

Control Feedforward/prealimentación: caso lineal

Antonio Sala

DISA-UPV

Video-presentación disponible en:

<http://personales.upv.es/asala/YT/V/fflin.html>



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

Presentación

Motivación:

Además de sensores sobre variables controladas “primarias”, pueden existir otros sensores en control avanzado; variables controladas “secundarias” (control en cascada), y variables “exógenas” (prealimentación/feedforward).

Objetivos:

Comprender el significado del concepto de prealimentación con modelos lineales dinámicos.

Contenidos:

Revisión de conceptos. Modelos y controladores lineales. Cancelación de perturbación medible. Ejemplo. Conclusiones.



Interpretación intuitiva

Prealimentación: conocida una medida de una variable exógena (perturbación, no controlable) que influye sobre mis salidas controladas, calcular la acción de control (vbles. manipuladas) que compensa su efecto para que las salidas no cambien.

Intuitivamente, la prealimentación en casos sencillos acaban siendo reglas de **proporcionalidades**:

- 1 Bajada de presión de 0.2 bar en alimentación de un reactivo **baja su caudal 1.2 l/min**. Si estábamos diluyéndolo al 33% (2 l de disolvente por litro de reactivo), **bajar 2.4 litros de diluyente...** **Bajar 12 l/min por bar** de caída de presión (si se dispone de sensor).
- 2 El agua que se alimenta a una caldera (10 l/min) **baja 8°C** su temperatura; como gas natural tiene poder calorífico 10000 Kcal/m³, **incrementar 0.008 m³/min caudal de gas** a quemador, al detectar cambio de temp. agua a la **entrada** (feedforward) en vez de esperar a que la **salida** se enfríe (feedback). **Subir 0.001 m³/min por °C** de bajada de T_{in} .

Interpretación matemática

Sea el sistema $y = \text{modelo}(u, d_{med}, w)$

- **Entradas:** Vbles. manipuladas u , d_{med} medible, w no medible.

Feedback (realimentación) 1GL: cambiar variables **manipuladas** u ante desviación (error) en variables **controladas** sobre su **referencia** r : $u = \text{control}(y - r)$.

► Sensores adicionales en control:

- **Feedforward (prealimentación):** cambiar variables **manipuladas** u ante desviación en perturbaciones medibles (variables **exógenas**: **no** controladas, **no** manipuladas) d_{med} .

$$u = \text{controlador}(r - y, d_{med})$$



Expresión en caso modelo y controlador lineal

El sistema $y = \text{modelo}(u, d_{med}, w)$, debe escribirse como superposición de 3 efectos:

$$y = G(s) \cdot u + H(s) \cdot d_{med} + W(s) \cdot w$$

El controlador $u = \text{controlador}(r - y, d_{med})$ debe escribirse como:

$$u = \underbrace{K_{FB}(s) \cdot (r - y)}_{u_{FB}, \text{realimentación}} + \underbrace{K_{FF}(s) \cdot d_{med}}_{u_{FF}, \text{prealimentación}}$$



Controlador FF que cancela perturbación medible

Si proponemos $K_{FF}(s) = -G^{-1}(s)H(s)$, entonces:

$$\begin{aligned} y &= G(s) \cdot (u_{FB} + u_{FF}) + H(s) \cdot d_{med} + W(s) \cdot w \\ &= G(s) \cdot (u_{FB} - G^{-1}(s)H(s)d_{med}) + H(s) \cdot d_{med} + W(s) \cdot w \\ &= G(s) \cdot u_{FB} + W(s)w \end{aligned}$$

\Rightarrow desaparece* el efecto de d_{med} sobre la salida del sistema.

* Sólo desaparece en “teoría”, si el modelo G y H es bueno y si K_{FF} es realizable, causal.

- Como eso nunca ocurre con “total exactitud”, el efecto “residual” será observado por el sensor de y , e intentado cancelar con u_{FB} , p.ej. con un PID en la mayoría de aplicaciones prácticas.
- En estas aplicaciones, por simplicidad, K_{FF} se suele **aproximar** a un sistema de orden bajo o incluso estático (**ganancia**).

Diagrama de bloques

Control Feedforward (prealimentación): introducción

Control Feedforward (prealimentación): introducción

Antonio Sala

DISA-UPV

Video-presentación disponible en:

<http://personales.upv.es/asala/YT/V/ffintro.html>



El control u_{FB} podría teóricamente diseñarse “como si d_{med} no existiera”. Si el modelo es bueno y la única perturbación es d_{med} no haría falta realimentación ($u_{FB} = 0$).

Ejemplo

Caldera con modelo

$$T_{out} = \underbrace{\frac{6 \cdot e^{-1.5s}}{4s + 1}}_G \cdot \underbrace{Q}_{\text{Vble. manip.}} + \underbrace{\frac{1 \cdot e^{-2s}}{2.5s + 1}}_H \cdot \underbrace{T_{in}}_{\text{perturb.}}$$

Resultaría en

$$Q_{FF} = -G^{-1}H \cdot T_{in} = -\frac{4s + 1}{6e^{-1.5s}} \cdot \frac{1 \cdot e^{-2s}}{2.5s + 1} \cdot T_{in} = \underbrace{\frac{-\frac{1}{6}(4s + 1) \cdot e^{-0.5s}}{2.5s + 1}}_{K_{FF}} \cdot T_{in}$$

► Versión “simplificada” (sólo cancelación en régimen permanente, llegados a equilibrio): $Q_{FF} = -\frac{1}{6}T_{in}$.



Conclusiones

- El control avanzado usa **sensores adicionales**. El control **feedforward/prealimentación** es el nombre que se da a las acciones consecuencia de medir variables **exógenas** (no “controlables”).
- El control incluye un término $K_{FF} \cdot d_{med}$ (feedforward, prealimentación), que representa acciones que corrigen el efecto de d_{med} sobre y , esto es, **la acción de control que tendría efecto igual pero en sentido contrario**.
- En un caso lineal $y = G(s)u + H(s)d_{med}$, el efecto de d_{med} se cancela con $u_{FF} = -G^{-1}(s)H(s) \cdot d_{med}$.
- En casi todas las aplicaciones, se implementa una **proporcionalidad** usando únicamente la **ganancia estática** $G^{-1}(0)H(0)$.