

PROJET DE RECHERCHE - ALBA MALAGA

Projet d'intégration dans l'équipe SIR du laboratoire XLIM

Contexte

Ce document est un complément à ma candidature à au poste N° 4273 sur le profil "Visualisation interactive de grandes quantités de données".

Donner du sens aux données

Le maître mot dans mon projet de recherche au sein du SIR est *l'interaction naturelle* : je souhaite repousser les limites des interfaces entre les gens et l'information. Les trois outils principaux que je souhaite utiliser pour cela sont les images/vidéos, la fabrication additive et les mondes virtuels.

On parle d'interaction naturelle lorsqu'une interface s'utilise et s'interprète de façon intuitive. Cette notion dépend donc du contexte - selon notre origine culturelle nous aurons plus ou moins de mal à manipuler une tablette graphique. Moins la facilité d'utilisation de l'interface dépend du contexte, plus l'interaction est naturelle.

En bref, on peut dire que l'interaction est naturelle quand on n'a pas besoin de manuel pour comprendre ce qu'il faut faire.

Je vais présenter maintenant cinq volets de mise en place de ce but général.

Création pour la fabrication additive

Dans ma vie, j'ai passé plusieurs centaines d'heures face à une classe ou bien face au grand public dans le but de vulgariser des sujets mathématiques ou scientifiques. Dans ces activités, nous nous limitons le plus souvent aux abstractions qu'on peut rendre concrètes d'une façon ou d'une autre (exception faite de l'Art-Science où les choses ne deviennent pas toujours concrètes). C'est un peu la démarche inverse de celle de la modélisation mathématique où l'on passe du concret à l'abstrait.

Parmi les concepts mathématiques abstraits ceux qui se traduisent en images permettent plus facilement de d'éveiller l'intérêt du public. Mais s'ils peuvent également se traduire en objets 3D, j'ai remarqué que l'intérêt du public est décuplé. Lorsqu'on montre au public des images représentant des concepts mathématiques, on est souvent obligé d'expliquer comment les regarder, comment les interpréter. Mais avec un objet 3D équivalent, le public peut se l'approprier beaucoup plus facilement, plus naturellement.

Un exemple concret : Herwig Hauser, mathématicien autrichien, produit depuis longtemps de belles images de surfaces algébriques (en utilisant Pov-Ray). En 2015, j'ai participé à une exposition au Vieux Port de Marseille qui montrait 20 de ses images sur panneaux géants. J'ai proposé d'imprimer des versions 3D des images - et je me suis occupée moi-même de leur production. En plus d'observer les panneaux, le public et les animateurs pouvaient ainsi manipuler les surfaces.

Pour une partie des images, il existait une version 3D. J'ai produit des fichiers pour trois autres qui n'en avaient pas encore, et j'en ai imprimé plusieurs (que j'apporterai à l'audition).

J'ai une longue liste d'objets mathématiques que je souhaiterais produire en fabrication additive - des surfaces algébriques mais aussi d'autres objets. Pour chaque objet, j'aimerais aussi

produire des images - mais pour l'interaction naturelle, c'est l'objet 3D qui m'intéresse le plus.

Pourquoi est-ce un problème de recherche ? Pourquoi ne pas faire ça comme loisir et pourquoi n'en ai-je pas produit de plus grandes quantités ? Eh bien, la fabrication additive n'a pas encore atteint un stade "grand public". On rencontre beaucoup de problèmes à la fabrication, dont je parlerai dans la section suivante, et tout l'intérêt de ce volet de mon projet de recherche est de produire directement des modèles propres - qui poseront le moins possible de problèmes à la fabrication.

Les objets mathématiques ont la particularité d'avoir souvent une description simple, utilisant peu de paramètres : par exemple toutes les surfaces algébriques de même degré sont décrites par les coefficients de l'équation qui les définit. De ce fait la résolution des problèmes liés à leur production en fabrication additive est parfois plus simple (conceptuellement) que si l'on prenait des objets 3D au hasard. Ainsi, certaines surfaces algébriques possèdent des plans - dits plans doubles - qui seraient des plans de découpe en quelque sorte canoniques lors de la préparation de l'objet pour l'impression.

Au sein de l'équipe SIR ce volet pourrait intéresser Frédéric Claux et Stéphane Mérillou.

Préprocessing pour la fabrication additive

La préparation des fichiers pour la fabrication additive se fait habituellement en deux étapes :

1. Préparer le fichier 3D, qui contiendra essentiellement une liste de facettes avec leur orientation. Le format le plus fréquent est le STL. Cette étape est indépendante de la machine qu'on utilisera pour la fabrication.
2. Préparer le fichier de parcours, qui contiendra des instructions détaillées sur le parcours de l'imprimante 3D. Le format le plus fréquent est le GCode. Ce fichier est propre à chaque processus de fabrication, on ne peut pas le transporter aisément d'une machine à l'autre.

Pour passer de 1 à 2 on utilise un logiciel appelé trancheur (*slicer* en anglais). Certains trancheurs intègrent des outils poussés de réparation de maillage, mais ce n'est pas le cas dans la plupart des trancheurs. On a donc intérêt à avoir un maillage bien propre, notre fichier STL doit représenter une surface compacte sans bord (qui entoure un volume).

Or, très souvent, les fichiers provenant de scans 3D ne remplissent pas cette condition. (Cela peut aussi arriver dans des fichiers synthétisés et non pas numérisés.) Donc, une première étape pour obtenir un fichier propre est de fermer les trous dans la surface de l'objet.

De plus, même quand l'objet satisfait déjà la condition d'être une surface compacte sans bord, d'autres caractéristiques du modèle peuvent poser problème à la fabrication :

- les pointes, par exemple dans l'impression d'un polyèdre
- les parties de faible épaisseur
- les pentes raides (surtout dans l'impression par dépôt de matière fondue - dans les machines à frittage laser ceci pose moins problèmes)
- les "trous" internes, qui fragilisent la structure et peuvent la casser en plusieurs morceaux.

Corriger ces erreurs relève d'une analyse topologique et géométrique sur les données de l'objet.

Certains outils commerciaux proposent de telles fonctionnalités, mais ne s'adaptent pas à certaines classes d'objets ou de propriétés mathématiques (respect d'une symétrie, tangences d'ordre supérieur, emboîtement de pièces). La communauté du libre autour de l'impression 3D est vibrante, j'aimerais pouvoir y apporter ma pièce notamment en ce qui concerne le traitement des problèmes évoqués ci-dessus.

Un projet PEPS a été déposé dans ce sens par le XLIM avec l'école ENSIL-ESPCI, par Stéphane Merillou et d'autres. J'aimerais beaucoup m'y intégrer, je pourrais y apporter ma passion de la fabrication additive, mes connaissances approfondies en géométrie et en topologie, et ma maîtrise des outils comme Blender, la librairie PCL pour le traitement des nuages de points, MeshLab, etc.

Zoom sur des objets muséaux pour la visualisation 3D interactive

Le laboratoire CHArt, où je travaille actuellement, avait participé il y a quelques années avec les Archives Nationales à un projet d'accessibilité d'objets muséaux. Des sceaux médiévaux de petite taille avaient été scannés en grande résolution puis traités à l'ordinateur pour pouvoir être explorés avec un bras haptique. Ils avaient été préparés minutieusement par une collègue, Johana Bodard, principalement avec Blender.

Pour reproduire une telle démarche à l'avenir, on gagnerait à automatiser le plus possible la transformation d'un fichier numérisé en fichier explorable par bras haptique.

Pour l'automatiser, on reprendrait certaines étapes classiques du traitement d'images : recalage, segmentation, filtrage. Pour la segmentation, on pourrait porter une attention particulière aux formes les plus fréquentes dans les sceaux médiévaux.

Au delà des sceaux médiévaux (exemple pour lequel j'ai déjà accès à une banque de données), ce problème se généralise très bien à d'autres classes d'objets muséaux - beaucoup de musées placent aujourd'hui en ligne leurs catalogues, et le faire dans un format exploitable serait un plus. (Exploitable pour exploration par bras haptique ou en tant que fichier imprimable en 3D, dans les deux cas ce serait un gain énorme pour l'accessibilité.)

De par mon expérience dans le monde de la chaussure numérique (j'ai été développeuse chez BlueRidge Logiciels qui automatise la chaîne de production de la chaussure sur mesure), je me sens bien préparée pour mener à bien ce projet.

Visualisation par projection sur des objets réels

J'ai rencontré un problème de projection très intéressant dans le projet Art-Science "La lumière ne s'arrête pas là", auquel j'avais participé dans le cadre d'une mission doctorale de trois ans. Le module principal de ce projet était la chambre de Lorentz, une oeuvre d'art transportable destinée à pouvoir occuper immédiatement l'espace public où elle se pose. Sans détailler ici le projet entier, disons qu'il comportait beaucoup de vidéos, et que pour occuper l'espace public, elles étaient projetées non seulement vers l'intérieur mais aussi vers l'extérieur de la chambre.

Or, dans l'espace public, on projette en général sur une surface de bâtiment, plate par morceaux mais ne formant pas un même plan (angles entre murs, embrasures de portes ou de fenêtres...), ce qui induit une déformation de la vidéo projetée. Il y a deux façons d'y remédier :

1. Concevoir la vidéo en amont pour qu'elle épouse la forme de la surface de projection. Cela demande de connaître à l'avance et très précisément la configuration des lieux, la position de la chambre et l'orientation des projecteurs.
2. Modifier la vidéo (en amont ou en temps réel) pour qu'elle soit perçue après projection comme la vidéo originale le serait sur une surface plate. Cette solution, plus adaptable, m'intéresse davantage.

Au-delà de la projection sur bâtiments, on peut penser à des variations où l'on projetterait :

- une image médicale des organes d'une personne sur son corps ;
- une visualisation des propriétés géométriques (e.g. pente), codées par des couleurs, sur un objet imprimé en 3D ;

- le scan d'un objet 3D sur un autre objet 3D censé reproduire le premier ;
- les gènes qui définissent telle ou telle caractéristique visible directement sur la partie correspondante du corps (par exemple les gènes définissant la couleur des yeux sur les paupières).

Visibilité et miroirs

Imaginons une caméra filmant depuis une pièce ce qui se passe dans une autre pièce. Pour savoir ce que la caméra filme dans cette autre pièce, on doit traiter un problème de visibilité.

Les problèmes de visibilité ont été traités avec succès au sein de l'équipe SIR par exemple par Frédéric Mora (et ses étudiants). Le traitement de ces problèmes fait assez naturellement appel à des surfaces algébriques (surfaces de Plücker).

En dernier volet de mon projet d'intégration côté recherche dans l'équipe SIR, je propose de traiter le cas où les murs de l'appartement comporteraient des miroirs, même beaucoup de miroirs. De cette sorte, ce problème de visibilité devient un problème de billards mathématiques - un sujet qui m'est proche de par mon expérience de recherche en mathématiques fondamentales. Enfin ceci pourrait aider à créer des mondes virtuels plus riches.