

Robotique, Patrimoine et Archéologie

Scanbot : Comment reconstruire des modèles 3D à très grande échelle par drones

Guillaume Hardouin^{1,2}

Julien Moras¹, Julien Marzat¹, Fabio Morbidi²

El Mustapha Mouaddib²

¹ONERA, Université Paris Saclay - DTIS

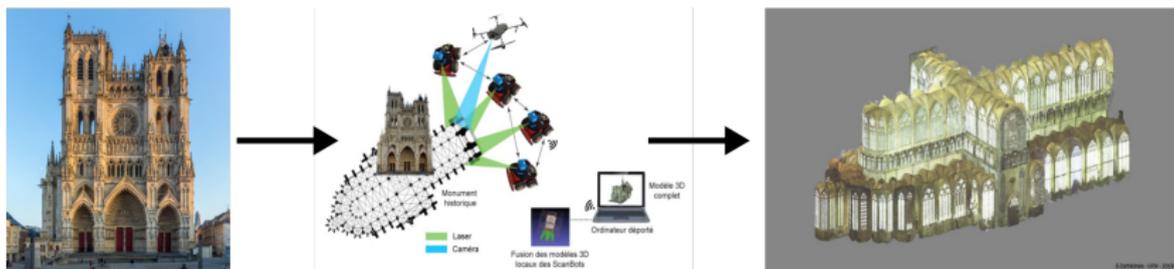
²Université de Picardie Jules Verne - MIS-PR



Sommaire

- 1 Projet E-Cathédrale
- 2 État de l'art cartographie robotique en ligne
- 3 Formulation du Problème
- 4 Résultats
- 5 Conclusion

Projet E-Cathédrale



E-Cathédrale¹ : programme pluridisciplinaire de recherche et développement prévu jusqu'en 2025.

Objectifs

- Accélérer la récolte de données sur le terrain
- Améliorer la précision et uniformité du modèle 3D
- Garantir la sécurité du personnel

¹<https://mis.u-picardie.fr/e-cathedrale/>

Robotique & Reconstruction 3D

Plateforme

Capteur Visuel

Bras articulé + Capteur visuel

Robot mobile + Capteur visuel

Représentation 3D

Nuage de points

Maillage

Volumétrie (Octomap, TSDF)

Environnement

Petite échelle (objet)

Grande échelle (monument)

Modèle

Connu (partiellement)

Planification de trajectoire hors-ligne

Inconnu

Planification de trajectoire incrémentale,
à mesure que la carte est reconstruite

Mission

Inspection de Surface

Complétude, qualité (résolution, précision)

Exploration de volume

Complétude, temps de reconstruction,
distance parcourue

Planification Next-Best-View

Les méthodes **Next-Best-View (NBV)** permettent la reconstruction 3D en-ligne.

Le schéma de fonctionnement, à partir d'une prise de vue :

- Génération de configurations camera pour la reconstruction.
- Evaluation des configurations candidates.
- Calcul du chemin/trajectoire permettant la visite des configurations.

La planification NBV s'applique pour des méthodes d'**exploration de volume**²³ ou d'**inspection de surface**⁴⁵

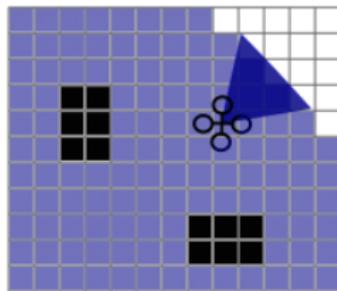
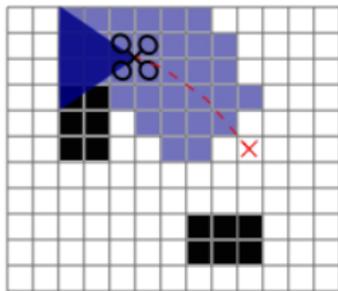
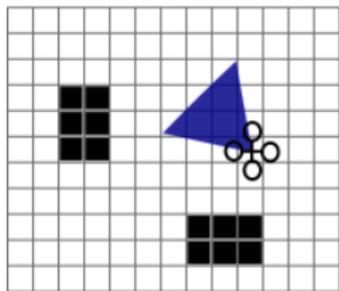
²Bircher et al. - Receding horizon path planning for 3D exploration and surface inspection - Auton. Robot. 2018 [1]

³Song, Jo - Surface-based Exploration for Autonomous 3D Modeling - IEEE Conf. Rob Automat. 2018 [7]

⁴Kriegel et al. - Efficient next-best-scan planning for autonomous 3D surface reconstruction of unknown objects - J. Real Time Image Pr. 2015 [3]

⁵R. Pito - A Sensor-Based Solution to the "Next Best View" Problem - Int. Conf. Pattern Recogn. 1996 [5]

Exploration Volumique



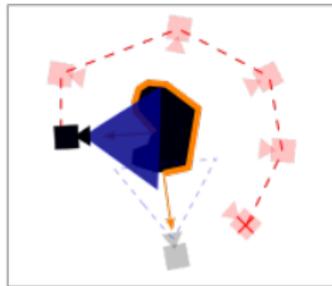
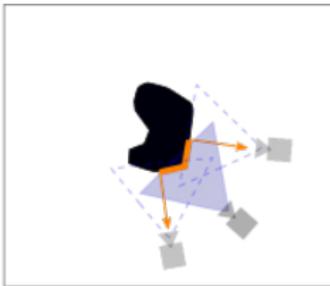
- Dimensions du volume à explorer connues au préalable.
- Les prises de vues sont générées aléatoirement dans l'espace libre. Planification de chemin par échantillonnage (A^* , RRT, PRM,...).
- Les prises de vues sont évaluées suivant un **critère volumique**.

Objectif : Scanner l'ensemble des voxels du volume (complétude) en minimisant la distance parcourue et/ou le temps d'exploration.

Avantages : Permet de connaître l'espace libre pour la navigation robotique.

Inconvénients : La qualité de la surface reconstruite n'est pas prise en compte (voxels scannés pouvant être partiellement occultés). Manoeuvres pour visiter de l'espace vide.

Inspection Surfacique (basée frontière)



- Position de l'objet à reconstruire et espace libre connu au préalable.
- Les prises de vues sont générées **depuis la surface reconstruite**.
- Les prises de vues sont évaluées suivant un **critère surfacique**.
- Le prochaine prise de vue est la plus **utile** au sens du critère.

Objectif : Scanner précisément l'ensemble de la surface (complétude et qualité).

Avantages : Garantit une reconstruction complète et précise.

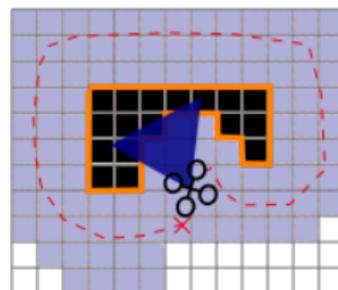
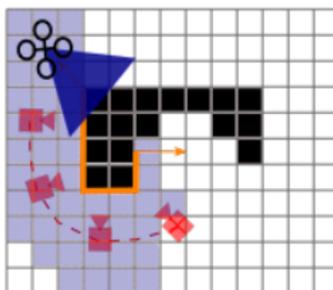
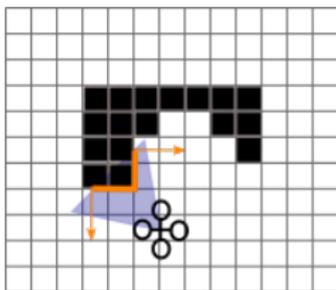
Inconvénients : Espace libre doit être connu au préalable. Pas de planification à long terme.

Une représentation volumétrique pour la navigation ? Un critère surfacique pour la planification ?

Formulation du problème

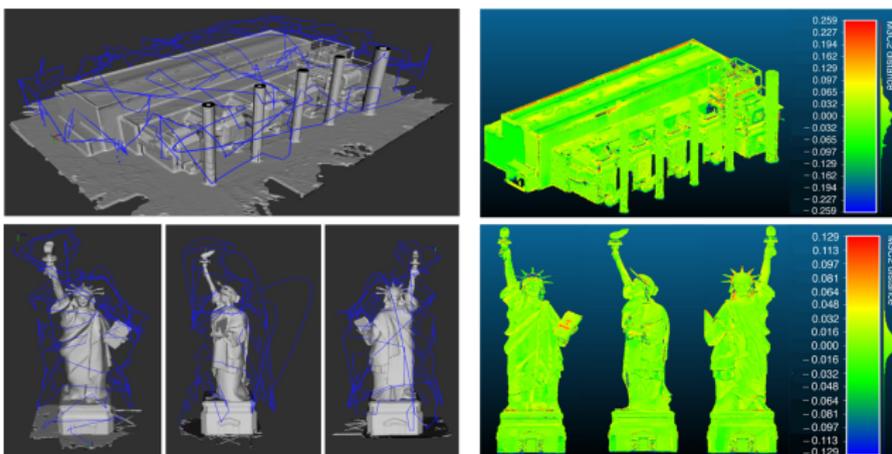
Problème (inspection)

A partir d'une **pose initiale**, trouver un **chemin** dans l'espace libre permettant au drone d'**inspecter** l'ensemble des **éléments de surface incomplets**.



- Type de représentation du modèle 3D : **TSDF** (rep. surface implicite).
- Incomplétude du modèle : **Élément de surface incomplets (ISE)**.
- Génération des **configurations atteignables** permettant de **compléter les ISEs**.
- Planification pour satisfaire le problème d'inspection.

Résultats reconstruction en-ligne



Criterion	Scenario 1	Scenario 1 [7]	Scenario 1 [6]	Scenario 2
Path length [m]	780	324	-	547
Completion time [min.]	32	34.67	30	36
ϵ_{\max} [m]	0.2598	-	-	0.1299
Surface coverage [%]	91.5	90	90	92.3
M3C2 Avg. error [m]	0.0014	-	-	0.0029
M3C2 Std. dev. error [m]	0.0585	-	-	0.0341
RMSE [m]	0.0586	0.085	0.064	0.0343

Conclusion

Next-Best-View avec critère surfacique

- Méthode intermédiaire entre les approches volumiques et surfaciques pour la reconstruction 3D en ligne mono-drone d'environnement à large échelle, validée en simulation (Python/C++, ROS/Gazebo).

Perspectives

- Intégration sur plateforme pour validation expérimentale. Utilisation future sur les sites du patrimoine envisagée.
- Extension au cas multi-drones en simulation. Cas centralisé puis distribué.

Merci de votre attention !

A. Bircher, M. Kamel, K. Alexis, H. Oleynikova, and R. Siegwart. Receding horizon path planning for 3D exploration and surface inspection. Auton. Robot., 42(2):291–306, 2018.

K. Helsgaun. An effective implementation of the Lin–Kernighan traveling salesman heuristic. Eur. J. Oper. Res., 126(1):106–130, 2000.

S. Kriegel, C. Rink, T. Bodenmüller, and M. Suppa. Efficient next-best-scan planning for autonomous 3D surface reconstruction of unknown objects. J. Real-Time Image Pr., 10(4):611–631, 2015.

R. Monica and J. Aleotti. Contour-based next-best view planning from point cloud segmentation of unknown objects. Auton. Robot., 42(2):443–458, 2018.

R. Pito. A Sensor-Based Solution to the “Next Best View” Problem. In Proc. 13th Int. Conf. Pattern Recogn., volume 1, pages 941–945, 1996.

L. Schmid, M. Pantic, R. Khanna, L. Ott, R. Siegwart, and J. Nieto. An Efficient Sampling-based Method for Online Informative Path Planning in Unknown Environments. arXiv:1909.09548, 2019.

S. Song and S. Jo. Surface-based Exploration for Autonomous 3D Modeling. In Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Automat., pages 4319–4326,