

Sujet de thèse : rétro-conception automatique de maquettes BIM par apprentissage automatique

Le BIM (Building Information Modelling) ou « maquette numérique du bâtiment » est aujourd'hui devenu un standard dans la gestion des informations d'un chantier de démantèlement d'une installation nucléaire. En effet, il permet de concentrer un nombre important de données liées aux procédés implantés (réseaux de procédés, de ventilation, électricité, structures de génie civil...) et permet de réaliser l'inventaire, d'anticiper et suivre les évolutions possibles et évaluer la gestion des déchets.

Cette approche est centrée sur une maquette 3D, généralement réalisée à partir d'un nuage de points obtenus grâce à une opération de lasergrammétrie. La lasergrammétrie est une technique de télédétection basée sur la technologie LiDAR (Light Detection and Ranging), qui permet de mesurer avec précision la distance entre un objet et un capteur en utilisant des impulsions laser. Les données collectées sont ensuite traitées et utilisées pour générer un nuage de points 3D qui représente la géométrie de la cible. Les scanners d'aujourd'hui sont aussi équipés d'une caméra panoramique qui permet de capturer pour chaque station une photo à 360°.

A partir de ce nuage de points, une maquette 3D est, en règle générale, reconstruite pour représenter les équipements présents de manière unitaire en objets solides. On peut ensuite attribuer à ces objets des métadonnées et des propriétés (référence, description, matériau, masse, famille à laquelle il appartient...). Cette étape de reconstruction de la maquette 3D est aujourd'hui réalisée manuellement par un projeteur CAO. Elle est souvent longue et fastidieuse. Cependant, cette étape est nécessaire pour représenter une reconstruction tridimensionnelle d'un bâtiment car, dans la plupart des cas la reconstruction du modèle 3D à partir du nuage de points peut être préférée ou nécessaire pour les raisons suivantes :

- ◆ Représentation plus claire et structurée : le nuage de points est essentiellement une collection de points dans l'espace sans connectivité explicite. C'est une information locale qu'il faudra organiser en objets d'intérêt ;
- ◆ Élimination des imperfections : les nuages de points peuvent contenir des bruits, des artefacts et des incohérences liées aux erreurs de mesure ou aux problèmes de capture. Les surfaces cible ont des propriétés de dérivabilité géométrique, e.g. plans, cylindres, ..., ce qui permettra de détecter des artefacts ;
- ◆ Précision et régularité : la reconstruction du modèle 3D permet de réaliser une modélisation géométrique plus précise et régulière en utilisant des algorithmes avancés de reconstruction et d'interpolation ;
- ◆ Modélisation d'éléments absents : parfois, certaines parties du nuage de points peuvent être manquantes ou incomplètes en raison d'obstacles, d'occlusions ou de limitations de la technologie de capture. La reconstruction du modèle 3D permet de modéliser ces parties manquantes en extrapolant les données existantes et en créant une représentation complète du bâtiment. Une approche complémentaire est de chercher à caler un modèle complet d'un objet sur un nuage de points incomplet de ce même objet. La recherche de l'objet le plus probable dans une base de données peut se réaliser très efficacement ;
- ◆ Facilitation des modifications et des ajustements : un modèle 3D reconstruit peut être plus facilement modifié, ajusté ou édité pour répondre aux besoins spécifiques du projet ou de l'analyse. Cela permet une plus grande flexibilité dans la conception et la gestion des données.

Ce sujet de thèse propose de développer une méthode automatique de reconstruction de maquettes BIM à partir de nuages de points par apprentissage automatique. Des premiers travaux ont permis de

montrer que dans certaines configurations de nuages de points, des algorithmes de Machine Learning non supervisés donnent des résultats très encourageants pour reconstruire une maquette 3D. Malgré cela, les résultats obtenus sur des nuages de points moins denses, laissent entrevoir les difficultés suivantes :

- ◆ La qualité du maillage obtenu est à améliorer, et comporte en particulier de nombreux trous (problème de fermeture d'objets). Le calage de modèles complets serait à envisager ;
- ◆ Le maillage final est une agglomération de plusieurs objets 3D et ne respecte pas le découpage par objets unitaires.
- ◆ La densité de faces des maillages générés est souvent trop dense et hétérogène (taille des faces).
- ◆ Les maillages obtenus ne sont pas lisses, avec la présence de bosses et de creux sur les surfaces extérieures.

L'objectif de ce travail de thèse est de développer une méthodologie générique permettant de générer à partir d'un nuage de points une maquette 3D ayant les propriétés suivantes :

- Découpage en objets unitaires en adéquation avec les équipements présents dans l'environnement physique ;
- Qualité du maillage des objets : fermeture des contours, orientation des surfaces, suppression de micro-courbes et de micro-surfaces, maillage non-manifold, reconstruction topologique des modèles ;
- Conception de métriques pour mesurer la qualité de la reconstruction de la maquette 3D ;

Nous proposons donc de développer une méthodologie basée sur l'utilisation d'algorithmes d'apprentissage et d'analyse d'image qui exploitent à la fois le nuage de points et les photos panoramiques disponibles. ...). Les environnements des installations nucléaires en démantèlement sont composés de procédés en acier ou alliages bien spécifiques, et comportent principalement des équipements de tuyauteries. En couplant le machine learning et le computer vision, en utilisant à la fois des méthodes de clustering et de classification d'une part et de reconnaissance de forme et d'image d'autre part, le travail consiste à identifier directement dans le nuage de points des objets appartenant à des familles d'objets métier de type tuyau, coude, vannes, support, raccords, cuve..., ainsi que certaines de ses métadonnées : le matériau qui les compose, ses propriétés géométriques (diamètre, épaisseur, longueur), son volume et sa masse.

Les travaux de thèse consisteront à :

- Mener à bien un état de l'art académique et industrielle sur différents sujets : la reconnaissance d'images, la reconstruction 3D par IA, les méthodes d'apprentissage supervisé et non supervisé, les algorithmes de génération de maillage, le BIM, le domaine nucléaire et plus particulièrement le démantèlement d'installations nucléaires ;
- Cartographier les besoins, les usages et les contraintes de la maquette numérique ;
- Développer la méthodologie de reconstruction BIM en évaluant par des métriques adéquates différentes méthodes (clustering adaptatif, classification en objets métier, meshing sur les nuages de points, analyse d'image, reconnaissance de forme en exploitant les images panoramiques) et en les fédérant. Cette méthodologie fournira un outil permettant de créer les objets 3D qui composent l'environnement et de compléter en partie les métadonnées BIM (matériau, masse, volume, famille...)
- Développer une ou plusieurs métrique(s) qui permette(nt) d'évaluer la qualité d'un résultat, en particulier pour évaluer la qualité de l'apprentissage non supervisé en raison de l'absence d'annotations, de la nature subjective de la qualité et de l'absence de fonction explicite ayant une fonction de coût claire.

- Mettre en œuvre sur différents cas d'usage les algorithmes développés pour tester la robustesse de la méthodologie ;
- S'impliquer dans une campagne de publication et de diffusion vers les communautés académiques et industrielles.

Références

Jiu, M., Pustelnik, N., Janaqi, S. et al. Sparse Hierarchical Interaction Learning with Epigraphical Projection. J Sign Process Syst 92, 637–654 (2020).

D. Sidibé, P. Montesinos, S. Janaqi, Fast and robust image matching using contextual information and relaxation. VISAPP, International Conference on Computer Vision Theory and Applications. Barcelona, Spain, March 8-11, 2007: 68-75.

D. Sidibe, P. Montesinos and S. Janaqi. Matching Local Invariant Features with Contextual Information: An Experimental Evaluation. Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis, 7(1):26-39, 2008.

S. Janaqi, B. Bardy, E. Bailly, C. Doussat, S. Pla, L. Damm, A new method to recover missing motion capture data from solid clusters with three or less visible markers, (in Process) Journal of Biomechanics, 09-2023.

Profil recherché : La motivation et la curiosité scientifique sont les éléments les plus importants du profil. Le ou la candidat(e) doivent :

Avoir des bases mathématiques, et en particulier la géométrie 3D

Être initiés à la science de données et machine learning ;

La maîtrise d'au moins un langage de programmation est exigé ;

Avoir des notions de la vision par ordinateur est un plus ;

Avoir des capacités rédactionnelles en anglais ;

Date début : octobre 2024.

Financement thèse : CEA

Lieu de la thèse : CEA de Marcoules, 30200 Chusclan / IMT Mines Alès

Direction de thèse : Stefan Janaqi (HDR) – directeur (IMT), Baptiste Magnier (PhD) – encadrants (IMT Mines Alès).

Prévoir stage PFE : mars 2024

Financement stage : cea

Contacts :

Stefan.janaqi@mines-ales.fr

Baptiste.magnier@mines-ales.fr

Condition incontournable : résider dans l'UE