Numéro 18, 22 Janvier 1997

Editorial

Après un long silence du à une surcharge de travail voici le numéro de rentrée de Prolégomènes. Il est principalement consacré à des comptes-rendus de thèses et de livres. J'aimerais aussi attirer votre attention sur une réflexion en cours au sein de l'IFToMM (http://www.cim.mcgill.ca/~iftomm/) sur le devenir de la théorie des mécanismes. Je cite partiellement le Pr. Angeles, président de l'IFToMM: "nous sommes confrontés à une perte continue du haut profil qu'avait notre discipline dans les années 60 et 70, principalement en raison de l'introduction de l'électronique dans les transports et l'automatisation de la production, entre autres, qui constituaient en quelque sorte notre “fonds de commerce”. Une conséquence est que l'on assiste à la disparition progressive des cours de mécanismes dans les formations d'ingénieurs, non seulement aux États-Unis mais aussi dans de nombreux pays européens. Cette situation, ainsi que la difficulté d'obtention de financement pour des recherches concernant les mécanismes, est une préoccupation majeure pour nous tous ... j'ai suggéré que nous entreprenions une étude au niveau mondial de l'état de notre discipline ainsi que des opinions sur son évolution. La vision des mécanismes des années 70 n'est plus suffisante pour résoudre les problèmes techniques auxquels le monde industriel est confronté. Nous devons collaborer étroitement avec des disciplines comme l'électronique ou l'informatique ...". Je ne peux que vous encourager à participer à cette réflexion.

Statics and Kinematics with application to Robotics par J. Duffy
Cambridge University Press

Le professeur J. Duffy, directeur du CIMAR à l'Université de Floride (USA) vient de faire paraître ce livre. Cet ouvrage est consacré en grande partie aux manipulateurs parallèles plans. Il s'adresse aux étudiants du second cycle et aux chercheurs intéressés par la théorie des mécanismes. Ci-après une adaptation en français de la préface de cet ouvrage.

Ce texte est consacré à la statique des plaques rigides glissant sur un plan et à la cinématique instantanée du premier ordre (vitesse) de ce type de mouvement plan sur plan. La cinématique instantanée à des ordres supérieurs (accélérations, jerks) n'est pas prise en considération.

Ce texte a été influencé par l'ouvrage "Elementary Mathematics from an Advanced Standpoint: Geometry" écrit par le fameux géomètre allemand Felix Klein. Ce livre a été publié en allemand en 1908 et la troisième édition a été traduite en anglais et publiée à New-York par MacMillan Company en 1939. Ce livre est une partie du cours enseigné aux professeurs des grandes écoles allemandes à Göttingen en 1908. Klein reprochait aux professeurs de ne pas enseigner la géométrie correctement,, et il était essentiellement en train de fournir de nouvelles bases à la géométrie.

Le présent texte est une partie du cours de formation d'ingénieurs "Geometry of Robot Manipulators" enseigné au département de génie mécanique de l'Université de Floride. Ce cours est basé sur les exposés de Klein sur la géométrie des points et des lignes dans le plan et sur ses développements en mécanique: "un segment de ligne droite orienté représente une force appliquée à un corps rigide. Une portion de plan représentée par un parallélogramme muni d'un sens de parcours et le couple de deux côtés opposés du parallélogramme avec des flèches opposées aux sens d'orientation sont des entités géométriquement équivalentes, c'est-à-dire qu'elles ont des composantes égales dans tous les systèmes de référence".

L'auteur pense que la compréhension par les étudiants de la statique et de la cinématique instantanée sera grandement améliorée en sachant que des grandeurs comme les forces et les moments ont des significations géométriques et qu'elles sont équivalentes respectivement à un segment orienté de droite et à l'aire d'une surface orientée. Ceci facilite la compréhension de la nature de l'invariance et montre comment de telles grandeurs varient sous l'action des transformations euclidiennes.

Il est triste de constater que des développements importants de la géométrie du siècle dernier et ses applications à la mécanique ont été oubliés ou ignorés en grande partie par beaucoup de chercheurs dans le domaine de la robotique. L'exclusion la plus flagrante est l'absence de référence par les chercheurs modernes en robotique à la théorie des mouvements déterminés qui a été établie par Sir Robert Stawell Ball dans son traité fondamental "Treatise on the Theory of Screws" (1900, Cambridge University Press). En raison de cette omission, de nombreux articles erronés ont été présentés à des conférences internationales de robotique et dans des journaux de sociétés savantes. Ces articles ont pour but de modéliser des tâches, des opérations de préhension et le calibrage des robots. Ball a fourni le modèle correct du mouvement déterminé des corps rigides il y a plus d'un siècle grâce au torseur cinématique et au torseur dynamique.

Beaucoup de chercheurs sont inconscients ou volontairement ignorants du livre de Ball. Ils introduisent des concepts fallacieux comme celui des "mouvements qu'un corps ne peut pas avoir", ce qu'ils appellent fièrement "contraintes naturelles". Ces erreurs sont sacralisées dans un nombre croissant d'ouvrages de robotique pour élèves-ingénieurs. De tels livres incitent les étudiants à utiliser des expressions dépourvues de signification, qui ne sont pas homogènes par

Renseignements : Jean-Pierre Merlet, INRIA, BP 93, 06902 Sophia-Antipolis cedex. Tel : 93657761. Fax : 93657643.
E-mail : Jean-Pierre.Merlet@inria.fr
http://www.inria.fr:/prisme/personnel/merlet/merlet.html

rapport aux dimensions et aux unités, par exemple (vitesse linéaire)^2+(vitesse angulaire)^2, et donnent des réponses à des problèmes dans lesquels les valeurs des grandeurs physiques changent avec le choix de l'origine du repère de référence. Les étudiants sont encore incités à résoudre des problèmes d'optimisation par les moindres carrés avec pour fonction cible $(d^2 + \theta^2)$, où d et θ se mesurent respectivement en unité de longueur et en radians. Ces concepts incorrects sont une déchéance du sens géométrique et sont aussi dépourvus de signification physique. Alors que nous avançons vers le 21eme siècle, l'étude rigoureuse de la statique et de la cinématique appliquée à la robotique est en train de reculer et peut même être considérée comme archaïque. L'auteur souhaite que ce court texte aidera à inverser la tendance.

J-M. Hervé

Élimination symbolique et robots parallèles
par L. Tancredi, M. Teillaud et O. Devillers
Rapport INRIA 2809, Février 1996

Présenté a MEGA'96, Fourth International Symposium on Effective Methods in Algebraic Geometry, Eindhoven, Hollande, 4-8 Juin, 1996

Le modèle géométrique direct des robots parallèles consiste à calculer la position d'un solide se déplaçant dans l'espace à trois dimensions, lorsque six de ses points sont contraints à rester sur six sphères données. Ce problème peut aussi être représenté par un système d'équations algébriques, et il est connu qu'il admet au plus 40 solutions complexes.

Notre approche consiste à ajouter des capteurs supplémentaires, qui nous fournissent des informations additionnelles, de façon à réduire cette borne. Nous proposons une méthode d'élimination symbolique, basée sur le schéma de l'élimination dialytique. Nous démontrons que notre méthode donne effectivement des bornes sur le nombre de solutions du problème. Notre implantation nous permet d'obtenir les premières bornes générales pour le modèle géométrique direct avec des capteurs additionnels.

Algorithme itératif à convergence démontrée pour les changements de coordonnées des mécanismes articulés
par O. Chételat
Rapport EPFL 1996.07, Novembre 1996

Dans un contexte de commande, l'information en provenance d'un mécanisme est généralement disponible en coordonnées articulaires. Pour que la commande puisse avoir le contrôle du mécanisme, il faut qu'elle soit capable de calculer la position et l'orientation de chaque solide à partir de cette information. Formellement, ce calcul se résume à la résolution d'un système d'équations algébriques. Or, ce système admet généralement plusieurs solutions (qui correspondent à différents modes d'assemblage du mécanisme). Le problème pour la commande est de choisir la *bonne* solution, c'est-à-dire celle qui correspond à la posture occupée par le mécanisme. Dans le cas où ce système d'équations est résolu par un algorithme numérique, il serait faux de croire qu'il suffit de lancer l'algorithme à partir de la posture du mécanisme précédemment connue, même si celui-ci converge. Dans cet article, on propose un algorithme à complexité polynomiale dont la convergence vers la bonne solution est démontrée pour n'importe quel mécanisme. La démonstration exploite le puissant théorème de Kantorovitch. Enfin, pour convaincre de son utilité pratique, la méthode est appliquée sur un exemple réputé difficile (le problème de la cinématique directe d'une plate-forme de Gough-Stewart généralisée).

ARGOS: A Novel parallel spherical structure
par P. Vischer
Rapport EPFL 1995.03, Mars 1995

Ce rapport présente une nouvelle structure sphérique appelée ARGOS avec trois degrés de liberté. La dérivation générique de cette structure conduit à la détermination d'autres structures sphériques. Deux de ces structures à deux degrés de liberté sont discutées en détail: elles sont nommées "Pantoscope" et "Kite". Les modèles géométriques direct et inverse du "Pantoscope" sont présentés. Il en est de même pour l'ARGOS qui possède 8 solutions pour le modèle direct et une pour le modèle inverse. Dans la section suivante on discute de la manière de réduire le nombre de solutions du modèle géométrique direct des robots parallèles. La dernière section est consacrée aux modifications à apporter au modèle inverse du Delta pour éviter les singularités mathématiques.

<u>Thèses</u>

Improving the accuracy of parallel robots
par **Peter Vischer**
École Polytechnique Fédérale Lausanne
soutenue le 30 Septembre 1996, direction:Prof. R. Clavel
contact: peter.vischer@imt.dmt.epfl.ch

Le but de cette thèse est l'augmentation de la précision absolue des robots parallèles. La précision peut être augmentée soit par une fabrication et un montage très soigneux, soit par calibration individuelle de chaque robot en utilisant un modèle cinématique plus complet que le modèle nominal du robot. La recherche se concentre sur le cas statique en tenant compte seulement des erreurs dues à la structure géométrique elle-même, celle-ci étant modélisée à l'aide de corps rigides. Pour vérifier les outils théoriques proposés dans cette thèse deux exemples de structures parallèles ont été choisis. Il s'agit du robot Delta avec trois degrés de liberté en translation et d'une nouvelle structure, nommée Argos, conçue dans le cadre de ce travail; cette dernière comporte trois degrés de liberté en orientation. Une maquette de chaque structure a été construite. Elles montrent que les concepts de construction bon marchés proposés permettent d'obtenir une précision élevée. L'augmentation de la précision par calibration est ensuite traitée en quatre étapes: modélisation, mesure, identification et implémentation. Une formule qui permet de calculer le nombre de paramètres indépendants pour un modèle complet d'une structure parallèle est proposée. Une approche systématique pour la paramétrisation est introduite et utilisée avec succès pour développer quatre modèles de calibrage, deux pour chaque exemple. Deux systèmes de mesures ont été construits pour déterminer la position et l'orientation de l'organe terminal des deux robots. Pour le robot Delta deux arrangements supplémentaires n'ayant pas besoin d'un système de mesure externe sont proposés. Différentes méthodes d'identification ont été simulées. La calibration basée sur le modèle implicite a été proposée comme méthode standard pour calibrer des robots parallèles. Une autre méthode intéressante est la calibration semiparamétrique qui diminue considérablement la complexité du calcul. Pour l'implémentation des quatre modèles, il s'agit de trouver des solutions rapides pour les problèmes directs et inverses. Grâce à un algorithme proposé par Husty toutes les solutions du problème direct pour le robot Delta ont été trouvées. Pour le même problème, un algorithme numérique minimisant le temps de calcul a été développé. La contribution principale de cette thèse est la vérification expérimentale des outils théoriques développés dans le cadre de ce travail. Les résultats expérimentaux pour l'ARGOS et le DELTA montrent une amélioration de la précision absolue entre un facteur trois et douze.

Mots-clés: Delta - Argos - précision - erreurs statiques - calibration implicite - nombre minimal de paramètres - identification - calibrage expérimental - solution directe du modèle de calibrage - solution inverse du modèle de calibrage - algorithme rapide - systèmes polynomiaux

---

<u>**Thèses**</u>

Algèbre de Lie et Cinématique des mécanismes en boucles fermées

par **Kuangrong Hao**

École Nationale des Ponts et Chaussées

soutenue le 15 Septembre 1995

(Cette thèse est ancienne mais n'avez pas fait l'objet d'une publication dans Prolégomènes).

L'objectif de cette thèse est l'étude du comportement cinématique des mécanismes bouclés de corps rigides. Le modèle mathématique d'un tel mécanisme est l'équation de fermeture $f(q_1,\ldots,q_m) = e$ où $q_1,\ldots,q_m$ sont les coordonnées articulaires et f est une fonction analytique à valeur dans un groupe de Lie. L'étude des propriétés cinématiques se ramène à celle de l'ensemble des configurations admissibles $f^{-1}(e)$ qui est une sous-variété dans le cas régulier où f est une subimmersion. Par contre, l'étude est beaucoup plus difficile lorsque f possède des singularités.

On utilise comme outil fondamental le formalisme de la géométrie différentielle des groupes de Lie pour le groupe des déplacements et la structure de $\Delta-$ module de son algèbre de Lie, ceci permet une écriture simple et condensée des équations de la cinématique et facilite leur traitement symbolique.

Nous avons montré que l'analyse au deuxième ordre de l'équation de fermeture est suffisante pour les mécanismes **6R** paradoxaux. Un algorithme d'évaluation du rang d'un ensemble de champs antisymétriques (équiprojectifs) est développé et est utilisé pour étudier le processus de génération des sous algèbres de Lie. Nous avons proposé également des méthodes de cinématique inverse pour des mécanismes spatiaux, ces méthodes permettent de résoudre l'équation de fermeture indépendamment d'un choix de coordonnées et d'obtenir les conditions nécessaires et suffisantes de résolution; notamment, la méthode simplifie considérablement la procédure de résolution pour les mécanismes **6R** spatiaux.

<u>**Thèses**</u>

Contribution à l'étude des robots pleinement parallèles de type 6R-RRS

par **Romulus Bénéa**

Université de Savoie

soutenue le 16 Décembre 1996

Un regard sur la robotique contemporaine a permis de remarquer l'apparition de premiers robots parallèles sur le marché. Une étude comparative robots série/robots parallèles permet d'envisager une extension de leur utilisation pour des tâches variées dans le milieu industriel, notamment pour des charges lourdes, assurant en même temps une bonne précision et un bon comportement dynamique. Après avoir présenté des critères de classification de robots parallèles, on a passé en revue plusieurs schémas et prototypes de manipulateurs classés à partir du nombre de degrés de liberté. Le prototype 6-RKS réalisé au LMecA dispose d'une architecture particulière et appartient à la famille des manipulateurs de type 6-R-RR-S.

Une méthode numérique de discrétisation a été utilisée afin de déterminer l'espace de travail des positions à orientation constante et en orientation pour le centre du plateau fixé.

Les algorithmes développés peuvent être utilisés pour tout manipulateur parallèle. Une certaine cartographie a été réalisée et on a pu remarquer que l'espace de travail, tant en position qu'en orientation, est plus important que pour les manipulateurs à actionneurs linéaire de gabarit comparable. On a proposé une représentation pseudo-sphérique de l'espace de travail en orientation, où les 3 paramètres d'orientation sont réunis sur une même image.

On a établi le modèle cinématique et calculé les matrices jacobiennes inverses. On a présenté deux approches sur les singularités: la détermination des singularités de configuration qui sont de deux types et correspondent à une architecture donnée et l'étude des singularités d'architecture.

L'étude statique a montré à nouveau la nécessité de calcul de la matrice jacobienne. On a déterminé pour une configuration donnée les matrices de raideur et de compliance, ainsi que les couples articulaires et les charges externes maximales.

Un modèle dynamique pour structures pleinement parallèles, basé sur le formalisme de Newton-Euler a été proposé. Cette approche est applicable à toute structure pleinement parallèle, sa simplicité permet un calcul récurrent aisé et se ramène à un système linéaire de 6 équations à 6 inconnues. Il a été appliqué au manipulateur 6-RKS et on a réalisé une simulation dynamique pour plusieurs trajectoires.

Rendez-vous

Voir aussi http://www.cee.hw.ac.uk/~acc/conf-list.html

Nom: International Conference on Rehabilitation Robotics
Date et Lieu: 14-15/4/1997
Contact: E-mail : `bime@bath.ac.uk`

Nom: IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation
Date et Lieu: 20-25/4/1997, Albuquerque
Contact: http://www.sandia.gov/cc_at/97IEEE/1IEEE.html

Nom: Int. Conf. on Manufacturing Automation: ICMA'97
Date et Lieu: 28-30/04/1997, Hong Kong
Contact: E-mail : `hkucon@hkucc.hku.hk`

Nom: IASTED Int. Conf. Robotics
Date et Lieu: 28-31/5/1997, Cancun
Contact: E-mail : `iasted@cadvision.com`

Nom: Int. Conf. on Advanced Robotics
Date et Lieu: 7-9/7/1997, Monterey
Contact: http://icar97.jpl.nasa.gov

Nom: Int. Conf. on Mechanical Transmissions and Mechanisms
Date et Lieu: 1-4/7/1997, Tianjin, Chine
Contact: MTM'97, Tianjin University
Tianjin, R.P. de Chine

Nom: SYROCO
Date et Lieu: 3-5/09/1997, Nantes
Contact: http://www.ec-nantes.fr

Nom: Congrès Français de Mécanique
Date et Lieu: 1-5/09/1997, Poitiers
Contact: E-mail : `doan@univ-poitiers.fr`

Nom: IROS
Date et Lieu: 8-13/09/1997, Grenoble
Contact: E-mail : `giralt@laas.fr`

Nom: ASME Int. Mechanical Engineering Congress
Date et Lieu: 16-21/11/1997, Dallas
Contact: http://www.asme.org/conf/congress97/index.html

Appels aux communications

Conférence: Advanced Intelligent Mechatronics
Date et Lieu: 16-20/6/1997, Tokyo
Date limite: 31/1/1997
Contact: http://dfs.iis.u-tokyo.ac.jp/AIM97/

Conférence: Int. Symp. on Intelligent Robotic Systems
Date et Lieu: 7-11/7/1997, Stockholm
Date limite: 28/2/1997
Contact: http://www.nada.kth.se/cas/sirs

Conférence: Int. Conf. on Automation, Robotics and AI applied to Analytical Chemistry and Laboratory Medicine
Date et Lieu: 12-16/5/1997, Montreux
Date limite: 1/3/1997
Contact: http://www.scitec-robotics.com

Conférence: World Automation Congress
Date et Lieu: 10-14/5/1998, Anchorage
Date limite: 1/4/1997
Contact: http://ace.unm.edu/wac98/isora.html

Conférence: IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation
Date et Lieu: 16-21/5/1998, Leuven
Date limite: 15/10/1997
Contact: http://www.laas.fr/icra-98

Brèves

↗: Adrian Alexandru Vasiliu soutiendra sa thèse "Une approche CAO pour la conception des mécanismes plans générateurs de trajectoire" le 7 Février 1997 à l'École Centrale de Paris

↗: Dragos Murareci soutiendra sa thèse "Contribution à la modélisation géométrique et à l'étalonnage des robots série et parallèles" le 7 Mars 1997 à l'École Centrale de Nantes.