

UNIVERSITÉ DE GRENOBLE
ÉCOLE DOCTORALE EEATS

THÈSE CIFRE
PRÉSENTÉE PAR
JORY LAFAYE

LABORATOIRE : INRIA GRENOBLE RHÔNE-ALPES
ENTREPRISE : ALDEBARAN

**Commande des mouvements et de l'équilibre
d'un robot humanoïde à roues omnidirectionnelles**

Directeur :
Dr. Bernard Brogliato, Inria

Encadrants :
Dr. Pierre-Brice Wieber, Inria
Dr. Cyrille Collette, Aldebaran
Dr. Sebastien Dalibard, Aldebaran

Table des matières

Résumé	4
I Introduction	5
I.1 Présentation de la plateforme expérimentale	6
I.1.1 Pepper, un robot humanoïde à roues omnidirectionnelles	6
I.1.2 Capteurs et actionneurs	6
I.1.3 Propriétés mécaniques	6
I.2 État de l’art	6
I.2.1 Problématiques associées à Pepper	6
I.2.2 Commande et équilibre des robots à roues	6
I.2.2.1 Les robots à une et deux roues	6
I.2.2.2 Les robots à trois roues et plus	6
I.2.3 Commande et équilibre des robots bipèdes	6
I.2.4 Synthèse et conclusion	6
I.3 Organisation du document	6
II Modélisation et commande de Pepper	7
II.1 Modélisation dynamique	8
II.1.1 Choix du modèle et conséquences	8
II.1.2 Équations de la dynamique	8
II.1.3 Linéarisation et approximations	8
II.2 Commande prédictive	8
II.2.1 Modélisation de la dynamique future	8
II.2.2 Formulation du problème d’optimisation	8
II.2.2.1 Choix du type d’optimisation	8
II.2.2.2 Formulation des objectifs	8
II.2.2.3 Formulation des contraintes	8

II.3	Méthode de résolution du problème	8
II.3.1	Principe de la programmation quadratique	9
II.3.2	Application à la commande prédictive	9
II.3.2.1	Linéarisation des contraintes	9
II.3.2.2	Formulation mathématique finale	9
II.3.3	Implémentation logicielle : “MPC-WalkGen”	9
II.4	Résultats et expérimentations	9
II.4.1	Protocole expérimental	9
II.4.2	De l’importance du choix des pondérations	9
II.4.3	Expérimentations	9
II.4.4	Vers un choix automatique des pondérations	9
III	Prise en compte du basculement de Pepper	10
III.1	Modélisation dynamique	11
III.1.1	Problématique supplémentaire	11
III.1.2	Équations de la dynamique	11
III.1.3	Linéarisation et approximations	11
III.2	Commande prédictive	11
III.2.1	Choix du type d’optimisation	11
III.2.2	Formulation des objectifs	11
III.2.3	Formulation des contraintes	11
III.3	Gestion des deux modèles dynamiques exclusifs	11
III.3.1	Choix d’un superviseur et conséquences	11
III.3.2	Fonctionnement du superviseur	11
III.3.3	Fonctionnement de l’estimateur d’impact	11
III.4	Résultats et expérimentations	11
III.4.1	Protocole expérimental	12
III.4.2	Expérimentations	12
III.4.3	Limites physiques et algorithmiques	12
III.5	Vers une modélisation unifiée des deux dynamiques	12
III.5.1	Problème de complémentarité linéaire	12
III.5.2	Méthodes de résolution	12
III.5.2.1	Programmation quadratique avec contraintes non-linéaire	12
III.5.2.2	Linéarisation par <i>a priori</i>	12
III.5.2.3	Conclusion	12

IV Synthèse	13
IV.1 Contributions	14
IV.2 Perspectives	14
IV.3 conclusion	14
Bibliographie	15
Annexes	15

[1]

Chapitre I

Introduction

I.1 Présentation de la plateforme expérimentale

I.1.1 Pepper, un robot humanoïde à roues omnidirectionnelles

I.1.2 Capteurs et actionneurs

I.1.3 Propriétés mécaniques

I.2 État de l’art

I.2.1 Problématiques associées à Pepper

I.2.2 Commande et équilibre des robots à roues

I.2.2.1 Les robots à une et deux roues

I.2.2.2 Les robots à trois roues et plus

I.2.3 Commande et équilibre des robots bipèdes

I.2.4 Synthèse et conclusion

I.3 Organisation du document

Chapitre II

Modélisation et commande de Pepper

II.1 Modélisation dynamique

II.1.1 Choix du modèle et conséquences

II.1.2 Équations de la dynamique

II.1.3 Linéarisation et approximations

II.2 Commande prédictive

II.2.1 Modélisation de la dynamique future

II.2.2 Formulation du problème d'optimisation

II.2.2.1 Choix du type d'optimisation

II.2.2.2 Formulation des objectifs

II.2.2.3 Formulation des contraintes

II.3 Méthode de résolution du problème

- II.3.1 Principe de la programmation quadratique**
- II.3.2 Application à la commande prédictive**
 - II.3.2.1 Linéarisation des contraintes**
 - II.3.2.2 Formulation mathématique finale**
- II.3.3 Implémentation logicielle : “MPC-WalkGen”**
- II.4 Résultats et expérimentations**

- II.4.1 Protocole expérimental**
- II.4.2 De l’importance du choix des pondérations**
- II.4.3 Expérimentations**
- II.4.4 Vers un choix automatique des pondérations**

Chapitre III

Prise en compte du basculement de Pepper

III.1 Modélisation dynamique

III.1.1 Problématique supplémentaire

III.1.2 Équations de la dynamique

III.1.3 Linéarisation et approximations

III.2 Commande prédictive

III.2.1 Choix du type d'optimisation

III.2.2 Formulation des objectifs

III.2.3 Formulation des contraintes

III.3 Gestion des deux modèles dynamiques exclusifs

III.3.1 Choix d'un superviseur et conséquences

III.3.2 Fonctionnement du superviseur

III.3.3 Fonctionnement de l'estimateur d'impact

III.4 Résultats et expérimentations

III.4.1 Protocole expérimental

III.4.2 Expérimentations

III.4.3 Limites physiques et algorithmiques

III.5 Vers une modélisation unifiée des deux dynamiques

III.5.1 Problème de complémentarité linéaire

III.5.2 Méthodes de résolution

III.5.2.1 Programmation quadratique avec contraintes non-linéaire

III.5.2.2 Linéarisation par *apriori*

III.5.2.3 Conclusion

Chapitre IV

Synthèse

IV.1 Contributions

IV.2 Perspectives

IV.3 conclusion

Bibliographie

- [1] S Miasa, M Al-Mjali, A Al-Haj Ibrahim, and T A Tutunji. Fuzzy control of a two-wheel balancing robot using dspic. In *2010 7th International Multi-Conference on Systems Signals and Devices (SSD)*, pages 1–6, 2010.