

Université Mohamed Khider- Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département : Génie mécanique
Réf:.....



جامعة محمد خيضر بسكرة

جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم: الهندسة الميكانيكية
المرجع:.....

Mémoire présenté en vue de l'obtention
Du diplôme de

Magistère

Spécialité : Génie Mécanique
Option : Construction mécanique

Modélisation de la dynamique d'un manipulateur à deux bras flexibles

Présenté par :

Bensahal Djamel

Soutenu publiquement le : 11 janvier 2011

Devant le jury composé de :

Pr. Zakaria Boumerzoug	Professeur	Président	Université de Biskra
DR. Mekki assas	M.C. (A)	Examineur	Université de Batna
Dr. Mabrouk Hécini	M.C. (A)	Examineur	Université de Biskra
Dr. Mohamed Nadir Amrane	M.C. (A)	Rapporteur	Université de Biskra

Remerciements

Je tiens à remercier sincèrement mon professeur : **Dr. Amrane Mohamed Nadir** Pour son encadrement, ses conseils judicieux, sa disponibilité totale à tout problème rencontré ou des suggestions pour le bon déroulement du travail proposé, sa sincérité dans le travail et son encouragement continu du début jusqu'à la préparation de mémoire.

Mes plus vifs remerciements vont également à mes professeurs : **Dr. Mekki Assas** et **Dr. Mabrouk Hécini** qui ont pris le temps d'examiner avec attention bienveillante mon travail.

Je tiens à remercier avec fierté ma gratitude au **Pr. Zakaria Boumerzoug** qui a accepté de présider mon jury et a bien voulu juger mon travail.

Finalement, je remercie très chaleureusement tous les responsables du département de mécanique et surtout à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation.

Sommaire

Introduction générale.....	08
Objectif du travail.....	09
Chapitre 1- Généralités sur la robotique- introduction aux structures rigides et flexibles.....	10
1. Introduction.....	10
1.1. Notions générales sur la robotique.....	11
1.1.1. Le robot et la robotique.....	11
1.1.2. Relation Homme- Tâche.....	11
1.1.3. Architecture mécanique.....	12
1.1.3.1.Liaisons mécaniques.....	12
1.1.4.Types d'architecture de SMA en robotique.....	13
1.1.5.Robot à architecture série.....	14
1.1.6. Actionneurs.....	15
1.1.6.1.Robots électriques.....	15
1.1.6.2.Robots hydrauliques.....	15
1.1.6.3.Robots pneumatiques.....	15
1.1.7. Principe de fonctionnement.....	15
1.1.8. Caractéristique d'un robot.....	15
1.2. Matrices de transformations homogènes.....	16
1.2.1. Représentation d'un point.....	16
1.2.2. Transformations homogènes des repères.....	16
1.2.3. Matrice de transformation de translation pure.....	17
1.2.4. Matrices de transformations de rotation autour des axes principaux.....	18
1.2.4.1.Rotation autour de l'axe X.....	18
1.2.4.2.Rotation autour de l'axe Y.....	18
1.2.4.3.Rotation autour de l'axe Z.....	19
1.2.5. Propriétés des matrices de transformation homogène.....	19
1.3. Modèle géométrique direct des robots à chaîne ouverte simple (MGD).....	19
1.3.1. Description de la géométrie des robots à structure ouverte simple.....	19
1.3.2. Exemple 1.....	21
1.3.3. Modèle géométrique des robots à structure ouverte simple (MGD).....	23
1.3.4. Exemple 2.....	23
1.4. Modèle géométrique inverse des robots à structure ouverte simple (MGI).	25
1.4.1. La méthode de Paul.....	26
1.5. Modèle cinématique direct des robots à structure ouverte simple.....	27
1.5.1. Calcul de la matrice jacobienne par dérivation du MGD.....	28
1.5.2. Exemple 3.....	28
1.6. Modèle cinématique inverse des robots à structure ouverte simple.....	29
1.7. Robots manipulateurs rigides.....	29
1.7.1. Contrôle de la dynamique des robots manipulateurs.....	29
1.7.2. Analyse de rigidité.....	32
1.8. Robots manipulateurs flexibles.....	33
1.8.1. Identification et modélisation des manipulateurs flexibles.....	33
1.8.2. Contrôle de la dynamique des robots manipulateurs.....	33
1.9. Conclusion.....	35
Chapitre 2-Formulation dynamique du système à deux bras.....	36
2.1. Introduction	36
2.2. Formulation de Lagrange- Euler.....	36
2.3. Vitesses d'articulations pour le robot manipulateur.....	36

2.4. Energie cinétique du robot manipulateur.....	40
2.5. Energie potentielle du robot manipulateur.....	40
2.6. Equation du mouvement du robot manipulateur.....	40
2.7. Equations de mouvement d'un robot manipulateur avec des articulations rotoïdes.....	42
2.8. Application à un robot manipulateur à deux bras.....	43
2.9. Conclusion.....	47
Chapitre 3-Modélisation du système à deux bras flexibles par éléments finis pour le cas bidimensionnel et tridimensionnel.....	48
3.1. Introduction.....	48
3.2. Formulation des équations du mouvement des systèmes à un seul degré de liberté.....	48
3.3. Formulation des équations du mouvement des systèmes à plusieurs degrés de libertés.....	49
3.4. Modèle élément fini (cas bidimensionnel).....	51
3.5. Résolution du problème aux valeurs propres.....	53
3.6. Exemple d'application.....	55
3.7. Résultats.....	56
3.7.1. Modèle 1 (9 nœuds).....	56
3.7.2. Modèle 2 (21 nœuds).....	57
3.8. Conclusion.....	58
3.9. Représentation graphique de la structure en fonction des modes Propres calculés (cas bidimensionnel).....	58
3.10. Représentation graphique de la structure en fonction des modes Propres obtenus par le logiciel Abaqus.....	64
3.11. Analyse des résultats pour le cas bidimensionnel (9 nœuds).....	66
3.12. Modèle élément fini(cas tridimensionnel).....	67
3.12.1. Poutre à 12 degrés de libertés (axes locaux).....	67
3.12.2. Axes globaux (X, Y, Z).....	68
3.13. Exemple d'application.....	69
3.14. Résultats.....	69
3.14.1. Modèle 1 (9 nœuds).....	69
3.14.2. Modèle 2 (21 nœuds).....	71
3.15. Conclusion.....	73
3.16. Représentation graphique de la structure en fonction des modes Propres calculés (cas tridimensionnel).....	74
3.17. Représentation graphique de la structure en fonction des modes Propres obtenus par le logiciel Abaqus.....	79
3.18. Analyse des résultats pour le cas tridimensionnel.....	81
3.19. Conclusion.....	81
Chapitre 4-Comparaison du comportement de la structure rigide et flexible.....	82
4.1. Introduction.....	82
4.2. Sensibilité aux rigidités locales situées entre les deux bras du manipulateur (cas bidimensionnel).....	83
4.3. Pulsations propres pour structure rigide.....	95
4.4. Détermination de position de l'extrémité du 2 ^{ème} bras en fonction de L'angle teta1 et teta2.....	95
4.5. Abaque pour déterminer la position de l'extrémité du bras B En fonction de teta1 et teta2.....	95
4.6. Comparaison entre la structure rigide et la structure flexible.....	98

4.7. Conclusion générale et perspective.....	112
Références bibliographiques.....	113
Annexe	114

Liste des principales notations

${}^i T_j$	matrice de passage du repère R_i au repère R_j .
S_x, n_x, a_x	vecteurs unitaires suivant l'axe X.
S_y, n_y, a_y	vecteurs unitaires suivant l'axe Y.
S_z, n_z, a_z	vecteurs unitaires suivant l'axe Z.
${}^i P_j$	vecteur exprimant l'origine du repère R_j dans le repère R_i .
${}^i r_i$	position d'un point se trouvant sur le bras par rapport à l'articulation i .
Trans	translation.
Rot	rotation.
q_i	i ème variable articulaire.
Sθ, Cθ	abréviation pour $\sin\theta$ et $\cos\theta$.
S$_{ij}$, C$_{ij}$	abréviation pour $\sin(q_i+q_j)$ et $\cos(q_i+q_j)$.
S$_{ijk}$, C$_{ijk}$	abréviation pour $\sin(q_i+q_j+q_k)$ et $\cos(q_i+q_j+q_k)$.
Rot(x, θ)	matrice de rotation d'angle θ autour de l'axe X.
Trans(a, b, c)	translation où a, b, c désignent les composantes de la translation le long des axes X, Y, Z.
SMA	système mécanique articulé.
MGD	modèle géométrique direct.
MGI	modèle géométrique inverse.
MCD	modèle cinématique direct.
MCI	modèle cinématique inverse.
J	matrice jacobienne.
V_i	vitesse d'un point i .
K	énergie cinétique.
P	énergie potentielle.
L	Lagrangien.
ddl	degrés de libertés.
w	pulsation propre.
[K]	matrice de rigidité.
[M]	matrice masse.

Introduction générale

Dans les entreprises manufacturières, des tâches pénibles, répétitives réalisées par des opérateurs humains peuvent être avantageusement confiées à des systèmes mécaniques articulés (SMA) pour exécuter des mouvements complexes à l'image de ceux d'un bras humain.

L'emploi de ces dispositifs s'avère d'ailleurs nécessaire pour des tâches d'intervention inaccessibles à l'homme en milieu hostile, par exemple sous-marin, nucléaire ou spatial. Ils sont dotés d'un dispositif de locomotion et peuvent être autonomes ou contrôlés à distance par un opérateur humain.

-Dans le premier chapitre, nous débuterons par donner des notions générales sur la robotique qui nous permettent de montrer l'architecture mécanique des robots manipulateurs, ainsi les types de tâches et les secteurs d'application. La compréhension des mouvements complexes dans l'espace, de l'outil porté par un bras manipulateur conduit à définir la géométrie des déplacements. Pour commander un robot ou simuler son comportement, on doit disposer de modèles, plusieurs niveaux de modélisation sont possibles selon les objectifs, les contraintes de la tâche et les performances recherchées : modèles géométriques, cinématiques et dynamiques.

Ces modèles, qu'ils soient utilisés en simulation ou en commande, doivent représenter le comportement géométrique, cinématique ou dynamique du robot d'une façon réaliste.

L'analyse des publications trouvées dans la littérature montre que les principaux axes de recherche dans le domaine des bras manipulateurs sont :

-Problèmes liés aux bras manipulateurs rigides : dans ce cas deux axes généralement sont traités :

- Contrôle de la dynamique des robots manipulateurs.
- Analyse de rigidité.

-Problèmes liés aux robots manipulateurs flexibles : les axes de recherches sont :

- Identification, modélisation des robots manipulateurs flexibles.
- Contrôle de la dynamique des robots manipulateurs flexibles.

-Dans le deuxième chapitre, on établit la formulation dynamique du système à deux bras, qui permet la description du comportement dynamique du robot en utilisant la formulation de Lagrange- Euler.

-Dans le troisième chapitre, on traitera le cas bidimensionnel en se basant sur la théorie des poutres et la modélisation par la méthode des éléments finis qui donnera les matrices de masse et de rigidité, par la suite les pulsations propres de la structure où deux modèles (l'un neuf nœuds et l'autre à vingt-et-un nœuds) sont évoqués.

-On étendra notre étude au cas tridimensionnel, nous allons exposer les différentes représentations graphiques de la structure en chaque mode de vibration et une analyse des résultats obtenus pour le cas bidimensionnel et tridimensionnel des deux modèles étudiés précédemment.

-Dans le dernier chapitre, « Comparaison du comportement de la structure rigide et flexible » Nous allons étudier la sensibilité de la structure aux rigidités locales placées entre les deux bras du robot manipulateur pour les deux cas cités ci-dessus en appliquant les mêmes modèles, en plus la schématisation d'une abaque définissant la valeur de θ_1 et θ_2 pour n'importe quelle position de l'extrémité du 2^{ème} bras tout en faisant une comparaison entre la structure rigide et la structure flexible.

Objectif du travail

La robotique traite de la construction et de la mise en œuvre de systèmes mécaniques articulés destinés à réaliser des tâches pénibles, répétitives ou des tâches d'intervention inaccessibles à l'homme en milieu hostile, en exécutant des mouvements complexes à l'image de ceux d'un bras humain.

Dans le cadre d'étude de notre projet, nous avons fixé comme objectif principal la modélisation d'un robot manipulateur à deux bras flexibles par la méthode des éléments finis, en se basant sur la théorie des poutres.

Pour trouver les matrices globales de rigidité et de masse de la structure, la méthode des éléments finis est appliquée sur un modèle élément poutre en flexion. L'analyse modale du manipulateur est basée sur l'application d'une méthode analytique de résolution de l'équation des vibrations libres non dissipatives :

$$[M]\{\ddot{q}\} + [K]\{q\} = 0$$

Le calcul des matrices de masse et de rigidité de chaque élément se fait tout d'abord dans son repère local dans le but de déterminer les pulsations propres de la structure (robot manipulateur), dans cette étude menée deux cas sont traités :

- Cas bidimensionnel.
- Cas tridimensionnel.

L'élaboration des programmes sous le logiciel de Matlab, a permis de déterminer les matrices de rigidité et de masse globales de la structure, tout en tenant compte des cas cités ci-dessus. Ces programmes ont permis encore de déterminer les modes propres ainsi leurs représentations graphiques en chaque mode.

Pour valider l'efficacité de nos programmes, deux modèles sont traités :

- 8 éléments (9 nœuds).
- 20 éléments (21 nœuds).

Et comme objectif secondaire, la formulation de Lagrange-Euler qui permet la description du comportement dynamique du robot manipulateur à deux bras, plus une analyse des effets de variation des raideurs entre les deux bras du manipulateur pour le cas bidimensionnel et une schématisation d'une abaque qui définit la valeur de $teta1$ et $teta2$ pour une position donnée de l'extrémité du 2^{ième} bras (structure rigide) et faire la comparaison entre la structure rigide et la structure flexible pour différents longueurs ($L = 1m$ et $L = 4m$), tout en complétant cette étude par une analyse de publications trouvées dans la littérature permettant de montrer les axes principaux de recherche dans le domaine des robots manipulateurs.

Une analyse modale similaire est entreprise par un logiciel d'analyse et de calcul : Abaqus pour valoriser les résultats obtenus par nos programmes.