



“2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano
Zapata”

Propuestas de temas de doctorado

Enviar copia al Dr. Héctor Guerra Crespo, para que tome nota en las reuniones: hgcrespo@hotmail.com

Título: Filtro extendido para sistemas no lineales con mediciones de salidas muestrales aplicado a sistemas mecatrónicos

Descripción: (estado del arte, incluir al menos 2 referencias del proponente):

Los sistemas mecatrónicos están cada vez más integrados con actuadores, sensores, sistemas electrónicos, entre otros elementos. Por lo que actualmente se ha dedicado mucho esfuerzo en la investigación del diseño de sistemas de monitoreo y control de los sistemas mecatrónicos. Los sistemas mecatrónicos deben diseñarse y fabricarse de manera que cumplan varios criterios de sensores, como la precisión, la alineación e incluir suficiente espacio para los sensores con sus configuraciones electrónicas asociadas y cableados complejos, etc. Además, desde el punto de vista de la automatización de estos sistemas, están expuestos al ruido de medición, incertidumbres, variables y parámetros no medibles, problemas de retardos de medición y muestreos no fijos o periodos largos de muestreo, entre otros problemas.

Por lo anterior, sería natural pensar en utilizar un sensor capaz de dar solución a estos problemas. Por lo tanto, diseñar filtros basados en observadores de estado sería una posible alternativa para poder estimar las variables de estado y parámetros de un sistema dinámico como lo son los sistemas mecatrónicos, debido a que presentan dinámicas complejas. Sin embargo, los observadores de estado actuales requieren que se tomen mediciones como base del proceso de estimación, que a su vez requiere tener al menos pocos sensores integrados en estos sistemas. Los problemas asociados con los sensores actuales están limitados a la utilidad de muchos marcos de estimación y control de variables de estado, debido a varios aspectos a los que se debe hacer frente, entre ellos, salidas ruidosas, su ancho de banda limitado debido a sus estructuras físicas, la complejidad que agregan a los sistemas de control, incertidumbre de modelado, parámetros desconocidos, por mencionar algunos. El problema de señales afectas por ruido se resultó mediante el uso de filtros sin embargo la mayoría no considera la existencia de largos periodos de muestreos y que podrían ser también variables.

Distintos esquemas de estimación basados en observadores han planteado posibles soluciones a los problemas anteriores, donde la mayoría parte desde el enfoque de mediciones continuos para el diseño y la implementación de sistemas de monitoreo y control basados en datos muestrales, lo cual es a menudo la opción común en aplicaciones prácticas. En este enfoque, un sistema de controlador en tiempo continuo para el sistema en cuestión se diseña primero ignorando el muestreo, y luego se





“2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata”

discretiza e implementa mediante el uso de dispositivos de muestreo y retención. Sin embargo, en aplicaciones prácticas de ingeniería, como en red de sistemas de monitoreo y control, la salida generalmente se transmite a través de un canal de comunicación digital compartido y con posibles interferencias; normalmente se muestrea y recolecta en instantes de tiempo discretos, los cuales por lo general se asumen fijos, no obstante, esto pudiera no ser siempre el caso, ya que depende en gran medida de los sistemas de adquisición utilizados.

Por lo tanto, la investigación sobre el diseño de filtros extendidos basados en observador de estados utilizando datos muestreados con tiempos de muestreo grandes y aleatorios es de bastante interés en el área de control automático. Esto se puede reflejar en aplicaciones de los sistemas mecatrónicos, ya que son sistemas que presentan dinámicas complejas. Casos de sistemas mecatrónicos posibles de aplicación serían los vehículos aéreos no tripulados, sistema de vibración en una estructura tipo edificio, etc.

El interés del diseño de observadores es motivado principalmente por las aplicaciones de la ingeniería y de forma específica, en las redes de control, donde la salida se transmite sobre una red de comunicación digital, y solamente está disponible en instantes de tiempo digital. En sistemas digitales es usualmente posible diseñar observadores mediante el modelo en tiempo discreto para sistemas en tiempos continuos. Esto no es posible para sistemas no lineales porque la exactitud del modelo en tiempo discreto no es generalmente buena.

Dentro del diseño de observadores existen muchas clases de sistemas no lineales, para las cuales no se ha propuesto un esquema de monitoreo que permita lidiar con muestras de la señal de salida no periódicas y con periodos de muestreo grandes. Existen trabajos recientes que proporcionan un enfoque preliminar de sistemas no lineales más generales, dejando un amplio campo de estudio, dentro de estos podemos citar la clase de sistemas no lineales no uniformemente observable [Hernández-González et al., 2016a, Hernández-González et al., 2016b], cabe mencionar que parte de los autores de este trabajo contribuyen en el proyecto postulante, otra posibles clases de sistemas no lineales por bloques no uniformemente observable basado en la teoría propuesta en [Farza et al., 2011], la cual estudia una clase más general, donde el sistema se constituye por varios subsistemas. Tales esquemas de construcción son similares al esquema de observación planteado en [Oueder et al., 2011], sin embargo, la relación entre cada subsistema guarda el criterio de triangularidad entre cada uno de los sistemas, dicha limitación es el hecho que se considera subsistemas uniformemente observables [Farza et al., 2011, Oueder et al., 2011]. Partiendo de este último trabajo, se considera que es posible realizar una extensión de dicho trabajo para una clase más general, donde existan bloques no uniformemente observables, lo cual implica que cada subsistema es uniformemente observable, considerando lo presentado en [Hernández-González et al., 2016a]. Así también, se consideran sistemas con incertidumbre, como se ha propuesto en [Farza et al., 2018], por lo que se tiene un campo amplio de posibilidades para temas de investigación en el proyecto a presentar.





"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Dentro de trabajos de aplicación a sistemas mecatrónicos se encuentra el presentado por [Hernández-González et al., 2019], el cual propone un observador de alta ganancia para un vehículo aéreo no tripulado, el observador propuesto estima el vector de estado utilizando la señal de salida muestreada, cabe mencionar que también se muestran las limitantes del observador cuando solo se considera señales de salida continuas, sin considerar que en la realidad son muestreas, exponiendo así su comparación. Finalmente, otro ejemplo de aplicación en sistemas mecatrónicos se presenta en [Hernández-González et al., 2019a], un el cual se enfoca en sistemas con incertidumbres aplicados a un helicóptero de un grado de libertad, en este trabajo se diseña un observador continuo-discreto con una señal de salida muestreada en un tiempo fijo, donde un parámetro del sistema es estimado.

Para el diseño y desarrollo de observadores continuos-discretos se han tomado como base diferentes tipos de observadores. Uno de los enfoques de estos observadores consiste en utilizar el filtro de Kalman, este se presenta en [Rocha-Cozatl, et al., 2015] para el diseño de un observador continuo-discreto para entradas desconocidas en un reactor de digestión anaerobia. Otro enfoque se basa en los observadores de alta ganancia, donde en [Hernández et al., 2015] se utiliza este tipo de observador en su forma continua-discreta para estimar los estados de un motor Stirling de pistón libre. Dentro del mismo contexto, se presenta en [Bouraoui et al., 2015] un observador de alta ganancia continuo-discreto en el cual se considera como incertidumbre el ruido en la medición de salida, donde se logra la convergencia de los estados en un biorreactor con un margen de error proporcional a un radio de incertidumbre. En [Andrieu et al., 2015], se utiliza este mismo tipo de observadores, pero se considera que la salida está tomada en instantes de tiempo cambiantes a lo largo del tiempo, este observador es aplicado a un proceso biológico.

Para sistemas no lineales Lipschitz se han abordado diferentes observadores continuos-discretos, en [Dinh et al., 2014], se diseña un observador en donde las ganancias son obtenidas a partir de la solución de LMIs. Un observador impulsivo para esta clase de sistemas, pero con señales muestreadas en instantes de tiempo variables se muestra en [Etienne et al., 2017]. En el estudio de sistemas en los cuales existen parámetros cambiantes a lo largo del tiempo, se encuentra lo propuesto en [Mazenc et al., 2015], en donde se ataca este problema utilizando sistemas cooperativos, los cuales son basado en cotas mínimas y máximas a partir de la matriz Metzler. De igual forma, la estimación de parámetros desconocidos en los sistemas es un tópico de mucho interés, debido a que la falta de certeza en los valores o bien la presencia de desgaste en los sistemas pueden ocasionar errores en los objetivos de los observadores.

En [Zhao and Hua, 2017], se propone el diseño de un observador adaptable continuo-discreto el cual es capaz de estimar los estados y los parámetros constantes de los sistemas, utiliza un predictor en la salida para estimarla cuando no está presente. Algunas implementaciones de estos observadores se han realizado para la estimación de incertidumbres, en [Ali et al., 2016], se obtiene la estimación de los estados y los disturbios presentados en un actuador electro-hidráulico, considerando incertidumbres en el sistema. En [Gouta et al., 2017], se utiliza un observador de alta ganancia





“2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata”

continuo-discreto como base para el control predictivo de nivel de un sistema de cuatro tanques interconectados.

Con todo lo anterior, se plantea la idea del tema de tesis, la cual es el diseño de un filtro extendido basado en un observador de estados para sistemas no lineales con mediciones muestreadas de forma aleatorias aplicado a sistemas mecatrónicos basados en observadores de estados, donde la dinámica del sistema mecatrónico se modelará con el fin de obtener una representación matemática, así representarlo en una clase de sistema no lineales con parámetros desconocidos. Así proponer nuevos diseños de observadores continuos-discretos y observadores para sistemas con salidas muestreadas aleatoriamente. Finalmente, se pretende realizar un sistema de monitoreo integral capaz de estimar el vector de estado y parámetros desconocidos, incluso en presencia de ruido de medición; con el fin de valorar su desempeño se realizará un sistema de monitoreo para un banco de pruebas existente en la institución, con lo anterior se espera proponer una solución para la problemática que presentan los sistemas mecatrónicos con dinámicas complejas.

Objetivo:

General:

Diseñar e implementar un filtro extendido basados en observadores de estados para sistemas no lineales como caso de estudio son los sistemas mecatrónicos, el esquema de estimación muestrearas las señales de salida con tiempos de muestreo aleatorios y con grandes tiempos de muestreo. Así también, el observador proporcionará una estimación continua del vector de estado y de los parámetros del sistema mecatrónico, incluso en presencia de ruidos de medición.

Específicos:

1. Estudio del estado del arte.
2. Desarrollar un modelado matemático que represente la dinámica de un sistema mecatrónico.
3. Diseñar un filtro extendido basado en observador de estado para sistemas no lineales con mediciones de salida muestreadas aleatoriamente y con grandes periodos de muestreo.
4. Desarrollar un sistema de monitoreo para una plataforma de pruebas de un sistema mecatrónico.
5. Implementar y evaluar mediante experimentos numéricos el sistema de monitoreo y control propuesto en un prototipo mecatrónico.

Metas (número papers, congresos, patentes...):

- 1 Artículo de congreso.
- 1 Artículo en revista de divulgación.
- 2 Artículos de revista en el JCR.





“2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata”

Referencias:

- [Ali et al., 2016] Ali, S. A., Christen, A., Begg, S., and Langlois, N. (2016). Continuous discrete time-observer design for state and disturbance estimation of electro-hydraulic actuator systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 63(7):4314-4324.
- [Andrieu et al., 2015] Andrieu, V., Nadri, M., Serres, U., and Vivalda, J.-C. (2015). Self triggered continuous-discrete observer with updated sampling period. *Automatica*, 62:106-113.
- [Bouraoui et al., 2015] Bouraoui, I., Farza, M., M'enard, T., Abdennour, R. B., M'Saad, M., and Mosrati, H. (2015). Observer design for a class of uncertain nonlinear systems with sampled outputs: application to the estimation of kinetic rates in bioreactors. *Automatica*, 55:78-87.
- [Etienne et al., 2017] Etienne, L., Hetel, L., E_mov, D., and Petreczky, M. (2017). Observer synthesis under time-varying sampling for lipschitz nonlinear systems. *Automatica*, 85:433-440.
- [Farza et al., 2018] Farza, M., Hernández-González, O., M'enard, T., Targui, B., MSaad, M., and Astorga-Zaragoza, C.-M. (2018). Cascade observer design for a class of uncertain nonlinear systems with delayed outputs. *Automatica*, 89:125 – 134.
- [Farza et al., 2011] Farza, M., MSaad, M., Triki, M., and Maatoug, T. (2011). High gain observer for a class of non-triangular systems. *Systems & Control Letters*, 60(1):27 – 35.
- [Gouta et al., 2017] Gouta, H., Sad, S. H., Barhoumi, N., and M'Sahli, F. (2017). Generalized predictive control for a coupled four tank mimo system using a continuous-discrete time observer. *ISA transactions*, 67:280-292.
- [Hernández-González et al., 2016a] Hernández-González, O., Farza, M., M'enard, T., Targui, B., MSaad, M., and Astorga-Zaragoza, C. (2016a). A cascade observer for a class of mimo non uniformly observable systems with delayed sampled outputs. *Systems & Control Letters*, 98:86 – 96
- [Hernández et al., 2019] Hernández-González, O., Guerrero-Sánchez, M.-E., Farza M., Ménard, T., M'Saad, M. and Lozano, R. (2019), “High gain observer for a class of nonlinear systems with coupled structure and sampled output measurements: application to a quadrotor”, *International Journal of Systems Science*, Vol. 50(5), Pages 1089-1105.
- [Hernández et al., 2019a] Hernández-González, O., Ramírez-Rasgado, F., Guerrero-Sánchez, M.-E., Perez-Gómez A., Astorga-Zaragoza, C.-M., Moreno-Vázquez J.-J., (2019), Continuous-discrete observer for nonlinear systems with sampled measurements: application to a 1-DOF helicopter. *Congreso Nacional de Control Automático 2019*, Puebla, México, 507-512.





“2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata”

[Mazenc et al., 2015] Mazenc, F., Andrieu, V., and Maliso, M. (2015). Design of continuous-discrete observers for time-varying nonlinear systems. Automatica, 57:135-144.

[Rocha-C_ozatl et al., 2015] Rocha-C_ozatl, E., Sbarciog, M., Dewasme, L., Moreno, J., and Wouwer, A. V. (2015). State and input estimation of an anaerobic digestion reactor using a continuous-discrete unknown input observer. IFAC-PapersOnLine, 48(8):129-134.

[Wang et al., 2018] Wang, H., Chen, B., Lin, C., and Sun, Y. (2018). Observer-based neural adaptive control for a class of mimo delayed nonlinear systems with input nonlinearities. Neurocomputing, 275:1988-1997.

[Zhao and Hua, 2017] Zhao, G. and Hua, C. (2017). Continuous-discrete-time adaptive observers for nonlinear systems with sampled output measurements. International Journal of Systems Science, 48(12):2599-2609.

Vinculación:

El tema de tesis está planteado para aprovechar la experiencia de investigadores que han trabajado en los temas en los que se basa la propuesta, principalmente con:

Dr. Monhder Farza, profesor de la Universite de Caen en Francia, el profesor Farza es académico básico del Doctorado en Automática. El Dr. Farza es experto en diseño de observadores y control no lineal, cuenta con diversos artículos en el área de estimación.

Dr. Diego Alberto Mercado Ravell, SNI Nivel Candidato, Catedrático CONACYT del CIMAT Zacatecas donde forma parte del departamento de Ingeniería de Software. Su investigación se centra en la línea de robótica, control automático y vehículos autónomos.

Financiamiento:

Actualmente, en el Instituto Tecnológico de Hermosillo, se cuenta con algunos mecatrónicos. Se tiene una propuesta en la convocatoria de investigación del TECNM para obtener recursos para la construcción de un sistema de mecatrónico.

Línea de Investigación:

Instrumentación y control en energías	
Sistemas mecatrónicos	X
Sistemas inteligentes en agroindustrias	

