

THESE

présentée à

L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR spécialité INFORMATIQUE

Arrêté ministériel du 30 Mars 1992

—
**INTERACTION SENSORI-MOTRICE EN ROBOTIQUE : APPLICATION
A LA PREHENSION AUTOMATISEE POUR UNE MAIN ARTICULEE A
PLUSIEURS DOIGTS**

—
Christian BARD
—

Thèse soutenue le 8 Septembre 1994

Composition du jury :

Président : M. Roger Mohr
Rapporteurs : M. Michael Brady
M. Jean-Paul Laumond
Examineurs : M. Christian Laugier
M. Michel Maurette
Mme Jocelyne Troccaz

Laboratoire d'Informatique Fondamentale et d'Intelligence Artificielle
46, avenue Félix Viallet. 38031 Grenoble Cedex

Table des matières

1	Introduction	1
2	Problématique de la saisie	7
2.1	Comment saisir un objet?	7
2.2	La Saisie Humaine	10
2.3	La Préconfiguration	13
2.3.1	Modèles Tâche	13
2.3.2	Modèles objet	17
2.3.3	Aspects décisionnels	19
2.4	La stabilité	21
2.4.1	Définitions	22
2.4.2	Notions mathématiques liées à la stabilité	23
2.4.3	La stabilité dans les systèmes de saisie	26
2.5	Accessibilité et évitement des collisions	31
2.6	La saisie sensori-motrice	35
2.6.1	Les capteurs pour la perception	36
2.6.2	Les capteurs orientés tâche	37
2.6.3	Les capteurs pour le contrôle/commande	40
2.7	Conclusion et orientation des travaux	41
3	Notre Approche	45
3.1	Orientations	45
3.2	Formalisation du problème de la saisie: les hypothèses	46
3.3	Schéma de notre approche	47
3.3.1	Description de la fonction: phase d'approche	48
3.3.2	Description de la fonction: préconfiguration	49
3.3.3	Description de la fonction: interactions main/objet	49
3.4	Le modèle de l'environnement	50
4	Phase d'approche: modèle morphologique	53
4.1	Le modèle morphologique	53
4.1.1	Informations pertinentes	53
4.1.2	Approches possibles	54

4.1.3	Notre approche : reconstruction 3D à partir d'une analyse tomographique	54
4.1.3.1	Principe général	54
4.1.3.2	Modélisation des tranches : encapsulation par <i>Ellipses</i>	55
4.1.3.3	Reconstruction 3D par <i>Cylindres Elliptiques</i>	63
4.1.3.4	Les axes de coupe Δ	65
4.1.4	Résultat de la reconstruction : le modèle morphologique	69
5	L'analyse de préconfiguration	71
5.1	Les types de préconfiguration	71
5.1.1	Caractéristiques d'une préconfiguration	71
5.1.2	Cas particuliers	73
5.2	Taxonomies des mains robotiques	73
5.2.1	Le modèle de OTD	75
5.2.2	Le modèle de la main de Salisbury	77
5.3	Modélisation d'une préconfiguration	79
5.3.1	La taille de la main	79
5.3.2	Les préconfigurations d'un cylindre elliptique	80
5.4	Exécution d'une préconfiguration	83
5.5	Exemple pour une pince simple à deux mors parallèles	85
5.6	Préconfigurations avec une main idéale minimale	86
5.7	Stratégies de fermeture des doigts	87
5.7.1	Stratégies en termes d'opposition	88
5.7.2	Stratégies en termes de contacts	88
5.7.3	Stratégies de re-placement	89
5.8	Prise en compte des contraintes de tâche	89
5.8.1	Connaissances a priori	91
5.8.2	Accessibilité pour la main	92
5.8.3	Collisions engendrées par la tâche : le volume accessible	92
5.8.4	Qualité d'une préconfiguration	92
5.8.4.1	Implication d'une préconfiguration sur la stabilité	92
5.8.4.2	Degré de stabilité	93
5.9	Résumé	95
6	Vers la manipulation : interactions main/objet	99
6.1	La méthode	99
6.2	La modélisation physique	100
6.2.1	L'idée de base	100
6.2.2	Modélisation des objets	102
6.2.3	Modélisation de la main articulée	103
6.2.4	Interactions main/objet	104
6.2.5	Mécanismes de génération du mouvement	106
6.3	Planification globale de saisie	107

6.3.1	Description « physique » d'une tâche de saisie	107
6.3.1.1	Le mouvement de la main articulée	107
6.3.1.2	Comportement dynamique des forces	108
6.3.2	Modélisation des contraintes du planificateur de préconfiguration . .	110
6.3.2.1	Exemple sur une sphère et un cylindre	112
6.4	Conclusion	113
7	Intégration et expérimentations	115
7.1	Intégration	115
7.1.1	La Plateforme	115
7.1.2	Démonstrateur du projet SECOND (film pair)	117
7.1.3	Comparaison avec des systèmes existants	119
7.2	La reconstruction du modèle morphologique	119
7.2.1	La reconstruction à partir d'un modèle CAO	119
7.2.2	Enseignements sur la reconstruction.	125
7.3	Préconfiguration et mouvement jusqu'au contact	126
7.3.1	Les mouvements de transfert	126
7.3.2	Préconfigurations: expériences et limites	127
7.3.3	Le mouvement de préconfiguration.	129
7.3.4	Être plus robuste face aux incertitudes: «Move/Explore»	129
7.3.5	Les contraintes de tâche: cas d'un assemblage (film impair)	132
7.3.6	Discussion	135
7.4	Interactions main/objet: expérimentations	135
7.4.1	Simulation de la saisie d'un cylindre avec la main MDS	135
7.4.2	Discussion: gestion des incertitudes	137
8	Conclusion	139
	Bibliographie	143
A	Construction des ellipses	151
A.1	Définition	151
A.2	Matrice d'inertie d'un composant C	151
A.3	Longueurs des axes	152
A.4	Intersection d'une ellipse et d'une droite	153
B	Algorithme de modélisation des coupes	155
B.1	Notations	155
B.2	Étapes de la modélisation $2D$	155
B.3	Modélisation $3D$	156

C	Calcul des préconfigurations	159
C.1	Notations	159
C.2	Calcul des articulations pour une préconfiguration	159
C.2.1	P_1 à P_3 pour OTD	160
C.2.2	P_1 à P_3 pour la main de Salisbury	161
C.2.3	Calcul de δ	162
C.2.4	Position du poignet	162
C.3	Résultats pour chaque préconfiguration	163
C.3.1	valeurs pour OTD	163
C.3.2	Valeurs pour la main de Salisbury	165