

Neuromorphic control of embodied central pattern generators

Auteur : Fernandez Lorden, Christian

Promoteur(s) : Sacré, Pierre; Drion, Guillaume

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master : ingénieur civil électricien, à finalité spécialisée en "signal processing and intelligent robotics"

Année académique : 2022-2023

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/18256>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Neuromorphic control of embodied central pattern generators

A bio-inspired approach to motion

Christian Fernandez Lorden

Supervised by Pr. Pierre Sacré and Pr. Guillaume Drion

University of Liège - School of Engineering and Computer Science
Academic year 2022-2023

Abstract

The control of robotic locomotion poses important challenges. In particular, we are still very far from achieving robotic locomotion control with the same degree of robustness and adaptability to unexpected environmental perturbations exhibited by moving biological systems.

This master's thesis aims to create a robust and efficient controller for regulating a simple mechanical system. Biological neuron models are used to create artificial central pattern generators (CPGs) that form the core of the controller. Similar to Yu et al. [6], the inspiration of this thesis is the known electrophysiology, sensory response, and modulation of biological CPGs [5, 1, 4].

This study explores the control of a simple resonant mechanical system (a pendulum) to achieve high-amplitude periodic motion without fine-tuning the neuron parameters and with sensory feedback and weak actuation. The design follows multiple steps. It starts with the design and tuning of the controller using a single neuron. This uncovers that only the motor neurons exhibiting a robust type of bursting [3, 2] are able to robustly and easily adapt their excitable behavior to the unknown mechanical system's properties (damping, resonant frequency, mass, etc.). This is followed by the natural addition of another motor neuron to form a CPG and make the controller symmetric. This increases the achievable amplitude and improves the resilience to perturbations in the controller parameters. Then, neuromodulation is added to allow the dynamic change of the controller properties to control the amplitude of the oscillations. This leads to a trade-off between the speed of convergence to the desired amplitude and the stability of the controller. Finally, multiple controller-pendulum systems are interconnected at the controller level to achieve the desired spatiotemporal pattern between the pendulums.

The results indicate that the neuromorphic approach is well-suited for the design of robust controllers. The proposed controller demonstrates the ability to easily adapt to the mechanical system properties to achieve the amplitude goal, as well as the ability to interconnect in a network of controllers. Extensions of the model could be used to control locomotion in robotics or other domains.

Bibliography

- [1] U. Bässler and A. Büschges. Pattern generation for stick insect walking movements—multisensory control of a locomotor program. *Brain research reviews*, 27(1):65–88, 1998.
- [2] G. Drion, A. Franci, and R. Sepulchre. Cellular switches orchestrate rhythmic circuits. *Biological Cybernetics*, 113, 04 2019.
- [3] A. Franci, G. Drion, and R. Sepulchre. Robust and tunable bursting requires slow positive feedback. *Journal of Neurophysiology*, 119(3):1222–1234, 2018.
- [4] E. Marder. Neuromodulation of neuronal circuits: Back to the future. *Neuron*, 76(1):1–11, 2012.
- [5] A. C. Schneider and C. Smarandache-Wellmann. Unmasking hidden changes in intrinsic properties in neurons that coordinate oscillatory networks. *bioRxiv*, 2022.
- [6] H. Yu, H. Gao, and Z. Deng. Enhancing adaptability with local reactive behaviors for hexapod walking robot via sensory feedback integrated central pattern generator. *Robotics and Autonomous Systems*, 124:103401, 2020.