国家精品课程/ 国家精品资源共享课程/ 国家级精品教材
国家级十一(二)五规划教材/ 教育部自动化专业教学指导委员会牵头规划系列教材

控制系统仿真与CAD

第七章 控制器设计的经典方法

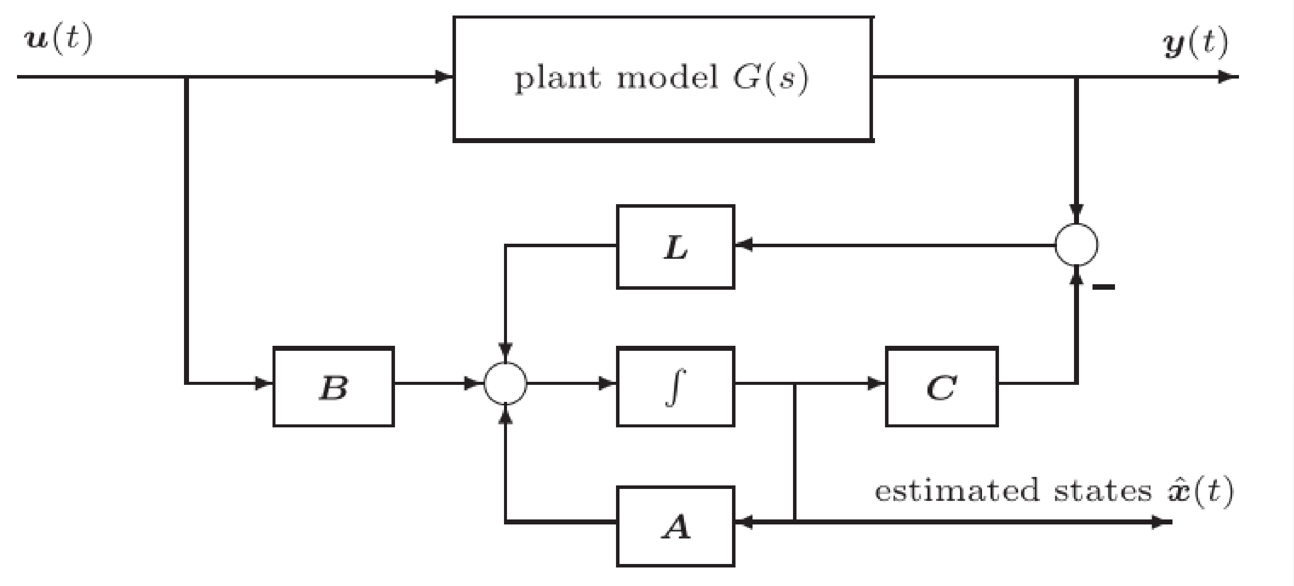
状态空间设计方法（下）

State Space Design Methods (III)

主讲：薛定宇教授

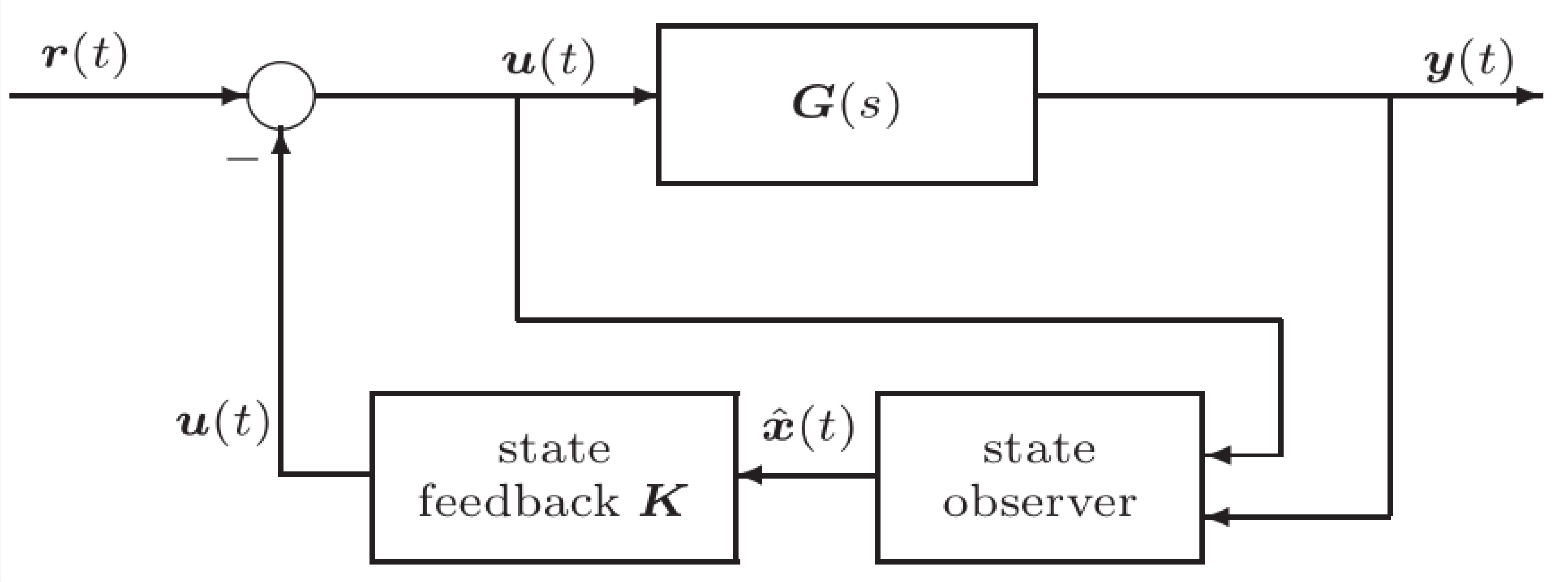
观测器模型回顾

- 观测器模型
  - 由输入与输出信号重建系统的状态
  - 需要设计 L 矩阵



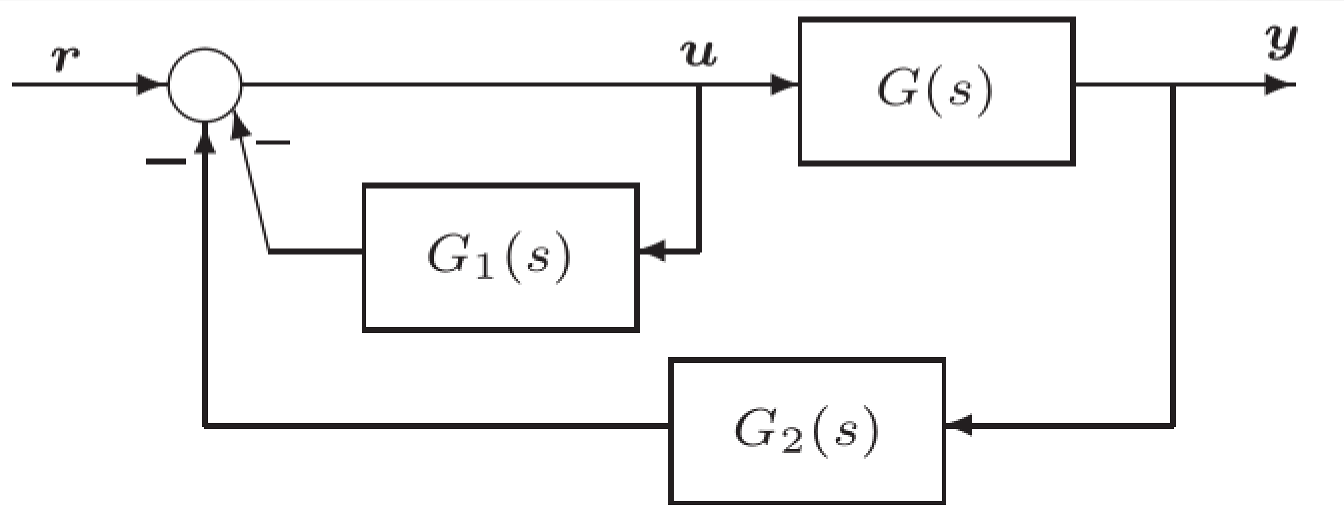
基于观测器的调节器与控制器

- 带有观测器的控制系统框图
  - 状态未知，需要观测器重建



基于状态观测器的调节器

- 模型等效变换



- $G_1(s)$

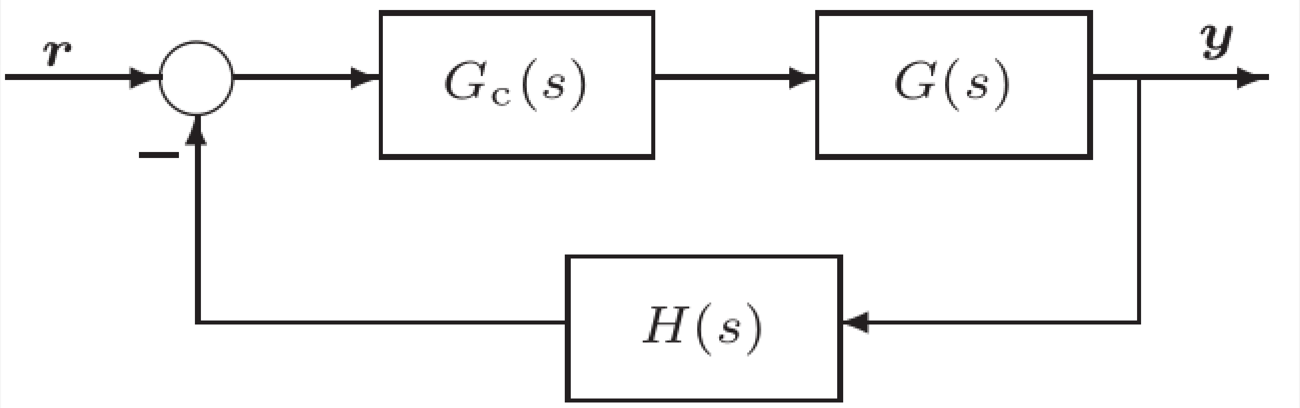
$$\begin{cases} \dot{\hat{\boldsymbol{x}}}_1(t) = (\boldsymbol{A} - \boldsymbol{LC})\hat{\boldsymbol{x}}_1(t) + (\boldsymbol{B} - \boldsymbol{LD})\boldsymbol{u}(t) \\ \boldsymbol{y}_1(t) = \boldsymbol{K}\hat{\boldsymbol{x}}_1(t) \end{cases}$$

- $G_2(s)$

$$\begin{cases} \dot{\hat{\boldsymbol{x}}}_2(t) = (\boldsymbol{A} - \boldsymbol{LC})\hat{\boldsymbol{x}}_2(t) + \boldsymbol{L}\boldsymbol{y}(t) \\ \boldsymbol{y}_2(t) = \boldsymbol{K}\hat{\boldsymbol{x}}_2(t) \end{cases}$$

结构图化成典型反馈系统模型

- 等效框图



- 等效关系
  - $G_c(s)$

$$G_c(s) = \boldsymbol{I} - \boldsymbol{K}(s\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A} + \boldsymbol{BK} + \boldsymbol{LC} - \boldsymbol{LDK})^{-1}\boldsymbol{B}$$

  - 状态方程

$$\begin{cases} \dot{\boldsymbol{x}}(t) = (\boldsymbol{A} - \boldsymbol{BK} - \boldsymbol{LC} + \boldsymbol{LDK})\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{Bu}(t) \\ \boldsymbol{y}(t) = -\boldsymbol{Kx}(t) + \boldsymbol{u}(t) \end{cases}$$

基于观测器的控制器等效变换

- 等效关系

$$\begin{cases} \dot{\boldsymbol{x}}(t) = (\boldsymbol{A} - \boldsymbol{B}\boldsymbol{K} - \boldsymbol{L}\boldsymbol{C} + \boldsymbol{L}\boldsymbol{D}\boldsymbol{K})\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{B}\boldsymbol{u}(t) \\ \boldsymbol{y}(t) = -\boldsymbol{K}\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{u}(t) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{\hat{\boldsymbol{x}}}_2(t) = (\boldsymbol{A} - \boldsymbol{L}\boldsymbol{C})\hat{\boldsymbol{x}}_2(t) + \boldsymbol{L}\boldsymbol{y}(t) \\ \boldsymbol{y}_2(t) = \boldsymbol{K}\hat{\boldsymbol{x}}_2(t) \end{cases}$$

- 根据等效关系可以编写出MATLAB函数

```
function [Gc,H]=obsvsf(G,K,L)
H=ss(G.a-L*G.c,L,K,0);
Gc=ss(G.a-G.b*K-L*G.c+L*G.d*K,G.b,-K,1);
```

- 若参考输入为0（调节问题） $\boldsymbol{G}_{\rm c}={\rm reg}(\boldsymbol{G},\boldsymbol{K},\boldsymbol{L})$

例7-6 系统的等效实现

➢ 受控对象模型

$$\dot{\boldsymbol{x}}(t)=\begin{bmatrix}0 & 2 & 0 & 0\\ 0 & -0.1 & 8 & 0\\ 0 & 0 & -10 & 16\\ 0 & 0 & 0 & -20\end{bmatrix}\boldsymbol{x}(t)+\begin{bmatrix}0\\ 0\\ 0\\ 0.3953\end{bmatrix}u(t)$$

$$y(t)=0.09882x_1(t)+0.1976x_2(t)$$

➢ 二次型性能指标的加权矩阵

$$R=1,\quad \boldsymbol{Q}=\mathrm{diag}(0.01, 0.01, 2, 3)$$

状态反馈控制系统的仿真

- 直接设计控制器

```
>> A=[0,2,0,0; 0,-0.1,8,0; 0,0,-10,16; 0,0,0,-20];
   B=[0;0;0;0.3953]; C=[0.09882,0.1976,0,0]; D=0;
   Q=diag([0.01,0.01,2,3]); R=1;
   K=lqr(A,B,Q,R), step(ss(A-B*K,B,C,D))
```

- 假设状态不可测，需要构造观测器

```
>> P=[-5;-5;-5;-5]; G=ss(A,B,C,D);
   L=acker(A’,C’, P)’; [Gc,H]=obsvsf(G,K,L);
   step(ss(A-B*K,B,C,D),feedback(G*Gc,H))
```

- 最小实现

```
>> zpk(minreal(feedback(G*Gc,H)))
   zpk(minreal(ss(A-B*K,B,C,D)))
```

状态空间设计方法小结

- 状态反馈系统的结构
- 状态空间设计方法
  - 线性二次型性能指标的最优设计 lqr()、dlqr()
  - 极点配置的：bass_pp()、place()、acker()函数
- 系统状态不可测时，引入观测器重建状态
  - 状态观测器仿真：simobsv() 函数
  - 基于观测器的控制器：obsvf() 函数
  - 基于观测器的调节器：reg() 函数

薛定宇教授主讲

东北大学

NORTHEASTERN UNIVERSITY 1923

控制系统仿真与CAD