



计算机控制系统

大林算法

——选自第6.2节 大林算法

通信工程学院 唐志国

2022.05

心梗、心衰急诊护理引发的思考

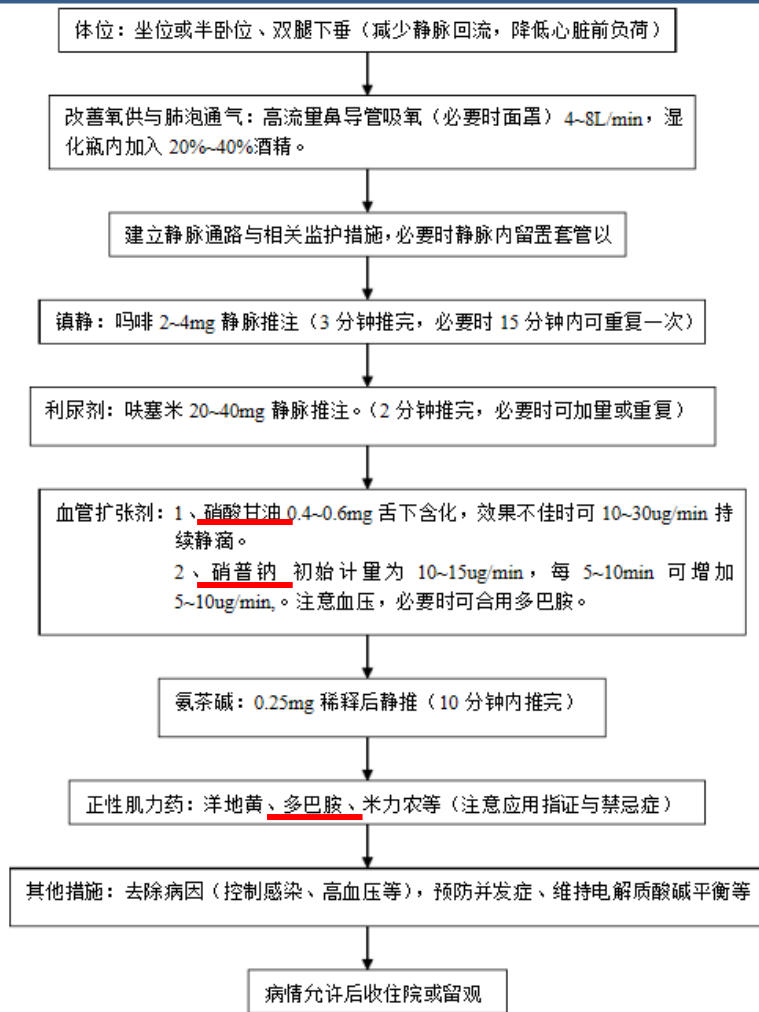
由国家心血管病中心组织编撰的《中国心血管病报告2018》显示

- 在2.9亿名心血管病患者中，**心力衰竭**有450万人。
- 从2005年开始，**急性心梗**全国**死亡率**呈现快速**上升趋势**。



劳累过度、压力过大、吸烟过多、运动过少、暴饮暴食.....现代人高强度、快节奏、不规律的生活极易导致**心梗**、**心衰**的发生。

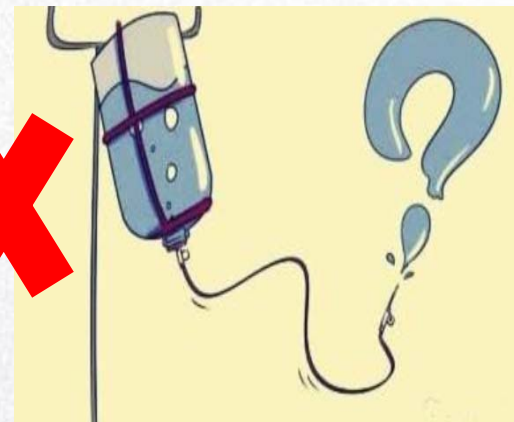
心梗、心衰急诊护理引发的思考



护理要务：强心、利尿、降压、扩管



心梗、心衰急诊护理引发的思考



微量泵是便携式医疗器械，体积小重量轻，注射药物**精确**、**微量**、适用于长时间微量给药。



心梗、心衰急诊护理引发的思考

International Conference on Microelectronics, Communication and Renewable Energy (ICMiCR-2013)

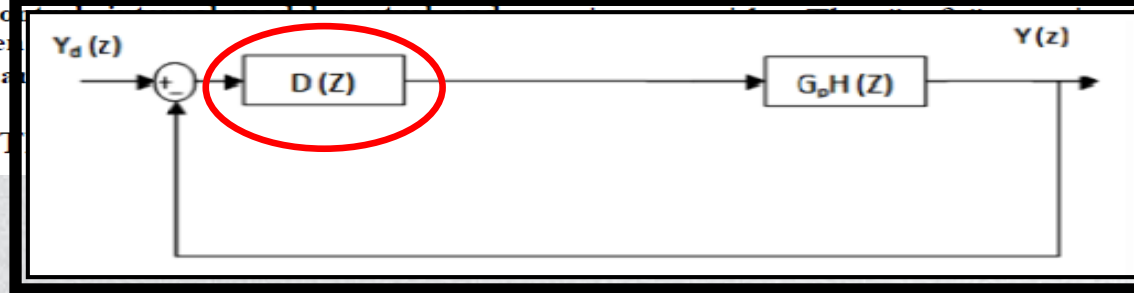
Design of Drug Delivery System for Blood Pressure Control

Manju V S, M.Tech(Control Systems),2010-2012, IIT Kharagpur
Srinivasu Maka, Professor, Electrical Department,IIT Kharagpur

Abstract- Hypertension is a major risk factor for heart disease and stroke. It is often treated with surgery. Infusion of sodium nitroprusside (SNP) is used for most patients. Dose of SNP infusion is found to be very sensitive. Hence various automatic control methods are studied. Unity feedback control, PID control, Dahlin's control have been studied. Comparison of each method are compared.

techniques. With Dahlin's controller and IMC the settling time was very much reduced than with unity feedback and PID controller. Even though the

to cause increases the settling time of the fourth order system is very fast. The total dosage of SNP has been reported



1. INTRODUCTION

大林算法

目录

01

大林算法设计步骤

02

微量泵控制问题求解与仿真

03

大林算法分析与思考

下列纯滞后系统属于大滞后的是

A

$$G_p(s) = \frac{8e^{-5s}}{5s+1}$$

B

$$G_p(s) = \frac{3e^{-10s}}{100s+1}$$

C

$$G_p(s) = \frac{3e^{-4s}}{(10s+1)(6s+1)}$$

D

$$G_p(s) = \frac{12e^{-s}}{(8s+1)(6s+1)}$$

提交

1.大林算法设计步骤

一阶惯性+纯滞后

$$G_p(s) = \frac{K_p e^{-\tau s}}{T_1 s + 1}$$

$\frac{\tau}{T_1}$

二阶惯性+纯滞后

$$G_p(s) = \frac{K_p e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$$

$\frac{\tau}{T_1}$

$T_1 > T_2$

数量关系	名称	对策
小于0.3	小滞后	忽略
0.3至0.5中间	中滞后	常规控制
大于0.5	大滞后	专门控制

纯滞后又称延迟、迟滞或延时，可以按照纯滞后时间 τ 与惯性时间常数 T_1 之比来衡量系统滞后的大小。

1.大林算法设计步骤

大滞后

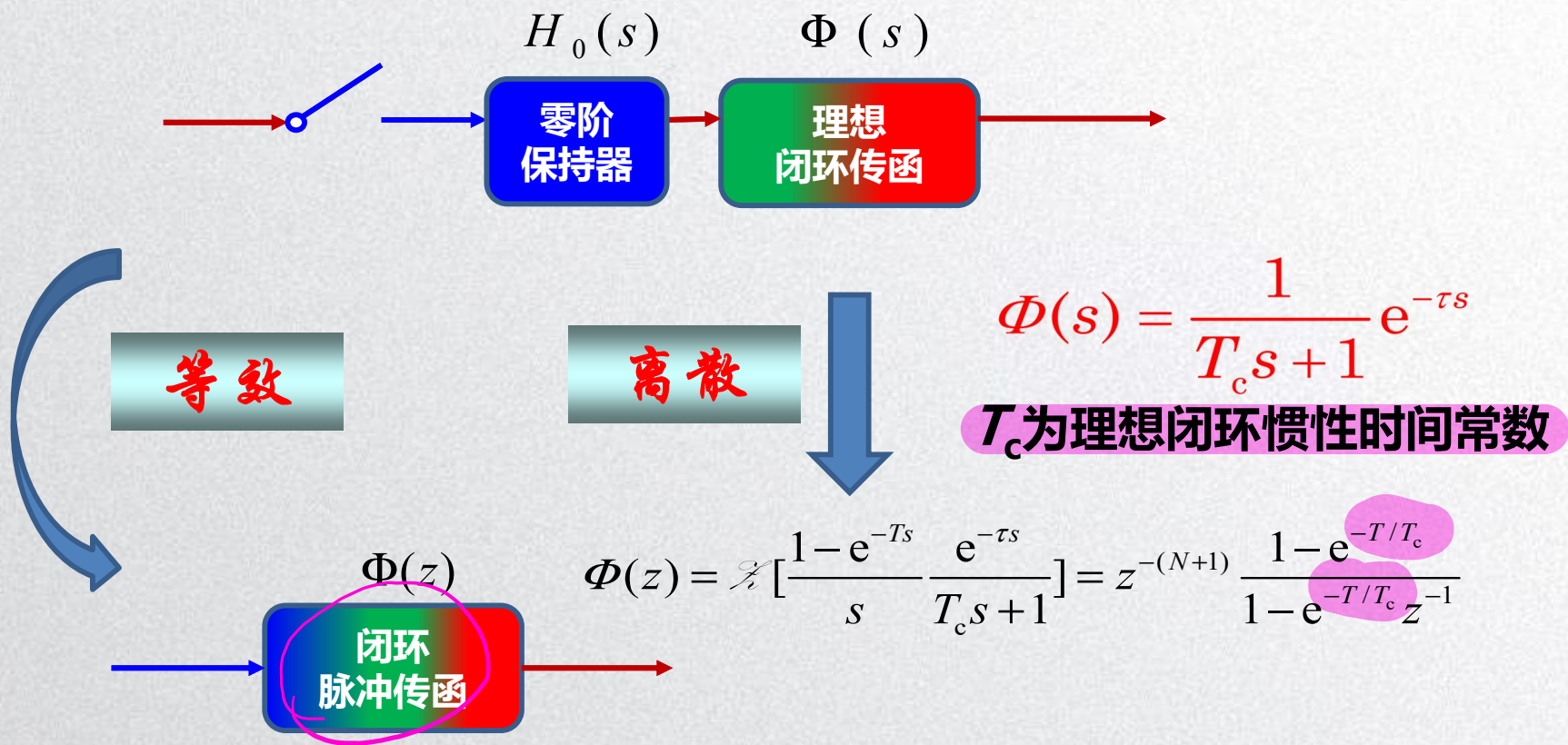
- 被控量对干扰、控制信号不能即时的反映。
- 系统的稳定性降低，过渡过程特性变坏(较大的超调量和较长的调节时间)。
- 对这类系统，控制器如果设计不当，常常会引起系统的超调和持续振荡。

在控制方案上，应该采用补偿方法，补偿大滞后造成的不利影响。

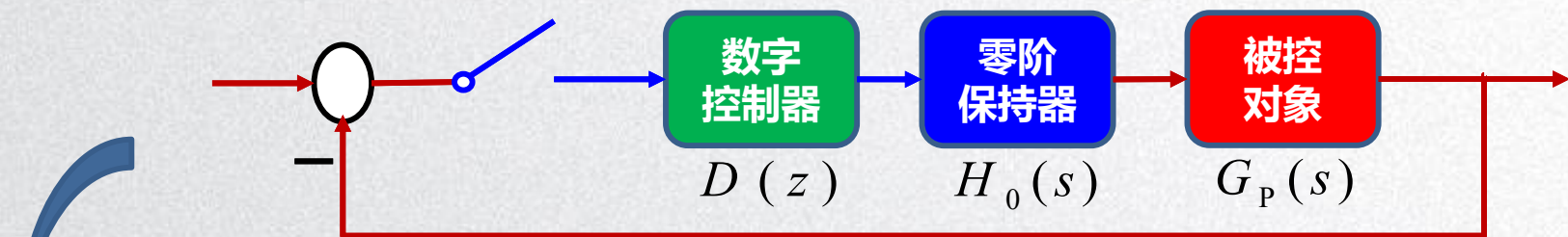
确定目标

闭环控制系统的目标：①稳定、②无超调量或超调量很小、③消除稳态误差、④允许有较长的调节时间，则大林算法的控制效果往往比数字PID等控制算法具有更好的效果。

1.大林算法设计步骤



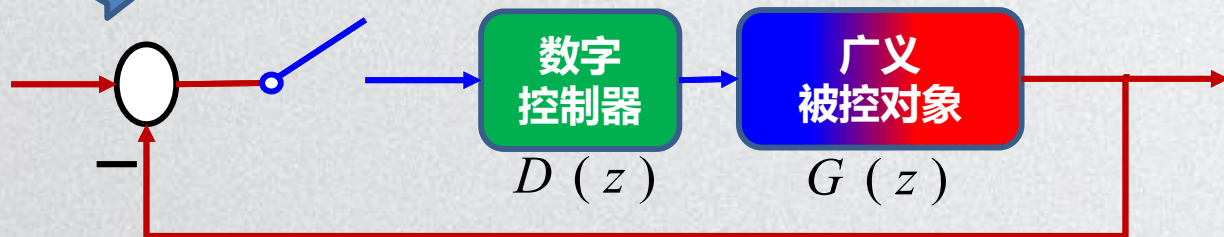
1.大林算法设计步骤



等效

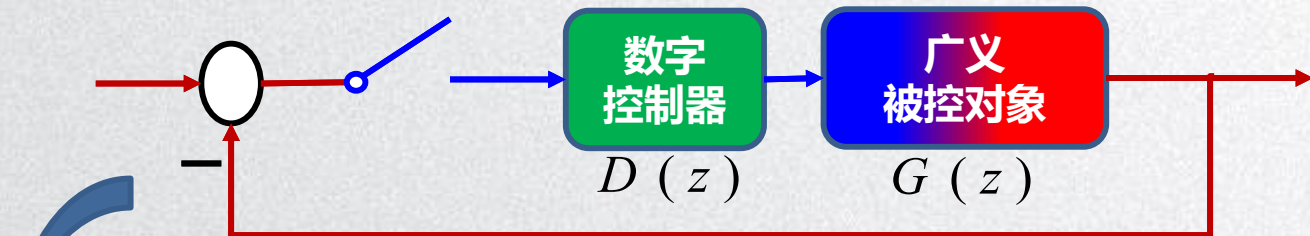
离散

$$G_p(s) = \frac{K_p e^{-\tau s}}{T_1 s + 1}$$



$$G(z) = Z\left[\frac{1 - e^{-Ts}}{s} \frac{K_p e^{-\tau s}}{T_1 s + 1}\right]$$
$$= K_p z^{-(N+1)} \frac{1 - e^{-T/T_1}}{1 - e^{-T/T_1} z^{-1}}$$

1.大林算法设计步骤



等效

$$\Phi(z) = \frac{C(z)}{R(z)} = \frac{D(z)G(z)}{1 + D(z)G(z)} \quad \longrightarrow \quad D(z) = \frac{\Phi(z)}{1 - \Phi(z)} \frac{1}{G(z)}$$



$$\left. \begin{aligned} G(z) &= K_p z^{-(N+1)} \frac{1 - e^{-T/T_1}}{1 - e^{-T/T_1} z^{-1}} \\ \Phi(z) &= z^{-(N+1)} \frac{1 - e^{-T/T_c}}{1 - e^{-T/T_c} z^{-1}} \end{aligned} \right\} D(z) = \frac{(1 - e^{-T/T_c})(1 - e^{T/T_1} z^{-1})}{K_p (1 - e^{-T/T_1}) [1 - e^{-T/T_c} z^{-1} - (1 - e^{-T/T_c}) z^{-(N+1)}]}$$

1.大林算法设计步骤

三步走

期望闭环离散化

$\Phi(s)$

离散

$\Phi(z)$

$H_0(s)$

被控对象离散化

$G_P(s)$

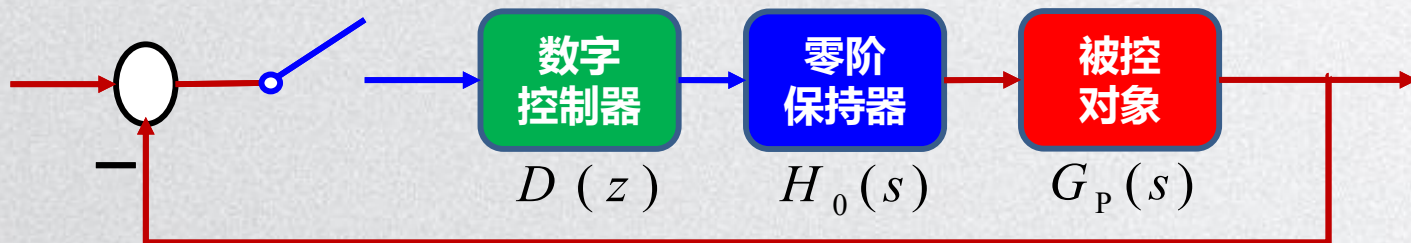
离散

$G(z)$

$H_0(s)$

计算整理控制器

$$D(z) = \frac{\Phi(z)}{1 - \Phi(z)} \frac{1}{G(z)}$$



2.微量泵控制问题求解与仿真

以注射**硝普钠**为例

老年病人和肝肾功能不全者对**降压**
反应敏感，且中毒几率增加

血压过低时**减慢**
滴速或**暂停**

氰化物中毒迹象

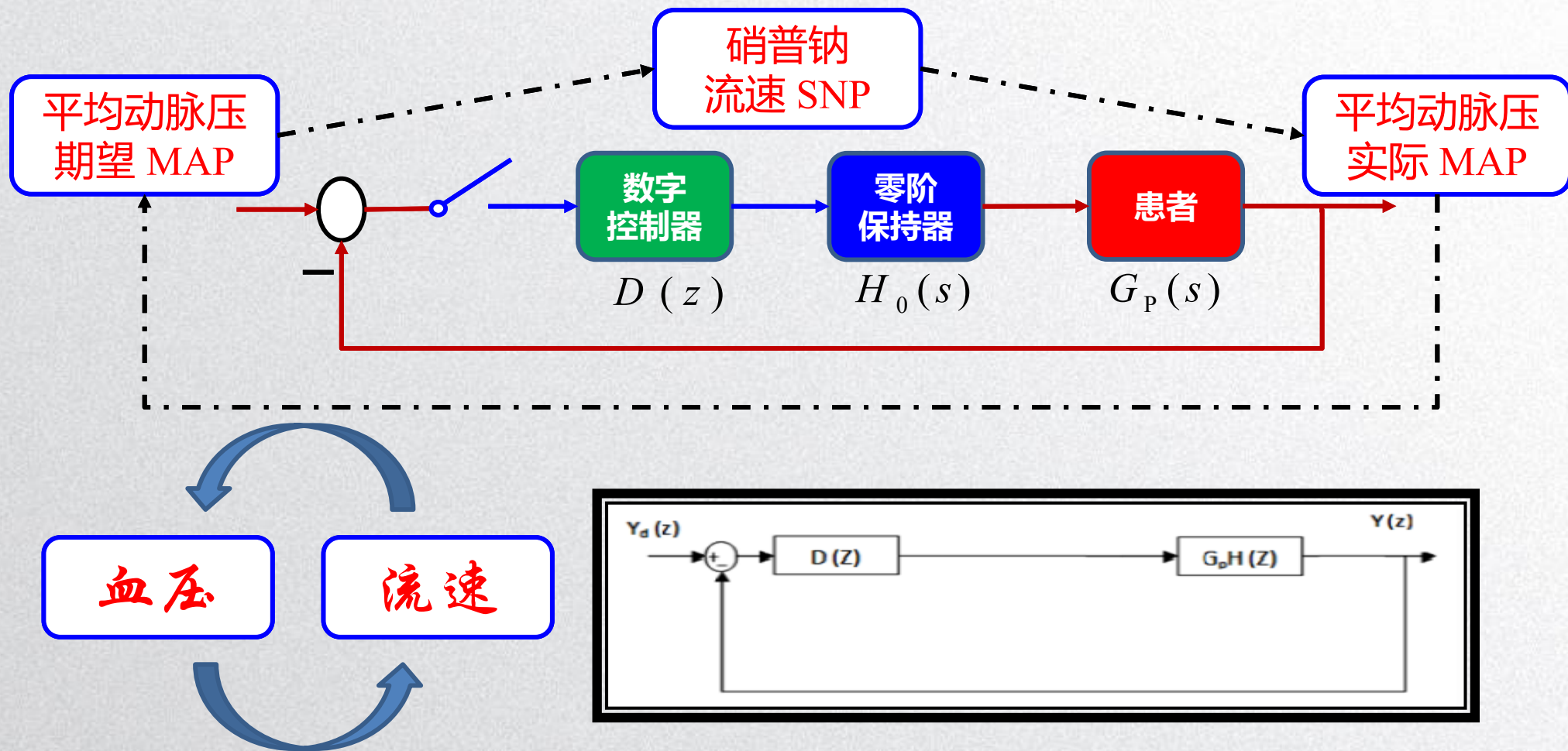
硫氰化物中毒迹象

血压

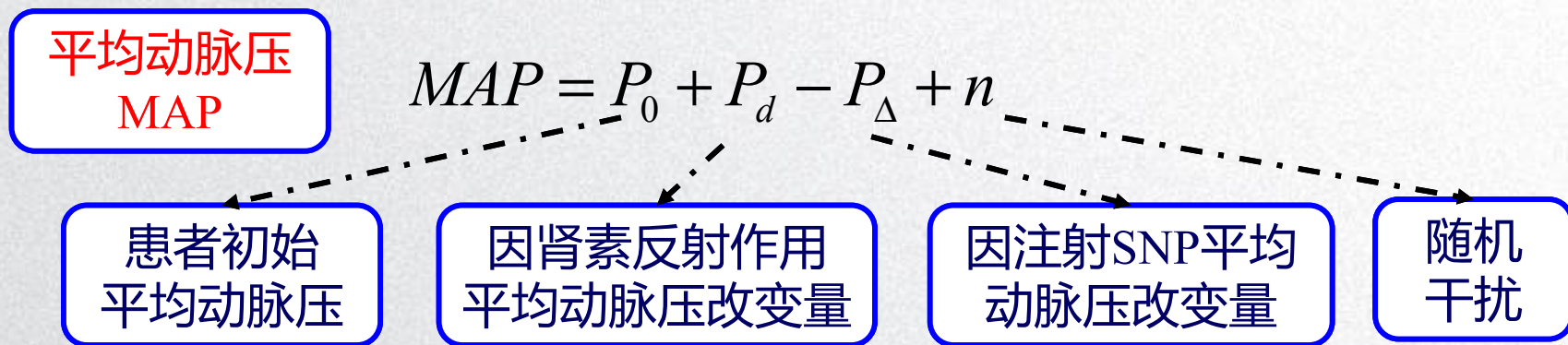


流速

2.微量泵控制问题求解与仿真



2.微量泵控制问题求解与仿真

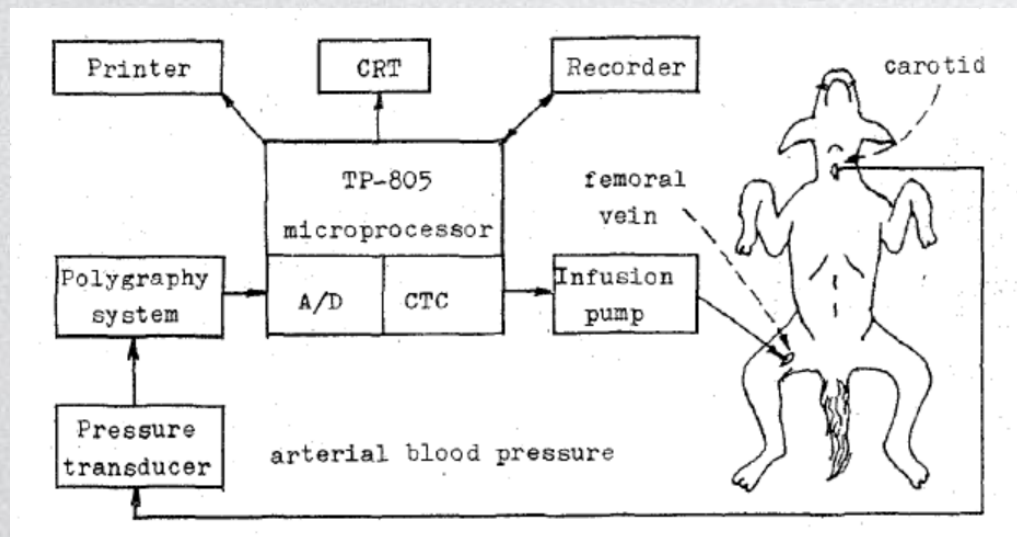
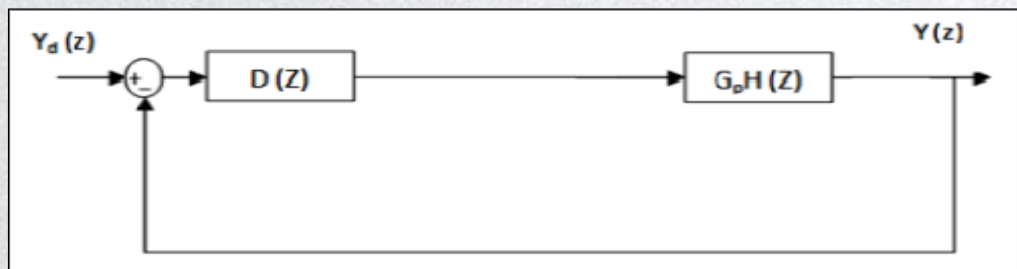


SNP注射流速与由它引起的平均动脉压改变量

$$G_p(s) = \frac{P_{\Delta}(s)}{I(s)} = \frac{K_p e^{-\tau s} (1 + \alpha e^{-L_i s})}{T_1 s + 1}$$

K_p 是病人对SNP的敏感程度； τ 是从微量泵注射的初始传输滞后； α 是再循环药物对患者血压影响的再循环常数； L_i 是药物全身循环的时间滞后； T_1 系统惯性时间常数。

2.微量泵控制问题求解与仿真



•微量泵注射过程血压-流速数学模型

$$G_p(s) = \frac{e^{-30s}}{24s + 1}$$

•期望闭环传递函数

$$\Phi(s) = \frac{e^{-30s}}{9s + 1}$$

滞后 1s
变
系统惯性
时间常数 T

•试按大林算法求取控制器。设采样周期 $T=30s$

Manju V S, Maka S. Design of drug delivery system for blood pressure control, 2013:1-5.
Shengjian Z, Bo H, Lixin P, et al. Adaptive control for blood pressure with Dahlin algorithm 1988.

2.微量泵控制问题求解与仿真

解

$$G(z) = Z\left[\frac{1-e^{-Ts}}{s} \frac{e^{-\tau s}}{T_1 s + 1}\right] = \frac{0.7135z^{-2}}{1-0.2865z^{-1}}$$

$$\Phi(z) = Z\left[\frac{1-e^{-Ts}}{s} \frac{e^{-\tau s}}{T_c s + 1}\right] = \frac{0.9643z^{-2}}{1-0.03567z^{-1}}$$

大林算法

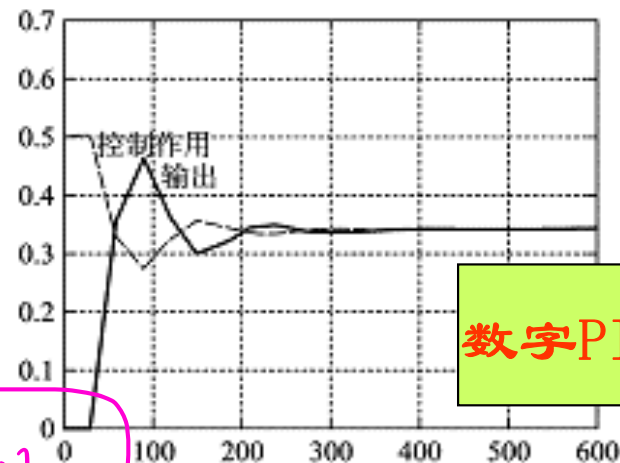
$$D(z) = \frac{\Phi(z)}{G(z)[1-\Phi(z)]}$$

$$= \frac{1.3515 - 0.3872z^{-1}}{1 - 0.03567z^{-1} - 0.9643z^{-2}}$$

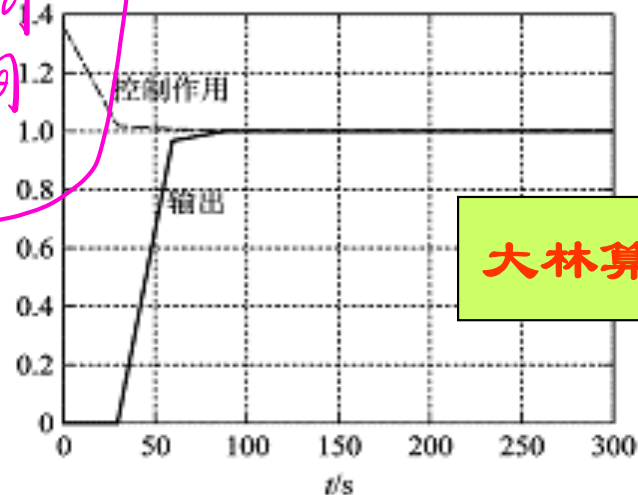
调整惯性时间
常数, 滞后时间
常数不变

数字PI控制

$$D(z) = 0.5 + \frac{0.001}{1-z^{-1}}$$



数字PI控制



大林算法

3.大林算法分析与思考

思考：大林算法为什么会有这么好的性能？

确定目标

闭环控制系统的目标：①稳定、②无超调量或超调量很小、③消除稳态误差、④允许有较长的调节时间，则**大林算法**的控制效果往往比**数字PID**等控制算法具有更好的效果。

$$\Phi(s) = \frac{1}{T_c s + 1} e^{-\tau s}$$

T_c 为理想闭环惯性时间常数

$$D(z) = \frac{(1 - e^{-T/T_c})(1 - e^{T/T_1} z^{-1})}{K_p (1 - e^{-T/T_1}) [1 - e^{-T/T_c} z^{-1} - (1 - e^{-T/T_c}) z^{-(N+1)}]} = \frac{(1 - a)(1 - b z^{-1})}{K_p (1 - b) [1 - a z^{-1} - (1 - a) z^{-(N+1)}]}$$

$$S_n = a_1 \frac{1 - q^n}{1 - q}$$

$$D(z) = \frac{(1 - a)(1 - b z^{-1})}{K_p (1 - b)(1 - z^{-1}) [1 + (1 - a) z^{-1} + \cdots + (1 - a) z^{-N}]}$$

$$z = 1$$

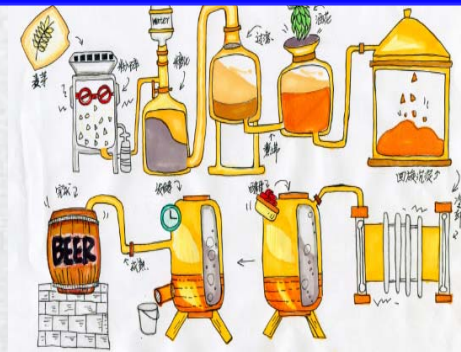
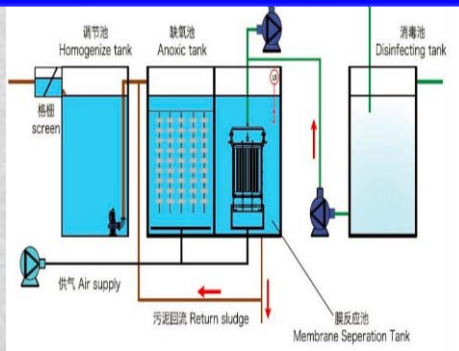
$$D(z) = \frac{(1 - a)(1 - b z^{-1})}{K_p (1 - b)(1 - z^{-1}) [1 + (1 - a) N]}$$

3.大林算法分析与思考

思考：大林算法为什么会得到广泛应用？



不同类型的元件或系统，可具有形式相同的数学模型，
我们称这些系统为相似系统。



投票

最多可选1项

设置

针对含有纯滞后的高阶复杂系统，若想利用大林算法进行控制，下列哪些数学模型简化或近似方法可以使用？

A

寻求主导极点

B

泰勒级数展开近似

取1阶近似把纯滞后近似成惯性环节

C

多个小惯性时间常数合并

D

多阶小惯性环节中高阶项忽略

提交

3.大林算法分析与思考

A.寻求主导极点

$$G(s) = \frac{k(T_4s + 1)}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)(T_3s + 1)} \xrightarrow[T_2 < 5T_1]{T_3 \text{ 与 } T_4 \text{ 接近}} G(s) = \frac{k}{(T_1s + 1)}$$

B.泰勒级数展开近似

$$e^{-\tau s} = \frac{1}{1 + \tau s + \frac{\tau^2}{2!} s^2 + \frac{\tau^3}{3!} s^3 + \dots} \quad e^{-\tau s} = \frac{1}{1 + \tau s}$$

C.多个小惯性时间常数合并

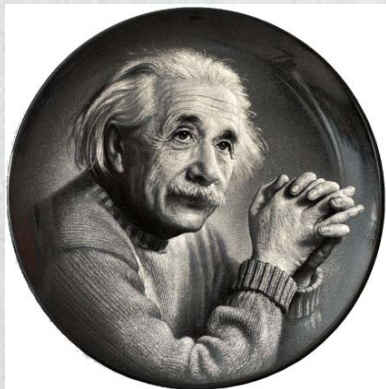
$$G(s) = \frac{k}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)(T_3s + 1)} \xrightarrow[T_\Sigma = T_1 + T_2]{T_1, T_2 \ll T_3} G(s) = \frac{k}{(T_\Sigma s + 1)(T_3s + 1)}$$

D.多阶小惯性环节中高阶项忽略

$$G(s) = \frac{k}{(T_1s + 1)(as^3 + bs^2 + cs + 1)} \xrightarrow[a, b \ll c]{bc > a} G(s) = \frac{k}{(T_1s + 1)(cs + 1)}$$

3.大林算法分析与思考

思考：大林算法为什么会经久不衰？



1938年，爱因斯坦在《物理学的进化》中说：“提出一个问题往往比解决一个问题更为重要，因为解决一个问题也许是一个数学上或实验上的技巧问题。而提出新的问题、新的可能性，从新的角度看旧问题，却需要创造性的想像力，而且标志着科学的真正进步。”提出问题、分析问题、解决问题，这是人们处理事物的方法。从某个角度来说：提出问题是成功的一半。



习近平指出：“我国科技界要坚定创新自信，坚定敢为天下先的志向，在独创独有上下功夫，勇于挑战最前沿的科学问题，提出更多原创理论，作出更多原创发现，力争在重要科技领域实现跨越发展，跟上甚至引领世界科技发展新方向，掌握新一轮全球科技竞争的战略主动。”

本讲小结

一个目标

$$\Phi(s) = \frac{1}{T_c s + 1} e^{-\tau s}$$

两类对象

$$\left\{ \begin{array}{l} G_p(s) = \frac{K_p e^{-\tau s}}{T_1 s + 1}, \quad \tau = NT \\ G_p(s) = \frac{K_p e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}, \quad \tau = NT \end{array} \right.$$

三步走

被控对象离散化

期望闭环离散化

计算整理控制器

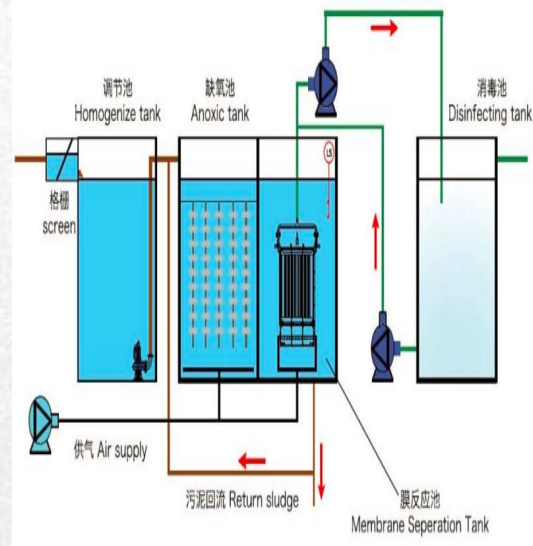
数字PI控制器
+
史密斯预估补偿

相似系统
+
高阶近似

透过现象看本质
+
发现问题更重要

课后作业

1. **学习慕课** 《大林算法与史密斯预估器的关系》
2. **独立完成**：试着用大林算法为乙烯污水处理过程消毒池进行流量控制，并用MATLAB软件仿真系统的流量输出曲线，及控制器的输出曲线。
3. **小组讨论**：你的仿真曲线与课上的曲线有何不同？出现什么奇怪的特征了吗？同组伙伴是否也有这样的特征？为什么会这样？需要解决吗？怎么解决？



4. **小组按兴趣选做**：主题为“微量泵自动监测与注射系统设计”（本课程相应**课程设计的第四选题**）。
提示：血压精准检测、流量无线监测与控制

附论文和专利，
仅供参考

参考书籍与相关资料

参考 书籍

- 李元春《计算机控制系统》高等教育出版社
- 高金源《计算机控制系统》高等教育出版社
- 中国慕课网 <https://www.icourse163.org/course/NEU-1001765003>

相关 资料

- 计算机控制系统综合实验指导书(校内教材);
- 网络遥操作相关网络资源。
- Shengjian Z , Bo H , Lixin P , et al. Adaptive control for blood pressure with Dahlin algorithm[C]// IEEE International Conference on Systems. IEEE, 1988.
- Manju V S, Maka S. Design of drug delivery system for blood pressure control, 2013:1-5.
- 心血管自动反馈控制给药治疗仪 专利 CN2768663
- 血压自动监测分析和自动调节机器人给药系统 专利 CN204468062U



谢谢!