

控制硝普钠降血压作用的自适应系统

卢大骅 冯林华 王兴邦 张立藩

(西安第四军医大学航空生理教研室)

摘 要

根据硝普钠降低血压的二阶 ARMAX 模型,本文推导了仅需计算一个加权参数的极点配置的显式自校正控制算法. 该算法保证了在被控对象有未知时滞、时变、非最小相位等恶劣情况下,控制器工作的稳定性和渐近特性. 经计算机仿真和利用 TP-801 单板机控制狗降血压过程的实验,其结果表明该算法的有效性.

关键词——血压, 降压药, 自适应控制, 生物医学工程.

七十年代以来, 已有一些自适应控制方案应用到用硝普钠(一种降压药)降低并维持病人于低血压的治疗中^[1]. 但这些方案限制条件较多. 如只能用于时滞精确已知的最小相位系统. 由于病人的个体差异大, 病情变化迅速, 治疗中干扰因素多, 寻求一种稳定可靠的、适用于更多患者的自适应控制方案势在必行.

自校正控制器中加权多项式的选取无解析规律, 且一旦参数被选定后, 在整个控制过程中固定不变, 从而不能适应系统的时变. 零、极点配置自校正器运算量大, 又不宜于应用. 本文采两者之长, 就硝普钠降低血压的二阶 ARMAX 模型, 导出对自校正控制器进行极点配置的显式算法, 并用于狗降血压过程的自适应控制.

一、控制算法

从家兔的硝普钠降血压开环辨识中, 已得知该模型可用一阶 ARMAX 模型表示. 由于控制时的时滞不能精确已知, 且系统时变, 而造成时滞估计不正确是导致控制失稳的主要原因. 为此选用二阶 ARMAX 模型, 如式(1)

$$y_t = a_1 y_{t-1} + b_0 u_{t-k} + b_1 u_{t-k-1} + b_2 u_{t-k-2} + e_t, \quad (1)$$

式中 y_t 为平均动脉血压 (133.3Pa 或 mmHg); u_t 为硝普钠注射率 (ml/min.); $a_1 = 0.98$.

自校正控制器中, 设目标函数为

$$J = E[(P y_{i+k}^* + P e_i - R w_i)^2 + (Q' u_i)^2],$$

实现最小方差控制时, J 取最小值. 有

$$\Phi_{i+k} = P y_{i+k}^* - R w_i + Q u_i = 0.$$

根据最小方差预报,并令 $\Phi_{i+k}^* = \Phi_{i+k} + \varepsilon_i$, 可以推知

$$C\Phi_{i+k}^* = Fy_i + Gu_i + Hw_i. \quad (2)$$

上述各式中, $F = PF'$; $G = PG' + QC$; $H = -CR$; $G = BE$; $EA + z^{-k}F' = C$, $C = 1$. P, R, Q 是分别对输出、设定值和控制动作加权的多项式; w_i 是设定值.

对在线控制的每一步,令式(2)等于零,便可以得到实现自校正控制的输入.自校正控制器的闭环传递函数为

$$y_i = \frac{BR}{PB + QA} w_i + \frac{QC + BE}{PB + QA} e_i. \quad (3)$$

因此,闭环特征方程为^[2]

$$PB + QA = 0. \quad (4)$$

极点配置的目的就是要使式(4)的根保持在设定的稳定极点 z 上.本方案中,令 $P = p_0$, $R = r$, $Q = \lambda_1 - \lambda_2 z^{-1}$.式(4)展开成为关于 z 的一元二次方程,其两个根由式(5)求得

$$z_{1,2} = \frac{-(p_0 b_1 - a_1 \lambda_1 - \lambda_2) \pm \sqrt{(p_0 b_1 - a_1 \lambda_1 - \lambda_2)^2 - 4(p_0 b_0 + \lambda_1)(p_0 b_2 + a_1 \lambda_2)}}{2(p_0 b_0 + \lambda_1)} \\ = R_z \pm I_z. \quad (5)$$

选定了稳定的极点 $z_{1,2}$ 后,只要计算 $p_0, \lambda_1, \lambda_2$ 即可实现极点配置.应用时,先固定 p_0 ,再计算 λ_1, λ_2 .作为一个特例,令 $\lambda_2 = P \cdot G'(1)$,使得 $G(1) = 0$,式(5)成为

$$z_{1,2} = \frac{a_1}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a_1}{2}\right)^2 - \frac{b_2 + a_1 b_1 + a_1^2 b_0}{b_0 + (\lambda_1/p_0)}}. \quad (6)$$

式(6)表明,当系统时变,亦即 b_0, b_1, b_2 改变时,通过计算相应的 λ_1 即可使 $z_{1,2}$ 不变;

当系统为非最小相位时,亦可由 λ_1 决定 $z_{1,2}$ 而使控制器稳定地工作.但式(6)亦表明,这样确定的极点有一定限制性,它只能从图1所示的两条直线段 l_1, l_2 上选取,这些极点不一定是最优的.但可以保证控制器工作的稳定性和渐近特性.因此 $z_{1,2}$ 的选取可配合工程控制的其它方法,如根轨迹法等进行.

由于选择 $\lambda_2 = p_0 G'(1)$,使得决定 $z_{1,2}$ 的加权参数的影响归结为 λ_1/p_0 ;同时由于使得 $G(1) = 0$,避免了 λ_2 较大时,对 F, G, H 的掩盖作用.

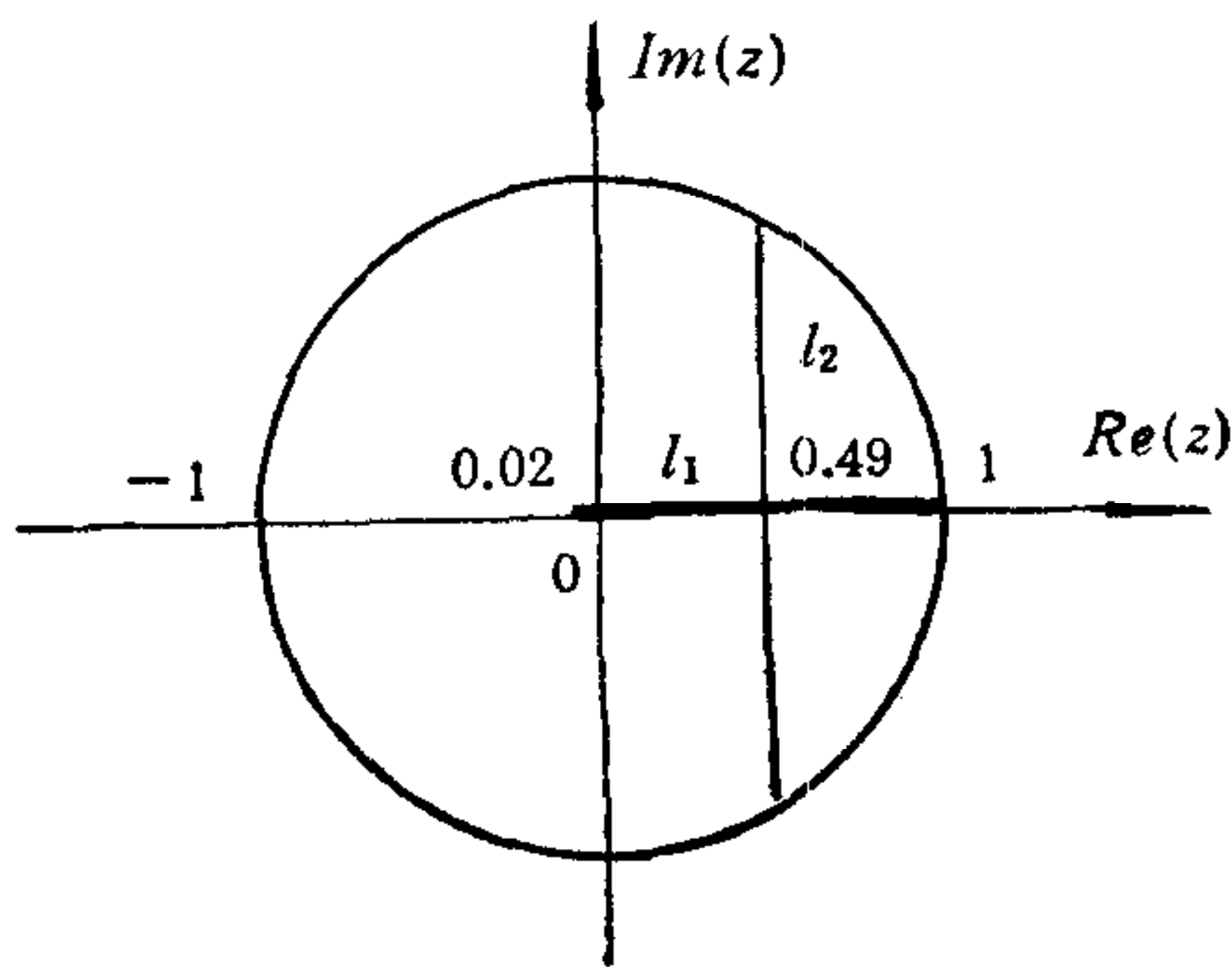


图1 本算法可选择的极点

二、实验结果

1. 计算机仿真

仿真是用 BASIC 语言在 IBM/XT 上进行.设定值为 90mmHg (133.3Pa) 和 80 mmHg (133.3Pa) 两个阶梯变化值, $p_0 = 1$, $K = 3$, $R = 1$.

例.

$$y_t = 0.98y_{t-1} + 0.15u_{t-3} - 2.8u_{t-4} + 0.3u_{t-5}.$$

这是一个非最小相位系统, 亦反映了时滞估计不准的情况, 选择 $z_{1,2} = 0.49 \pm 0.2j$, 结果示于图 2.

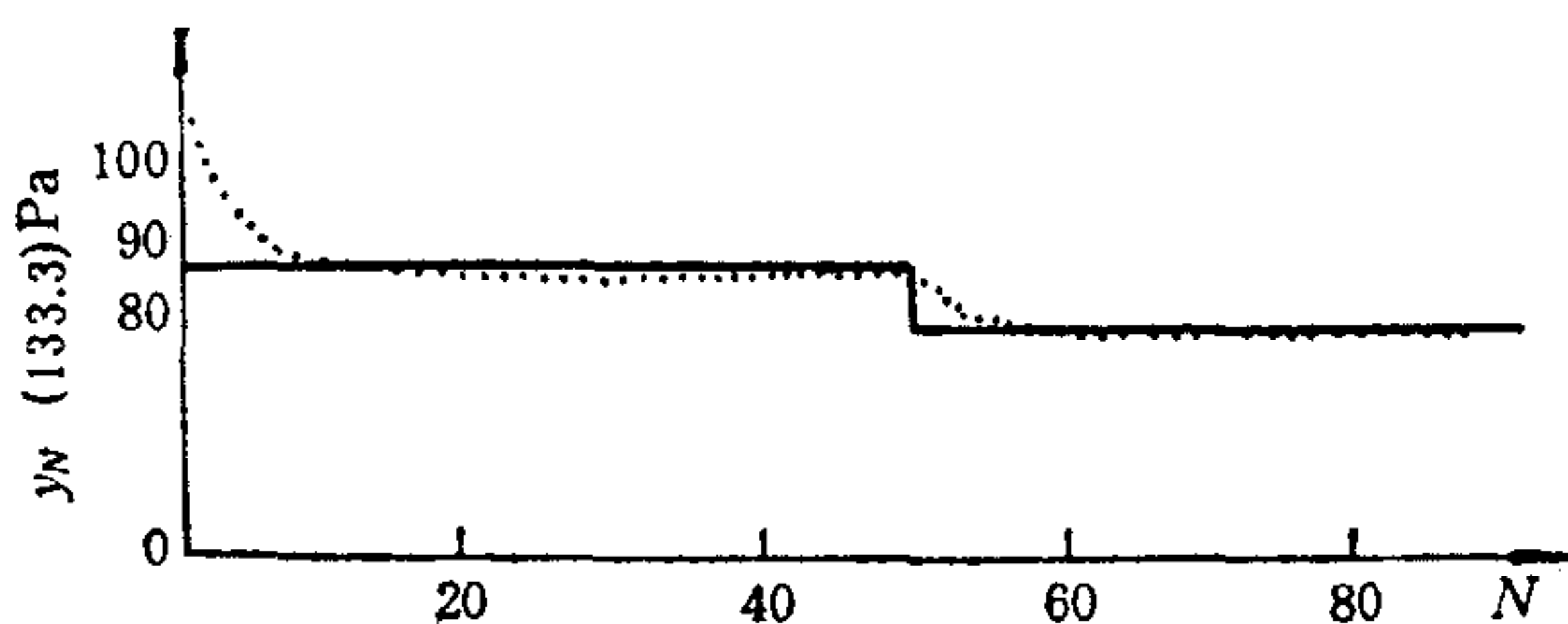


图 2 计算机仿真结果

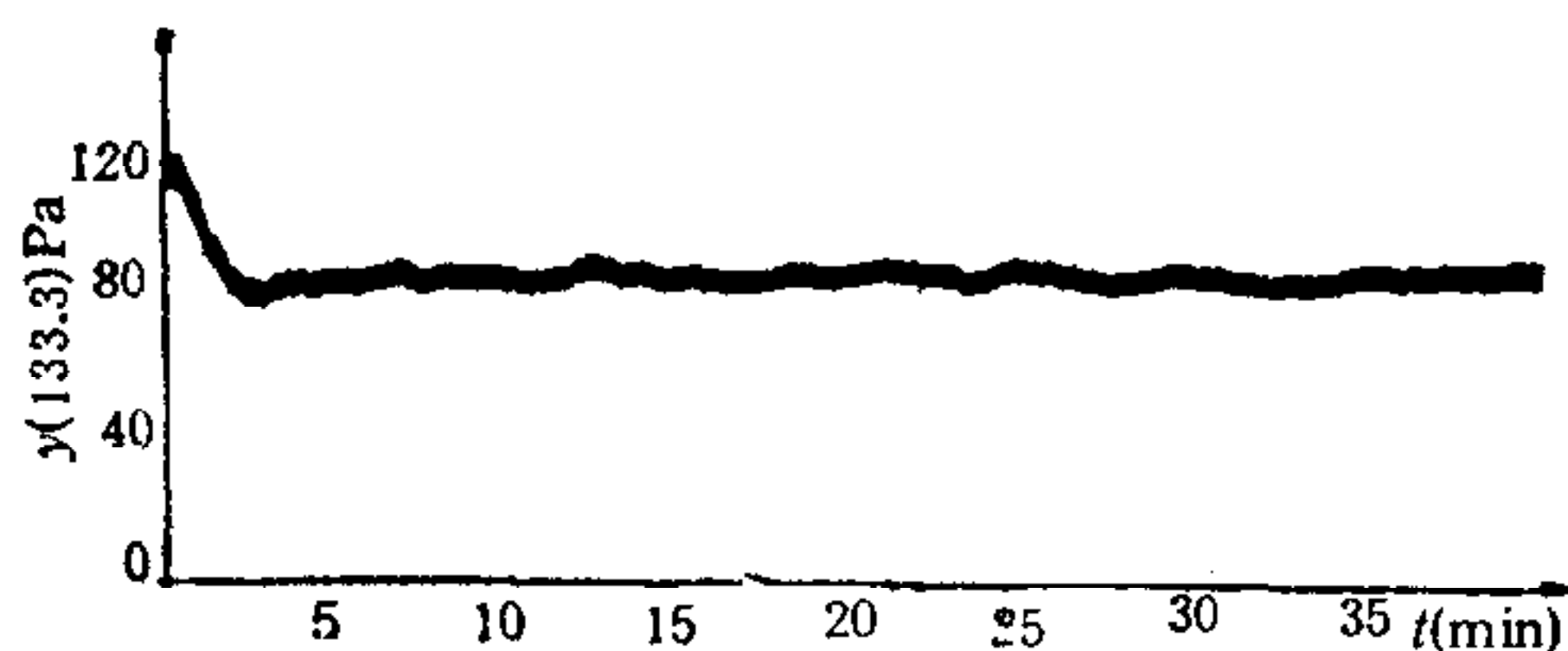


图 3 自适应控制狗降血压实验结果

2. 硝普钠降低狗血压过程的自适应控制实验

用麻醉犬 5 条, 体重 13kg 左右, 雌雄不论。血压自狗股动脉直接取出, 转换为电信号后送到 TP-801 单板机进行 A/D 变换, 并计算出平均动脉压 y_t ; TP-801 单板机按本算法控制 WLB-78A 型输液泵, 从狗股静脉注入一定注射率的硝普钠(0.01%) u_t , 并同时记录 y_t 和 u_t 。

程序采用 TRS-80 单精度浮点数 Z-80 汇编语言, 包括控制方案、控制动作限幅、低压、低脉压、定时的报警等, 总长度约 3K 字节。采样时间 6—8 秒, 初值为 $P_t(0) = 10^3 I$, $\theta(0) = 0$, 遗忘因子 0.99, 极点为 $z_1 = z_2 = 0.49$, 设定值的最终水平按实验要求确定, 一般为 80mmHg (133.3Pa)。为防止控制之初大的药物输入及剧烈的血压变化, 设定值设成不断下降到最终水平的阶梯形式或负指数函数形式。每次闭环实验不小于 3 小时。实验结果如图 3 所示。另外, 在狗进行开胸心脏手术时, 在加大呼吸波干扰和在狗疲劳的情况下进行控制, 所有的控制结果均表明该控制器能将狗的血压平稳地降低到设定水平, 并维持在设定值的 ± 5 mmHg (133.3Pa) 内。

参 考 文 献

- [1] 卢大骅, 降低血压的自适应控制, 第四军医大学学报, 8(1987), 432—435.
- [2] Clarke, D. W. and Gawthrop, P. J., Self-Tuning Controller, Proc. IEE, 122 (1975), 929—934.

AN ADAPTIVE CONTROLLER FOR DECREASING BLOOD PRESSURE BY SODIUM NITROPRUSSIDE

LU DAHUA FENG LINGHUA WANG XINGBANG ZHANG LIFAN

(Fourth Military Medical College, Xi'an)

ABSTRACT

Based on a second order ARMAX model that sodium nitroprusside decreases blood pressure, an algorithm for the explicit self-tuning controller with pole assignment by calculating only one weight parameter is developed. It maintains the asymptotic property and stability of the controller, even when the system is time-varying, non-minimum phase, or with unknown time delay. Simulation results and experiments on dog's blood pressure using a TP-801 single board computer show that the controller developed is effective.

Key words —— Blood pressure; adaptive control; biomedical engineering.