



# 定量限制血压下降速率的 多模控制方法<sup>1)</sup>

郑连清

刘建平

(空军电讯工程学院自动化室 西安 710077) (西京医院心外科 西安 710040)

张忠惠

程敬之

(陕西电子职工大学 西安 710043) (西安交通大学医电系 西安 710049)

**关键词** 多模控制, 速率, 血压.

## 1 引言

在硝普钠(SNP)输注过程中,多模自适应控制算法(MMAC)能表现出良好的强壮性<sup>[1,2]</sup>.本文给出一种改进型多模控制算法(MMAC/ORL(Output Rate Limiter)),它能对血压下降速率进行定量限幅.

## 2 系统模型(plant model)

血压  $P$  和 SNP 输注速率  $U$  的关系为<sup>[1]</sup>

$$F(S) = Y(S)/U(S) \\ = -G \cdot \exp(-T_d S)[1 + \alpha \cdot \exp(-T_r S)] / (1 + \tau S) / 7.5, \quad (1)$$

$$P(S) = P_0 + Y(S) + P_n(S), \quad (2)$$

其中  $P_0$  是血压初始值,  $P_n(S)$  是背景噪声.

## 3 MMAC/ORL

图1给出了 MMAC/ORL 的结构.

辨识器(recognizer)通过权值计算确定模型组(model bank)中的“最优”模型.模型组由12个取不同增益值的模型(见(1)式)组成,这些模型的参数取值为  $T_{md}=70s$ ,  $T_{mr}=75s$ ,  $\tau_m=45s$ ,  $\alpha_m=0.4$ , 及

$$G_{mj} = 8.1/1.4^j \quad (j = 0, 1, \dots, 11). \quad (3)$$

1) 国家自然科学基金资助项目.

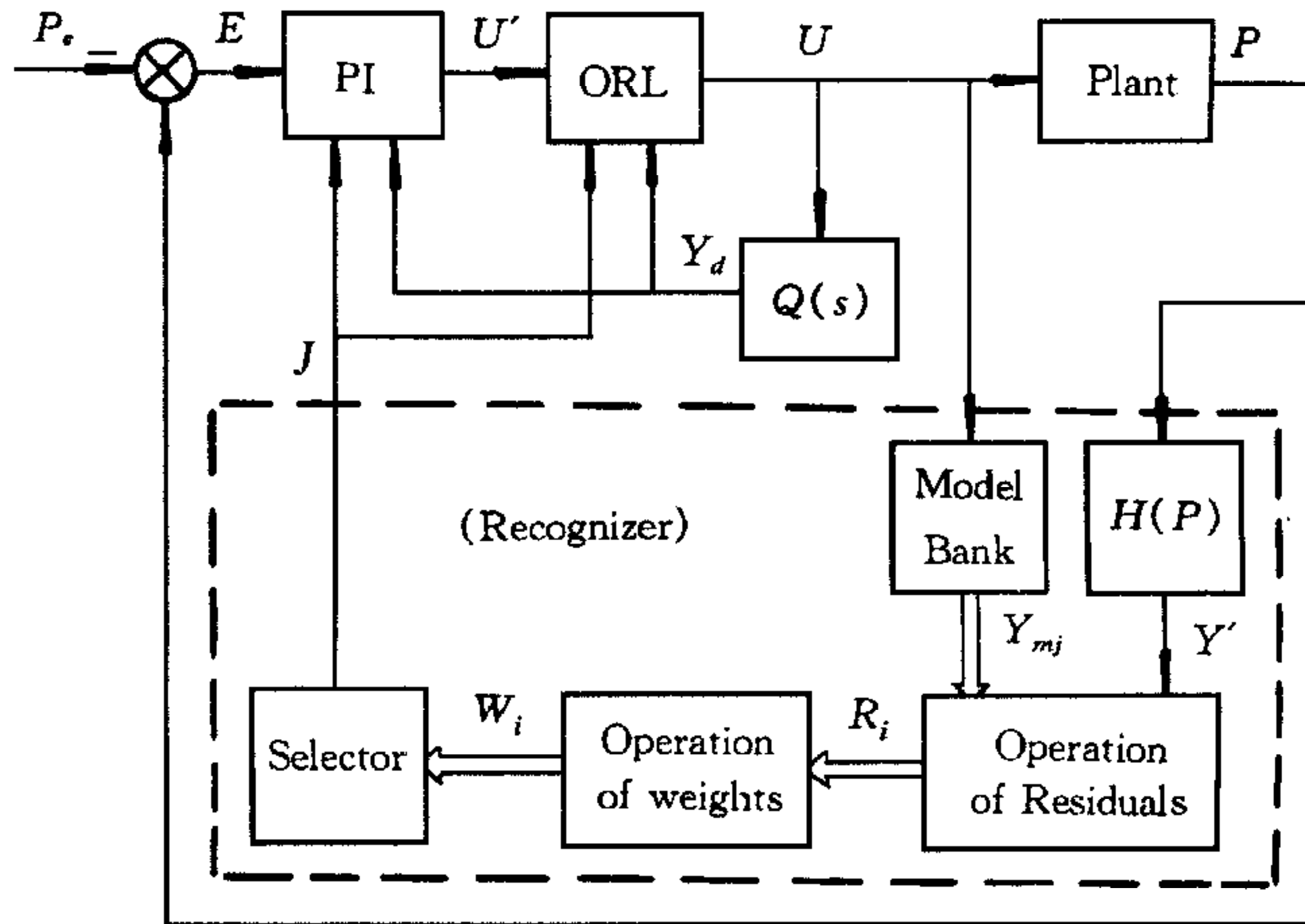


图1 MMAC/ORL 的结构

图1中  $Y'(K) = P(K) - P_0$ , 限幅器  $H(P)$  限制  $Y'(K) \leq -0.13$ .

偏差计算(operation of residuals)采用的方法为

$$R_j(K) = [Y_{mj}(K) - Y'(K)] / (P_0 - P_c), \quad j = 0, 1, \dots, 11. \quad (4)$$

其中  $P_c$  是目标值,  $Y_{mj}(K)$  是模型组的输出.

权值计算(operation of weights)采用文献[2]中的方法, 选择其中的  $\delta = 0.0001$ .

选择器(selector)根据权值大小选取“最优”模型. 假设

$$W_{J(K)} \geq W_j(K), \quad j = 0, 1, \dots, 11, \quad I(K) = 0, \text{ or } 1, \dots, \text{ or } 11. \quad (5)$$

则认为模型组中第  $J(K)$  个模型为“最优”模型.

“最优”无延时模型  $Q(S)$  的定义为

$$\begin{aligned} Q(S) &= Y_d(S) / U(S) \\ &= -G_{mJ(K)}(1 + \alpha_m) / (1 + \tau_m) / 7.5. \end{aligned} \quad (6)$$

PI 调节器选择为

$$U'(K) = [E(K)/40 + T \sum_{i=0}^{k-1} E(i)/2200] 1.32^{J(K)} \theta(K), \quad (7)$$

其中  $E(K)$  为血压误差,  $T$  为采样周期 (取  $T = 10\text{s}$ ),  $\theta(K) = [\beta(K)/1.2]^{1/2}$ , 且限制  $\theta(K) \leq 1$ ,  $\beta(K)$  取值为

$$\beta(K) = \begin{cases} 1.2, & \text{if } K \leq 20, \\ Y_d(K)/Y'(K), & \text{if } K > 20. \end{cases} \quad (8)$$

基于  $Q(S)$  的 ORL 取  $U(K) = U'(K)$ , 但限制  $U(K) \leq UH(K)$ .  $UH(K)$  由下式计算<sup>[3]</sup>

$$UH(K) = \{0.4G_{mJ(K-1)} - 7.5Y_d(K)[1 - 0.8G_{mJ(K)}]\} / [0.28G_{mJ(K)}G_{mJ(K-1)}]. \quad (9)$$

#### 4 计算机模拟及讨论

模拟时取  $P_0 = 20\text{kPa}$ ,  $P_c = 13.3\text{kPa}$ ,  $P_n(K)$  是标准方差为  $0.27\text{kPa}$  的高斯噪声序列.

为确切地观察算法的性能,采用无噪声血压  $y(y=P_0+Y)$  记录模拟结果<sup>[3]</sup>.表1给出了对每组模型参数模拟5次的结果,其中  $T_s$  表示最长建立时间<sup>[1]</sup>(s),  $y_u$  表示最大  $y$  超调量(kPa),  $y'_m$  表示  $y$  最大下降速率(kPa/10s).

表1 模拟结果

Plant Parameters					Results		
$T_d$	$T_r$	$\tau$	$\alpha$	$G$	$T_s$	$y_u$	$y'_m$
60	75	60	0.4	9.0	240	0.53	0.40
				4.6	320	0.75	0.43
				3.0	320	0.49	0.55
				1.9	340	0.21	0.48
				1.0	380	0.11	0.52
				0.35	440	0.36	0.35
				0.25	470	0.35	0.36
20	0	30	0	9.0	410	0.40	0.51
				4.6	390	0.53	0.49
				3.0	410	0.51	0.48
				1.9	440	0.17	0.48
				1.0	490	0.24	0.49
				0.35	560	0.27	0.63
				0.25	580	0.23	0.51

ORL 的限幅作用在模拟过程中已经观察到.表1中  $y'_m$  最大为0.63,此值接近理论值<sup>[3]</sup>,这说明 ORL 是很有效的.模拟结果表明 MMAC/ORL 的性能较好.

## 参 考 文 献

- [1] He W G, Kaufman H, Roy R. Multiple model adaptive control procedure for blood pressure control. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 1986, **BEM-33**:10-19.
- [2] Martin J F, Schneider A M, Smith N T. Multiple-model adaptive control of blood pressure using sodium nitropruside. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 1987, **BME-34**:603-611.
- [3] 郑连清. 硝普钠降压自动控制系统研究[博士学位论文]. 西安:西安交通大学,1993.

## A MULTIPLE-MODEL CONTROLLER FOR QUANTITATIVELY LIMITING THE BLOOD PRESSURE REDUCTION RATE

ZHENG LIANQING

(Department of Automation, Air Force Telecommunications Institute, Xi'an 710077)

LIU JIANPING

(Department of Cardiac Surgical, Xijing Hospital, Xi'an 710040)

ZHANG ZHONGHUI

(Shan'xi Electronics Workers' College, Xi'an 710043)

CHENG JINGZHI

(Biomedical Department, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

**Key words** Multiple-model control, rate, blood pressure.