

Robot médical pour l'implantologie dentaire : identification d'un axe

Richard CHAUMONT^{1,2}, Eric VASSELIN¹, Marc GORKA¹, Dimitri LEFEBVRE¹

¹GREAH - Université du Havre - 25, rue Philippe LEBON - BP 540 - 76058 LE HAVRE Cedex

²Dental View - 11, allée des cascades - BP63154 - 95278 VILLEPINTE

richard.chaumont436@univ-lehavre.fr ; richard.chaumont@tiscali.fr

1. Introduction

La robotique a trouvé un nouveau type d'application dans le milieu chirurgical où elle participe à l'assistance du chirurgien offrant au patient une chirurgie moins traumatisante et a minima - invasive. Notre travail a pour ambition de proposer in fine, un robot médical dédié à l'implantologie dentaire. La pose d'un implant dentaire est actuellement la seule technique permettant de restaurer la dentition d'un patient de manière quasi définitive. Particulièrement sensible, elle nécessite une grande précision. L'implant dentaire assure un confort au patient et peut amener une réduction globale des coûts en raison de sa longévité et des absences de complication inhérentes aux prothèses classiques. Dans les cas difficiles, les chirurgiens dentistes sont confrontés à un geste complexe. Aujourd'hui, la difficulté est d'améliorer les techniques de pose en tenant compte des contraintes biomécaniques et prothétiques induites par le respect de critères esthétique, phonétique et masticatoire. En particulier, les problèmes à résoudre sont les suivants [1] :

- Comment ajuster la position de l'implant en s'écartant le moins possible de l'axe prothétique pour que les forces qui s'appliqueront sur la prothèse soient dirigées selon l'axe de " fixture " ?
- Comment optimiser le positionnement relatif de deux implants adjacents ?
- Comment optimiser la position de l'implant en fonction de la densité osseuse ?
- Comment rendre l'opération moins invasive ?

Une réponse est la chirurgie guidée par l'image. Cette solution se base sur un système de navigation optique de positionnement absolu permettant de connaître la position en temps réel de l'outil du chirurgien par rapport au patient. L'opération est planifiée à partir des données scanner, ou d'images radiographiques pour les cas cliniques simples. La technique consiste à initialiser le recalage entre les données images patient et un nuage de points obtenu en balayant des points singuliers sur la mâchoire du patient avec une sonde ultra son. La mâchoire du patient est ensuite suivie en temps réel grâce au système de navigation.

2. Descriptif du système

Le rôle de la machine de navigation chirurgicale est de guider le chirurgien par l'image et de le contraindre mécaniquement à respecter l'orientation de la fraise tel que définie en planification préopératoire. A l'aide d'un

système de stéréovision, la position et l'orientation du patient et du robot sont connues par rapport aux structures anatomiques du patient.



Le robot médical fait partie de la famille des robots semi-actifs. Le praticien actionne le bras robotisé comme un instrument. Durant l'intervention, le robot asservit l'orientation de la fraise pendant la phase de perçage.

FIG.1 - Robot semi actif

Ce robot est doté de six degrés de liberté. Un porteur passif de type scara comportant une translation verticale et deux rotations horizontales et un poignet comportant 3 degrés de liberté concourants équipés de trois servomoteurs, de manière à asservir l'orientation de perçage pendant l'opération. Les consignes angulaires ad hoc sont déterminées en inversant le modèle géométrique idéal du poignet du robot.

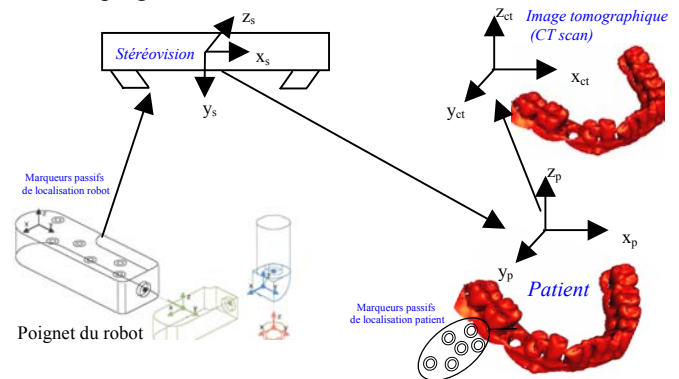


FIG.2 - Repères du système

3. Identification d'un axe [2]

La modélisation géométrique a permis de déterminer les consignes qui permettent d'obtenir l'orientation de l'outil définie lors de la planification. Dans ce paragraphe nous allons décrire la modélisation dynamique d'un axe du robot. Le schéma bloc de l'ensemble moto-réducteur et de l'électronique de commande est représenté par la fig.3.

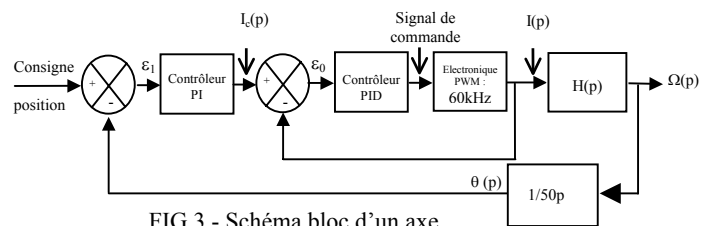


FIG.3 - Schéma bloc d'un axe

3.1. Identification électromécanique

L'identification est réalisée en boucle fermée. La sortie est la vitesse et l'entrée le courant. La fig.4 représente le protocole d'identification. Il est réalisé à vide sans couple perturbateur parasite. L'axe du robot a été placé de telle sorte que le moment d'inertie est constant quel que soit la position angulaire. La courbe bleue (en haut) est le courant en mA et la courbe verte (en bas) la vitesse angulaire en qc/ms (quater-count par milli-seconde).

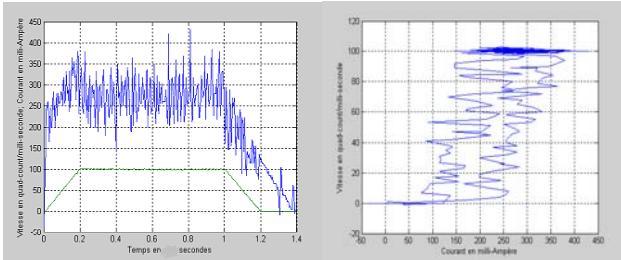


FIG.4 - Allure du protocole FIG.5 - Hystérésis du système

L'analyse de la réponse temporelle de la fig.4 nous montre une dissymétrie du courant générant l'accélération par rapport au courant générant la décélération. Le processus est non linéaire. La fig.5 représente la caractéristique entrée sortie du processus. Elle montre la présence d'une zone morte et d'un hystérésis. La fonction de transfert électromécanique $\Omega(p) / I(p)$ est représentée sur la fig.9.

3.2. Identification électronique

La fonction de transfert identifiée a pour sortie le courant et pour entrée la consigne. Elle représente, la partie électronique du système qui se compose du variateur et de son correcteur. L'identification est réalisée en boucle fermée. La fig.6 représente le protocole d'identification. Il est réalisé à vide sans couple perturbateur parasite. La courbe bleue est la consigne du courant et la courbe verte le courant. Une étude exhaustive de l'électronique de commande nous a montré que la fonction de transfert $I(p) / I_c(p)$ est un second ordre surtensif avec un zéro stable.

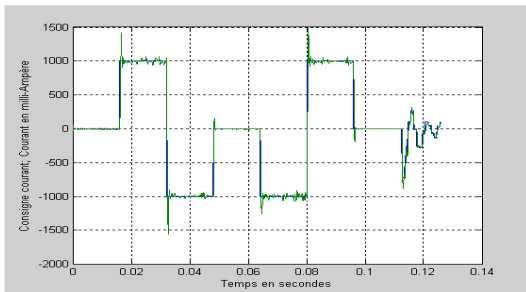


FIG 6 – Allure du protocole

3.3. Comparaison modèle - processus

Pour valider le modèle nous lui appliquons le même signal de consigne en courant issu des enregistrements des protocoles d'identification que nous avons effectués.

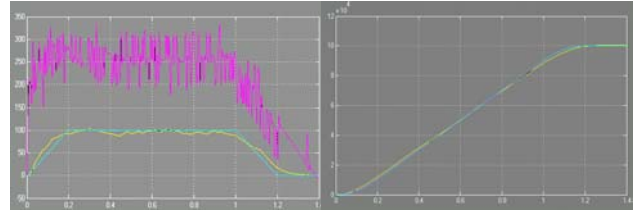


FIG.7 – Réponse en vitesse. FIG.8 – Réponse en position

La fig.7 nous montre la consigne de courant, en magenta, générée par la carte de contrôle commande et la vitesse réelle en bleu ciel. La courbe jaune est la réponse en vitesse du modèle complet, la distance modèle processus est acceptable compte tenu de la non linéarité du processus. La fig.8 montre respectivement la position obtenue par le modèle complet, la position réelle en bleu ciel et la position modèle en jaune. Elles sont confondues, le modèle mathématique complet, fig.9, que nous avons défini est fidèle et peut être validé.

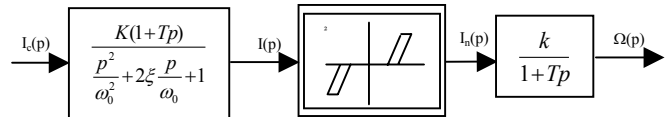


Fig.9 – Modèle complet d'un axe

4. Perspectives des travaux de recherche

La démarche mise en œuvre pour l'identification de l'axe étudié pourra être appliquée de façon générique sur les autres axes et ainsi on pourra simuler le comportement dynamique du robot et mettre au point une commande de niveau 2 la plus performante et la plus sûre possible. D'autre part, nos travaux porteront sur les points suivants :

- Etude de la précision, calibration du poignet,
- Découplage position / orientation de l'outil, minimisation des mouvements de l'outil,
- Gestion de l'environnement, gestion des collisions, ergonomie.

Ce robot médical est un système semi-actif et invasif. Par conséquent, une analyse exhaustive de la sûreté de fonctionnement sera mise en œuvre pour définir les sécurités à mettre en œuvre au niveau matériel électrique, mécanique et logiciel. Ensuite des simulations et des expérimentations cliniques seront réalisées.

Annexe

Les auteurs remercient le Docteur DERYCKE, chirurgien dentiste implantologue, PDG de DENTAL VIEW.

Références

- [1] DUTREUIL JULIEN. Modélisation 3D et robotique médicale pour la chirurgie. Thèse de sciences, Ecole des Mines de Paris, septembre 2001.
- [2] RICHALET JACQUES. Pratique de l'identification. Edition Hermes, 1998.