

LE ROBOT HUMANOÏDE LOLA

Le développement de robots à forme humaine est en croissance constante depuis quelques dizaines d'années. En robotique, il est difficile d'affirmer que tous les robots remplaçant l'homme dans ses tâches doivent être de forme humaine. Les véhicules autonomes, par exemple, ne sont pas anthropomorphes. Les tâches auxquelles sont destinés les robots définissent leur forme idéale. Si nous souhaitons un jour que les robots remplacent l'homme dans ses tâches ennuyeuses, ils devront s'intégrer au mieux à notre société, à notre environnement et à notre ergonomie.

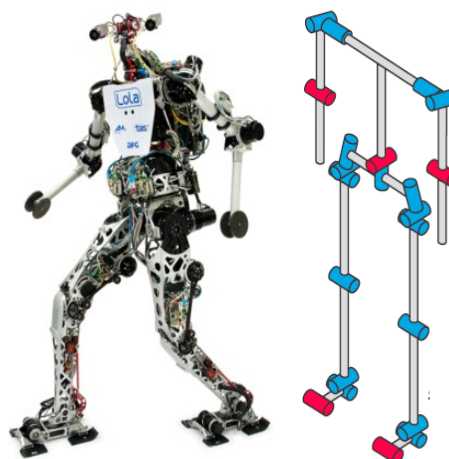


Figure 1

Les dimensions d'une maison et la hauteur des meubles sont adaptées à notre forme humaine. L'avantage des robots humanoïdes devient alors économique : il n'est pas indispensable de modifier l'environnement quotidien pour les utiliser. Le robot humanoïde LOLA (figure 1), développé par l'Université de Munich, est un robot de forme humaine conçu pour un mode de marche rapide. LOLA possède une structure à 25 degrés de liberté lui permettant une flexibilité accrue. Chaque jambe possède 7 degrés de liberté, le haut du corps 8 et la tête 3. Le robot est équipé d'une caméra stéréoscopique haute définition afin de percevoir son environnement, d'une centrale inertielle équipée de 3 gyroscopes et de 3 accéléromètres. Chaque articulation possède un codeur angulaire absolu et chaque pied est muni d'un capteur d'effort 6 axes permettant d'obtenir l'effort de contact avec le sol. Le diagramme partiel des exigences est donné en annexe 1.

Contrôle de la posture de LOLA

Pour assurer une marche rapide et stable de LOLA, la méthode choisie est le contrôle de la verticalité du tronc du robot. Le haut du corps (tronc, bras, tête voir **figure 2**) sera maintenu vertical en réalisant un asservissement de position angulaire au niveau de l'articulation de la hanche. L'action mécanique de redressement est développée par l'ensemble de motorisation de tangage autour de l'axe (O_T, \vec{x}_0) .

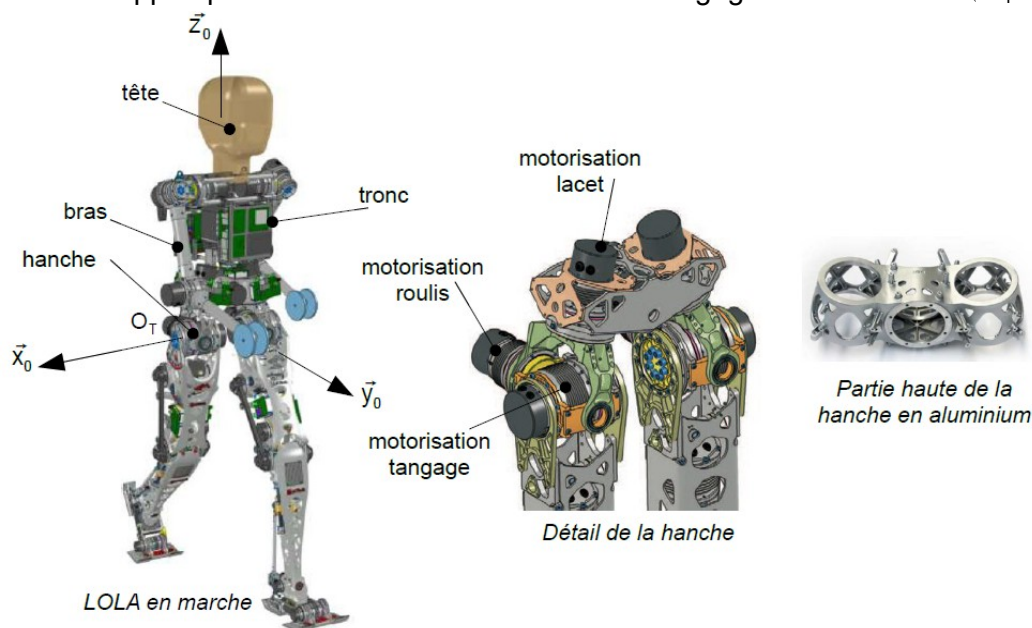


Figure 2

La chaîne structurelle permettant de modifier la posture du haut du corps autour de l'axe de tangage est représentée sur la figure 3. Elle est composée d'un moteur électrique (1,2) synchrone à aimants permanents piloté par un variateur électronique, d'un réducteur Harmonic-Drive® (3) de rapport de réduction 1/100, d'un codeur incrémental (5) ainsi que d'un codeur angulaire absolu (6+7).

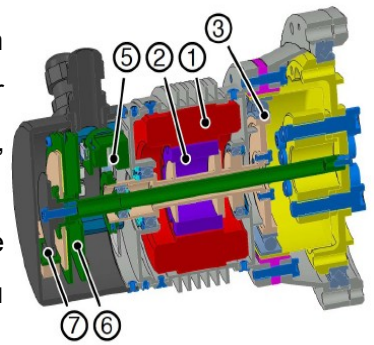


Figure 3

Une centrale inertielle équipée d'un accéléromètre, d'un gyroscope et d'une unité de traitement permet d'obtenir en temps réel la valeur de l'angle d'inclinaison du haut du corps par rapport à la verticale.

L'objectif de cette partie est de mettre en place un modèle du maintien vertical du tronc de LOLA et de déterminer une structure de commande permettant d'assurer les performances du cahier des charges de l'exigence 1.3.2.

Les performances dynamiques de l'axe de tangage doivent vérifier les critères suivants:

Sous-exigence 1.3.2.d : la performance dynamique de chaque axe permet de modifier la posture		
Critère	Niveau	Flexibilité
Marge de phase	$M\phi=90^\circ$	Mini
Erreur statique	0°	5% maxi
Bande passante à 0 dB en boucle ouverte	$\omega_{BP}=50 \text{ rad.s}^{-1}$	Mini
Temps de réponse à 5%	0,2 s	Maxi
Dépassement	1°	Maxi

1. Modèle de connaissance de la dynamique de tangage.

Le modèle mécanique utilisé pour mener notre étude est donné sur la figure 4. L'association des liaisons entre le tronc et les jambes au niveau de la hanche est équivalente, dans le plan sagittal $(O_T, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$, à une liaison pivot d'axe (O_T, \vec{x}_0) . Le tronc sera considéré comme un solide admettant le plan $(O_T, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ comme plan de symétrie. Le contrôle de l'angle s'effectue par l'intermédiaire du moteur asservi en position, suivi du réducteur

Harmonic-Drive® de rapport de réduction $r = \frac{1}{100}$.

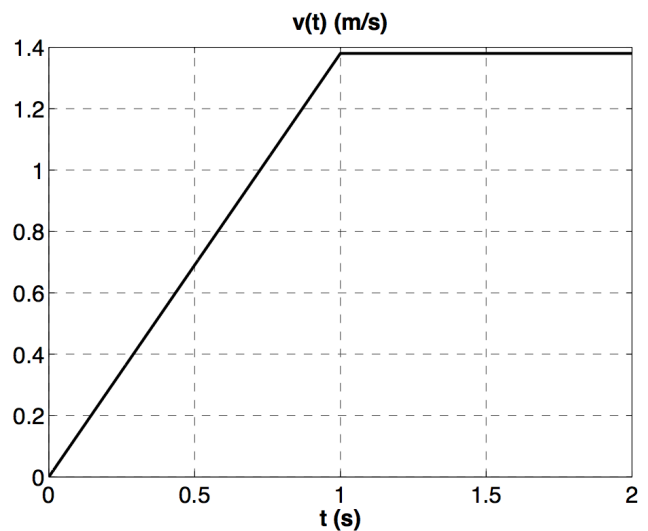
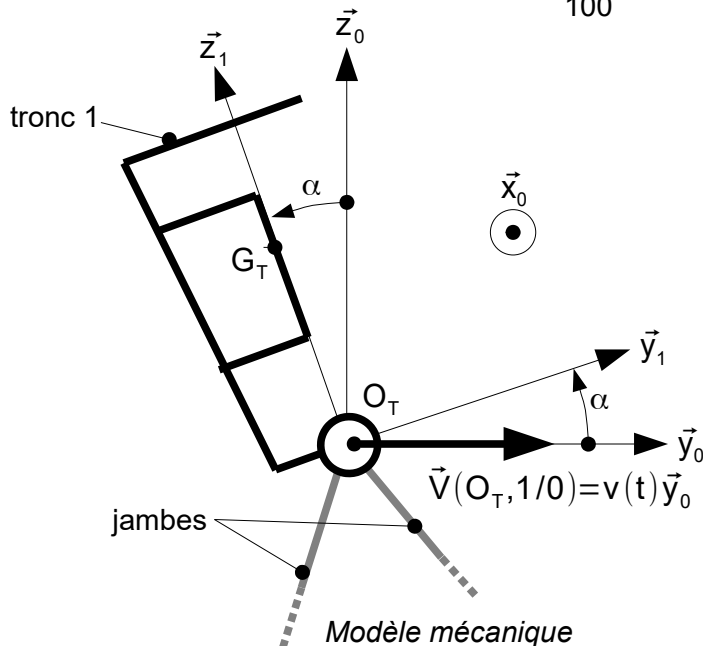


Figure 4

Loi de vitesse

Le couple moteur exercé sur l'arbre d'entrée du réducteur est noté C_m . Le réducteur Harmonic-Drive® sera considéré sans masse. La masse de l'arbre moteur est négligeable devant l'ensemble des autres grandeurs inertielles. Une étude dynamique a permis de montrer que l'équation différentielle du mouvement est :

$$J_{eq} \frac{d^2\alpha(t)}{dt^2} - m_1 g Z_G \alpha(t) = m_1 Z_G \frac{dv(t)}{dt} + \frac{C_m(t)}{r} \quad (1)$$

J_{eq} est le moment d'inertie équivalent de l'ensemble du tronc ramené sur l'axe moteur.

2. Modèle du contrôle actif de la position verticale.

On note $\Gamma(t) = \frac{dv(t)}{dt}$. Les conditions de Heaviside sont vérifiées. Le schéma-bloc du contrôle de la position angulaire du tronc de LOLA est représenté sur l'annexe 2. La consigne angulaire est nulle afin de garder le tronc du robot vertical: $\alpha_c(t) = 0$. Les transformées de Laplace des fonctions seront notées en majuscules et le paramètre de Laplace sera noté p . Le comportement du moteur sera considéré comme celui d'un moteur à

courant continu dont les équations de comportement sont les suivantes : $u_c(t) = e(t) + L \frac{di(t)}{dt} + Ri(t)$; $e(t) = k_e \omega_m(t)$ et $C_m(t) = k_c i(t)$.

Question 1 :

Indiquer sur le document-réponse les fonctions de transfert des blocs B_1 , B_2 , B_3 , B_4 , B_5 , B_6 et B_7 ainsi que l'expression de la fonction de transfert $H_1(p)$.

Afin d'analyser la stabilité de cet asservissement, nous cherchons à déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte du système non-corrigé : $F(p) = \frac{\alpha(p)}{U_c(p)}$ en supposant la perturbation nulle.

Question 2 :

Déterminer la fonction de transfert de la boucle dynamique $H_{dyn}(p) = \frac{\alpha(p)}{C_m(p)}$ en supposant la perturbation nulle.

Question 3 :

Déterminer la fonction de transfert en boucle ouverte non-corrigée de l'asservissement $F(p) = \frac{\alpha(p)}{U_c(p)}$.

Indiquer son ordre, sa classe et donner son gain statique K en fonction des données.

Une simulation numérique permet de montrer que $F(p)$ est de la forme $\frac{K}{(1 + \tau_1 p)(-1 + \tau_1 p)(1 + \tau_2 p)}$. Les diagrammes de Bode de cette fonction de transfert sont donnés sur le document-réponse.

Question 4 :

En analysant les diagrammes de Bode du document-réponse, déterminer les valeurs de τ_1 , τ_2 et K . Justifier en complétant les diagrammes du document-réponse avec les diagrammes asymptotiques de gain et de phase.

Pour la suite de l'étude, nous simplifierons $F(p)$ sous la forme suivante : $\frac{K}{(1 + \tau_1 p)(-1 + \tau_1 p)}$.

Question 5 :

Justifier le choix de cette simplification.

Question 6 :

Le contrôle angulaire de la posture du robot est il stable ?

Afin de résoudre ce problème, il est décidé d'asservir la chaîne directe en position et en vitesse. Pour cela, la centrale inertielle permet de mesurer l'angle de tangage $\alpha(t)$ ainsi que la vitesse angulaire $\frac{d\alpha(t)}{dt}$. L'asservissement ainsi réalisé est présenté sous la forme du schéma-bloc de la figure 8 (page 9).

$U_c(p)$ est la tension de commande en sortie du correcteur. La fonction de transfert de la centrale inertielle sera prise égale à $H_{ci}(p)=K_1(p+1)$.

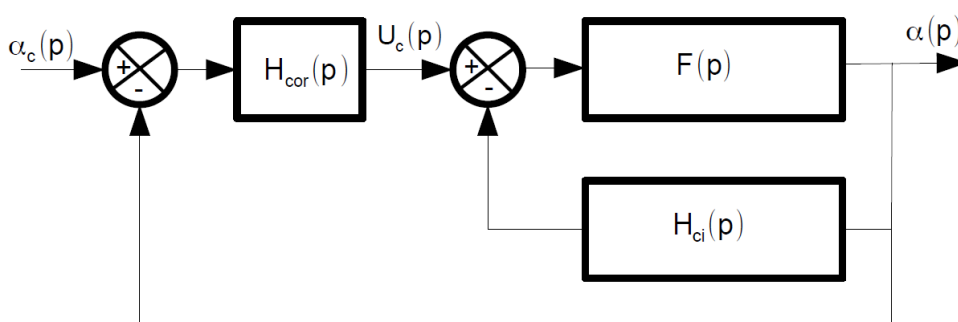


Figure 8

Question 7 :

Déterminer deux conditions sur K_1 pour que la fonction de transfert en boucle ouverte non-corrigée $\frac{\alpha(p)}{U_c(p)}$ soit stable. En déduire la valeur minimale de K_1 .

Question 8 :

Détermine la FTBO corrigée du système en prenant $H_{cor}(p)=K_c$.

Question 9 :

Tracer les diagrammes de Bode de gain et de phase pour $K_c=1$ et $K_1=10$.

Question 10 :

Déterminer le gain $K_c=1$ à choisir pour avoir une marge de phase de 90° .

Question 11 :

Déterminer le gain $K_c=1$ à choisir pour avoir une erreur statique de 5 %.

Question 12 :

Quelle conclusion peut-on tirer des résultats des questions précédentes.

DOCUMENT REPONSE

FTBO non corrigée

