

# Table des matières

Préface	5
1 Introduction	13
Modélisation et commande	
2 Calcul quasi minimal du modèle dynamique inverse d'un robot manipulateur	19
2.1 Introduction	19
2.2 Comparaison des méthodes proposées dans la littérature en fonction du formalisme utilisé	21
2.2.1 Formalisme de Newton-Euler	21
2.2.2 Formalisme de Lagrange	23
2.3 Définitions nécessaires au calcul du modèle dynamique	25
2.3.1 Définition des opérations nécessaires au calcul intrinsèque	25
2.3.2 Définitions nécessaires au problème à résoudre	27
2.3.3 Définitions nécessaires au calcul extrinsèque	30
2.4 Calcul du modèle dynamique sous forme implicite à l'aide du formalisme de Newton-Euler	32
2.4.1 Calcul intrinsèque	32
2.4.2 Calcul extrinsèque	37
2.5 Calcul du modèle dynamique sous forme explicite à l'aide du formalisme de Lagrange	39
2.5.1 Calcul intrinsèque	39
2.5.2 Calcul extrinsèque	41
2.6 Exemple	42
2.7 Conclusion	44
Annexe	46
Bibliographie	50

<b>3</b>	<b>Commande de robots manipulateurs rigides. Synthèse et analyse.</b>	<b>55</b>
3.1	Les équations des robots manipulateurs . . . . .	55
3.1.1	Hypothèses de l'étude . . . . .	55
3.1.2	Les équations des sous-systèmes . . . . .	56
3.2	Rappels : fonction de tâche et conditionnement d'une tâche robotique . . . . .	60
3.3	Commande en tension et commande en courant (ou en couple)	63
3.4	Forme générale de la commande . . . . .	69
3.4.1	Modèle du manipulateur dans l'espace de la tâche. . . . .	69
3.4.2	Une structure de commande générale . . . . .	70
3.4.3	Commandes de type gradient . . . . .	72
3.4.4	Commandes de type Newton . . . . .	75
3.5	Panorama des diverses commandes proposées dans la littérature	79
3.5.1	Commande par linéarisation et découplage des équations dynamiques du robot . . . . .	79
3.5.2	Commande en vitesse . . . . .	82
3.5.3	Commandes adaptatives . . . . .	86
3.5.4	Sliding control . . . . .	92
3.6	Éléments d'analyse . . . . .	93
3.6.1	Base de l'analyse . . . . .	93
3.6.2	Discussion des conditions de stabilité . . . . .	97
3.6.3	Éléments complémentaires d'analyse . . . . .	106
3.6.4	Synthèse . . . . .	111
	Bibliographie . . . . .	113
<b>4</b>	<b>Optimisation du calcul de la commande dynamique</b>	<b>117</b>
4.1	Introduction . . . . .	117
4.2	Rappel sur le calcul du modèle dynamique . . . . .	118
4.2.1	Description du système . . . . .	118
4.2.2	Une formulation de Newton-Euler linéaire par rapport aux paramètres d'inertie . . . . .	119
4.3	La commande dynamique dans l'espace articulaire . . . . .	121
4.4	Commande dans l'espace cartésien . . . . .	125
4.4.1	Commande dans l'espace cartésien avec correction dans l'espace articulaire . . . . .	125
4.4.2	Commande dans l'espace cartésien avec correction dans l'espace cartésien . . . . .	126
4.5	Calcul des différentes composantes de la commande cartésienne	128
4.5.1	Calcul de l'erreur de situation . . . . .	128
4.5.2	Calcul de la vitesse cartésienne courante . . . . .	129

4.5.3	Calcul de $J(q, \dot{q})\dot{q}$ . . . . .	130
4.5.4	Calcul de $J(q)^{-1}y$ . . . . .	131
4.5.5	Le modèle dynamique modifié . . . . .	132
4.5.6	Le schéma de commande complet . . . . .	133
4.6	Conclusion . . . . .	133
	Annexes . . . . .	136
	Bibliographie . . . . .	142
<b>5</b>	<b>Commande de robots flexibles</b>	<b>145</b>
5.1	Introduction . . . . .	145
5.2	Quelques approches . . . . .	149
5.3	Description du bras souple . . . . .	150
5.4	Modèle du système et structure de commande . . . . .	152
5.4.1	Modèle du procédé . . . . .	152
5.4.2	Structure de la loi de commande . . . . .	153
5.5	Commande adaptative du bras souple . . . . .	157
5.5.1	La philosophie . . . . .	157
5.5.2	Quelques résultats expérimentaux . . . . .	158
5.6	Conclusion . . . . .	162
	Bibliographie . . . . .	167
<b>Architecture informatique</b>		
<b>6</b>	<b>Implémentation multiprocesseurs d'algorithmes de commande</b>	<b>171</b>
6.1	Algorithmes et architectures distribués . . . . .	171
6.1.1	Architectures informatiques et algorithmes . . . . .	171
6.1.2	Le problème de placement de tâches . . . . .	173
6.1.3	Algorithmes exacts de placement de tâches . . . . .	175
6.1.4	Algorithmes approximatifs de placement de tâches . . . . .	176
6.1.5	Un algorithme de placement de tâches . . . . .	176
6.2	Application : parallélisation de l'algorithme de Newton-Euler . . . . .	178
6.2.1	L'algorithme . . . . .	178
6.2.2	Programmation Multiprocesseurs . . . . .	181
6.2.3	Logiciel de développement . . . . .	184
6.2.4	Résultats . . . . .	190
6.2.5	Optimalité de l'algorithme d'ordonnancement . . . . .	191
6.3	Conclusion . . . . .	192
	Bibliographie . . . . .	194

<b>7 Architectures matérielles et logicielles des contrôleurs de robots</b>	<b>195</b>
7.1 Introduction . . . . .	195
7.2 Architectures matérielles . . . . .	198
7.2.1 Analyse des besoins de communication dans un contrôleur de robot . . . . .	198
7.2.2 Supports de communication . . . . .	200
7.2.3 Classification des architectures matérielles des contrôleurs de robots . . . . .	205
7.2.4 Exemples . . . . .	210
7.3 Architectures logicielles . . . . .	213
7.3.1 Modèles d'architectures fonctionnelles . . . . .	213
7.3.2 L'architecture fonctionnelle de l'agent . . . . .	216
7.3.3 Transposition logicielle . . . . .	222
7.4 Exemples de contrôleurs de robots . . . . .	226
7.4.1 La machine CAPITAN . . . . .	227
7.4.2 Contrôleur multi-robots distribué dans l'environnement UNIX . . . . .	230
7.4.3 Architecture modulaire IRISA . . . . .	230
Conclusion . . . . .	248
Bibliographie . . . . .	251

## Architectures mécaniques nouvelles

<b>8 Modélisation des robots parallèles</b>	<b>257</b>
8.1 Introduction . . . . .	257
8.2 Préliminaires . . . . .	259
8.3 Modèle géométrique et cinématique inverse d'un manipulateur parallèle . . . . .	262
8.3.1 Modèle géométrique inverse . . . . .	262
8.3.2 Modèle cinématique inverse . . . . .	263
8.3.3 Modèle cinématique inverse correspondant à la configuration moyenne . . . . .	264
8.4 Etude des singularités . . . . .	264
8.4.1 1er type de singularité. . . . .	265
8.4.2 2ème type de singularité. . . . .	266
8.4.3 3ème type de configuration singulière. . . . .	268
8.5 Modèles directs à partir d'une procédure itérative . . . . .	269
8.5.1 Modèle géométrique direct . . . . .	269
8.5.2 Inversion du modèle cinématique . . . . .	272
8.5.3 Calcul de $C_0$ . . . . .	272

8.6	Modèle dynamique d'un manipulateur parallèle . . . . .	273
8.6.1	Présentation de l'algorithme . . . . .	273
8.6.2	Matrice d'énergie cinétique . . . . .	277
8.7	Conclusion . . . . .	282
	Bibliographie . . . . .	284
<b>9</b>	<b>Mécanique de la préhension</b>	<b>285</b>
9.1	Introduction . . . . .	285
9.2	Théorie de la préhension fixe et manipulante . . . . .	286
9.2.1	Concepts de base . . . . .	286
9.2.2	Loi de commande. Forces internes. Cas non redondant . . . . .	290
9.2.3	Redondance. Espace de travail . . . . .	291
9.2.4	Unilatéralité des liaisons de contact . . . . .	293
9.2.5	Compliance . . . . .	295
9.2.6	Prise en compte des glissements aux contacts . . . . .	296
9.3	Préhenseurs instrumentés. Capteurs d'efforts . . . . .	300
9.3.1	Capteurs tactiles . . . . .	302
9.3.2	Réalisations de préhenseurs à saisie fixe . . . . .	303
9.3.3	Réalisations de préhenseurs-manipulateurs . . . . .	306
9.4	Interactions environnement-capteurs commande . . . . .	310
9.4.1	Commande en position, gardée par les forces . . . . .	310
9.4.2	Commande hybride force-position . . . . .	312
9.5	Conclusion . . . . .	313
	Bibliographie . . . . .	314