Control de Sistemas Complejos: Conclusiones/resumen hasta el momento

Antonio Sala

DISA-UPV

Video-presentación disponible en:

http://personales.upv.es/asala/YT/V/**icscp1c**.html

Ideas generales al abordar problema complejo:

1. El control empieza en la **fase de proyecto**. Hay que (a) calcular un punto de operación basándose en rendimiento, normativas, etc.; (b) diseñar sistemas fáciles de controlar y (c) dimensionar correctamente potencia.

2. Si el sistema está bien diseñado y se tienen suficientes sensores de buena calidad, es posible que con una combinación de **PID's** pueda controlarse correctamente un sistema complejo (alrededor de un punto).

3. Todos los problemas de control (exagerando algo, y sin error de modelado) son casos particulares de un único **problema generalizado**: permite metodología **unificada** (con soluciones $\mathcal{H}_2$, $\mathcal{H}_\infty$).

1. El control en la fase de proyecto (I: puntos operación)

- Seleccionar variables controladas y manipuladas para que al menos en equilibrio se puedan alcanzar los incrementos de pto. func. deseados ante cambios de referencia (o mantenerlos ante unas ciertas perturbaciones esperables).
    - Usar quadprog/svd.
    - Estimados aproximados (cuadrados vs. elipse)
    - Otra fuente de error es la no-linealidad si los incrementos son grandes... la solución final exacta en procesos con grandes no-linealidades puede requerir comprobar factibilidad de problemas de optimización no lineal.
    - El punto de operación óptimo (económico) puede depender de las perturbaciones (si es así, que sean medibles, porque de otro modo controlar "bien" un punto de funcionamiento "equivocado" es perder el tiempo).

1. El control en la fase de proyecto (II: dinámica)

- Sobredimensionar potencia para hacerlo "suficientemente rápido" (ancho de banda, tiempo de establecimiento).
  - La herramienta es el SVD de $G(j\omega)$, diagrama `sigma`.
  - Sin escalado/adimensionalizado, no tiene sentido físico.
  - Estimados aproximados (cuadrados vs. elipse)
  - Dinámicas con retardo/orden elevado hacen este estimado quizás "optimista".
  - La direccionalidad de las maniobras en el SVD de la ganancia estática puede cambiar.
  - Las amplitudes "constantes" en la frecuencia de referencias o perturbaciones pueden ser variables en la frecuencia; eso junto con el desfase en procesos complejos nos lleva al problema generalizado y sus soluciones para refinar estas conclusiones preliminares.
  - Los límites "en el tiempo" de los incrementos requerirían su evaluación por simulación exhaustiva con control predictivo.

2. Intentémoslo primero, siempre, con PIDs

- Son el estándar en industria (bueno, + predictivo en gran industria química, + todo/nada en sistemas ≈ 1er orden).
- En sistemas "fáciles de controlar", se sintonizan "automáticamente", con reglas/tablas sencillas o incluso por reglas "intuitivas".
- Cualquier cosa que no sea PIDs debe ser justificada en términos de coste/beneficio y coste de mantenimiento del software.
- La propia teoría dice que con sensores de "todo lo importante" (de todo el estado), el control proporcional funcionará ($u = -Kx$, realimentación del estado).

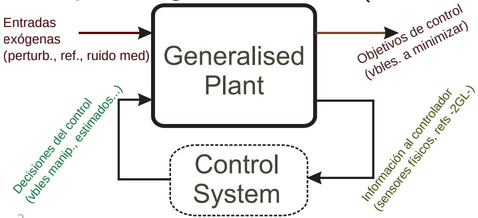
2. Control de sistemas complejos con PIDs

- Con suficientes sensores, podemos construir en bastantes casos sistemas muy buenos de control, que **se comprendan intuitivamente**, incorporando elementos de "caja de herramientas":

1. Cascada sensor extra,
2. Cascada actuador extra,
3. Desacoplamiento lineal (forma inversa –bloques SISO–, o matriciales (inversas, desacoplamiento SVD incluso para plantas no cuadradas),
4. Desacoplamiento y linealización por realimentación del estado (sistemas no lineales, robótica),
5. Override (seguridad ante fallos), doble control, doble actuador, triple sensor (votación),
6. Control gradual, split-range, ratio, . . .
7. Control con 2 grados de libertad (limitar la tasa de cambio de referencia y sus valores extremos es muy común por seguridad),
8. Cálculo de puntos de funcionamiento no-lineal (con cálculos estáticos todo es más fácil) aunque luego el control sea lineal (generalizando la idea de "ratio" a otras ecuaciones).

3. El problema de control generalizado (I)

- Casi todos los problemas de control se pueden resumir como:
  1. Determinadas señales (vbles. controladas, actuadores) deben incrementarse poco respecto a un pto. de operación.
  2. Existen señales exógenas (referencias, perturbaciones) que los incrementan.
  3. Existen variables manipuladas que pueden compensar los efectos de esas señales exógenas.
  4. Para calcular las variables manipuladas disponemos de cierta información (posiblemente corrompida por ruido de medida)
- Problema teórico de "planta generalizada" (the '4 block' problem).



3. El problema de control generalizado (II)

- El problema generalizado es un tipo de "juego": las exógenas (las "malas") contra las manipuladas (las "buenas").
  - Variables exógenas son aleatorias (juegos de oponente "tonto"): control $\mathcal{H}_2$. Equivalente a LQR+Kalman (LQG), una vez se han hecho ciertos escalados.
  - Variables exógenas para intentar perjudicarme lo más posibles (oponente "listo", equilibrio de Nash): control $\mathcal{H}_\infty$. Cuando se incluyan los errores de modelado entre las cosas "exógenas" que me pueden molestar, dará lugar al control robusto.
- El diagrama de bloques de la planta generalizada codifica el **tipo** de problema de control a resolver (bucle cerrado, abierto, 2GL, feedforward, observadores,...). Las especificaciones concretas deben plasmarse en "pesos" (bien constantes, bien variables según la frecuencia).

3. El problema de control generalizado (III)

- Los "pesos" o "escalados" determinan:
  - Los tamaños máximos (o la PSD) de las entradas exógenas (W_{in})
  - Los tamaños admisibles de variables controladas W_{err}^{-1} y manipuladas W_u^{-1}, formando $W_{out} = blkdiag(W_{err}, W_u)$.
  - Idealmente, conviene para poder interpretar adecuadamente, adimensionalizar para que cuando entradas de tamaño **1** (escaladas) den lugar a errores de tamaño menor a **1** (escalados) las especificaciones se cumplan.

- Los pesos en frecuencia y los óptimos $\mathcal{H}_2$ y $\mathcal{H}_\infty$ pueden considerarse como límites de prestaciones alcanzables (refinando/complementando las ideas iniciales discutidas en la seccion 1. de estas conclusiones, al incluir ruidos de medida, dinámica, amplitudes diferentes de perturbaciones/referencias según la frecuencia, ancho de banda actuadores, etc.).

- En sistemas lineales, la solucion $\mathcal{H}_2$ con saturación es el filtro de Kalman + control predictivo con índice cuadrático.