

Méthodologie de commande et de conception de robots d'intervention en milieux industriels non conventionnels

Séminaire du GDR Robotique : Le challenge des grands volumes de travail dans l'industrie

Vincent Padois, Maître de Conférences
Chaire "Robotique d'Intervention" RTE-UPMC
vincent.padois@upmc.fr

Université Pierre et Marie Curie
Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (UMR CNRS 7222)

GDR Robotique - 31/01/2013



Contexte et problématique

Robotique manufacturière → Robotique d'intervention en milieux complexes



Applications et Domaines ?

- Applications : Construction, maintenance et démantèlement d'ouvrages ou de produits industriels complexes
- Domaines : BTP, Energie, Construction navale et nautique, Cellules de production flexibles ...

Caractéristiques ?

- Complexité : environnements et/ou humain expert dans la boucle
- Variété des missions : "servante", reprise d'effort, compensation de gravité , amplification d'efforts, assistance au geste précis, tâches répétitives, ...
- Modes multiples : autonome, collaboratif (co-manipulation,...)

Problématique

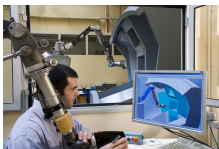
Quelles méthodologies de conception, de commande et de validation dédiées à ces nouveaux contextes applicatifs ?

Plan de la présentation

- 1 **Commande réactive en milieux contraints**
- 2 Pré-conception par optimisation multi-objectifs sous contraintes
- 3 Validation par simulation physique réaliste

Commande réactive en milieux contraints

Loi de commande réactive intrinsèquement sûre dans le cas d'obstacles fixes

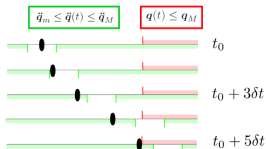
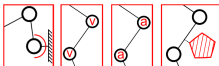


Réactive ?

- réactif $\neq$ planifié
- Les objectifs opérationnels sont mis à jour en temps réel
- Téléoopération, co-manipulation, asservissement référencé capteur extéroceptif,...

Intrinsèquement sûre ?

- Respect des contraintes propres au robot : limite en position, vitesse et couple/articulaire
- Non collision avec l'environnement



Modélisation des contraintes

→ garantir l'existence d'une solution

- Modifier leur expression afin d'assurer leur compatibilité a priori
- Nécessite une connaissance des capacités d'accélération du robot à tout instant (!)
- Vérification permanente de l'existence d'une trajectoire d'échappement

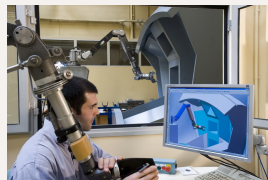
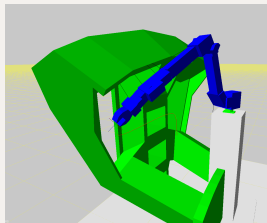
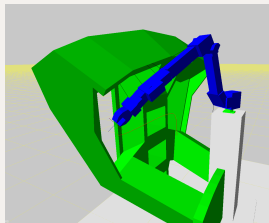
Commande réactive en milieux contraints

Résolution : Commande Compliant aux Contraintes

- Loi de commande itérative à 3 niveaux :
 - Tâche prioritaire : évitement passif
 - Tâche secondaire : suivi de l'objectif
 - Tâche tertiaire : évitement actif
- Hypothèse : existence d'une solution
- $\dot{q} = J_c^+ 0 + (J_O P_{J_c})^+ \dot{X}_{des,0} + (J_{\bar{c}} P_{J_c})^+ (\dot{X}_{des_{\bar{c}}} - J_{\bar{c}} (J_O P_{J_c})^+ \dot{X}_{des,0})$

→ **Cas particulier d'un LQP sous contraintes**

Quelques résultats (projet ANR Telemach)



Commande réactive en milieux contraints

Quelles extensions en environnements dynamiques avec présence d'humains ?

↪ **Travaux en cours**

Plan de la présentation

- 1 Commande réactive en milieux contraints
- 2 Pré-conception par optimisation multi-objectifs sous contraintes**
- 3 Validation par simulation physique réaliste

Pré-conception par optimisation multi-objectifs sous contraintes

Problématique

Optimisation de la morphologie d'un robot manipulateur pour l'évolution en environnements complexes et/ou en collaboration avec des opérateurs humains

Constat

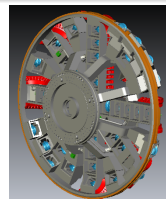
- Pas de solution intuitive
- Combinatoire importante
- Méthodes de conception "classique" inadaptées

→ **Problème d'optimisation multi-objectifs (MO)**

Quel méthode d'optimisation ? ... sachant que :

- Recherche d'un arrangement de corps et liaisons
- Fonctions à optimiser de natures très différentes
- Evaluation au regard des tâches à effectuer par le robot → simulations
- Structure de l'espace "solution" n'est pas connue a priori
- Problème complexe et de grande taille

→ **Optimisation par algorithme évolutionniste MO**

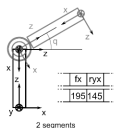


Pré-conception par optimisation multi-objectifs sous contraintes

Type		Lengths (m)
10 : none		0 : 0.05
11 : rxx		1 : 0.15
12 : rxy		2 : 0.25
13 : rxz		3 : 0.35
14 : ryx		4 : 0.45
15 : ryy		5 : 0.55
16 : ryz		6 : 0.65
17 : rzx		7 : 0.75
18 : rzz		8 : 0.85
19 : ex		9 : 0.95
20 : ey		
21 : ez		

ex : gene 163
ryz
length : 0.35

Fig. 3. Genotype table



2 segments

Principe de représentation d'un robot

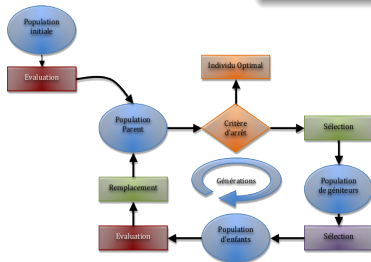
- Description d'un robot à partir d'un génotype
- Chaque gène code un corps et la liaison associé
- La valeur du gène tient compte du type de liaison et de la longueur du corps associé

Fonctions à optimiser

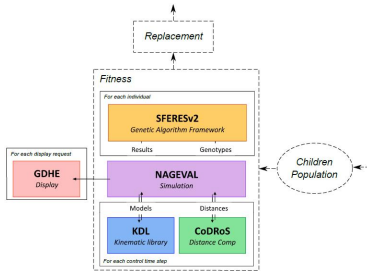
- Complexité de la solution
- Qualité d'exécution de la tâche
- "Ergonomie"

Principe général des algorithmes évolutionnistes

- Génération d'une population initiale de robots
- Evaluation des individus de la population
- Sélection des individus de la prochaine génération
- Opérations génétiques (mutation, croisement,...) sur les individus
- Mise à jour de la population

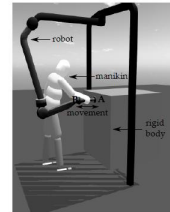
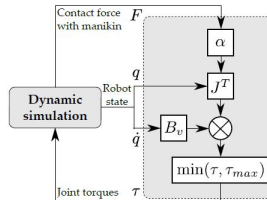
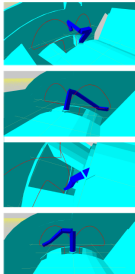


Pré-conception par optimisation multi-objectifs sous contraintes



Mise en oeuvre

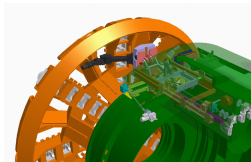
- Algorithme NSGA2 dans le *framework* Sferes (par S. Doncieux et JB. Moutret, ISIR)
- Évaluation par simulations cinématiques / dynamiques des robots
- Suivi de trajectoires "représentatives" avec loi de commande réactive CCC



Plan de la présentation

- 1 Commande réactive en milieux contraints
- 2 Pré-conception par optimisation multi-objectifs sous contraintes
- 3 **Validation par simulation physique réaliste**

Validation par simulation physique réaliste



Arboris-Python@ISIR



Fort besoin d'évaluation des solutions : commande et conception

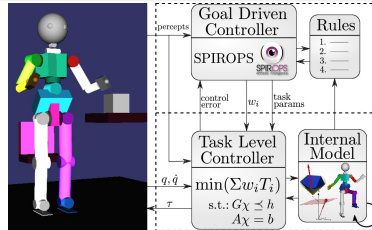
- Quantification de la performance opérationnelle induite par l'architecture physique et de commande du robot
- Quantification de la sûreté des interactions du robot avec son environnement physique (matériel et humain)
- Prototypage réel non applicable
 - ▶ Impossible de reproduire les conditions expérimentales (tunnelier, pylône haute-tension, centrale nucléaire, ...)
 - ▶ Danger potentiel de l'expérimentation réelle
 - ▶ Processus itératif → Coût ↗

Caractéristiques du besoin

- Fidélité et réalisme physique (notamment pour les applications au contact)
- Capacités de simulation d'opérateurs humains réalistes
- Généricité des modules logicielles → Facilitation de l'intégration réelle
- "Simulation in the loop" (capteur virtuel ...)

Validation par simulation physique réaliste

Illustration des travaux vers l'humain virtuel "réaliste" : synthèse d'activités complexes



Tasks $(T_i(\mathbf{x}))$

$$\mathbf{x} = [\ddot{\mathbf{q}}, \boldsymbol{\tau}, \mathbf{w}_c]^T$$

$$\mathcal{T} = \|E\mathbf{x} + \mathbf{f}\| \quad \left(T_{acc} = \left\| J\ddot{\mathbf{q}} + \dot{J}\dot{\mathbf{q}} - \dot{\mathbf{t}}^{des} \right\| \right)$$

Constraints $(A\mathbf{x} \leq \mathbf{b})$

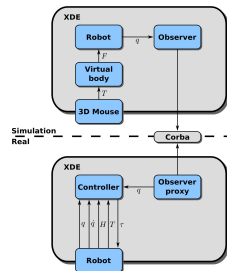
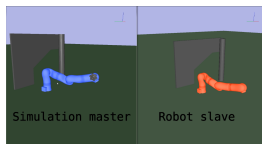
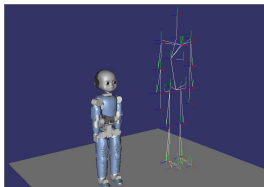
$$M\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{N} = \mathbf{g} + J_c^t \mathbf{w}_c + S\boldsymbol{\tau}$$

$$\boldsymbol{\tau}_{min} \leq \boldsymbol{\tau} \leq \boldsymbol{\tau}_{max}$$

...

Validation par simulation physique réaliste

Des outils de simulation ...



... vers la validation expérimentale (plateformes acquises en 2013)



Références

Commande

- S. Rubrecht, V. Padois, P. Bidaud and M. de Broissia : *Constraints Compliant Control : constraints compatibility and the displaced configuration approach*. IROS 2010.
- S. Rubrecht, V. Padois, P. Bidaud and M. de Broissia : *Constraint Compliant Control for a Redundant Manipulator in a Cluttered Environment*. In *Advances in Robot Kinematics : Motion in Man and Machine*, Springer, 2010.
- S. Rubrecht, V. Padois, P. Bidaud, M. de Broissia, and M. Da Silva Simoes : *Motion safety and constraints compatibility for multibody robots*. *Autonomous Robots*, Springer Netherlands, publisher. Vol 32 No 3 Pages 333–349, 2012.

Conception

- S. Doncieux, J.-B. Mouret, N. Bredèche, and V. Padois : *Evolutionary robotics : Exploring new horizons*. In *New Horizons in Evolutionary Robotics*, vol. 341 of *Studies in Computational Intelligence*, Springer, 2011.
- S. Rubrecht, V. Padois and P. Bidaud : *Evolutionary design of a robotic manipulator for a highly constrained environment*. In *Doncieux, S., Bredèche, N., and Mouret, J.-B., editors, New Horizons in Evolutionary Robotics : extended contributions from the EvoDeRob workshop, volume 341 of Studies in Computational Intelligence*, Springer, 2011.
- P. Maurice, Y. Measson, V. Padois and P. Bidaud : *Assessment of Physical Exposure to Musculoskeletal Risks in Collaborative Robotics Using Dynamic Simulation*. Romansy 2012.

Simulation réaliste

- J. Salini, V. Padois and P. Bidaud : *Synthesis of complex humanoid whole-body behavior : A focus on sequencing and tasks transitions*. ICRA 2011.
- J. Salini, V. Padois, P. Bidaud and A. Buendia : *A Goal driven perspective to generate humanoid motion synthesis*. CLAWAR 2011.
- A. Ibanez, P. Bidaud and V. Padois : *Safe Biped Balance and Manipulation through Disturbance Preview*. IROS 2012.

Questions ?

Merci pour votre attention.
Questions ?

Méthodologie de commande et de conception de robots d'intervention en milieux industriels non conventionnels

Séminaire du GDR Robotique : Le challenge des grands volumes de travail dans l'industrie

Vincent Padois, Maître de Conférences
Chaire "Robotique d'Intervention" RTE-UPMC
vincent.padois@upmc.fr

Université Pierre et Marie Curie
Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique (UMR CNRS 7222)

GDR Robotique - 31/01/2013

