



**HAL**  
open science

# Modélisation cinématique des robots mobiles par visio-algorithme

Peter Mitrouchev, Radoslav Deliyski, Pencho Venkov

► **To cite this version:**

Peter Mitrouchev, Radoslav Deliyski, Pencho Venkov. Modélisation cinématique des robots mobiles par visio-algorithme. CFM 2007 - 18ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2007, Grenoble, France. hal-03360188

**HAL Id: hal-03360188**

**<https://hal.science/hal-03360188v1>**

Submitted on 30 Sep 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Un visio-algorithme pour la modélisation cinématique de robots mobiles

Peter Mitrouchev\*, Radoslav Deliyski\*\*, Pencho Venkov\*\*

\*Laboratoire G-SCOP, Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production de Grenoble, FRE-3028 CNRS, 46, av. Félix Viallet, 38031, GRENOBLE Cedex 1, France,

E mail : [Peter.Mitrouchev@hmg.inpg.fr](mailto:Peter.Mitrouchev@hmg.inpg.fr)

\*\*Faculté d'Automatique, Université Technique de Sofia, bld. Kliment Ohridski, N° 8, Bulgarie,

E-mail: [rdeliyski@yahoo.co.uk](mailto:rdeliyski@yahoo.co.uk), [pven@tu-sofia.bg](mailto:pven@tu-sofia.bg)

### Résumé :

Une approche pour le suivi des robots mobiles dans un système pelotonique calculant la distance entre les robots en utilisant seulement une caméra numérique avec l'appui de deux sondes infrarouges est présentée. Les principales caractéristiques définissant la distance entre deux robots sont obtenues par traitement d'image. La commande des véhicules dans un peloton étant basée sur le calcul de la vitesse linéaire et angulaire du véhicule précédent, une approche pour calculer la vitesse angulaire par traitement d'image est également présentée. A cette fin, un segment linéaire est extrait à partir d'une image afin de calculer la déviation d'angle et la vitesse du robot en utilisant une relation géométrique simple. Une comparaison entre l'approche géométrique proposée et l'approche classique de type Look Up Tables (LUT) montre que: i) la relation entre les caractéristiques principales et la distance entre les deux robots est non-linéaire et que les données des différentes sources d'information sont fusionnées pour un temps de calcul très court, ii) bien que l'approche LUT soit plus précise, l'approche géométrique proposée peut être utilisée dans des systèmes pelotoniques à cause de sa simplicité et de son temps de calcul assez faible.

### Abstract :

An approach for tracking of mobile robots in a platooning system which calculates the distance between the robots using only a single digital camera with support of infra-red range finders is presented. The key features defining the distance between two robots are obtained by image processing. The calculated distances by the two sensor channels are synchronized in time and fused with a weighted average algorithm. The control of transport means driven in a platoon relies on linear and angular velocity of the preceding transport means. Thus an approach for angular speed defining by means of computer vision is also presented. A linear segment is extracted from an image in order to calculate the angle shift and the velocity of the robot using a simple geometrical relation. A comparison between the proposed geometrical approach and the classical Look Up Tables (LUT) solution shows: i) that the relation between key features and distance is nonlinear and the data from different sources are reliably fused in a short computation time, ii) although the LUT is more accurate, the proposed geometrical approach can be useful in transport means due to its simplicity and short computational time.

**Mots-clefs : robots mobiles, modèle cinématique, vision par ordinateur**

### 1 Introduction

Les techniques de *suivi en peloton* pour des moyens de transport permettent à plusieurs véhicules de se suivre très étroitement sans aucune liaison mécanique entre eux (Varaiya 1993). Diverses techniques ont déjà été démontrées mesurant la distance et la vitesse entre les véhicules avec différents types de capteurs comme des radars (Parent 2000), des rayons infrarouge (Baum *et al.* 2001) ou des sondes ultrasoniques (Wu *et al.* 2001). La plupart de ces approches combinent des repères de référence avec des marques artificielles prédéfinies telles

que des raies réfléchissantes, des balises actives ou différents types d'émetteurs afin de localiser le véhicule à suivre et de calculer la distance entre eux (Chang *et al.* 2003). D'autres travaux suggèrent de mesurer la distance par un traitement numérique d'image par vision artificielle (Michel *et al.* 1995). Des sondes CCD sont également utilisées dans différents types d'environnements tels qu'à l'intérieur ou à l'extérieur de sites fermés, dans l'espace, travaux sous-marins (Wolf *et al.* 2002). Des nouvelles méthodes, combinant différentes méthodes classiques sont apparues récemment. Par exemple Gaspar *et al.* (2000) ont combiné CCD caméras et miroir convexe pour la localisation des robots mobiles dans un environnement enfermé. Des caméras numériques, GPS et lasers sont également utilisés dans certaines applications (Crawford 2005). L'analyse de la recherche bibliothèque montre que parmi les différentes méthodes utilisées, le traitement d'image avec caméras numériques est une méthode assez fiable, mais son application est limitée de fait qu'elle nécessite des techniques de stéréovision. L'inconvénient de ces dernières est qu'elles ont besoin de deux caméras et de calculs compliqués, qui rend le système cher, gourmand en consommation d'énergie et par conséquent peu applicable dans les systèmes temps réel. Dans quelques travaux précédents, (Venkov *et al.* 2004, Deliyiski *et al.* 2004, Deliyiski *et al.* 2006) nous avons proposé un *algorithme* pour la détection des couleurs et d'analyse des formes, spécialement conçu pour des applications temps-réel de systèmes de transport ainsi qu'un logiciel qui l'exécute. Dans ce contexte, le *but principal* abordé ici est la modélisation cinématique des robots mobiles. Premièrement une approche pour le suivi des robots mobiles qui calcule la distance entre les robots en utilisant seulement une caméra numérique avec l'appui de deux sondes (émetteurs infrarouge IR) est présentée. Deuxièmement une approche pour calculer la vitesse angulaire d'un robot par traitement d'image est présentée. Les résultats de cette étude peuvent être utiles pour concevoir des systèmes pelotoniques de transport et pour améliorer la fonctionnalité de leurs commandes longitudinale et latérale.

## 2 Méthode proposée

La méthode proposée est basée sur les hypothèses suivantes : i) les robots se déplacent en vitesse lente sur une surface plane, ii) les robots sont considérés comme des corps rigides (système holonome) et iii) les roues roulent sans glissement. Le système sensoriel inclut deux types de sources : une caméra numérique et deux sondes infrarouges, montées sur le robot suivant (deuxième robot). La caméra capte la scène devant elle et les images sont envoyées par l'intermédiaire de la carte d'interface sans fil (NIC) au poste de travail. Ce dernier traite les images et calcule la distance entre les robots. En même temps, les sondes infrarouges calculent la distance par triangulation. Puis, leurs données sont envoyées par l'intermédiaire de la carte NIC de réseau au processeur du poste de travail (cf. Fig.1).

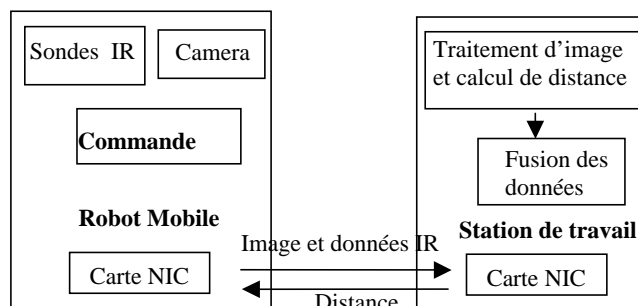


FIG. 1 – Configuration de système.

Le principe de calcul de la distance entre deux mobiles (véhicules) est basé sur le fait que le véhicule éloigné semble plus petit tandis que celui qui est le plus près semble plus grand. Pour cette raison deux diodes-émetteurs (objets) de lumière infra-rouge à forme sphérique sont placés sur un panneau blanc sur le robot précédent (premier robot) (cf. Fig. 4a, §.3). Pendant le processus d'analyse d'image, différents paramètres de ces objets sont calculés comme; l'air de la section, longueur, largeur et leur périmètre. En plus de ces derniers, l'algorithme de connectivité et d'analyse des zones (Deliyski et al. 2004) calcule le centre de gravité des deux objets prédéfinis ainsi que la longueur du segment linéaire reliant ces deux centres de gravité. L'air de la section, la longueur et le périmètre sont sensibles aux bruits et par conséquent leur utilisation n'est pas fiable pour la mesure de la distance, mais ils sont utilisés pour filtrer les objets inutiles dans le repère courant. En ce qui concerne les longueurs des segments reliant les centres de gravité, ils sont résistants aux bruits et par conséquent sont utilisés pour définir la distance entre les robots.

La caméra numérique et les sondes infrarouges calculent la distance entre les robots de façon indépendante. Leurs résultats sont ensuite fusionnés donnant une nouvelle valeur fiable qui est par la suite utilisée par la commande (cf. Fig. 2). Les vitesses linéaires et angulaires du robot sont calculées par traitement d'image. Les images sont capturées par la caméra RGB (Red, Green, Blue) située sur le robot suivant, et ensuite traitées afin de calculer la longueur du segment reliant les centres de gravité de deux objets (Venkov *et al.* 2004).

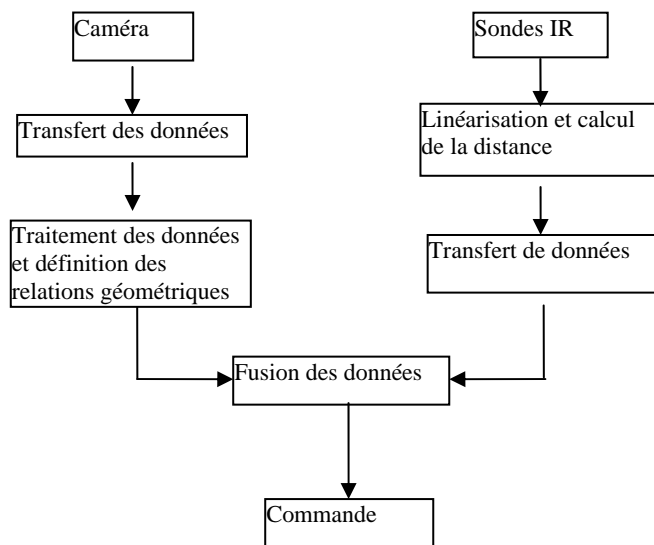


FIG. 2 – Structure du système sensoriel.

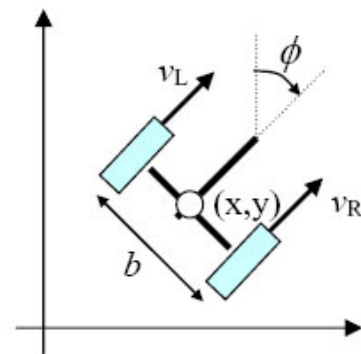


FIG. 3 – Configuration mobile différentielle du robot.

## 2.1 Calcul de la vitesse linéaire et angulaire

La distance linéaire  $l$  entre les deux robots est définie par LUT (Look Up Tables) et par l'algorithme d'interpolation avec en entrée : *valeur longueur du segment* et en sortie : *valeur-distance* (Deliyski *et al.* 2006). La vitesse linéaire  $v$  est définie par :

$$v = \frac{l_2 - l_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (1)$$

où  $l_1$  la distance calculée à l'instant  $t_1$  et  $l_2$  la distance calculée à l'instant  $t_2$ . L'idée principale pour calculer la rotation du robot précédent est également basée sur le calcul de la longueur de segment. Grâce à la corrélation entre l'angle de rotation et la longueur du segment, un paramètre additionnel est utilisé. Ce paramètre est la hauteur de l'objet (appelée zone). Ces deux paramètres sont par la suite utilisés pour écrire la proportion suivante :

$$\frac{l}{h} = \frac{l^*}{h^*} \quad (2)$$

où  $l$  est la longueur du segment au moment courant,  $l^*$  la longueur du segment au moment suivant (à distance  $D$ ),  $h$  la hauteur de la zone au moment courant et  $h^*$  hauteur de la zone au moment suivant. Si la condition (2) est vérifiée, le robot précédent est en mouvement linéaire (de translation). Si elle ne l'est pas, le robot précédent est en mouvement de rotation. Dans ce cas la vitesse angulaire  $w$  du robot est calculée par :

$$w = \frac{\Theta_2 - \Theta_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\Theta}{\Delta t} \quad (3)$$

où  $\theta_1$  est l'angle de rotation du robot à l'instant  $t_1$  et  $\theta_2$  l'angle à l'instant  $t_2$ .

Les vitesses linéaire  $v$  et angulaire  $w$  du robot sont exploitées par le modèle cinématique afin de calculer les vitesses des roues gauches et droites du robot. Considérons que le robot mobile (supposé comme un point matériel) suit une trajectoire dans un plan horizontal. Soit  $\bar{w}_R$  et  $\bar{w}_L$  les vitesses angulaires des roues gauches et droites (cf. Fig. 3). Sachant le rayon  $r$  des roues et la base  $b$  entre les roues du robot, les vitesses linéaire et angulaire du robot peuvent être calculées par :

$$v = \frac{v_R + v_L}{2} = \frac{\bar{w}_R - \bar{w}_L}{2} r \quad (4)$$

$$\bar{w} = \frac{v_R - v_L}{b} = \frac{\bar{w}_R + \bar{w}_L}{b} r \quad (5)$$

A partir des équations (5) et (6) les vitesses angulaires des deux roues sont calculées par :

$$\bar{w}_L = \frac{-v + (b/2)\bar{w}}{r} \quad \text{et} \quad \bar{w}_R = \frac{v + (b/2)\bar{w}}{r} \quad (6)$$

Finalement le modèle cinématique du robot est présenté sous la forme :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}' \\ \dot{y}' \\ \dot{\phi}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} \sin \phi & -\frac{r}{2} \sin \phi & 0 \\ -\frac{r}{2} \cos \phi & \frac{r}{2} \cos \phi & 0 \\ -\frac{r}{b} & \frac{r}{b} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\omega}_L \\ \bar{\omega}_R \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Ce dernier est par la suite utilisé pour concevoir la commande du robot.

### 3 Expériences et résultats

En utilisant l'approche présentée, plusieurs expériences ont été effectuées. Puisque nous avons seulement un robot mobile (WifiBot) il a été utilisé comme véhicule suivant. Les mouvements du véhicule précédent ont été simulés avec le robot anthropomorphe Mentor. En plus des données fournies par la caméra, les données des capteurs (sondes) infrarouges sont utilisées par le module de fusion de données du système afin d'assurer la fiabilité de la mesure de la distance. Les capteurs (sondes) infrarouges ont été situés sur la face frontale du deuxième robot, mesurant ainsi la distance entre les objets par triangulation. Les objets sont deux cercles rouges collés sur un panneau blanc (pour un meilleur contraste) situé sur la face arrière du robot précédent (cf. fig. 4a). Les sondes Sharp GP2Y0A02YK de tension 5 V mesurent la distance dans un intervalle de 30 à 120 centimètres. Un logiciel, spécialement développé (Deliyski *et al.* 2004), traite les images et calcule la distance entre les robots. En Fig. 4b le seuil de sortie de l'algorithme de regroupement de couleur est présenté. Les résultats confirment l'extraction des dispositifs colorés rouges, mais prouvent également que des objets avec la même couleur seront identifiés comme bons (dans la partie inférieure de l'image) bien qu'ils ne le soient pas. Cette sortie confirme également la nécessité d'appliquer la clustérisation morphologique, dont le résultat est présenté en Fig. 4c.



FIG. 4 – a) Sortie niveau de gris de la caméra, b) sortie de l'algorithme de groupement de couleur, c) la même image après clustérisations morphologique.

Un autre logiciel de traitement d'image (Venkov *et al.* 2004) a été utilisé pour calculer la vitesse angulaire du robot. Les images d'entrée ont été capturées par la caméra DSC-900 située sur le robot WifiBot. Pendant l'expérience les objets collés ont été tournés entre 0 et 55 degrés avec un pas de 10 degrés. Après traitement, la longueur de segment a été utilisée pour calculer l'angle de rotation et ensuite la vitesse angulaire du robot. L'approche proposée a été comparée avec la solution classique de LUT pour le calcul de la rotation (cf. Fig. 5). Les résultats prouvent que l'approche de LUT est plus précise que la méthode géométrique proposée. Mais cette dernière est plus précise dans l'intervalle inférieur à 10 degrés. Comme présenté en Fig. 6 l'approche géométrique proposée donne une erreur plus élevée dans l'intervalle entre 10 et 20 degrés. Une raison possible pour cela peut être les différents types d'erreurs dans les repères sorties.

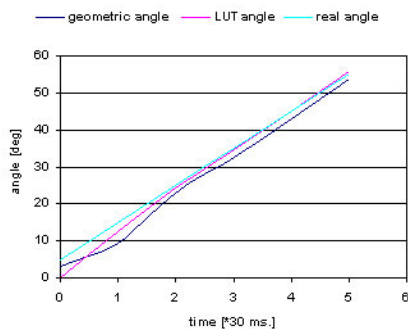


FIG. 5 – Angle géométrique, LUT angle et angle réel en fonction du temps.

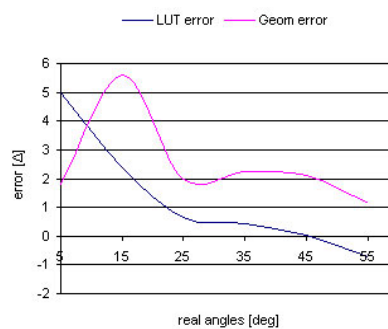


FIG. 6 – Relation erreur en fonction de l'angle réel.

## 4 Conclusions

Le point clé du système de suivi proposé est son schéma de synchronisation. Comme il impose un temps de retard, ses performances sont restreintes du fait que les données sont traitées avec une consigne de 30 ms. Nous notons que cela pourrait avoir des conséquences négatives lors d'une collision à grande vitesse. Ainsi, le *schéma de synchronisation* peut être amélioré dans une future étude. L'approche géométrique proposée est très simple par son exécution et peu gourmande en temps de calcul. Par conséquent elle peut être utilisée avec succès en remplaçant l'approche LUT surtout quand il s'agit de faibles angles de rotation. Enfin l'approche proposée peut être utilisée par le modèle du robot et ensuite par la commande pour le suivi des véhicules. Sa précision peut être garantie après son application dans la loi de commande d'un robot mobile, qui est la prochaine étape du projet de recherche. La rotation étant un élément important dans le mouvement, joue un rôle significatif dans la détermination de l'orientation des robots et peut être utile même au-delà des applications en suivi autonome.

## Références

- Baum, H., Geibler, T., Schulz, W.H., Schulze, M. 2001 Cost-Benefit Analyses of CHAUFFEUR Systems – Methodology and Empirical Results, *8-th World Congress on Intelligent Transport Systems*, Sydney.
- Chang, C.F., Tsai, C.C., Hsu, J.C. and Lin C.C. 2003 Laser pose tracking for a mobile robot using fuzzy adaptive extended information filtering. *Proceedings of the American Control Conference*, pp. 2471–2476.
- Crawford, S., Cannon, M.E. 2005 Performance Evaluation of Sensor Combinations for Mobile Platoon Control. MSc Thesis, *published as Report No. 20213*, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary.
- Deliyski, R. and Venkov, P. 2004 Software of computer vision system for guiding of autonomous vehicle. *Proceeding TU - Sofia – volume 54, vol. 2*, 81 – 88.
- Deliyski, R. and Mitrouchev, P. 2006 Visual-based system for tracking of mobile robots with support of infra-red sensor. *Twelfth IASTED International Conference on Robotics and Applications (RA 2006)*, August 14-16, Honolulu, HI, USA, pp. 43-48.
- Gaspar, J., Winters, N. and Santos-Victor, J. 2000 Vision-based navigation and environmental representations with an omni-directional camera. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 16, 890–898.
- Michel, M., Daviet, P. and Abdou, S. 1995 Vision Technique for Platoon Driving. *4-th International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering*. Capri, Italy.
- Parent, M. 2002 User Needs Analysis and Analysis of Key Technologies, INRIA, Research report, CiberCars IST – 2000/28487.
- Varaiya, P. 1993 Smart cars on smart roads: problems of control. In *IEEE Transactions on Automatic Control*, pp.32-38.
- Venkov, P., Deliyski, R. and Ivanov, S. 2004 Algorithms and software for real time processing of colour images. *Proceeding TU - Sofia – Volume 54, vol. 2*, 73-80.
- Wolf, J., Burgard, W. and Burkhardt, H. 2002 Robust vision-based localization for mobile robots using an image retrieval system based on invariant features. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 359–365.
- Wu, C.J., Tsai, C.C. 2001 Localization of an autonomous mobile robot based on ultrasonic sensory information. *Journal of Intelligent and Robotic System*, 30, 267–277.