

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
1 Introduction	5
1.1 Présentation de la plateforme expérimentale	6
1.1.1 Pepper, un robot humanoïde à roues omnidirectionnelles	6
1.1.2 Capteurs et actionneurs	6
1.1.3 Propriétés mécaniques	6
1.2 État de l’art	6
1.2.1 Problématiques associées à Pepper	6
1.2.2 Commande et équilibre des robots à roues	6
1.2.2.1 Les robots à une et deux roues	6
1.2.2.2 Les robots à trois roues et plus	6
1.2.3 Commande et équilibre des robots bipèdes	6
1.2.4 Synthèse et conclusion	6
1.3 Organisation du document	6
2 Modélisation et commande de Pepper	7
2.1 Modélisation dynamique	8
2.1.1 Choix du modèle et conséquences	8
2.1.2 Équations de la dynamique	8
2.1.3 Linéarisation et approximations	8
2.2 Commande prédictive	8
2.2.1 Modélisation de la dynamique future	8
2.2.2 Formulation du problème d’optimisation	8
2.2.2.1 Choix du type d’optimisation	8
2.2.2.2 Formulation des objectifs	8
2.2.2.3 Formulation des contraintes	8

2.3	Méthode de résolution du problème	8
2.3.1	Principe de la programmation quadratique	8
2.3.2	Application à la commande prédictive	8
2.3.2.1	Linéarisation des contraintes	8
2.3.2.2	Formulation mathématique finale	8
2.3.3	Implémentation logicielle : “MPC-WalkGen”	8
2.4	Résultats et expérimentations	8
2.4.1	Protocole expérimental	8
2.4.2	De l’importance du choix des pondérations	8
2.4.3	Expérimentations	8
2.4.4	Vers un choix automatique des pondérations	8
3	Prise en compte du basculement de Pepper	9
3.1	Modélisation dynamique	10
3.1.1	Problématique supplémentaire	10
3.1.2	Équations de la dynamique	10
3.1.3	Linéarisation et approximations	10
3.2	Commande prédictive	10
3.2.1	Choix du type d’optimisation	10
3.2.2	Formulation des objectifs	10
3.2.3	Formulation des contraintes	10
3.3	Gestion des deux modèles dynamiques exclusifs	10
3.3.1	Choix d’un superviseur et conséquences	10
3.3.2	Fonctionnement du superviseur	10
3.3.3	Fonctionnement de l’estimateur d’impact	10
3.4	Résultats et expérimentations	10
3.4.1	Protocole expérimental	10
3.4.2	Expérimentations	10
3.4.3	Limites physiques et algorithmiques	10
3.5	Vers une modélisation unifiée des deux dynamiques	10
3.5.1	Problème de complémentarité linéaire	10
3.5.2	Méthodes de résolution	10
3.5.2.1	Programmation quadratique avec contraintes non-linéaire	10
3.5.2.2	Linéarisation par <i>apriori</i>	10
3.5.2.3	Conclusion	10

4 Synthèse	11
4.1 Contributions	11
4.2 Perspectives	11
4.3 conclusion	11
Bibliographie	11
Annexes	12
A Optimisation du choix du modèle dynamique	13
B Résolution d'un problème quadratique	14

[1]

Chapitre 1

Introduction

1.1 Présentation de la plateforme expérimentale

1.1.1 Pepper, un robot humanoïde à roues omnidirectionnelles

1.1.2 Capteurs et actionneurs

1.1.3 Propriétés mécaniques

1.2 État de l'art

1.2.1 Problématiques associées à Pepper

1.2.2 Commande et équilibre des robots à roues

1.2.2.1 Les robots à une et deux roues

1.2.2.2 Les robots à trois roues et plus

1.2.3 Commande et équilibre des robots bipèdes

1.2.4 Synthèse et conclusion

1.3 Organisation du document

Chapitre 2

Modélisation et commande de Pepper

2.1 Modélisation dynamique

2.1.1 Choix du modèle et conséquences

2.1.2 Équations de la dynamique

2.1.3 Linéarisation et approximations

2.2 Commande prédictive

2.2.1 Modélisation de la dynamique future

2.2.2 Formulation du problème d’optimisation

2.2.2.1 Choix du type d’optimisation

2.2.2.2 Formulation des objectifs

2.2.2.3 Formulation des contraintes

2.3 Méthode de résolution du problème

2.3.1 Principe de la programmation quadratique

2.3.2 Application à la commande prédictive

2.3.2.1 Linéarisation des contraintes

2.3.2.2 Formulation mathématique finale

2.3.3 Implémentation logicielle : “MPC-WalkGen”

2.4 Résultats et expérimentations

2.4.1 Protocole expérimental

2.4.2 De l’importance du choix des pondérations

2.4.3 Expérimentations

2.4.4 Vers un choix automatique des pondérations

Chapitre 3

Prise en compte du basculement de Pepper

3.1 Modélisation dynamique

3.1.1 Problématique supplémentaire

3.1.2 Équations de la dynamique

3.1.3 Linéarisation et approximations

3.2 Commande prédictive

3.2.1 Choix du type d'optimisation

3.2.2 Formulation des objectifs

3.2.3 Formulation des contraintes

3.3 Gestion des deux modèles dynamiques exclusifs

3.3.1 Choix d'un superviseur et conséquences

3.3.2 Fonctionnement du superviseur

3.3.3 Fonctionnement de l'estimateur d'impact

3.4 Résultats et expérimentations

3.4.1 Protocole expérimental

3.4.2 Expérimentations

3.4.3 Limites physiques et algorithmiques

3.5 Vers une modélisation unifiée des deux dynamiques

3.5.1 Problème de complémentarité linéaire

3.5.2 Méthodes de résolution

3.5.2.1 Programmation quadratique avec contraintes non-linéaire

3.5.2.2 Linéarisation par *apriori*

3.5.2.3 Conclusion

Chapitre 4

Synthèse

4.1 Contributions

4.2 Perspectives

4.3 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.

Annexe A

Optimisation du choix du modèle dynamique

Annexe B

Résolution d'un problème quadratique