

PRISME
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

JETSAN – 2017
La santé connectée

JetSan 2017
IUT de Bourges 31 mai - 1^{er} juin 2017

Generalized Framework for Control of Redundant Manipulators in RA-MIS

Contrôle dynamique d'un manipulateur redondant :
application à la chirurgie mini-invasive robotisée

Juan Sebastián SANDOVAL-ARÉVALO
Pierre VIEYRES
Gérard POISSON

01/06/2017
6^{ème} édition du colloque JETSAN

1 juin 2017

UNIVERSITÉ D'ORLÈANS
INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES CENTRE VAL DE LOIRE

PRISME
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

INTRODUCTION REDONDANCE COMMANDE PROPOSÉE RÉSULTATS

Contexte:
Besoin : Anesthésie Logo Régionale écho-guidée (ultrasons)
Equipe Médipôle-Garonne Toulouse – projet Région Danieal



↑

- Expert dépendant : détection du nerf
- Aide au geste : insertion d'aiguille
- Assistance robotisée

UNIVERSITÉ D'ORLÈANS
INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES CENTRE VAL DE LOIRE



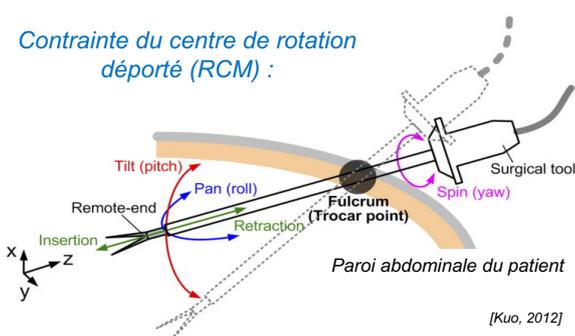
PRISME
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

INTRODUCTION
REDONDANCE
COMMANDE PROPOSÉE
RÉSULTATS

Enjeux scientifiques :

Application : chirurgie mini-invasive assistée par comanipulation robotique

Contrainte du centre de rotation déporté (RCM) :



[Kuo, 2012]





INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
CENTRE VAL DE LOIRE

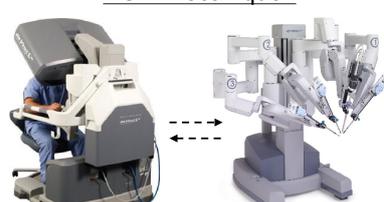


PRISME
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

INTRODUCTION
REDONDANCE
COMMANDE PROPOSÉE
RÉSULTATS

Enjeux scientifiques :

- RCM mécanique :



Cinématique en parallélogramme



[Kuo, 2012]

[da Vinci® Surgical System, Intuitive Surgical]





INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
CENTRE VAL DE LOIRE

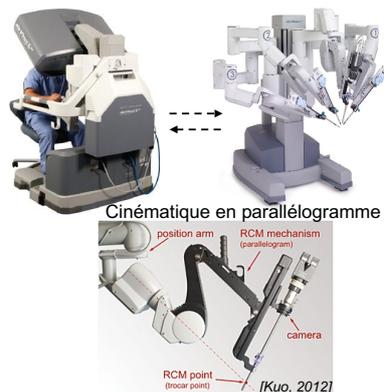


PRISME
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

INTRODUCTION
REDONDANCE
COMMANDE PROPOSÉE
RÉSULTATS

Enjeux scientifiques :

- **RCM mécanique :**



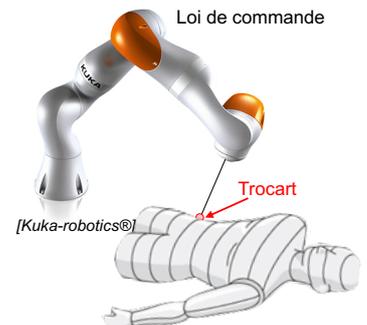
Cinématique en parallélogramme

[Kuo, 2012]

[da Vinci® Surgical System, Intuitive Surgical]

- **RCM programmable :**

Loi de commande



[Kuka-robotics®]

Trocart

↑ Versatilité
 ↓ Sécurité du patient



UNIVERSITÉ D'ORLÈANS



INSA

INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
CENTRE VAL DE LOIRE

01/06/2017



PRISME
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

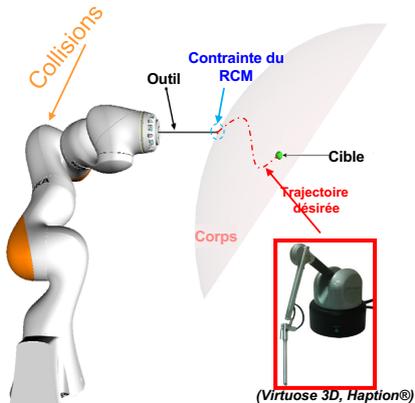
INTRODUCTION
REDONDANCE
COMMANDE PROPOSÉE
RÉSULTATS

Système robotisé redondant pour la chirurgie mini-invasive :



- Interaction Opérateur/Robot
- Espace de travail
- Gestion des collisions; Tâches
- Redondance

- Trajectoire outil > Système haptique



(Virtuose 3D, Haption®)



UNIVERSITÉ D'ORLÈANS



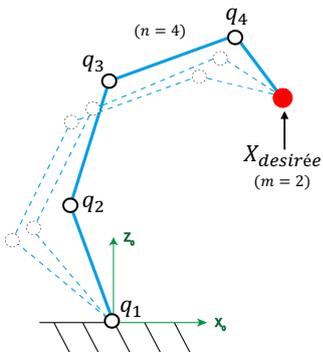
INSA

INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
CENTRE VAL DE LOIRE

01/06/2017

PRISME
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique
INTRODUCTION **REDONDANCE** COMMANDE PROPOSÉE RÉSULTATS

Redondance cinématique :



(n = 4)
X_{desirée}
(m = 2)

- Un robot est considéré redondant si :

$m < n$
m = dimension de l'espace de déplacement
n = dimension de l'espace articulaire
- Plusieurs configurations articulaires garantissent une même position
- Exploitation : autres tâches (évitement...)

Espace redondant → **Espace nul**

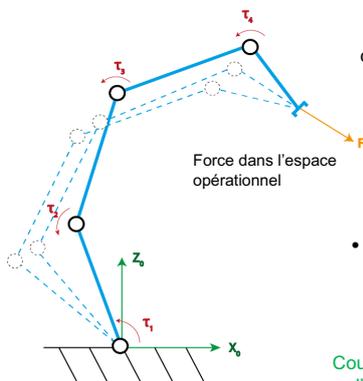
01/06/2017



INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
CENTRE VAL DE LOIRE

PRISME
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique
INTRODUCTION **REDONDANCE** COMMANDE PROPOSÉE RÉSULTATS

Redondance en dynamique :



Force dans l'espace opérationnel

- Modèle dynamique d'un manipulateur :

Couple de commande
Matrice d'inertie
Forces gravitationnelles

$$\dot{\tau} = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) - J^T F_{ext}$$

Forces centrifuges
Forces externes
- Solution dynamique généralisée :

$$\tau_c = \tau_1 + \tau_N + \hat{C}(q, \dot{q})\dot{q} + \hat{g}(q)$$

C couple de commande dans l'espace opérationnel, « tâche primaire » : trajectoire

C couple de commande dans l'espace nul « tâche secondaire »

01/06/2017

PRISME
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique
INTRODUCTION REDONDANCE **COMMANDE PROPOSÉE** RÉSULTATS

Approche de commande proposée : priorité entre les tâches

- Solution dynamique généralisée :

$$\tau_c = \tau_1 + \tau_N + \hat{C}(q, \dot{q})\dot{q} + \hat{g}(q)$$

← Espace opérationnel
← Espace nul
- Multiples tâches dans l'espace nul :

$$\tau_N = \sum_{i=2}^r N_i(q)\tau_i = \sum_{i=2}^r N_i(q)J_i^T F_i$$
- Projecteur dans l'espace nul :

$$N_i(q) = I - J_{i-1}^A(q)^T (J_{i-1}^A(q))^+$$

Avec, $J_{i-1}^A(q) = \begin{bmatrix} J_1(q) \\ J_2(q) \\ \vdots \\ J_{i-1}(q) \end{bmatrix}$

01/06/2017 → Ni garantit la priorité stricte entre les tâches :
(evitement obstacle, gestion singularité..)

PRISME
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique
INTRODUCTION REDONDANCE **COMMANDE PROPOSÉE** RÉSULTATS

Approche de commande proposée : priorité entre les tâches

- Priorités des tâches :
 1. Commande en impédance cartésienne pour la trajectoire de l'outil:

$$\tau_1 = J_1^T [K_c(x_d - x) + D_c(\dot{x}_d - \dot{x})]$$

Force du type « ressort-amortisseur »

01/06/2017

PRISME
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

INTRODUCTION REDONDANCE **COMMANDE PROPOSÉE** RÉSULTATS

Approche de commande proposée :

- Priorités des tâches :
 1. Commande en impédance cartésienne
 2. Contrainte du RCM , minimiser distance D

$$\tau_2 = J_{RCM}^T [K_r(t_a - t) + D_r(\dot{t}_a - \dot{t})]$$

$t = D$
 $\dot{t}_a = \dot{t}_a = 0$

11

01/06/2017

PRISME
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche
Ingénierie des Systèmes, Mécanique, Énergétique

INTRODUCTION REDONDANCE **COMMANDE PROPOSÉE** RÉSULTATS

Approche de commande proposée :

- Priorités des tâches :
 1. Commande en impédance cartésienne
 2. Contrainte du RCM
 3. Compliance dans le corps du robot :

$$\tau_3 = [K_j(q_a - q) + D_j(\dot{q}_a - \dot{q})]$$

↑
Configuration articulaire désirée

12

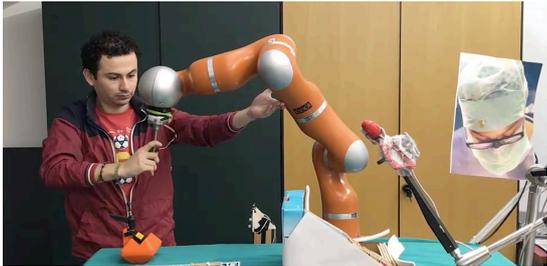
01/06/2017

PRISME
Laboratoire Pluridisciplinaire de Recherche
Ingénierie des Systèmes, Mécanique Énergétique

JetSan 2017
La Santé Connectée

15

Merci de votre attention



Juan Sandoval @ NearLab (Politecnico di Milano, Mai 2017)

01/06/2017

UNIVERSITÉ D'ORLÈANS
INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
CENTRE VAL DE LOIRE