

Control Tolerante a Fallas Activo: Estimación y acomodación de fallas en sensores aplicado al modelo LPV de una bicicleta sin conductor

J. A. Brizuela-Mendoza^{a,*}, C. M. Astorga-Zaragoza^a, A. Zavala-Río^b, F. Canales-Abarca^c

^aCentro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET/Tecnológico Nacional de México), Interior Internado Palmira S/N, Col. Palmira Cuernavaca, Morelos, Mexico.

^bInstituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), Camino a la Presa San José 2055, Col. Lomas 4 sección, San Luis Potosí, Mexico.

^cABB Corporate Research Center, Brown Boveri Strasse 6, Baden, Suiza.

Resumen

Se presenta el diseño de un control tolerante a fallas (CTF) activo aplicado al modelo de una bicicleta sin conductor con representación Lineal de Parámetros Variables en el tiempo (LPV) polinomial, afectado por fallas aditivas en los sensores y ruido de medición. Dentro del CTF, el sistema de diagnóstico de fallas opera en base a las estimaciones de un observador de fallas, el cual genera el aislamiento de dichas fallas. Los algoritmos propuestos, considerados como las principales aportaciones del trabajo, logran estimaciones de fallas y variables de estado libres de ruido, con el objetivo de generar indicadores de falla y ley de control, respectivamente. La tolerancia a fallas del sistema se consigue a través de un conjunto de observadores. Los resultados se presentan en simulación utilizando el modelo LPV de una bicicleta sin conductor, considerando un controlador para la estabilización de la postura vertical a lo largo de su movimiento traslacional y su velocidad como parámetro variable.

Palabras Clave: Diagnóstico de fallas, control tolerante a fallas, observadores, sistemas LPV.

1. Introducción

Un esquema de control capaz de mantener la operación de la planta en forma segura ante la presencia de fallas recibe el nombre de sistema de Control Tolerante a Fallas (CTF) (Zhang and Jiang, 2000). Entre las diversas formas que pueden adoptar los esquemas CTF (Jiang and Yu, 2012) existe la llamada *acomodación de fallas*. Esta involucra, ante la condición de falla, la acción correctora basada en el cambio de los parámetros del controlador o estructura del sistema (Verde et al., 2013). Con el objetivo de construir un sistema CTF, se requiere un sub-sistema encargado de la detección y aislamiento de las fallas ocurridas en el sistema. Dicho sub-sistema se denomina Sistema de Detección y Aislamiento de fallas o FDI del inglés. La detección indica la ocurrencia de una condición anormal en el comportamiento dinámico, mientras que el aislamiento determina los elementos cuyos comportamientos son anormales. Así mismo, un tema importante consiste en la calidad de

los elementos de medición dentro del sistema físico, i.e. si un elemento de medición proporciona una salida con un alto nivel de ruido, la señal de control dependiente de dicha medición presentará ruido también, generando con ello funcionamientos forzados de los elementos finales de control o actuadores. Por otro lado, los sistemas lineales con parámetros variables en el tiempo o sistemas LPV se consideran, desde hace algunas décadas, como un tipo de sistemas que permiten la aproximación de dinámicas no lineales en términos de un conjunto de sistemas lineales. Los sistemas LPV dependen de parámetros variables considerados disponibles para su medición, cuyos valores determinan el punto de operación del sistema no-lineal aproximado. Entre las principales representaciones de los sistemas LPV (Briat, 2015), la formulación politópica ha sido mayormente abordada, debido a que la solución se obtiene a partir de la combinación lineal de sistemas construidos en los valores límite de los parámetros variables. Existe una forma específica que involucra la dependencia de los parámetros variables dentro del sistema en forma polinomial, es decir, el sistema depende de parámetros variables representados mediante un polinomio con grado mayor o igual a dos, generando con ello la formulación LPV con representación polinomial (Gilbert et al., 2010). Los sistemas LPV polinomiales representan una formulación menos estudiada con respecto a los LPV politópicos. Esto se debe prin-

* Autor en correspondencia.

Correos electrónicos: jabriz.cenidet@gmail.com (J. A. Brizuela-Mendoza), astorga@cenidet.edu.mx (C. M. Astorga-Zaragoza), azavala@ipicyt.edu.mx (A. Zavala-Río), francisco.canales@ch.abb.com (F. Canales-Abarca)

URL: www.cenidet.edu.mx (J. A. Brizuela-Mendoza), www.cenidet.edu.mx (C. M. Astorga-Zaragoza)

principalmente a que, en el diseño del controlador u observador, la solución involucra Desigualdades Lineales Matriciales (LMI, del inglés) dependientes de los parámetros variables (Gahinet et al. (1996)). Así, el presente trabajo aborda el diseño de un sistema CTF basado en la acomodación de fallas en sensores modeladas como fallas aditivas, considerando al sistema afectado por ruido de medición. Para lograr dicho objetivo, el sistema FDI se basa en un observador de fallas, cuyas estimaciones, obtenidas libres de ruido de medición, son utilizadas como indicadores de la ocurrencia de las mismas en el sistema. En otras palabras, las estimaciones del observador de fallas generan la detección de las fallas, mientras que el sistema FDI, por su parte, determina el aislamiento de las mismas. Para construir la ley de control, se presenta la extensión del diseño del estimador de fallas utilizando observadores de Luenberger, con el objetivo de generar una ley de control libre de ruido. Los diseños del estimador de fallas y observadores de Luenberger se consideran las principales aportaciones del presente trabajo. En términos de CTF y FDI para sistemas LPV, Rotondo et al. (2013) presenta el diseño de un sistema CTF aplicado al modelo LPV politópico de un quadrotor. En dicho trabajo, dependiendo de la información obtenida de la falla, se selecciona un esquema de CTF activo o pasivo. El CTF propuesto en (Rotondo et al., 2013) no incorpora elementos dedicados a la estimación de la falla presente en el sistema. Rodríguez et al. (2013) presenta la síntesis de un filtro de detección y estimación de fallas en sensores aplicado a una máquina de viento modelada en forma LPV politópica. Alwi et al. (2012) aborda el diseño de un estimador de fallas en sensores y actuadores utilizando la metodología de modos deslizantes dentro del modelo de una aeronave. Patton and Klinkhieo (2010) presenta el diseño de un estimador de fallas y sus compensaciones para sistemas LPV, aplicado a un manipulador de dos eslabones modelado en forma politópica. Finalmente, de Oca et al. (2008) utiliza el modelo LPV politópico de un helicóptero para construir un control tolerante a fallas basado en un controlador por retroalimentación de estado. Haciendo referencia a trabajos aplicados en sistemas LPV en forma afín, es decir, sistemas LPV con dependencia lineal en el parámetro variable, Sloth et al. (2011) presenta el control robusto y CTF de una turbina de viento. Se aborda el concepto del control tolerante a fallas en términos de desigualdades bilineales matriciales. Las investigaciones de CTF presentadas con anterioridad aplican a sistemas LPV en sus representaciones politópica y afín. Como resultado, se manifiesta la necesidad de contribuir al respecto de los CTF en sistemas LPV con representación polinomial. Se mencionan las aportaciones del presente artículo: diseño de un estimador de fallas y diseño de un estimador de estado aplicados al modelo LPV de una bicicleta sin conductor. Dicho modelo LPV es afectado por fallas aditivas en los sensores y ruido de medición, además de que depende de la velocidad traslacional del vehículo, involucrada en forma polinomial. Los algoritmos propuestos permiten estimar fallas y variables de estado libres de ruido, con el objetivo de detectar su ocurrencia y construir la ley de control, respectivamente. La tolerancia a fallas del sistema se consigue a través de un conjunto de observadores encargados de compensar las fallas ocurridas, con el objetivo de mantener su estabilidad.

2. Sistemas LPV con representación polinomial

2.1. Descripción

Considere el siguiente sistema:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= A(\zeta)x + B(\zeta)u \\ y &= C(\zeta)x\end{aligned}\quad (1)$$

donde $x \in \mathbb{R}^n$, $u \in \mathbb{R}^p$, $y \in \mathbb{R}^s$ representan las variables de estado, entrada y salida, respectivamente. $A(\zeta)$, $B(\zeta)$ y $C(\zeta)$ son matrices de dimensiones compatibles, con $\zeta \in \mathbb{R}^m$ definido como el vector de parámetros variables. Debido a que el valor que adopte ζ define el punto de operación del sistema, ζ es considerado medible, acotado y con derivada $\dot{\zeta}$ acotada. Si las matrices $A(\zeta)$, $B(\zeta)$ o $C(\zeta)$ pueden escribirse en la forma:

$$\chi(\zeta) = \chi_0 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m \chi_{\{(i-1)m+j\}} \zeta_j^i \quad (2)$$

para algún $k \geq 1$, donde χ_l , $l = 0, \dots, km$, son matrices constantes de dimensiones apropiadas, entonces (1) se denomina sistema LPV con representación polinomial.

2.2. Controlabilidad y observabilidad de sistemas LPV

De acuerdo con (Briat, 2008), la controlabilidad y observabilidad de sistemas LPV se consideran dentro de la extensión de los criterios aplicados a sistemas Lineales Invariantes en el Tiempo (LTI). Así, un sistema LPV será controlable si:

$$\text{rango}[B(\zeta) \ A(\zeta)B(\zeta) \ A(\zeta)^2B(\zeta) \ \dots \ A(\zeta)^{n-1}B(\zeta)] = n \quad (3)$$

se cumple para todos los valores de ζ considerados. De forma similar, si $\forall \ \zeta$:

$$\text{rango} \begin{bmatrix} C(\zeta) \\ C(\zeta)A(\zeta) \\ C(\zeta)A(\zeta)^2 \\ \vdots \\ C(\zeta)A(\zeta)^{n-1} \end{bmatrix} = n \quad (4)$$

entonces el sistema LPV será observable.

3. Caso de estudio

3.1. Descripción general

El caso de estudio es una bicicleta sin conductor. El objetivo de control consiste en mantener su posición vertical con respecto a la horizontal, manipulando la posición angular del manubrio a través de un par. La estabilidad de la bicicleta debe conservarse independientemente de la variación de la velocidad traslacional v del vehículo. De acuerdo a Schwab et al. (2005), el sistema puede ser dividido en tres secciones: (i) el cuadro principal de estructura rígida, (ii) el tren delantero, compuesto por el manubrio que orienta la rueda correspondiente y (iii) las ruedas. El modelo dinámico de una bicicleta sin conductor es:

$$Q\ddot{q} + vW\dot{q} + (gE_0 + v^2E_1)q = f_i \quad (5)$$

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1701751>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1701751>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)