

Logiciel d'aide à la conception de plates-formes de mouvement d'architecture parallèle

Boris Mayer St-Onge Clément M. Gosselin

Département de Génie Mécanique, Université Laval, Québec, Québec, Canada, G1K 7P4

Résumé

Cet article présente un logiciel pour la visualisation, l'analyse et la conception de mécanismes de simulation de mouvement. KADMoS (*Kinematic Analysis and Design of Motion System*) permet à l'utilisateur d'étudier différents types d'architectures de type parallèle. Plusieurs propriétés peuvent y être analysées, notamment deux types d'espace atteignable, les singularités et diverses propriétés cinématiques. Puisque la plupart des algorithmes sont basés sur des formules symboliques, l'utilisateur peut modifier librement les paramètres géométriques tandis que les propriétés sont obtenues interactivement.

1. Introduction

Les manipulateurs parallèles sont des architectures qui possèdent des caractéristiques bien différentes des manipulateurs de type sériel utilisés en industrie. Contrairement à ces derniers, plusieurs chaînes cinématiques relient la base du manipulateur à l'effecteur, ce qui implique que la masse de l'effecteur est maintenant supportée par plusieurs pattes. De plus, si l'on utilise des actionneurs hydrauliques linéaires — qui sont beaucoup plus puissants que les actionneurs électriques rotatifs — on obtient une architecture très robuste et pouvant déplacer des charges assez imposantes. C'est ainsi que les mécanismes utilisés comme plate-forme de mouvement sont habituellement conçus à partir de manipulateurs parallèles. L'application la plus connue est sans contre-dit les simulateurs de vol dont l'architecture est un manipulateur parallèle à six degrés de liberté avec des actionneurs linéaires. Cette architecture est mieux connue sous le nom de plate-forme de *Gough-Stewart*.

Cependant, la conception des manipulateurs parallèles est beaucoup moins intuitive que celle des robots sériels. Ainsi, le développement de nouvelles géométries est une tâche très complexe. De plus, la conception d'une plate-forme de mouvement à partir de spécifications — les débattements cartésiens de la plate-forme, par exemple — implique la détermination de plusieurs propriétés telles que l'espace atteignable, la dextérité, les singularités, les limites en vitesses et accélérations, et bien d'autres. Effectuer ces analyses devient plus facile avec l'aide d'outils informatiques dédiés à ce genre de problème, ce qui est présenté sommairement dans cet article. Il s'agit d'un logiciel d'aide à la conception de plate-forme de mouvement, nommé KADMoS, pour *Kinematic Analysis and Design of Motion System*.

2. Structure du logiciel et cinématique des manipulateurs parallèles

L'une des caractéristiques principales de KADMoS est sa modularité. Chacune des composantes constituant un mani-

pulateur parallèle — la base, les pattes et l'effecteur — ont été modélisées individuellement et sont ensuite assemblées pour former notre mécanisme. Cette façon de faire a plusieurs avantages, dont celui de pouvoir créer très facilement de nouvelles architectures, puisque des modules existent déjà pour plusieurs types de pattes. Ainsi, on divise les équations cinématiques des mécanismes selon chacune des pattes. Pour commencer, on trouve la solution au problème géométrique inverse. Pour ce faire, on suppose que la position et l'orientation de la plate-forme sont connues. Par simple translation on trouve ensuite la position du point terminal de la patte. On trouve alors, pour chaque type de patte, une expression de la forme

$$\theta_i = f(\mathbf{p}) \quad (1)$$

où \mathbf{p} contient les six coordonnées cartésiennes de l'effecteur et où θ_i est la coordonnée de l'articulation actionnée de la patte (il peut avoir plus d'une articulation actionnée quoique, en général, ce n'est pas le cas). Ensuite, nous trouvons la relation entre la vitesse articulaire de la patte et les vitesses de l'effecteur. On obtient alors la relation

$$\mathbf{a}_i^T \mathbf{t} + b_i \dot{\theta}_i = 0 \quad (2)$$

où \mathbf{t} contient les vitesses de l'effecteur (visseur cinématique). On peut par la suite dériver la dernière équation pour obtenir la relation entre les accélérations puis entre les dérivées des accélérations pour chacune des pattes. Lors de la création d'une architecture, les équations liées à chacune des pattes sont utilisées pour obtenir les équations de la plate-forme. Par exemple, on peut écrire la relation entre les vitesses de la plate-forme et les vitesses des articulations sous la forme

$$\mathbf{A}\mathbf{s} + \mathbf{B}\dot{\boldsymbol{\theta}} = \mathbf{0} \quad (3)$$

où \mathbf{s} contient les vitesses indépendantes de l'effecteur. Pour un manipulateur à six degrés de liberté, les vecteurs \mathbf{t} et \mathbf{s} seront égaux. Dans le cas contraire, ils seront reliés par une matrice obtenue avec les pattes contraignant le mouvement.

3. Propriétés analysées

Tel que mentionné plus haut, la conception de mécanismes parallèles nécessite la détermination de plusieurs propriétés. Des algorithmes ont donc été développés pour les solutions de plusieurs problèmes géométriques, cinématiques et dynamiques. Nous les classons en deux catégories : les algorithmes généraux (donc indépendants de la géométrie finale) et les algorithmes liés à des architectures spécifiques. Les algorithmes généraux dépendent généralement des équations relatives à chacune des pattes.

Algorithmes généraux

- Visualisation du système de mouvement et de ses déplacements en temps réel, basé sur les solutions du problème géométrique direct et inverse et permettant aussi de faire de la planification de trajectoires ;
- Détection des singularités lorsqu'une procédure numérique est utilisée pour résoudre le problème géométrique direct ou inverse ;
- Détermination et visualisation de la dextérité et de la rigidité à travers l'espace de travail (à condition que l'espace de travail soit défini) ;
- Détermination des déplacements cartésiens maximum (translations et rotations pures) pour n'importe quelle configuration ;
- Détermination des déplacements cartésiens maximum ;
- Détermination des vitesses, accélérations et dérivées de l'accélération cartésiennes maximales pour des spécifications données des actionneurs ;
- Détermination des vitesses, accélérations et dérivées de l'accélération articulaires maximales pour une trajectoire cartésienne donnée.

Algorithmes reliés à des architectures particulières

- Détermination et visualisation de l'espace de travail (en 2D et 3D) de n'importe quel point de la plate-forme pour une orientation donnée de la plate-forme mobile ;
- Détermination et visualisation des lieux de singularités dans l'espace de travail à orientation constante en 2D ;
- Détermination et visualisation de l'enveloppe du système de mouvement en utilisant différentes approches ;
- Détermination et visualisation des forces statiques et dynamiques pour une configuration ou une trajectoire donnée.

4. L'environnement de simulation

KADMoS a été conçu avec le langage de programmation C++, utilise les bibliothèques graphiques de Open-Inventor et fonctionne sur des machines *Silicon Graphics* et aussi dans l'environnement *Windows NT*. La majorité de ses algorithmes sont basés sur des formules symboliques ce qui permet à l'utilisateur de modifier librement les paramètres géométriques et obtenir interactivement plusieurs propriétés, telles que l'espace atteignable à orientation constante et les singularités. En plus des différents algorithmes décrits ci-dessus, notons que KADMoS possède plusieurs fonctionnalités usuelles telles que le chargement, la sauvegarde, l'impression et une aide en ligne.

La figure 1 montre un peu à quoi ressemble l'environnement graphique de KADMoS. On voit une fenêtre principale dans le haut, qui contient les menus et la représentation en 3D, puis trois fenêtres secondaires dans le bas, montrant chacune des vues en 2D selon les plans de base. Le mécanisme représenté est la plate-forme de Gough-Stewart sur laquelle un cockpit utilisé pour les simulateurs de vol a été installé. Puis la figure 2 montre un exemple de résultat lors du calcul de l'espace atteignable global. La courbe obtenue est projetée dans le plan.

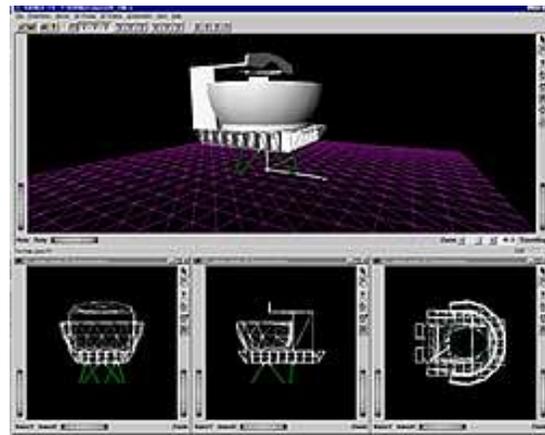


FIG. 1 – Environnement graphique utilisé dans KADMoS.

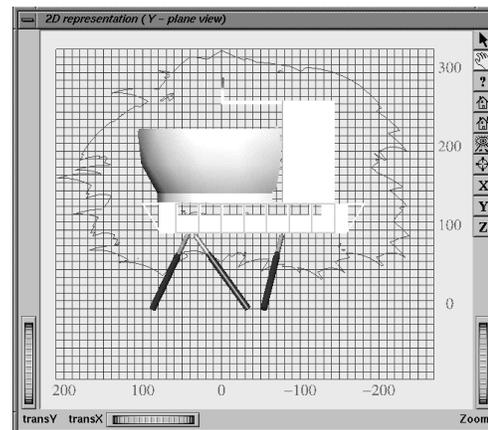


FIG. 2 – Exemple d'espace atteignable global.

5. Conclusion

Comme la structure interne du logiciel est très modulaire, l'ajout de nouvelles architectures et de nouvelles propriétés devient facile et permet d'accroître de façon significative l'utilité du logiciel. On a d'ailleurs commencé à l'utiliser pour l'ajout de manipulateurs sériels et aussi de manipulateurs redondants.

Remerciements : Ce travail a été rendu possible grâce à l'aide technique et à la contribution financière de la compagnie *CAE Électronique Ltée* et du Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada (CRSNG).

Références

- [1] Dasgupta, B. et Mruthunjaya, T.S., 2000, 'The Stewart platform manipulator : a review', *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 35, No. 1, pp. 15–40.
- [2] Gosselin, C.M., Perreault, L. et Vaillancourt, C., 1995, 'Simulation and Computer-Aided Kinematic Design of Three-Degree-of-Freedom Spherical Parallel Manipulator', *Journal of Robotic Systems*, Vol. 12, No. 12, pp. 857–869.
- [3] Merlet, J.-P., 1997, *Les robots parallèles*, 2 ed., Hermès.