

الجمهورية الشعبية الديمقراطية الجزائرية  
People's Democratic Republic of Algeria  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministry of Higher Education and Scientific Research  
المدرسة العليا للإعلام الآلي 8 ماي 1945 - سيدي بلعباس  
Higher School of Computer Science – 8 Mai 1945, Sidi Bel Abbas



## Graduation Thesis

To obtain the diploma of **Engineering Degree**  
Field of Study: **Computer Science**  
Specialization: **Artificial Intelligence and Data Science**

## Theme

---

**Supervised STDP-Based Spiking Neural Network for Object  
Localization**

---

Presented by

**Meriem Beldjoudi**

Defended on: **September, 2025**

*In front of the jury composed of*

Mr. Belkacem Khaldi  
Ms. Nassima Dif  
Mr. Chaabane Djerraba  
Mr. Rabab Bousmaha

President of the Jury  
Thesis Supervisor  
Co-Supervisor  
Examiner

*Academic Year: 2024/2025*

# Abstract

Object localization is a core task in computer vision, with applications ranging from everyday technologies to advanced autonomous systems. While Artificial Neural Networks (ANNs) have achieved remarkable accuracy in this domain, they typically incur substantial computational and energy costs. In contrast, Spiking Neural Networks (SNNs) have emerged as a biologically inspired and energy-efficient alternative, offering event-driven computation and temporal dynamics that more closely resemble neural processing in the brain. Among the various learning mechanisms for SNNs, Spike-Timing-Dependent Plasticity (STDP) stands out as one of the most prominent and biologically grounded methods.

In this work, we propose a supervised adaptation of the STDP learning rule and apply it to the object localization problem. The proposed approach aims to leverage the local and event-driven nature of STDP while introducing task-level supervision to guide learning toward specific objectives. Furthermore, to evaluate its effectiveness, we conduct a comparative analysis with the surrogate gradient method, which represents the dominant gradient-based approach for training deep SNNs. This study thus contributes to bridging the gap between biologically plausible learning and performance-driven optimization in event-based visual understanding.

**Keywords**— Object Localization, Spiking Neural Networks, Artificial Neural Networks, Computer Vision, Event-based Vision, Neuromorphic Computing, Energy Efficiency, Supervised Learning, Spike-Timing-Dependent Plasticity.

# Résumé

La localisation d'objets constitue une tâche fondamentale en vision par ordinateur, avec des applications allant des technologies du quotidien aux systèmes autonomes avancés. Bien que les réseaux de neurones artificiels (ANNs) aient atteint une précision remarquable dans ce domaine, ils engendrent généralement des coûts computationnels et énergétiques élevés. À l'inverse, les réseaux de neurones impulsionnels (SNNs) se présentent comme une alternative bio-inspirée et économe en énergie, offrant un traitement des informations basé sur les événements et des dynamiques temporelles proches de celles observées dans le cerveau humain. Parmi les différents mécanismes d'apprentissage des SNNs, la plasticité dépendante du temps des impulsions (STDP) se distingue comme l'une des méthodes les plus connues et biologiquement fondées.

Dans ce travail, nous proposons une adaptation supervisée de la règle d'apprentissage STDP et l'appliquons au problème de localisation d'objets. L'approche proposée vise à exploiter la nature locale et événementielle du STDP tout en introduisant une supervision au niveau de la tâche afin d'orienter l'apprentissage vers des objectifs précis. De plus, afin d'évaluer son efficacité, nous menons une analyse comparative avec la méthode du gradient substitut, qui représente l'approche dominante basée sur le gradient pour l'entraînement des SNNs profonds. Cette étude contribue ainsi à réduire l'écart entre l'apprentissage biologiquement plausible et l'optimisation orientée performance dans le cadre de la compréhension visuelle basée sur les événements.

**Mots-clés**— Localisation d'objets, Réseaux de neurones impulsionnels, Réseaux de neurones artificiels, Vision par ordinateur, Vision basée sur les événements, Calcul neuromorphique, Efficacité énergétique, Apprentissage supervisé, Plasticité dépendante du temps des impulsions.

## ملخص

تُعدّ عملية تحديد مواقع الأجسام مهمةً أساسيةً في مجال الرؤية الحاسوبية ، حيث تمتد تطبيقاتها من التقنيات اليومية إلى الأنظمة المستقلة المتقدمة. وعلى الرغم من أن الشبكات العصبية الاصطناعية قد حققت دقة ملحوظة في هذا المجال، إلا أنها تتطلب عادةً مواردَ حسابيةً واستهلاكاً كبيراً للطاقة. وفي المقابل، ظهرت الشبكات العصبية النبضية كبديلٍ مستوحى من الأنظمة البيولوجية وأكثر كفاءةً من حيث استهلاك الطاقة، إذ تعتمد على معالجة قائمة على الأحداث وديناميكيات زمنية أقرب إلى آليات المعالجة العصبية في الدماغ البشري. ومن بين آليات التعلم المختلفة الخاصة بالشبكات العصبية النبضية، تبرز قاعدة اللدونة المعتمدة على توقيت النبضات كواحدة من أكثر الأساليب شهرةً وتأسيساً على المبادئ البيولوجية.

في هذا العمل، نقترح نسخةً مشرفةً من قاعدة التعلم ونطبقها على مهمة تحديد مواقع الأجسام. تهدف المنهجية المقترحة إلى الاستفادة من الطبيعة المحلية والمعتمدة على الأحداث لقاعدة ، مع إدخال عنصر الإشراف على مستوى المهمة لتوجيه عملية التعلم نحو أهداف محددة. علاوةً على ذلك، ولتقييم فعالية هذا النهج، أجرينا تحليلاً مقارناً مع طريقة التدرج التقريبي ، والتي تعد المنهج الأكثر شيوعاً في تدريب الشبكات العصبية النبضية العميقة باستخدام التدرج. وبذلك، تسهم هذه الدراسة في سدّ الفجوة بين التعلم القابل للتطبيق بيولوجياً وعمليات التحسين الموجهة نحو الأداء في سياق الفهم البصري القائم على الأحداث.

الكلمات المفتاحية: تحديد مواقع الأجسام، الشبكات العصبية النبضية، الشبكات العصبية الاصطناعية، الرؤية الحاسوبية، الرؤية القائمة على الأحداث، الحوسبة العصبية ، كفاءة الطاقة، التعلم الخاضع للإشراف، اللدونة المعتمدة على توقيت النبضات .