

R-Blink: Exploring High-Speed Decision Making for Motion Generation with a Humanoid Robot.

Journées Nationale de la Robotique Humanoïde 2010.
Futuroscope, Poitiers, France.

F. Lamiraux, N. Mansard, O. Stasse, P.-B. Wieber
A. Herdt, N. Perrin

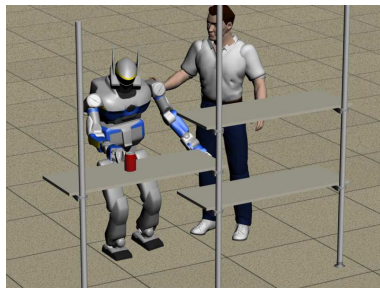
June 3, 2010

Outline

- 1 Introduction
- 2 Commande prédictive temps-réel pour la marche
- 3 Pile de tâches
- 4 Planification de mouvements rapides
- 5 Conclusion et travaux futurs

Introduction

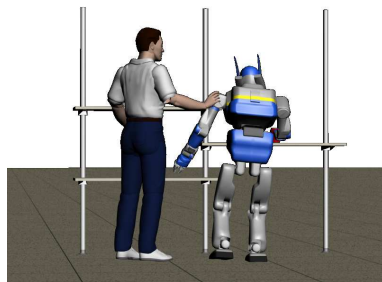
- ANR - JCJC: 3 ans.
- Budget: 373 000 €
- Investigateurs Principaux:
F. Lamiraux, N. Mansard,
O. Stasse, P.-B. Wieber
- Post-doctorant:
C. Dune
- Doctorants:
S. Hak, A. Herdt, N. Perrin
- Axes scientifiques principaux:
 - 1 Commande prédictive temps-réel
 - 2 Pile de tâches
 - 3 Planification de mouvements rapides



Application: **Real-time reaction**

Introduction

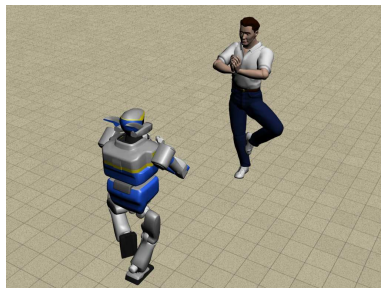
- ANR - JCJC: 3 ans.
- Budget: 373 000 €
- Investigateurs Principaux:
F. Lamiraux, N. Mansard,
O. Stasse, P.-B. Wieber
- Post-doctorant:
C. Dune
- Doctorants:
S. Hak, A. Herdt, N. Perrin
- Axes scientifiques principaux:
 - 1 Commande prédictive temps-réel
 - 2 Pile de tâches
 - 3 Planification de mouvements rapides



Application: **Safe reaction**

Introduction

- ANR - JCJC: 3 ans.
- Budget: 373 000 €
- Investigateurs Principaux:
F. Lamiraux, N. Mansard,
O. Stasse, P.-B. Wieber
- Post-doctorant:
C. Dune
- Doctorants:
S. Hak, A. Herdt, N. Perrin
- Axes scientifiques principaux:
 - 1 Commande prédictive temps-réel
 - 2 Pile de tâches
 - 3 Planification de mouvements rapides



Application: **Imitation**

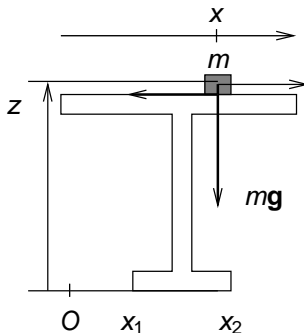
Outline

- 1 Introduction
- 2 **Commande prédictive temps-réel pour la marche**
- 3 Pile de tâches
- 4 Planification de mouvements rapides
- 5 Conclusion et travaux futurs

Commande prédictive temps-réel pour la marche

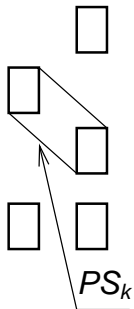
1 Modèle simplifié linéaire:

$$x_1 \leq x - \frac{z}{g} \ddot{x} \leq x_2$$



Construction du problème d'optimisation

- trajectoire discrétisée du centre de masse



$$X_k = (x(t_k), \dots, x(t_{k+N}))$$

$$Y_k = (y(t_k), \dots, y(t_{k+N}))$$

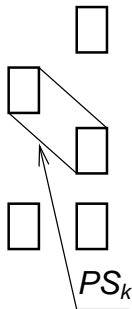
$$t_k = kT$$

$$U_k = (\ddot{X}_k, \ddot{Y}_k)$$

$$ZMP_k = (X_k - \frac{z}{g} \ddot{X}_k, Y_k - \frac{z}{g} \ddot{Y}_k)$$

Construction du problème d'optimisation

- trajectoire discrétisée du centre de masse



$$X_k = (x(t_k), \dots, x(t_{k+N}))$$

$$Y_k = (y(t_k), \dots, y(t_{k+N}))$$

$$t_k = kT$$

$$U_k = (\ddot{X}_k, \ddot{Y}_k)$$

$$ZMP_k = (X_k - \frac{z}{g} \ddot{X}_k, Y_k - \frac{z}{g} \ddot{Y}_k)$$

PS_k ● optimisation

$$\min_{U_k, zmp_{k+i} \in PS_{k+i}} \|U_k\|^2 + \|ZMP_k - ZMP_k^{ref}\|^2$$

Structure du problème d'optimisation

$$\min_{U_k} \frac{1}{2} U_k^T Q U_k + p_k^T U_k, \quad p_k^T = (\hat{x}_k^T \quad \hat{y}_k^T) \begin{pmatrix} P_{su} & 0 \\ 0 & P_{su} \end{pmatrix}$$

Contraintes:

$$b_{k+1}^l \leq D_{k+1} \begin{pmatrix} P_{zu} & 0 \\ 0 & P_{zu} \end{pmatrix} U_k \leq b_{k+1}^u$$

avec $\hat{x}_k = (x(t_k), \dot{x}(t_k), \ddot{x}(t_k))$, $\hat{y}_k = (y(t_k), \dot{y}(t_k), \ddot{y}(t_k))$ la mesure courante de l'état du CoM Q , P_{su} , P_{zu} sont des matrices constantes, et b_{k+1}^u , b_{k+1}^l , D_{k+1} dépendent des pas.

Structure du problème d'optimisation

$$\min_{U_k} \frac{1}{2} U_k^T Q U_k + p_k^T U_k, \quad p_k^T = (\hat{x}_k^T \quad \hat{y}_k^T) \begin{pmatrix} P_{su} & 0 \\ 0 & P_{su} \end{pmatrix}$$

Contraintes:

$$b_{k+1}^l \leq D_{k+1} \begin{pmatrix} P_{zu} & 0 \\ 0 & P_{zu} \end{pmatrix} U_k \leq b_{k+1}^u$$

avec $\hat{x}_k = (x(t_k), \dot{x}(t_k), \ddot{x}(t_k))$, $\hat{y}_k = (y(t_k), \dot{y}(t_k), \ddot{y}(t_k))$ la mesure courante de l'état du CoM Q , P_{su} , P_{zu} sont des matrices constantes, et b_{k+1}^u , b_{k+1}^l , D_{k+1} dépendent des pas.

Observation

Les contraintes ne sont presque jamais désactivées.

Structure du problème d'optimisation

$$\min_{U_k} \frac{1}{2} U_k^T Q U_k + p_k^T U_k, \quad p_k^T = (\hat{x}_k^T \quad \hat{y}_k^T) \begin{pmatrix} P_{su} & 0 \\ 0 & P_{su} \end{pmatrix}$$

Contraintes:

$$b_{k+1}^l \leq D_{k+1} \begin{pmatrix} P_{zu} & 0 \\ 0 & P_{zu} \end{pmatrix} U_k \leq b_{k+1}^u$$

avec $\hat{x}_k = (x(t_k), \dot{x}(t_k), \ddot{x}(t_k))$, $\hat{y}_k = (y(t_k), \dot{y}(t_k), \ddot{y}(t_k))$ la mesure courante de l'état du CoM Q , P_{su} , P_{zu} sont des matrices constantes, et b_{k+1}^u , b_{k+1}^l , D_{k+1} dépendent des pas.

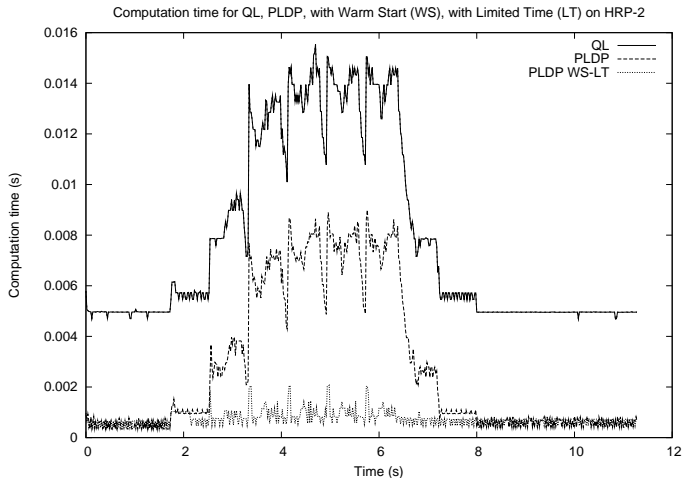
Nouveau solveur (Dimitrov et al., ICRA, 2009)

Formulation primale permettant:
démarrage à chaud, et temps limite.

Contributions

- **Schéma de résolution rapide du problème d'optimisation:**
solveur dédié 5 fois plus rapide que l'état de l'art,
- **placement de pieds automatique:**
ajout de la position des pieds comme variables d'optimisation.

Results



Placements de pieds automatique

Nouvelle formulation du problème canonique:

$$\min_{U_k} \frac{\beta}{2} \left\| \dot{X}_{k+1} - \dot{X}_{k+1}^{ref} \right\|^2 + \frac{\beta}{2} \left\| \dot{Y}_{k+1} - \dot{Y}_{k+1}^{ref} \right\|^2, \text{ avec } U_k = \begin{pmatrix} \ddot{X}_k \\ X_k^f \\ \ddot{Y}_k \\ Y_k^f \end{pmatrix},$$

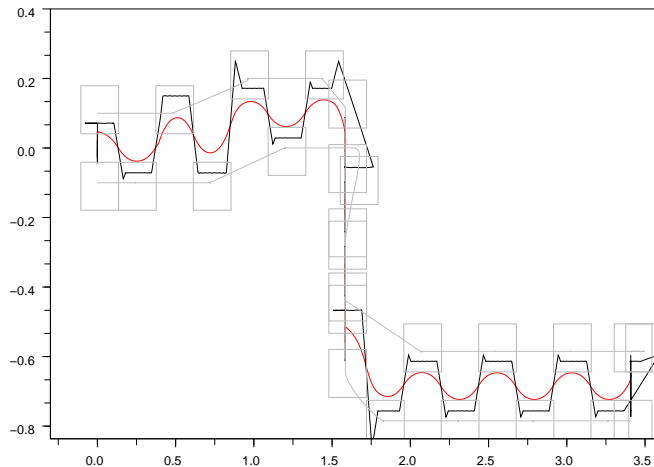
Nouvelles variables libres: les positions des pieds

Les contraintes sont reformulées en utilisant ces nouvelles variables.

La linéarité est conservée en traitant séparément les orientations.

(Herdt et al., Advanced Robotics, 2010)

Results



Outline

- 1 Introduction
- 2 Commande prédictive temps-réel pour la marche
- 3 Pile de tâches**
- 4 Planification de mouvements rapides
- 5 Conclusion et travaux futurs

Pile de tâches

1 Formulation de l'Inverse Généralisée sous forme de QP hiérarchique :

Cette formulation permet de gérer les contraintes unilatérales dans le contexte de l'inverse cinématique généralisée d'une manière cohérente.

(Kannoun et al., ICRA, 2009)

2 Solveur spécialisé:

En se basant sur la formulation précédente ce travail présente un algorithme permettant de résoudre très rapidement une hiérarchie de QPs.

(Escande et al., ICRA, 2010)

Outline

- 1 Introduction
- 2 Commande prédictive temps-réel pour la marche
- 3 Pile de tâches
- 4 Planification de mouvements rapides**
- 5 Conclusion et travaux futurs

Planification de mouvements rapides

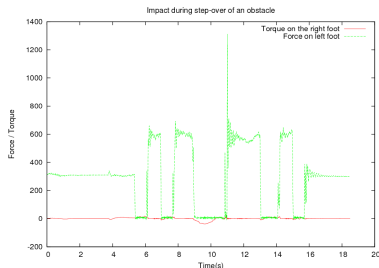
- 1 **Planification de trajectoire de pieds et compliance:**
Une nouvelle méthode permettant de planifier des trajectoires de pieds en minimisant le moment appliqué autour du CoM.
- 2 **Planification de pas rapide par approximation:**
La faisabilité d'une transition entre deux pas est approximée par une exploration guidée de l'espace des trajectoires lié à une schéma de contrôle.

Planification de trajectoire de pieds et compliance

Principes

- Simplification du robot par un modèle à deux masses
- Trajectoire du pied modélisée par un polynôme du 4^{ème} ordre
- Minimization du moment autour du CoM par la méthode de Newton-Raphson

(Pierro et al., Humanoids, 2009)
Franchissement d'obstacle

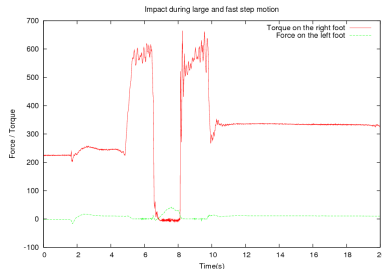


Planification de trajectoire de pieds et compliance

Principes

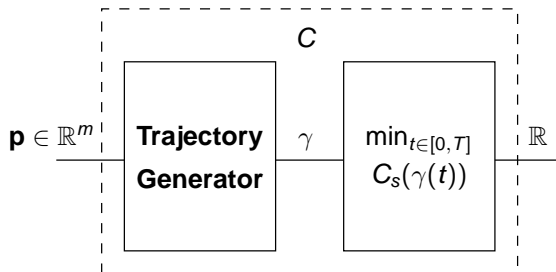
- Simplification du robot par un modèle à deux masses
- Trajectoire du pied modélisée par un polynôme du 4^{ème} ordre
- Minimization du moment autour du CoM par la méthode de Newton-Raphson

(Pierro et al., Humanoids, 2009)
Trajectoire optimisée



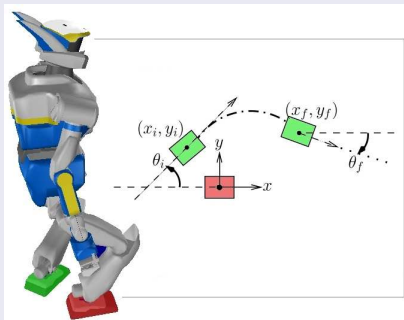
Planification des pieds par approximation

(Perrin et al., ICRA, 2010)



- L'entrée est un vecteur de paramètres $\mathbf{p} \in \mathbb{R}^m$ à partir duquel une trajectoire γ est calculée.
- La trajectoire est discrétisée et une distance aux

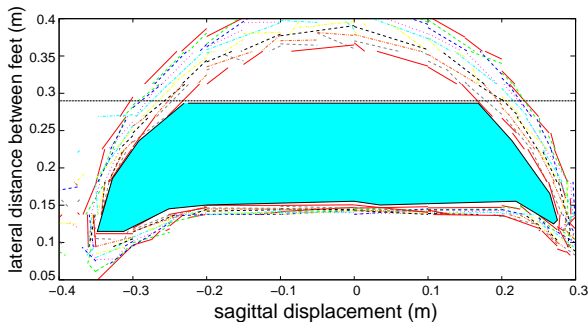
Espace des paramètres d'entrée



Description

Le pied gauche est positionné à l'origine du repère, le pied droit se déplace de (x_i, y_i, θ_i) vers (x_f, y_f, θ_f) . Le robot a 36 degrés de liberté: 6 pour le corps libre et 30 valeurs articulaires.

Reconstruction



Méthode:

- Support Vector Regression
- Discrétisation stratifiée réursive
- Discrétisation par point approché le plus loin

Applications

Interaction homme-robot



HRP-2 commandé par joystick



Outline

- 1 Introduction
- 2 Commande prédictive temps-réel pour la marche
- 3 Pile de tâches
- 4 Planification de mouvements rapides
- 5 Conclusion et travaux futurs

Conclusion et travaux futurs

- Commande prédictive temps-réel:
 - Un nouveau solveur temps-réel
 - Une nouvelle fonctionnalité permettant de spécifier directement une vitesse désirée
- Pile de tâches:
 - Une gestion cohérente des inégalités
 - Un nouveau solveur associé
- Planification rapide:
 - Planification pour prendre en compte la compliance
 - Planification très rapide de pas en utilisant une approximation
- Autres travaux (présentés durant ces JNRH)
 - Deux approches pour l'asservissement visuel de la marche (C. Dune) (03/06 14h15)
 - Imitation et planification (S. Hak) (03/06 17h15)