

Collaboration entre CREATIS et dept. Sistemas y Computación, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombie

Responsable côté CREATIS : Maciej Orkisz, professeur

Responsable côté Universidad de los Andes: Marcela Hernández Hoyos, profesor asistente

Historique

Les contacts avec la Faculté de l'Ingénierie de l'université de Bogota ont débuté au cours de la thèse de Marcela Hernández-Hoyos soutenue en 2002. L'accord entre les deux établissements a été signé le 13 février 2002. Dans ce cadre, nous avons accueilli à CREATIS, en stage de DEA Images & Systèmes (puis Master SIDS option ISSI), trois étudiants colombiens : Eduardo Dávila, Leonardo Flórez Valencia et Juan Francisco Carrillo, qui ont obtenu les diplômes de deux établissements Universidad de los Andes et INSA de Lyon, les deux derniers ayant bénéficié de véritables co-tutelles (notos ici le diplôme de Juan Francisco Carrillo, avec un excellent classement à Lyon et distingué par la mention « cum lauda » à Bogota). Leonardo Flórez Valencia a ensuite préparé à CREATIS sa thèse (2006). Nous avons aussi accueilli un autre doctorant colombien, Hector Duque, qui a soutenu sa thèse en 2005. Sur la base de ces échanges, nous avons bâti un projet commun de recherche, portant sur la gestion et le calcul distribués appliqués aux données médicales. Le domaine d'application privilégié était l'étude de la bifurcation carotidienne, réalisé en collaboration avec l'équipe de biomécaniciens de l'université de Bogota (professeur Juan-Carlos Briceño). Il s'agissait de déterminer les conditions d'écoulement du sang en fonction de la géométrie vasculaire individuelle de chaque patient, déterminée par le traitement d'images 3D. Ce projet a obtenu, pour 2 ans, un soutien dans le cadre du programme ECOS Nord (numéro de référence C03S02). Dans ce cadre, le responsable français du projet a effectué en 2004 un séjour très fructueux en Colombie et nous avons accueilli à CREATIS plusieurs chercheurs : Julián Arias, Juan-Carlos Briceño, Elsa Nieto Pradilla. Le projet est arrivé à échéance, mais la collaboration se poursuit. Marcela Hernández-Hoyos, devenue enseignant-chercheur à la Universidad de los Andes, est notre interlocuteur privilégié et nous continuons des projets communs. La collaboration avec la Colombie a déjà donné lieu à de nombreuses publications communes. Citons seulement les travaux déjà publiés, cosignés par le responsable français avec Marcela Hernández Hoyos, Leonardo Flórez Valencia et Juan Francisco Carrillo : 9 articles dans des journaux, 2 chapitres dans des ouvrages, 11 articles et 14 résumés dans des conférences internationales et nationales. Notons également un élément très important : un logiciel nommé Maracas, développé dans le cadre de la thèse de Marcela Hernández Hoyos, avec concours de Leonardo Flórez Valencia, et aujourd'hui commercialisé par la société MedaSys. Depuis le début 2007, nous avons à nouveau le soutien dans le cadre du programme ECOS Nord (C07M04) pour un projet portant sur la génération de fantômes (modèles) vasculaires, informatiques et physiques, à partir d'images médicales 3D. Ceci a permis au responsable français d'effectuer en janvier 2007 un deuxième séjour à Bogota, dont le programme et les fruits ont été très riches. Citons seulement la signature du renouvellement de la convention de collaboration entre l'INSA de Lyon et la Universidad de los Andes, pour cinq ans et la mise en place d'un programme d'accueil systématique à CREATIS de trois étudiants colombiens par an, pour leurs projets de fin d'études d'ingénieur (y compris le recrutement de candidats), recrutement d'un candidat pour un projet de recherche Master, le démarrage de la thèse en cotutelle de María Alejandra Zuluaga Valencia, ainsi que la première réunion avec des responsables de la Universidad Javeriana, visant à mettre en place une collaboration scientifique. Cette dernière démarche s'explique en particulier par le fait que

mon ancien doctorant, Leonardo Flórez Valencia, vient d'obtenir un poste d'enseignant-chercheur dans cet établissement prestigieux.

Projet

La collaboration entre les deux institutions concerne le domaine du traitement d'images médicales tridimensionnelles. Elle a jusqu'à présent impliqué des projets de recherche et échanges au niveau du troisième cycle. Cependant, la montée en puissance de ces projets fait ressentir une nécessité d'une plate-forme de développements informatiques commune. En effet, le traitement d'images médicales tridimensionnelles fait appel à des outils informatiques très complexes, afin de visualiser les images, les maillages et autres résultats des traitements, et d'interagir avec ces éléments. La force de notre collaboration réside dans une grande complémentarité : le partenaire français apporte surtout des compétences en traitement d'images médicales, tandis que le partenaire colombien est surtout spécialisé en informatique (architecture de logiciels, infographie, interface homme-machine...), tout en ayant une partie de compétences communes qui facilitent le dialogue et qui permettent de réaliser le même projet en partie de chaque côté de l'océan.

Ainsi, nous avons décidé de renforcer la collaboration au niveau recherche, par une collaboration au niveau développement. Il s'agit donc de mettre en place une plate-forme logicielle et une librairie de composants graphiques associés à des traitements, afin de permettre une intégration aisée d'algorithmes. Ainsi, les chercheurs auront la possibilité, sans être experts en programmation, de réaliser rapidement, avec un investissement minimum, des applications pour le test, la démonstration et l'évaluation pré-clinique. Il s'agit également de fournir un moyen d'intégration aisée des algorithmes déjà existants, tant chez les partenaires, (pour les besoins de mutualisation, de factorisation, de pérennité des travaux de recherche) que dans les librairies libres comme ITK (pour les besoins de comparaison). A terme, nous comptons poursuivre les développements par un empaquetage utilisable en clinique, des applications préalablement validés sur la plate-forme d'intégration - aboutissant ainsi à des produits comparables à Maracas. En attendant, des nouvelles fonctionnalités doivent être développées pour Maracas lui-même.

Ces développements informatiques, venant en support aux projets de recherche peuvent parfaitement être réalisés par des stagiaires colombiens, dans le cadre de leurs projets de fin d'études d'ingénieur effectué en France (1 semestre), sous la responsabilité directe des ingénieurs informaticiens de CREATIS, après une préparation (1 semestre) sous la responsabilité des professeurs colombiens et en contact avec un ingénieur de CREATIS chargé de coordonner cette mission, à savoir Eduardo E. Dávila. Lui-même diplômé (Master) du département Sistemas y Computación de la Universidad de los Andes, mais aussi titulaire d'un diplôme Master obtenu à CREATIS, ce coordonnateur est le mieux armé pour piloter à distance ce type de projets. Cependant, le travail collaboratif en général et sur des applications impliquant l'aspect visuel et interactif en particulier, nécessite des outils adaptés. Les outils classiques (e-mail, tchat, téléconférence conventionnelle) ne suffisent pas. Au cours d'une téléconférence, il faut pouvoir exécuter ensemble des applications, interagir ensemble sur ces applications, pour échanger directement des remarques sur le fonctionnement, etc. Le développement de ce type d'outil est donc une urgence, et le partenaire colombien souhaite le doter de fonctionnalités de réalité immersive, domaine dont il est spécialiste et qui peut apporter une innovation majeure dans les applications d'imagerie médicale tridimensionnelle.

En résumé, nous allons réaliser des développements informatiques communs pour les deux partenaires, venant en support des projets de recherche. Ce développements concerneront, dans l'immédiat, trois axes : 1) téléconférence enrichie, avec un volet de réalité immersive, 2) plate-forme d'intégration d'algorithmes, dans un environnement graphique, et 3) nouvelles fonctionnalités pour Maracas. Pour ce faire, nous comptons mettre en place un flux continu de

trois étudiants colombiens par an qui viendraient en France chacun pendant un semestre, pour réaliser leur projet de fin d'études d'ingénieur, après avoir réalisé un semestre de préparation en Colombie. Pour ces étudiants, nous allons systématiquement solliciter le support financier sur la base du programme MIRA. Chacun des candidats a été sélectionné avec l'aide d'enseignants de l'établissement colombien sur la base d'excellents résultats universitaires et de solides recommandations.

Nous n'oublions pas pour autant les projets de recherche correspondants. Dans l'immédiat, nous sollicitons un support MIRA pour pouvoir accueillir en France pendant un an à partir de septembre 2007 : María Alejandra Zuluaga Valencia qui vient de commencer, pour l'instant du côté colombien, sa thèse en cotutelle (précisons que la convention de cotutelle est déjà signée), ainsi que Fernando Yopez pour préparer son diplôme Master SIDS option ISSI. De plus, nous espérons que certains parmi les stagiaires les plus brillants, réalisant leur projet de fin d'étude, dans le cadre de l'échange décrit ci-dessus, reviendront à CREATIS pour poursuivre leur formation par la recherche au niveau du 3^e cycle.

Références des travaux publiés

Publications dans des revues spécialisées avec comité de lecture

- [1] Carrillo J.F., Hernández Hoyos M., Dávila E.E., Orkisz M., Recursive tracking of vascular tree axes in 3D medical images, *Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 2007, 1 : 6, sous presse.
- [2] Hernández Hoyos M., Serfaty J.-M., Maghiar A., Mansard C., Orkisz M., Magnin I.E., Douek P.C., Evaluation of semi-automatic arterial stenosis quantification, *Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 2006, 1 : 3, 167-175.
- [3] Hernández Hoyos M., Orłowski P., Piatkowska-Janko E., Bogorodzki P., Orkisz M., Vascular centerline extraction in 3D MR angiograms for phase contrast MRI blood flow measurement, *Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 2006, 1 : 1, 51-61.
- [4] Hernández Hoyos M., Orkisz M., Douek P.C., Magnin I.E., Assessment of carotid artery stenoses in 3D contrast-enhanced magnetic resonance angiography, based on improved generation of the centerline, *Machine Graphics & Vision*, 2005, 14 : 4, 349-378.
- [5] Flórez Valencia L., Montagnat J., Orkisz M., 3D graphical models for vascular-stent pose simulation, *Machine Graphics & Vision*, 2004, 13 : 3, 235-248.
- [6] Marchand B., Douek P.C., Robert P., Corot C., Roux J.P., Adeleine P., Hernández Hoyos M., Crémillieux Y., Orkisz M., Canet E., "Standardized MR protocol for the evaluation of MRA sequences and/or contrast agents effects in high-degree arterial stenosis analysis". *MAGMA*, 14, 2002, 259-267.
- [7] Hernández Hoyos M., Orkisz M., Puech P., Mansard-Desbleds C., Douek P.C., Magnin I.E., "Computer assisted analysis of three-dimensional MR angiograms", *RadioGraphics*, 2002, 22, 421-436.
- [8] Marchand B., Hernández Hoyos M., Orkisz M., Douek P., Diagnostic des Sténoses de l'Artère Rénale en Angiographie par Résonance Magnétique et Appréciation du Degré de Sténose. *Journal des Maladies Vasculaires*, Masson, 2001, 25:5, 312-320.
- [9] Orkisz M., Hernández-Hoyos M., Douek P., Magnin I. "Advances of blood vessel morphology analysis in 3D magnetic resonance images", *Machine Graphics & Vision*, 9:1/2, 2000, 463-471.

Chapitres d'ouvrage

[10] Orkisz M., Hernández-Hoyos M., "Podstawy technik segmentacji stosowanych w przetwarzaniu obrazów 3D naczyń krwionośnych", in: Polska Akademia Nauk. Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000, M. Nalecz (Ed.), Vol. 8 : Obrazowanie biomedyczne, L. Chmielewski, J.L. Kulikowski, A. Nowakowski (Eds.), Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa (Pologne), 2004, ch. 10, 351-372.

[11] Orkisz M., Hernández-Hoyos M., "Développement récent dans le traitement d'images : principes des techniques de segmentation", in: Angiographie par Résonance Magnétique, P.C. Douek, J.-P. Laissy, C. Lévy, H. Trillaud (Eds.), Masson, 2002, 62-73.

Communications dans des colloques avec actes (articles complets à l'exception de 2 résumés)

[12] Flórez Valencia L., Baltaxe Milwer M., Hernández Hoyos M., Vincent F., Douek P.C., Magnin I.E., Orkisz M., Fast marching level-sets for the extraction of vascular cross-sectional contours in CT angiography images, 21st CARS - Computer Assisted Radiology and Surgery, Berlin, Germany, June 2007, poster accepted.

[13] Flórez Valencia L., Azencot J., Vincent F., Orkisz M., Magnin I.E., Segmentation and quantification of blood vessels in 3d images using a right generalized cylinder state model, Int. Conf. Image Processing, Atlanta, GA, USA, Oct. 8-11, 2006, 2441-2444.

[14] Carrillo J.F., Hernández Hoyos M., Orkisz M., Vascular tree extraction from 3D images. 20th Computer Assisted Radiology and Surgery, Osaka (Japon), 28 juin - 1^{er} juillet, 2006, p. 462 (poster).

[15] Carrillo J.F., Hernández Hoyos M., Orkisz M., Automatic vascular tree segmentation, XXXII Conferencia Latinoamericana de Informática, Santiago de Chile, Chile, Aug. 20-26, 2006, p. 174 (abstract), article complet 8 p. sur CD (ISBN: 956-303-028-1).

[16] Carrillo J.F., Orkisz M., Hernández Hoyos M., Extraction of 3D vascular tree skeletons based on the analysis of connected components evolution, 11th Int. IAPR Conf. Computer Analysis of Images and Patterns (CAIP 2005), Versailles (France), 5-8 septembre, 2005, (André Galalowicz, Wilfried Philips Eds.) Springer, Lecture Notes in Comp. Science 3691, 604-611.

[17] Hernández Hoyos M., Orłowski P., Piatkowska-Janko E., Bogorodzki P., Orkisz M., Vascular centreline extraction in 3D MR angiograms to optimise acquisition plane for blood flow measurement by phase contrast MRI. 19th Computer Assisted Radiology and Surgery, Berlin (Germany), 22-26 juin, 2005, (Lemke H.U., Inamura K., Doi K., Vannier M.W., Forman A.C., Eds.) Elsevier, Int. Congress Series 1281, 345-350.

[18] Flórez Valencia L., Vincent F., Orkisz M., Fast 3D pre-segmentation of arteries in computed tomography angiograms. Int. Conf. Computer Vision and Graphics, Varsovie (PL), Sept. 2-24, 2004, livre de résumés pp. 87-88, actes avec articles complets à paraître chez Kluwer.

[19] Flórez Valencia L., Montagnat J., Orkisz M., 3D graphical models for vascular-stent pose simulation. Int. Conf. Computer Vision and Graphics, Zakopane (PL), Sept. 25-29, 2002, 259-266.

[20] Orkisz M., Hernández Hoyos M., From inertia matrix to the analysis of vascular pathologies, Int. Conf. Computer Vision and Graphics, Zakopane (PL), Sept. 25-29, 2002, 6-15 (conférence invitée).

[21] Orkisz M., Hernández Hoyos M., Models for 3D vascular image analysis. Med. Informatics and Technologies, Jaszowiec (PL), Nov. 8-10, 2001, IP13-IP22 (conférence invitée).

[22] Hernández Hoyos M., Anwander A., Orkisz M., Roux J.-P., Douek P.C., Magnin I.E., A Deformable Vessel Model with Single Point Initialization for Segmentation, Quantification and Visualization of Blood Vessels in 3D MRA. MICCAI, Pittsburgh PA, Oct. 9-13, 2000, 735-745.

[23] Hernández Hoyos M., Orkisz M., Roux J.-P., Douek P. "Inertia-Based Vessel Axis Extraction and Stenosis Quantification in 3D MRA Images". Computer Assisted Radiology and Surgery, Paris, Juin 1999, 189-193.

[24] Orkisz M., Hernández Hoyos M., "Développements récents dans le traitement d'images: principes des techniques de segmentation d'images vasculaires 3D". 2-èmes Journées du Groupe de Recherche et de Réflexion en Angiographie par Résonance Magnétique, Paris 5-6 juin 1998, 94-103 (conférence invitée).

Communications dans des colloques médicaux avec actes (résumés)

[25] Carrillo J.F., Hernández Hoyos M., Dávila E.E., Orkisz M., Segmentación y visualización arterial en ARM y TAC, XXXI Congreso Colombiano de Radiología, Cartagena Cartagena de Indias, Colombia, Oct. 12-15, 2006, p. 21-22 (abstract). ISSN: 1909-5112.

[26] Hernández-Hoyos M., Magnin I.E., Douek P.C., Orlowski P., Piatkowska-Janko E., Bogorodzki P., Orkisz M., Optimisation of acquisition plane selection for blood flow measurement by phase contrast MRI, based on vascular centreline extraction in 3D MR angiograms, Forum de Recherche en Génie Biologique et Médical, Nancy (France), 21-23 mars, 2005, 86-87.

[27] Hernández-Hoyos M., Orkisz M., Magnin I.E., Douek P.C., Quantification de la sténose artérielle dans des images ARM 3D fondée sur l'extraction automatique de l'axe central du vaisseau, Journal de Radiologie, 83:10, Livre des Résumés Journées Françaises de Radiologie, Paris (France), 19-23 octobre, 2002, p. 1423.

[28] Hernández-Hoyos M., Orkisz M., Magnin I.E., Douek P.C., Automated generation of vessel centerlines and volumetric assessment of stenoses from MRA images. Proc. of XIV Int. Workshop on MRA, Essen (Germany), Oct. 9-12, 2002, 140.

[29] Mansard-Desbleds C., Hernández Hoyos M., Orkisz M., Puech P., Chaabane L., Serfaty J.-M., Magnin I.E., Douek P.C., Automatic image segmentation and stenosis quantification applied to MRA and to high resolution MR images. Proc. of 2nd Int. Workshop on Coronary MR and CT Angiography, Chicago IL, Oct. 1-2, 2001.

[30] Mansard-Desbleds C., Hernández Hoyos M., Orkisz M., Puech P., Chaabane L., Serfaty J.-M., Magnin I.E., Douek P.C., Automatic image segmentation and stenosis quantification applied to MRA and to high resolution MR images. Proc. of XIII Int. Workshop on MRA, Madison WI, Sept. 26-29, 2001.

[31] Marchand B., Douek P.C., Robert P., Corot C., Roux J.P., Adeleine P., Hernández Hoyos M., Crémillieux Y., Orkisz M., Canet E., Value of MRA Sequences and Contrast Agents For the Evaluation of High-Degree Stenosis: A Phantom Study. 9th ISMRM Annual Meeting, Glasgow (UK), April 21-27, 2001, abstract 1958.

- [32] Hernández Hoyos M., Orkisz M., Roux J.-P., Magnin I.E., Douek P.C., Maracas (MAGnetic Resonance Angiography Computer ASSisted Analysis): An Interactive Software for Visualization and Analysis of Blood Vessels in 3D MRA Providing Automatic Quantification of the Arterial Stenosis. InfoRAD at RSNA 86th Annual Meeting, Chicago (Illinois), Nov. 26 - Dec. 1 2000, p.700.
- [33] Hernández Hoyos M., Orkisz M., Roux J.-P., Magnin I.E., Douek P.C., Maracas (MAGnetic Resonance Angiography Computer ASSisted Analysis): Logiciel de visualisation et de traitement d'images ARM 3D. Journal de Radiologie, 81:10, Livre des Résumés Journées Françaises de Radiologie, InforMAG, Paris (France), 23-27 Oct. 2000, p.1524.
- [34] Hernández Hoyos M., Orkisz M., Mansard C., Anwander A., Neyran B., Roux J.-P., Boix E., Magnin I.E., Douek P.C., Maracas (MAGnetic Resonance Angiography Computer ASSisted Analysis): An Interactive Software for Visualization and Analysis of Blood Vessels in 3D MRA Providing Automatic Quantification of the Arterial Stenosis. *MAGMA*, 12, 2001, p. 47, Proc. of XII Int. Workshop on MRA, Lyon (France), Oct. 4-7 2000.
- [35] Orkisz M., Hernández Hoyos M., Magnin I.E., Douek P.C., Advances in image processing techniques applied to 3D MRA images enhancement, segmentation and quantification - A survey and contributions. *MAGMA*, 12, 2001, p. 44, Proc. of XII Int. Workshop on MRA, Lyon (France), Oct. 4-7 2000, (conférence invitée).
- [36] Orkisz M., Hernández Hoyos M., Douek P. "Automatic Vessel Axis Extraction and Equivalent Diameter Estimation from 3D MRA Data". XI Int. Workshop on MRA, Lund (Sweden), Sept 1999, Acta Radiologica Supplementum, Vol. 41, Suppl. 422, p.63 (conférence invitée).

Valorisation

MARACAS : logiciel développé par Marcela Hernández-Hoyos et par Leonardo Flórez-Valencia sous ma direction, avec le concours financier de la société Carena. Ce logiciel a obtenu le 1^{er} prix du salon InforMAG aux Journées Françaises de Radiologie, Paris, 23-27 oct. 2000. Il a fait l'objet de transfert technologique vers la plate-forme de la société MedaSys, dans le cadre du RNTS Plamaivic (2002-2004). En début 2006, un contrat de licence a été signé avec Hitachi Japon.