

Master thesis : Neuromodulation Controller Enabling Robustness to Transistor Variability in Subthreshold Silicon Neurons

Auteur : Filée, Victoria

Promoteur(s) : Drion, Guillaume

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master : ingénieur civil électricien, à finalité spécialisée en Neuromorphic Engineering

Année académique : 2025-2026

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/26101>

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.

Neuromodulation Controller Enabling Robustness to Transistor Variability in Subthreshold Silicon Neurons

by VICTORIA FILÉE

Thesis supervisor : GUILLAUME DRION

Master of Science in Electrical Engineering, professional focus in neuromorphic engineering

Academic year: 2025-2026

Abstract

In the brain, billions of neurons communicate through neuronal signaling based on both electrical and chemical processes, particularly action potentials. This communication process is implemented in analog neuromorphic neurons using electronic circuits that emulate the behavior of biological neurons. In such implementations, transistor-intrinsic mismatch arises, causing intra- and inter-neuron variability. One consequence of mismatch is the difficulty of implementing neuromodulation, the process by which neuronal activity is regulated, enabling neurons to adapt their behavior to context and to support different functions.

Therefore, this thesis investigates the feasibility of feedback-based regulation of neuronal activity, robust to mismatch, in an analog neuromorphic neuron.

A controller is designed using dynamic input conductances for neuronal activity tracking, allowing control of excitability instead of raw voltage trajectories. This approach is first validated with the computational model of the neuron chip and against artificial mismatch. Then, variability is characterized both globally and individually by incorporating mismatch models, providing insight into the impact of device variability. After controller adaptation and neuron calibration, the control loop is tested on ultra-low-power neurons implemented on the developed chip, while accounting for practical mismatch effects and electronic constraints.

The results show that neuronal activity can be robustly regulated despite variability. However, large-scale implementation appears impractical, as the parameters must be specifically calibrated for each individual neuron. The framework is therefore evaluated at higher power levels to reduce mismatch-induced variability. Under these conditions, neuronal dynamics become more consistent across neurons, enabling a common calibration strategy that is more suitable for large-scale integration.

Overall, this work demonstrates that neuromodulation is achievable in analog subthreshold neurons through activity-based feedback control, despite the pronounced effects of device mismatch, contributing to robust, adaptive behavior in scalable and biologically inspired neurons.

Keywords: neuromorphic chip, neuromodulation, transistor mismatch, controller.
