



Θέμα Διδακτορικής Διατριβής

Εισηγητής: Ιωάννης Βουρβουλάκης, Επίκουρος Καθηγητής

Θεματική περιοχή: Ενσωματωμένα συστήματα και νευρομορφική υπολογιστική

Προτεινόμενος Τίτλος: Εφαρμογή νευρομορφικών υπολογισμών (Neuromorphic Computing) σε επαναδιαμορφώσιμο υλικό (FPGA) για εφαρμογές διαστημικής τεχνολογίας

Περίληψη: Τα νευρωνικά δίκτυα αιχμών θεωρούνται ως τα νευρωνικά δίκτυα τρίτης γενιάς [1]. Εμπνεύστηκαν από τον ανθρώπινο εγκέφαλο ο οποίος μπορεί να πραγματοποιήσει πολύπλοκες εργασίες σε πραγματικό χρόνο έχοντας πάνω από 100 εκατομμύρια νευρώνες και πάνω από 100 δισεκατομμύρια συνάψεις, καταναλώνοντας μόλις 20W ενέργειας. Αυτό έδωσε ώθηση στην ανάπτυξη του αντικειμένου των νευρομορφικών υπολογισμών (Neuromorphic Computing) και την υλοποίηση κατάλληλου υλικού [2] ώστε να αυξηθεί η επεξεργαστική ισχύς και να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας. Οι διατάξεις FPGA επιτυγχάνουν σημαντική επιτάχυνση στην υλοποίηση νευρωνικών δικτύων αιχμών [3,4]. Στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής θα διερευνηθεί η υλοποίηση νευρωνικών δικτύων αιχμών πάνω σε διατάξεις FPGA για την αναγνώριση και τη διάκριση σωματιδίων καθώς επίσης και της κινητικής τους ενέργειας για το περιβάλλον της Σελήνης. Θα μελετηθεί η αναγνώριση σωματιδίων γάμμα, ηλεκτρονίων, νετρονίων, φορτισμένων ιόντων και σωματιδίων που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση με το έδαφος της Σελήνης. Για το λόγο αυτό προτείνεται να χρησιμοποιηθούν radiation hardened FPGA (NanoXplore [5]) και μικροεπεξεργαστές (Gaisler GR716 [6]) για τις ανάγκες της διάταξης που θα υλοποιηθεί. Επίσης, θα αναπτυχθεί εξομοιωτής της ροής δεδομένων για τον έλεγχο της διάταξης. Για την υλοποίηση του νευρωνικού δικτύου αιχμών, θα πραγματοποιηθεί μελέτη των μοντέλων των νευρώνων [7–9], της τοπολογίας του δικτύου που θα σχεδιαστεί, καθώς και των αλγορίθμων εκπαίδευσης του δικτύου [10,11].

Ενδεικτική βιβλιογραφία:

- [1] W. Maass, Networks of spiking neurons: The third generation of neural network models, *Neural Networks*. 10 (1997) 1659–1671. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(97\)00011-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0893-6080(97)00011-7).
- [2] Intel, Loihi 2: A New Generation of Neuromorphic Computing, (n.d.). <https://www.intel.com/content/www/us/en/research/neuromorphic-computing.html> (accessed September 29, 2022).

- [3] X. Ju, B. Fang, R. Yan, X. Xu, H. Tang, An FPGA Implementation of Deep Spiking Neural Networks for Low-Power and Fast Classification., *Neural Comput.* 32 (2020) 182–204. https://doi.org/10.1162/neco_a_01245.
- [4] J. Han, Z. Li, W. Zheng, Y. Zhang, Hardware implementation of spiking neural networks on FPGA, *Tsinghua Sci. Technol.* 25 (2020) 479–486. <https://doi.org/10.26599/TST.2019.9010019>.
- [5] NanoXplore, NanoXplore SoCs, FPGA, eFPGA, (n.d.). <https://www.nanoxplore.com/> (accessed September 29, 2022).
- [6] Gaisler, GR716 - LEON3FT Microcontroller, (n.d.). <https://www.gaisler.com/index.php/products/components/gr716> (accessed September 29, 2022).
- [7] A.L. Hodgkin, A.F. Huxley, A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve, *J. Physiol.* 117 (1952) 500–544. <https://doi.org/https://doi.org/10.1113/jphysiol.1952.sp004764>.
- [8] E.M. Izhikevich, Which model to use for cortical spiking neurons?, *IEEE Trans. Neural Networks.* 15 (2004) 1063–1070. <https://doi.org/10.1109/TNN.2004.832719>.
- [9] W. Gerstner, W.M. Kistler, R. Naud, L. Paninski, *Neuronal Dynamics: From Single Neurons to Networks and Models of Cognition*, Cambridge University Press, Cambridge, 2014. [https://doi.org/DOI: 10.1017/CBO9781107447615](https://doi.org/DOI:10.1017/CBO9781107447615).
- [10] S.R. Kheradpisheh, M. Ganjtabesh, S.J. Thorpe, T. Masquelier, STDP-based spiking deep convolutional neural networks for object recognition, *Neural Networks.* 99 (2018) 56–67. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neunet.2017.12.005>.
- [11] Q. Xu, J. Peng, J. Shen, H. Tang, G. Pan, Deep CovDenseSNN: A hierarchical event-driven dynamic framework with spiking neurons in noisy environment, *Neural Networks.* 121 (2020) 512–519. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neunet.2019.08.034>.