

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 Abbès



Engineering Thesis

To obtain the diploma of **Engineering's Degree**

Field of Study: **Computer Science**

Specialization: **Artificial Intelligence and Data Science**

Theme

A Deep Learning-Based Multimodal Fusion Framework for Brain Cancer Tissue Detection from RGB and Hyperspectral Images

Presented by
CHAIB Fakhreddine Fouzi

Defended on: **June, 2026**
In front of the jury composed of

Dr. BEZZAOUCHA Fatima Souad
Dr. TAOULI Amina
Dr. ELHANNANI Souad
Dr. DAOUDI Sara

President of the Jury
Thesis Supervisor
Co-Supervisor
Examiner

Academic Year: 2025/2026

Abstract

Brain tumor resection is a highly delicate surgical procedure that requires a critical balance between maximizing the removal of malignant tissue and preserving healthy neurological structures. While conventional RGB imaging provides excellent spatial context, it inherently lacks the biochemical contrast necessary to distinguish subtle tissue boundaries. Conversely, Hyperspectral Imaging (HSI) offers rich molecular signatures but is often hindered by high dimensionality and spatial resolution constraints. To overcome these limitations, this thesis introduces a novel deep learning-based multimodal fusion framework designed to synergize the complementary strengths of RGB and HSI data for precise brain cancer tissue detection.

We propose a dual-branch neural network architecture that independently extracts spatial and spectral features before fusing them into a unified, highly discriminative representation. Extensive experimental evaluations demonstrate that this synergistic fusion strategy significantly outperforms unimodal baselines. By effectively mitigating the inherent weaknesses of each individual modality, the fused model achieves superior classification performance, robust feature representation, and highly balanced sensitivity and specificity across all histological tissue classes.

These findings underscore the transformative potential of multimodal deep learning as a reliable, non-invasive intraoperative decision-support system, paving the way for safer, more accurate, and more effective neurosurgical interventions.

Keywords— Deep Learning, Multimodal Fusion, Hyperspectral Imaging, Brain Cancer, Medical Image Analysis, Intraoperative Decision Support.

Résumé

La résection des tumeurs cérébrales est une procédure chirurgicale hautement délicate qui nécessite un équilibre critique entre l’ablation maximale des tissus malins et la préservation des structures neurologiques saines. Si l’imagerie RGB traditionnelle offre un excellent contexte spatial, elle manque intrinsèquement du contraste biochimique nécessaire pour distinguer les frontières subtiles des tissus. À l’inverse, l’imagerie hyperspectrale (HSI) fournit des signatures moléculaires riches, mais se heurte souvent à des contraintes de haute dimensionnalité et de résolution spatiale. Pour surmonter ces limitations, ce mémoire propose un nouveau cadre de fusion multimodale basé sur l’apprentissage profond, conçu pour synergiser les forces complémentaires des données RGB et HSI afin d’obtenir une détection précise des tissus cancéreux du cerveau.

Nous proposons une architecture de réseau de neurones à double branche qui extrait indépendamment les caractéristiques spatiales et spectrales avant de les fusionner en une représentation unifiée et hautement discriminante. Des évaluations expérimentales approfondies démontrent que cette stratégie de fusion synergique surpasse significativement les approches unimodales. En atténuant efficacement les faiblesses inhérentes à chaque modalité, le modèle fusionné atteint des performances de classification supérieures, une représentation robuste des caractéristiques, ainsi qu’une sensibilité et une spécificité hautement équilibrées pour toutes les classes histologiques de tissus.

Ces résultats soulignent le potentiel transformateur de l’apprentissage profond multimodal en tant que système d’aide à la décision peropératoire fiable et non invasif, ouvrant la voie à des interventions neurochirurgicales plus sûres, plus précises et plus efficaces.

Mots Clés— Apprentissage profond, Fusion multimodale, Imagerie hyperspectrale, Cancer du cerveau, Analyse d’images médicales, Aide à la décision peropératoire.

الملخص

تُعدّ جراحة استئصال أورام الدماغ إجراءً جراحياً بالغ الدقة، يتطلب توازناً حرجاً بين تعظيم إزالة الأنسجة الخبيثة والحفاظ على الهياكل العصبية السليمة. وبينما توفر صور RGB التقليدية سياقاً مكانياً ممتازاً، فإنها تفتقر جوهرياً إلى التباين الكيميائي الحيوي اللازم للتمييز بين الحدود الدقيقة للأنسجة. من ناحية أخرى، يوفر التصوير فائق الطيف (HSI) بصمات جزيئية غنية، لكنه غالباً ما يعاني من تحديات تتعلق بارتفاع الأبعاد وقصور في الدقة المكانية. للتغلب على هذه القيود، يقدم هذا المذكرة إطار عمل مبتكراً للدمج متعدد الوسائط يعتمد على التعلم العميق، مصمم لتآزر نقاط القوة التكميلية لبيانات RGB و HSI من أجل الكشف الدقيق عن أنسجة سرطان الدماغ.

نقترح بنية شبكة عصبية مزدوجة الفرع تستخرج بشكل مستقل الميزات المكانية والطيفية قبل دمجها في تمثيل موحد وعالي التمييز. تُظهر التقييمات التجريبية الشاملة أن استراتيجية الدمج التآزري هذه تتفوق بشكل كبير على النماذج أحادية الوسائط. ومن خلال التخفيف الفعال من نقاط الضعف الكامنة في كل وسيلة على حدة، يحقق النموذج المدمج أداءً تصنيفاً متفوقاً، وتمثيلاً قوياً للميزات، بالإضافة إلى حساسية ونوعية متوازنة للغاية عبر جميع الفئات النسيجية النسيجية.

تؤكد هذه النتائج على الإمكانيات التحويلية للتعلم العميق متعدد الوسائط كنظام موثوق وغير جراحي لدعم القرار أثناء الجراحة، مما يمهد الطريق لتدخلات جراحية عصبية أكثر أماناً ودقة وفعالية.

الكلمات المفتاحية: التعلم العميق، الدمج متعدد الوسائط، التصوير فائق الطيف، سرطان الدماغ، تحليل الصور الطبية، دعم القرار أثناء الجراحة.