

Postdoc offer

Predictive control of a smart excavator

Application

To apply for this position, please send a cover letter and a CV via e-mail to thomas.chevet@esigelec.fr and nicolas.langlois@esigelec.fr with the title of the offer in the object.

Project description

The “PROMETE” project (Planning autonomous robots for eco-friendly construction sites) is supported by the “Projets collaboratifs I-Démo régionalisé” program. This project is co-funded by the Région Normandie, the French government (in the frame of the stimulus package France 2030), and the European Union. The goal of the project, carried out by a consortium of four industrial and academic partners led by Heracles Robotics, aims to automate construction machinery to increase efficiency and reduce its carbon footprint.

More specifically, the aim is to equip these machines with a variety of sensors and computational capabilities enabling them to analyze their environment, plan their movements and interactions with other machines onsite, and carry out their tasks quickly and accurately. The methods developed must guarantee the safety of the machines when working alongside other machines, as well as their robustness in the face of terrain variations and ageing. As a partner in the “PROMETE” project, IRSEEM’s Control & Systems team is tasked with proposing robust predictive control laws to ensure the objectives are carried out as expected.

To carry out this project, **ESIGELEC is recruiting a Postdoctoral Researcher for a 18-months fixed-term contract.**

Missions

In collaboration with the project’s members, the person recruited will have a number of tasks involving modeling, control, and implementation of the resulting control algorithms. These tasks are divided into three main parts, more or less sequential.

The first task involves modeling the construction machines under consideration. This modeling will be carried out using a geometric approach, in particular through the use of Lie groups [1]. Indeed, a construction machine can be considered as a sequence of joints placed on a mobile robot [2], thus justifying this type of modeling. Different types of machines will have to be modeled, and the parameters will then be obtained using data from our partners in the project. A provisional kinematic model has already been developed and the recruited postdoc will have to expand it with specific dynamics identified on the machines.

Based on these models, the second part of the mission will be to develop Lie group-based predictive control laws [3, 4, 5, 6, 7]. These control laws will be used to improve the precision, speed, and fuel consumption of the machines studied. To achieve this, an economic model predictive



Cofinancé par
l'Union européenne



bpifrance



control approach will be used [8]. A first simple predictive controller has already been developed and gives promising results.

Finally, the third part of the mission will seek to make the predictive control laws previously studied robust [9, 10]. Indeed, the machines under consideration are subject to significant parametric variations as they age. Thus, the considered control strategies will have to be adapted to compensate for these parametric uncertainties [11, 12, 13].

In parallel with these tasks, the person recruited will be studying methods for tuning the parameters of predictive control laws. These methods are based on the use of reinforcement learning algorithms [14, 15].

The methods developed will be deployed on our partners' construction machinery. Experiments on several regional sites are planned.

Profile, qualities and skills

- Ph.D. in automatic control
- Good knowledge of predictive control
- Good knowledge of geometric modeling and control of robotic systems
- Experience in Python development
- Willingness to learn and experiment
- Ability to present your work in English (ideally in French too), both orally and in writing
- Open-mindedness, good interpersonal skills and ability to integrate into the existing team
- Autonomy, curiosity, dynamism
- Capacity to supervise interns

Contract and work conditions

- Full-time 18-months fixed-term contract (39h/week), starting as soon as possible
- Paid between 32000 and 35000€ gross a year depending on profile and experience
- Meal vouchers (Titres Restaurant) and transport allowance

Next to the campus (less than 5 minutes walking): several catering solutions, a supermarket with cultural and multimedia space, and a forest.

The campus is accessible by public transport (bus and streetcar) and car (parking).



Cofinancé par
l'Union européenne



References

- [1] F. Bullo and A. D. Lewis, *Geometric Control of Mechanical Systems*, ser. Texts in Applied Mathematics. Springer, 2004, vol. 49.
- [2] L. Sciavicco and B. Siciliano, *Modelling and control of robot manipulators*. Springer, 2001.
- [3] J. Park and K. Kim, “Tracking on Lie group for robot manipulators,” in *2014 11th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence*. IEEE, 2014, pp. 579–584.
- [4] S. Teng, D. Chen, W. Clark, and M. Ghaffari, “An error-state model predictive control on connected matrix Lie groups for legged robot control,” in *2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. IEEE, 2022, pp. 8850–8857.
- [5] U. V. Kalabić, R. Gupta, S. Di Cairano, A. M. Bloch, and I. V. Kolmanovsky, “MPC on manifolds with an application to the control of spacecraft attitude on $SO(3)$,” *Automatica*, vol. 76, pp. 293–300, 2017.
- [6] J. Jang, S. Teng, and M. Ghaffari, “Convex geometric trajectory tracking using Lie algebraic MPC for autonomous marine vehicles,” *arXiv*, 2023.
- [7] T. Löw and S. Calinon, “Geometric algebra for optimal control with applications in manipulation tasks,” *IEEE Transactions on Robotics*, pp. 1–15, 2023.
- [8] L. Grüne and J. Pannek, *Nonlinear Model Predictive Control*, 2nd ed., ser. Communications and Control Engineering. Springer, 2017.
- [9] D. Limón, I. Alvarado, T. Alamo, and E. F. Camacho, “Robust tube-based MPC for tracking of constrained linear systems with additive disturbances,” *Journal of Process Control*, vol. 20, no. 3, pp. 248–260, 2010.
- [10] S. V. Raković, “The implicit rigid tube model predictive control,” *Automatica*, vol. 157, p. 111234, 2023.
- [11] B. Sakhdari and N. L. Azad, “Adaptive tube-based nonlinear mpc for economic autonomous cruise control of plug-in hybrid electric vehicles,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 12, pp. 11 390–11 401, 2018.
- [12] A. J. Prado, M. Torres-Torriti, and F. A. Cheein, “Distributed tube-based nonlinear MPC for motion control of skid-steer robots with terra-mechanical constraints,” *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 6, no. 4, pp. 8045–8052, 2021.
- [13] C. Shi, Y. Yu, Y. Ma, and D. E. Chang, “Constrained control for systems on matrix Lie groups with uncertainties,” *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, vol. 33, no. 5, pp. 3285–3311, 2022.
- [14] E. Bøhn, S. Gros, S. Moe, and T. A. Johansen, “Optimization of the model predictive control meta-parameters through reinforcement learning,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 123, p. 106211, 2023.
- [15] W. Cai, S. Sawant, D. Reinhardt, S. Rastegarpour, and S. Gros, “A learning-based model predictive control strategy for home energy management systems,” *IEEE Access*, 2023.



Cofinancé par
l'Union européenne



Offre de postdoc Commande prédictive d'une pelleteuse intelligente

Candidature

Pour candidater sur ce poste, merci d'envoyer une lettre de motivation et un CV par e-mail à thomas.chevet@esigelec.fr et nicolas.langlois@esigelec.fr en précisant le titre de l'offre.

Description du projet

Le projet « PROMETE » (Planification de robots autonomes pour la réalisation de travaux éco-responsables) est financé dans le cadre de l'AAP « Projets collaboratifs I-Démo régionalisé ». Ce projet est co-financé par la Région Normandie, le gouvernement français (dans le cadre du plan de relance France 2030) et l'Union européenne. Le but de ce projet, mené par un consortium de quatre acteurs industriels et académiques avec à sa tête la société Heracles Robotics, vise à automatiser les engins de chantier pour accroître leur efficacité et réduire leur empreinte carbone.

Plus précisément, l'objectif est d'équiper ces engins de capteurs et de capacités de calcul leur permettant d'analyser leur environnement, de planifier leurs déplacements et leurs interactions avec d'autres engins sur le chantier, et d'exécuter leurs tâches de manière précise et rapide. Les méthodes développées doivent garantir la sécurité des engins lorsqu'ils travaillent aux côtés d'autres engins, ainsi que leur robustesse face aux variations du terrain et au vieillissement. En tant que partenaire du projet « PROMETE », l'équipe Automatique & Systèmes de l'IRSEEM, UR4353, a pour mission de proposer des lois de commande prédictive robustes permettant d'assurer la réalisation des tâches telle qu'attendue.

Pour mener à bien ce projet, l'**ESIGELEC recrute un Chercheur Postdoctoral en CDD sur une mission de 18 mois.**

Missions

En collaboration avec les enseignants-chercheurs du projet, la personne recrutée aura plusieurs missions portant sur la modélisation, la commande et l'implantation des lois obtenues. Ces missions se divisent en trois parties principales, plus ou moins séquentielles.

La première partie de la mission consistera à modéliser les engins de chantier considérés. Cette modélisation se fera par une approche géométrique, notamment via l'utilisation de la notion de groupe de Lie [1]. En effet, un engin de chantier peut être considéré comme un enchaînement d'articulations placées sur un robot mobile [2], justifiant ainsi ce type de modélisation. Plusieurs engins seront à modéliser et les paramètres pourront être ensuite obtenus à l'aide de données venant de nos partenaires au sein du projet. Un premier modèle cinématique a déjà été développé et le postdoc recruté devra l'améliorer en incluant les différentes dynamiques identifiées sur les machines.

À partir de ces modèles, la deuxième partie de la mission visera à développer des lois de commande prédictive sur groupe de Lie [3, 4, 5, 6, 7]. Ces lois de commande serviront à améliorer



Cofinancé par
l'Union européenne



bpifrance



notamment la précision, la vitesse et la consommation en carburant des machines étudiées. Pour ce faire, une approche économique de la commande prédictive sera utilisée [8]. A premier correcteur prédictif simple a déjà été développé et donne des résultats prometteurs.

Enfin, la troisième partie de la mission cherchera à rendre les lois de commande prédictive précédemment étudiées robustes [9, 10]. En effet, les engins considérés subissent, en vieillissant, des variations paramétriques importantes. Ainsi, il faudra adapter les stratégies de commande considérées afin de pallier ces incertitudes paramétriques [11, 12, 13].

En parallèle de ces tâches, la personne recrutée sera amenée à étudier des méthodes de réglage des paramètres des lois de commande prédictives. Ces méthodes se fondent sur l'utilisation d'algorithmes d'apprentissage par renforcement [14, 15].

Les méthodes développées seront déployées sur les engins de chantier de nos partenaires. Des expérimentations sur plusieurs sites en région sont prévues.

Profil recherché, qualités et aptitudes

- Titulaire d'un diplôme de doctorat en automatique (niveau Bac+8)
- De bonnes connaissances en commande prédictive
- De bonnes connaissances en modélisation géométrique et en commande des systèmes robotiques
- Expérience dans le développement en Python
- Volonté d'apprendre et d'expérimenter
- Capacité à présenter vos travaux en anglais, à l'écrit comme à l'oral
- Ouverture d'esprit, bon relationnel et capacité à s'intégrer à l'équipe existante
- Autonomie, curiosité, dynamisme
- Capacité à encadrer des stagiaires

Contrat et conditions de travail

- Contrat à Durée Déterminée de 18 mois à temps plein (39h/semaine), à pourvoir dès que possible
- Rémunération 32000 à 35000€ brut par année selon profil et expérience
- Titres restaurants et indemnité de transport

A proximité du campus (moins de 5 minutes à pied) : plusieurs solutions pour la restauration, un supermarché avec espace culturel et multimédia, une forêt.

Le campus est accessible en transport en commun (bus et tramway) et en voiture (parking).



Cofinancé par
l'Union européenne



RÉGION
NORMANDIE



Références

- [1] F. Bullo and A. D. Lewis, *Geometric Control of Mechanical Systems*, ser. Texts in Applied Mathematics. Springer, 2004, vol. 49.
- [2] L. Sciavicco and B. Siciliano, *Modelling and control of robot manipulators*. Springer, 2001.
- [3] J. Park and K. Kim, “Tracking on Lie group for robot manipulators,” in *2014 11th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence*. IEEE, 2014, pp. 579–584.
- [4] S. Teng, D. Chen, W. Clark, and M. Ghaffari, “An error-state model predictive control on connected matrix Lie groups for legged robot control,” in *2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. IEEE, 2022, pp. 8850–8857.
- [5] U. V. Kalabić, R. Gupta, S. Di Cairano, A. M. Bloch, and I. V. Kolmanovsky, “MPC on manifolds with an application to the control of spacecraft attitude on $SO(3)$,” *Automatica*, vol. 76, pp. 293–300, 2017.
- [6] J. Jang, S. Teng, and M. Ghaffari, “Convex geometric trajectory tracking using Lie algebraic MPC for autonomous marine vehicles,” *arXiv*, 2023.
- [7] T. Löw and S. Calinon, “Geometric algebra for optimal control with applications in manipulation tasks,” *IEEE Transactions on Robotics*, pp. 1–15, 2023.
- [8] L. Grüne and J. Pannek, *Nonlinear Model Predictive Control*, 2nd ed., ser. Communications and Control Engineering. Springer, 2017.
- [9] D. Limón, I. Alvarado, T. Alamo, and E. F. Camacho, “Robust tube-based MPC for tracking of constrained linear systems with additive disturbances,” *Journal of Process Control*, vol. 20, no. 3, pp. 248–260, 2010.
- [10] S. V. Raković, “The implicit rigid tube model predictive control,” *Automatica*, vol. 157, p. 111234, 2023.
- [11] B. Sakhdari and N. L. Azad, “Adaptive tube-based nonlinear mpc for economic autonomous cruise control of plug-in hybrid electric vehicles,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 67, no. 12, pp. 11 390–11 401, 2018.
- [12] A. J. Prado, M. Torres-Torriti, and F. A. Cheein, “Distributed tube-based nonlinear MPC for motion control of skid-steer robots with terra-mechanical constraints,” *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 6, no. 4, pp. 8045–8052, 2021.
- [13] C. Shi, Y. Yu, Y. Ma, and D. E. Chang, “Constrained control for systems on matrix Lie groups with uncertainties,” *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, vol. 33, no. 5, pp. 3285–3311, 2022.
- [14] E. Bøhn, S. Gros, S. Moe, and T. A. Johansen, “Optimization of the model predictive control meta-parameters through reinforcement learning,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 123, p. 106211, 2023.
- [15] W. Cai, S. Sawant, D. Reinhardt, S. Rastegarpour, and S. Gros, “A learning-based model predictive control strategy for home energy management systems,” *IEEE Access*, 2023.



Cofinancé par
l'Union européenne



bpifrance

