CATIE
Solutions pour la société numérique

Algorithme Cartographer

Présentation générale et résultats expérimentaux

Rémi Fabre

RÉGION Nouvelle-Aquitaine

CATIE
Solutions pour la société numérique

Plan

- Généralités SLAM
- Cartographer
  - Principe
  - Local SLAM
  - Global SLAM
- Résultats expérimentaux
  - Plateformes robotiques utilisés
  - Résultats
- Discussion

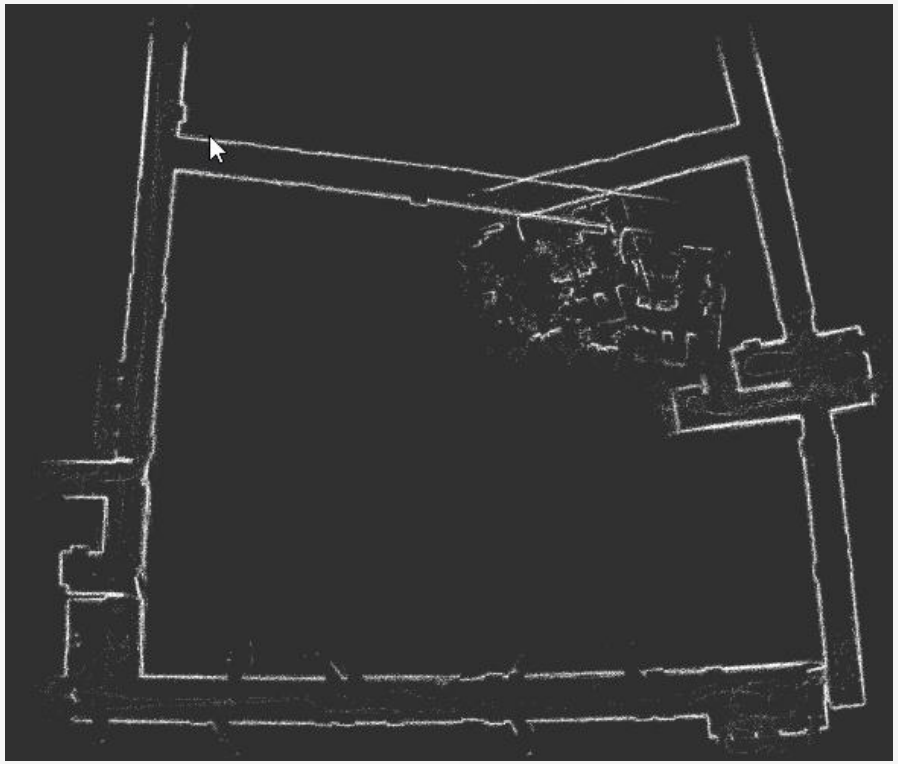
SLAM - Généralités

- 2 approches a priori contradictoires :
  - Si carte connue => localisation possible
  - Si localisation connue => cartographie possible
- Le SLAM résout ces deux problèmes simultanément
- Deux algorithmes utilisés dans l'équipe :
  - Cartographer[1] développé par Google depuis 2016
  - Gmapping[2] issu d'un papier de 2008

1. Wolfgang Hess et al., *Real-Time Loop Closure in 2D LIDAR SLAM*
2. Giorgio Grisetti, Cyrill Stachniss, Wolfram Burgard, *Improving Grid-based SLAM with Rao-Blackwellized Particle Filters by Adaptive Proposals and Selective Resampling*

SLAM - Généralités

- Cartographier avec un robot autonome c'est faire du SLAM
- Approche naïve : pure odométrie



CATIE
Solutions pour la société numérique

Local SLAM - Overview

Our system combines separate local and global approaches to 2D SLAM. Both approaches optimize the pose, $\xi = (\xi_x, \xi_y, \xi_\theta)$ consisting of a (x, y) translation and a rotation ξ_θ, of LIDAR observations, which are further referred to as scans.

In our local approach, each consecutive scan is matched against a small chunk of the world, called a submap M, using a non-linear optimization that aligns the scan with the submap; this process is further referred to as scan matching.

Local SLAM - Submap

Submap construction is the iterative process of repeatedly aligning scan and submap coordinate frames, further referred to as frames. With the origin of the scan at $\mathbf{0} \in \mathbb{R}^2$, we now write the information about the scan points as $H = \{h_k\}_{k=1,\dots,K}, h_k \in \mathbb{R}^2$. The pose ξ of the scan frame in the submap frame is represented as the transformation T_ξ, which rigidly transforms scan points from the scan frame into the submap frame, defined as

$$T_\xi p = \underbrace{\begin{pmatrix} \cos\xi_\theta & -\sin\xi_\theta \\ \sin\xi_\theta & \cos\xi_\theta \end{pmatrix}}_{R_\xi} p + \underbrace{\begin{pmatrix} \xi_x \\ \xi_y \end{pmatrix}}_{t_\xi}. \quad (1)$$

Local SLAM – Hits and misses

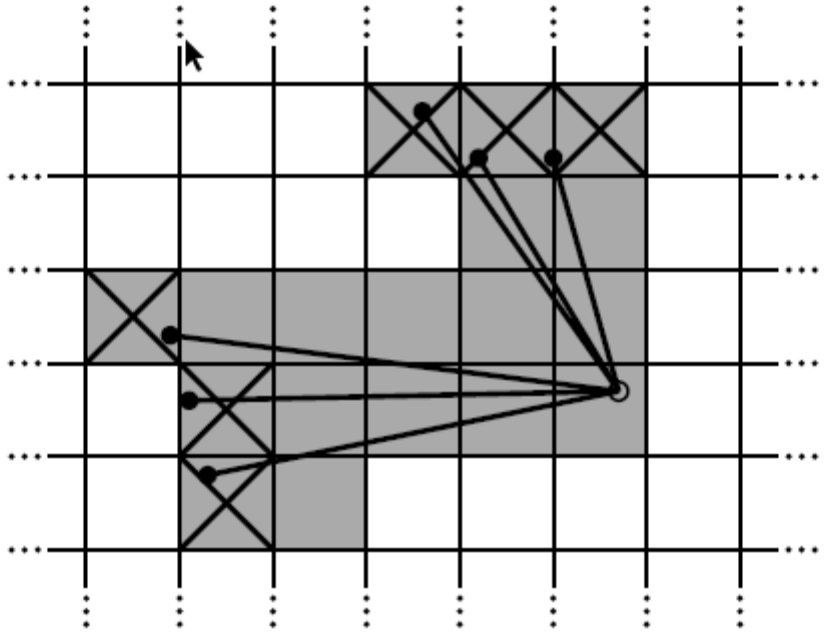


Fig. 2. A scan and pixels associated with *hits* (shaded and crossed out) and *misses* (shaded only).

Local SLAM – Ceres scan matching

- Non-linear Least Square solver
- http://ceres-solver.org/

$$\underset{\xi}{\operatorname{argmin}} \quad \sum_{k=1}^{K} \left(1 - M_{\text{smooth}}(T_\xi h_k)\right)^2 \qquad \text{(CS)}$$

where T_ξ transforms h_k from the scan frame to the submap frame according to the scan pose. The function $M_{\text{smooth}} : \mathbb{R}^2 \to \mathbb{R}$ is a smooth version of the probability values in the local submap. We use bicubic interpolation. As a result, values outside the interval $[0, 1]$ can occur but are considered harmless.

Local SLAM – Quid de ?

- Rotation par odométrie => le problème devient linéaire

Global SLAM – Overview

As scans are only matched against a submap containing a few recent scans, the approach described above slowly accumulates error. For only a few dozen consecutive scans, the accumulated error is small.

Larger spaces are handled by creating many small submaps.

- Tout scan est considéré pour la fermeture de boucle (fréquence élevée)
  - Scan to submap matching
  - Si match => ajout d'une contrainte (pose + covar)
- Le contenu des submaps est gelé mais leur pose est optimisée régulièrement avec Ceres (période ~1s)

Global SLAM – Scan to submap matching

- Espace de recherche large (+-7m, +-7m, +-30°)
- Même principe que le local scan matching
- Besoin d'une approche plus rapide => branch and bound

Global SLAM – Branch and bound

- Depth-first search
- Approche exacte
- Résultats d'autant plus rapides qu'un bon candidat est trouvé rapidement

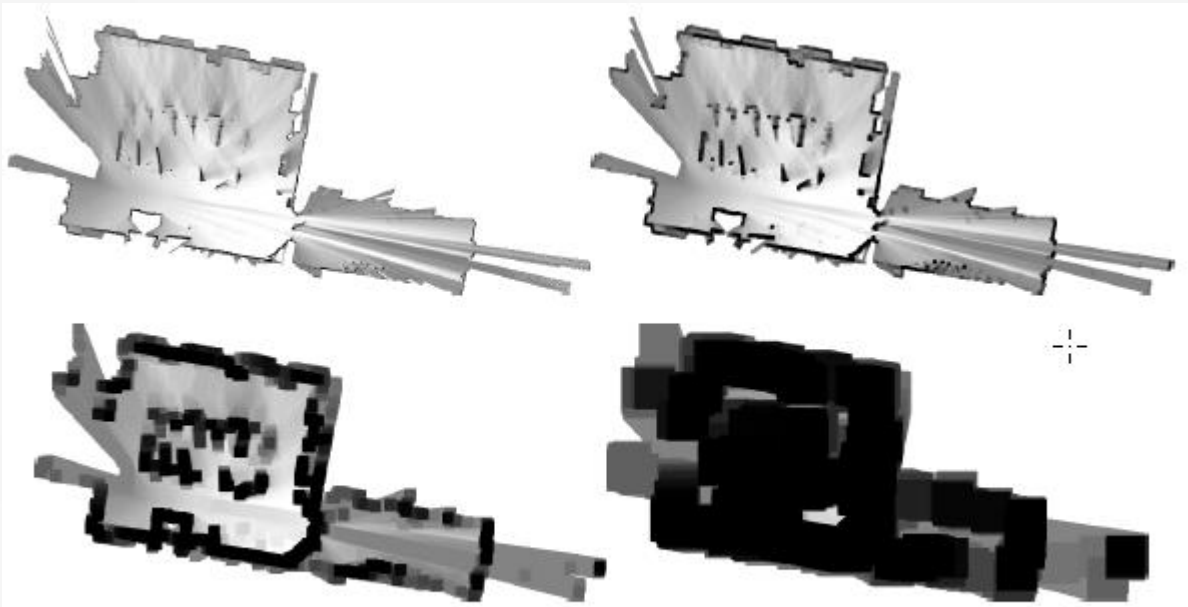


Fig. 3. Precomputed grids of size 1, 4, 16 and 64.

Global SLAM – Submap pose optimization

- Utilisation de Ceres pour optimiser la pose relative entre les submap, au sens des contraintes créées précédemment

Once every few seconds, we use Ceres [14] to compute a solution to

$$\underset{\Xi^{\mathrm{m}},\Xi^{\mathrm{s}}}{\operatorname{argmin}} \quad \frac{1}{2}\sum_{ij}\rho\left(E^2(\xi_i^{\mathrm{m}},\xi_j^{\mathrm{s}};\Sigma_{ij},\xi_{ij})\right) \qquad \text{(SPA)}$$

- Contrainte = (pose + covar)

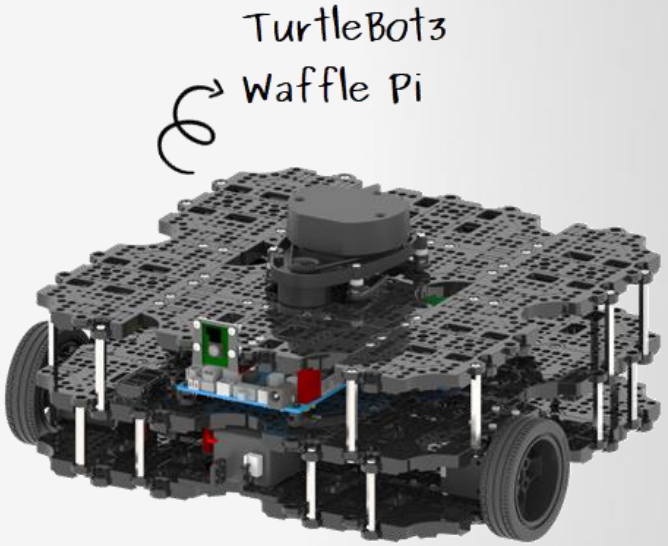
Plateformes - SDP Mini

- Démonstrateur de SLAM de SLAMTEC
- LIDAR RPLIDAR-A2 :
  - LIDAR prix faible, ≈400€
  - Respecte ses spécifications, bon rapport qualité/prix
- SLAMWARE
  - SLAM, génération de trajectoire, D*
  - Embarqué dans une carte électronique
  - Bon résultats mais l'implémentation est fermée
- Rédaction de documents techniques

Environnement de test

Plateformes - Turtlebot 3

- Robot open source et open hardware
- LIDAR LDS-01, prix ≈150€
- Conçu pour le développement sous ROS
- Prototypage, recherche et apprentissage

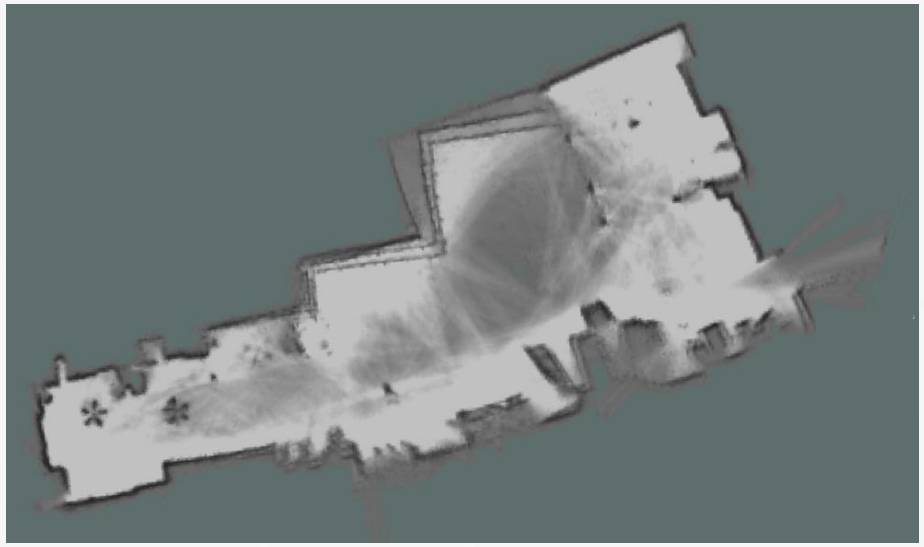


Plateformes - TIAGo

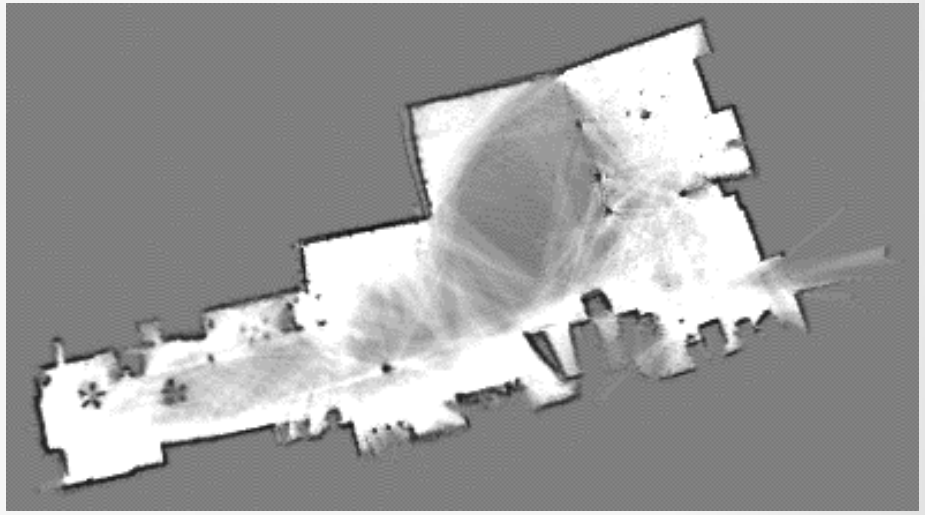
- Plateforme définitive pour la RoboCup@Home
- Robot de service :
  - Bras 7 degrés de liberté et une pince
  - LIDAR SICK, prix ≈2000€
  - Caméra RBG-D
- Reçus début Août

Résultats expérimentaux

- Importance des paramètres de Cartographer



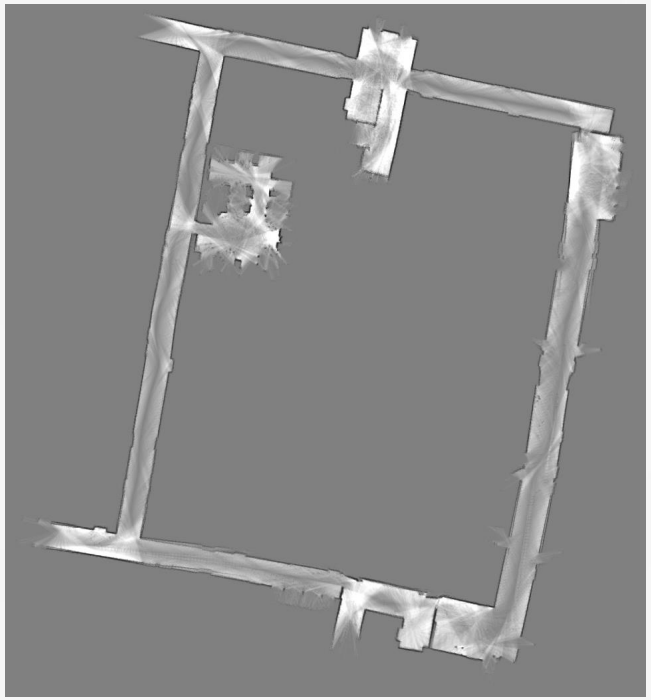
Carte de la salle P116 avec le Turtlebot, paramètres par défaut



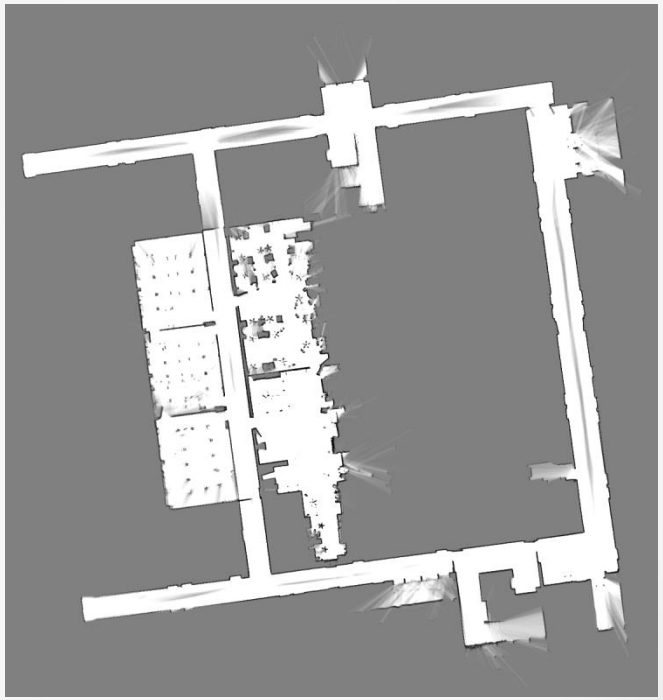
Carte de la salle P116 avec le Turtlebot (mêmes données), paramètres optimisés

Résultats expérimentaux

- Résultats améliorés par les performances du LIDAR du TIAGo



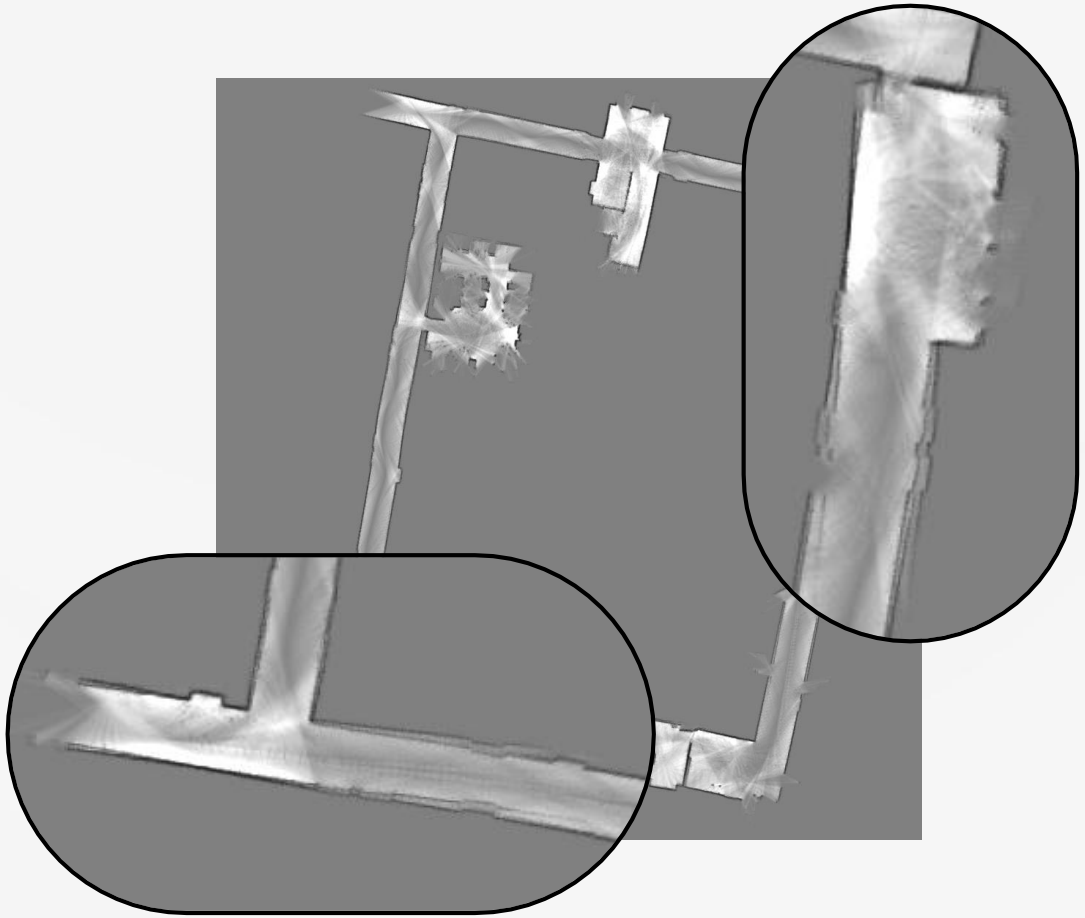
Carte faite avec Cartographer et le Turtlebot 3

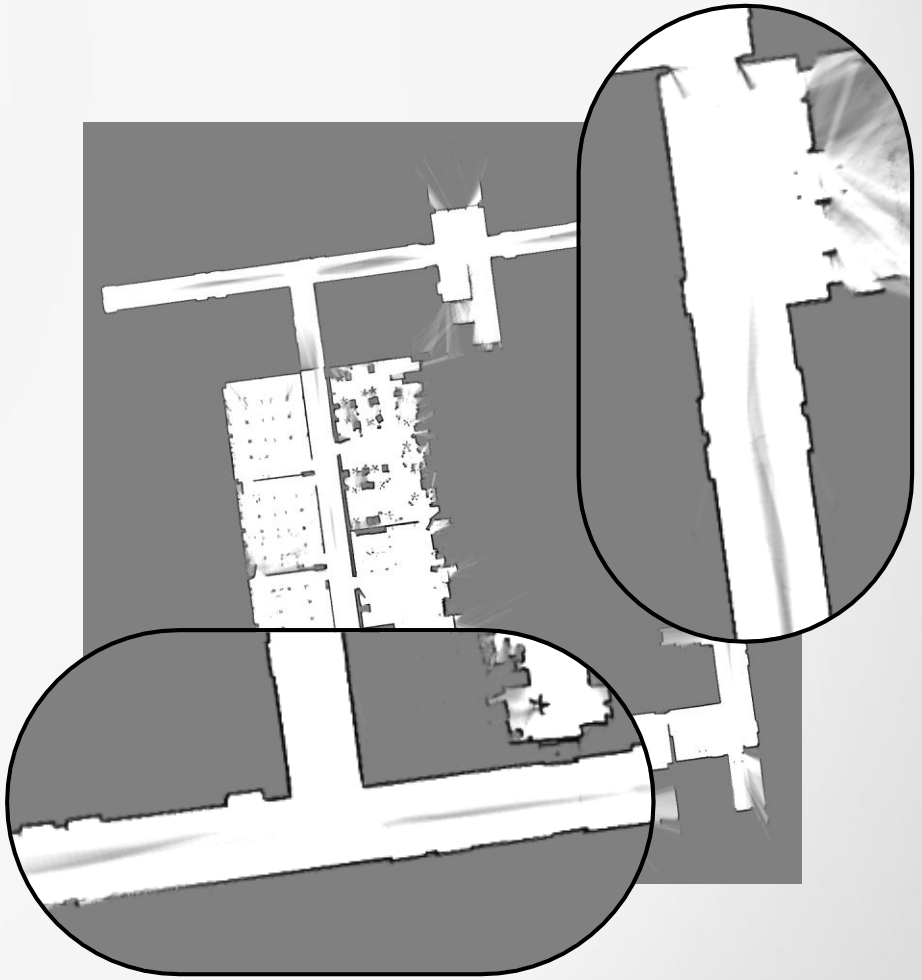


Carte faite avec Cartographer et le TIAGo

CATIE
Solutions pour la société numérique

Résultats expérimentaux





(Penser à lancer les vidéos pour réveiller l'audience)

CATIE
Solutions pour la société numérique

Discussion