



**HAL**  
open science

# Une méthode d'aide au choix topologique des actionneurs des mécanismes cinématiques en robotique

Peter Mitrouchev

► **To cite this version:**

Peter Mitrouchev. Une méthode d'aide au choix topologique des actionneurs des mécanismes cinématiques en robotique. CFM 2007 - 18ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2007, Grenoble, France. hal-03362553

**HAL Id: hal-03362553**

**<https://hal.science/hal-03362553v1>**

Submitted on 1 Oct 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Une méthode d'aide au choix topologique des actionneurs de mécanismes cinématiques en robotique

Peter Mitrouchev

*\*Laboratoire G-SCOP, Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production de Grenoble, FRE-3028 CNRS, 46, av. Félix Viallet, 38031, GRENOBLE Cedex 1, France, E mail : [Peter.Mitrouchev@hmg.inpg.fr](mailto:Peter.Mitrouchev@hmg.inpg.fr)*

### Résumé :

*Plusieurs méthodes d'aide à la conception et par la suite d'optimisation ont déjà été présentées concernant l'optimisation dimensionnelle en robotique, mais peu sur l'optimisation topologique et par conséquent sur la conception topologique. Dans ce travail nous proposons une nouvelle méthode pour un choix morphologique restreint de mécanismes moteurs plans en robotique. Elle est basée sur la notion de symétrie des structures concernant la position de l'actionneur du robot en fonction de la position du bâti de celui-ci. Différents cas de combinaisons de couples de mécanismes symétriques sont détectés. Ainsi le nombre de configurations possibles est restreint par élimination de celles qui sont symétriques. Des formulations pour calculer le nombre de possibilités d'ancrer un actionneur sont présentées. Elles permettent de réduire le nombre de structures tout en évitant celles qui sont isomorphes. Différents exemples d'application, pour des structures à différents degrés de liberté, sont présentés permettant de restreindre le champ de recherche parmi les solutions possibles.*

### Abstract :

*Several methods of assistance for design and optimisation have been presented concerning the dimensional optimisation in robotics but very few on the topological optimisation and consequently on the topological design. In this work a new method for a restricted morphological choice of motor kinematic mechanisms applied in the initial design of kinematic chains in robotics, is presented. It is based on the exploitation of the geometrical symmetries concerning the position of the actuators of the robot taking into account the frame position. Different cases of combinations for symmetrical couples of mechanisms are studied. Thus the possible number of configurations is restricted by avoiding those which are symmetric. A formulation to compute the number of possibilities to anchor an actuator is then presented. It allows reducing the number of structures while avoiding those, which are isomorphic compared to the position of the actuator. Finally, different examples of application, for structures with different degrees of freedom, are presented allowing to restrict the field among the possible solutions.*

**Mots-clefs : conception ; topologie ; cinématique ; robotique**

### 1 Introduction

A première vue, la conception d'une architecture mécanique pour un robot apparaît assez simple et pourtant elle présente une difficulté de base car elle doit prendre en compte non seulement les possibilités mécaniques de réalisation mais aussi les possibilités d'élaboration d'une commande qui passe par celles d'un modèle mathématique. Ces dernières réagissent fortement sur la conception mécanique si on recherche de bonnes performances (Coiffet, 1992). En Théorie de Mécanismes et des Machines (MMT) l'élaboration des modèles structuraux basés sur les Groupes Structuraux Modulaires GSM (groupes d'Assur) constitue une méthode puissante d'étude statique, cinématique et dynamique de mécanismes notamment de robots. La théorie de graphes fournit des outils particulièrement adaptés pour la conception (synthèse, analyse et description) des structures mécaniques des robots dès la phase de leur conception initiale. La TMM a largement contribué dans la synthèse des mécanismes plans et spatiaux à

différents degrés de mobilité. Certains robots industriels actuels ont des structures principales issues des graphes cinématiques fournis par la TMM. En fait, en tenant compte de la symétrie on peut noter qu'il y a un nombre significatif de structures isomorphes concernant la position de leurs actionneurs.

Les méthodes existantes appliquées pour la synthèse des chaînes cinématiques planes à liaisons simples (rotoïdes et prismatiques) sont différentes : méthodes intuitives et euristiques, théorie des graphes, transformation des chaînes binaires, groupes d'Assur (Tischler et al., 1995; Belfiore, 2000; Rao and Deshmukh, 2001). Des méthodes plus récentes basées sur les algorithmes génétiques et réseaux de neurones sont également utilisées (Abo-Hamour et al., 2002; Laribi et al., 2004). Dans un travail précédent, (Mitrouchev, 2001) nous avons proposé une nouvelle méthode pour la synthèse structurelle des chaînes cinématiques planes en robotique basée sur la notion des *équations logiques*. Récemment dans (Mitrouchev, 2006) nous avons proposé une méthode, basée sur l'exploitation des *sous-chaînes symétriques*, permettant de calculer le nombre des différentes possibilités de fixer un bâti à une chaîne cinématique.

Nous pouvons noter que très peu de travaux ont été menés ces quarante dernières années portant sur la position des actionneurs. En 1963 N.I. Manolescu (Manolescu, 1963), a proposé une méthode pour la classification des mécanismes-moteurs plans, à deux degrés de mobilité. Il a examiné toutes les possibilités pour positionner les deux actionneurs dans la structure, mais aucune formule n'a été proposée par lui. Crossley F.R.E (Crossley, 1964) s'est contenté de rappeler qu'il fallait positionner un nombre d'actionneurs égal au nombre de degrés de mobilité du mécanisme. Plus tard, Lee and Tortorelli (Lee and Tortorelli, 1985), ont proposé de retenir, comme variables de conception, la position des actionneurs ainsi que les dimensions des sections des bras. Mais ils ne donnent pas de solution possible qui permettrait de connaître le nombre de possibilités de positionner les actionneurs non plus. L'analyse de la recherche bibliographique effectuée permet de constater qu'il existe beaucoup de travaux concernant l'optimisation du choix de l'actionneur (Chedmail 90), de sa conception (Giordano 90), de sa description (Coiffet 92). Par contre, à notre connaissance, il n'existe pas de travaux ayant comme objectif de donner une méthode permettant d'obtenir le nombre de solutions possibles de positionner le(s) actionneur(s) dans la chaîne cinématique d'un robot industriel.

Dans ce contexte, l'objectif de cette étude est d'aborder le problème des placements possibles des actionneurs (moteurs) d'un robot. Le but est de proposer une méthode qui permette de donner tous les mécanismes-moteurs qui correspondent à une chaîne cinématique donnée, les positions des éléments-moteurs (en éliminant toutes les variantes qui se répètent) pouvant réaliser une tâche définie en position et orientation. Etant difficile de parler d'une optimisation topologique, il s'agit plutôt de faire un choix restreint parmi des structures disponibles fournies par la TMM. Les résultats de cette étude peuvent être utiles pour les concepteurs de robots industriels leur permettant de restreindre le champ de recherche parmi les solutions possibles.

## 2 Méthode proposée

La méthode proposée dans ce chapitre, basée sur l'exploitation des symétries des structures, permet de calculer le nombre de possibilités de positionner les actionneurs d'une chaîne cinématique, par rapport à la position du bâti déjà effectuée dans la phase initiale de la conception d'un robot. Pour chaque structure géométrique, nous arrivons à une solution qui représente le nombre de possibilités pour attacher le(s) actionneur(s). On désigne par :

$C_b$  le nombre de possibilités distinctes de fixer un bâti,

$C_m$  le nombre de possibilités distinctes de fixer un moteur (actionneur) à une chaîne,

$N$  le nombre total de segments,

$N_{sc}$  le nombre de segments dans une sous-chaîne,

$N_c$  le nombre de segments coupés par un axe de symétrie dans une chaîne,

$N_{nc}$  le nombre de segments non-coupés par un axe de symétrie,

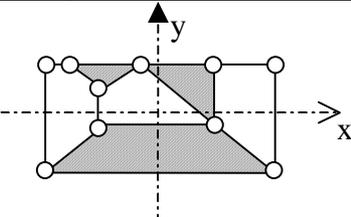
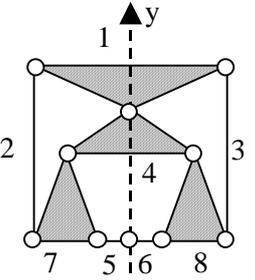
- $N_{cx}$  le nombre de segments coupés par le premier axe de symétrie ( $O\vec{x}$ ) par exemple (pour double symétrie),
- $N_{cy}$  le nombre de segments coupés par le deuxième axe de symétrie ( $O\vec{y}$ ),
- $C_5$  le nombre de liaisons cinématiques dans une chaîne,
- $C_{5nc}$  le nombre de liaisons cinématiques non-coupées par l'axe de symétrie (pour simple symétrie),
- $C_{5cx}$  le nombre de liaisons cinématiques coupées par le premier axe de symétrie,
- $C_{5cy}$  le nombre de liaisons cinématiques coupées par le deuxième axe de symétrie,
- $C_{5ncx}$  le nombre de liaisons cinématiques non-coupées par le premier axe de symétrie,
- $C_{5ncy}$  le nombre de liaisons cinématiques non-coupées par le deuxième axe de symétrie,
- $s$  le nombre de symétries pour une chaîne (axiale ou centrale) (simple  $s=1$ , double  $s=2, \dots$ ).

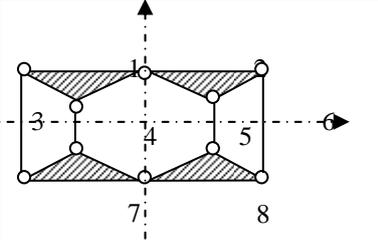
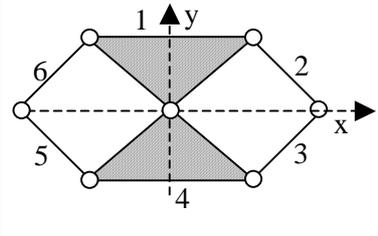
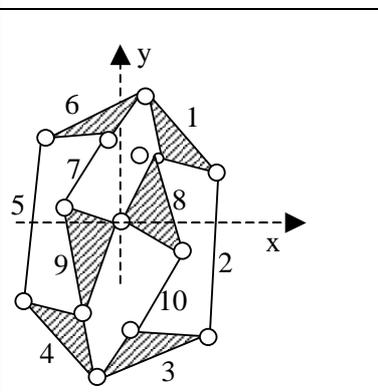
Dans la méthode proposée, la position de la pince n'est pas prise en compte. Seule la position du bâti est retenue, ainsi que l'isomorphisme de la structure concernant la position de l'actionneur par rapport au bâti. Les positions des actionneurs sont autorisées au niveau de toutes les liaisons et donc ne s'appliquent pas seulement aux alentours des liaisons proches ou situées aux alentours du bâti.

### 2.1 Différents cas de symétries

Dans le but de mettre en évidence une formulation permettant de calculer le nombre de possibilités pour positionner les actionneurs pour des structures à différents degrés de liberté, plusieurs cas de symétries sont distingués, classés par leur nombre de présence et combinaisons de symétries. A titre d'exemple les résultats pour des mécanismes à un degré de liberté sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 1. Cas de symétries et formulation pour les possibilités de positionner les actionneurs ( $M=1, s=1,2$ )

Symétrie	Exemple	Choix bâti $C_b$	Choix Moteur $C_m$
Pas de symétrie		$C_b = N$	$C_m = N.C_5$
Une symétrie		$C_b = \frac{N + N_c}{2}$	$C_m = \frac{N_{nc} C_5}{2s} + N_c \left( C_{5c} + \frac{C_{5nc}}{2} \right)$

Deux symétries	Aucun segment n'est coupé par l'origine de la symétrie		$C_b = \frac{N + N_c}{4}$	$C_m = \frac{N_{nc} C_5}{2s} + \frac{N_{cx}}{2} \left( C_{5cx} + \frac{C_{5ncx}}{2} \right) + \frac{N_{cy}}{2} \left( C_{5cy} + \frac{C_{5n cy}}{2} \right)$
Deux symétries	Des segments sont coupés par les deux axes de symétrie		$C_b = \frac{N + N_c}{4}$	$C_m = \frac{N_{nc} C_5}{2s} + \frac{N_{cx}}{s} \left( C_{5cx} + \frac{C_{5ncx}}{2} \right) + \frac{N_{cy}}{s} \left( C_{5cy} + \frac{C_{5n cy}}{2} \right)$
Symétrie centrale			$C_b = \frac{N + N_c}{2}$	$C_m = N_{sc} \cdot C_5$

### 2.2 Résultat général

Les équations du tableau ci-dessus sont regroupées dans une équation concernant le  $C_m$ . (sauf le cas sans symétrie). Ainsi l'expression générale pour calculer le nombre de différentes possibilités pour positionner l'actionneur pour un ou deux axes de symétries est :

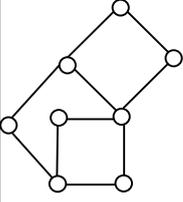
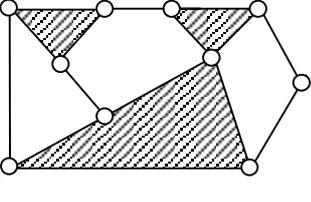
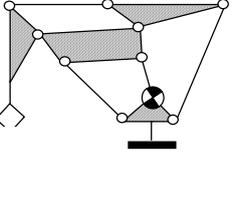
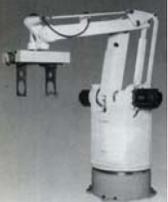
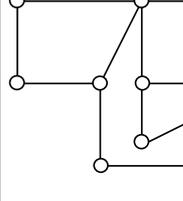
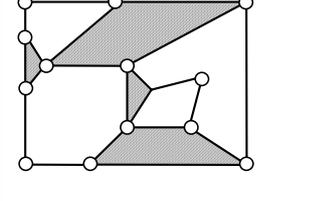
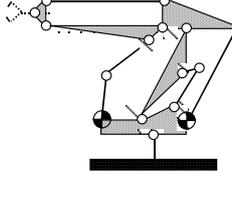
$$C_m = \frac{(N - N_c)C_5}{2s} + \frac{N_{cx}}{s} \left( \frac{C_5 + C_{5cx}}{2} \right) + \frac{N_{cy}}{s} \left( \frac{C_5 + C_{5cy}}{2} \right) \tag{1}$$

### 3 Exemples d'application

Afin d'illustrer la méthode ainsi présentée, elle est appliquée pour des mécanismes avec différents degrés de mobilité. Une application sur Silicon Graphics/UNIX est réalisée, basée sur la méthode présentée. Quelques exemples d'application de la formulation sont par la suite présentés. Le tableau 2, ci-dessous, représente deux structures cinématiques parmi celles étudiées. Elles sont représentées par leurs graphes cinématique et inverse respectifs.

Le Tableau 3 donne les résultats pour les seize structures cinématiques à un degré de liberté, huit éléments et dix liaisons. Après avoir rempli les 16 fiches signalétiques pour chaque chaîne cinématique, l'application informatique réalisée calcule le nombre de choix possibles pour positionner le bâti et l'actionneur en fonction de : degrés de liberté, le nombre de segments et le nombre des liaisons cinématique de la structure.

Tableau 2. Exemples de validation des mécanismes moteurs à un est deux degrés de liberté

graphe inverse	graphe cinématique	structure topologique	robot
			 Robot Mitsubishi
			 Robot Andromat

Permettant de restreindre le nombre de solutions en éliminant des solutions isomorphes, l'application informatique est aussi appliquée sur d'autres exemples de mécanismes à :

- un degré de mobilité avec quatre, six, huit et dix segments auxquels correspondent 1, 2, 16 et 230 mécanismes respectivement,
- deux degrés de mobilité avec cinq, sept, neuf et onze éléments auxquels correspondent 1, 4, 40 et 110 mécanismes respectivement,
- trois degrés de mobilités avec six, huit et dix éléments auxquels correspondent 1, 6 et 97 mécanismes respectivement.

Tableau 3. Résultats pour les structures à un degré de mobilité, huit éléments et dix liaisons

n°	N	s	Ncx	Nsc	Ncy	Nc	Cb	Cm
1	8	2	2	4	0	0	2	20
2	8	0	0	0	0	0	8	80
3	8	0	0	0	0	0	8	80
4	8	1	2	4	0	2	5	42
5	8	1	2	4	0	2	5	40
6	8	2	2	4	2	0	3	24
7	8	2	2	5	0	4	2	12
8	8	0	0	0	0	0	8	80
9	8	2	2	5	0	4	3	21
10	8	0	0	0	0	0	8	80
11	8	0	0	0	0	0	8	80
12	8	1	0	0	0	2	5	42
13	8	1	2	5	0	2	6	44
14	8	2	2	4	1	2	4	24
15	8	2	2	4	2	4	2	15
16	8	1	2	5	1	2	5	42

Au total 82 726

## 4 Conclusions

Deux points principaux ont été traités dans ce travail, concernant la conception initiale de la chaîne cinématique d'un robot industriel. Le premier concernait l'obtention de toutes les possibilités pour positionner un ou plusieurs actionneurs en fonction des degrés de mobilité de la structure cinématique. Par immobilisation successive de chaque segment du robot, nous obtenons différents mécanismes, de point de vue structurel. Le deuxième point consistait à proposer une méthode analytique permettant de valider les résultats obtenus en appliquant la méthode à des structures cinématiques avec un, deux et trois degrés de mobilité. L'avantage de cette méthode est son aspect adaptable pour un traitement automatique des données. Au début de la phase initiale de la conception de la chaîne cinématique d'un robot, le concepteur a la possibilité de savoir immédiatement quel est le nombre total des mécanismes-moteurs associés à la chaîne cinématique de base. Cela est possible grâce à l'élimination systématique des cas des mécanismes isomorphes concernant la position des actionneurs par rapport à la position du bâti.

La méthode proposée est cependant limitée par le fait qu'elle ne propose pas la structure qu'il faut retenir mais donne uniquement le nombre restreint des structures potentielles. Il serait par conséquent intéressant de développer par la suite une application informatique dédiée C.A.O.-mécanismes permettant de générer automatiquement les graphes cinématiques motorisés en robotique.

## Références

- Abo-Hammour Z.S., Mirza N.M., Mirza S.A., Arif M., 2002. Cartesian path generation of robot manipulators continuous genetic algorithms, *Robotics and autonomous systems*. Dec 31, 41 (4), pp.179-223.
- Belfiore N.P., 2000. Distributed databases for the development of mechanisms topology, *Mechanism and Machine Theory*. **35**, 1727-1744.
- Chedmail P., Gautier M., 1990. Optimum Choice of Robot Actuators, Transactions of the ASME, *Journal of Engineering for industry*. **112**, 361-367.
- Coiffet P., 1992. La robotique. Principes et applications, Hermès, Paris.
- Crossley F. R. E., 1964. A contribution to Grubler's theory in the number synthesis of plane mechanisms, Transactions of the ASME, *Journal of Engineering for Industry*, pp.1-8.
- Giordano M., Lottin J., 1990. Cours de Robotique – Description et fonctionnement des robots industriels, Edition ARMAND COLIN, Paris 1990.
- Laribi M.A., Mlika A., Romdhane L., Zeghloul S., 2004. A combined genetic algorithm-fuzzy logic method (GA-FL) in mechanisms synthesis, *Mechanism and Machine Theory*. **39**, 717-735.
- Lee K., Tortorelli D.A., 1985. CAD system for designing robotic manipulators, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and automation, Saint-Louis.
- Manolescu N.I., 1963. Systématisation et classification des mécanismes-moteurs plans articulés, a deux degrés de mobilités, *Revue roumaine des Sciences et Techniques – Mécanique appliquée*, tome 10, N°4, pp.999-1042, 1963.
- Mitrouchev P., 2001. Symbolic structural synthesis and a description method for planar kinematic chains in robotics, *European Journal of Mechanics (A Solids)*. **20**, 777-794.
- Mitrouchev P., 2006. Sub-chain symmetry approach for morphological choice of planar mechanisms in robotics, *European Journal of Mechanics (A Solids)*. **25**, Issue 1, 166-188.
- Rao A. C., Deshmukh P. B., 2001. Computer aided structural synthesis of planar kinematic chains obviating the test for isomorphism, *Mechanism and Machine Theory*. **36**, 489-506.
- Tischler C. R., Samuel A. E., Hunt K. H., 1995. Kinematic chains for robot hands – I. Orderly number-synthesis, *Mechanism and Machine Theory*, **30**, No.8, 1193-1215.