

Robotique adaptative, conception optimale et gestion des incertitudes

J-P. Merlet
Projet COPRIN
INRIA Sophia-Antipolis

1 Projet COPRIN

Contraintes, OPtimisation et Résolution par INtervalles,

projet commun INRIA/CERMICS

$\approx$ 15 personnes, 6 permanents

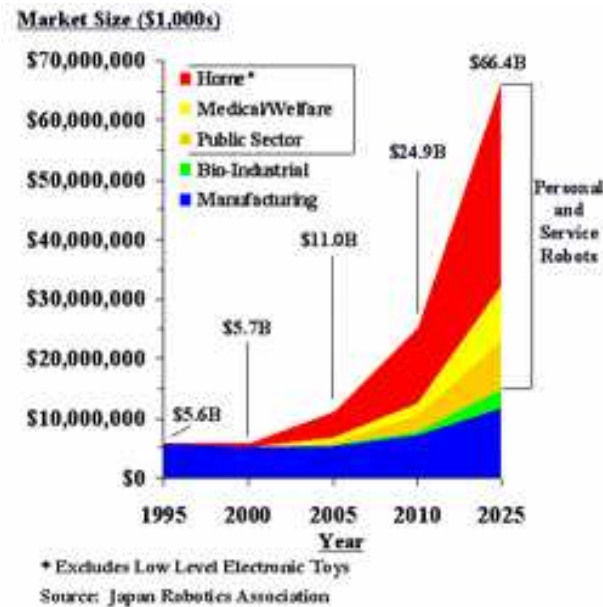
Objectifs

- modélisation et conception de robots
- robots parallèles
- calibration
- analyse par intervalles

Budget: assuré à 90% par des contrats industriels

2 La robotique en pleine expansion

- 19% de croissance de la robotique industrielle ces 5 dernières années
- explosion des domaines d'application



La robotique industrielle aujourd'hui

- **coût moyen d'un robot**: indice 100 en 1990, 21 en 2002
- part importante du CA des industriels de la robotique en service
- entreprises de plus de 1000 employés: 70% du parc
- 35 000 robots en France (61% automobile, 14% chimique)
- robots/10 000 employés: 86 (UE), 135 (De), 67 (Fr, Fi, Sp), 58 (USA), 35 (Uk)
- **entreprises**: Fanuc (Jp) n° 1, ABB+Kuka ont 40% du marché
- **entreprises françaises**: peu de survivantes des années ARA (Robosoft, Cybernetix, Sinters, ECA)

3 Les applications 2005-2015

Sources: WTEC, réseau EURON, groupe European Robotics Platform (EUROP), UNECE/IFR, conférences

- **robotique manufacturière**: low cost, machine-outil, middleware, calibration, laboratoire, alimentaire, positionneur ultra-précis
- **robotique de surveillance**: observation, prévention des risques, sauvetage, milieu hostile
- robotique de défense, de chantier
- **robotique de service**: grand public, assistance, humanoïde

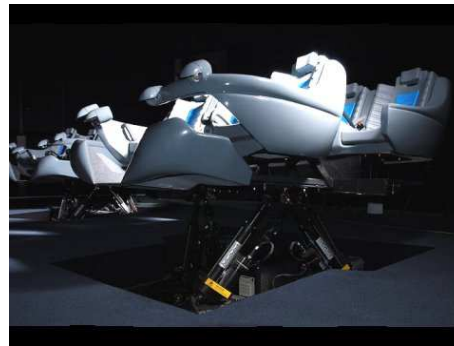
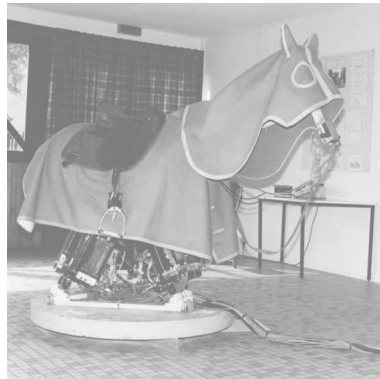


- **véhicule intelligent**

- **robotique médicale**: interventionnelle, rééducation, handicap



- **MEMS**
- **réalité virtuelle et jeux**



4 Les besoins futurs

- robots **multiformes**
- robots **modulaires** pour s'adapter aux tâches
 - **modularité mécanique**
 - **algorithmique** pour déterminer l'arrangement mécanique appropriée
- **conception appropriée** pour
 - garantir l'atteinte des spécifications
 - assurer la **fiabilité**
- en dépit des **incertitudes** propres à un système électro-mécanique

5 Conception appropriée

conception classique en mécanisme:

optimisation d'une fonction de coût $\Rightarrow$ **conception optimale**

Pas de **conception optimale** en robotique: on ne cherche pas à optimiser UNE performance

- on veut satisfaire **strictement** des spécifications
- les spécifications sont **antagonistes** (espace de travail $\leftrightarrow$ précision)
- certaines contraintes ne sont pas connues du concepteur



on doit présenter plusieurs solutions de conception qui:

- satisfont **strictement** les spécifications
- présentent différents compromis significatifs entre les performances

6 Gestion des incertitudes

De plus on doit prendre en compte les **incertitudes**:

- différences entre le robot **réel** et son modèle théorique (**tolérances de fabrication**)
- **erreurs de contrôle**

ces erreurs sont généralement **bornées**



la **conception** doit assurer que les spécifications seront vérifiées en dépit des incertitudes

Objectifs

Trouver une bonne approximation de **l'ensemble des designs possibles**

7 Un outil de base pour la conception: l'arithmétique d'intervalles

Utilisation d'intervalles X en place de nombre: $X = [\underline{x}, \bar{x}]$

Pour une fonction donnée F et des intervalles pour les inconnues on peut construire une *fonction d'évaluation* de F qui retourne un intervalle $[a, b]$

- tel que quelle que soit la valeur des inconnues dans leur intervalle on ait:

$$a \leq F(X) \leq b$$

Exemple: $f(x) = x^2 - 1 + 3 \sin(x)$, $x \in [-3, -2]$

$$f([-3, -2]) = ([-3, -2])^2 - 1 + 3 \sin([-3, -2])$$

$$f([-3, -2]) = [4, 9] - 1 + 3[-0.909, -0.141]$$

$$f([-3, -2]) = [0.272, 7.576]$$

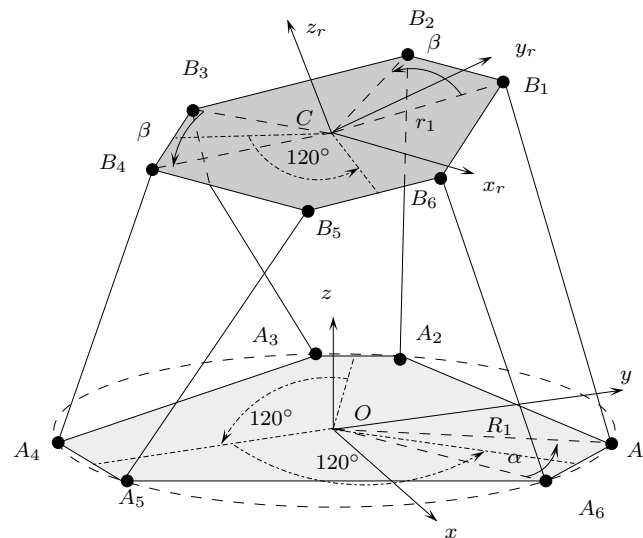
Remarque: intervalle résultat ne contient pas 0 $\Rightarrow$ pas de solution de f dans $[-3, -2]$

- effectif pour l'ensemble des fonctions mathématiques usuelles
- peut être implanté pour prendre en compte les erreurs d'arrondi

8 Exemples d'applications

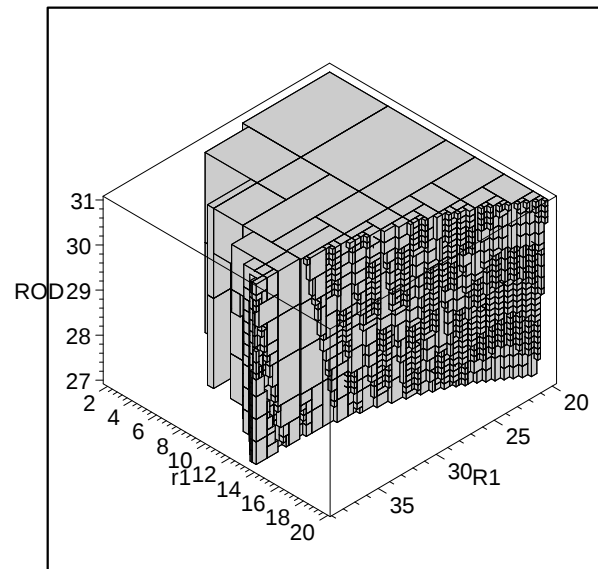
robot parallèle

- **Paramètres de Design:** $r_1, R_1, \alpha, \beta, S$
- **Contraintes:** l'espace de travail du robot doit inclure un cube donné pour toutes les orientations dans $[-10,10]$ degrés



Résultat

- une liste de boîte dans l'espace de dimension 5 $r_1, R_1, \alpha, \beta, S$
- tous les points de toutes les boîtes donne un robot qui aura le bon espace de travail
- toutes les boîtes ont des dimensions $>$ à l'incertitude de fabrication

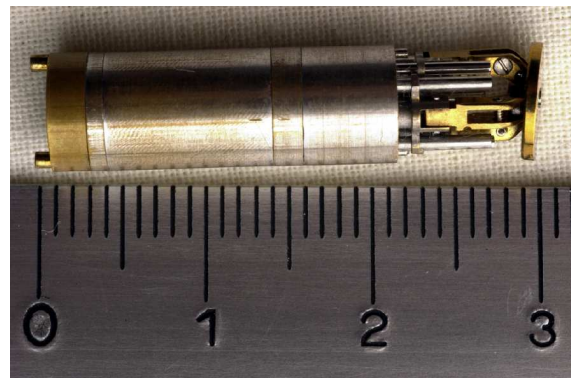


méthodologie validée par des applications industrielles



Film du déploiement

et sur nos propres prototypes

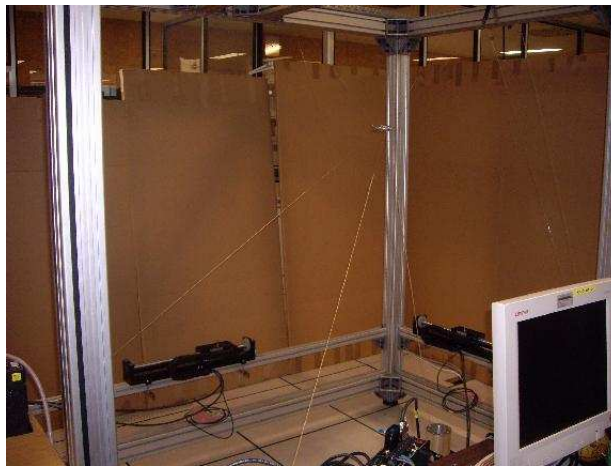


9 Un tournant vers la robotique de service

Robots parallèles à câbles

le robot SEGESTA

Le robot MARIONET



en mouvement

- mécanique modulaire
- algorithmique pour déterminer la configuration appropriée à la tâche

Applications visées

- robot laveur de vitres
- robot de rééducation
- interface haptique pour la réalité virtuelle
- robot de sauvetage
- robot de théâtre, de loisir
- robot de surveillance

10 Évolution vers la robotique de service

- plus grande possibilité d'interaction $\Rightarrow$ **certification**
 - **conception appropriée**
 - gestion des **incertitudes**
- utilisation de la modularité: même matériel, géométrie adaptée $\Rightarrow$ **flexibilité**
- environnement moins structurée: robots polymorphes ?
- **design for control**