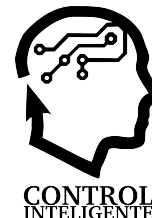




## XVII Simposio CEA de Control Inteligente

27-29 de junio de 2022, León



# Mejoras para el ajuste de controladores robustos mediante optimización multiobjetivo en procesos con incertidumbre

Blasco, X.<sup>a\*</sup>, Pajares, A.<sup>a</sup>, Herrero, J.M.<sup>a</sup>, Veyna, U.<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Instituto de Automática e Informática Industrial, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera S/N, 46022, Valencia, España.

**To cite this article:** Blasco, X., Pajares, A., Herrero, J.M., Veyna, U. 2022. Improvements for robust controller tuning by multi-objective optimization in processes with uncertainty. XVII Simposio CEA de Control Inteligente.

### Resumen

Breve descripción de algunas de las ideas sobre las que está trabajando el grupo de investigación CPOH del Instituto de Automática e Informática Industrial (ai2) de la Universitat Politècnica de València (UPV). En particular, mostramos las ideas básicas correspondientes a una de las líneas de trabajo para el ajuste mediante optimización multiobjetivo de controladores robustos para todo tipo de proceso que presenten incertidumbre paramétrica en su modelo. El objetivo fundamental que se persigue es conseguir una metodología y algoritmos que permitan el ajuste robusto de controladores con un coste computacional viable. Las ideas que se describen usan soluciones casi-óptimas para mejorar la exploración de soluciones robustas sin sacrificar el coste computacional.

*Palabras clave:* Optimización Multiobjetivo, Control robusto, Incertidumbre paramétrica.

### Improvements for robust controller tuning by multi-objective optimization in processes with uncertainty

#### Abstract

Brief description of some of the ideas on which the CPOH research group of the Instituto de Automática e Informática Industrial (ai2) of the Universitat Politècnica de València (UPV) is working. In particular, we show the basic ideas corresponding to one of the research lines for the tuning using multiobjective optimization of robust controllers for all types of processes that present parametric uncertainty in their model. The main objective is to achieve a methodology and algorithms that allow the robust tuning of controllers with a viable computational cost. The ideas described use nearly optimal solutions to improve the exploration of robust solutions without sacrificing computational cost.

*Keywords:* Multiobjective Optimization, Robust Control, Parametric uncertainty.

### 1. Introducción

Este trabajo trata de mostrar brevemente algunas de las ideas sobre las que estamos trabajando en el grupo de investigación CPOH del Instituto de Automática e Informática Industrial (ai2) de la Universitat Politècnica de València (UPV). En particular se van a mostrar las ideas básicas del trabajo para el ajuste mediante optimización multiobjetivo de controladores robustos para todo tipo de proceso que presenten incertidumbre paramétrica en su modelo.

Durante el proceso de diseño de un sistema de control, el diseñador debe escoger una estructura para el controlador y ajustar sus parámetros. El ajuste de los parámetros del controlador, al igual que ocurre en muchos otros diseños de ingeniería, pue-

de ser formulado como un problema de optimización. En este caso, se eligen los objetivos a optimizar que medirán el rendimiento del controlador y suele ser común que muchos de estos objetivos esten en conflicto, por tanto, resulta un problema de optimización multi-objetivo (MOP) (Miettinen, 2012; Reynoso-Meza et al., 2017).

Además, no es difícil encontrar que los modelos del proceso a controlar, que se usan en el diseño y ajuste del controlador, tengan cierto grado de incertidumbre. Evidentemente dicha incertidumbre impactará en las prestaciones reales del control diseñado. Cuando se implemente en el proceso real podría, además de dejar de ser óptimo, ser totalmente inadecuado. Por lo tanto, para obtener un buen controlador es deseable que,

\*Autor para correspondencia: xblasco@isa.upv.es  
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

además de conseguir un buen rendimiento sobre el modelo nominal, sea un control robusto (insensible a las incertidumbres de dicho modelo).

Por ello, es muy conveniente para el diseñador analizar las incertidumbres e incorporarlas en el procedimiento de ajuste del controlador. Un enfoque muy potente, cuando se considera incertidumbre paramétrica, pasa por usar la programación estocástica. En este caso los parámetros del modelo son considerados como variables aleatorias, donde cada combinación de parámetros (posible modelo) es considerado como un escenario. Este enfoque es especialmente interesante cuando es usado con modelos no lineales. De este modo, es posible elegir un controlador con un rendimiento adecuado que sea robusto ante incertidumbre, es decir, en todos los escenarios. Dar con estos controladores robustos supone incorporar, en el proceso de optimización, los diferentes escenarios a considerar (incluido el nominal). Parece claro que esto conlleva un alto coste computacional que crece linealmente con el número de escenarios considerados haciendo, en la mayoría de los problemas, inabordable computacionalmente el problema de optimización.

En este trabajo se presentan brevemente las ideas que nos llevan a una propuesta novedosa, computacionalmente más económica, que permite obtener una buena aproximación a controladores robustos. El aspecto clave para mantener un coste computacional limitado en este tipo de problemas, es conseguir que el número de modelos/escenarios que se manipulan en el proceso de optimización sea limitado. Pero además, para aprovechar al máximo el esfuerzo computacional, es necesario que estos controladores sean relevantes, es decir, deben mantener un cierto grado de calidad en las prestaciones.

## 2. Optimización Multiobjetivo de controladores robustos

La hipótesis de partida para conseguir un regulador robusto, es que este debería obtener un funcionamiento adecuado para todos los escenarios posibles, esto es, para todas las variaciones del modelo respecto del nominal. Tradicionalmente, una forma de verificar la robustez es conseguir un controlador con un comportamiento adecuado para el modelo que presente la mayor degradación, lo que se suele denominar peor caso. En un problema multiobjetivo, la mayor degradación se puede dar en distintos objetivos para diferentes modelos, por tanto, la peor degradación para todos los objetivos se da en general para un conjunto de modelos (peores casos).

Sin pérdida de generalidad, para simplificar la descripción de las ideas básicas suponemos que tenemos un problema de ajuste bidimensional, tanto en objetivos como en parámetros a ajustar. El vector de objetivos  $f(x, \xi) = [f_1(x, \xi), f_2(x, \xi)]$  está formado por  $f_1$  un indicador de las prestaciones y,  $f_2$  un indicador del esfuerzo de control. El vector de decisión es  $x = [x_1, x_2]$ , son los parámetros a ajustar en el controlador. Por ejemplo, en un controlador PI, serían la ganancia proporcional y tiempo integral del controlador. Consideramos que un escenario viene definido por una combinación de valores de los parámetros del modelo  $\xi = [\xi_1, \dots, \xi_m]$ . El problema de optimización para un escenario (modelo) concreto se definiría:

$$\min_{x \in Q} f(x, \xi) \quad (1)$$

Donde  $Q$  contempla todas las restricciones aplicables al problema, por ejemplo, los límites de los parámetros del controlador, estabilidad, etc.

Si disponemos de una descripción de la incertidumbre que afecta al proceso mediante un conjunto de posibles modelos  $\mathcal{U} = \{\xi^1, \dots, \xi^k\}$ , para contemplar la robustez en la optimización, se debe reformular el problema de optimización. Existen distintas estrategias para evaluar la robustez, pero una de las más comunes es la de considerar el comportamiento ante el peor caso para cada objetivo de forma independiente:

$$\min_{x \in Q} f_{\mathcal{U}}^{\max}(x) \quad (2)$$

Donde:

$$f_{\mathcal{U}}^{\max}(x) = [\sup_{\xi \in \mathcal{U}} f_1(x, \xi), \sup_{\xi \in \mathcal{U}} f_2(x, \xi)] \quad (3)$$

Este problema tiene un coste computacional notablemente superior al problema (1), puesto que requiere evaluar  $f$  para todos los modelos  $\xi \in \mathcal{U}$  y en cada controlador que aparece en el proceso de optimización.

Una alternativa para reducir este enorme coste computacional, consiste en plantear un MOP sobre el escenario nominal y evaluar la robustez de todos los controladores obtenidos en el conjunto de Pareto. Este procedimiento no aporta ninguna garantía de que estos controladores sean los más adecuados desde el punto de vista de la robustez. Lo que se consigue es elegir entre los óptimos de Pareto aquellos que son más robustos, pero es posible que otros controladores que no forman parte del conjunto óptimo presenten características de robustez interesantes para el diseñador. Para incrementar la diversidad de soluciones disponibles en este análisis de robustez (sin sacrificar en exceso el coste computacional) proponemos caracterizar tanto los controladores óptimos como los casi-óptimos no dominados en su vecindad (Pajares et al., 2019, 2018). El concepto de vecindad hace referencia a una zona determinada (por el diseñador) en el espacio de parámetro. Vecindades diferentes corresponden a controladores sensiblemente diferentes en el espacio de parámetros. Suponemos que controladores que presentan valores sensiblemente diferentes en el espacio de parámetros pueden tener comportamientos diferentes en lo que respecta a la robustez.

Para no incrementar en exceso el coste computacional, la obtención de soluciones casi-óptimas debe ser limitada a un entorno concreto. Por ello, es necesario que el diseñador establezca la zona de prestaciones que considera adecuada. La búsqueda de soluciones casi-óptimas se limita a esta zona. Una vez caracterizadas estas soluciones, la robustez se evalúa posteriormente en la fase de toma de decisión. El análisis de estos controladores para todos los modelos que conforman la descripción de la incertidumbre determina qué controladores son más robustos. La clave en la reducción del coste computacional consiste en conseguir caracterizar óptimos y casi-óptimos sin incrementar el coste computacional. En trabajos previos ya se ha desarrollado un algoritmo, nevMOGA<sup>1</sup>. (Pajares Ferrando, 2019),

<sup>1</sup>Disponible en Matlabcentral <https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/71448-nevmoga-multiobjective-evolutionary-algorithm>.

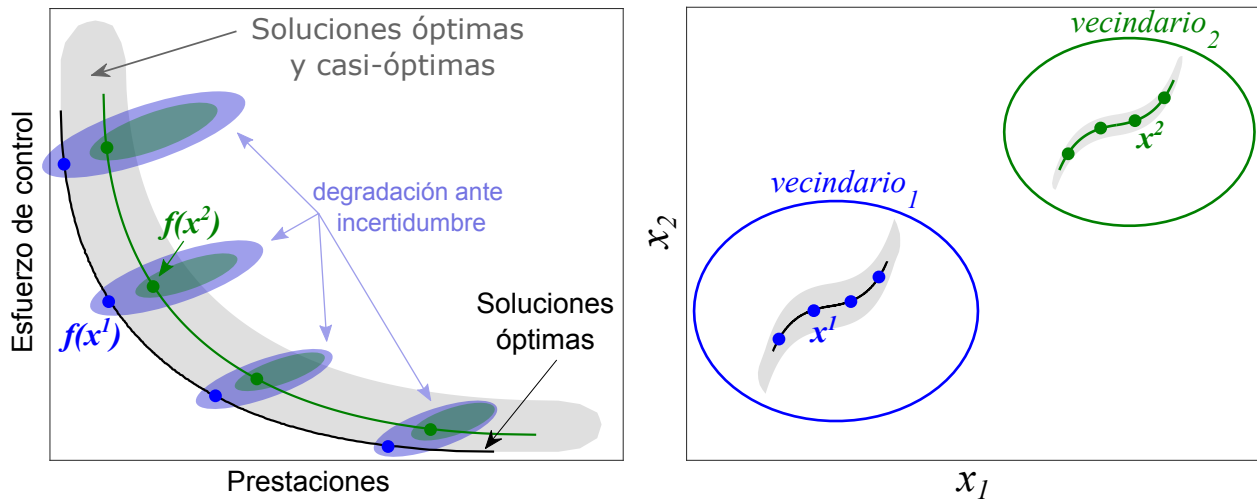


Figura 1: Conceptos básicos en la optimización multiobjetivo para un problema particular 2D. El espacios de objetivos ( $f_1$  Prestaciones,  $f_2$  Esfuerzo de control], figura izquierda) y el espacio de los parámetros a optimizar ( $x_1, x_2$ ], figura derecha). Se muestran soluciones óptimas y casi-óptimas, degradación debida a incertidumbres y vecindarios.

que permite caracterizar adecuadamente conjuntos de controladores óptimos y casi-óptimos simultáneamente con un coste computacional similar al que se requiere para la obtención de las soluciones óptimas de Pareto. Por tanto, se trata de explotar esta herramienta para el problema del ajuste de controladores robustos.

En la figura 1 se muestra las posibilidades que aparecen en el análisis de robustez al disponer de soluciones casi-óptimas. Se muestra que la optimización multiobjetivo convencional ofrece las soluciones del frente de Pareto (en azul), estas se encuentra en una zona determinada del espacio de parámetros (vecindario1). Se muestra también la degradación que sufren estos controladores cuando se evalúan con todos los modelos de  $\mathcal{U}$  (elipse coloreada en azul). Si se consigue caracterizar soluciones casi-óptimas relevantes, es decir, en un vecindario diferente (en la figura se colorea en verde), podemos encontrar controladores que, aplicados a todos los modelos de conjunto  $\mathcal{U}$ , consiguen una degradación de los objetivos sensiblemente menor que la que sufren las soluciones óptimas de Pareto (elipses verdes comparadas con las azules). La zona sombreada en gris mostraría la zona de prestaciones y esfuerzo de control adecuada para el diseñador, esta zona debe ser definida por el diseñador.

Por tanto, si se consiguen soluciones óptimas y casi-óptimas relevantes (en vecindarios diferentes) que mantienen las prestaciones en una zona adecuada (zona gris), el diseñador dispone de más soluciones alternativas y es posible que el diseño robusto pase por elegir una solución casi-óptima en lugar de una óptima.

### 3. Conclusiones

Dentro de los trabajos que estamos llevando a cabo para mejorar la robustez de los controladores ajustados mediante optimización multiobjetivo, estamos explotando el potencial que aporta el uso de soluciones casi-óptimas relevantes. En trabajos previos se ha desarrollado un algoritmo (nevMOGA) que

permite la obtención de soluciones óptimas y subóptimas simultáneamente sin incrementar casi el coste computacional. Una de las aplicaciones de este algoritmo es la que se presenta en este breve resumen. Se muestra el potencial para realizar el ajuste de controladores robustos. Los trabajos en esta línea ya están en una fase avanzada, los resultados obtenidos confirman los beneficios en términos de coste computacional que se obtienen. Se ha aplicado al ajuste de una estructura de control para un proceso multivariable, no-lineal con incertidumbres obteniendo buenos resultados. Se ha enviado un artículo para su posible publicación en revista de alto impacto.

### Agradecimientos

Estos trabajos han sido realizado parcialmente gracias al apoyo de: el proyecto RTI2018-096904-B-I00 financiado MCIN/AEI/10.13039/501100011033/ y por "FEDER Una manera de hacer Europa"; la ayuda PRE2019-087579 financiada por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by "FSE invierte en tu futuro"; y la ayuda SP20200109 (PAID-10-20) de la Universitat Politècnica de València.

### Referencias

- Miettinen, K., 2012. Nonlinear multiobjective optimization. Vol. 12. Springer Science & Business Media.
- Pajares, A., Blasco, X., Herrero, J. M., Reynoso-Meza, G., 2018. A multi-objective genetic algorithm for the localization of optimal and nearly optimal solutions which are potentially useful: nevmoqa. Complexity 2018. DOI: 10.1155/2018/1792420
- Pajares, A., Blasco, X., Herrero, J. M., Reynoso-Meza, G., 2019. A new point of view in multivariable controller tuning under multiobjective optimization by considering nearly optimal solutions. IEEE Access 7, 66435–66452. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2915556
- Pajares Ferrando, A., 2019. Development of a multi-objective optimization methodology considering nearly optimal solutions. application to problems in control engineering. Ph.D. thesis, Universitat Politècnica de València. URL: <http://hdl.handle.net/10251/133974>
- Reynoso-Meza, G., Blasco, X., Sanchis, J., Herrero, J. M., 2017. Controller tuning with evolutionary multiobjective optimization: A holistic multiobjective optimization design procedure. Springer.