

Rehaussement de vaisseaux sanguins appliqué aux images médicales 3D

Jonas Lamy

June 22, 2022
Version: Draft 0.1

Université Lyon 2

CleanThesis

LIRIS
LIRIS
Clean Thesis Group (CTG)

Traitement d'images

Rehaussement de vaisseaux sanguins appliqué aux images médicales 3D

Jonas Lamy

- | | |
|--------------------|---|
| <i>1. Reviewer</i> | XXX
Department of XXX
XXX University |
| <i>2. Reviewer</i> | XXX
Department of XXX
XXX University |
| <i>Supervisors</i> | Nicolas Passat and Bertrand Kerautret and Odysée
Merveille |

June 22, 2022

Jonas Lamy

Rehaussement de vaisseaux sanguins appliqué aux images médicales 3D

Traitement d'images, June 22, 2022

Reviewers: XXX and XXX

Supervisors: Nicolas Passat and Bertrand Kerautret

Université Lyon 2

Clean Thesis Group (CTG)

LIRIS

LIRIS

LIRIS, Bât C, 5 avenue Pierre Mendès France, Bron
69000 and Lyon

Abstract

Hello, here is some text without a meaning. This text should show what a printed text will look like at this place. If you read this text, you will get no information. Really? Is there no information? Is there a difference between this text and some nonsense like “Huardest gefburn”? Kjift – not at all! A blind text like this gives you information about the selected font, how the letters are written and an impression of the look. This text should contain all letters of the alphabet and it should be written in of the original language. There is no need for special content, but the length of words should match the language.

Abstract (different language)

Hello, here is some text without a meaning. This text should show what a printed text will look like at this place. If you read this text, you will get no information. Really? Is there no information? Is there a difference between this text and some nonsense like “Huardest gefburn”? Kjift – not at all! A blind text like this gives you information about the selected font, how the letters are written and an impression of the look. This text should contain all letters of the alphabet and it should be written in of the original language. There is no need for special content, but the length of words should match the language.

Contents

1	Introduction	1
1.1	Contexte global	1
1.2	Objectifs initiaux et projet ANR	2
1.3	Résumé de la thèse et apports	3
	List of Figures	7
	List of Tables	9
	List of Listings	11

Introduction

” *Un petit chapitre pour le doctorant, un grand chapitre pour l’humanité*

— **Doctorant anonyme**
(Citation temporaire)

Cette thèse s’inscrit dans le cadre du traitement d’images médicales. Celle-ci est avant tout une thèse d’analyse d’images avec une teinte de biologie puisque les problématiques rencontrées durant cette thèse découlent directement de considérations anatomiques.

Le sujet de cette thèse est l’analyse de filtres de rehaussements de vaisseaux sanguins pour l’imagerie médicale 3D. L’objectif initial était la comparaison de ces filtres afin de concevoir des outils de segmentation pour l’imagerie 3D du foie. Cet objectif a ensuite évolué pour se concentrer sur le développement d’outils d’analyses et d’évaluations de filtres de rehaussement de vaisseaux dans un cadre reproductible. En effet, ces filtres constituent une brique essentielle de la segmentation, mais peu de travaux portent sur leur évaluation de manière isolée.

Dans cette introduction, nous décrivons le contexte global de la thèse ainsi que ses principaux apports.

1.1 Contexte global

Le foie est un des organes les plus importants du corps humain. Celui-ci participe à de nombreuses fonctions vitales comme la digestion, l’élimination des déchets ou la gestion de la glycémie. Les maladies liées au foie sont responsables de deux millions de morts par ans [Asr+19]. En effet, on estime à un million le nombre de morts par complication lié à la cirrhose et un million liés à l’hépatite et au cancer du foie (carcinome). Cela fait de la cirrhose et du cancer du foie la 11ème et 16ème cause de morts à travers le monde. Dans ce contexte, le diagnostic et le suivi des maladies du foie est un objectif crucial pour les médecins. Les techniques d’imageries ont

considérablement révolutionné ces deux tâches en permettant d'observer l'intérieur des patients sans utiliser de techniques invasives. Pour le foie, deux types d'imageries sont particulièrement utilisées, la tomodesitométrie et l'imagerie par résonance magnétique (IRM). La tomodesitométrie, inventée par Hounsfield en 1972 permet de mesurer l'absorption de rayons X par les tissus du patient. Cette acquisition se fait par coupe successive et permet de reconstituer, suite à un traitement numérique, une représentation 3D des organes. L'IRM se sert d'un principe similaire, mais repose sur l'utilisation d'un champ magnétique. Lors d'une IRM, on mesure le temps de précession des tissus, c'est-à-dire le temps de changement de leur orientation magnétique après une exposition brève et intense à un champ magnétique. Cette mesure permet ensuite de reconstituer un volume 3D des organes. La première machine IRM permettant l'acquisition d'un corps humain est développée en 1977 par Damasian. Pour les modalités, il est nécessaire dans certains cas d'utiliser un agent de contraste afin de différencier les tissus. C'est typiquement le cas pour les vaisseaux sanguins. Les deux techniques d'imagerie sont complémentaires. La tomodesitométrie offre une grande résolution spatiale, mais souffre d'un contraste plus faible. L'IRM permet une plus grande résolution de contraste, mais avec une résolution spatiale limitée. C'est le médecin radiologue qui a la charge de choisir la méthode la plus appropriée. Pour les vaisseaux du foie, les deux systèmes sont utilisés, mais l'utilisation croissante de l'IRM moins agressive que la tomodesitométrie et l'utilisation de la tomodesitométrie à faible dose de rayon X nécessitent des algorithmes de segmentation des vaisseaux de plus en plus performants.

1.2 Objectifs initiaux et projet ANR

Ma thèse a été proposée dans le cadre du projet R-Vessel-X lancé en Janvier 2019. Elle est portée par Antoine Vacavant de l'institut Pascal en Auvergne Rhône-Alpe. R-Vessel-X a pour objectif l'extraction de vaisseaux sanguins du foie dans les images biomédicales. Le projet est principalement axé sur la robustesse des algorithmes proposés. Cette notion de robustesse est à prendre au sens large et regroupe :

- La solidité des modèles utilisés pour représenter les vaisseaux face à des changements de tailles, de formes ou d'intensités.
- La fidélité des segmentations par rapports aux données originales et la possibilité de corriger celles-ci par les médecins.
- La validation des solutions développées grâce à des mesures effectuées sur des données synthétiques, cliniques et un retour de médecins.

- La dissémination des algorithmes et des données du projet, afin d'assurer une pérennité de ces travaux et une réutilisation par la communauté.

Pour mener à bien ces objectifs le projet R-Vessel-X est composé d'une équipe interdisciplinaire.

Quatre laboratoires de traitement d'images apportent leur expertise au projet : Le LIRIS de l'université de Lyon et le LORIA de l'université de Lorraine pour l'aspect analyse d'image par géométrie discrète et la reproductibilité des algorithmes, Le CReSTIC de Reims pour l'aspect analyse d'images médicales, la simulation et la visualisation 3D et l'institut Pascal pour leur expertise sur l'analyse et la segmentation des vaisseaux du foie.

La qualité des résultats des algorithmes de segmentation est jugée par des radiologues du CHU de Clermont-Ferrand. Ceux-ci sont aussi en charge de la collecte des données nécessaire au projet.

Enfin, l'entreprise Kitware Inc. spécialisée dans le développement d'outils open source à destination du médical a alloué au projet un ingénieur afin de faciliter la dissémination des algorithmes du projet. Cette dissémination passe par l'utilisation de la librairie de traitement d'images médicales ITK et l'intégration des algorithmes développés durant le projet au logiciel de visualisation 3DSlicer. L'intégration de ces outils permet d'apporter une visibilité au niveau international des algorithmes du projet.

1.3 Résumé de la thèse et apports

Cette thèse est encadrée par Bertrand Kerautret, professeur au LIRIS et Nicolas Passat du CReSTIC. Ils ont plus tard été rejoint par Odyssée Merveille du laboratoire d'imagerie médicale CREATIS de l'université de Lyon/INSA. L'objectif initial de cette thèse était la segmentation des vaisseaux du foie dans des images 3D. La segmentation des vaisseaux sanguins dans cet organe est un problème ouvert que ce soit en IRM ou avec la tomodensitométrie. En effet, les vaisseaux hépatiques sont des structures éparses qui apparaissent bruités, faiblement contrastés et qui possède une taille proche de la résolution des capteurs pour les plus fins.

Un premier objectif a donc été de trouver un ensemble de méthodes efficaces malgré ce contexte difficile. Les filtres de rehaussement de vaisseaux forment une famille très présente dans la littérature et sont utilisés en amont de la segmentation. Ils permettent notamment de faire ressortir les structures tubulaires, et donc les

vaisseaux, et s'adaptent à des organes et des modalités variées. Pourtant, une analyse plus fine de la littérature montre qu'il existe une constance dans l'utilisation de ces filtres malgré l'émergence de nouvelles méthodes. En particulier, les chaînes de segmentation utilisent le plus souvent l'un des premiers filtres présents dans la littérature, le filtre de Frangi [Fra+98]. De plus, ce filtre est souvent utilisé avec ses paramètres par défaut suggéré par Frangi en 1998 et aucune mesure n'est effectuée quant à l'impact du filtre sur la suite de la chaîne de segmentation.

Plusieurs questions légitimes se posent alors. Le filtre de Frangi est-il adapté aux vaisseaux du foie ? Pour quelle modalité ? Des filtres plus récents proposent-ils un rehaussement de meilleure qualité ? Quel est l'impact réel de la paramétrisation des filtres sur le rehaussement final ?

Malheureusement, les bancs de tests considérant la qualité du rehaussement de vaisseaux seul sont peu nombreux et non extensibles. Leurs travaux ne peuvent donc pas être repris, soit parce que le code original n'est pas disponible, soit parce que les données ne sont pas publiques, soit les deux en même temps. Dans l'esprit de robustesse du projet R-Vessel-X nous avons proposé les contributions suivantes :

- La collecte, l'implémentation et la mise à jour en C++ d'une sélection de filtres de rehaussement parmi les méthodes développées ces 20 dernières années. Chaque filtre illustre une réponse à une problématique distincte du rehaussement de vaisseau.
- Un outil de comparaison de méthodes de rehaussement modulable permettant de comparer le rehaussement dans des zones spécifiques définies par l'utilisateur.
- Une analyse quantitative poussée de ces filtres en fonction de la hiérarchie des vaisseaux définie par leurs tailles et leurs jonctions.
- Une analyse qualitative liant le choix des paramètres des méthodes à la réponse théorique des filtres et leur impact sur le rehaussement.
- Un outil d'annotation spécialisé pour la segmentation du foie, ainsi qu'une série de bases de données publiques retravaillées pour répondre à un manque de données annotées.

Ce travail a été réalisé dans un esprit de partage pour la communauté. C'est pourquoi une attention particulière a été apportée pour que ces travaux puissent être réutilisés et étendus par d'autres chercheurs, afin que ceux-ci n'aient pas à commencer leurs expériences à partir de zéro.

Ce manuscrit est organisé en 4 Chapitres : Le chapitre 1 présente le contexte médical de cette thèse. Celui-ci détaille l'anatomie du foie et présente les méthodes d'acquisitions ainsi que les principaux artefacts liés à ces modalités. Le chapitre 2 présente le contexte scientifique avec un état de l'art des méthodes de rehaussement et leur positionnement en rapport avec la segmentation. Le chapitre 3 précise les choix effectués pour l'élaboration d'un banc de test pour filtres de rehaussement. Le chapitre 4 illustre l'utilisation de ce banc de test avec une analyse multi-échelles du rehaussement de vaisseaux dans diverses modalités et organes. Cette analyse porte sur le rehaussement pris au niveau de l'organe, du voisinage des vaisseaux de différentes tailles et de leurs bifurcations. Enfin le chapitre 5 propose des perspectives pour la segmentation de vaisseaux avec un nombre d'annotations minimal.

Bibliography

- [Asr+19] Sumeet K Asrani, Harshad Devarbhavi, John Eaton, and Patrick S Kamath. “Burden of liver diseases in the world”. In: *Journal of hepatology* 70.1 (2019), pp. 151–171.
- [Fra+98] Alejandro F Frangi, Wiro J Niessen, Koen L Vincken, and Max A Viergever. “Multiscale vessel enhancement filtering”. In: *International conference on medical image computing and computer-assisted intervention*. Springer. 1998, pp. 130–137.

List of Figures

List of Tables

List of Listings

