

Apprentissage profond d'arbres binaires de partition pour l'analyse d'images

Mots clés : Représentations hiérarchiques, Arbres binaires de partition, Apprentissage Profond, Ultramétriques, Aide au diagnostic de lésions cutanées.

Équipe et laboratoire : Équipe IMAGE, Laboratoire GREYC (UMR CNRS 6072).

Directeur de la thèse : Olivier Lézoray (PR UNICAEN).

Co-encadrant : Sébastien Bougleux (MC UNICAEN).

Adresses email : {olivier.lezoray,sebastien.bougleux}@unicaen.fr

Contexte : Le clustering est une des tâches fondamentales en science des données. En effet, les données peuvent souvent être groupées en sous-ensembles cohérents nommés clusters. Les données affectées à un même cluster sont alors supposées être plus similaires entre elles qu'avec celles d'un autre cluster. Le clustering « plat » tel que les k-moyennes est la technique phare du clustering qui considère une fonction de coût relative à l'inertie intra-cluster. Si les données sont structurées sous la forme d'un graphe de similarité, les algorithmes de clustering sont souvent formalisés sous la forme d'une coupe dans ce graphe, regroupés sous le terme de clustering spectral. Une autre approche populaire en science des données est le clustering hiérarchique. Le principe est d'effectuer un partitionnement récursif d'un ensemble de données en clusters de plus en plus petits. Ceci est représenté par un arbre dont les feuilles correspondent aux données, et dont chacun des nœuds internes représente un cluster. Une hiérarchie de ce type présente plusieurs avantages par rapport à un clustering plat. Premièrement, il n'est pas nécessaire de spécifier le nombre de clusters à l'avance. Deuxièmement, l'arbre capture simultanément la structure des clusters à tous les niveaux de granularité. L'hypothèse fondamentale de cette approche est que la structure visible dans les données dépend de l'échelle d'observation choisie. En pratique, des algorithmes gloutons de fusion ascendante sont utilisés pour construire l'arbre hiérarchique en utilisant la fusion successive de clusters similaires. Cette représentation sous forme d'arbre binaire hiérarchique est très populaire en clustering car elle est facilement interprétable par des experts humains qui peuvent facilement interagir avec l'arbre (Figure 1).

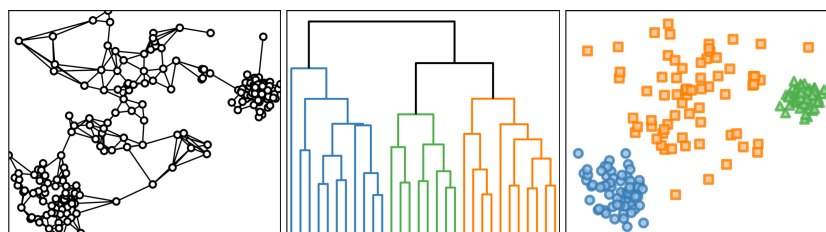


FIGURE 1 – Clustering hiérarchique (droite) obtenu par une coupe dans un arbre hiérarchique (centre) construit à partir d'un graphe de similarité (gauche) [1].

Néanmoins cette approche a quelques inconvénients. Alors que les approches d'apprentissage profond ont récemment montré leur intérêt en clustering plat [2, 3], elles n'ont quasiment pas été explorées en clustering hiérarchique [4] et cela pose de nombreux verrous à lever. Enfin, établir une coupe dans le graphe afin d'obtenir un clustering final de qualité peut s'avérer difficile. Dans cette thèse nous proposons de concilier apprentissage profond et clustering hiérarchique pour l'analyse d'images à partir d'arbres hiérarchiques (binaires de partition) les représentant. Les encadrants ont une forte expérience dans les représentations hiérarchiques des images, en particulier avec des graphes [5, 6], ainsi qu'en apprentissage profond [7, 8].

Objectifs : Il existe de nombreuses représentations des images numériques, chacune adaptée à différents contextes. Dans cette thèse nous nous intéressons aux représentations hiérarchiques des images [9]. Ces dernières permettent, à partir d'une sur-segmentation (partition fine) d'une image en super-pixels (regroupements de pixels en régions), de procéder à des fusions de super-pixels à différentes échelles. De telles représentations hiérarchiques permettent donc de capturer les caractéristiques des images à différentes échelles simultanément, et sont facilement interprétables et manipulables par un humain. Construire des représentations hiérarchiques pertinentes constitue alors une étape très importante de l'analyse d'images. Les représentations hiérarchiques basées sur les arbres binaires de partitions (ABP) ont été largement étudiées [10], elles permettent un clustering hiérarchique adapté aux images numériques (Figure 2).

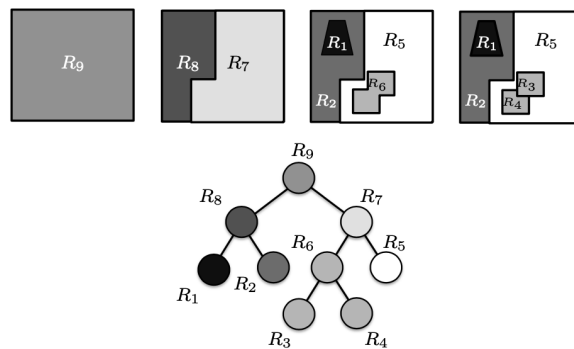


FIGURE 2 – Un Arbre Binaire de Partition associé à une sur-segmentation [11].

Leur construction repose sur plusieurs éléments clés : une partition initiale, un modèle de région, un critère de fusion, un ordre de fusion. Cette construction de l'ABP repose souvent sur des descripteurs simples de super-pixels [12] peu adaptés aux données, ainsi que sur des méthodes heuristiques et gloutonnes de clustering hiérarchique. Nous proposons de tirer parti de l'apprentissage profond pour la construction et la manipulation d'ABPs. La construction de l'arbre pourra alors exploiter des descripteurs profonds de super-pixels, apprendre la similarité entre ces descripteurs et enfin disposer d'un critère de fusion appris. Une ultramétrie étant une représentation duale d'une représentation hiérarchique [1], des méthodes d'apprentissage profond peuvent être envisagées pour apprendre, non pas l'ABP, mais l'ultramétrie à partir d'un graphe représentant la sur-segmentation, en minimisant explicitement une fonction de coût [13, 14]. La segmentation sémantique d'une image pourra être ensuite vue comme : soit une labellisation apprise des sommets de l'ABP, soit l'apprentissage d'une coupe dans l'ABP (Figure 3). Un arbre étant un graphe, des réseaux de neurones à convolution sur graphes pourront être envisagés pour cela (la convolution et le pooling étant là très particuliers étant donné la structure d'arbre du graphe).

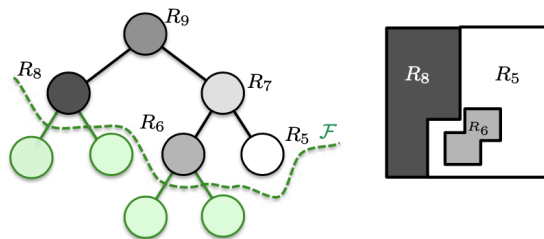


FIGURE 3 – Coupe d'un arbre binaire de partition [11] (représentant l'image de la Figure 2) afin de produire une segmentation.

Applications visées : Deux applications seront considérées pour éprouver les méthodes d'apprentissage profond d'arbres binaires de partition (AP- ABP) qui seront développées. La première concerne le domaine de l'imagerie médicale. En France, la prévention et le dépistage du cancer de la peau est devenu un enjeu de santé publique par la mise en application du plan Cancer en 2003, dont un des objectifs est d'améliorer les conditions de détection précoce du mélanome. L'aide au diagnostic des mélanomes peut se faire par des systèmes d'analyse d'images permettant l'extraction de la tâche pigmentaire étudiée. Nos méthodes d'AP-ABP seront considérées pour effectuer cette segmentation. Le directeur de thèse a déjà participé à un projet ANR (MELASCAN 2011-2014) sur le thème de l'analyse de tâches pigmentaires acquises avec un dermatoscope multispectral [15] et coordonné un projet PHC international avec l'Algérie (dermato.ai 2019-2021) dans lequel l'apprentissage profond est exploité pour le diagnostic de lésions cutanées [16, 17, 8]. Une collaboration est prévue avec Emre Celebi (Professeur à l'University of Central Arkansas, USA), expert international reconnu en traitement d'images de dermoscopie et membre de l'ISIC project (<https://www.isic-archive.com/>) de l'International Society for Digital Imaging of the Skin. La seconde application concerne le domaine de l'imagerie satellitaire. Dans ce domaine les ABP ont été largement exploités [18, 19] pour la segmentation et la détection d'objets (arbres, routes, bâtiments). Nous comparerons les performances de notre approche d'AP-ABP avec les approches de l'état de l'art.

Plan de travail : La thèse débutera par une étude bibliographique sur les représentations hiérarchiques des images reposant sur un clustering hiérarchique. La première année sera consacrée au développement de méthodes de construction d'arbres binaires de partition par apprentissage profond, la seconde année à leur analyse par apprentissage de labellisations ou de coupes, la troisième année sera dédiée aux applications. La thèse sera dirigée par Olivier LÉZORAY (professeur UNICAEN) et co-encadrée par Sébastien Bougleux (MC UNICAEN).

Qualifications : Les candidats doivent être titulaires d'un master ou d'un diplôme d'ingénieur dans un domaine lié à l'informatique ou aux mathématiques appliquées, et posséder de solides compétences en programmation (en particulier avec des cadres d'apprentissage profond). Une expérience dans le domaine du traitement des images sera un atout. Les candidats doivent être capables de rédiger des rapports scientifiques et de communiquer les résultats de leurs recherches lors de conférences en anglais.

Information et candidature : Les candidatures doivent inclure les documents suivants en format électronique : i) Une courte lettre de motivation expliquant pourquoi vous êtes intéressé par cette thèse, ii) Un CV détaillé décrivant vos antécédents de recherche en rapport avec le poste. iii) Les relevés de notes pour les diplômes de master. iv) Les coordonnées de trois références (ne joignez pas les lettres de référence à votre candidature car nous ne les demanderons qu'aux candidats présélectionnés). Veuillez envoyer votre dossier de candidature à olivier.lezoray@unicaen.fr et sebastien.bougleux@unicaen.fr.

Le poste débutera en octobre 2023 avec un salaire de 32kEuros brut, et sera situé à Caen, en France. Idéalement située au cœur de la Normandie, à deux heures de Paris et à seulement 10 minutes des plages, Caen, ville natale de Guillaume le Conquérant, est une ville vivante et dynamique.

Références

- [1] Giovanni Chierchia and Benjamin Perret, "Ultrametric fitting by gradient descent," in *NeurIPS*, 2019, pp. 3175–3186.
- [2] Junyuan Xie, Ross Girshick, and Ali Farhadi, "Unsupervised deep embedding for clustering analysis," in *ICML*, 2016, vol. 48, pp. 478–487.
- [3] Wengang Guo, Kaiyan Lin, and Wei Ye, "Deep embedded k-means clustering," Tech. Rep., 2021.
- [4] Dominik Mautz, Claudia Plant, and Christian Böhm, "Deepect : The deep embedded cluster tree," *Data Sci. Eng.*, vol. 5, no. 4, pp. 419–432, 2020.

- [5] Lucas Gnecco, Nicolas Boria, Sébastien Bougleux, Florian Yger, and David B. Blumenthal, "The minimum edit arborescence problem and its use in compressing graph collections," in *SISAP*, 2021, vol. LNCS 13058, pp. 337–351.
- [6] Olivier Lézoray, "Hierarchical morphological graph signal multi-layer decomposition for editing applications," *IET Image Process.*, vol. 14, no. 8, pp. 1549–1560, 2020.
- [7] Xuan Son Nguyen, Luc Brun, Olivier Lézoray, and Sébastien Bougleux, "A neural network based on SPD manifold learning for skeleton-based hand gesture recognition," in *IEEE CVPR*, 2019, pp. 12036–12045.
- [8] Samia Benyahia, Boudjelal Meftah, and Olivier Lézoray, "Skin lesion classification using convolutional neural networks based on multi-features extraction," in *CAIP*, 2021, vol. LNCS 13052, pp. 466–475.
- [9] Petra Bosilj, Ewa Kijak, and Sébastien Lefèvre, "Partition and inclusion hierarchies of images : A comprehensive survey," *J. Imaging*, vol. 4, no. 2, pp. 33, 2018.
- [10] Philippe Salembier and Luis Garrido, "Binary partition tree as an efficient representation for image processing, segmentation, and information retrieval," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 9, no. 4, pp. 561–576, 2000.
- [11] Silvia Valero, *Hyperspectral image representation and Processing with Binary Partition Trees.*, Ph.D. thesis, Grenoble Alpes University, France, 2011.
- [12] Jimmy Francky Randrianasoa, Camille Kurtz, Eric Desjardin, and Nicolas Passat, "Binary partition tree construction from multiple features for image segmentation," *Pattern Recognit.*, vol. 84, pp. 237–250, 2018.
- [13] Vincent Cohen-Addad, Varun Kanade, Frederik Mallmann-Trenn, and Claire Mathieu, "Hierarchical clustering : Objective functions and algorithms," in *ACM-SIAM SODA*, 2018, pp. 378–397.
- [14] Sanjoy Dasgupta, "A cost function for similarity-based hierarchical clustering," in *ACM STOC*, 2016, pp. 118–127.
- [15] Olivier Lézoray, Marinette Revenu, and Michel Desvignes, "Graph-based skin lesion segmentation of multispectral dermoscopic images," in *IEEE ICIP*, 2014, pp. 897–901.
- [16] S. Benyahia, B. Meftah, and O. Lézoray, "Multi-features extraction based on deep learning for skin lesion," *Tissue and Cell*, vol. 74, pp. 101701, 2022.
- [17] Samia Benyahia, Boudjelal Meftah, and Olivier Lézoray, "Hierarchical approach for the classification of multi-class skin lesions based on deep convolutional neural networks," in *ICPRAI*, 2022, vol. LNCS 13364, pp. 139–149.
- [18] Mohamed Ismail and Milica Orlandic, "Segment-based clustering of hyperspectral images using tree-based data partitioning structures," *Algorithms*, vol. 13, no. 12, pp. 330, 2020.
- [19] Miguel Angel Veganzones, Guillaume Tochon, Mauro Dalla Mura, Antonio J. Plaza, and Jocelyn Chanussot, "Hyperspectral image segmentation using a new spectral unmixing-based binary partition tree representation," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 23, no. 8, pp. 3574–3589, 2014.