Numéro 7, 24 Avril 1994

Editorial

Ce nouveau numéro de Prolégomènes contient les compte-rendu d'une conférence, de deux thèses et d'un livre, ainsi qu'un problème ouvert.

N'oubliez pas que cette lettre d'information est ouverte à tous, et ne vit que grâce à vos contributions: compte-rendu de congrès, de thèses, des synthèses d'articles, des problèmes non résolus.

Comptes rendus

Computational Kinematics 11-15/10/1993, Schloss Dagsthul, Allemagne

Le but de cette conférence était de faire le point sur l'influence de l'informatique dans l'étude des mécanismes.

La première session était consacrée à l'étude des modèles géométriques. *B. Roth* nous a présenté différentes techniques de résolution de système d'équations algébriques qui se sont avérées efficaces pour l'étude de divers mécanismes. *Ghazvini* a montré que le modèle géométrique inverse de robots avec des articulations prismatiques et rotoïdespouvait se ramener à l'étude d'un problème de calcul de valeurs propres, qui est numériquement stable. *Kovács* s'est intéressé au problème de l'apparition de racines erronées lorsque l'on utilise dans les équations trigonométriques la substitution classique de la tangente de l'angle moitié. Il propose un test efficace permettant de déterminer si une telle substitution va introduire ou non des racines erronées et montre par cette méthode que l'algorithme de Raghavan-Roth pour le robot 6R n'introduit jamais de telles racines. *Weiss* s'est intéressé au problème lié à la réduction des équations du modèle géométrique inverse du robot 6R.

La seconde session était consacrée aux robots redondants. *Heiß* a développé une méthode permettant la résolution analytique du modèle géométrique inverse d'un robot 8R qui permet de prendre en compte les débattements limites des articulations. *Kauschke* a proposé une approche mixte, numérique et symbolique, pour l'optimisation des solutions articulaires des robots série redondants. *Lenarčič* s'est intéressé à l'efficacité en terme numérique des méthodes utilisant la pseudo-inverse et des méthodes de descente. Si l'utilisation de la pseudo-inverse assure en général une meilleure convergence, elle est toutefois plus coûteuse en temps calcul. *Celaya* a montré que déterminer les solutions du modèle géométrique d'un robot redondant revient à calculer les ensembles de valeurs que peuvent prendre les paramètres des différentes articulations et a ensuite présenté une méthode permettant le calcul de ces ensemble sans calculer explicitement leur expression algébrique. Dans la même veine *Thomas* a obtenu une description globale de l'ensemble des solutions du modèle géométrique inverse des mécanismes à n barres.

La troisième session était consacrée à la dynamique. *Connoly* a présenté l'utilisation d'un système de calcul formel (Maple) pour le calcul des équations nécessaires à l'implantation d'une commande efficace de robots série. Ce module permet le calcul du modèle géométrique inverse, de la jacobienne et de ces dérivées par rapport au temps. Les modèles dynamiques inverses et directes utilisant la formulation de Newton-Euler ont été aussi implantés. *Shoham* s'est intéressé à l'utilisation des nombres duaux pour l'analyse des mécanismes. Si ces nombres permettent l'analyse cinématique leur extension pour l'étude de la dynamique s'avère délicate. L'introduction d'un opérateur dual d'inertie permet de résoudre ce problème et d'établir les équations du mouvement d'un mécanisme.

La quatrième session était consacrée aux robots parallèles. *Innocenti* a présenté la solution du modèle géométrique d'un robot parallèle d'une architecture spéciale (robot 5-4, c'est-à-dire 5 points au sol reliés par 6 segments à 4 points sur le corps mobile). *Daniali* s'est intéressé aux modèles géométriques des mécanismes à trois degrés de liberté constitués de deux triangles dont l'un a ses sommets se déplacant sur les arêtes de l'autre. *Zanganeh* a illustré l'utilisation d'une méthode semi-graphique pour la résolution du modèle géométrique direct d'un robot parallèle général. Cette méthode consiste a réduire le problème à deux équations à deux variables puis de tracer le contour de ces équations pour en déterminer les points communs. *Lazard* s'est intéressé au problème de la représentation des mouvements des solides rigides. Il montre que le choix de la représentation a une influence considérable sur la difficulté du traitement ultérieur des équations, ce qu'il illustre sur l'étude du modèle géométrique direct d'un robot parallèle général.

La cinquième session était consacrée à la planification de trajectoire. *Lloyd* a proposé une méthode permettant le contrôle d'un robot bougeant en ligne droite au voisinage d'une singularité. Il réduit la vitesse du robot de façon à ce que les accélérations et vitesses articulaires restent finies sur le segment. *Kieffer* s'est intéressé aux singularités des trajectoires d'un robot plan 2R. Il montre que divers types de singularités (cusp, nodes etc..) peuvent se produire selon la position de la trajectoire par rapport à la frontière de l'espace de travail. *Heiß* a présenté diverses méthodes d'interpolation dans l'espace articulaire, qui permettent en particulier de raccorder “en douceur” deux segments en prenant en compte non seulement la vitesse mais aussi l'accélération. *Ge* s'est intéressé au problème de la synthèse d'un mouvement continu de classe C^2 passant approximativement près d'un certain nombre de configurations de contrôle. Il présente un algorithme permettant la construction de trajec-

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

toires de type Bézier.

La sixième session était consacrée aux modèles géométriques des mécanismes. *Hertz* a étudié le modèle géométrique d'un robot en treillis à trois degrés de liberté constitué de deux octaèdres superposés, avec trois actionneurs linéaires. *Innocenti* s'est intéressé au problème de l'intersection de deux courbes de coupleur de mécanismes à quatre barres, dont nous avons parlé dans un précédent numéro. *Kecskeméthy* a proposé une méthode de génération automatique d'équations pour les mécanismes à plusieurs boucles. Le principe est de déterminer et de calculer les équations des boucles individuelles puis de déterminer dans quel ordre ces équations doivent être résolues pour résoudre le mécanisme dans son entier. Cette méthode a été implantée à l'aide du système de calcul formel Mathematica. *Fanghella* a présenté ensuite une méthode avec les mêmes objectifs. *Salgado* s'est intéressé au problème de la synthèse de mécanisme à quatre barres avec quatre points de contrôle. *Park* a proposé une méthode pour la synthèse d'un mécanisme dont l'espace de travail contient un certain nombre de configurations de passage. Pour cela il utilise une métrique riemanienne invariante qui permet de considérer le groupe des déplacements comme un espace métrique.

Les articles présentés lors de cette conférence ont été publiés dans le livre "Computational Kinematics", J. Angeles, G. Hommel, P. Kovács éditeurs, Kluwer Academic Publishers.

J-P. Merlet

Thèses

Analyse et commande d'une famille de robots manipulateurs à structure parallèle et redondante

par Nathalie Nombrail
ENSAE
Décembre 1993

Nous présentons une nouvelle architecture parallèle à trois degrés de liberté en translation destinée à des tâches rapides, dont un prototype a été réalisé au CERT (SPEEDy-Robot-MANipulator). Ses deux principales particularités sont d'une part sa structure mécanique légère et parallèle, d'autre part une redondance dans les actionneurs, qui permet d'optimiser le temps de parcours grâce à un choix judicieux de la commande.

Les principaux problèmes liés à la commande d'un nouveau robot sont étudiés. Dans un premier temps, les modèles géométriques, cinématique et dynamique de ce robot à chaîne complexe sont établis, permettant alors de déterminer toutes les configurations singulières. Le problème de la gestion de la redondance se pose ensuite. Plusieurs critères maximisant l'accélération sont analysés, notamment celui basé sur le concept de "masse équivalente". Puis une commande pseudo-optimale est établie, optimisant les critères précédents. Enfin l'architecture générale de commande est définie et les lois de pilotage articulaire sont implantées afin de résoudre les problèmes de couplage. Des résultats expérimentaux sont obtenus à partir d'une manipulation.

Model-based control of fast parallel robots: a global approach in operational space

par Philippe Guglielmetti
EPFL, Lausanne
Mars 1994

Une approche globale au problème de la commande des robots parallèles rapides est proposée dans ce travail. Les différences fondamentales entre les robots série et parallèles sont mises en évidence. Un formalisme inspiré de celui de Denavit-Hartenberg permet de paramétriser la géométrie d'un robot parallèle quelconque en le considérant comme deux arbres connectés par six liaisons simples.

Puis, il est montré que la modélisation de la cinématique et de la dynamique des robots parallèles est grandement facilitée si on choisit de représenter l'état du robot simultanément par les variables décrivant la position des articulations motorisées et par les variables spécifiant la position de l'organe terminal du robot dans l'espace opérationnel. Une forme générale du modèle de la dynamique inverse dit "dans les deux espaces" découle de cette approche.

Un algorithme basé sur l'approche de Newton-Euler est développé pour le calcul rapide et efficace du modèle de la dynamique inverse dans les deux espaces. Il est montré que sa complexité est comparable à celle de l'algorithme standard pour les robots série. Une formulation par la mécanique lagrangienne permet l'analyse du modèle dans les deux espaces. Il est montré que ses propriétés correspondent à celle bien connues des robots série à une importante différence près: la matrice jacobienne des robots parallèles n'étant pas bornée, ces manipulateurs n'offrent des performances élevées que dans un sous-espace de leur espace de travail qui doit être soigneusement défini.

Différentes stratégies pour le réglage en poursuite de trajectoire des robots rapides sont ensuite examinées. Les avantages des méthodes basées sur la connaissance du modèle dynamique et une contre réaction robuste sur les variables opérationnelles sont décrits. Il est montré que pour les robots parallèles, une telle commande nécessite une puissance de calcul moindre lorsque la contre-réaction est réalisée dans l'espace opérationnel, c'est-à-dire lorsque le réglage s'effectue sur les coordonnées décrivant l'état de l'organe terminal du robot. Outre les avantages déjà énumérés dans la littérature, une telle structure peut être implantée de façon très efficace sur un contrôleur multiprocesseurs en exploitant la nature intrinsèquement parallèle des algorithmes impliqués ainsi que leur mise en pipeline.

Finalement, l'approche proposée est appliquée au robot parallèle Delta. Une démarche systématique permet d'obtenir les modèles cinématiques et dynamiques de ce robot sous une forme extrêmement compacte. L'analyse de la matrice jacobiennne ainsi que quelques résultats de simulation révèlent les points forts et les limitations de ce manipulateur. L'implantation d'une commande basée sur le modèle du Delta sur un contrôleur doté de quatre Transputers est décrite. Quelques résultats expérimentaux obtenus sur un Delta doté d'une transmission à courroie crantée sont présentés et discutés.

Livres

Robotique, Aspects fondamentaux
par J-P. Lallemand, S. Zeghloul
MASSON, 1994

Les systèmes mécaniques articulés peuvent avantageusement se substituer à l'homme pour des tâches pénibles, répétitives ou inaccessibles en milieu hostile (sous-marin, nucléaire ou spatial). Ces systèmes ont connu un développement spectaculaire au cours des deux dernières décennies. L'étude de leur capacité d'action en vue d'obtenir une grande dextérité et une certaine autonomie prenant modèle sur l'homme exige un champ de connaissances spécifiques. Dans ce contexte, cet ouvrage est consacré aux aspects fondamentaux de la robotique. Il en recouvre trois grands domaines: la modélisation des systèmes mécaniques articulés, leur commande et leur simulation sur système infographique. La modélisation mécanique permet de dégager les méthodes générales de calcul en géométrie, cinématique et dynamique des robots manipulateurs et elle débouche sur l'identification, les singularités, la manipulabilité et le traitement des redondances.

La commande est abordée selon ses aspects les plus simples de la génération de mouvement point à point ou interpolés, et les plus complexes par la prise en compte des informations sur l'environnement de travail du robot.

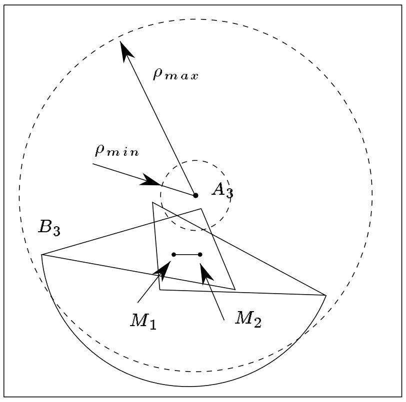
En CAO robotique sont traités les principes de construction d'un système de simulation, la détection des collisions, la planification des trajectoires ainsi que le placement des robots en site industriel.

Ce cours intégre dans un exposé didactique de nombreux résultats récents de la recherche en robotique. Il s'adresse aux étudiants en 2^{eme} cycle universitaire et en école d'ingénieurs dans les secteurs de l'automatique et de la mécanique. Grâce, notamment, à de nombreux exemples traités en situation et à plus de 50 exercices corrigés, il permet au lecteur d'asseoir sur de bases solides les concepts essentiels de la robotique. L'ingénieur en charge de la conception ou de la mise en œuvre d'un site robotisé et l'étudiant en 3^{eme} cycle universitaire désireux de s'engager dans la recherche en robotique y trouveront, avec profit, une synthèse des principaux fondements de leur discipline.

Problème ouvert

Dans un plan soit un triangle $B_1B_2B_3$ et trois points fixes A_1, A_2, A_3. Les points B_i, A_i sont reliés par des segments de longueur variable et des articulations rotoïdes permettent toutes les rotations des segments autour des points A_i, B_i. On suppose que les longueurs des segments sont astreintes à être dans des intervalles connus. La position du triangle est repérée par les coordonnées d'un point quelconque C lié au triangle. Son orientation est défini par un angle. On se donne deux configurations M_1, M_2 du triangle et l'on veut vérifier si la trajectoire "en ligne droite" entre ces deux configurations est telle que les longueurs des segments restent dans leurs intervalles, en supposant que cela est vrai pour les configurations M_1, M_2.

En d'autres termes lorsque le point C se déplace sur le segment M_1M_2 les points B_i décrivent un arc de cycloïde (voir figure). Soit $M_i(x_i, y_i, \theta_i)$, et r_i la distance entre C, B_i.



Les coordonnées de B_i (x,y) s'écrivent:

$$\begin{aligned} x &= x_1 + \lambda(x_2 - x_1) + r_i \cos(u + \theta_1 + \lambda(\theta_2 - \theta_1)) \\ y &= y_1 + \lambda(y_2 - y_1) + r_i \sin(u + \theta_1 + \lambda(\theta_2 - \theta_1)) \end{aligned}$$

où u est une constante et $\lambda \in [0, 1]$. Cet arc de cycloïde a t'il une intersection avec les cercles centrés en A_i, de rayons les longueurs maximum et minimum des segments ?

Rendez-vous

Nom: IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation
Date et Lieu: 8-13/05/1994 San-Diego, USA
Contact: H. Stephanou,RPI, Troy, New-York, 12180-8652 ,USA

Nom: Advance in Robot Kinematics
Date et Lieu: 4-6/07/1994, Lubjana
Contact: J-P. Merlet

Nom: Japan-USA Symp. on Flexible Automation
Date et Lieu: 11-13/7/94, Kobe
Contact: D. Hardt, Dept. of Mech. Eng., MIT, Room 35-324Cambridge, MA 02139, USA

Nom: Intelligent Robotic Systems
Date et Lieu: 11-15/7/1994, Grenoble
Contact: J-P. Merlet

Nom: ISRAM'94
Date et Lieu: 15-17/08/94 Hawai,USA

Contact: E-mail : `isram@houdini.unm.edu`

Nom: Joint Hungarian-British Mechatronics Conf.
Date et Lieu: 21-23/09/1994 Budapest
Contact: Liza Hearst, Institution of Mechanical Engineer 1 Birdcage Walk, London SW1

Nom: 12th Symp. on Engineering Applications of Mechanics
Date et Lieu: Montréal, 27-29/6/1994
Contact: Pr. Price,McGill University

Nom: National Robotics Conf.
Date et Lieu: Varna, Bulgarie, 9/1994
Contact: Dr. Nenchev, Robotics Dpt, Technical University of Sofia, 1756 Sofia

Nom: ASME Design Technical Conf.
Date et Lieu: Minneapolis, 11-14/9/1994
Contact: Pr. T.R. Chase,
E-mail : `trchase@staff.tc.umn.edu`

Nom: RoManSy
Date et Lieu: 12-15/9/1994, Gdansk
Contact: J-C Guinot, IMTA, 4 Place Jussieu 75230 Paris Cedex 05

Nom: IROS'94
Date et Lieu: 12-16/9/94, Munich
Contact: IROS'94 Secrétariat, c/o UniBw, Munich, 85577 Neubiberg, Allemagne

Nom: 4th IFAC Symposium on Robot Control
Date et Lieu: 19-21/09/1994 Capri
Contact: E-mail : `syroco@disna.dis.unina.it`

Nom: 5th IFIP Conf. on computer applications in production and engineering
Date et Lieu: 25-27/09/94
Contact: PO Box 30 24 80,W-2000 Hambourg 36

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

Appels aux communications

Conférence: 5th Int. Conf. on Adaptive Structures
Date et Lieu: 7-9/11/94, Sendai
Date limite: 30/4/94
Contact: Pr. Breitbach, DLR Inst. of Structural Mechanics Flughafen D-3300, Braunschweig, Allemagne

Conférence: 3rd Int. Conf on Automation, Robotics and Computer Vision
Date et Lieu: 8-11/11/94
Date limite: 30/4/94
Contact: ICARCV'94 Secretariat, The Institution of Engineers ,Singapore, 70 Bukit Tinggi Road, Singapore 1128

Conférence: 4th Pan American Congress of Applied Mechanics
Date et Lieu: 01/95, Buenos Aires
Date limite: 30/4/1994
Contact: Pr. Sergio Idelsohn,
E-mail : `rnsergio@arcride.edu.ar`

Conférence: 26th ISIR
Date et Lieu: 4-5/10/95, Singapour
Date limite: 30/08/94
Contact: 26th ISIR Secretariat, Asia-Pacific Exhibitions 122 Middle Road,#08-09 Midlink Plaza, Singapore 0718

Conférence: 9th World Congress on the theory of machines and Mechanisms
Date et Lieu: 29/8-1/9/1995, Milan
Date limite: 05/1994
Contact: Pr. Rovetta,E-mail : `Rovetta@lpmcc2.Polimi.It`

Brèves

↗: Après le succès du congrès SEA93 sur la résolution des systèmes algébriques il a été décidé de reconduire l'expérience en 1995. SEA95 se tiendra à Luminy dans le courant du mois de Novembre.

↗: Réunion du groupe robot à pattes du GDR Robotique les 2 et 3 Juin a Poitiers. Contacter J-P. Lallemand, Laboratoire de Mécanique des Solides, 40, rue du Recteur Pineau, 86022 Poitiers Cedex

↗: Faugere et Lazard (LITP, Jussieu) ont établi les majorants du nombre de solutions du modèle géométrique direct pour toutes les classes de robots parallèles à 6 degrés de liberté constitués de deux corps joints par 6 segments.

↗: Lors de prochaine conférence IEEE Robotics and Automation à San Diego (8-13/05/1994) cinq sessions seront consacrées aux modèles géométriques des robots ainsi qu'un séminaire spécial sur les actionneurs miniatures. Un compte-rendu de cette conférence sera publié dans le prochain numéro de Prolégomènes.