Conception de la commande d'un robot chirurgical★

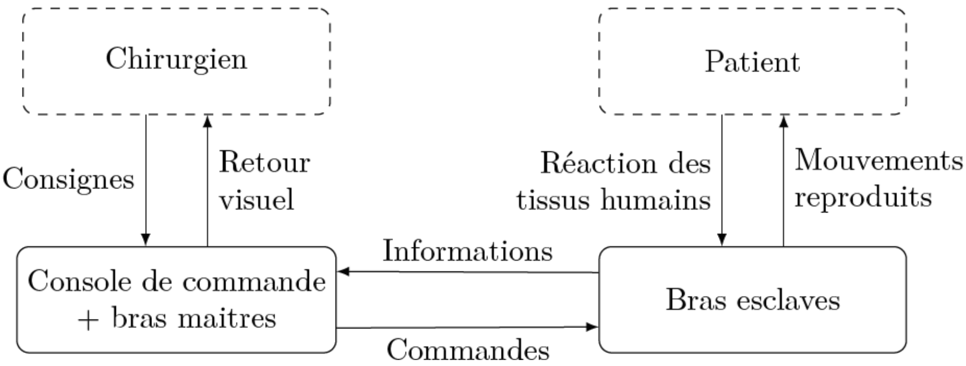
B2-07

Présentation du système

Afin d'améliorer les conditions d'opérations chirurgicales dites mini invasives (comme la précision d'opération et le confort du chirurgien), des robots chirurgicaux ont vu le jour. Cette étude s'intéresse à l'un d'entre eux : le robot Da Vinci. Le chirurgien peut atteindre sa cible grâce à des outils longs et fins traversant le patient grâce à une incision de l'ordre du centimètre.

Le système étudié est composé de deux sous-systèmes principaux :

- l'ensemble {console de commande + bras maîtres} permet au chirurgien de visualiser et de commander les mouvements des outils adéquats à l'intérieur du patient via une caméra haute définition dont l'image est retransmise par l'intermédiaire d'écrans. Le chirurgien commande les mouvements des outils grâce à deux bras maîtres dont les extrémités sont maintenues dans chaque main ;
- les bras esclaves reçoivent les consignes issues du chirurgien par l'intermédiaire des bras maîtres. Il y a au total 3 bras esclaves : deux manipulent chacun un outil, le troisième manipule une caméra.



Le mouvement de l'axe 1 est régi par l'équation suivante : $\Delta C_1(t) = J\dfrac{\mathrm{d}^2\Delta\theta_1(t)}{\mathrm{d}t^2} - k_1\dfrac{r'_9}{r_0}h_2\Delta F_x(t)$ avec $J = 1{,}98 \times 10^{-5}\,\mathrm{kg\,m^2}$, $k_1\dfrac{r'_9}{r_0} = 0,00717$, $h_2 = 0{,}2\,\mathrm{m}$.

Le couple moteur $\Delta C_1(t)$ est fourni par une machine à courant continu modélisée par les équations suivantes : $u_1(t) = L\dfrac{\mathrm{d}i_1(t)}{\mathrm{d}t} + Ri_1(t) + e_1(t)$, $e_1(t) = k_e\dfrac{\mathrm{d}\Delta\theta_1(t)}{\mathrm{d}t}$, $\Delta C_1(t) = k_t i_1(t)$ avec $u_1(t)$ la tension aux bornes du moteur, $i_1(t)$ l'intensité traversant le moteur et $e_1(t)$ la force contre électromotrice, avec $R = 2{,}08\,\Omega$, $k_t = 0{,}0525\,\mathrm{N\,m\,A^{-1}}$ et $k_e = 0{,}0525\,\mathrm{V\,s\,rad^{-1}}$.

On fait l'hypothèse que l'influence de l'inductance L est négligeable sur les performances attendues, soit $L = 0$.

La consigne est notée $\Delta\theta_{c1}(t)$. Le cahier des charges sélectif conduit à choisir un correcteur associant une anticipation (via la présence de σ_4 dans la relation suivante) et une correction PID. La tension de commande du moteur est donnée par : $U_1(p) =$

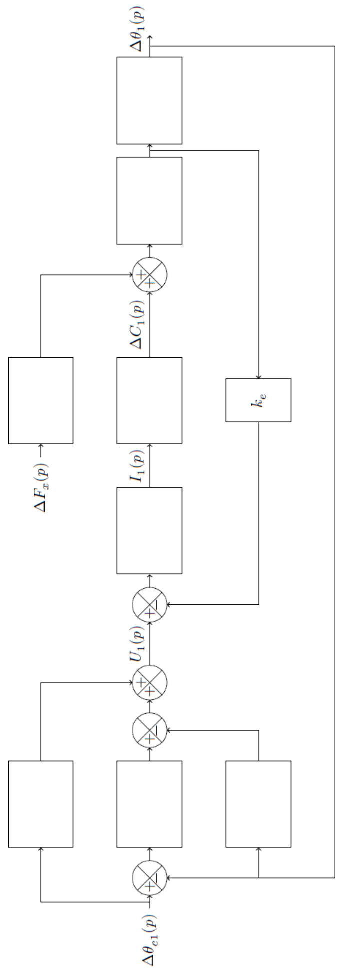
$(\Delta\theta_{c1}(p) - \Delta\theta_1(p))\left(\sigma_1 + \dfrac{\sigma_2}{p}\right) - \sigma_3 p \Delta\theta_1(p) + \sigma_4 \Delta\theta_{c1}(p)$ avec $\Delta\theta_{c1}(p)$ la consigne de position angulaire exprimée dans le domaine symbolique.

Question 1 Compléter le schéma-blocs.

Pour la suite, on considère la perturbation nulle ($\Delta F_x(p) = 0$).

Question 2 À partir de ce schéma-blocs, en notant $H_{\text{processus}}(p) = \dfrac{\Delta\theta_1(p)}{U_1(p)} = \dfrac{K}{p\,(1+\tau p)}$, exprimer K et τ en fonction des données de l'énoncé.

Question 3 Exprimer la fonction de transfert en boucle fermée, sous sa forme canonique, notée $B_F(p) = \dfrac{\Delta\theta_1(p)}{\Delta\theta_{c1}(p)}$ en fonction de K, τ, σ_1, σ_2, σ_3 et σ_4.



1. $A(p) = \sigma_4$, $B(p) = \sigma_1 + \dfrac{\sigma_2}{p}$, $C(p) = \sigma_3 p$, $D(p) = \dfrac{1}{R+Lp}$, $E(p) = k_1 \dfrac{r_9'}{r_0} h_2$, $F(p) = k_t$, $G(p) = \dfrac{1}{Jp}$, $H(p) = \dfrac{1}{p}$.
2. $K = \dfrac{1}{k_e}$ et $\tau = \dfrac{RJ}{k_t k_e}$.
3. $B_F(p) = K \dfrac{(\sigma_1 + \sigma_4)\,p + \sigma_2}{\tau p^3 + p^2\,(1+\sigma_3) + \sigma_1 K p + \sigma_2 K}$.

Corrigé voir .