Numéro 11, 5 Avril 1995

Editorial

Voici un numéro particulièrement riche de Prolégomènes: un article de synthèse, un compte-rendu de congrès et une réponse à un problème ouvert. Merci à C. Gosselin, M. Bennani et M. Troyanov pour leurs contributions exemplaires. A bientôt pour le numéro 12.

Synthèse de commande des robots à pattes

par M. Bennani, F. Giri, EMI Rabat

Au cours de cette dernière décennie, un intérêt considérable est porté aux robots mobiles qui, grâce à leur faculté de navigation, de décision et d'action, ont pu conquérir plusieurs domaines d'applications tels que les océans, les centrales nucléaires, les mines, l'agriculture, la maintenance industrielle, le nettoyage industriel, les services domestiques, etc.... Ce sont d'ailleurs ces domaines particuliers qui ont constitué les sept sous-programmes visés par le programme international **RAM** (Robot Autonome Multiservices, lancé en 1983 en vue de déboucher sur des produits industriels dans une période de cinq à 10 ans).

Les robots mobiles à roues ont largement dominé la scène des robots mobiles (en nombre et applications, **Shakey** et **Cart** de l'Université de Stanford, **Hilare** du LAAS de Toulouse, **Beast** de l'Université John Hopkins, etc..) Cependant, ils sont handicapés face aux irrégularités, discontinuités et obstacles des terrains. Dans ces conditions, seuls les robots à pattes (RP) sont capables de mobilité et d'adaptabilité. Ce qui explique le nombre important des travaux de recherche et applications concernant ces robots (**Titan III** de l'Institut de Technologie de Tokyo, **Odex 1** de la firme californienne Odetic Inc, **Hexapod** de l'Université d'Ohio..). Mais aux problèmes classiques de la robotique mobile, liés aux algorithmes et techniques de navigation et de décision, s'ajoutent ceux de la locomotion pour les RP. Comment alors sont traités, jusqu'à l'heure actuelle, les problèmes de la commande de ces robots ?

On distingue tout d'abord la commande, la plus utilisée, connue sous le nom "maître-esclave" qui a fait ses preuves particulièrement dans les réalisations des exosquelettes pour l'assistance aux handicapés. Parmi les nombreuses applications qui ont utilisé ce principe, notons celle du robot "**Walking House**" de la société General Electric. Les pattes du robot sont liés aux mains et aux jambes d'un conducteur humain placé dans une cabine à l'intérieur de celui-ci.

L'autre type de commande a trait à l'autonomie des RP. Les réalisations les plus spectaculaires concernent les Robots Bipédes mais avec des déplacements sur les terrains plats des laboratoires et équipés avec des capteurs proprioceptifs (Robot **WL-12** de l'Université de Tokushima du Japon, **Walking Device** de l'Université de Lomonosov de Moscou..). Le projet le plus ambitieux est sans doute celui de la version non piloté du robot **Adaptive Suspension Vehicle (ASV)**, réalisé avec le concours du Département Américain de la Défense. La première version du robot comportait un poste de pilotage, six ordinateurs pour commander les mouvements des six pattes et neuf autres chargés d'analyser les informations transmises par un système de balayage et de coordonner les mouvements.

On constate alors que, malgré son efficacité, la commande "maître-esclave" est limitée par son coût important de temps, de moyens et d'efforts, et que d'autre part la commande "autonome" n'est pas suffisamment opérationelle (tout au moins dans le présent, de nombreux efforts sont encore à faire dans les techniques d'Intelligence Artificielle et l'augmentation de capacité et vitesse de traitement des ordinateurs). La solution qui semble être prometteuse réside dans le mixage des deux types de commandes: c'est ce que l'on appelle la Commande Hybride. Une forme de cette commande a été appliquée à la version pilotée du robot ASV de l'Université d'Ohio. Nous pensons quant à nous que le problème de la Commande Hybride pour les RP peut être formulé de la manière suivante: si l'environnement n'est pas structuré, le robot doit être équipé de capteurs de vision, de mesure de distance et autres (caméras, télémètre, etc..). Les informations sont communiquées à l'opérateur humain qui identifie l'environnement et décompose le terrain de navigation en un ensemble de reliefs de géométrie bien connue (plat, pente, discontinuité, obstacle..). A chaque relief, il peut sélectionner une allure qui dépend aussi de la vitesse de déplacement désirée (une bibliothèque d'allures préétablies correspondant aux divers reliefs pouvant exister dans une scène doit être disponible; pour ce faire l'analyse des allures des animaux quadrupèdes et hexapodes serait d'un grand apport). A ce stade, la commande est confiée à des ordinateurs qui assurent la réalisation des mouvements des pattes, la synchronisation des mouvements et le traitement simple et rapide de quelques informations (mesure des distances par exemple). Ainsi dans cette Commande Hybride, une autonomie est attribuée au robot pour gérer les mouvements de ses pattes tandis que l'aspect décisionnel est approprié à l'homme qui choisit les allures pour la navigation une fois qu'il a identifié l'environnement. Ce compromis est sans doute très raisonnable.

References

[1] Meystel, A., "Autonomous mobile devices" in Applications in Artificial Intelligence, ed. S. Andrio, Petrocelli Books, 1985

[2] Sun, S.S., "A theoretical study of gaits for legged locomotion systems", Ohio State University, Colombus, Mars 1974

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

Compte rendu

ISRAM 94

Du 14 au 18 Août 1994, se tenait à Maui (Hawaii) le 5ième congrès ISRAM (International Symposium on Robotics and Manufacturing). Cette conférence regroupe des présentations dans des domaines reliés de près ou de loin à la robotique ou à la fabrication.

En plus des nombreux articles sur la commande et la modélisation de systèmes (ainsi que l'utilisation des réseaux de neurones et de la logique floue), certaines des présentations portaient sur la cinématique ou la mécanique des robots en général. Je vais tenter ici de faire un bref survol des articles portant sur ce dernier sujet. Étant donné que je n'ai pu moi-même assister à cette conférence, j'écris ce rapport uniquement à partir des compte-rendus.

D'abord, Cox et Tesar ont présenté un algorithme de planification de trajectoire pour un système a deux bras à actionnement redondant alors que Dohrmann et Robinett ont proposé d'utiliser la programmation dynamique pour la planification de trajectoire de manipulateurs. Par ailleurs, Ferraresi et al. ont présenté une caractérisation statique et dynamique d'un capteur d'efforts dont l'architecture est basée sur la plate-forme de Gough-Stewart alors que Gosselin et al. ont présenté un outil logiciel permettant l'analyse et la conception de mécanismes sphériques à architecture parallèle. Hiller a présenté les résultats les plus récents sur la cinématique et la dynamique du système ROBOTrac, une plate-forme mobile montée sur roues et sur pattes. Lee et al. ont présenté un manipulateur à 12 ddl (de type 'serpentin') qui a été conçu et construit à JPL pour l'inspection de surfaces alors que Liu et al. ont traité de la dynamique des systèmes multi-bras. Dans le domaine expérimental, Masory et Jiahua ont présenté des mesures de la répétabilité de pose d'une plate-forme de Gough-Stewart. De plus, un mécanisme parallèle (encore la plate-forme de Gough-Stewart) a été proposé par Nguyen et al. pour le chargement de munitions. Des indices de dextérité 'relatifs' ont été proposés par Roberts et Maciejewski afin de caractériser les performances cinématiques de manipulateurs. Stevens et Clavel ont présenté les perspectives futures d'utilisation du robot parallèle DELTA dans l'industrie. Par ailleurs, Zanganeh et Angeles ont proposé des algorithmes pour la résolution du problème géométrique direct d'un manipulateur parallèle à partir d'un nombre minimal de données. Bostelman et al. ont présenté un aperçu des applications du manipulateur parallèle à câbles du NIST: ROBOCRANE. Chen a présenté une étude de la stabilité des prises pour une main articulée alors que Williams et Khatib ont présenté des algorithmes pour la commande de forces pour un tel système. Wenger et Chedmail ont présenté des méthodes d'optimisation pour la conception de cellules robotiques en utilisant une approche unifiée. Encore dans le domaine des manipulateurs parallèles, Geng et Haynes ont proposé des méthodes pour l'étalonnage de plate-formes de Gough-Stewart. Mooring, pour sa part, a présenté un algorithme de choix des configurations à utiliser pour l'étalonnage géométrique de manipulateurs. Sun et al. ont proposé un algorithme pour l'optimisation des forces internes dans un système à actionnement redondant. Tahmasebi et Tsai ont présenté une étude de la raideur d'un manipulateur parallèle dont l'architecture est semblable à celle de la plate-forme de Gough-Stewart mais dont les pattes ont une longueur fixe. Les extrémités inférieures de ces pattes peuvent être positionnées dans un plan horizontal. Gosselin et Hamel ont présenté un manipulateur parallèle sphérique à 3 ddl permettant l'orientation à haute vitesse d'une caméra. Driels et Pathre ont proposé un algorithme pour l'étalonnage de manipulateurs à l'aide d'un seul théodolite automatique. Daniali et Zsombor-Murray ont proposé des règles permettant d'identifier tous les manipulateurs parallèles plans qui sont isotropes alors que Becker et al. ont présenté la cinématique d'un poignet parallèle avec actionneurs redondants. Reboulet et Sanchez ont parlé de la commande hybride d'un manipulateur parallèle. Stoughton et al. ont proposé un nouveau type de manipulateur parallèle redondant à 9 actionneurs qui combine en quelque sorte la plate-forme de Gough-Stewart et le treillis à géométrie variable (VGT). Les auteurs affirment que cette architecture permet d'augmenter considérablement l'espace atteignable. Bien d'autres articles intéressants ont été présentés, particulièrement sur la commande et la modélisation.

Je me permets en terminant de vous faire remarquer qu'un nombre important d'articles portent sur la cinématique ou la conception mécanique de manipulateurs à architecture parallèle.

Les compte-rendus de cette conférence comportent trois volumes. Le premier est disponible auprès de l'ASME (ASME Book No. 80044X, ISBN 0-7198-0044-X) alors que les deux autres sont disponibles chez TSI Press Series (ISBN 0-962 7451-4-6 et 0-962 7451-5-4).

Il est aussi à noter que le prochain congrès ISRAM aura lieu en France, à Montpellier du 27 au 30 Mai 1996. Les organisateurs sont Pierre Dauchez et François Pierrot du LIRMM (dauchez@lirmm.fr, pierrot@lirmm.fr). Les articles doivent être envoyés aux organisateurs avant le 1er décembre 1995. Le congrès sera désormais regroupé avec les congrès ISIAC (International Symposium on Intelligent Automation and Control) et ISSCI (International Symposium on Soft Computing for Industry) qui forment (avec l'ISRAM) le WAC (World Automation Congress).

Clément M. Gosselin Génie Mécanique, Université Laval E-mail : `gosselin@gmc.ulaval.ca`

Note sur le problème de Prolégomènes n° 10

par Marc Troyanov, Département de Mathématiques, E.P.F.L., MA-Ecublens, CH-1015 Lausanne (Suisse) E-mail : `troyanov@masg18.epfl.ch`

Le problème est le suivant : on se donne deux vecteurs $\mathbf{u}$ et $\mathbf{v}$ de $\mathbf{R}^3$, un nombre $\rho > 0$ et une région polygonale $\mathcal{P} \subset \mathbf{R}^3$. Le problème est de décrire l'ensemble des couples (R_1, r_1) pour lesquels il existe un point $C \in \mathcal{P}$ tel que le vecteur

$$\mathbf{a} := \mathbf{OC} + R_1\mathbf{u} + r_1\mathbf{v}$$

soit de longueur au plus ρ

$$\|\mathbf{a}\| \leq \rho .$$

Ce problème est un problème de somme et d'intersections de sous-ensembles de $\mathbf{R}^3$.

Rappelons que si $\mathcal{A}$, $\mathcal{B}$ sont deux sous-ensembles d'un espace-vectoriel, alors $\mathcal{A}+\mathcal{B}$ est l'ensemble des sommes $\mathbf{a}+\mathbf{b}$ où $\mathbf{a} \in \mathcal{A}$, $\mathbf{b} \in \mathcal{B}$

$$\mathcal{A} + \mathcal{B} = \{\mathbf{a} + \mathbf{b} \,|\, \mathbf{a} \in \mathcal{A}, \mathbf{b} \in \mathcal{B}\}$$

De même, si $\lambda \in \mathbf{R}$, alors $\lambda\mathcal{A}$ est l'ensemble des produits $\lambda\mathbf{a}$ où $\mathbf{a} \in \mathcal{A}$

Exemples : (1) Si $\mathcal{S}_1 = \{\mathbf{x} \,|\, \|\mathbf{x}\| = 1\}$ est la sphère centrée à l'origine et de rayon 1, alors la sphère de rayon ρ (centrée à l'origine) est $\mathcal{S}_\rho = \rho\mathcal{S}_1$.

(2) Si $\mathcal{B}_1 = \{\mathbf{x} |\, \|\mathbf{x}\| \leq 1\}$ est la boule centrée à l'origine et de rayon 1, alors la boule de rayon ρ (centrée à l'origine) est $\mathcal{B}_\rho = \rho\mathcal{S}_1$.

(3) L'ensemble $-\mathcal{A}$ est le symétrique de $\mathcal{A}$ par rapport à l'origine (par exemple, $-\mathcal{B}_\rho = \mathcal{B}_\rho$).

(4) Si $\mathbf{a} \in \mathbf{R}^3$ est un point, alors $\{\mathbf{a}\} + \mathcal{B}$ est obtenu en translatant $\mathcal{B}$ par le vecteur $\mathbf{a}$.

(5) Si $\mathcal{A}$ et $\mathcal{B}$ sont des segments de droites, alors $\mathcal{A}+\mathcal{B}$ est un parallélogramme (dont le centre est la somme des centres de $\mathcal{A}$ et $\mathcal{B}$).

(6) Si $\mathcal{P}$ est une région quelconque de $\mathbf{R}^3$, alors $\mathcal{P} + \mathcal{B}_\rho$ est l'ensemble des points de $\mathbf{R}^3$ situés à distance au plus ρ d'un point de $\mathcal{P}$, c'est ce que l'on appelle le $\rho-$voisinage tubulaire de $\mathcal{P}$:

$$\mathcal{P} + \mathcal{B}_\rho = \{\mathbf{Q} |\, \mathrm{dist}(\mathcal{P}, Q) \leq \rho\}.$$

Pour résoudre le problème et décrire la région voulue, on introduit le plan $\Pi \subset \mathbf{R}^3$ passant par O et de directions $\mathbf{u}$ et $\mathbf{v}$.

$$\Pi = \{R_1\mathbf{u} + r_1\mathbf{v}\} .$$

Si on utilise $(R1, r1)$ comme coordonnées sur le plan Π, alors le problème devient équivalent au problème suivant :

Décrire l'ensemble $\mathcal{W}$ des vecteurs $w \in \Pi$ pour lesquels il existe un point $\mathbf{c} \in \mathcal{P}$ tel que le vecteur

$$\mathbf{a} := \mathbf{c} + \mathbf{w}$$

appartienne à la boule $\mathcal{B}_\rho$.

La solution de ce problème est donnée par

$$\mathcal{W} = -\left(\Pi \cap (\mathcal{P} + \mathcal{B}_\rho)\right)$$

(c'est donc le symétrique de l'intersection du plan Π avec le le $\rho-$voisinage tubulaire de $\mathcal{P}$).

En effet : si $\mathbf{w} \in \mathcal{W}$, alors il existe $\mathbf{c} \in \mathcal{P}$ et $\mathbf{b} \in \mathcal{B}_\rho$ tels que $\mathbf{w} = -(\mathbf{c} + \mathbf{b})$. Si l'on pose $\mathbf{a} = -\mathbf{b}$, alors on a bien

$$\mathbf{a} := \mathbf{c} + \mathbf{w}$$

avec $\mathbf{a} \in \mathcal{B}_\rho$ et $\mathbf{c} \in \mathcal{P}$.

Décrivons plus précisément cette région $\mathcal{W}$ dans quelques cas particuliers (les régions décrites ci-dessous le sont dans la géométrie du plan Π, il faut simplement faire un changement de coordonnées pour les décrire dans la géométrie du plan $R_1 r_1$) :

a) Si $\mathcal{P}$ est un seul point $\mathbf{p}$, alors $\mathcal{W}$ est un disque de centre $-\mathbf{q}$ et de rayon $r = \sqrt{\rho^2 - d^2}$ où $\mathbf{q}$ est la projection orthogonale de $\mathbf{p}$ sur Π et $d = d(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = \|\mathbf{p} - \mathbf{q}\|$ est la distance de $\mathbf{p}$ au plan Π (cette région est vide si $d > \rho$).

b) Si $\mathcal{P}$ est une droite transverse à Π, alors le voisinage tubulaire $\mathcal{P} + \mathcal{B}_\rho$ est un cylindre infini et l'intersection $\Pi \cap (\mathcal{P} + \mathcal{B}_\rho)$ est une ellipse centrée en $\mathbf{q} = \Pi \cap \mathcal{P}$. Donc W est (l'intérieur d') une ellipse centrée en $-\mathbf{q}$. Pour décrire ses axes principaux, on choisi un vecteur directeur $\mathbf{d}$ pour la droite $\mathcal{P}$ et un vecteur normal $\mathbf{m}$ pour Π, on suppose ces vecteurs de longueur 1 :

$$\mathcal{P} = \mathbf{q} + \mathbf{R}\mathbf{d} \qquad \Pi = \mathbf{m}^\perp \qquad \|\mathbf{d}\| = \|\mathbf{m}\| = 1 ,$$

notons ensuite $\pi - \theta$ l'angle entre $\mathcal{P}$ et Π :

$$\cos(\theta) = \mathbf{m} \cdot \mathbf{d} .$$

Alors les axes de l'ellipse $\mathcal{W}$ sont donnés en direction et en grandeur par les vecteurs :

$$\text{petit axe :} \quad \frac{\rho}{\sin(\theta)}\mathbf{m}\times\mathbf{d} \qquad \text{grand axe :} \quad \frac{\rho}{\sin(\theta)}\left(\mathbf{m} - \frac{1}{\cos(\theta)}\mathbf{d}\right)$$

Si $\mathcal{P}$ n'est pas transverse à Π (i.e. si $\mathcal{P}$ est parallèle ou perpendiculaire), alors ces formules tombent en défaut, mais il est facile de calculer $\mathcal{W}$.

c) Si $\mathcal{P}$ est un segment de droite $[\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2]$, alors plusieurs cas se présentent, suivant l'inclinaison de $\mathcal{P}$ et la distance à Π des extrémités du segment (un cas typique est celui où le voisinage tubulaire $\mathcal{P} + \mathcal{B}_\rho$ est un segment de cylindre fermés par deux demi-disques).

d) Si $\mathcal{P}$ est un polygone, on calcule $\mathcal{W}$ en se ramenant, segment par segment, au cas (c).

Rendez-vous

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

Nom: Florida Conf on Recent Advances in Robotics
Date et Lieu: 26-27/4/1995, Univ. of Central Florida
Contact: Dr. Robert M. Byers,Dept of Mech. Eng., Univ. of Central Florida,Box 162450,Orlando, FL 32816-2450,USA

Nom: Workshop on Biorobotics: Human-Robot Symbiosis
Date et Lieu: 21-27/5/1995, Tsukuba
Contact: Dr. S. Bagchi, Intelligent Robotics Lab. Box 1804 Vanderbilt University, Nashville, TN 37235, USA.

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

Nom: Symp. on Measurement and Control in Robotics
Date et Lieu: 12-16/6, Slovakia
Contact: Pr. D. Gilmore, Dept of Mech. Eng.
University of Queensland,St Lucia Qld 4067,Austalie

Nom: IASTED Int. Conf. on Robotics and Manufacturing
Date et Lieu: 14-17/6/1995,Cancun
Contact: Rene V. Mayorga Dept. of Systems Design Eng.
Univ. of Waterloo,Waterloo, Ontario, Canada N2L 3G1

Nom: 3rd Int. Symp. on Intelligent Robotics Systems
Date et Lieu: 10-14/7/1995,Pise
Contact: Paolo Dario, ARTS Lab, Italy, Via Carducci 40 56127 Pisa E-mail : `Dario@arts.sssup.it`

Nom: IROS'95
Date et Lieu: 5-9/8/1995, Pittsburgh
Contact: Ms. Patricia Mackiewicz
IROS'95 Secretariat, E-mail : `patty@cs.cmu.edu`

Nom: Int. Symp. on Assembly and Task planning
Date et Lieu: 10-11/8/1995, Pittsburgh
Contact: Pr. S. Lee,Dpt of Computer Science,University of Southern California,Los Angeles,CA 90089-0781,USA

Nom: In. Conf. on Recent Advances in Mechatronics
Date et Lieu: 14-16/8/1995, Istanboul
Contact: Prof. Ahmet Denker, Bogazici Univ.
Bebek, 80815 Istanbul

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

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: Computational Kinematics
Date et Lieu: 4-6/9/95, Sophia-Antipolis
Contact: J-P Merlet

Nom: 1st Int. Conf. on Advanced robotics and Intelligent Automation
Date et Lieu: 6-8/9/1995, Athènes
Contact: B. Borovaç ECPD, Kneza Mihaila 7/II,11000 Beograd,Yougoslavie(?)

Nom: IFAC Workshop on Human-Oriented Design of Advanced Robotic Systems
Date et Lieu: 19-20/9/1995, Vienne
Contact: Institute for Handling Devices and Robotics (E318) Technical University of Vienna Floragasse 7A A-1040 Wien

Nom: Int. Conf. on Advanced Robotics
Date et Lieu: 20-22/9/1995, Sant Feliu de Guixols, Espagne
Contact: A. B. Martinez,E-mail : `abmv@esaii.upc.es`

Nom: 1st Int. Conf. Simulation and Design of Microsystems and Microstructures
Date et Lieu: 26-28/09/1995, Southampton
Contact: Sue Owen, Wessex Inst. of Technology
Ashurst Lodge,Southampton SO40 7AA,UK

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

Nom: Workshop on Mechatronic Design and Modelling
Date et Lieu: 13-17/11/1995, Ankara
Contact: E-mail : `modisa@vm.cc.metu.edu.tr`

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

Nom: Strucome
Date et Lieu: 21-23/11/1995, Paris
Contact: APCAS, 2 rue des Garennes, 78570 Andresy

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

Appels aux communications

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

Conférence: 6th Int. Symp. on Robotics and Manufacturing
Date et Lieu: 28-30/05/1996, Montpellier
Date limite: 1/12/1995
Contact: WAC Secretariat,PO Box 14155
Albuquerque,NM 87191-4155,USA