Feedback is advanced, which not only can meet the requirement of constraints and improve the performance index as closed-loop control but also requires fewer computational effort and has a good convergence as open-loop control. The estimation of the "Connecting Process Model" even further improves the control. Simulation shows its convergence and effectiveness.

Key words: Closed-loop Hierarchical Control, Global feedback, Local Feedback, Adaptive Control, Water Plant Control.