

ANALYSE DE LA STRUCTURE ET DE LA TOPOLOGIE DES MÉCANISMES COMPLIANTS PLANAIRES

Stela IONIȚĂ¹

Lucrarea prezintă un principiu original de funcționare și proiectare a mecanismelor compliante pentru roboți industriali, care se folosesc pentru susținerea pieselor care se deplasează la montare de-a lungul unei direcții orizontale. Pentru mecanismele compliante propuse s-a efectuat analiza structurală, cu scopul de a evalua și ordona elementele și cuplurile cinematice din componența lor, în vederea posibilității alegerii soluției constructive optime.

This paper describes an original functionality principle and design of compliant mechanisms for industrial robots that are used to sustain objects that are moved at assembly throughout to a horizontal direction. A structural analysis has been performed for these compliant mechanisms, with the objective of evaluating and sorting the elements and kinematics couples in order to find the optimal construction solution.

L'ouvrage présente un principe original de fonctionnement et d'étude des mécanismes compliant pour les robots industriels utilisés à soutenir les pièces qui se déplacent horizontalement au montage. Pour les mécanismes compliant proposés l'analyse structurale a été effectué dans le but d'évaluer et ordonner les éléments et couples cinématiques de leur structure, envisageant la possibilité de choisir la solution constructive optimale.

Mots cléfs: mécanisme compliant, schéma cinématique, schéma structurel.

1. Introduction

Dans plusieurs applications industrielles il est nécessaire d'effectuer des opérations d'assemblage comme : arbres en alésages, vis en trous filetés, mise des pièces en places spécifiques ou d'autres opérations similaires.

L'utilisation des robots industriels dans des opérations de montage ou d'alimentation des machines-outils avec demi-produits et outils implique l'existence d'un système élastique entre le mécanisme d'orientation et celui de préhension. La précision de positionnement fait partie des caractéristiques techniques du robot. Elle pourrait être influencée à condition que sa structure mécanique change.

¹ Maître de conférences, Chaire Géométrie Descriptive et Graphique Industrielle, Université "Politehnica" de Bucarest, Roumanie

La compliance est une caractéristique qui indique le degré d'élasticité d'un système mécanique.

La compliance active est le mouvement contrôlé du corps en tant que réponse à une force ou aux stimulants tactiles, pour minimiser la magnitude de ces actions. Un robot bénéficie de la propriété de compliance s'il existe un mécanisme compliant dans sa structure.

Les plus simples mécanismes compliant contiennent des corps rigides et éléments déformables appelés systèmes élastiques. Ces mécanismes doivent permettre le rangement coaxial des deux corps qui s'assemblent, compte tenu des erreurs de positionnement de l'objet manœuvré par robot.

Les mécanismes compliant peuvent être classés en deux grandes catégories [1], [2].

D'abord, les mécanismes compliant dont la condition de rigidité est discrètement réalisée dans un nombre fini de points du domaine de fonctionnement sont formés par des éléments rigides de type barre et éléments élastiques de type ressort, reliés que par des couples cinématiques inférieurs.

Une autre classe constitue les mécanismes compliant dont la condition de rigidité est continuellement réalisée pour tous les positions situées dans le domaine de fonctionnement. Ces mécanismes compliant sont formés par des éléments rigides de type barre, de type came, de type galet et des éléments élastiques de type ressort, entre lesquels existent seulement des couples cinématiques inférieurs et supérieurs.

2. Particularités de la structure des mécanismes compliant

Avant d'effectuer l'analyse de la structure des mécanismes compliant proposés il est nécessaire de prendre en considération certaines remarques.

Les représentations graphiques des chaînes cinématiques peuvent être réalisées sous forme de schémas cinématiques en utilisant les symboles des éléments et des couples cinématiques, tout en mettant en évidence le type des couples, soit sous forme de schémas de structure, en mettant en évidence la topologie des chaînes où les couples cinématiques sont marqués par cercles, quelque soit leur type.

Dans la structure de tous les mécanismes compliant proposés interviennent des éléments élastiques de type ressort hélicoïdal, mais pour ceux classifiés dans la deuxième catégorie on ajoute des éléments de type came à taquet.

On sait que tout couple de classe inférieure à 5 peut être remplacé, dans certaines conditions, par une chaîne cinématique qui comprend seulement des couples de la cinquième classe. Cette transformation doit être faite sans changement de mobilité du mécanisme, par raison d'équivalence de structure,

avec le maintien des mouvements relatifs des éléments en vertue de l'équivalence cinématique.

Dans ce sens, un élément élastique est équivalent du point de vue de la structure avec une chaîne cinématique formée de deux éléments entre lesquelles il est prévu un couple de translation.

Un couple plan supérieur, de la quatrième classe, se remplace par une chaîne cinématique constituée par un seul élément, avec deux couples de la cinquième classe.

La longueur d'élément est égale avec la somme des rayons de curvure des courbes directrices des surfaces actives dans les points de tangence, mais les couples de rotation sont placés just dans les centres de curvure.

Dans le cas du couple came-taquet prévu avec un galet, un des éléments adjacents au couple supérieur plan est de la deuxième classe et articulé dans le centre de curvure de la directrice de la surface active ; cet élément disparaît par le remplacement du couple supérieur.

Dans les opérations de calcul de la mobilité des mécanismes, ayant dans leur structure des éléments de type came à taquet prévu avec galet, il doit prendre en considération le fait q'un degré de liberté est parasite puisque le mouvement de rotation de la role autour de l'axe propre n'a aucun effet sur le mouvement de taquet.

La topologie de la chaîne cinématique est représentée dans le schéma structurel, mais la topologie des représentations graphiques est définie sous forme numérique par une matrice de structure, à l'aide de laquelle s'associe le numéro de la chaîne dans le système binaire ou dans le système sexadécimal.

3. Mécanismes compliantes – schémas cinématiques, schémas structuraux, matrices de structure

Considérons un mécanisme compliant planaire à cinq éléments articulés, qui réalise discrètement la condition de rigidité (Fig. 1). Les axes des couples de rotation sont parallèles à la direction de déplacement de la pièce pendant l'opération de montage. Le mécanisme de préhension est articulé de l'élément (2) ou de l'élément (3), dans le point C_i ainsi que l'axe de la pièce passe par ce point.

Le bâti du mécanisme compliant est attaché au dernier élément du mécanisme d'orientation. Le système élastique est composé de cinq éléments articulés et de deux ressorts hélicoïdaux (5) et (6), articulés entre les éléments (1) et (3), respectivement (2) et (4). Le mouvement de rotation de la pièce cylindrique autour de l'axe propre n'est pas contrôlé.

La formule : $M=2$ assure la mobilité du mécanisme à deux degrés de liberté.

Par conséquent, le point C_i , de coordonnées X_{Ci} , Y_{Ci} , peut occuper n'importe quoi position dans l'espace de travail bidimensionnel.

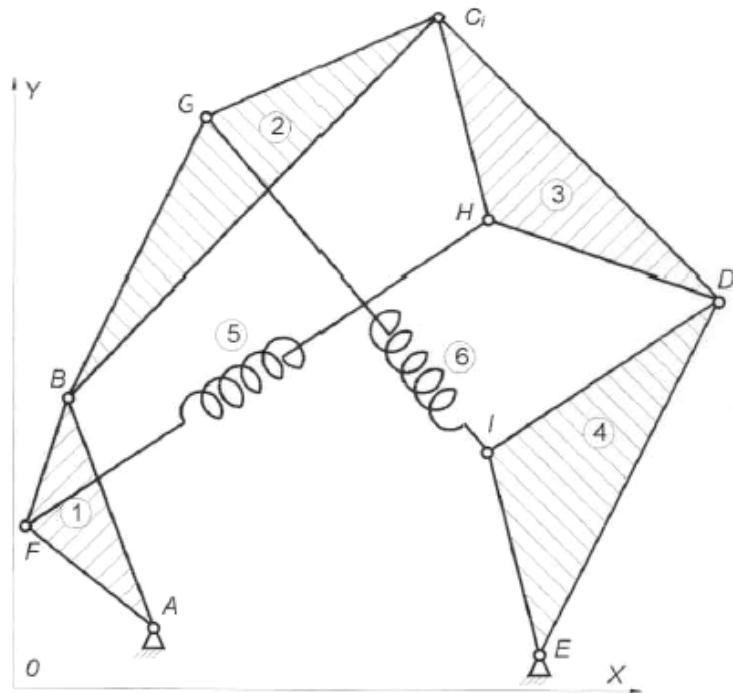


Fig. 1. Mécanisme compliant planaire

Le schéma de structure du mécanisme compliant est obtenu après le remplacement des éléments élastiques par les chaînes cinématiques équivalentes (Fig. 2). Le nouveau schéma garde même mobilité.

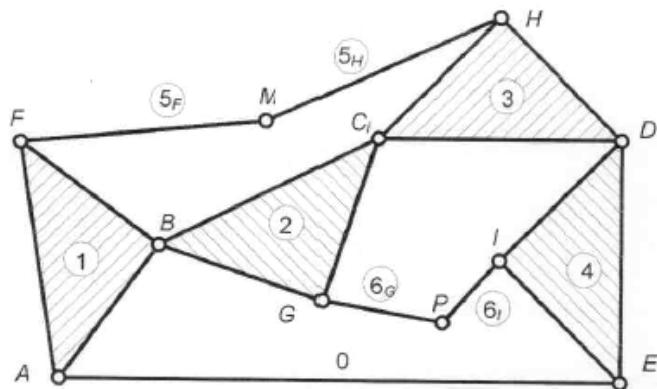


Fig. 2. Schéma de structure du mécanisme compliant

Tableau 1

La matrice de structure

	0	1	2	3	4	5_F	5_H	6_G	6_I
0		1	0	0	1	0	0	0	0
1	1		1	0	0	1	0	0	0
2	0	1		1	0	0	0	1	0
3	0	0	1		1	0	1	0	0
4	1	0	0	1		0	0	0	1
5_F	0	1	0	0	0		1	0	0
5_H	0	0	0	1	0	1		0	0
6_G	0	0	1	0	0	0	0		1
6_I	0	0	0	0	1	0	0	1	

La matrice de structure (Tableau 1) donne les nombres associés dans le système binaire:

$N_{ab} = 1001000010010001000101010000011000001$, ou dans le système sexadécimal : $N_{ah} = 909115061$.

Le mécanisme compliant présenté réalisent la condition de rigidité discrètement imposée dans un nombre fini de points du domaine de fonctionnement.

Le projet du mécanisme impose les positions dans le plan du point C_i , par les coordonnées $(X_{C_i}, Y_{C_i}, i = \overline{1, n})$, dans l'espace de travail.

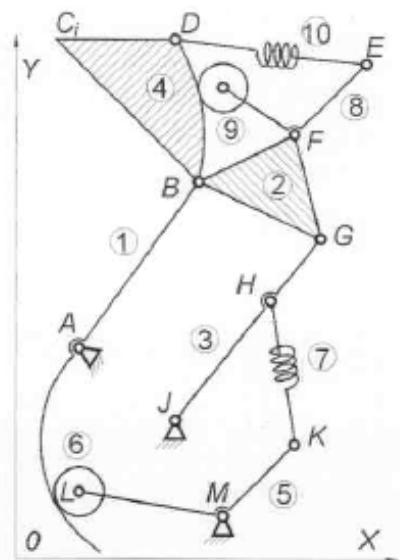


Fig. 3. Mécanisme compliant qui réalise continuèllement la condition de rigidité

Afin de réaliser une variation continue de la force élastique on peut adapter le système par le montage d'une ou plusieurs cames, en résultant une infinité de points d'équilibre sur une courbe ou sur une surface. Le nouveau mécanisme compliant réalise continuellement la condition de rigidité (Fig. 3). Le mécanisme contient :

- les éléments (1), (2), (3) et la base (0), articulés sous la forme d'un parallélogramme ($AB=JG$, $BG=AJ$) ;
- l'élément (4) articulé à l'élément (1) en point B ;
- le galet (9) articulé au taquet (8) qui est lié à l'élément (2) par un couple de rotation ;
- le ressort (10), articulé aux éléments (8) et (4), et soumis à l'action de la came fixée sur l'élément (4) par l'intermédiaire du galet (9) ;
- le taquet (5) articulé à base dans le point M ;
- le ressort (7) articulé aux éléments (3) et (5) est agi par la came fixée sur l'élément (1) par l'intermédiaire du galet (6).

Le mécanisme de préhension est solidarisé avec l'élément (4) dans le point C_i .

Par remplacement des éléments élastiques par des chaînes cinématiques appropriées, le degré de mobilité est $M=4$, mais deux degrés de mobilité sont passifs.

Le schéma structurel du mécanisme compliant est obtenu après le remplacement des éléments élastiques par les chaînes cinématiques équivalentes (Fig. 4).

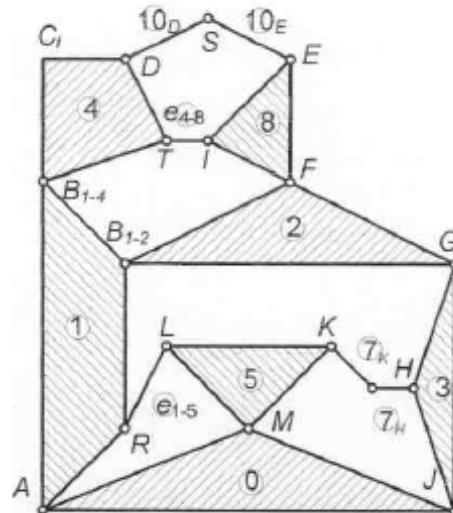


Fig. 4. Schéma structural du mécanisme compliant

A partir de la matrice de structure (Tableau 2), on détermine les nombres associés dans le système binaire d'énumération:
 $N_{ab} = 10101000000010101000000110000100000010000000000110101000000000001000000000101001$, ou dans le système sexadécimal :
 $N_{ah} = 2202A06102006A004029$.

Le projet du mécanisme impose des positions connues du point C_i , par les coordonnées (X_{Ci} , Y_{Ci} , $i = \overline{1, n}$), dans l'espace de travail.

Tableau 2

	La matrice de structure												
0	0	1	2	3	4	5	e_{1-5}	7_H	7_K	8	e_{4-8}	10_D	10_E
1	1		1	0	1	0		0	0	0	0	0	0
2	0	1		1	0	0		0	0	1	0	0	0
3	1	0	1		0	0		0	1	0	0	0	0
4	0	1	0	0		0		0	0	0	1	1	0
5	1	0	0	0	0			1	0	1	0	0	0
e_{1-5}	0	1	0	0	0	1		0	0	0	0	0	0
7_H	0	0	0	1	0	0		0	1	0	0	0	0
7_K	0	0	0	0	0	1		0	1	0	0	0	0
8	0	0	1	0	0	0		0	0	0	1	0	1
e_{4-8}	0	0	0	0	1	0		0	0	0	1	0	0
10_D	0	0	0	0	1	0		0	0	0	0	0	1
10_E	0	0	0	0	0	0		0	0	1	0	1	

4. Conclusions

Les mécanismes compliants employés pour le déplacement des pièces au montage sur la direction horizontale présentent la particularité de déformation aussi bien sous l'action de la force de poids de la pièce et du mécanisme de préhension, que sous l'action de la force de réaction qu'apparaît à l'introduction d'une pièce de type arbre dans une pièce de type alésage. Alors, il existe des erreurs de positionnement radial.

La grandeur et la direction de la force de poids sont constantes, tandis que la force de montage aura une direction arbitraire. Par conséquent, les mécanismes compliants sont coçus dans la condition de rigidité constante du système dans toute direction radiale d'une domaine circulaire, prenant en considération les forces de poids et d'innérance.

La définition des schémas cinématiques et de structure des mécanismes compliants étudiés aide l'établissement de toutes les fonctions de transmission pour le mécanisme considéré, étant importante pour l'analyse cinématique et cinétostatique.

Les mécanismes compliants qui font partie de la première catégorie proposée ont une construction simple, étant formés des éléments articulés du type

de barre ou de ressort. Théoriquement, la condition de rigidité imposée est réalisée de manière précise seulement dans un nombre fini de points ; dans tous les autres points du domaine de fonctionnement, cette condition est approximativement accomplie.

Les mécanismes compliants qui font partie de la deuxième catégorie proposée ont l'avantage de réaliser théoriquement exactement la fonction de rigidité dans tous les points du domaine mais ont une construction plus compliquée, entre les éléments étant aussi des couples supérieurs.

Par rapport aux mécanismes compliants connus, ces mécanismes ont une structure strictement mécanique. Du point de vue de la construction ceux – ci sont extrêmement simples, pas très couteux et ne nécessitent pas de sources d'énergie en fonctionnement, opérateur humaine, senseurs ou servomécanismes.

B I B L I O G R A P H I E

- [1] *Stela Ionita*, Mecanism compliant pentru roboti industriali, teza de doctorat, U.P.B., 2001.
- [2] *Stela Ionita*, Mecanism compliant pentru sustinerea pieselor care se deplaseaza pe orizontala, Referat nr. 2, U.P.B., 1999.
- [3] *Stela Ionita*, Cercetari actuale in domeniul proiectarii mecanismelor compliente, Referat nr. 1 U.P.B., 1997.
- [4] *Stela Ionita*, Sinteza mecanismelor compliente cu rigiditate impusa, Referat nr. 3, U.P.B., 1999.
- [5] *I.Simionescu, S. Ionita*, Mecanism compliant pentru roboti industriali, SISOM, Bucuresti, 1996.
- [6] *I. Simionescu, M. Dranga, V. Moise*, Metode numerice in tehnica, Editura Tehnica, Bucuresti, 1995.
- [7] *I. Simionescu, V. Moise*, Mecanism, EdituraTehnica, Bucuresti, 1999.
- [8] *V. Moise, B. Grecu*, Sinteza mecanismelor de prehensiune, Constructia de masini nr. 6, Bucuresti, 1997.
- [9] *V. Moise, I. Simionescu*, Mecanism plane cu bare articulate, Editura Printech, Bucuresti, 1999.
- [10] *B. Grecu, s.a.*, Sinteza miscarilor independente la mecanismul de pozitionare al unui robot, Simpozion National de R.I., Bucuresti, 1992.
- [11] *G. Cojocaru,Fr. Kovacs*, Roboti in actiune, Editura Facla, Timisoara, 1986.
- [12] *V. Dolga, s.a.*, Stadiul actual al utilizarii robotilor industriali in montajul automat, AI XI-lea Simpozion National de R.I., vol.3, Timisoara, 1992.
- [13] *W. Cutkoski*, Position sensing wrists for industrial manipulators, Paris, 1982.
- [14] *T. L. De Fazio s.a.*, The instrumented remote center compliance, Ind. Robot, nr. 4, 1984.
- [15] *S.N. Drake*, The use of Compliance in a robot Assembly System IFAC, "Symposium Tokyo oct 1977"
- [16] *Phillip John McKerrow*, Introduction to Robotics, University of Wollongong , Australia 1991.
- [17] *Kazeroni*, Compliant motion control for robot manipulators, "International Journal of Control" vol. 49 nr. 3/1989.