

Tremplin Recherche – Prolongements du cadre Morse Frames

Sujet 1 — Parallélisation du calcul des gradients dans le cadre des séquences de Morse

Filières visées : Informatique, Datascience et intelligence artificielle, ou Artificial Intelligence and Cybersecurity

Niveau : E4/M1 ou E5/M2

1. Contexte

Les séquences de Morse fournissent un formalisme discret pour représenter la topologie des fonctions définies sur des complexes simpliciaux. Dans le cadre des *Morse frames* de Bertrand et Najman, les calculs topologiques (par exemple la construction des gradients discrets ou la simplification de champs de Morse) peuvent être coûteux sur de grands volumes de données. Les travaux récents sur la parallélisation du calcul de gradients et la différentiation automatique distribuée ouvrent de nouvelles perspectives pour accélérer ces calculs sur architectures parallèles (multi-cœurs et GPU).

2. Description du projet

Le but de ce projet est de développer et d'expérimenter des algorithmes de **calcul parallèle du gradient discret de Morse** :

- Étudier la structure de dépendances locales dans les complexes de Morse ;
- Concevoir une parallélisation efficace (multi-cœur / GPU) du calcul du gradient ;
- Évaluer la scalabilité et la précision sur des ensembles de données synthétiques et réelles ;
- Comparer avec des approches de différentiation parallèle classiques.

Ce travail prolonge directement le cadre théorique des *Morse frames* en l'enrichissant d'une composante algorithmique et numérique essentielle à son passage à l'échelle.

Références

[Ber25a] G. Bertrand, Morse Sequences: A simple approach to discrete Morse theory, arXiv:2410.14227, 2024–2025.

[BN25] G. Bertrand, L. Najman, Computing gradient vector fields with Morse sequences, arXiv:2504.07526, 2025.

[Ber25b] G. Bertrand, Morse sequences on stacks and flooding sequences, arXiv:2509.01384, 2025.

[Ber07] G. Bertrand, On critical kernels, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. I, 345(7):363–367, 2007.

Tremplin Recherche – Prolongements du cadre Morse Frames

Sujet 2 — Séquences de Morse et segmentation d'images

Filières visées : Informatique, Datascience et intelligence artificielle, ou Artificial Intelligence and Cybersecurity

Niveau : E4/M1 ou E5/M2

1. Contexte

Les **séquences de Morse** offrent un moyen naturel de décomposer la topologie d'une image en niveaux de Morse discrets, permettant de capturer les structures connectées et les bassins de gradient. Des travaux récents ont montré que les complexes de Morse discrets pouvaient être exploités pour la **segmentation topologique et géométrique d'images**.

2. Description du projet

L'objectif de ce projet est d'étudier et de mettre en œuvre une **segmentation d'images basée sur les séquences de Morse** :

- Implémenter la construction d'un complexe de Morse à partir d'images 2D/3D ;
- Définir des critères topologiques pour fusionner ou séparer les régions ;
- Comparer avec des méthodes classiques (watershed, graph cuts) et d'apprentissage profond ;
- Explorer l'intégration des *Morse frames* dans un pipeline de vision par ordinateur.

Ce sujet prolonge directement le cadre des *Morse frames* en l'appliquant à un domaine applicatif riche : la segmentation d'image topologique.

Références

- [Ber25a] G. Bertrand, Morse Sequences: A simple approach to discrete Morse theory, arXiv:2410.14227, 2024–2025.
- [BBN23] G. Bertrand, N. Boutry, L. Najman, Discrete Morse Functions and Watersheds, arXiv:2301.03840, 2023.
- [RWS11] V. Robins, P. J. Wood, A. P. Sheppard, Theory and Algorithms for Constructing Discrete Morse Complexes from Grayscale Digital Images, IEEE TPAMI, 33(8):1646–1658, 2011.
- [CBN01] M. Couprie, F. N. Bezerra, G. Bertrand, Topological operators for grayscale image processing, Journal of Electronic Imaging, 10(4):1003–1015, 2001.