

PROPOSITION DE SUJET DE THÈSE

Identification pour la commande adaptative des systèmes temps variant

Encadrant : Kévin COLIN (CRAN – CID – Projet DATA)

Directrice de thèse : Marion GILSON (CRAN – CID – Projet DATA)

Mots-clefs : identification des systèmes, commande adaptative, informativité des données.

La commande optimale dépend d'une connaissance précise des dynamiques du système considéré, souvent inconnues. En collectant des données sur le système avec une excitation définie par l'utilisateur, on peut identifier un modèle du système puis concevoir un correcteur basé sur ce modèle. Toutefois, les données sont souvent bruitées entraînant des incertitudes ce qui dégrade les performances de commande. Augmenter le nombre de données peut réduire ces incertitudes, comme observé dans la commande adaptative et ainsi garantir une convergence des performances optimales de la commande [12]. La commande adaptative est un sujet activement recherché et cette technique est appliquée dans beaucoup de systèmes réels de l'ingénierie. Dans le cadre de la commande adaptative basée modèle, les dynamiques du système sont identifiés pour chaque jeu de données collectées en ligne et le correcteur est mis à jour itérativement.

Cependant, pour garantir la stabilité de la commande adaptative, plusieurs conditions doivent être remplies, dont l'informativité des données. L'informativité des données garantit que les données collectées contiennent suffisamment d'information pour identifier un modèle unique. Sinon, une ambiguïté apparaît et plusieurs modèles expliquent les données de la même façon optimale. Ainsi, des instabilités peuvent survenir puisque l'identification en ligne peut renvoyer un modèle absurde. Des travaux ont lié l'informativité des données à la persistance de l'excitation [14, 17, 10, 5, 3, 4, 2], mais la plupart de ces études reposent sur des hypothèses asymptotiques [14, 10, 5, 3, 4, 2] ou sur l'hypothèse d'absence de bruit dans les données [17], ce qui est irréaliste pour les systèmes réels. Le premier défi de ce projet de thèse est de développer des méthodes pour vérifier l'informativité des données à temps fini avec bruit.

Bien que l'informativité soit nécessaire pour avoir une commande adaptative efficace, elle n'est pas suffisante pour garantir de bonnes performances de commande. En effet, elle ne donne aucune indication sur les incertitudes du système qui dégradent les performances de commande. L'excitation permet aussi de réduire les incertitudes du modèle mais engendre des coûts supplémentaires. Il est alors important de trouver un équilibre entre la réduction des incertitudes et la minimisation du coût de l'excitation. Ce problème est activement abordé en apprentissage par renforcement pour la commande adaptative, sous le nom de minimisation du regret. Le regret est la différence entre le coût de la commande adaptative et le coût optimal, c'est à dire, le coût de commande obtenu avec une connaissance exacte des dynamiques du système. Cependant, les approches actuelles reposent sur des excitations de type bruit blancs [15, 11, 8, 1], sous-optimales pour les systèmes dynamiques. En identification des systèmes, des techniques de minimisation de regret ont été développés avec la possibilité d'ajouter de la corrélation temporelle dans l'excitation [9, 16, 6, 7], mais ces travaux exploitent la théorie asymptotique qui repose sur un nombre infini de données, irréaliste en pratique. Le deuxième défi de ce projet de thèse est donc de développer des outils de synthèse optimale d'excitation non-asymptotiques pour la minimisation du regret en commande adaptative.

Ces deux défis seront conjointement étudiés théoriquement pour les systèmes linéaires temps invariant et linéaires temps variant avec des techniques de commande adaptative telles que la commande adaptative linéaire quadratique, la commande prédictive quadratique, etc. Des méthodes de

vérification de l’informativité des données et de synthèse d’excitation pour la minimisation de regret en commande adaptative seront aussi développées.

Pour l’analyse de l’informativité des données, l’approche nouvelle suivie dans [5, 3] semble très prometteuse puisqu’elle peut se transposer aussi dans le cas d’un nombre fini de données. Pour le deuxième volet sur la minimisation du regret pour la commande adaptative, le défi théorique à surmonter est de relier la valeur du regret au choix de l’excitation dans le cas d’un nombre fini de données bruitées. Pour cela, l’approche [13] qui consiste à utiliser des outils de l’apprentissage pourra être suivie pour élucider ce problème fondamental en identification pour la commande.

Durée : 3 ans

Lieu : CRAN site Polytech, 2 rue Jean Lamour, 54514 Vandoeuvre cedex, France

Rémunération : via contrat doctoral UL

Profil attendu : diplôme master (ou équivalent) en automatique ou mathématiques appliquées.

References

- [1] Y. Abbasi-Yadkori and C. Szepesvári. Regret bounds for the adaptive control of linear quadratic systems. In *Proceedings of the 24th Annual Conference on Learning Theory*, pages 1–26. JMLR Workshop and Conference Proceedings, 2011.
- [2] X. Bombois, K. Colin, P. M. J. Van den Hof, and H. Hjalmarsson. On the informativity of direct identification experiments in dynamical networks. *Automatica*, 148:110742, 2023.
- [3] K. Colin, X. Bombois, L. Bako, and F. Morelli. Closed-loop identification of MIMO systems in the Prediction Error framework: Data informativity analysis. *Automatica*, 121:109171, 2020.
- [4] K. Colin, X. Bombois, L. Bako, and F. Morelli. Data Informativity for the Identification of particular Parallel Hammerstein Systems. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2):1102–1107, 2020.
- [5] K. Colin, X. Bombois, L. Bako, and F. Morelli. Data informativity for the open-loop identification of MIMO systems in the prediction error framework. *Automatica*, 117:109000, 2020.
- [6] K. Colin, M. Ferizbegovic, and H. Hjalmarsson. Regret minimization for linear quadratic adaptive controllers using fisher feedback exploration. *IEEE Control Systems Letters*, 6:2870–2875, 2022.
- [7] K. Colin, H. Hjalmarsson, and X. Bombois. Finite-time regret minimization for linear quadratic adaptive controllers: an experiment design approach. 2023. Submitted to *Automatica*.
- [8] S. Dean, H. Mania, N. Matni, B. Recht, and S. Tu. Regret bounds for robust adaptive control of the linear quadratic regulator. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 31, 2018.
- [9] M. Forgione, X. Bombois, and P.M.J. Van den Hof. Data-driven model improvement for model-based control. *Automatica*, 52:118–124, 2015.
- [10] M. Gevers, A. S. Bazanella, X. Bombois, and L. Miskovic. Identification and the information matrix: How to get just sufficiently rich? *IEEE Transactions on Automatic Control*, 54(12):2828–2840, 2009.
- [11] Y. Jedra and A. Proutiere. Minimal expected regret in linear quadratic control. In *International Conference on Artificial Intelligence and Statistics*, pages 10234–10321. PMLR, 2022.
- [12] Ioan Doré Landau, Rogelio Lozano, Mohammed M’Saad, and Alireza Karimi. *Adaptive control: algorithms, analysis and applications*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [13] L. Massucci, F. Lauer, and M. Gilson. A statistical learning perspective on switched linear system identification. *Automatica*, 145:110532, 2022.
- [14] K. S. Narendra and A. M. Annaswamy. Persistent excitation in adaptive systems. *International Journal of Control*, 45(1):127–160, 1987.
- [15] M. Simchowitz, H. Mania, S. Tu, M. I. Jordan, and B. Recht. Learning without mixing: Towards a sharp analysis of linear system identification. In *Conference On Learning Theory*, pages 439–473. PMLR, 2018.
- [16] J. Umenberger, M. Ferizbegovic, T. B. Schön, and H. Hjalmarsson. Robust exploration in linear quadratic reinforcement learning. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 32, 2019.
- [17] H.J. Van Waarde, J. Eising, H.L. Trentelman, and M.K. Camlibel. Data informativity: a new perspective on data-driven analysis and control. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 65(11):4753–4768, 2020.