

# Optimisation de trajectoires de robots redondants en présence d'obstacles

Philippe Wenger, *IRCCyN*, Alfonso Pamanes, *Instituto Tecnológico de La Laguna*

Cette présentation décrit un projet en démarrage entre l'IRCCyN et l'Instituto tecnologico de la Laguna sur l'analyse et la conception de sites robotisés. Ce projet a démarré au cours du séjour comme Professeur invité de Alfonso Pamanes à l'IRCCyN en juillet 2001.

On s'intéresse à l'analyse de tâches robotisées pour lesquelles l'organe terminal du robot doit suivre de manière continue une trajectoire donnée. De telles tâches sont courantes dans les applications telles que le soudage à l'arc ou encore la découpe. On considère des robots redondants, c'est-à-dire possédant plus d'articulations motorisées que nécessaire pour accomplir une tâche donnée. La redondance permet d'optimiser les performances d'un robot et de s'affranchir plus facilement des contraintes comme les obstacles ou les limites articulaires.

On constate que peu de travaux ont été consacrés à ce sujet (Pamanes 1999, Wenger 2001). Certaines contributions considèrent des robots non redondants (Borrel and Liegeois 1986, Reynier et al 1992). Celles qui font intervenir des robots redondants ne considèrent pas le problème d'analyse de faisabilité (Pin and Tulloch 1996, Nerchou and Aspragathos 1997).

Pour qu'une trajectoire donnée soit faisable, les trois conditions suivantes doivent être remplies :

1. l'ensemble de la trajectoire doit être accessible (condition de d'accessibilité),
2. l'organe terminal ne doit pas quitter la trajectoire en cours de mouvement (condition de parcourabilité),
3. l'organe terminal doit suivre la trajectoire avec une vitesse donnée.

Les deux premières conditions sont de nature géométrique tandis que la troisième est cinématique.

La présence d'obstacles dans le site d'une part, de limites articulaires et de singularités du robot d'autre part, font que les conditions de faisabilités peuvent ne pas être remplies.

On note que si la première condition n'est pas satisfaite, les deux suivantes ne le seront pas. De même, si la seconde condition n'est pas remplie, la troisième ne le sera pas. A l'inverse, la trajectoire peut être accessible sans être parcourable, comme l'illustre la figure 1. Si on suppose que les limites articulaires empêchent le robot de travailler en posture « coude bas », tous les points de la trajectoire sont accessibles mais le robot ne pas passer entre les deux configurations en pointillé sans quitter la trajectoire.

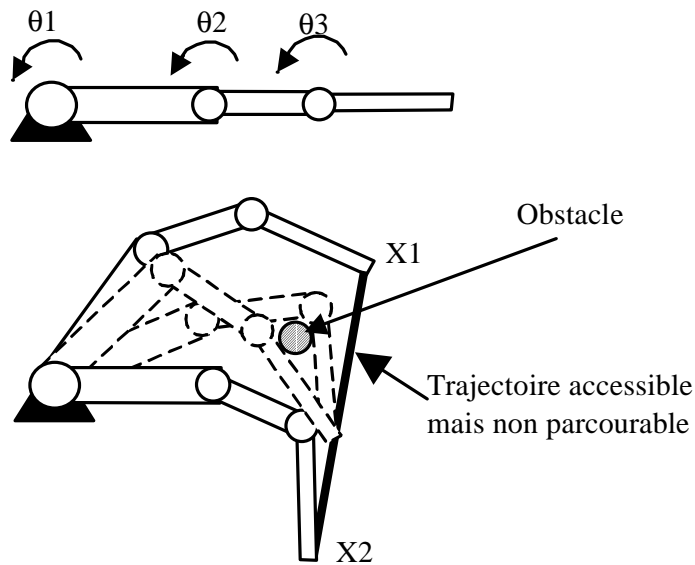


Figure 1. Accessibilité et parcourabilité

Aussi, la trajectoire peut être parcourable mais pas avec la vitesse souhaitée. Cela se produit généralement au voisinage d'une singularité lorsque la direction du déplacement correspond à la direction dégénérée (Chevallereau 1998).

Si la trajectoire est faisable, il est intéressant d'optimiser la façon dont le robot va suivre cette trajectoire. Plusieurs critères d'optimisation peuvent être utilisés comme la distance vis-à-vis des limites articulaires et des obstacles, la minimisation des couples articulaires, ou la dextérité.

Nous présentons deux approches complémentaires au problème d'analyse et d'optimisation. La première approche a été développée à l'IRCCy N (Wenger 2001). Elle consiste à analyser la faisabilité en raisonnant dans un espace étendu afin de résoudre le problème de la redondance. On génère des domaines de faisabilité dans un plan défini par l'abscisse curviligne le long de la trajectoire et l'une des variables articulaires du robot. Ces domaines sont définis à partir de la notion d'aspect et sont modélisés à l'aide de quadrees. L'optimisation du mouvement du robot peut alors être traité a posteriori à l'aide d'un algorithme d'exploration de graphe comme l'algorithme A\*.

La seconde approche est abordée à l'Instituto Tecnológico de la Laguna. Pour une vitesse souhaitée de l'organe terminal, cette méthode permet de résoudre la redondance en optimisant un critère de performance cinématique tout au long de la trajectoire, en évitant des collisions avec les obstacles, et sans violation des limites articulaires (Pámanes, et al. 1999). Dans une première formulation du problème on a contraint le robot à utiliser des configurations dans un seul aspect; par la suite, la méthode a été étendue pour autoriser l'utilisation de configurations singulières de passage quand un changement d'aspect est nécessaire et possible. Si le robot est obligé d'utiliser une configuration singulière, on ne peut optimiser les performances que pour les configurations initiale et finale; toutes les autres configurations devront être contrôlées pour se rapprocher de façon continue de la configuration singulière de passage, et pour s'éloigner de celle-ci de la même façon après le changement d'aspect. On propose l'utilisation d'une loi cycloïde pour de telles phases de rapprochement et d'éloignement.

Nous illustrons ces deux approches au travers d'un exemple de robot plan à trois articulations rotoïde d'axes parallèle évoluant dans un environnement encombré d'obstacles.

Dans la suite du projet, un premier travail va être d'intégrer l'approche de l'IRCCyN dans le logiciel d'optimisation développé à l'Instituto Tecnológico de la Laguna. Les deux approches seront alors testées et comparées sur plusieurs exemples. On étudiera en particulier le cas des trajectoires passant par une singularité. Puis, on traitera des robots spatiaux à 6 degrés de liberté. Dans un travail à plus long terme, on envisage d'élargir les deux approches au cas des robots de morphologie cuspidale.

## Bibliographie

- Borrel, P. and Liegeois, A. 1986. "A Study of Manipulator Inverse Kinematic Solutions with Application to Trajectory Planning and Workspace Determination, Proc. IEEE Int. Conf. Rob. and Aut., pp. 1180-1185.
- Chevallereau, C. 1998. "Feasible trajectories in task space from a singularity for a nonredundant or redundant manipulator", *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 17(1), pp. 56-69.
- Nearchaou, A.C and Aspragathos, N.A. 1997. "A genetic path-planning algorithm for redundant articulated robots", *Robotica*, Vol. 15(2), pp. 213-224
- Pàmames, J.A., Barron, A. and Pinedo, C.R. 1999. "Constrained Optimization in Redundancy Resolution of Robotic Manipulators", Proc. Tenth World Congress on the Theory of Machines and Mechanisms, pp 1057-1066.
- Pi, F.G., Tulloch, F.A. 1996. "Resolving Kinematic Redundancy with Constraints Using the FSP Approach." Proc. IEEE Int. Conf. on Rob. and Aut., pp. 468-473.
- Reynier F, Chedmail P, Wenger P. 1992. "Optimal Positioning of Robots, Continuous Trajectories Feasibility Among Obstacles", Proc. IEEE Int. Conf. on Syst., Man. and Cybern., pp. 189-194.
- Wenger P 2001. "Curve-following for redundant manipulators with obstacles : feasibility analysis and solutions", proposed to the International Journal of Robotics Research.