جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
هندسة الحواسيب والأتمتة

تحسين صلادة المتحكم التربيعي الغاوسي الخطي (LQG) باستخدام مخمِّن عائم

Robustness Improvement of Linear Quadratic Gaussian Controller (LQG) Using Fuzzy Estimator

إعداد : علي أحمد عمران
المشرف : د. هيام خدام

الملخص

يؤدي تعقيد النظم إلى نماذج رياضية رديئة تُظهر درجة عالية من عدم اليقين المعياري والوظيفي، ويصبح الموقف أكثر تعقيداً إذا قام النظام بوظيفة متعددة القيم أو عرض عدداً من أنماط السلوك أثناء تشغيله. يُعتبر المتحكم التربيعي الغاوسي الخطي LQG متحكماً أمثلياً يوفر أداءً جيداً للتحكم بالنظم الخطية ويعتبر مرشح كالمان أحد أهم مكوناته ولكنه يعطي أداءً متدهوراً عند وجود عدم اليقين وبالتالي لن يكون صلداً عند التحكم ببعض النظم التي يشوبها عدم اليقين. لمع نجم المنطق العائم في السنوات الأخيرة كتقنية قدمت أداءً جيداً في ظروف عدم اليقين. في هذا البحث تم استخدامه كمخمّن عائم من النمط الثاني مع المتحكم التربيعي الغاوسي الخطي LQG بدلاً من مرشح كالمان ليقدم أداءً أكثر صلادة من المتحكم التربيعي الغاوسي الخطي LQG من حيث سرعة الاستقرار وانخفاض التجاوز والاهتزاز وبخطأ ساكن أقل وبسرعة استجابة أعلى وبالتالي تحقيق الغاية المنشودة بتحسين صلادة المتحكم.

القسم النظري

يعرّف المنظم الخطي التربيعي LQR على أنه أحد الخوارزميات الرياضية المستخدمة في التحكم الآلي لضبط وتحسين أداء النظام الديناميكي عن طريق المزج بين نظرية المتغيرات الحالية ونظرية التحكم الأمثل، حيث يتم استخدامه لتحقيق الاستقرار والتحكم في العمليات الديناميكية المعقدة. يضاف له مخمن تربيعي خطي يدعى مرشح كالمان لتخمين قيم متغيرات الحالة وبالتالي التحسين من أدائه ولكن مرشح كالمان غير فعال في النظم غير الخطية والتي يشوبها عدم اليقين لذلك تم استبداله بمخمن عائم من النمط الثاني يبدي صلادة أكثر بكثير في ظروف عدم اليقين وبالتالي يصبح المتحكم الأمثل LQR أكثر صلادة في ظروف عدم اليقين.

القسم العملي

تم اختيار نظام الرافعة المزدوجة Double Crane System (DCS) كنظام لاختبار الخوارزمية المقترحة لأن المعادلات الممثلة له غير خطيةً وعند استخدام التقريب الخطي باستخدام اليعقوبي Jacobian Linearization يفقد النظام الكثير من خصائصه ويشوبه عدم اليقين وبالتالي عند تصميم المتحكم في البيئة المثالية لن يعطي نفس الأداء في البيئة العملية. بعد الانتهاء من تمثيل نظام الاختبار سيتم تصميم المتحكم التربيعي الغاوسي الخطي LQG واختباره على نظام الرافعة DCS وذلك في الحلقة المفتوحة والمغلقة ووجود ضجيج وعدم يقين وبعدها تم تصميم مخمن عائم لتوقّع قيم متغيرات الحالة بدلاً من مرشح كالمان وربطهً معً المنظم التربيعي الخطي LQR وإعادة الاختبارات السابقة عليه ومقارنة نتائج المتحكمين لمعرفة أيهما المتحكم الأفضل.

النتائج والمناقشة

يمكن تلخيص الاستنتاجات التي توصلنا إليها في البحث بالنقاط التالية:

• أبدى المتحكم LQR مع المخمن العائم أداءً صلداً في وجود عدم اليقين وكان هذا الأداء أفضل من أداء المتحكم LQR مع مرشح كالمان وذلك في بيئة خالية من الضجيج.

• أما عند وجود الضجيج لم يصل أي من المتحكمين لوضع الاستقرار المطلوب مع أداء لكالمان أفضل بقليل من العائم وذلك لأنه مرشح ويزيل جزء كبير من الضجيج الموجود على عكس العائم الذي يتلقى الضجيج بشكل كامل دون أي عملية ترشيح لإشارة الضجيج .

• كان أداء LQR مع المخمن العائم بنوعيه من النمط الأول ومن النمط الثاني متقارب فمن حيث زمن الصعود كانت الغلبة للنمط الأول اما من ناحية الخطأ الساكن فكان النمط الثاني أفضل بكثير وبالنسبة لبقية معايير الأداء فكان ادائهما متقارب جداً.

• يعود سبب الاختلاف بالخطأ الساكن بين المخمنين العائمين لأن المخمن العائم من النمط الثاني يبدي صلادة أكثر بكثير في ظروف عدم اليقين وذلك بسبب المنطقة المحدودة في توابع الانتماء التي تدعى بصمة عدم اليقين Footprint of Uncertainty (FOU) والتي تتكون من تابعي انتماء سفلي LMF وعلوي UMF والتي تقلل بشكل كبير من الآثار السلبية لعدم اليقين على نظام التحكم.

المراجع

- BRUNTON, S. L., & KUTZ, J. N. (2019). *Data-Driven Science and Engineering Machine Learning, Dynamical Systems, and Control.* United Kingdom, Cambridge: Cambridge University Press.
- Cosenza, B., & Galluzzo, M. (2011). Experimental Comparison of Type-1 and Type-2 Fuzzy Logic Controllers for the Control of Level and Temperature in a Vessel. Elsevier B.V.
- Kudinov, Y. I., Duvanov, E. S., Kudinov, I. Y., Pashchenko, A. F., Pashchenko, F. F., Pikina, G. A., . . . Mezin, S. V. (2020). Construction and Analysis of Adaptive Fuzzy Linear Quadratic Regulator. The Third Conference "Problems of Thermal Physics and Power Engineering". Moscow,Russia.
- Kumar, V., & Agarwal, R. (2022). Modeling and Control of Inverted Pendulum cart system using PID-LQR based Modern Controller. IEEE Students Conference on Engineering and Systems (SCES). Prayagraj, India.
- LI, Z., WANG, J., & LIU, H. (2020). A Robust State Estimator for T-S Fuzzy System. *IEEE*.
- Seddik, H. M., & Rachid, C. (2023). Fuzzy approach and possibility to solve uncertainty weaknesses in conventional quantitative risk assessment. springer .
- Salim, O. M., Abdallah, M. A., & Hassan, M. (2021). Real-time Free Form Contour Error Estimation based on Fuzzy Logic Estimator. *22nd International Middle East Power Systems Conference (MEPCON).* Egypt: IEEE .