

Cartographie et localisation simultanée avec un capteur de vision

Christopher Mei¹ et Patrick Rives²

¹Active Vision Group,
University of Oxford

²INRIA Sophia Antipolis,
Projet ARobAS

Plan de l'exposé

- 1 Cartographie et localisation simultanée
- 2 Solutions actuelles au problème SLAM
- 3 Spécificités du SLAM visuel
- 4 SLAM en France et à l'étranger
- 5 Conclusion

Plan de l'exposé

- 1 Cartographie et localisation simultanée
- 2 Solutions actuelles au problème SLAM
- 3 Spécificités du SLAM visuel
- 4 SLAM en France et à l'étranger
- 5 Conclusion

Qu'est-ce que la cartographie ? Pourquoi cartographier ?

Carte : représentation de l'environnement obtenue grâce aux capteurs d'un robot.

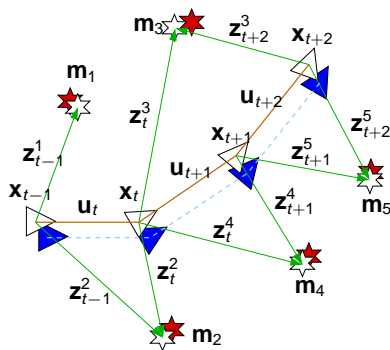
Pourquoi cartographier ?

- pour un utilisateur humain (surveillance, assistance non-voyant, ...)
- pour le robot lui-même pour réaliser une tâche (intervention en milieux hostiles, interaction homme-machine) dans un environnement inconnu

Représentation graphique

Le SLAM est un problème d'inférence.

But : obtenir \mathbf{x}_t (ou toute la trajectoire) et la position des amers \mathbf{m} à partir de mesures \mathbf{z} bruitées.



Enjeux du SLAM (1/2)

Problèmes à résoudre

- prendre en compte l'incertitude des mesures capteurs,
- trouver une approche efficace pour l'estimation de la position du robot et de la carte (la dimension du problème croît *a priori* avec la trajectoire et le nombre d'amers),
- choisir une représentation de l'environnement,
- association de données,
- reconnaître des lieux précédemment explorés pour corriger la dérive.

→ résolution du problème de manière jointe (**Simultaneous Localisation and Mapping**)

Enjeux du SLAM (2/2)

Hypothèses simplificatrices

- l'association entre données a été réalisée,
- modèle markovien d'évolution du robot (filtrage),
- environnements statiques.

Déficits

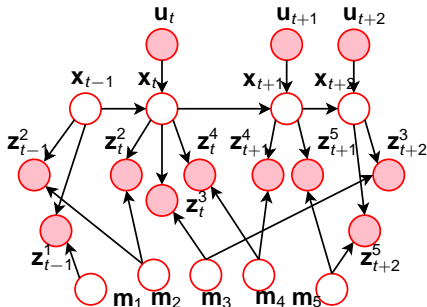
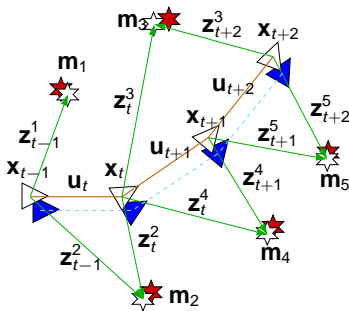
- cartes de grande taille,
- environnement dynamique,
- SLAM avec 6 degrés de liberté,
- garanties sur la position de la carte et des amers.

Plan de l'exposé

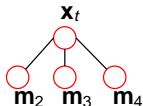
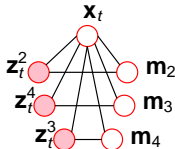
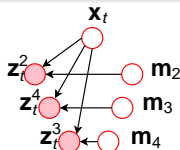
- 1 Cartographie et localisation simultanée
- 2 Solutions actuelles au problème SLAM**
- 3 Spécificités du SLAM visuel
- 4 SLAM en France et à l'étranger
- 5 Conclusion

Représentation probabiliste

Le problème SLAM peut être représenté comme un problème d'inférence dans un graphe de croyance :



Filtre de Kalman étendu (1/2)



Caractéristiques

- première utilisation pour le problème SLAM dans les années 90,
- l'état est représenté par une distribution Gaussienne de dimension $(1+M)$ [M - nombre d'éléments de la carte],
- la prise en compte des corrélations nécessite donc l'utilisation de mémoire en $O(M^2)$,
- la mise à jour d'une mesure modifie l'ensemble des valeurs donc la complexité par mise à jour est en $O(M^2)$.

Filtre de Kalman étendu (2/2)

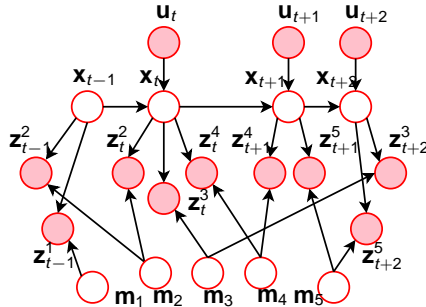
Améliorations

- utilisation de “sous-cartes”,
- représentation sous forme inverse, filtre d'information (matrice creuse si l'on ne retire pas toutes les poses).

Problème intrinsèque

- la linéarisation produit des estimées inconsistantes

Filtrage particulaire (FastSLAM) (1/2)



- les positions des amers sont décorrélées *connaissant* la pose du robot (d-séparation)

Filtrage particulaire (FastSLAM) (2/2)

Caractéristiques

- *chaque* particule représente une position du robot et conserve une estimée de la position des amers dans un filtre de Kalman,
- FastSLAM peut représenter des distributions multimodales de formes complexes,
- complexité en $O(NM)$ (ou $O(N \log(M))$). [M - nombre d'éléments de la carte, N - nombre de particules]

Problèmes intrinsèques

- le nombre de particules doit pouvoir exprimer l'incertitude de la pose sinon le filtre devient inconsistant,
- problème de ré-échantillonnage.

Minimisation directe (1/2)

Square Root SAM, ajustement de faisceaux

- minimisation aux moindres carrés,
- utilise la structure creuse de la matrice d'information pour réduire la complexité qui est en $\max(O(Ml^2), O(N^3))$ [M - nombre d'éléments de la carte, l - nombre moyen de fois qu'un amer est mesuré, N - nombre de poses]

Caractéristiques

- optimal et consistant,
- de complexité croissante,
- nécessite de rejeter des données pour garder le problème tractable.

Minimisation directe (2/2)

Fenêtre glissante (Sliding Window)

- minimisation locale,
- marginalisation des poses.

Caractéristiques

- la structure devient dense,
- algorithme en temps constant,
- proche de la borne optimale (borne Cramer-Rao),
- nécessite de prendre en compte les séquences d'inobservabilité et de rejeter de l'information.

Plan de l'exposé

- 1 Cartographie et localisation simultanée
- 2 Solutions actuelles au problème SLAM
- 3 Spécificités du SLAM visuel**
- 4 SLAM en France et à l'étranger
- 5 Conclusion

Spécificités du SLAM visuel

Par rapport aux approches de traitement d'images

- la complexité du problème est central au SLAM,
- des garanties sur la position des amers sont souhaitables,
- le couplage avec la navigation permet de rajouter des contraintes et d'améliorer la reconstruction.

Par rapport au SLAM sonar/laser

- estimation des 6 degrés de liberté du robot,
- problèmes de changements d'éclairage (capteur passif),
- difficulté supplémentaire d'initialisation des amers,
- association de données simplifiée grâce à la richesse de l'information visuelle,
- quantité importante d'information à traiter.

Représentation de l'environnement

Cartes

- la plupart des solutions actuelles représentent l'environnement par des points [Davison 2003],
- récemment des droites ont permis d'obtenir des représentations plus structurées,
- des plans et maillages triangulaire permettent des représentations denses avec des résultats précis (stéréovision)

Différents capteurs

Capteurs de vision

- caméra monoculaire : ne permet pas d'estimer directement la position des amers, conserver le même facteur d'échelle est difficile,
- paire stéréo : initialisation directe d'amers suffisamment proche de la caméra, permet de fixer le facteur d'échelle,
- caméra omnidirectionnelle : permet de suivre les amers plus longtemps et contraint donc mieux l'estimation du mouvement et du facteur d'échelle.

Plan de l'exposé

- 1 Cartographie et localisation simultanée
- 2 Solutions actuelles au problème SLAM
- 3 Spécificités du SLAM visuel
- 4 SLAM en France et à l'étranger**
- 5 Conclusion

A l'étranger

Avancées récentes dans les laboratoires étrangers

- ACFR : EKF avec “sous-cartes”, DenseSLAM (Bailey, Nieto, Guivant, Durrant-Whyte),
- Berkeley : thin junction trees (Paskin, Jordan),
- CAS-KTH : Graphical SLAM (Folkesson, Christensen),
- Freiburg : slam multi-capteur (Burgard),
- Georgia Tech : Square Root SAM (Daellert),
- Oxford : visual SLAM (Davison), fermeture de boucle (Newman),
- Stanford : FastSLAM (Montemerlo, Thrun),
- Zaragoza : slam hiérarchique, association de données (Neira, Tardos),

Le SLAM est très souvent traité de manière séparée de la navigation.

En France

Quelques travaux récents de laboratoires français

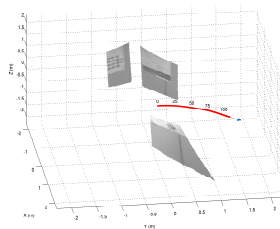
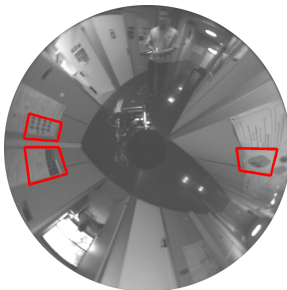
- ARobAS(ex-ICARE, INRIA), travaux en vision panoramique et localisation stéréo,
- Institut des Systèmes Intelligents et Robotique (ENSTA), travaux sur la re-localisation et fermeture de boucle,
- LAAS (CNRS), travaux en vision panoramique et SLAM visuel,
- Lasmea (CNRS-Université Blaise Pascal), reconstruction 3D visuelle combinée avec la navigation autonome sur trajectoire apprise.

Spécificité française : commande et perception sont souvent couplés.

Travaux récents - ARobAS(1/2)

Vision panoramique (Mei, Malis et Rives)

- calibration,
- estimation efficace de la position d'une caméra panoramique à partir de droites et de plans,



Travaux récents - ARobAS(2/2)

SLAM stéréo (Comport, Malis et Rives)

Objectifs :

- Localisation précise et reconstruction dense sans modèle a priori,
- Aide à la conduite et conduite automatique en environnement urbain.

Difficultés :

- Scènes très complexes et dynamiques,
- Changement d'illumination et ombres portées,
- Grand déplacement dans les images



Travaux récents - ENSTA (1/2)

Fermeture de boucle basée vision (Angeli et Filliat)

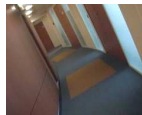
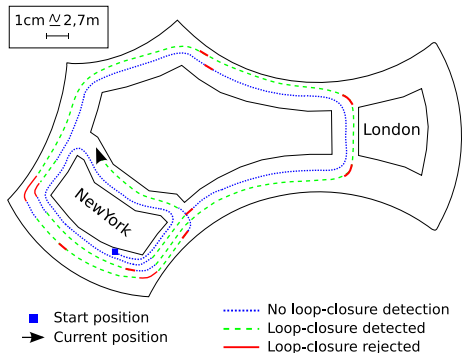
- Caractérisation des images sous forme de “sacs de mots visuels”,
- Filtrage bayésien pour estimer la probabilité de fermeture de boucle,
- géométrie multi-vues pour écarter les fausses alarmes dues au *perceptual aliasing*,

Travaux récents - ENSTA (2/2)

Détection de fermeture de boucle : introduction

Détection de fermeture de boucle : résultats

Détection de fermeture de boucle : résultats



Travaux récents - LAAS (1/2)

SLAM visuel (Sola et Lacroix)

- méthode d'initialisation sans délais d'amers de type points dans un filtre de Kalman,
- série de gaussiennes.



Travaux récents - LAAS (2/2)

Vision panoramique et SLAM visuel (Lemaire, Lacroix)

- filtre de Kalman appliqué à des amers de type points et droites,
- un des premiers exemple de SLAM panoramique.

