CONTROL ROBUSTO DE SISTEMAS INCIERTOS VIA FILTROS DE DETECCION

Ferenc Szigeti
Universidad de Los Andes
Facultad de Ingeniería
Departamento de Control
Av. T. Febres Cordero
Mérida 5101 - Venezuela
Fax : +58 74 402846
e-mail : szigeti@ing.ula.ve

Addison Ríos Bolívar
Universidad de Los Andes
Facultad de Ingeniería
Departamento de Control
Av. T. Febres Cordero
Mérida 5101 - Venezuela
Fax : +58 74 402846
e-mail : ilich@ing.ula.ve

Keywords : Control Robusto. Filtros de Detección. Incertidumbres Paramétricas. Diagnóstico y Detección de Fallas.

Resumen

En este artículo se presenta un método para el diseño de controladores robustos para sistemas con incertidumbres, a través de filtros de detección y aislamiento de fallas bajo condiciones de solubilidad del problema de diagnóstico y detección de las mismas.

1 Introducción

Los modelos de los sistemas dinámicos derivados por identificación o modelaje mantienen niveles de incertidumbres con respecto a la dinámica verdadera. Las incertidumbres se puden representar por modelos estructurados o no-estructurados, paramétricos o no-paramétricos y determinísticos o estocásticos, según la naturaleza del problema.

Sobre la base del tipo de incertidumbres, se han diseño diversas técnicas que garanticen la estabilidad y el desempeño de los sistemas, a pesar de la presencia de tales incertidumbres; K. Zhou *et al.* (1996), J.C. Doyle (1989), M. Corless (1994). Esencialmente, el control robusto en H_∞ y el enfoque cuadrático del problema de control de sistemas inciertos, representan los paradigmas para el análisis y síntesis de los procesos dinámicos con incertidumbres.

Un aspecto importante, entonces, para el diseño de controladores robustos, es la identificación del tipo de incertidumbre: estructurada, no-estructurada, determinística, estocástica; y la determinación de alguna medida del nivel (cotas) de dicha incertidumbre.

Bajo ciertos criterios, se deben desarrollar metodologías coherentes para el diseño de controladores robustos en base a los modelos identificados y del nivel de incertidumbre que se determine. De esta manera, se establece una sinergia entre el problema de identificación y el problema de diseño de un controlador robusto, dado que estos dos problemas se deben ver como dos partes de un problema de diseño conjunto. Esto se ha denominado el *problema de identificación de control orientado*, A. Ríos (1994).

Por otro lado, ciertos parámetros de los sistemas pueden variar en el tiempo sin ninguna regularidad. La capacidad de determinar la magnitud y dirección de los cambios, permite hacer seguimiento del estado de los sistemas, asegurando las tomas decisiones oportunas y adecuadas. En muchas circunstancias, los cambios en los sistemas puden verse como *fallas*, de manera que el problema de diagnóstico y detección de fallas representa un aspecto relevante a objeto de garantizar el "performance" de los procesos según los requerimientos establecidos.

Distintos métodos para la detección y separación de fallas se conocen hasta ahora. Por ejemplo, Papp *et al.* (1988), presentan un análisis del métdo del modelo múltiple para la detección de cambios de procesos multidimensionales, White *et al.* (1987), estudian la técnica de la relación de verosimilitud generalizada, Willsky

(1986) utiliza el método de espacio de paridad para la detección de cambios abruptos en sistemas dinámicos y Massoumnia (1896), presenta la técnica de diseño de filtros de detección. Keviczky *et al.* (1993), tratan el problema de aislamiento de fallas para sistemas lineales variantes en el tiempo, reduciendo el problema a un problema de diseño de un filtro de detección lineal invariante en el tiempo. Szigeti *et al.* (1997), considera el problema de diagnóstico de fallas para sistemas lineales variantes en el tiempo en base a la caracterización de la observabilidad de tales sistemas por la condición de rango de Kalman, lo cual permite diseñar filtros de detección.

Sobre la base del diagnóstico de fallas mediante filtros de detección, nos proponemos establecer las cotas de incertidumbres para sistemas con parámetros inciertos a los fines de diseñar controladores robustos.

2 Identificación de Sistemas de Control Orientado

La idea de la Identificación de Sistemas de Control Orientado, ISCO, surge en el sentido de tratar el problema de identificación conjuntamente con el diseño de sistemas de control robusto. Dentro de este contexto, el rol de un método de identificación es de reducir la incertidumbre de los sistemas a fin de posibilitar el diseño de un controlador robusto que permite alcanzar las especificaciones de funcionamiento para el sistema controlado en base a la incertidumbre remanente, es decir, el desempeño robusto. En forma minínima, esto requiere que el método de identificación reduzca asintóticamente el nivel de incertidumbre hasta el punto de poder calcular el controlador robusto.

2.1 Control Robusto

El Control Robusto trata del análisis y síntesis de sistemas controlados bajo la presencia de incertumbres y señales de perturbación. Las técnicas para el diseño de los controladores depende del tipo de incertidumbre. En general, las incertidumbres se pueden clasificar en *estructurada* (paramétrica) y *no estructurada*.

Para los sistemas con incertidumbres no estruturadas, las técnicas de control en H_∞ resultan ser las más efectivas y eficientes. Mientras que para los sistemas con incertidumbres paramétricas, el enfoque cuadrático, donde el problema de diseño de los controladores se reduce a un problema de optimización convexa que se resuelve mediante las desigualdades matriciales lineales, LMI, constituye quizás, el resultado más adecuado para tratar estos sistemas, [1], [2], [3].

Casi todos los métodos de diseño de controladores robustos requieren de cotas explícitas de la incertidumbre presente en los sitemas, de manera que a través de algún procedimiento se deben determinar dichas cotas (identificación). Así, en el caso de un sistema con incertidumbre no estructurada multiplicativa

$$P_\Delta = (I + \Delta W_2)P,$$

con

- P el modelo nominal,
- Δ el modelo de la incertidumbre del cual solo se debe conocer una cota,
- W_2 un peso que conforma el rango de frecuencia de interés en el que se estudia el sistema.

El sistema será estabilizado robustamente en lazo cerrado por un controlador K si $||\Delta||_\infty < 1$ y si solo si $||W_2 T_o||_\infty < 1$, con $T_o = I - S_o$ y $S_o = (I + PK)^{-1}$.

De igual manera se pueden establecer las condiciones para el "performance" nominal y robusto en base al tipo de incertidumbre y al conocimiento de la cota de dicha incertidumbre.

Para los sistemas con incertidumbre estructurada

$$\begin{array}{rcl} \dot{x}(t) & = & (A + \sum_{i=1}^{k} \delta_i \hat{A}_i)x(t) + (B + \sum_{i=1}^{k} \delta_i \hat{B}_i)u(t) \\ y(t) & = & (C + \sum_{i=1}^{k} \delta_i \hat{C}_i)x(t), \end{array} \tag{1}$$

donde A, B, C, D representan el sistema nominal y $\delta_i, \hat{A}_i, \hat{B}_i, \hat{C}_i$ constituyen las variaciones paramétricas para las diferentes matrices del sistema, el conocimiento de los valores máximos de dichos parámetros permite sintetizar el controlador robusto respectivo a través del concepto de estabilización cuadrática (métodos de Lyapunov).

3 Filtros de Detección de Fallas

4 Filtros de Detección e Identificación para Control

En esta sección se presenta el resultado principal de la identificación de las cotas de los parámetros inciertos del sistema, mediante la tećnica de diseño de filtros de detección de fallas.

Sea el sistema con incertidumbre paramétrica,

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \left(A_0 + \textstyle\sum_{i=1}^{I} k_i(1+r_i\Delta k_i) + \sum \frac{A_{j+I}}{m_j(1+l_j\Delta m_j)}\right) x + Bu \\ y(t) &= Cx, \end{aligned} \tag{2}$$

ó equivalentemente

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \left(A_0 + \textstyle\sum_{i=1}^{I} k_iA_i + \sum_{j=1}^{J} \frac{A_{j+I}}{m_j}\right) x + Bu + \sum k_i r_i \Delta k_i A_i x - \sum \frac{l_j \Delta m_j}{m_j(1+l_j\Delta m_j)} A_{j+I} x \\ y(t) &= Cx. \end{aligned}$$

Para el filtro de detección se considera la siguiente dinámica del observador de estados

$$\dot{\hat{x}} = \left(A_0 + \textstyle\sum_{i=1}^{I} k_iA_i + \sum_{j=1}^{I} \frac{A_{j+I}}{m_j}\right) \hat{x} + Bu + \mathcal{D}(y - C\hat{x}), \tag{3}$$

de tal manera que la ecuación del error de estimación será de la forma,

$$\dot{e} = \left(A_0 + \textstyle\sum k_iA_i + \sum \frac{A_{j+I}}{m_j} - \mathcal{D}C\right) e + \sum \frac{l_j\Delta m_j}{m_j(1+l_j\Delta m_j} A_{j+I} x - \sum k_i r_i \Delta k_i A_i x. \tag{4}$$

Sea $\mathcal{A} = A_0 + \sum k_iA_i + \sum \frac{A_{j+I}}{m_j} - \mathcal{D}C$, entonces

$$\dot{e} = (\mathcal{A})e + \textstyle\sum \frac{l_j\Delta m_j}{m_j(1+l_j\Delta m_j} A_{j+I} x - \sum k_i r_i \Delta k_i A_i x.$$

La solución de la ecuación anterior corresponde a

$$\begin{aligned} e(t) &= \exp(\mathcal{A}t)e(0) + \textstyle\int_0^t \exp(\mathcal{A}(t-\tau)) \Big[\\ &\quad \textstyle\sum \frac{l_j \Delta m_j A_{j+I} x(\tau)}{m_j(1+l_j\Delta m_j)} - \sum k_i r_i \Delta k_i A_i x(\tau) \Big] d\tau \end{aligned} \tag{5}$$

Nuestro interés es la convergencia asintótica de $e^{\mathcal{A}t}e(0)$, esto es,

$$e^{\mathcal{A}t}e(0) \longrightarrow 0,$$

lo cual nos conducirá a una convergencia hacia los niveles de incertidumbres paramétricas.

Supóngase. $W_1, \ldots, W_I, W_{I+1}, \ldots, W_{I+j}$, sub-espacios en $\mathcal{R}^n$

1. $C|_{W_i} : W_i \to \mathcal{R}^q$ son inyectivas.
2. $CW_i \bigcap \sum_{j\neq i} CW_j = 0$ (Separabilidad de la Salida).
3. $Im\ A_i \subset W_i$.

Sea, $P_i : \mathcal{R}^q \to CW_i$ un proyector, tal que $CW_j \subset Ker\ P_i$, $j \neq i$.

Si $i \leq I$,

$$\frac{||P_iCe(t)||}{||\int_0^t P_iCe^{\mathcal{A}(t-\tau)}A_i(\hat{x}(\tau) - e(\tau))d\tau|| k_i r_i} \to |\Delta k_i|$$

Si $i = I + j$,

$$\frac{m_j||P_iCe(t)||}{l_j\left(||\int_0^t P_iCe^{\mathcal{A}(t-\tau)}A_i(\hat{x} - e)d\tau|| - ||P_iCe||\right)} \to |\Delta m_j|$$

5 Conclusiones

Usando detecci'on de fallas y filtro de aislamiento para extraer los efectos de la incertidumbre param'etrica, se pueden identificar los niveles de incertidumbres, como limites; un requerimiento esencial para el diseño de controladores robustos. Además, se hace necesario cumplir con las condiciones de solubilidad del problema de diagn'ostico y detecci'on de fallas para que el problema de identificación tenga solución.

Referencias

[1] K. Zhou, J.C. Doyle y K. Glover, "Robust and Optimal Control", *Prentice Hall*, New Jersey, (1996).

[2] J.C. Doyle, K. Glover, P.P. Khargonekar, B. Francis, "State-Space Solutions to Standard H_2 and H_∞ Control Problems", *IEEE Trans. on Autom. Control* , **34**, No. 8, 831-847, (1989).

[3] M. Corless, "Robust Stability Analysis and Controller Design with Quadratic Lyapunov Functions", *Comunicación Interna*, (1994).

[4] C. E. Vera y F. Szigeti, "Modelling for Fault Detection and Isolation", *Enviado a CDC-97*, San Diego, USA, (1997).

[5] J. Bokor y L. Keviczky, "Detection Filter Design for Eigenvalue Changes in Dynamic Systems", *Proc. 28th IEEE CDC*, 1807-1808, Tampa, Florida, USA, (1989).

[6] F. Szigeti, J. Bokor y R. Tarantino, "Fault Detection Filter Design for linear time Varying: Algebraic-Geometric Approach", *Aceptado en 4th ECC*, Bruselas, Bélgica, (1997).

[7] A. Ríos Bolívar, "Un Método Iterativo para Identificación en H_∞". *Tesis de Maestría.* U.L.A. Mérida, (1994).