Introduction
Étude initiale
Étude actuelle
Vecteur aérien développé
Conclusion

Développement d'une plate-forme volante pour de l'incursion en intérieur

Julien Moreau, Sébastien Ambellouis [1]
julien.moreau@ifsttar.fr, sebastien.ambellouis@ifsttar.fr

30/08/2018

[1] Responsable projet IFSTTAR

Contexte : Projet COOPOL [1]

- Application de reconnaissance par aéronefs légers.
- Renseigner en temps réel les services de secours et les forces d'intervention en milieu urbain.

Introduction
Contexte
Objectifs 3D indoor
Middleware ROS
Étude initiale
Étude actuelle
Vecteur aérien développé
Conclusion

1. Reconnaissance de site

2. Surveillance de grands événements

3. Appui d'urgence lors d'interventions des secours

Tâche allouée

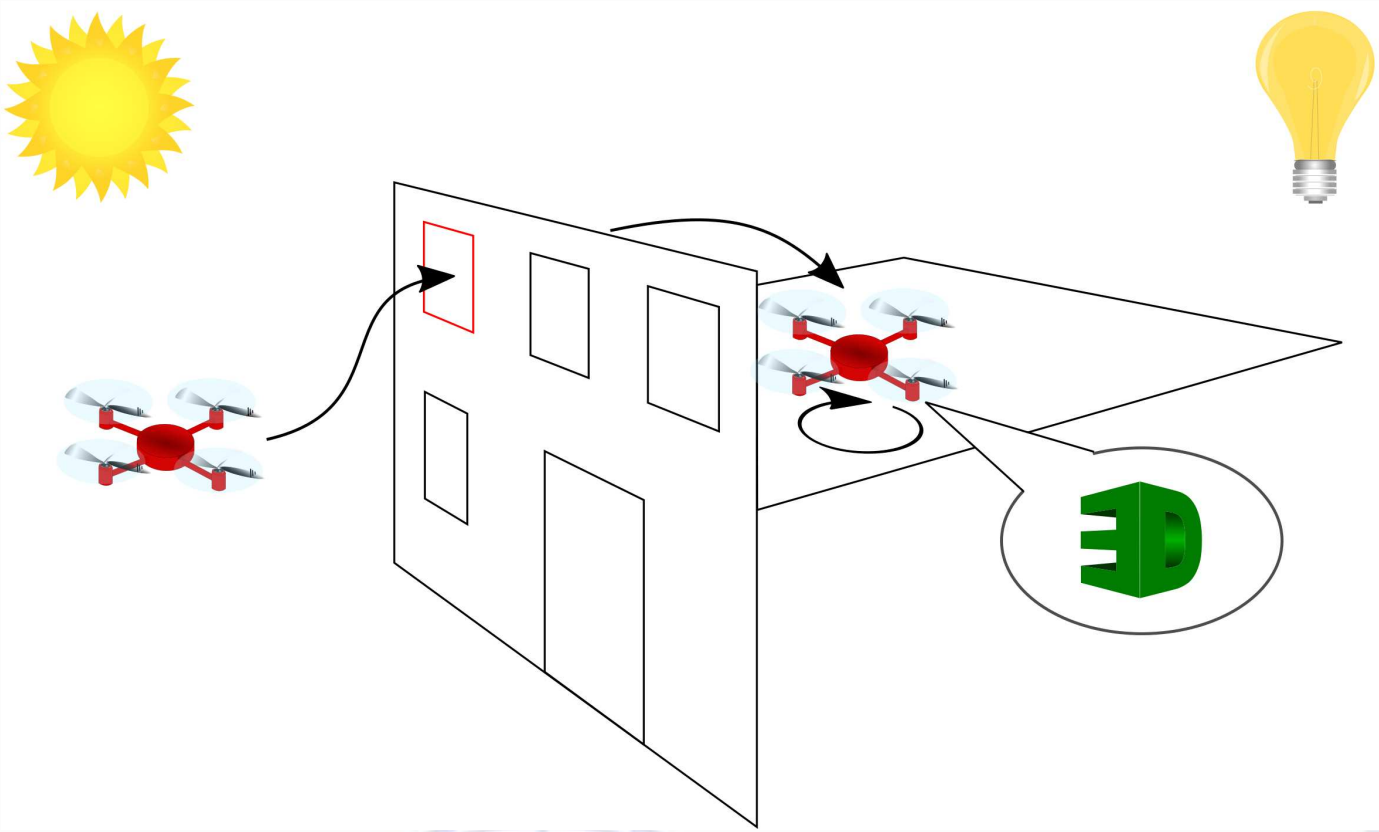
Répondre à la situation 3.
Partie modélisation 3D de l'environnement indoor.

[1] *Capacité d'appui aux Opérations de secOurs et POLice.* URL : http://coopol.eurecom.fr/.

Objectifs 3D indoor

Description **initiale** des contraintes :

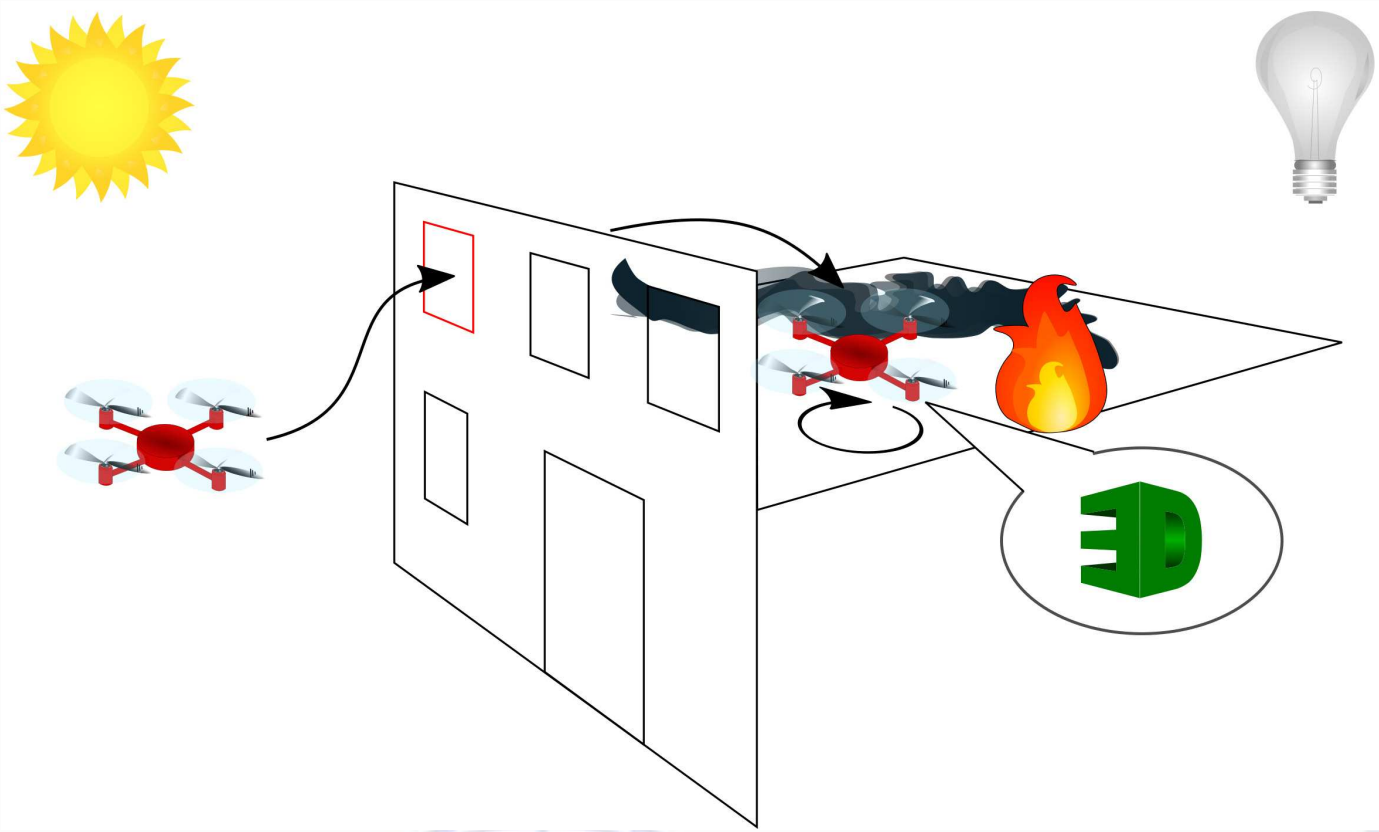
Introduction
Contexte
Objectifs 3D indoor
Middleware ROS
Étude initiale
Étude actuelle
Vecteur aérien développé
Conclusion



Objectifs 3D indoor

Description **actuelle** des contraintes :

Introduction
Contexte
Objectifs 3D indoor
Middleware ROS
Étude initiale
Étude actuelle
Vecteur aérien développé
Conclusion



Middleware ROS

ROS

Introduction
Contexte
Objectifs 3D indoor
Middleware ROS
Étude initiale
Étude actuelle
Vecteur aérien développé
Conclusion

- ROS = Robot Operating System
- Sert principalement au prototypage de robots
- Pilotes pour de nombreux capteurs
- Simulation physique sans avoir à modifier le code par rapport au système réel (Gazebo...)
- Système modulaire de services et de noeuds, avec publication de et souscription à des messages
- Outils de contrôle et d'enregistrement (rqt, rqt_graph, rviz, rosbag...)
- Langages : C++, Python, etc
- Intégration d'OpenCV
- open source (actuellement maintenu par la Open Source Robotics Foundation)

Méthodes de modélisation 3D basée vision

- Structure from Motion (SfM ; ex : Pix4D, MavMap)
- Odométrie Visuelle (VO)
- Visual Simultaneous Localisation And Mapping (VSLAM)

Introduction

Étude initiale

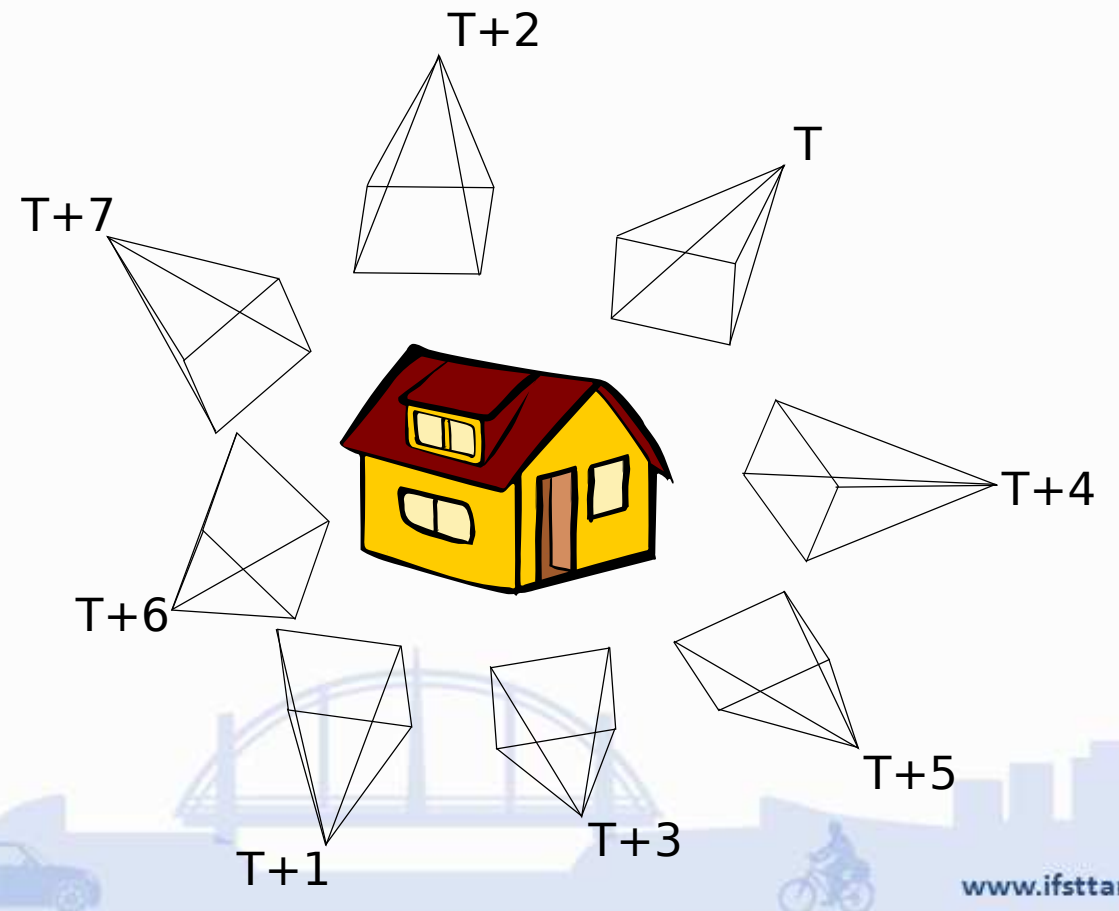
Méthodes de modélisation 3D basée vision

Quelle famille de méthode choisir ?

Étude actuelle

Vecteur aérien développé

Conclusion



Méthodes de modélisation 3D basée vision

- Structure from Motion (SfM ; ex : Pix4D, MavMap)
- Odométrie Visuelle (VO)
- Visual Simultaneous Localisation And Mapping (VSLAM)

Introduction

Étude initiale

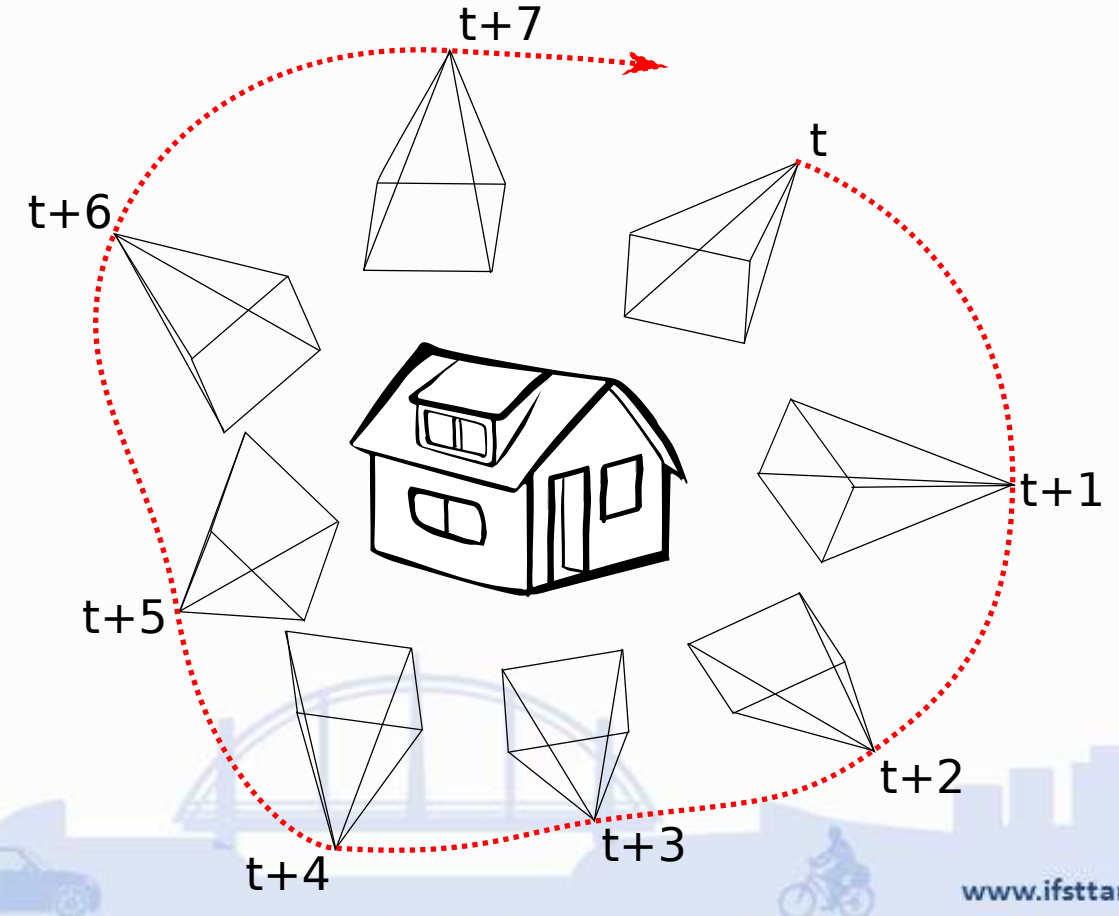
Méthodes de modélisation 3D basée vision

Quelle famille de méthode choisir ?

Étude actuelle

Vecteur aérien développé

Conclusion



Méthodes de modélisation 3D basée vision

- Structure from Motion (SfM ; ex : Pix4D, MavMap)
- Odométrie Visuelle (VO)
- Visual Simultaneous Localisation And Mapping (VSLAM)

Introduction

Étude initiale

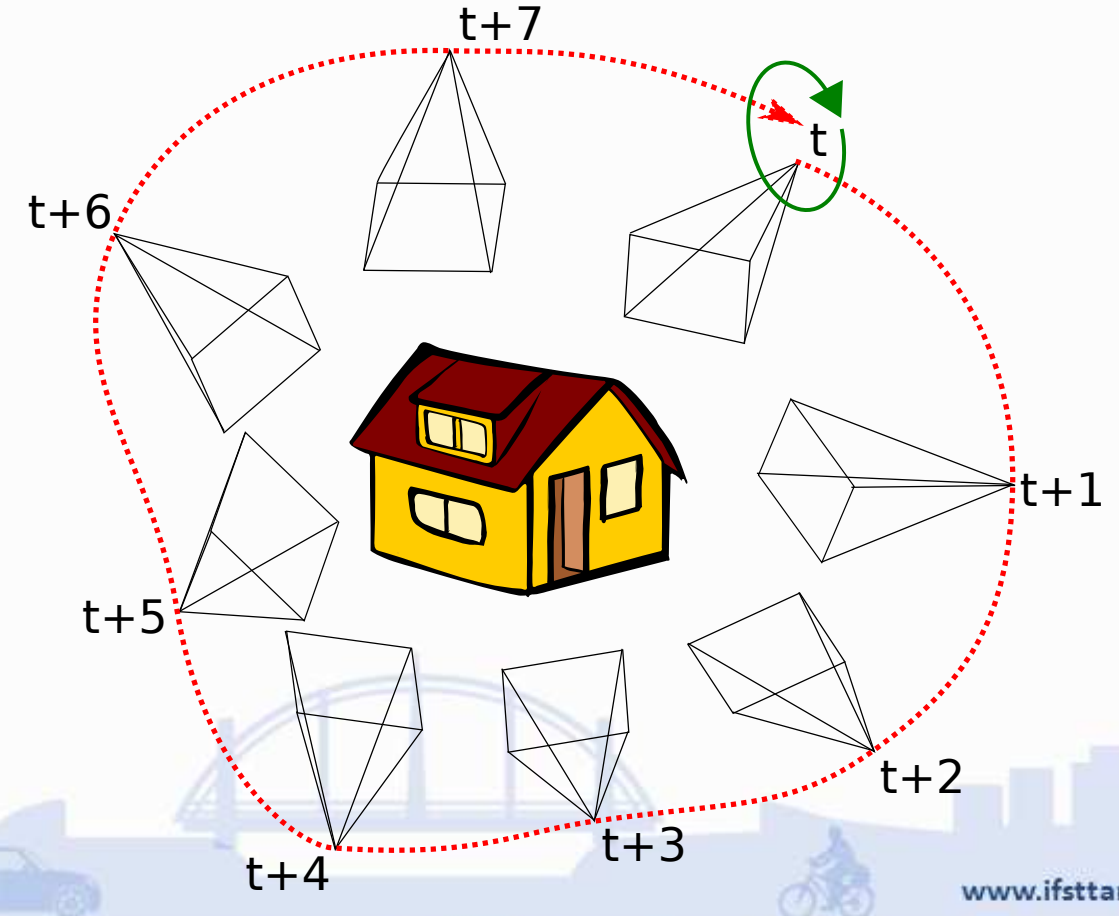
Méthodes de modélisation 3D basée vision

Quelle famille de méthode choisir ?

Étude actuelle

Vecteur aérien développé

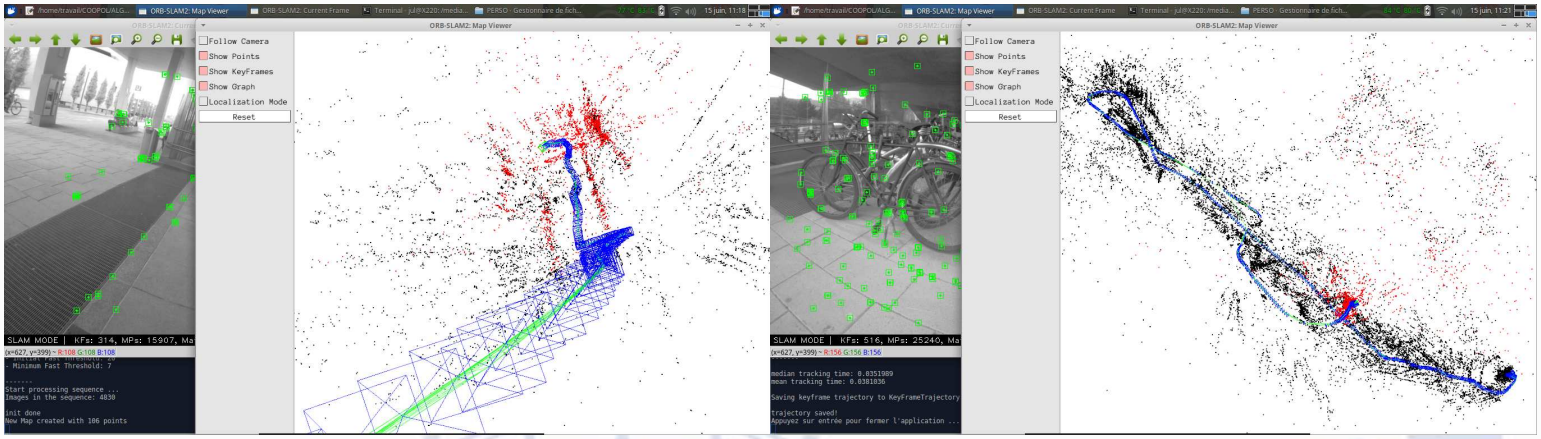
Conclusion



Quelle famille de méthode choisir ?

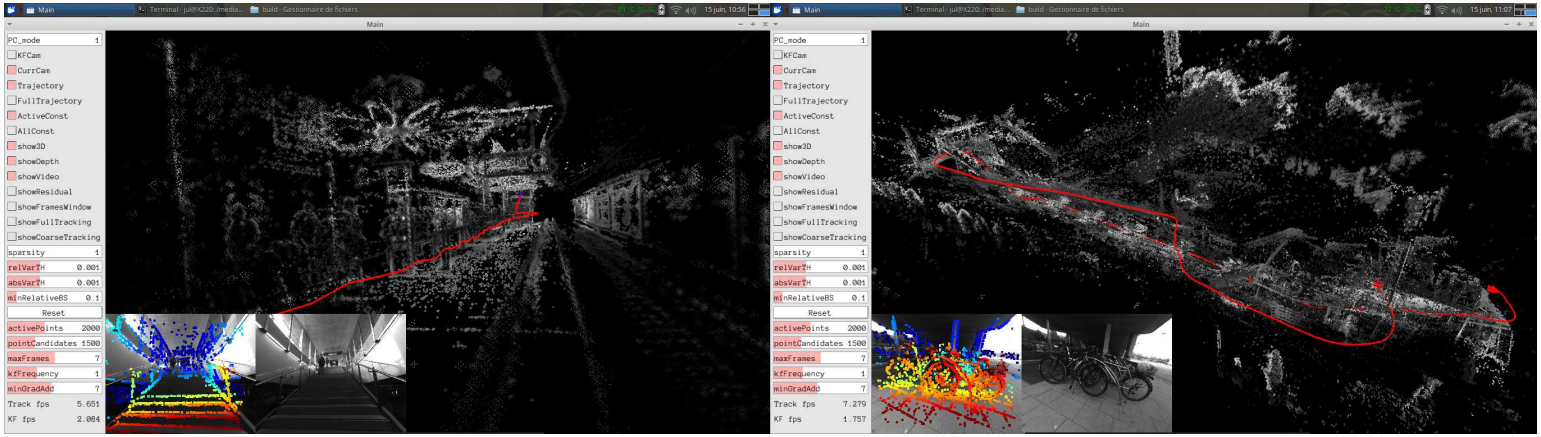
Introduction
Étude initiale
Méthodes de modélisation 3D basée vision
Quelle famille de méthode choisir ?
Étude actuelle
Vecteur aérien développé
Conclusion

- Méthode basée features ? (type ORB-SLAM2 [1], 2016)
  - La **robustesse** hérite de celle de la méthode de détection et de description **des éléments saillants** (étape la plus lourde en calculs)
  - Pas forcément besoin d'une très bonne initialisation pour fonctionner



[1] Raúl Mur-Artal et Juan D. Tardós. « ORB-SLAM2 : an Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo and RGB-D Cameras ». In : *arXiv preprint arXiv :1610.06475* (2016).

Quelle famille de méthode choisir ?



Introduction
Étude initiale
Méthodes de modélisation 3D basée vision
Quelle famille de méthode choisir ?
Étude actuelle
Vecteur aérien développé
Conclusion

- Méthode directe (type DSO [2], 2016)
  - Besoin d'une **fréquence d'images élevée** pour avoir un écart suffisamment faible entre les poses des images-clefs successives
  - Besoin d'un obturateur **global shutter** pour ne pas subir les déformations que donne un obturateur en rolling shutter sur les objets proches lorsqu'il y a du mouvement
  - Optimale avec un **calibrage photométrique** (prise en compte de la réponse du capteur en fonction du temps d'exposition et du vignettage)

[2] Jakob Engel, Vladlen Koltun et Daniel Cremers. « Direct Sparse Odometry ». In : *arXiv :1607.02565*. 2016.

Nouvelle réflexion

Introduction
Étude initiale
Étude actuelle
Nouvelle réflexion
Tests entre VSLAM et assemblage scans laser
Interprétation des résultats
Nouvelles spécifications
Vecteur aérien développé
Conclusion

- Contraintes plus fortes avec **conditions dégradées** :
  - Obscurité
  - Fumées chaudes (> 150°)
- Une évaluation des capteurs en environnements avec fumée d'incendie [1] montre :

Robustesse ?	Obscurité	Fumée froide	Fumée chaude
Lidar	☑	☑	☒
Radar	☑	☑	☑
Sonar	☑	☑(faible atténuation)	☑/☒ (forte atténuation)
Caméra visible	☒	☒	☒
Caméra proche IR	☒	☒	☒
Kinect	☑	☒	☒
Caméra thermique	☑	☑	☑

[1] Joseph W. Starr et Brian Y. Lattimer. « Evaluation of Navigation Sensors in Fire Smoke Environments ». In : *Fire Technology* 6 (2014).

Tests entre VSLAM et assemblage scans laser

Introduction

Étude initiale

Étude actuelle

Nouvelle réflexion

Tests entre VSLAM et assemblage scans laser

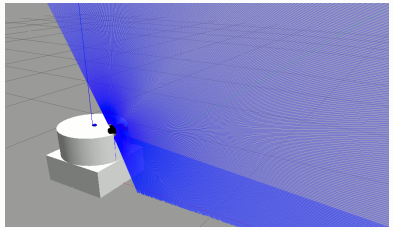
Interprétation des résultats

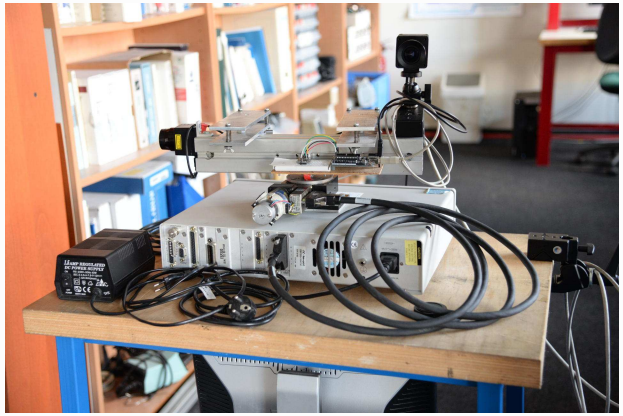
Nouvelles spécifications

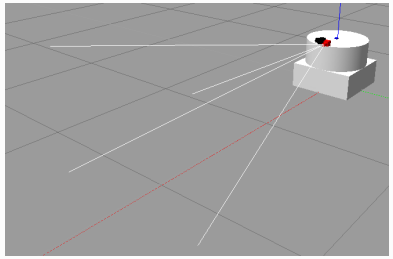
Vecteur aérien développé

Conclusion

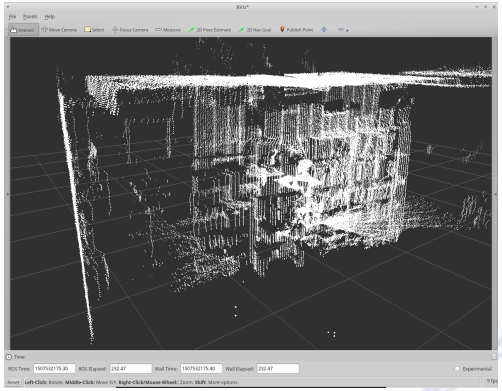
Système d'acquisition basé sur une platine tournante :



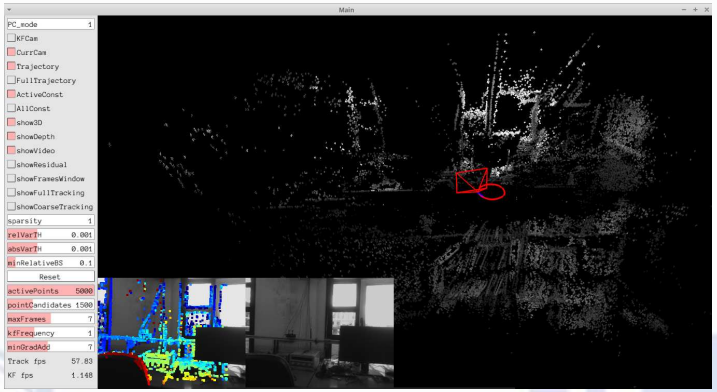




Résultats qualitatifs :



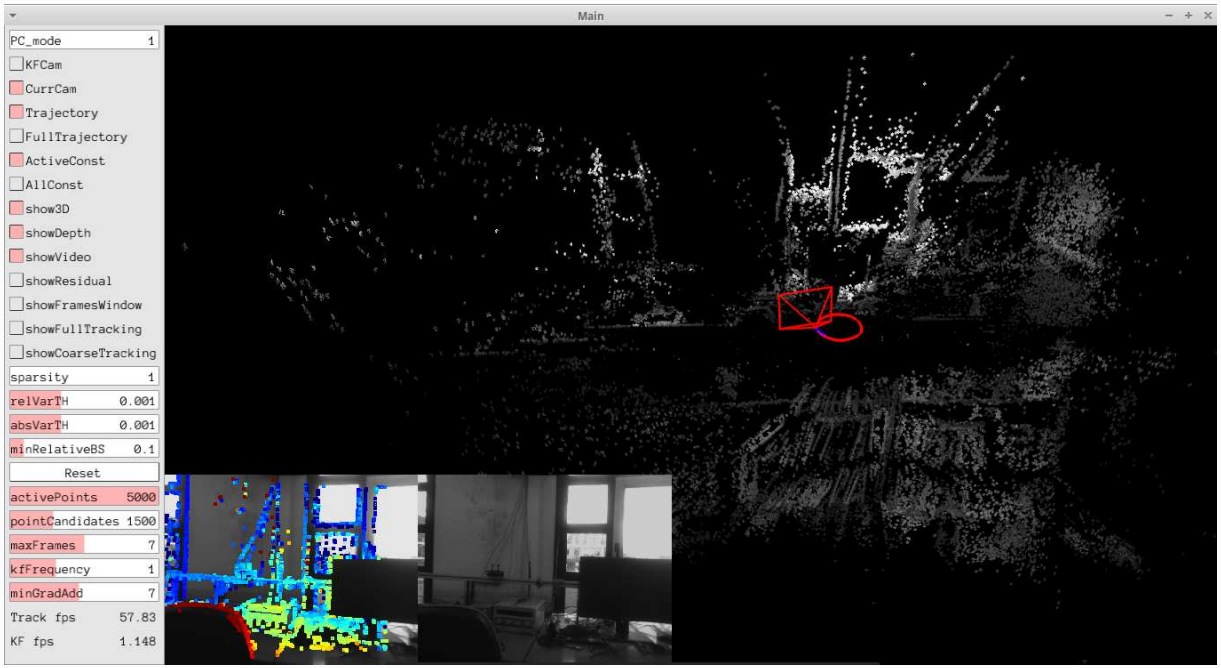
Lidar et gyroscope



Caméra visible (avec DSO)

Interprétation des résultats

Caméra visible (DSO)



- Données bruitées
- Longer les murs serait plus précis
- Fenêtres visibles, mais incertitude avec les zones uniformes. **Il faudrait densifier le VSLAM.**
- Sans éclairage : moins d'informations mais les fenêtres ressortent mieux

Introduction
Étude initiale
Étude actuelle
Nouvelle réflexion
Tests entre VSLAM et assemblage scans laser
Interprétation des résultats
Nouvelles spécifications
Vecteur aérien développé
Conclusion

Interprétation des résultats

Télémètre laser et gyroscope

Introduction

Étude initiale

Étude actuelle

Nouvelle réflexion

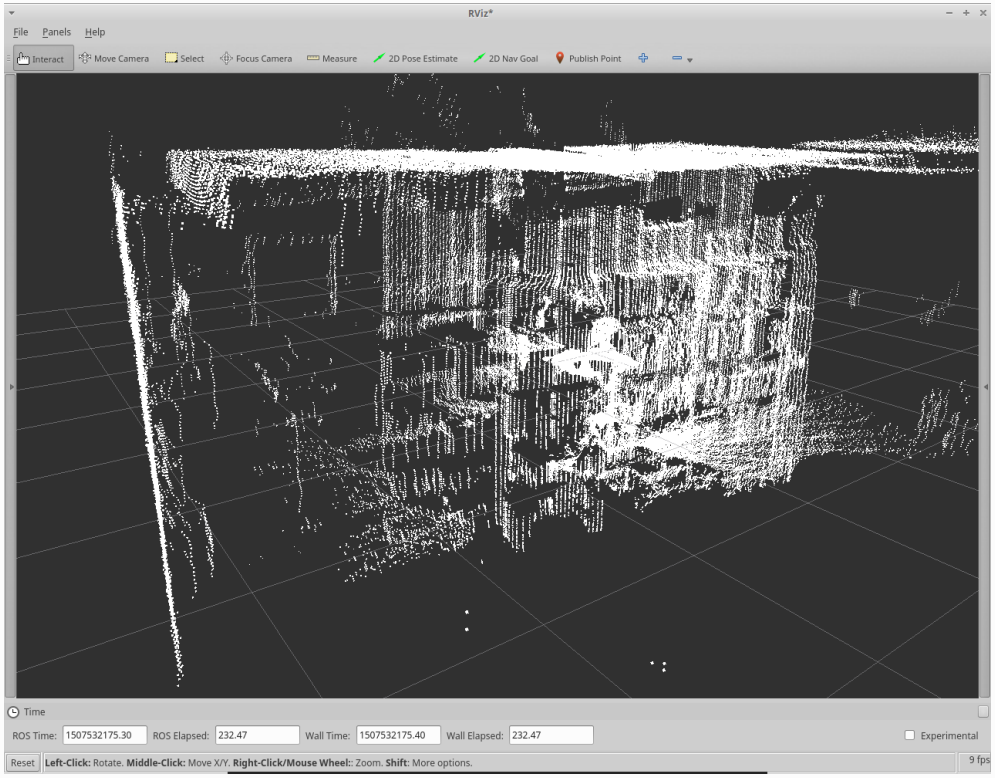
Tests entre VSLAM et assemblage scans laser

Interprétation des résultats

Nouvelles spécifications

Vecteur aérien développé

Conclusion



- Points réguliers et peu bruités avec **peu de calculs**
- Rotation selon l'axe vertical fonctionne bien
- Fenêtre visibles, mais les écrans LCD y ressemblent
- Sans éclairage : aucune différence

Nouvelles spécifications

SLAM 3D lidar

Introduction
Étude initiale
Étude actuelle
Nouvelle réflexion
Tests entre VSLAM et assemblage scans laser
Interprétation des résultats
Nouvelles spécifications
Vecteur aérien développé
Conclusion

Conclusion

Le télémètre a de nombreux atouts mais n'est pas robuste à la présence de fumée chaude → fusion avec un autre capteur

- Pas de vision fisheye
- Télémètre laser
- Caméra thermique
- Caméra classique (reconnaissance de l'ouvrant à l'extérieur)

Structure

Introduction

Étude initiale

Étude actuelle

Vecteur aérien développé

Structure

Choix de l'autopilot et du PC embarqué

Capteurs embarqués

Câblage

Configuration et synchronisation

Noeuds ROS pour l'enregistrement

Extraits d'enregistrements

Conclusion

Structure

Introduction
Étude initiale
Étude actuelle
Vecteur aérien développé
Structure
Choix de l'autopilot et du PC embarqué
Capteurs embarqués
Câblage
Configuration et synchronisation
Noeuds ROS pour l'enregistrement
Extraits d'enregistrements
Conclusion

Chassis	X4
Diagonale moteur à moteur	450 mm
Masse théorique constructeur sans pieds et avec batterie	$\simeq$ 900 grammes
Capacité de charge théorique	1 kg
Dimensions sans hélices (avec pieds...)	370 × 370 × 310 mm
Masse de notre configuration avec pieds et capteurs	1,6 kg sans batterie
Batteries utilisées	3S 10C (d'origine, 330 g) ou 4S 20C (370 g)
Moteurs	2212/920KV
Hélices	bipale 9.4×4.3 plastique
Radiocommande	Turnigy 9X
Autonomie au sol	$\geqslant$ 3h30 (batterie 3S)
Autonomie en vol (charge max)	$\simeq$ 5 min (batterie 4S)

Choix de l'autopilot et du PC embarqué

Introduction

Étude initiale

Étude actuelle

Vecteur aérien développé

Structure

Choix de l'autopilot et du PC embarqué

Capteurs embarqués

Câblage

Configuration et synchronisation

Noeuds ROS pour l'enregistrement

Extraits d'enregistrements

Conclusion

	Alims	IMU	Poids total	Éléments à intégrer	Intégration ROS et mavros
Dropix/Pixhawk + RPi/Odroid...	2×*	2×	≃ 100g	2	manuelle
Pixhawk 2 Cube + RPi/Odroid...	2×*	3×	≃ 100g	2	manuelle
Pixhawk 3 Pro + RPi/Odroid...	2×*	2×	≃ 100g	2	manuelle
Pixracer + RPi/Odroid...	1×*	2×	≃ 70g**	2	manuelle
NAVIO 2 (+ RPi 3)	2×*	2×	≃ 70g**	1	pré-installé (Indigo)
Erle Brain 3 (RPi 3 inclus)	2×*	1×	≃ 100g	**1**	**pré-installé (Kinetic)**

* : + via USB
** : sans boîtier

Capteurs embarqués

Caractéristiques théoriques

Introduction
Étude initiale
Étude actuelle
Vecteur aérien développé
Structure
Choix de l'autopilot et du PC embarqué
Capteurs embarqués
Câblage
Configuration et synchronisation
Noeuds ROS pour l'enregistrement
Extraits d'enregistrements
Conclusion

	Caméra FLIR Duo R	Lidar Hokuyo UST-10LX
Résolution LWIR | Résolution	160 × 120 px	1080 points à 0,25°
FoV LWIR | Angle de scan	57° × 44°	270°
Intervalle de mesure	? ?	0,06 → 30 m
FPS LWIR | FPS	8,3 Hz	40 Hz
Précision	5°C ou 5%	40 mm à 10 m
Bande LWIR | Lumière émise	7,5 → 13,5 μm	905 nm
Résolution visible	1920 × 1080 px	
FoV visible	90°	
Masse nu	84 grammes	130 grammes
Consommation normale	2,2 W	3,6 W
Consommation pic	3,3 W	10,8 W
Résistance température	0 → 50°	-10 → 50°

Capteurs embarqués

Positionnement des capteurs entre eux

Introduction

Étude initiale

Étude actuelle

Vecteur aérien développé

Structure

Choix de l'autopilot et du PC embarqué

Capteurs embarqués

Câblage

Configuration et synchronisation

Noeuds ROS pour l'enregistrement

Extraits d'enregistrements

Conclusion

Câblage

Introduction

Étude initiale

Étude actuelle

Vecteur aérien développé

Structure

Choix de l'autopilot et du PC embarqué

Capteurs embarqués

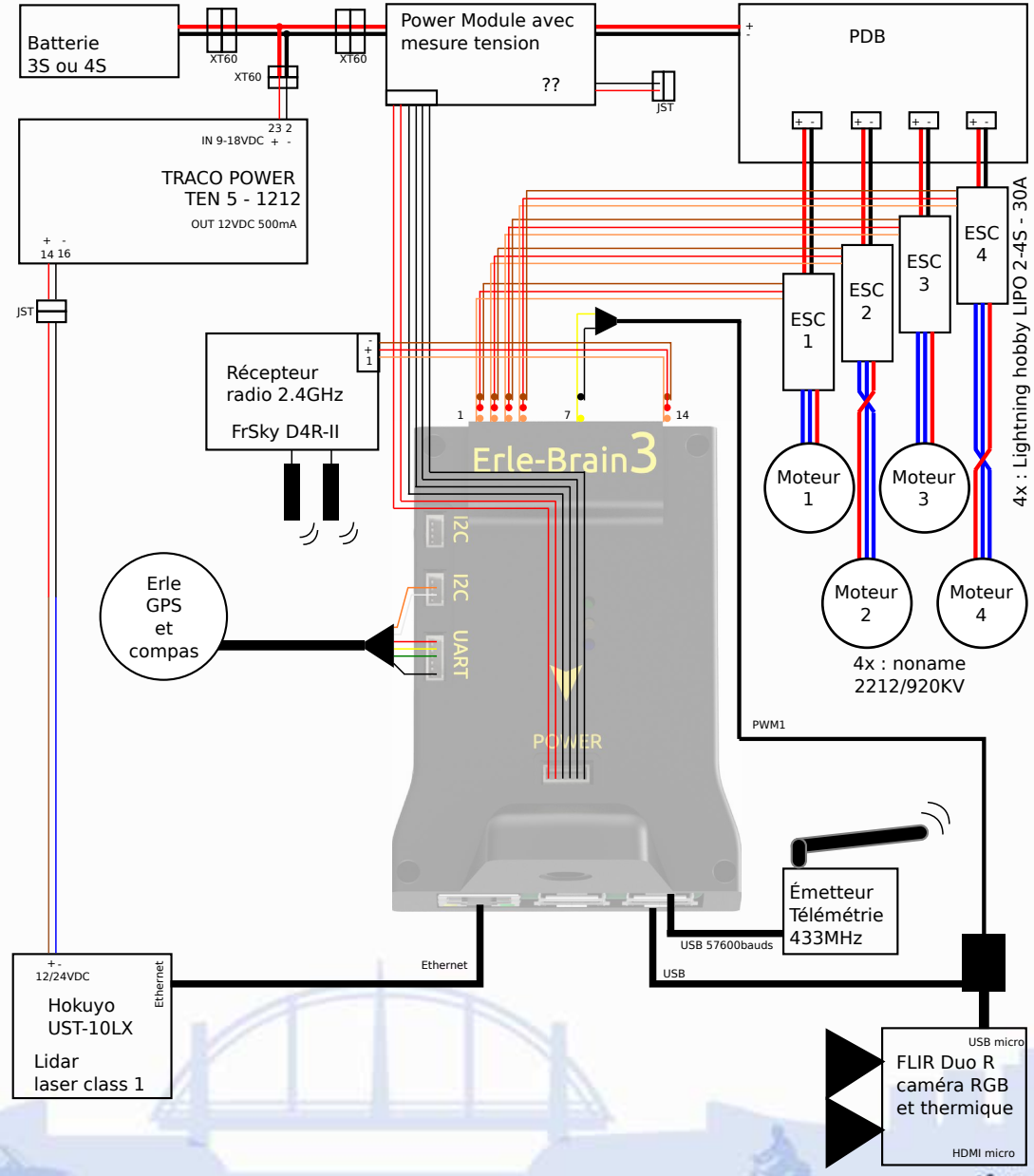
Câblage

Configuration et synchronisation

Noeuds ROS pour l'enregistrement

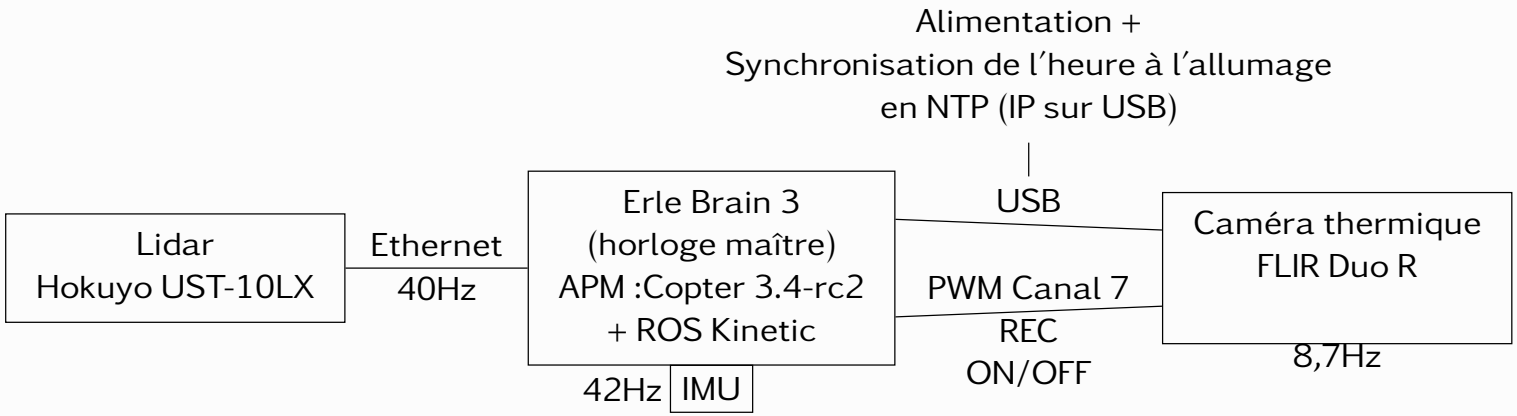
Extraits d'enregistrements

Conclusion



Configuration et synchronisation

Introduction
Étude initiale
Étude actuelle
Vecteur aérien développé
Structure
Choix de l'autopilot et du PC embarqué
Capteurs embarqués
Câblage
Configuration et synchronisation
Noeuds ROS pour l'enregistrement
Extraits d'enregistrements
Conclusion



Données	Fréquence (Hz)	Débit (Mo/s)
Vidéo thermique	8,7	20,9 (séquence TIFF 16 bits)
Vidéo visible	26,3	118,1 (H264 4 : 2 : 0)
Scans lidar	40,1	27,1 (via rosbag)
Centrale inertielle	42,5	

- Précision horodatage trames thermiques : environ 25 ms
- Capacité d'enregistrement : environ 4 heures

Noeuds ROS pour l'enregistrement

Introduction

Étude initiale

Étude actuelle

Vecteur aérien développé

Structure

Choix de l'autopilot et du PC embarqué

Capteurs embarqués

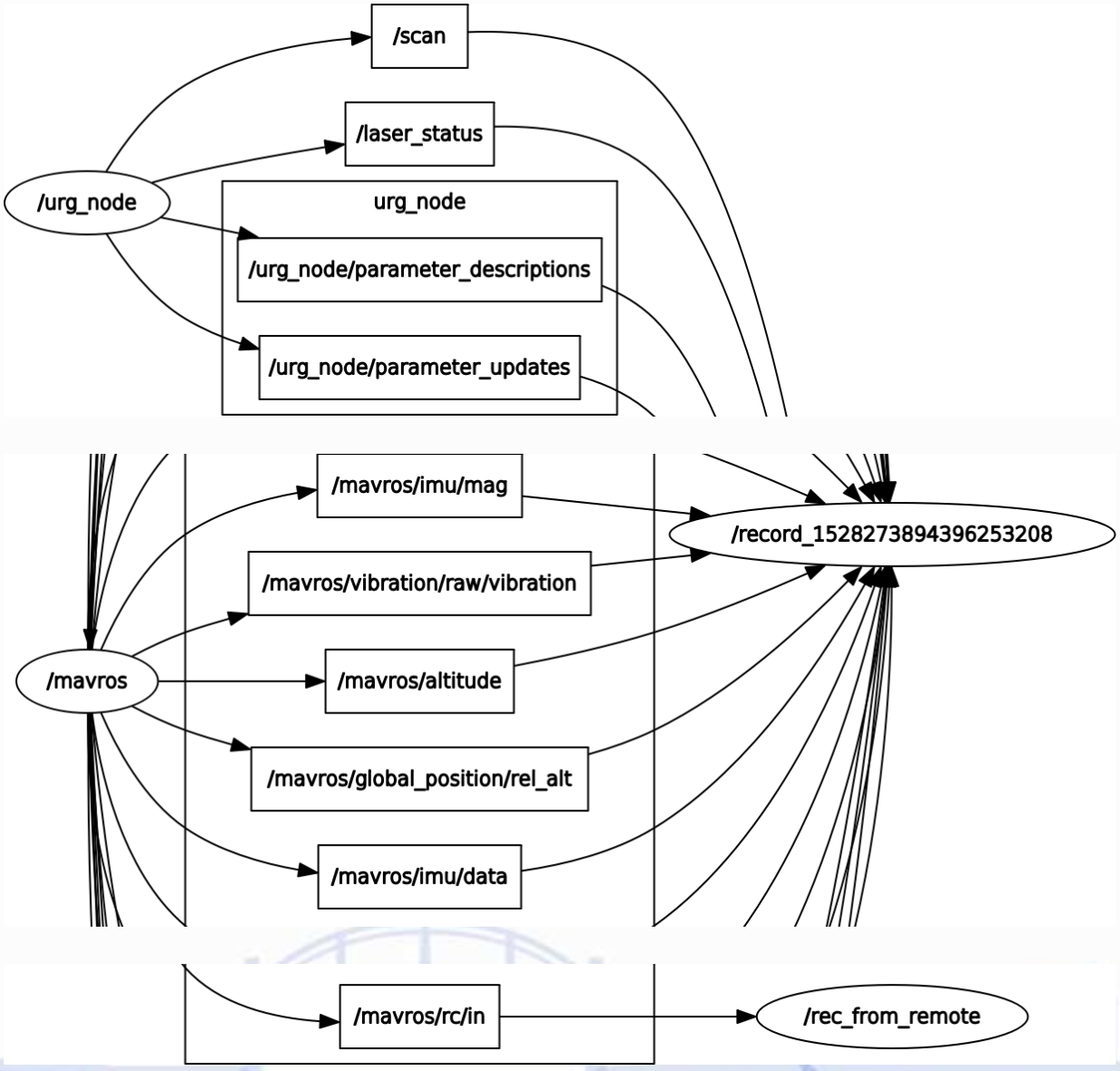
Câblage

Configuration et synchronisation

Noeuds ROS pour l'enregistrement

Extraits d'enregistrements

Conclusion



Extraits d'enregistrements

Introduction
Étude initiale
Étude actuelle
Vecteur aérien développé
Structure
Choix de l'autopilot et du PC embarqué
Capteurs embarqués
Câblage
Configuration et synchronisation
Noeuds ROS pour l'enregistrement
Extraits d'enregistrements
Conclusion

Playlist

Perspectives

Introduction
Étude initiale
Étude actuelle
Vecteur aérien développé
Conclusion
Perspectives
Remerciements

- Les capteurs sont définis, travailler à la fusion de :
  - Caméra thermique FLIR Duo R (seulement 160x120px @ 8,3Hz ; 84g)
  - Lidar Hokuyo UST-10LX (1scan = 25ms : 270°/ 1080pts ; 130g)
- Modélisation 3D depuis le lidar, enrichies des informations de température
- En présence de fumée chaude, assemblage panoramique des vues thermiques
- Procéder aux campagnes d'acquisitions en conditions réelles avec les pompiers
- Étude du calibrage extrinsèque entre lidar 2D et caméra thermique en cours
- Choix optimal des batteries ?

Remerciements

Introduction
Étude initiale
Étude actuelle
Vecteur aérien développé
Conclusion
Perspectives
Remerciements

Cette recherche est menée dans le cadre des projets :

- ELSAT2020 **« Écomobilité, Logistique, Sécurité et Adaptabilité dans les Transports à l'Horizon 2020 »**, cofinancé par l'Union Européenne avec le FEDER (Fonds Européen de Développement Régional), par L'État et la région Hauts-de-France.
- COOPOL **« Capacité d'appui aérienne aux Opérations de secOurs et de POLice »**, subventionné par la BPI (Banque Publique d'Investissement) et les régions Île-de-France et Occitanie, dans le cadre du contrat DOS0043953/00 au travers de l'AAPFUI21.