Control Feedforward/Prealimentación: caso lineal multivariable y caso desacoplado

Antonio Sala

DISA-UPV

Video-presentación disponible en:

http://personales.upv.es/asala/YT/V/**ffdec**.html

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 en caso multivariable y su relación con desacoplamiento.

Contenidos:

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

Feedforward con modelo y controlador lineal

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

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

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

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

En caso **multivariable** G, H, R, K_{FB} y K_{FF} serían **matrices de transferencia** (o, si sólo se considera régimen permanente –equilibrio, valor final–, **matrices de ganancia**).

Controlador FF que cancela perturbación medible

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

$$y = G(s) \cdot (u_{FB} - G^{-1}(s)H(s)d_{med}) + H(s) \cdot d_{med} + R(s) \cdot w$$
$$= G(s) \cdot u_{FB} + R(s)w$$

$\Rightarrow$ desaparece (teóricamente) el efecto de d_{med} sobre la salida.

- En caso **multivariable**, K_{FF} es una **matriz** (de transferencia o de ganancia) que cancela el efecto de varias perturbaciones sobre varios actuadores.

- Si hay más actuadores que perturbaciones medibles (eso es bueno), entonces gastar **pseudoinversa*** (mínimo $\|u\|^2$ que cancela $H \cdot d_{med}$).

* Hay otras opciones ante saturación, con programación lineal/cuadrática o control predictivo.

Prealimentación + desacoplamiento

- La propuesta $K_{FF}(s) = -G^{-1}(s)H(s)$ cancela d_{med} independientemente de qué técnica se utilice para calcular el componente realimentado u_{FB}.

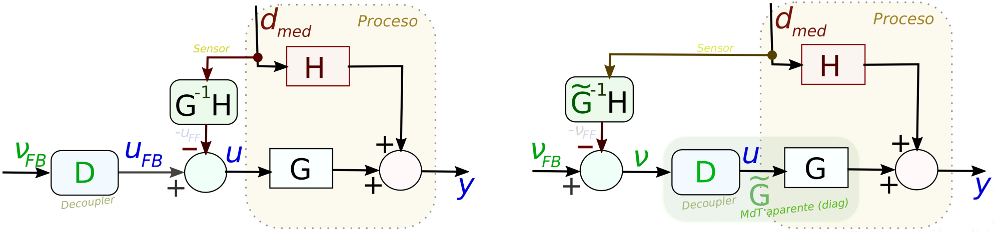
- Si se va a hacer desacoplamiento, puede hacerse éste primero, y luego considerar la prealimentación sobre una planta aparentemente diagonal $\widetilde{G}$ (eso hace que $\widetilde{G}^{-1}$ sea diagonal y se facilite el cálculo y la interpretación del resultado):
  - Si calculamos D tal que $\widetilde{G} = G \cdot D$ es diagonal, podemos introducir variables manipuladas "artificiales" ν, fijando $u = D\nu$, de modo que $y = Gu + Hd_{med} + Rw = GD\nu + Hd_{med} + Rw = \widetilde{G}\nu + Hd_{med} + Rw$ Entonces, la prealimentación sería $\nu_{FF} = -\widetilde{G}^{-1} \cdot H \cdot d_{med}$.

Alternativas de implementación con desacoplamiento

1. Hacer primero prealimentación, $u = u_{FB} - G^{-1}Hd_{med}$. Luego, $u_{FB} = D\nu_{FB}$ con desacoplamiento (realmente, u_{FB} con cualquier técnica que se desee).

2. Hacer primero desacoplamiento, prealimentación $\nu_{FF} = -\widetilde{G}^{-1}Hd_{med}$.

- El resultado es idéntico en ambos casos (se cancela Hd_{med}), porque $u_{FF} = D\nu_{FF} = -D\widetilde{G}^{-1}Hd_{med} = (G^{-1}\widetilde{G})\widetilde{G}^{-1}Hd_{med} = G^{-1}Hd_{med}$



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").

- 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 multivariable, $G^{-1}H$ es matriz.

- En casi todas las aplicaciones, se implementa una **proporcionalidad** usando únicamente la **ganancia estática** $G^{-1}(0)H(0)$.

- Si se va a combinar con desacoplamiento, puede invertirse sólo la diagonal desacoplada, resultando más fácil de calcular y de explicar.