

Sélection et contrôle de modes de déplacement pour un robot mobile autonome en environnements naturels

T. Peynot
LAAS-CNRS
7, av. du Colonel Roche
31077 Toulouse Cedex 4 - France
Thierry.Peynot@laas.fr

Résumé

Cette article présente une approche pour effectuer le contrôle autonome du comportement d'un robot mobile en environnement naturel, doté de différentes capacités de navigation et de locomotion. Une sélection du mode le mieux adapté à la situation courante est effectuée grâce à un système de type Markov sur la base de deux types de données : des informations a priori (carte qualitative) et des données issues d'une surveillance des modes par des moniteurs probabilistes.

Mots Clef

Navigation, Locomotion, Robots mobiles en environnement naturel, Chaîne de Markov, Moniteurs probabilistes.

1 Introduction

Parmi les différents problèmes posés par la navigation d'un robot en environnement naturel non structuré, ceux posés par le choix d'un mode de déplacement adapté et par le contrôle de son exécution ont encore été très peu abordés. Les difficultés sont multiples : la variabilité des situations rencontrées est très grande, la perception que le robot a de son environnement est souvent incertaine et imprécise, et enfin le robot manque bien souvent d'informations pertinentes sur son comportement actuel. Le LAAS-CNRS a développé ces dernières années diverses fonctionnalités permettant de doter les robots d'extérieur de capacités d'autonomie, en particulier dans les domaines de la navigation, de la perception de l'environnement, de la génération de trajectoire et de la localisation. Ces fonctionnalités, associées à des modes de locomotion, peuvent permettre de constituer divers modes de déplacement, permettant au robot d'évoluer efficacement dans des environnements très divers.

L'objectif de ces travaux est de développer un système donnant au robot la capacité de choisir en ligne le meilleur mode de déplacement (de la perception à la locomotion) suivant la situation présente. Ce choix est tout d'abord effectué *a priori* puis adapté *a posteriori* grâce à une observation et une surveillance des différents processus impliqués. Pour cela, il est nécessaire de mettre au point des méthodes d'évaluation du comportement du robot mobile

lors de phases de déplacement et de se servir de ces évaluations pour choisir en ligne le meilleur mode de déplacement (lorsque le robot dispose de plusieurs possibilités). Nous avons choisi de traiter ce problème en utilisant un formalisme probabiliste en raison du caractère incertain des données perçues par le robot et de la disponibilité de méthodes de classification probabiliste de terrain, spécialement dans notre laboratoire.

2 Principe

Nous proposons donc un système probabiliste de sélection et contrôle des *modes de déplacement* les mieux adaptés à la situation courante.

2.1 Les modes de déplacement

Nous distinguons deux catégories de modes (Fig. 1) :

- Les *modes de Navigation* concernent la modélisation de l'environnement et le choix de la trajectoire ou de la méthode de mouvement. Ceux qui sont exploités dans nos expérimentations au LAAS-CNRS sont : un mode de navigation pour terrains plats, utilisant un mouvement réactif basé sur des données laser ; et un mode dédié à la navigation en terrain accidenté, dans lequel un planificateur local évalue la difficulté des trajectoires possibles grâce à une fonction de placement sur un modèle numérique de terrain [2], construit grâce à la stéréovision.
- Une fois ce mode de navigation choisi, le *mode de Locomotion* à sélectionner concerne la manière d'exécuter le mouvement choisi. Ce mode peut être par exemple un niveau de vitesse pour le robot, ou, pour un robot disposant d'un châssis articulé, l'utilisation du *péristaltisme*¹ plutôt que le simple roulement.

2.2 Sélection des modes

Le choix en ligne du mode le mieux adapté à la situation courante repose sur deux types d'information :

- des données dites *a priori* sous la forme de probabilités partielles fournies par un système de classification bayésienne du terrain suivant le meilleur mode (à partir de données issues de la stéréo-vision) [2], ou bien par un

¹dans ce mode le robot "rampe" comme une chenille [1]

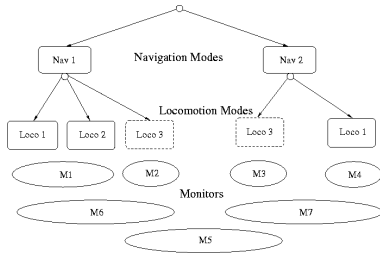


FIG. 1 – Les deux niveaux de modes (Navigation et Locomotion) et des moniteurs associés.

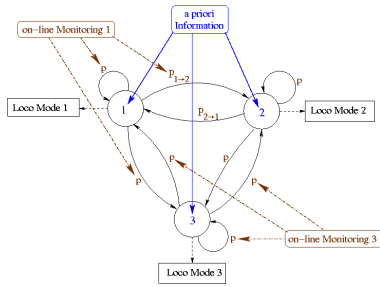


FIG. 2 – Chaîne de Markov pour la sélection en ligne de modes de locomotion

opérateur qui prend la décision d’après les images visualisées.

- des données issues de *moniteurs probabilistes* fournissant des informations sur le comportement du robot, ou sur l’adéquation des conditions avec le mode utilisé actuellement. Nos travaux mettent l’accent sur cette partie. Ces deux types de données alimentent une chaîne de type Markov [5] (Fig. 2) dans laquelle les états sont les modes disponibles et les probabilités de transition d’un mode à un autre sont générées à l’issue d’une combinaison des probabilités fournies par les *moniteurs* [4] et de la prise en compte d’un coût associé au changement de mode correspondant (pour éviter les basculements de modes prématurés ou trop fréquents).

Ainsi, la probabilité que le mode m_k soit le mode le mieux adapté à l’instant t est :

$$p(m_k|O^t) = \eta_t p(O_t|m_k) \sum_{i=0}^{K-1} p_{ik} p(m_i|O^{t-1}) \quad (1)$$

- où :
- O^t sont les observations réalisées jusqu’à l’instant t .
 - p_{ik} est la probabilité de la transition du mode i au mode k . Plus précisément, $p_{ik} = q_{ik} \text{cost}_{ik}$, où q_{ik} est une transition de probabilité fournie par le monitoring *en ligne* et cost_{ik} est un coût associé au changement de mode de i à k .
 - K est le nombre de modes.
 - $p(O_t|m_k)$ est la probabilité que l’observation O_t soit faite sachant que le rover est dans le mode m_k . Cette information est fournie par l’analyse du terrain (classification *a priori*).
 - η_t est un coefficient de normalisation.

Le mode sélectionné sera celui qui a la meilleure probabilité $p(m_k|O^t)$.

2.3 Moniteurs

Pour mettre à jour les probabilités de transition, nous utilisons des *moniteurs de mode*. Ces moniteurs ont deux missions : vérifier la bonne adéquation du contexte courant au mode utilisé, et évaluer la qualité du comportement du mode actuel. Un exemple d’un tel moniteur probabiliste concernant les modes de locomotion est l’*évaluateur d’efficacité de la locomotion* (voir [3]), méthode de détection des situations de glissements et particulièrement les plus graves : les *fautes de locomotion* (le robot n’avance plus alors que ses roues continuent à tourner). D’autres moniteurs ont été développés ou sont en cours de développement, tels que la détection de terrain non plat (pour des modes de déplacement nécessitant un terrain plat), ou bien l’exploitation de la comparaison entre configurations et attitudes prévues et celles mesurées en ligne.

3 Conclusion et perspectives

Des résultats préliminaires encourageants ont été obtenus à partir de données issues de deux types de robots du LAAS-CNRS, l’un disposant de diverses capacités de locomotion (le Marsokhod rover Lama) et l’autre pouvant exploiter différents modes de navigation (un ATRV de iRobot nommé Dala). Les perspectives de ce travail concernent essentiellement deux points :

- le développement de moniteurs probabilistes supplémentaires actuellement en cours d’étude : en effet, plus leur nombre sera important, meilleures seront l’évaluation et la sélection des modes.
- la validation expérimentale du système complet (seulement testé partiellement ou hors ligne pour le moment), sur différentes plates-formes.

Références

- [1] G. Andrade, F. Ben Amar, P. Bidaud, and R. Chatila. Modeling robot-soil interaction for planetary rover motion control. In *IROS*, 1998.
- [2] S. Lacroix et al. Autonomous rover navigation on unknown terrains : Functions and integration. *International Journal of Robotics Research*, 2002.
- [3] T. Peynot and S. Lacroix. Enhanced locomotion control for a planetary rover. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2003.
- [4] T. Peynot and S. Lacroix. A probabilistic framework to monitor a multi-mode outdoor robot. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2005.
- [5] V. Verma, R. Simmons, and J. Fernandez. Probabilistic models for monitoring and fault diagnosis. In *Joint Workshop on Technical Challenge for Dependable Robots in Human Environments*, 2002.