

PROJET DE RECHERCHE

Reconstruction d'images tomographiques avec compensation de mouvements

Simon RIT

Résumé

Le mouvement du patient pendant l'acquisition est une problématique majeure de la reconstruction d'images tomographiques. Celui-ci provoque en effet des artefacts, tels que du flou, des traits et des bandes. Les résultats obtenus au cours de ma thèse et de mon séjour postdoctoral ont montré le potentiel des méthodes de reconstruction avec compensation du mouvement, qui permettent d'obtenir une image tomographique de haute qualité associée à une estimation du mouvement du patient pendant l'acquisition.

Le but de ce projet de recherche est de poursuivre les travaux méthodologiques initiés puis de les appliquer sur données réelles. Les problématiques méthodologiques sont de deux ordres : estimer le mouvement du patient pendant l'acquisition des données d'une part et reconstruire l'image tomographique en compensant ce mouvement d'autre part. Le champ d'application est large puisqu'il inclut les tomodensitométries (TDM) et les tomographies par émission de positons (TEP) de l'abdomen, du thorax et du coeur.

Sommaire

1	Contexte	2
2	Projet de recherche	3
2.1	Reconstruction tomographique avec compensation du mouvement	3
2.2	Estimation de mouvement à partir de projections	4
2.3	Reconstruction avec estimation conjointe du mouvement respiratoire	5
3	Applications	6
3.1	Tomodensitométrie du thorax	6
3.2	Tomographie par émission de positons du thorax	6
3.3	Tomodensitométrie du coeur	7
4	Insertion dans le laboratoire et collaborations	8
4.1	Laboratoire	8
4.2	Collaborations	8
5	Avis scientifiques	10
6	Références citées	16

1 Contexte

Les images tomographiques sont devenues ces quarantes dernières années un outil de travail majeur du milieu médical. Elles sont obtenues en deux étapes : une phase d'acquisition de données puis une phase de reconstruction. La reconstruction correspond à la résolution du problème inverse posé quand les données acquises sont reliées à l'image tomographique recherchée.

Les méthodes de reconstruction font généralement l'hypothèse que le patient est resté statique pendant l'acquisition. Or, certains mouvements ne peuvent être interrompus pour une longue période : la respiration et le mouvement cardiaque. Cela a conduit la communauté à s'intéresser à la prise en compte de ces mouvements pour l'obtention d'images tomographiques afin de proposer aux thérapeutes une information spatio-temporelle sur les organes considérés.

Une première solution consiste à se baser sur la périodicité de ces mouvements pour sélectionner parmi les données acquises celles correspondant à une même phase du cycle considéré (respiratoire ou cardiaque). Les données sélectionnées correspondent alors à une même position du patient, et les méthodes de reconstruction statique classiques peuvent être appliquées. Ces méthodes, utilisées cliniquement aujourd'hui, nécessitent l'acquisition d'une grande quantité de données, ce qui implique une augmentation importante de la dose de rayons délivrée au patient et du temps d'acquisition. D'autre part, l'hypothèse de périodicité n'est que partiellement vérifiée et des artefacts résiduels peuvent être observés.

Une seconde solution consiste à utiliser toutes les données acquises mais à compenser le mouvement pendant la reconstruction. Deux problématiques, qui restent largement ouvertes, doivent alors être résolues : **estimer le mouvement et le prendre en compte pendant la reconstruction**. Si elles étaient résolues, on obtiendrait une image tomographique sans artefact à un instant de référence, associée à un modèle de mouvement pendant le temps d'acquisition.

Dans le cadre de ma thèse, je me suis intéressé à ces deux solutions. J'ai montré les limites de la reconstruction à partir d'une sélection des données acquises. Par contre, la reconstruction avec compensation du mouvement a donné des premiers résultats prometteurs que je poursuis actuellement dans le cadre de mon post-doc au *Nederlands Kanker Instituut* à Amsterdam. Je me propose de prolonger ces travaux pour trouver des solutions méthodologiques aux problèmes restants puis de les appliquer cliniquement. Pour ce faire, je souhaite intégrer le Centre de Recherche Et d'Applications en Traitement de l'Image et du Signal (CREATIS), dont la structure pluridisciplinaire me permettra de mener à bien ce projet.

2 Projet de recherche

L'objectif de mon projet de recherche est de compenser le mouvement, respiratoire ou cardiaque, dans la reconstruction d'images tomographiques. Pour atteindre cet objectif, il faut à la fois estimer le mouvement à partir des projections et le compenser dans la reconstruction. Je le ferai séparément (paragraphe 2.1 et 2.2) et simultanément (paragraphe 2.3).

2.1 Reconstruction tomographique avec compensation du mouvement

Verrous

J'ai montré au cours de ma thèse que les méthodes existantes de reconstruction avec compensation du mouvement sont limitées, même si le mouvement est parfaitement connu. Les méthodes analytiques ne sont exactes que pour une catégorie de mouvement n'incluant pas les mouvements cardiaques et respiratoires [Desbat *et al.*, 2007b]. Les méthodes algébriques donnent des résultats visuellement équivalents au cas statique mais leur complexité est largement supérieure aux méthodes analytiques, d'où un temps de calcul important qui leur interdit toute utilisation clinique [Rit *et al.*, In press]. Enfin, les méthodes de reconstruction avec compensation du mouvement font toutes l'hypothèse que chaque point du patient conserve la même caractéristique physique mesurée par la tomographie au cours de l'acquisition. Or, il a été montré que cette hypothèse est fautive dans le cas de l'atténuation linéaire du fait de la dilatation et de la contraction des tissus [Rey *et al.*, 2002].

Exploration de nouvelles méthodes analytiques

J'explorerai de nouvelles méthodes de reconstruction analytique avec compensation du mouvement. Plusieurs approches seront envisagées : simplifier le mouvement estimé pour l'inclure dans une méthode de reconstruction analytique exacte existante [Desbat *et al.*, 2007b] ou proposer de nouvelles méthodes, par exemple une méthode heuristique basée sur la méthode de reconstruction de [Noo *et al.*, 2004].

Réduction des temps de calcul des méthodes algébriques

J'utiliserai la méthode efficace de rétroprojection de [Kachelriess *et al.*, 2007] pour la phase de projection en m'inspirant de la méthode de [De Man et Basu, 2004]. Pour optimiser les transferts mémoire, cela m'amènera probablement à calculer simultanément plusieurs projections, alors que les algorithmes existants itèrent généralement sur une seule projection. Son utilisation nécessitera donc l'adaptation d'un des algorithmes de reconstruction itératifs existants.

D'autre part, la méthode de [Kachelriess *et al.*, 2007] peut être aisément parallélisée sur plusieurs processeurs. J'irai plus loin pour réduire davantage le temps de reconstruction, soit en la distribuant sur plusieurs ordinateurs (cluster ou grille), soit en exploitant judicieusement une carte graphique moderne [Mueller *et al.*, 2007].

Contrainte de conservation de la masse

J'étudierai l'impact de la non prise en compte de la variation de densité linéaire des tissus due aux changements locaux de volume impliqués par la déformation. Cet aspect avait été envisagé théoriquement dans ma thèse mais n'avait pas été évalué expérimentalement.

Par des simulations à partir de données réelles, j’observerai la différence entre les images TDM reconstruites avec ou sans prise en compte des changements locaux de volume.

2.2 Estimation de mouvement à partir de projections

Verrous

Une estimation du mouvement pendant l’acquisition est nécessaire à sa compensation. L’estimation de mouvements non-rigides est une problématique bien connue à partir d’images tomographiques 3D mais peu explorée à partir de projections (e.g. [Zeng *et al.*, 2007]). Le verrou réside dans le fait que chaque donnée n’est qu’une représentation projective 2D de l’objet 3D et que seul un nombre limité de paramètres peuvent être estimés par projection. Le problème est donc mal posé et nécessite une modélisation *a priori* du mouvement en jeu qui limite autant que possible le nombre de paramètres à estimer par projections.

Mes travaux sur données réelles se sont basés sur un modèle de déformation avec un seul degré de liberté [Rit *et al.*, In press, 2008a, 2009, 2008b]. Ce paramètre a été estimé à partir d’un signal respiratoire extrait des projections [Rit *et al.*, 2006]. Or, ce modèle ne permet qu’une approximation grossière du mouvement respiratoire d’un patient.

Démarche

J’estimerai ce mouvement en deux phases : (1) je modéliserai le mouvement du patient et (2) je recalcrerai le modèle sur les projections acquises pour la reconstruction tomographique. Cette démarche est développée ici dans le cas du mouvement respiratoire mais la même démarche pourra être suivie le cas échéant pour le mouvement cardiaque.

Modélisation du mouvement respiratoire

Dans un premier temps, je prolongerai mes travaux d’estimation *a priori* du modèle d’un cycle respiratoire à partir d’une image TDM 4D en ajoutant au paramètre de phase, qui représente la position du patient dans le cycle respiratoire, le paramètre d’amplitude. Celui-ci permet de mettre à l’échelle le cycle respiratoire estimé *a priori* en fonction de la profondeur de respiration de chaque cycle. Cette mise à l’échelle se fera autour d’une position de référence qu’il faudra déterminer en étudiant retrospectivement les variations d’amplitude du cycle respiratoire de chaque patient observées à partir d’images TDM 4D.

Dans un second temps, je développerai une modélisation adaptative du cycle respiratoire. En effet, l’augmentation de la quantité d’images disponibles au cours du traitement rend possible un affinage du modèle. Cette adaptation peut être de deux ordres : (1) modifier le cycle de référence et (2) ajouter des degrés de liberté à ce cycle de référence. De nombreux outils pourront être utilisés pour y arriver : un modèle existant plus élaboré [Low *et al.*, 2005], l’analyse en composante principale du modèle estimé sur plusieurs cycles respiratoires [Zhang *et al.*, 2007] et/ou une modélisation biomécanique [Hawkes *et al.*, 2007].

Recalage d’un modèle de mouvement sur projections

De la même manière que la phase, j’estimerai l’amplitude du cycle respiratoire à partir du signal respiratoire extrait des projections [Rit *et al.*, 2006]. Il faudra néanmoins filtrer le signal estimé pour séparer le mouvement visible dû au mouvement respiratoire et le mouvement visible dû à la géométrie de projection. La résolution de cette problématique se fera dans le domaine fréquentiel avec les transformées de Fourier et de Hilbert.

Pour estimer un nombre plus grand de paramètres, je poserai le problème de manière plus classique, sous forme d’une énergie dont le minimum sera recherché avec une optimisation adéquate [Zeng *et al.*, 2007]. L’énergie inclura une mesure de similarité qui mesurera la similarité entre les projections mesurées et les projections calculées avec le mouvement estimé et une image de référence. Il faudra contraindre l’espace de recherche en incluant une régularisation adaptée qui pourra être spécifique à chaque paramètre du modèle.

2.3 Reconstruction avec estimation conjointe du mouvement respiratoire

Généralement, la reconstruction et l’estimation du mouvement sont envisagées séparément. Pourtant, il ressort des deux premiers axes de recherche qu’elles sont étroitement liées puisqu’elles se font à partir des mêmes données, les projections, et que chacune est nécessaire à l’autre. Partant de ce constat, il semble logique d’essayer d’aborder le problème comme un tout.

Verrou

En utilisant la nature discrète des données en jeu, le problème se pose assez naturellement sous forme d’un système d’équations linéaires [Desbat *et al.*, 2007a ; Rit *et al.*, In press]. Cette mise en équations est d’ailleurs utilisée pour la reconstruction algébrique mais en supposant le mouvement connu. Lorsque le mouvement n’est pas connu, deux problèmes se posent pour résoudre le système : (1) le nombre d’inconnus devient très important par rapport à la quantité de données mesurées et (2) les inconnus ne sont pas homogènes, entre d’un côté les intensités des pixels de l’image TDM recherchée et de l’autre, les paramètres du modèle de mouvement.

Estimation alternative

Dans un premier temps, je mettrai en oeuvre un schéma itératif simple alternant une phase de reconstruction (estimation des images en supposant le mouvement connu) et une phase d’estimation de mouvement. Ce schéma s’appuiera naturellement sur mes travaux passés et futurs (paragraphes 2.2 et 2.1). Ainsi, le processus permettra de converger vers le mouvement et l’image TDM du patient “du jour” et de corriger d’éventuels artefacts induits par une évolution du patient par rapport au modèle *a priori* utilisé pour l’estimation.

Estimation conjointe

Dans un second temps, j’appliquerai une méthode de résolution itérative classique visant à faire converger simultanément l’ensemble du système d’équations. J’évaluerai d’abord les résultats obtenus avec une méthode de type *descente de gradient* incluant un critère d’arrêt bien défini (contrairement à la méthode algébrique mise en oeuvre dans [Rit *et al.*, In press]). Si les résultats ne sont pas probants, j’envisagerai d’autres méthodes, par exemple une méthode statistique de type Evaluation / Maximisation (EM).

3 Applications

Mes travaux de thèse se sont déroulés au sein du groupe *Rayonnement, Images, Oncologie*¹, basé au centre de lutte contre le cancer Léon Bérard, dans son département de radiothérapie. Cette proximité avec le monde clinique m'a permis d'envisager pendant ma thèse l'application de mes travaux pour la tomodensitométrie du thorax avec des images acquises en salle de traitement par un faisceau de rayons X coniques. Ce même travail applicatif est actuellement poursuivi au *Nederlands Kanker Instituut* à Amsterdam en vue d'une utilisation clinique de mes résultats de thèse. Cette expérience me permettra d'envisager la même démarche applicative de mes futurs travaux.

3.1 Tomodensitométrie du thorax

Intérêt clinique

La prise en compte du mouvement respiratoire dans la reconstruction d'images tomodensitométriques du thorax est une source d'amélioration du traitement par radiothérapie du cancer des poumons. En effet, savoir où se trouve et comment se déplace une tumeur permet de mieux la cibler avec un faisceau irradiant de haute énergie.

Travaux projetés

Sur la base de mon expérience en la matière, l'ensemble de mes contributions méthodologiques sera dans un premier temps appliqué à la tomodensitométrie du thorax. Si les résultats sont probants, leur application clinique sera envisagée avec les physiciens médicaux et les radiothérapeutes du groupe *Rayonnement, Images, Oncologie*¹.

3.2 Tomographie par émission de positons du thorax

Intérêt clinique

La tomodensitométrie n'est pas toujours suffisante pour distinguer les tissus cancéreux des tissus sains. Cela conduit souvent à l'acquisition complémentaire d'une tomographie par émission de positons (TEP). Pour le cancer des poumons, le mouvement respiratoire perturbe cependant l'image TEP reconstruite, ce qui limite comme pour la tomodensitométrie l'acuité de l'information extraite.

Travaux projetés

J'adapterai mes contributions méthodologiques, envisagées dans un premier temps pour la tomodensitométrie du thorax, à la tomographie par émission de positons du thorax, les algorithmes de reconstruction étant mathématiquement proches. Les méthodes proposées seront dans un premier temps validées sur données simulées avec les outils développées au CREATIS. Dans un second temps, une collaboration avec Philips pourra être envisagée pour utiliser les données brutes acquises au Centre Léon Bérard, en collaboration avec le groupe *Rayonnement, Images, Oncologie*¹.

¹Site web : <http://www.creatis.insa-lyon.fr/rio/>

3.3 Tomodensitométrie du coeur

Intérêt clinique

La tomodensitométrie du coeur est aujourd'hui un outil de première importance pour le diagnostic des pathologies cardiaques. Un produit de contraste peut également être injecté avant l'acquisition pour différencier les artères coronaires, auquel cas on parle d'angiographie par rayons X, utilisée pour le diagnostic des pathologies coronariennes. Dans les deux cas, le mouvement cardiaque perturbe la reconstruction 3D et peut éventuellement perturber le diagnostic.

Travaux projetés

En utilisant les modèles de mouvement cardiaque développé au CREATIS, j'appliquerai également mes méthodes à la reconstruction d'images tomodensitométriques de coeur. L'amélioration induite pour le diagnostic sera évaluée avec les médecins membres du laboratoire.

4 Insertion dans le laboratoire et collaborations

4.1 Laboratoire

Le but de mon recrutement est de renforcer la thématique **résolution de problèmes inverses** au sein du CREATIS. L'objectif à moyen terme est de créer une équipe de recherche sur cette thématique pour la rendre plus visible. Mes travaux participeront au développement de solutions communes à ces problèmes hétéroclites. La reconstruction tomographique est au centre de ces problèmes, tant dans le cas statique (e.g. [Bleuet, 2002 ; Lamotte, 2006 ; Valton, 2007]) que dans le cas dynamique (e.g. [Perrenot *et al.*, 2007]). La nature de mon projet de recherche m'amènera également à travailler avec les chercheurs spécialistes de l'estimation de mouvement, tant pour les applications cardiaques (e.g. [Mäkelä *et al.*, 2002, 2003 ; Clarysse, 2005]) qu'abdomino-thoraciques (e.g. [Boldea *et al.*, 2008 ; Sarrut *et al.*, 2006, 2007]).

Par ailleurs, le CREATIS a une vocation pluridisciplinaire qui correspond à mes travaux passés et à l'ambition de mon projet de recherche. Son implantation à l'**hôpital neuro-cardiologique des Hospices Civils de Lyon (HCL)** me permettra de développer l'application cardiaque et je pourrai interagir avec les radiologues ayant du temps dédié à la recherche pour veiller à l'intérêt et à la validité clinique de mes travaux. Par ailleurs, le CREATIS est aussi implanté au **Centre Léon Bérard (CLB)** ce qui me permettra de prolonger mes travaux pour la radiothérapie du cancer des poumons. Je pourrai également envisager, avec les radiothérapeutes et les médecins médicaux de ce centre, l'application aux autres organes concernés par le mouvement respiratoire (foie, rein...).

Enfin, le CREATIS dispose de l'infrastructure et du personnel compétent pour la mise en oeuvre de mon projet sur **clusters et grilles de calculs**. Deux recrutements récents, un ingénieur et un chargé de recherche CNRS ont pour mission de développer cette activité au sein du laboratoire.

4.2 Collaborations

Collaborations nationales

La tomographie et la compensation de mouvements sont des thématiques qui touchent de nombreux laboratoires au niveau national. Cette communauté de thématiques incite au développement de projets communs. Je me suis ainsi inséré au cours de mon doctorat dans le projet ANR *Tomographie et Reconstruction 3D conique pour l'Imagerie Interventionnelle Dynamique* (ToRIID). Ce projet a notamment permis une collaboration avec Laurent Desbat du laboratoire TIMC-IMAG de Grenoble [Desbat *et al.*, 2007a ; Rit *et al.*, In press].

Je souhaite renouveler avec le CREATIS ce type d'expérience dans le futur pour mutualiser les savoir-faire scientifiques entre laboratoires compétents dans le domaine. Les projets futurs pourront inclure entre autres les laboratoires participants au projet ToRIID (TIMC-IMAG de Grenoble et LAHC de Saint-Etienne).

Collaborations internationales

Mon séjour postdoctoral dans le département de radiothérapie du **Nederlands Kanker Instituut (NKI)** m'a permis de nouer des liens avec l'équipe de recherche dirigée

par Marcel van Herk. Outre ses performances scientifiques, les points forts de cette équipe sont sa capacité à transférer aux traitements cliniques ses progrès en traitement d'images médicales et ses liens étroits avec l'industrie pour la diffusion mondiale de ces transferts. Récemment, ces liens ont abouti à la diffusion du logiciel *X-ray Volume Imaging* (XVI), vendu avec les accélérateurs linéaires *Synergy* pour la radiothérapie par la société Elekta.

Dans le futur, je souhaite initier une collaboration entre le NKI et le CREATIS. Cette collaboration permettra un échange scientifique et médicale ainsi que le partage de ressources, notamment des données images. La société Elekta sera également un partenaire de choix pour cette collaboration puisqu'elle est déjà engagée dans des collaborations distinctes avec le CREATIS et le NKI.

5 Avis scientifiques

- ◇ Isabelle MAGNIN, Directrice de Recherche INSERM, CREATIS, Lyon.
- ◇ Laurent DESBAT, Professeur, Université Joseph Fourier, Grenoble ;
- ◇ Marcel VAN HERK, Professeur, Nederlands Kanker Instituut (NKI), Amsterdam ;
- ◇ Jan-Jakob SONKE, PhD, Nederlands Kanker Instituut (NKI), Amsterdam ;

Lyon le 4 janvier 2009

Lettre d'accueil pour Simon Rit**Candidat CR2 Cnrs à CREATIS**

Simon Rit est un jeune candidat, qui a présenté l'an dernier puis cette année 2 séminaires au laboratoire, l'un sur ses travaux de recherche qu'il a menés en thèse au LIRIS et l'autre sur ses résultats récents obtenus en post-doctorat à Amsterdam en reconstruction de structures en mouvement. Ses compétences, son dynamisme et sa détermination à s'engager dans une carrière de recherche au Cnrs ont séduit tous ceux qui ont eu l'opportunité de l'écouter.

Simon Rit propose un projet de recherche en imagerie tomographique dynamique dans l'objectif d'intégrer CREATIS comme CR2 CNRS. Son projet est centré sur les problèmes inverses, plus spécifiquement sur la reconstruction 3D avec prise en compte d'a priori de mouvement. Les enjeux théoriques et applicatifs sont importants, les verrous à lever bien identifiés.

La Direction de l'unité soutient vivement le projet et le candidat. En effet, l'objectif de l'unité est de renforcer son pôle *problèmes inverses* pour atteindre une taille critique et permettre l'émergence d'une jeune équipe qui pourrait être portée par Simon Rit. Ce jeune candidat est apparu très prometteur lors des différents échanges que nous avons eus, c'est pourquoi j'émet un avis extrêmement favorable à son recrutement à CREATIS sur un poste de Chargé de Recherche CNRS.

Lyon, le 4 janvier 2009

Isabelle MAGNIN, *Directeur*



Laboratoire TIMC – IMAG
(UMR CNRS 5525)
Institut d'Ingénierie de l'Information de Santé
FACULTE DE MEDECINE DE GRENOBLE
UNIVERSITE JOSEPH FOURIER
38706 LA TRONCHE cedex
FRANCE



Laurent DESBAT, Professeur UJF
Tél. +33 (0)4 56 52 00 51
Télécopie : +33 (0)4 56 52 00 55
Secrétaire : +33 (0)4 56 52 00 07
Mél: Laurent.Desbat@imag.fr
CNRS

à Membres des comités du

Lettre de recommandation pour la candidature de Simon Rit à un poste de chargé de Recherche au CNRS.

La Tronche, le 08/01/08,

J'ai travaillé avec Simon Rit et David Sarrut sur les méthodes algébriques de reconstruction en tomographie dynamique. A cette occasion, j'ai pu constater que Simon est un chercheur rigoureux qui a développé des méthodes de reconstruction algébriques efficaces en tomographie dynamique, basées sur des approches originales issues du domaine de la vision. Simon Rit a mené un travail ambitieux de validation de ses approches sur des données synthétiques mais aussi sur des données de patient avec une méthodologie précise et rigoureuse. Son travail de recherche est une contribution significative à la reconstruction en tomographie dynamique par des méthodes algébriques. Il démontre que lorsque la déformation du patient est bien identifiée, sa compensation lors de la reconstruction par des méthodes algébriques est réalisable. Ses méthodes ouvrent la voie à des applications de la tomographie dynamique partir d'images radiologiques en radiothérapie (dosimétrie plus précise, optimisation de la dose réellement délivrée au patient), ce qui est essentiel pour le traitement des patients. Enfin la poursuite de ses recherches pourraient bénéficier largement à d'autres domaines d'application comme l'imagerie nucléaire.

Pour toutes ces raisons, je soutiens fortement sa candidature à un poste de chargé de Recherche au CNRS.

Bien cordialement,

Laurent Desbat

To whom it may concern

E-mail: portal@nki.nl Tel: +31 (0)20-5122212 Fax: +31 (0)20-5121592 6 January 2009

This letter is intended to serve as recommendation for Simon Rit. I have been acquainted with Simon Rit since 2005, when I met him and his professor (David Sarrut) at the ASTRO meeting in front of his poster. At that time his work was just starting, and the method presented there was a rather crude (and slow) way of detecting respiration phase in cone beam CT (CBCT) projection images. I became much better aware of Simon's work when I acted as an opponent at his PhD defense at the end of 2007 and studied his thesis in detail. The work in the thesis on motion compensation during cone beam reconstruction is theoretically very interesting, very well validated, and could form a major improvement in image quality for thoracic CBCT. However, the work lacked practical implementation. After Simon's PhD we were lucky to attach him to our image guided radiotherapy research team as a postdoc - first for one year, and now his contract has been extended to four years. In our institute, he has worked on the same topic, and has completely succeeded in bridging that gap between theory and practice: he has indeed succeeded in building a practical implementation of motion compensated reconstruction. What is special about his work is that the deformable reconstruction runs in-line and is so fast that it completes within seconds after the end of image acquisition. This work was submitted to MICCAI and was awarded an oral presentation and an award for the best paper. For us, Simon's theoretical background and thorough experimental approach has been a great addition to our team that is highly focused on practical implementation: getting it into the clinic. As side product of his work, he has contributed significantly to improvements in quality and speed of our reconstruction code. He has a great drive for clean and highly efficient software implementation, and no details are overlooked. In that sense he is clearly a top player in our team. As an example of his motivation, Simon has, on my instigation, performed the first live in-line motion compensated reconstruction on the last night before he would leave to MICCAI (in New York) to prove that his algorithm actually worked in practice. For this he had to work until after midnight.

Besides this work, Simon has been very helpful in other tasks: he has optimized, expanded, and thoroughly tested the phase extraction algorithm we use for 4D CBCT reconstruction, he is testing and implementing our optical-flow based deformable reconstruction code on a linux cluster, and he has helped with improvements in many other algorithms. This work will allow us to implement in-line motion compensated reconstruction in our clinic within a few months from now.

As a person, Simon is very likable, easily approachable, very enthusiast and always willing to help out. For example, he is now the daily supervisor of a student from the Utrecht University adapting our deformable registration algorithm to deal with anatomical changes such as tumor growth and shrinkage. Another example is that I have asked him (and he quickly agreed) to act as abstract reviewer for 4D radiotherapy contributions for WC2009, a task for which that he certainly now has the knowledge and quality. He has good insight in the literature and has a structured collection of references to key papers and algorithms.

A Plesmanlaan 121, 1066 CX Amsterdam
T 020 512 9111
I www.nki.nl
KvK 41200568 te Amsterdam
BTW NL0025.62.169 B01
Bank ABN-AMRO 54.87.11.089 Postbank 29.89.455

His English writing has high quality, and his papers are submitted after much less revision rounds as other researchers in our group. He has recently submitted a full paper on motion compensated reconstruction to Med. Phys which was tentatively accepted with revision. In combination with his MICCAI paper, he has produced two high quality papers within one year: a very good score for the first year of a postdoc. I expect him to keep at this tempo.

Simon is clearly a motivated young man of numerous talents and considerable self discipline. He is fun-loving, likable, enthusiastic, trusting and trustworthy.

Yours sincerely,



Prof. Dr. Marcel van Herk
Physicist



Jan-Jakob Sonke, PhD
Department of radiation oncology
The Netherlands cancer institute / Antoni van Leeuwenhoek hospital
Plesmanlaan 121
1066 CX Amsterdam
The Netherlands
j.sonke@nki.nl

Subject: Letter of recommendation

Amsterdam December 30, 2008

To whom it may concern,

I'm a project leader on several projects regarding image guided radiotherapy at the department of radiation oncology. I'm pleased to write this letter of recommendation for Simon Rit who works as a postdoctoral fellowship in my group. We have recruited Simon Rit in 2007 based on his excellent work during his PhD on motion compensated cone-beam CT reconstruction. Simon Rit proved to be versatile researcher that easily masters new knowledge, showed good experimental and analytic skills and proved to be a strong asset to the group.

I'm happy to provide additional information if required.

Yours sincerely

Jan-Jakob Sonke

6 Références citées

- P. BLEUET : *Reconstruction 3D par tomosynthèse généralisée. Application à l'imagerie médicale par rayons X*. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2002.
- V. BOLDEA, G.C. SHARP, S.B. JIANG et D. SARRUT : 4D-CT lung motion estimation with deformable registration : quantification of motion nonlinearity and hysteresis. *Med Phys*, 35(3):1008–1018, Mar 2008.
- P. CLARYSSE : Analyse d'images cardiaques assistée par les modèles. H.D.R., INSA Lyon / Université Claude-Bernard Lyon I, 2005.
- B. DE MAN et S. BASU : Distance-driven projection and backprojection in three dimensions. *Phys Med Biol*, 49(11):2463–2475, Jun 2004.
- L. DESBAT, S. RIT, R. CLACKDOYLE, C. MENNESSIER, E. PROMAYON et S. NTALAMPEKI : Algebraic and analytic reconstruction methods for dynamic tomography. In *IEEE Engineering in Medicine and Biology Conference (EMBC)*, pages 726–730, Lyon, France, 2007a.
- L. DESBAT, S. ROUX et P. GRANGEAT : Compensation of some time dependent deformations in tomography. *IEEE Trans Med Imaging*, 26(2):261–269, Feb 2007b.
- D.J. HAWKES, G. PENNEY, D. ATKINSON, D. BARRATT, J. BLACKALL, T. CARTER, W.R. CRUM, J. MCCLELLAND, C. TANNER, S. TARTE et M. WHITE : Motion and biomechanical models for image-guided interventions. In *IEEE International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI)*, pages 992–995, 12–15 April 2007.
- M. KACHELRIESS, M. KNAUP et O. BOCKENBACH : Hyperfast parallel-beam and cone-beam backprojection using the cell general purpose hardware. *Med Phys*, 34(4):1474–1486, Apr 2007.
- T. LAMOTTE : *Reconstruction 3D de la microarchitecture osseuse 'a partir d'un nombre limité de radiographies : apport de techniques de régularisation*. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2006.
- D.A. LOW, P.J. PARIKH, W. LU, J.F. DEMPSEY, S.H. WAHAB, J.P. HUBENSCHMIDT, M.M. NYSTROM, M. HANDOKO et J.D. BRADLEY : Novel breathing motion model for radiotherapy. *Int J Radial Oncol Biol Phys*, 63(3):921–929, Nov 2005.
- T. MÄKELÄ, P. CLARYSSE, O. SIPILÄ, N. PAUNA, Q.C. PHAM, T. KATILA et I.E. MAGNIN : A review of cardiac image registration methods. *IEEE Trans Med Imaging*, 21(9):1011–1021, Sep 2002. URL <http://dx.doi.org/10.1109/TMI.2002.804441>.
- T. MÄKELÄ, Q.C. PHAM, P. CLARYSSE, J. NENONEN, J. LÖTJÖNEN, O. SIPILÄ, H. HÄNNINEN, K. LAUERMA, J. KNUUTI, T. KATILA et I.E. MAGNIN : A 3-D model-based registration approach for the PET, MR and MCG cardiac data fusion. *Med Image Anal*, 7(3):377–389, Sep 2003.
- K. MUELLER, F. XU et N. NEOPHYTOU : Why do commodity graphics hardware boards (GPUs) work so well for acceleration of computed tomography? In *SPIE Medical Imaging*, volume 6510, San Diego, California, USA, 2007.

- F. NOO, R. CLACKDOYLE et J.D. PACK : A two-step Hilbert transform method for 2D image reconstruction. *Phys Med Biol*, 49(17):3903–3923, Sep 2004.
- B. PERRENOT, R. VAILLANT, R. PROST, G. FINET, P. DOUEK et F. PEYRIN : Motion correction for coronary stent reconstruction from rotational X-ray projection sequences. *IEEE Trans Med Imag*, 26(10):1412–1423, 2007.
- D. REY, G. SUBSOL, H. DELINGETTE et N. AYACHE : Automatic detection and segmentation of evolving processes in 3D medical images : Application to multiple sclerosis. *Med Image Anal*, 6(2):163–179, Jun 2002.
- S. RIT, D. SARRUT, V. BOLDEA et C. GINESTET : Extraction du signal respiratoire à partir de projections cone-beam. *Traitement du signal*, 23(3–4):307–319, 2006.
- S. RIT, D. SARRUT et L. DESBAT : Comparison of analytic and algebraic methods for motion-compensated cone-beam CT reconstruction of the thorax. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, In press.
- S. RIT, J. WOLTHAUS, M. VAN HERK et J.-J. SONKE : Motion-compensated cone-beam CT for accurate online assessment of the position of lung tumors. *In Proceedings of the 27th Annual ESTRO Meeting*, 2008a.
- S. RIT, J. WOLTHAUS, M. VAN HERK et J.-J. SONKE : On-the-fly motion-compensated cone-beam CT using an a priori motion model. *In Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI)*, volume 5241, pages 729–736, New York, USA, 2008b. **Young investigator award.**
- S. RIT, J. WOLTHAUS, M. VAN HERK et J.-J. SONKE : On-the-fly motion-compensated cone-beam CT using an a priori model of the respiratory motion. *Medical Physics*, 2009. **Tentatively accepted with revision.**
- D. SARRUT, V. BOLDEA, S. MIGUET et C. GINESTET : Simulation of four-dimensional CT images from deformable registration between inhale and exhale breath-hold CT scans. *Med Phys*, 33(3):605–617, Mar 2006.
- D. SARRUT, B. DELHAY, P.-F. VILLARD, V. BOLDEA, M. BEUVE et P. CLARYSSE : A comparison framework for breathing motion estimation methods from 4-D imaging. *IEEE Trans Med Imaging*, 26(12):1636–1648, Dec 2007.
- S. VALTON : *Reconstruction tomographique 3D en géométrie conique à trajectoire circulaire pour des prototypes d'imageur bimodal pour le petit animal*. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées, 2007.
- R. ZENG, J.A. FESSLER et J.M. BALTER : Estimating 3-D respiratory motion from orbiting views by tomographic image registration. *IEEE Trans Med Imaging*, 26(2):153–163, Feb 2007.
- Q. ZHANG, A. PEVSNER, A. HERTANTO, Y.-C. HU, K.E. ROSENZWEIG, C. CLIFTON LING et G.S. MAGERAS : A patient-specific respiratory model of anatomical motion for radiation treatment planning. *Med Phys*, 34(12):4772–4781, Dec 2007.