

Sujet de thèse

Rendu basé-image pour la navigation immersive, gestion des incertitudes et passage à l'échelle

Laboratoire MATIS

Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN)

Disciplines : Informatique graphique, Sciences de l'information géographique

Lieu de travail principal : Saint Mandé (limitrophe Paris)

Contacts : Mathieu Brédif, Alexandre Devaux

Contexte général et contexte IGN :

L'objet de cette thèse est de permettre la navigation immersive libre dans un corpus hétérogène d'images orientées, de nuages de points 3D et de maillages 3D plus ou moins précis qui puisse à la fois prendre en compte les incertitudes de géoréférencement, de calibration, de mesure et de saisie de ces données et passer à l'échelle sur des jeux de données arbitrairement grands. L'idée est de pouvoir naviguer dans ces jeux de données bruts extrêmement volumineux sans devoir nécessairement nécessiter leur recalage précis ou de post-traitements lourds et coûteux tels que la reconstruction d'un modèle 3D texturé.

La modélisation 3D d'une scène urbaine réelle est typiquement le résultat d'un processus automatique ou semi-automatique d'analyse de données images et/ou laser issues d'une ou plusieurs plateformes d'acquisition géoréférencées (satellite, aéroporté, drone, véhicule de cartographie mobile, station fixe, caméra portable, smartphone...). Cette modélisation est coûteuse voire impossible à mener si le but recherché est de modéliser l'intégralité des détails géométriques et radiométriques (couleurs) des images analysées. Cette donnée est pourtant, par définition, présente dans les images acquises. En effet, la visualisation d'un modèle 3D texturé sera difficilement plus réaliste et plus fidèle à la réalité qu'une photographie de la scène à modéliser acquise depuis le même point de vue. Les techniques de rendu basé image partent de ce constat et proposent de déformer et mélanger les images brutes avoisinantes afin de synthétiser une image virtuelle depuis un point de vue intermédiaire afin de permettre une navigation immersive libre dans la scène.

Certaines applications de visualisation ou de réalité augmentée telle que la visite virtuelle sur le web (musée, tourisme...), la visualisation d'un projet d'urbanisme ou d'architecture dans le civil ou la préparation de mission ou d'intervention dans le domaine militaire ne nécessitent pas nécessairement de reconstruction et de sémantisation de la scène visualisée. Il apparaît donc alors superflu de modéliser précisément tous les éléments d'une scène pour ces applications, du moment que la qualité de l'interpolation de point de vue est suffisante. Il est donc possiblement à la fois plus réaliste et moins onéreux d'utiliser un rendu basé image couleur+profondeur qu'une visualisation d'une modélisation précise de la scène. L'estimation de la profondeur est en effet requise dans les applications de réalité augmentée pour l'insertion d'un objet virtuel dans l'image synthétisée. [Brédif13] montre un exemple d'application d'une méthode de rendu basé image, basée sur de la multi-texturation projective dépendant du point de vue, projeté sur un modèle de ville très simplifié (qualité métrique) augmenté d'une simulation de trafic routier avec des voitures virtuelles incrustées dans la vue immersive.

Problématique de recherche

L'application opérationnelle d'une visualisation en rendu basé image se heurte à deux problématiques principales qui seront étudiées dans le cadre de cette thèse : le passage à l'échelle et la gestion des incertitudes.

- **Passage à l'échelle**

Sur des chantiers typiques d'acquisition, le jeu d'images géoréférencées est généralement de taille supérieure à la celle de la mémoire graphique, de la mémoire vive principale, voire même du disque dur. Si les techniques actuelles de rendu basé image donnent de bons résultats sur des petits jeux de données, ces techniques doivent être adaptées pour être appliquées sur des jeux de données conséquents (eg : plus de 100000 images acquises par un véhicule terrestre et/ou une caméra portable). Cette thèse vise donc à répondre à ce besoin en développant un moteur de rendu basé image qui passe à l'échelle. Des recherches récentes ont levé ce verrou en matière de rendu volumique [Crassin, Laine] et de texturation (Virtual Textures [Mitting]). Elles mettent en jeu un mécanisme de cache mémoire qui charge à la volée la donnée requise pour la visualisation à la résolution adaptée en fonction du point de vue courant. Il s'agit donc d'adapter cette gestion de la mémoire au chargement des données image utilisées pour le rendu basé image. L'idée principale est que chaque pixel de l'image sélectionne, au sein du programme exécuté sur la carte graphique (fragment shader), la meilleure texture à appliquer et ordonne son chargement dans la mémoire graphique en cas d'indisponibilité. Le choix de la meilleure texture ne doit pas se baser uniquement sur la distance entre le point de vue de la texture et ceux des textures projetées, mais sur la résolution effective de celles-ci après reprojection et prise en compte des incertitudes.

- **Gestion des incertitudes**

La visualisation 3D de données géographiques prend rarement en compte la nature incertaine de leur géométrie. Les images, qu'elles soient issues de drones, de caméras aériennes, de téléphones mobiles ou de caméras portables, ne sont étalonnées et positionnées qu'avec une certaine précision (résidus images, incertitudes sur la position et l'orientation...). De même, les nuages de points laser ou photogrammétriques subissent les incertitudes des mesures de distance, de calibration, de positionnement et d'orientation de ces capteurs. Enfin les maillages peuvent être issus d'algorithmes de reconstruction de surface avec un score de confiance ou avoir été saisis selon des spécifications connues à partir de sources elles-mêmes incertaines. Par exemple la précision d'un bâtiment modélisé en 3D à partir d'une image satellite dépendra de la résolution de cette dernière. Ne pas tenir compte de ces incertitudes mène à des artefacts de visualisation (décalages entre textures, entre une texture et la géométrie texturée...) et peut donc mener à une perte de l'immersion et à une difficulté de compréhension de la scène. Alternativement, une visualisation sans artefacts visibles peut mener à sous-estimer la qualité géométrique de la scène visualisée. L'approche proposée reposera sur une méthode de rendu prenant en compte ces incertitudes qui s'initialise sur un rendu où les données sont floutées dans les directions d'incertitudes afin d'éviter les artefacts de rendu, puis qui effectue progressivement un recalage local à la volée les données visibles (3D et images) afin d'éviter ces artefacts sans avoir à dégrader les données par un flou. Il s'agit de généraliser les travaux de [Brédif'14], [Pujades14] et [Eisemann08] en traitant simultanément l'ensemble des incertitudes. Au niveau de l'initialisation, [Brédif'14] a en effet proposé une approche de rendu basé image en temps réel sans remise en cause de la géométrie des images sur un modèle 3D de géométrie incertaine. Cette approche sera améliorée dans sa gestion des modèles 3D incertains et sera étendue afin de gérer l'incertitude géométrique de calibration/positionnement/orientation des images à reprojeter, mais aussi pour permettre l'affichage de nuages de points 3D avec incertitudes (de mesure ou de géoréférencement du capteur). [Pujades14] propose une approche complémentaire intéressante de gestion de ces incertitudes. Enfin un objectif est de généraliser les travaux de [Eisemann08] aux conditions spécifiques de données incertaines géographiques (images orientées, nuages de points, modèles 3D).

Programme de travail :

Le planning de travail prévisionnel est le suivant :

- M0-M6 : État de l'art sur le rendu basé image et prise en main des données et outils.
- M6-M12 : Passage à l'échelle
 - Passage à l'échelle de la taille du corpus d'images dans le rendu basé image
 - Rédaction d'un article
- M12-M30 : Gestion des incertitudes
 - Gestion de l'incertitude de la calibration et du positionnement des images reprojctées
 - Gestion de l'incertitude de la calibration, du positionnement et de la mesure d'un nuage de points 3D lidar ou photogrammétrique
 - Amélioration de la gestion de l'incertitude sur les maillages (Extension de [Brédif14])
 - Gestion conjointe de l'ensemble des incertitudes
 - Recalage local à la volée des données points/images/maillages (Extension de [Eisemann08])
 - Interfaçage avec l'entrepôt dynamique de données développé dans le cadre du projet RAPID LI3DS.
 - Rédaction de deux articles
- M30-M36 : Rédaction du manuscrit de thèse et préparation de la soutenance

Profil attendu :

Compétences requises en informatique graphique : rendu 3D temps réel, géométrie projective 3D

Développement en Javascript/WebGL (de préférence,) ou en C++/OpenGL.

Fort intérêt pour la géo-visualisation et pour le passage à l'échelle.

Encadrement de la thèse :

Direction : Mathieu Brédif

Co-direction : en discussion

Encadrement : Alexandre Devaux

Contrat doctoral :

Afin de prétendre au co-financement DGA (50%), le candidat doit être **ressortissant de l'UE ou de nationalité suisse**.

Le contrat doctoral d'une durée de trois ans ouvre droit à une rémunération d'environ 1680 € brut (hors contribution aux frais de transports). Le contrat doctoral peut inclure pour l'ensemble de la durée de la thèse un service complémentaire d'enseignement, de diffusion de l'information scientifique et technique, de valorisation ou d'expertise. Il ouvre alors droit à une rémunération de 2020 € brut (hors contribution aux frais de transports).

Toute candidature doit inclure :

- un CV ;
- une lettre de motivation adaptée au sujet proposé ;
- un relevé de notes des dernières années d'étude ;
- l'avis du directeur de master (ou de la personne responsable du diplôme donnant l'équivalence du master) ;
- le cas échéant des lettres de recommandations.

Bibliographie :

[Laine] Samuli Laine, Tero Karras, Efficient Sparse Voxel Octrees, in ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games (I3D), February 2010

[Crassin] Cyril Crassin, Fabrice Neyret, Miguel Sainz, Elmar Eisemann. Efficient Rendering of Highly Detailed Volumetric Scenes with GigaVoxels. GPU Pro, Page(s): 643--676, A K Peters, 2010. (Inbook)

[Mittring] Martin Mittring, Advanced Virtual Texture, Advances in Real Time Rendering in 3D Graphics and Games Course, ACM SIGGRAPH, 2008

[Paparoditis] N. Paparoditis, J.-P. Papelard, B. Cannelle, A. Devaux, B. Soheilian, N. David, E. Houzay. Stereopolis II: A multi-purpose and multi-sensor 3D mobile mapping system for street visualisation and 3D metrology. *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection* 200: 69-79, October 2012.

[Brédif13] M. Brédif. Image-Based Rendering of LOD1 3D City Models for traffic-augmented Immersive Street-view Navigation. *ISPRS Annals – Volume II-3/W3, WG III/4, ICWG III/VII, CMRT13 – City Models, Roads and Traffic*, pp.7-11, Antalya, Turkey, 12–13 November 2013, Antalya, Turkey

[Brédif14] M. Brédif. Projective Texturing Uncertain Geometry: silhouette-aware box-filtered blending using integral radial images. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume II-3, *ISPRS Technical Commission III Symposium*, 5 – 7 September 2014, Zurich, Switzerland

[Eisemann08] M. Eisemann, B. De Decker, M. Magnor, P. Bekaert, E. de Aguiar, N. Ahmed, C. Theobalt, and A. Sellent, "Floating Textures", *Computer Graphics Forum (Proc. of Eurographics EG)*, vol. 27, no. 2, pp. 409–418, April 2008.

[Devaux12] Alexandre Devaux, Mathieu Brédif, and Nicolas Paparoditis. 2012. A web-based 3D mapping application using WebGL allowing interaction with images, point clouds and models. In *Proceedings of the 20th International Conference on Advances in Geographic Information Systems (SIGSPATIAL '12)*. ACM, New York, NY, USA, 586-588. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2424321.2424422>

[Pujades14] S. Pujades, F. Devernay, and B. Goldluecke, Bayesian view synthesis and image-based rendering principles. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Columbus, Ohio. June 2014. doi:10.1109/CVPR.2014.499