

# Cartographie et localisation simultanée avec un capteur de vision

Christopher Mei<sup>1</sup> et Patrick Rives<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Active Vision Group,  
University of Oxford

<sup>2</sup>INRIA 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.

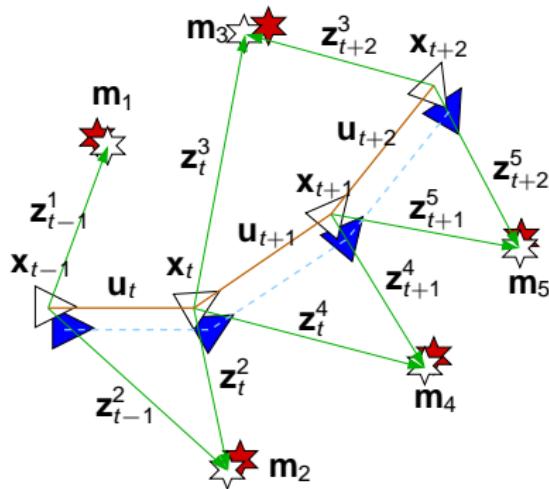
## Pourquoi cartographier ?

- 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.

### Défis

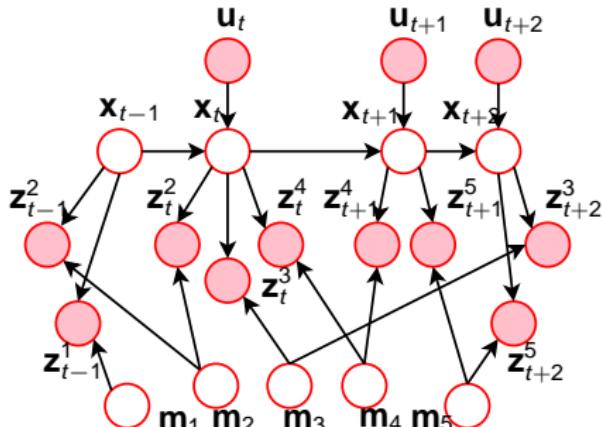
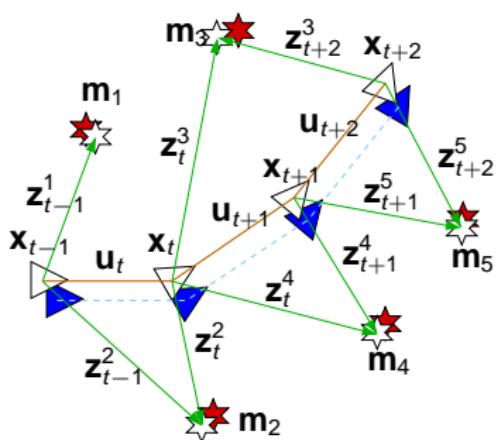
- cartes de grande taille,
- environnement dynamique,
- SLAM avec 6 degrés de liberté,
- garanties sur la position de la carte et des amers.

# Plan de l'exposé

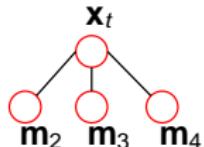
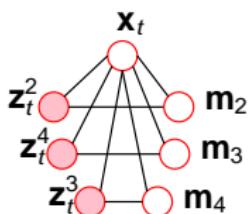
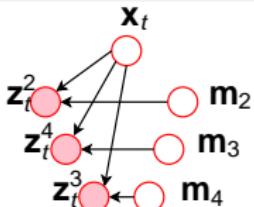
- 1 Cartographie et localisation simultanée
- 2 Solutions actuelles au problème SLAM
- 3 Spécificités du SLAM visuel
- 4 SLAM en France et à l'étranger
- 5 Conclusion

# 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)

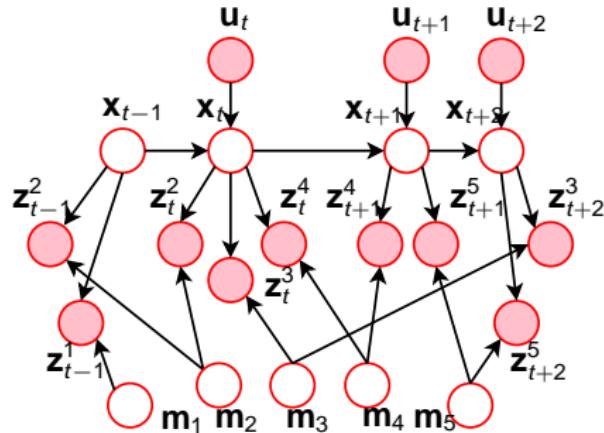
### Améliorations

- 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  $\max(O(MI^2), O(N^3))$  [M - nombre d'éléments de la carte, I - 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 constraint 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.

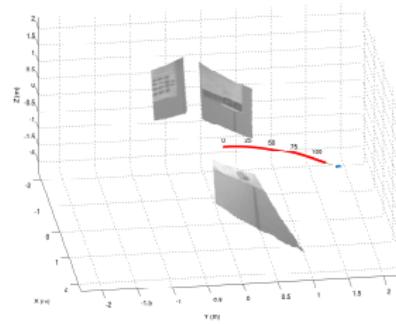
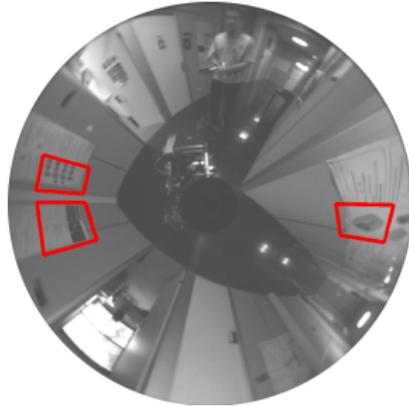
Spécificité française : commande et perception sont souvent couplés.



# 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)

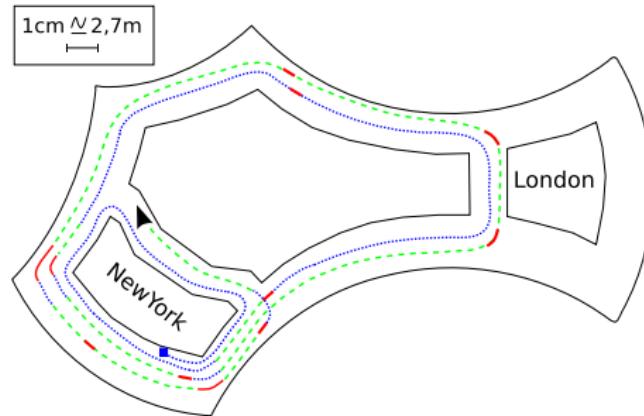
- Caractérisation des images sous forme de “sacs de mots visuels”,
- Filtrage bayésien pour estimer la probabilité de fermeture de boucle,
- géométrie multi-vues pour écarter les fausses alarmes dues au *perceptual aliasing*,

## Travaux récents - ENSTA (2/2)

Détection de fermeture de boucle : introduction

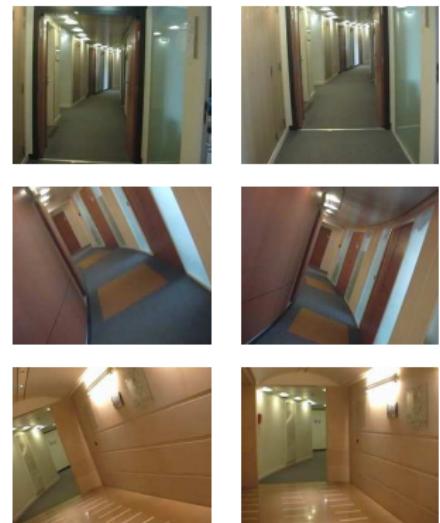
Détection de fermeture de boucle : résultats

### Détection de fermeture de boucle : résultats



- Start position
- Current position

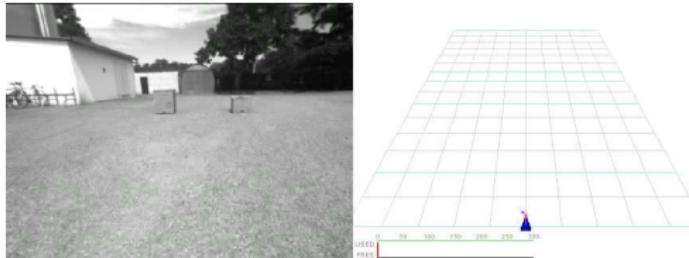
- ..... No loop-closure detection
- - - Loop-closure detected
- Loop-closure rejected



## 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.

