PROLEGOMENES PROblèmes de GéOmétrie pour les MEcanismes: Les NouvellES

**Numéro 9, 7 Octobre 1994**

## Editorial

Voici le numéro de rentrée de PROLEGOMENES . Un numéro riche puisqu'il contient le compte-rendu de la conférence ARK où Manfred Husty a dévoilé pour la première fois une méthode permettant de trouver un polynôme de degré 40 pour résoudre le modèle géométrique direct d'un robot parallèle général. Ce numéro de rentrée me permet aussi de faire un appel à tous: PROLEGOMENES ne peut vivre que grâce à vos contributions! N'hésitez pas à m'envoyer vos compte-rendu de thèse, problème ouvert, présentation de laboratoire. On approche aussi de la proposition d'un nouveau projet européen ESPRIT: si vous recherchez des partenaires profitez de la diffusion de PROLEGOMENES pour en faire part.

## *Rectificatif*

Dans le numéro 8 de Prolégomènes j'avais présenté le nouveau prototype de J-M. Hervè. Il me prie de mentionner que les actionneurs ne son pas des vis à billes mais des vis lisses.

## *Comptes rendus*

**Conférence ARK Ljubljana,4-7/7/1994**

Cette conférence est devenue un temps fort pour les personnes travaillant dans notre discipline. Impecablement organisé par Jadran Lenarčič elle nous a permis de découvrir la Slovénie, très beau et paisible pays, avec toutefois un pincement de cœur à la pensée qu'à quelques kilomètres de là se déroule les massacres que l'on sait.

B. Roth nous a présenté un excellent résumé sur les techniques permettant la résolution des systèmes algébriques.

McCarthy a étudié l'espace de travail en orientation d'un objet tenu par des robots travaillant en coopération. Wenger a déterminé une liste de robots à trois degrés de liberté qui peuvent changer de configuration sans passer par une singularité. Ceccarelli a exposé une méthode pour calculer la frontière de l'espace de travail d'un robot général constitué de $n$ articulations rotoïdes. Hawes a établi des modèles locaux pour les singularités qui peuvent apparaître lors de trajectoires planes. Milenkovic s'est intéressé à la représentation des orientations des objets solides.

Ravani a présenté une méthode d'analyse des problèmes où existent de multiple contacts avec friction. Ge a introduit une méthode de génération de trajectoire avec une interpolation "douce". Rao a présenté une analyse très fine du "pushing" avec une pince à deux doigts parallèles. Phillips a montré comment la géométrie par ordinateur pouvait être utilisée pour la synthèse d'engrenages gauches.

Siciliano a présenté un système de CAO permettant la calibration d'un banc test robotique dans l'espace. Park a montré l'intérêt de l'utilisation d'une formulation des modèles géométriques à base d'exponentielle qui permet de se libérer des contraintes de vérification de singularités lors d'un processus de calibration. Vincze a étudié l'ajout de paramètres non géométriques dans des modèles de robot pour effectuer une calibration.

Waldron a présenté les concepts d'un véhicule articulé à roues (WAAV). Velinski a étudié les limites des modèles classiques d'engin à roues. Kecskeméthy a exhibé un nouveau mécanisme de patte à base de triangles articulés, présentant des caractéristiques anthropomorphiques. Preumont a montré un robot à 6 pattes utilisé pour les études d'allure.

Husty a étudié les configurations isotropes des robots à trois articulations rotoïdes. Kazerounian a introduit un nouvel index de maneuvrabilité pour la génération de trajectoire qui prend en compte la forme de l'objet. Khatib a présenté une nouvelle méthode de contrôle de robot au voisinage de singularités. Stanisic a étudié une méthode de commande au troisième ordre pour les robots à deux degrés de liberté. Boyer s'est penché sur la commande de robots flexibles (segments et articulations). Ait Mohamed a exhibé une méthode générale de calcul du modèle géométrique inverse pour les robots redondants.

Dietmaier a résolu la statique inverse du système constitué de trois segments élastiques partageant un même point. Bouffard-Vercelli a présenté des résultats expérimentaux sur la distribution de forces dans un système coopératif de deux robots. Lenarcic a montré une méthode permettant de calculer les configurations à forces articulaires minimales des robots plans à $n$ articulations rotoïdes.

Thomas a présenté une méthode pour le calcul du modèle géométrique inverse d'un système à $n$ barres dans l'espace. Featherstone a introduit une méthodologie générale de description de l'espace et du robot pour résoudre le modèle géométrique inverse. Murareci a étudié les cas particuliers de l'algorithme de Roth pour la résolution du modèle géométrique inverse d'un robot 6R général, afin d'obtenir les formulations polynomiales les plus simples possibles. Siciliano a présenté une méthode permettant de gérer les limites des vitesses articulaires dans les cas où la tâche impose des vitesses cartésiennes trop importantes ou que le robot se trouve près d'une singularité. Ang s'est intéressé à la détermination d'architectures mécaniques découplées permettant la résolution analytique du modèle géométrique inverse. Bidard nous a présenté un résultat issu de sa thèse (voir le compte-rendu de celle-ci).

Stanisic a comparé deux types d'architecture mécanique à nombre réduit de singularités. Hayward nous a présenté sa "souris mécanique" avec retour d'efforts permettant aux handicapés de travailler sur un écran d'ordinateur multi-

Renseignements : Jean-Pierre Merlet, INRIA, BP 93, 06902 Sophia-Antipolis cedex. Tel : 93657761. Fax : 93657643.
E-mail : `Jean-Pierre.Merlet@inria.fr`

fenêtres. Tsai a introduit une méthodologie d'analyse permettant de produire un mécanisme à tendons à trois degrés de libertépour lequel les tendons serons soumis à des tensions maximum identiques sur tout l'espace de travail. Sorli a présenté un mécanisme sphérique pour lequel il n'existe pas de singularité alignée.

Celaya s'est intéressé au problème de savoir si en multipliant la complexité d'une chaîne on introduit de nouveau type de liaison ou si, au contraire, la chaîne, passé une certaine complexité, reste équivalente à une chaîne plus courte. Dijksman nous a ensuite montré des mécanismes avec une articulation prismatique décrivant une vraie ligne droite. Dobrovodsky a exhibé une méthode systématique d'analyse des modèles géométriques permettant la réduction du nombre de paramètres dans les équations.

Parenti-Castelli a résolu sous forme analytique le modèle géométrique direct d'un robot parallèle 5-4 particulier. Tancredi s'est intéressé à l'étude des erreurs apparaissant sur le calcul des postures des robots parallèles lorsque on les calcule en utilisant le modèle géométrique reposant sur des capteurs supplémentaires placés aux articulations passives. Zsombor-Murray nous a présenté des résultats très intéressants sur les robots parallèles qui sont toujours en configurations singulières. Cette analyse permet de créer des robots à 6 pattes, ou plus, qui ont naturellement un degré de liberté. Plitea nous a montré une nouvelle architecture de robot parallèle à 6 degrés de liberté.

Dans la session planification de tâche et de trajectoires différents papiers intéressant ont été présentés mais ne peuvent pas être résumés ici, faute de place.

Enfin le grand moment de cette conférence a été la présentation par Manfred Husty d'une méthode permettant d'obtenir un polynôme pour la résolution du modèle géométrique direct d'un robot parallèle général. Devant l'importance de ce résultat les organisateurs n'ont pas hésité à organiser une présentation impromptue à la conclusion de laquelle Manfred a été chaleureusement félicité : une "standing ovation" (pardon M. Toubon!) fort méritée. Comme vous le savez ce problème est l'un de ceux qui nous résistait depuis longtemps et pour lequel beaucoup d'efforts n'avait pas permis d'obtenir un résultat. La méthode de Husty est difficile à décrire en quelques lignes. Elle repose d'abord sur la représentation de la matrice de rotation à l'aide de quaternion duaux:

$$R = \Delta - 1 \begin{pmatrix} c_0^2 + c_1^2 - c_2^2 - c_3^2 & 2(c_1c_2 - c_0c_3) & 2(c_1c_3 + c_0c_2) \\ 2(c_1c_2 + c_0c_3) & c_0^2 - c_1^2 + c_2^2 - c_3^2 & 2(c_2c_3 - c_0c_1) \\ 2(c_1c_3 - c_0c_2) & 2(c_2c_3 + c_0c_1) & c_0^2 - c_1^2 - c_2^2 + c_3^2 \end{pmatrix}$$

avec

$$\Delta = c_0^2 + c_1^2 + c_2^2 + c_3^2$$

Si $\mathbf{d}$ représente les translations Husty définit alors quatre variables $g_i$ supplémentaires par

$$\begin{aligned} g_0 &= d_1c_1 + d_2c_2 + d_3c_3 \\ g_1 &= -d_1c_0 + d_3c_2 - d_2c_3 \\ g_2 &= -d_2c_0 - d_3c_1 + d_1c_3 \\ g_3 &= -d_3c_0 + d_2c_1 - d_1c_2 \end{aligned}$$

Les 8 paramètres $c_i, g_i$ définissent alors tout déplacement. Ces paramètres sont soumis à une contrainte quadratique de non nullité $\sum c_i^2 \neq 0$ et à une contrainte quadratique. Husty exprime alors les équations des longueurs de segments avec ces paramètres, puis combine les équations obtenues de manière fort soigneuse pour ne pas introduire de racines erronées. Il génére alors un polynôme de degré 40.

Cette méthode permet donc de résoudre l'un des plus connus problèmes de théorie des mécanismes. Mais comme une boîte de Pandore elle ouvre le champ à d'autres problèmes. Il faut ainsi mentionner que la méthode de Husty n'est pas utilisable hors d'un système de calcul formel car il n'a pas réussi à obtenir les coefficients de son polynôme de manière symbolique : sa méthode ne va marcher que si l'on introduit dans un système de calcul formel les valeurs numériques de la géométrie du manipulateur.

Et bien entendu cette méthode ne répond pas à la question du nombre maximum de solutions réelles pour le robot parallèle général. Ni bien sûr au problème du tri, à savoir est ce que les solutions trouvées peuvent être atteintes toutes à partir d'une configuration initiale de montage des segments, sans démontage de segments ou passage par une singularité.

La méthode de Husty est décrite dans le rapport "An algorithm for solving the direct kinematics of Stewart-Gough-Type platforms", McGill University, 07-94, 30 Juin 1994.

**J-P. Merlet**

## Thèses

### Graphes de liaison torsoriels pour la modélisation et l'analyse ciné-statique des mécanismes

**par** Catherine Bidard
*Université Claude Bernard, Lyon*
13 Juin 1994

L'objet de ce mémoire est la modélisation et l'analyse ciné-statique des mécanismes pour la robotique. Un cadre formel est proposé, qui englobe une conception géométrique de la ciné-statique et une approche graphique de la modélisation, issue de la théorie des réseaux physiques et du formalisme des graphes de liaison. L'utilisation sous forme intrinsèque des torseurs statiques et cinématiques comme variables conjuguées de puissance définit une nouvelle classe de graphes de liaison: le graphe de liaison torsoriel. Un mécanisme est alors modélisé comme un réseau, dont les éléments sont les couples cinématiques, et dont la topologie est décrite par un graphe orienté. Ls contraintes topologiques sont représentées par une Structure de Jonction Simple de graphe de liaison torsoriel. Chaque couple cinématique est représenté pas un élément à un port, défini par deux sous-espaces réciproques de torseurs. Une décomposition générique de cet élément est proposée qui fait appel à la construction de deux bases duale de torseurs. Une procédure de réduction des modèles ciné-statiques des mécanismes série-parallèle est développée. Cette technique permet une formulation géométrique des fonctions de transmission ciné-statiques. La causalité opératoire est finalement utilisée pour mener une analyse graphique des mobilités et du fonctionnement des mécanismes spatiaux, ceci sur des modèles complètement ou incomplètement spécifiés.

## *Séminaires*

**MEDICIS-POSSO Workshop on Presentation of Numerical and Algebraic Methods for Polynomial System Solving** 16-17 décembre, Université Paul Sabatier, Toulouse, France.

Comité d'Organisation: Jean-Pierre Dedieu, Michael Moeller, Marie-Francoise Roy.

Le but de ce séminaire est de donner une description des différentes méthodes utilisées pour la résolution semi-numérique des systèmes algébriques.

Pour chacune des méthodes seront discutées les points suivants:

- description de la méthode
- quelles en sont les qualités ?
  - vis-à-vis du mauvais conditionnement?
  - efficacité jusqu'à quel degré ou nombre d'inconnues
  - donne t'elle une solution facilement?
  - peut t'elle donner toutes les solutions?
  - elle t'elle parallélisable?
  - comportement moyen
  - comportement dans le cas le pire
- références bibliographiques (essentiel)
- description de l'implantation
- existe t'il des implantations?
- résultats de tests

Une liste d'exemples significatifs sera distribuée préalablement au séminaire et l'efficacité des méthodes sur ces exemples sera discutée lors du séminaire.

Conférences sur les équations mono-variable: méthode de Schur Cohn (Moeller), méthode de Newton (Yakoubsohn ), méthode de Schonhage (Gourdon), méthode des intervalles (Petitot), Simultaneous root finding (Bellido), Parallelism (Philippe), méthode de Sebastao Silva, méthode du Bézoutien (Cardinal).

Conférences sur les systèmes d'équations: méthode d'homotopie classique et celles reposant sur le polytope de Newton (Verschelde), méthode d'algèbre linéaire (Stetter), méthode d'exclusion (Dedieu)

Autres conférences: base de Gröbner (Faugeres), polynôme de Chow (Rouillier)

Les informations receuillies durant ce séminaire seront intégrées dans un rapport POSSO sur l'état de l'art.

Contact: avant le 30 Octobre 1994, Medicis-Posso-Workshop
LAO - Universite Paul Sabatier
31062 Toulouse cedex, France.
TEL : (33) 61556778 ou (33) 61556015.
FAX : (33) 61556183.
E-mail : `lao@cict.fr` (indiquer comme sujet: Medicis-Posso Workshop)

**Appel à communications**
**Workshop on Computational Kinematics**

INRIA Sophia-Antipolis, 4-6 Septembre 1995.

Le but de ce séminaire est de faire un état de l'art dans le domaine de l'étude assistée par ordinateur des modèles géométriques. Nous entendons par cela les recherches sur les modèles géométriques qui font appel de manière intensive à de l'informatique soit purement numérique, soit symbolique ou géométrique. Le but est de rassembler des mécaniciens, des informaticiens et des mathématiciens pour discuter des résultats de recherche et échanger des idées dans cette branche en cours d'émergence.

**Comité Scientifique**:

| | |
|---|---|
| **Présidents** | |
| J-P. Merlet | INRIA Sophia-Antipolis, France |
| B. Ravani | University of California at Davis, USA |
| **Membres** | |
| J. Angeles | McGill University, Canada |
| J. Canny | Berkeley University, USA |
| C. Gosselin | Université Laval, Canada |
| C. Hofmann | Purdue University, USA |
| G. Hommel | Technische Universität Berlin, Germany |
| M. Husty | Montanuniversität Loeben, Austria |
| C. Innocenti | Università di Bologna, Italy |
| D. Lazard | LITP, Institut Blaise Pascal, France |
| J. Lenarčič | Jozef Stefan Institute, Slovenia |
| N. Maïzi | Ecole des Mines de Paris, France |
| B. Roth | Stanford University, USA |
| M. Wagner | Technical University of Wienna, Austria |

**Date limite**

Trois copies du papier complet (10 pages maximum, si possible écrit en LaTeX) doivent être soumis avant le **1er Décembre 1994** à J-P. Merlet pour les papiers européens et à B. Ravani pour les papiers non européens. Après relecture les auteurs seront notifiés le 15 Mars 1995 et la version finale du papier devra être envoyée aux présidents pour le 1er Mai 1995.

## *Rendez-vous*

**Nom**: V. Symp. on Industrial Robots
**Date et Lieu:** Bucarest, 10/1994
**Contact:** Pr. Kovacs, Polytechnic Institute, Timisoara

**Nom**: Rensselaer's 4th Int. Conf. on Computer Integrated Manufacturing and Automation Technology

**Date et Lieu:** Rensselaer Polytechnic Institute
**Contact:** 10-12/10/1994
E-mail : `luh@farside.ese.uconn.edu`

**Nom**: IEEE Computer Society Workshop on Motion of Nonrigid and Articulate Objects
**Date et Lieu:** Austin,11-12/11/1994
**Contact:** J.K. Aggarwal,E-mail : `jka@emx.cc.utexas.edu`

**Nom**: 27th ISATA, Mechatronics
**Date et Lieu:** 31/10-4/11/1994, Aachen, Allemagne
**Contact:** Fax:49 241 158141

**Nom**: 27th ISATA, Robotics, Motion and Machine Vision
**Date et Lieu:** 31/10-4/11/1994, Aachen, Allemagne
**Contact:** Fax:49 241 158141

**Nom**: 5th Int. Conf. on Adaptive Structures
**Date et Lieu:** 7-9/11/94, Sendai
**Contact:** Pr. Breitbach, DLR Inst. of Structural Mechanics Flughafen D-3300, Braunschweig, Allemagne

**Nom**: 3rd Int. Conf on Automation, Robotics and Computer Vision
**Date et Lieu:** 8-11/11/94
**Contact:** ICARCV'94 Secretariat, The Institution of Eng. ,Singapore, 70 Bukit Tinggi Road, Singapore 1128

**Nom**: Eighteenth National Conference on Theoretical and Applied Mechanics
**Date et Lieu:** 9-10/12/1994, Hsinchu, Taiwan
**Contact:** Tong-Miin Liou, Dpt of Power Mechanical Engineering, National Tsing Hau Univ., Taiwan 30043

**Nom**: 4th Pan American Congress of Applied Mechanics
**Date et Lieu:** 01/95, Buenos Aires
**Contact:** Pr. Sergio Idelsohn,
E-mail : `rnsergio@arcride.edu.ar`

**Nom**: 1st International Conference on Computer Vision, Virtual Reality and Robotics in Medecine
**Date et Lieu:** 3-5/4/1995, Nice
**Contact:** E-mail : `Monique.Simonetti@sophia.inria.fr`

**Nom**: 15th Canadian Congress of applied mechanics
**Date et Lieu:** Victoria,28/5-2/6/1995
**Contact:** Conference Secretariat, Fax:1 604 721 6051

**Nom**: IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation
**Date et Lieu:** 21-27/05/1995, Nagoya
**Contact:** Pr. Arimoto

E-mail : `ra95pc@arimotolab.t.u-tokyo.ac.jp`

**Nom**: 9th World Congress on the theory of machines and Mechanisms
**Date et Lieu:** 29/8-1/9/1995, Milan
**Contact:** Pr. Rovetta,E-mail : `Rovetta@lpmcc2.Polimi.It`

**Nom**: 26th ISIR
**Date et Lieu:** 4-5/10/95, Singapour
**Contact:** 26th ISIR Secretariat, Asia-Pacific Exhibitions 122 Middle Road,#08-09 Midlink Plaza, Singapore 0718

## *Appels aux communications*

**Conférence**: International Conference on Automation
**Date et Lieu:** 12-14/12/1995, Indore, Inde
**Date limite:** 31/12/1994
**Contact:** Pr. Kashiwagi,E-mail : `kashiwa@kumamoto-u.ac.jp`

**Conférence**: 2nd Int. Workshop on Mechatronic Design and Modelling
**Date et Lieu:** 13-17/11/1995, Ankara
**Date limite:** 1/11/1995
**Contact:** E-mail : `modisa@vm.cc.metu.edu.tr`

**Conférence**: 11th International Conf. on CAD/CAM, Robotics and Factories of the Future
**Date et Lieu:** 28-30/08/1995, Pereira, Colombie
**Date limite:** 28/11/1994
**Contact:** Dr Hrishi Bera, Univ. Technologica de Pereira, Risaralda, Colombia

**Conférence**: IROS'95, Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems
**Date et Lieu:** 5-9/8/1995, Pittsburgh
**Date limite:** 01/12/1994
**Contact:** Ms. Patricia Mackiewicz
IROS'95 Secretariat, E-mail : `patty@cs.cmu.edu`

**Conférence**: Int. Conf. on Advanced Robotics
**Date et Lieu:** 20-22/9/1995, Sant Feliu de Guixols, Espagne
**Date limite:** 15/1/1995
**Contact:** Antonio B. Martinez

E-mail : `abmv@esaii.upc.es` **Conférence**: International Conference on Recent Advances in Mechatronics
**Date et Lieu:** 14-16/8/1995, Istanboul
**Date limite:** 3/2/1995
**Contact:** Prof. Ahmet Denker, Bogazici Univ. Bebek, 80815 Istanbul

**Conférence**: ISIR, Int. Symp. on Industrial Robots
**Date et Lieu:** 10/1996, Milan
**Date limite:** 28/2/1995
**Contact:** ISIR'96 Secretariat, CEU,Viale Fulvio Testi 128, 20092 Cinisello Balsamo (MI), Fax: (0039 2) 26255.214

**Conférence**: MARAS'96 : 2nd International Conference on Mobile and Rapidly Assembled Structures
**Date et Lieu:** 17-19/06/1996
**Date limite:** ?
**Contact:** Wessex Institute of Technology, Ashurst Lodge Ashurst Southampton SO40 7AA,RU