



RAPPORT DE PROJET

HMEE311 : ROBOTIQUE HUMANOÏDE

Animation d'un lever de chaise d'un robot humanoïde à 5 degrés de liberté

Auteurs :
MM. ARTUSO et SANCHEZ

Tuteur : M. FRAISSE
Professeur Université de Montpellier
Équipes IDH et DEMAR (LIRMM)

Année 2015 - 2016

Table des matières

1	Introduction	2
2	Réalisation du modèle Simulink	3
3	Modèle Géométrique Direct et Jacobiennes	5
4	Réalisation de l'animation du robot	7
5	Bilan et perspectives	9

Table des figures

1	Dessin du schéma de contrôle.	3
2	Schéma de contrôle de notre système.	4
3	Sous-système contenant le modèle des actionneurs.	4
4	Dessin simplifié du robot humanoïde 2D.	5
5	Position initiale.	7
6	Étape intermédiaire 1.	7
7	Étape intermédiaire 2.	7
8	Étape intermédiaire 3.	7
9	Étape intermédiaire 4.	8
10	Position finale.	8
11	Évolution en x du centre de masse.	8
12	Évolution en y de la position de l'épaule.	8

1 Introduction

Dans le cadre d'un projet concernant la robotique humanoïde, M. FRAISSE, Professeur à l'Université de Montpellier, nous a proposé de réaliser l'animation d'un lever de chaise d'un robot humanoïde à 5 degrés de liberté.

Généralement un robot humanoïde en possède beaucoup plus (+ de 30 pour certains), mais pour des facilités de modélisation, l'aspect 3D du robot n'a pas été considéré, nous nous sommes contentés du système plan 2D. Le robot possède ainsi 5 articulations rotoïdes, représentées par des actionneurs. Ceux-ci sont placés respectivement au niveau : de la cheville, du genou, de la hanche, de l'épaule et du coude.

Le contexte est le suivant : dans un plan 2D (x,y), l'humanoïde est initialement assis sur une chaise fictive. Celui-ci doit se lever, sans tomber bien entendu, et atteindre une position désirée. Nous avons en charge la gestion de deux contraintes : il nous faut asservir la position du centre de masse en x du robot et la position en y d'un point de référence : l'épaule du robot.

Le cahier des charges mis en place par M. FRAISSE, est défini autour de trois objectifs à implémenter sous le logiciel «Matlab-Simulink». Le premier est de réaliser le schéma de câblage des différents blocs, équivalent aux équations déterminées lors des séances de cours.

Ensuite, le second objectif est de calculer les différents éléments nécessaires aux blocs du système : les calculs du Modèle Géométrique Direct, des Jacobien, de la position du centre de masse...etc. Pour cela, nous avons utilisé le bloc : «MATLAB Function» dans lequel nous avons exprimé et calculé ces informations.

Enfin, le dernier objectif est de simuler le système afin d'en vérifier le bon comportement au vu des conditions initiales et des contraintes désirées. Pour une meilleure visualisation, il est également demandé d'en faire une animation.

2 Réalisation du modèle Simulink

Lors des séances de cours, nous avons pu mettre en évidence que le schéma de contrôle de la position de l'épaule ou de la position du centre de masse sont quasiment identiques.

Notre but étant d'asservir les deux, une réponse rapide serait de créer les deux schémas de contrôle et de les appliquer au robot. Mais si les schémas de contrôle sont indépendants, le robot sera partagé entre des conflits d'objectifs. Il faut donc que nous réalisons un schéma de contrôle dont l'objectif de commande est double.

La loi de commande de notre système est la suivante :

$$\mathcal{E}_\theta = J_{CdM}^+ \cdot \mathcal{E}_{CdM} + (\mathbb{I} - J_{CdM}^+ \cdot J_{CdM}) \cdot \tilde{J}_{ep}^+ \cdot (\mathcal{E}_{Pep} - J_{ep} \cdot J_{CdM}^+ \cdot \mathcal{E}_{CdM})$$

avec :

- \mathcal{E}_θ : l'écart entre le θ mesuré et le θ désiré.
- \mathcal{E}_{CdM} : l'écart entre la position en x du centre de masse et celle désirée.
- \mathcal{E}_{Pep} : l'écart entre la position en y de l'épaule et celle désirée.
- \mathbb{I} : la matrice Identité.
- J_{CdM} : la Jacobienne exprimée au centre de masse en x.
- J_{ep} : la Jacobienne exprimée à la position en y de l'épaule.

$$\text{et : } \tilde{J}_{ep}^+ = J_{ep} \cdot (\mathbb{I} - J_{CdM}^+ \cdot J_{CdM})$$

Nous pouvons déduire le schéma de commande suivant (Voir Figure 1) :

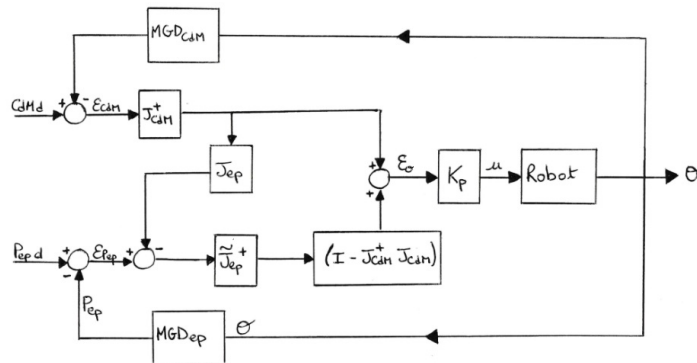


FIGURE 1 – Dessin du schéma de contrôle.

Pour ce qui est du schéma sous Simulink, nous avons choisi de le réaliser en deux blocs : le premier bloc est une «MATLAB Function» contenant tous les calculs nécessaires à la détermination des différentes variables évoluant dans notre schéma (Voir Figure 2). Le second est un sous-système contenant le modèle des moteurs des articulations rotoïdes du robot (Voir Figure 3).

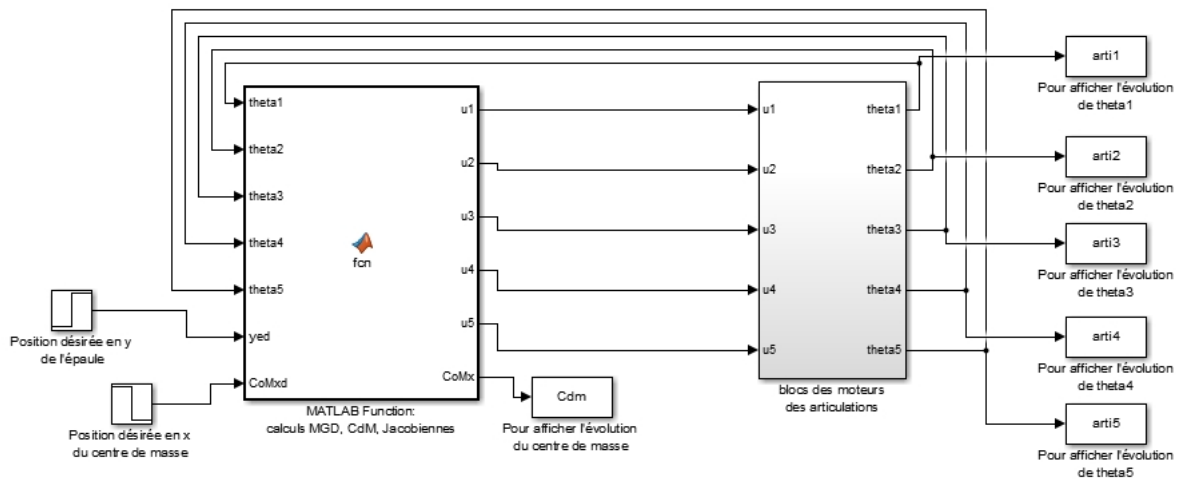


FIGURE 2 – Schéma de contrôle de notre système.

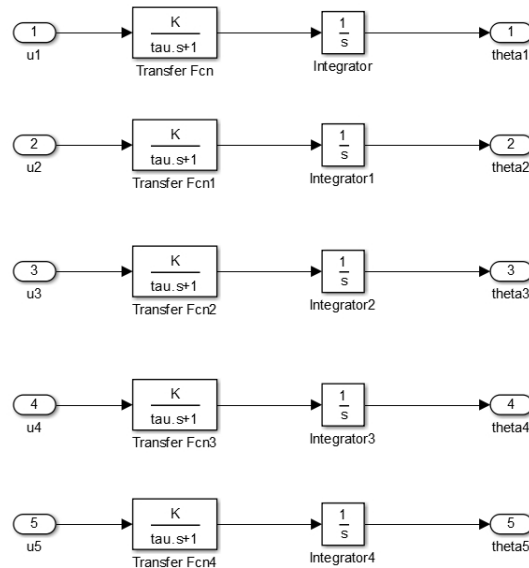


FIGURE 3 – Sous-système contenant le modèle des actionneurs.

3 Modèle Géométrique Direct et Jacobiennes

C'est à travers le Modèle Géométrique Direct, («MGD» par la suite), que nous calculons les coordonnées opérationnelles donnant la position de l'épaule en fonction des valeurs articulaires qui influent sur celle-ci.

Dans notre cas les articulations dites influentes sont la cheville, le genou et le bassin puisque de par leur configuration, elles positionnent l'épaule du robot. En revanche, toutes les articulations ont une influence sur le centre de masse du robot.

Pour une meilleure vision du robot, en voici un dessin (Voir Figure 4) :

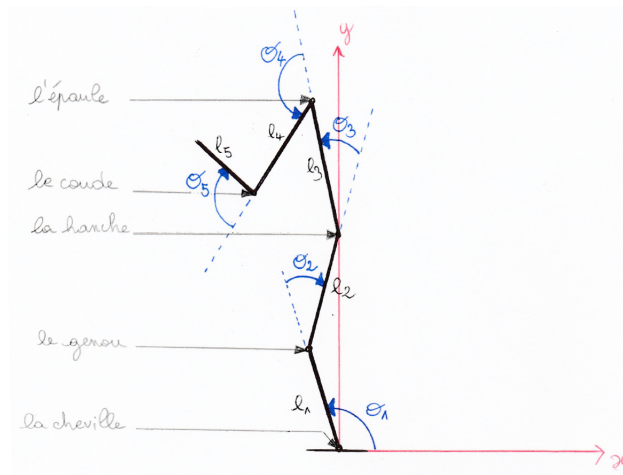


FIGURE 4 – Dessin simplifié du robot humanoïde 2D.

Soit Y_{ep} la position en y de l'épaule, le MGD de la position en y de l'épaule nous donne :

$$Y_{ep} = l_1 \cdot \sin(\theta_1) + l_2 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

Pour ce qui est de la position en x du centre de masse notée $CoMx$, le MDG est un peu plus long à obtenir :

La masse totale M du robot est donné par : $M = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5$

Par la suite, nous avons utilisé des variables intermédiaires pour limiter la taille des équations :

$$c_1 = \frac{1}{2} \cdot l_1 \cdot \cos(\theta_1) \cdot m_1$$

$$c_2 = (l_1 \cdot \cos(\theta_1) + \frac{1}{2} \cdot l_2 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2)) \cdot m_2$$

$$c_3 = (l_1 \cdot \cos(\theta_1) + l_2 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) + \frac{1}{2} \cdot l_3 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)) \cdot m_3$$

$$c_4 = (l_1 \cdot \cos(\theta_1) + l_2 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + \frac{1}{2} \cdot l_4 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4)) \cdot m_4$$

$$c_5 = (l_1 \cdot \cos(\theta_1) + l_2 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + l_4 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4) + \frac{1}{2} \cdot l_5 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 + \theta_5)) \cdot m_5$$

Nous obtenons ainsi :

$$CoMx = \frac{c_1 + c_2 + c_3 + c_4 + c_5}{M}$$

Passons maintenant aux calculs des Jacobiennes :

Comme précédemment, l'utilisation de variables intermédiaires est fort utile, notons :

$$\begin{aligned} S_1 &= \sin(\theta_1), & S_{12} &= \sin(\theta_1 + \theta_2), & S_{123} &= \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ S_{1234} &= \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4), & S_{12345} &= \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 + \theta_5) \end{aligned}$$

Même raisonnement pour les cosinus. Notons également :

$$\begin{aligned} J_1 &= -l_1 \cdot S_1 \cdot \left(\frac{m_1}{2} + m_2 + m_3 + m_4 + m_5\right) - l_2 \cdot S_{12} \cdot \left(\frac{m_2}{2} + m_3 + m_4 + m_5\right) - l_3 \cdot S_{123} \cdot \left(\frac{m_3}{2} + m_4 + m_5\right) \\ &\quad - l_4 \cdot S_{1234} \cdot \left(\frac{m_4}{2} + m_5\right) - l_5 \cdot S_{12345} \cdot \frac{m_5}{2} \\ J_2 &= -l_2 \cdot S_{12} \cdot \left(\frac{m_2}{2} + m_3 + m_4 + m_5\right) - l_3 \cdot S_{123} \cdot \left(\frac{m_3}{2} + m_4 + m_5\right) - l_4 \cdot S_{1234} \cdot \left(\frac{m_4}{2} + m_5\right) - l_5 \cdot S_{12345} \cdot \frac{m_5}{2} \\ J_3 &= -l_3 \cdot S_{123} \cdot \left(\frac{m_3}{2} + m_4 + m_5\right) - l_4 \cdot S_{1234} \cdot \left(\frac{m_4}{2} + m_5\right) - l_5 \cdot S_{12345} \cdot \frac{m_5}{2} \\ J_4 &= -l_4 \cdot S_{1234} \cdot \left(\frac{m_4}{2} + m_5\right) - l_5 \cdot S_{12345} \cdot \frac{m_5}{2} \\ J_5 &= -l_5 \cdot S_{12345} \cdot \frac{m_5}{2} \end{aligned}$$

Nous obtenons ainsi :

$$J_{CdM} = [J_1 \quad J_2 \quad J_3 \quad J_4 \quad J_5]$$

$$J_{ep}^+ = [l_1 \cdot C_1 + l_2 \cdot C_{12} + l_3 \cdot C_{123} \quad l_2 \cdot C_{12} + l_3 \cdot C_{123} \quad l_3 \cdot C_{123} \quad 0 \quad 0]$$

4 Réalisation de l'animation du robot

Une fois le schéma de contrôle du robot réalisé, il faut vérifier que celui-ci fonctionne. Afficher la valeur des angles θ_i ne permet pas de comprendre facilement ce que fait réellement le robot. Nous avons donc dessiné le robot simplifié en traçant des lignes jointes représentant les membres du robot. Nous avons spécifié les conditions initiales sur les θ_i afin de positionner notre robot au départ dans une telle configuration qu'il semble assis sur une chaise (Voir Figure 5). De plus, nous avons imposé les objectifs à atteindre : une position en x nulle du centre de masse et une position en y de l'épaule de 1m70 (robot debout et droit). Lors de la simulation, nous avons pris quelques «screenshots» pour montrer l'évolution du lever de chaise que réalise notre robot humanoïde (Voir Figures 6 à 9) avant d'atteindre la position désirée (Voir Figure 10).

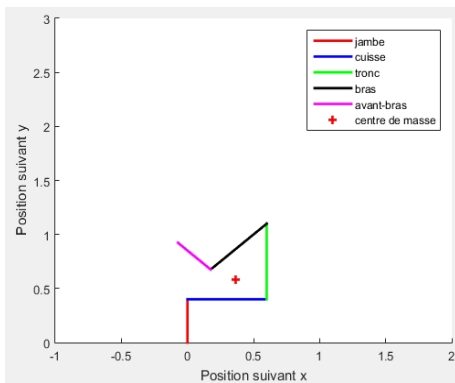


FIGURE 5 – Position initiale.

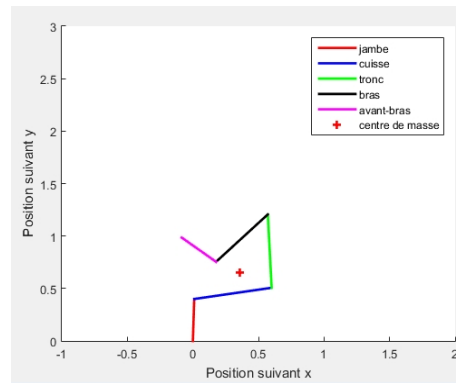


FIGURE 6 – Étape intermédiaire 1.

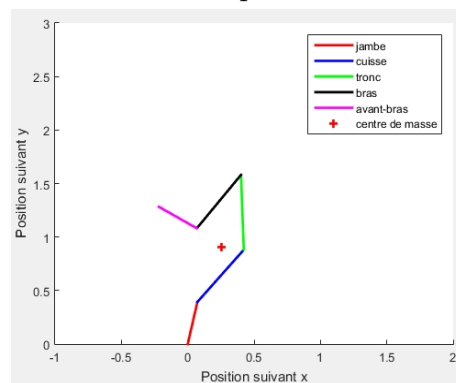
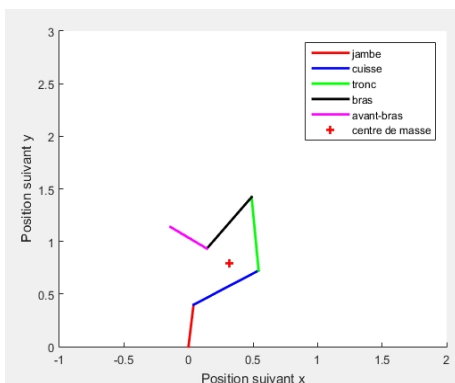


FIGURE 7 – Étape intermédiaire 2. FIGURE 8 – Étape intermédiaire 3.

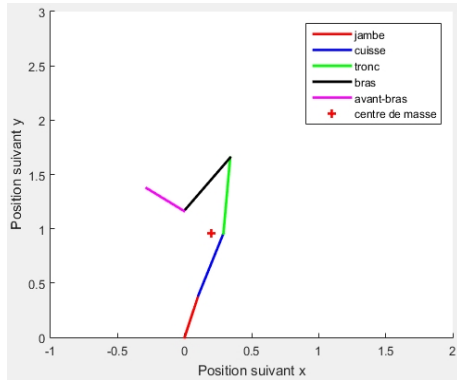


FIGURE 9 – Étape intermédiaire 4.

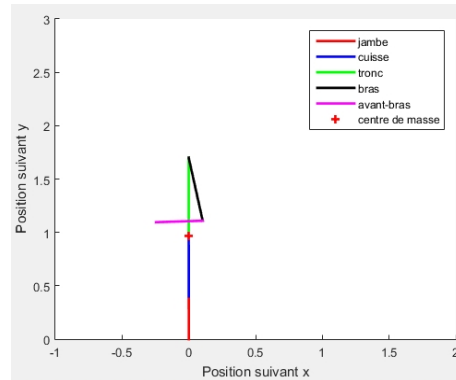


FIGURE 10 – Position finale.

À ce stade, nous pouvons faire quelques remarques :

- Le robot est debout et droit, il tend à atteindre la position en y désirée de l'épaule.
- Le centre de masse en x tend vers 0.

Pour s'en assurer, nous avons tracé son évolution au cours de la simulation (Voir Figures 11 et 12) :

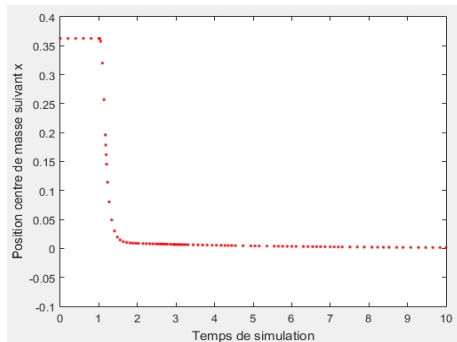


FIGURE 11 – Évolution en x du centre de masse.

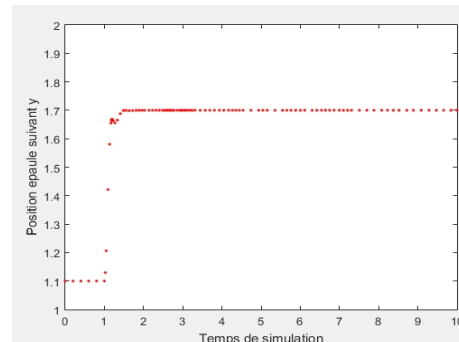


FIGURE 12 – Évolution en y de la position de l'épaule.

Au vu des résultats, nous pouvons affirmer que notre contrôle du robot humanoïde est fonctionnel, celui-ci réalisant son lever de chaise avec les deux contraintes que nous avons imposées.

5 Bilan et perspectives

Bien que le système réel de l'humanoïde 3D soit bien plus complexe, les travaux réalisés lors de ce projet nous ont permis de faire nos premiers pas en matière de commande de robot humanoïde sous contrainte. Et d'éprouver une réelle satisfaction lorsque le robot suit nos instructions, prouvant ainsi que le système de contrôle mis en place est fonctionnel.

Néanmoins, nous ne contrôlons pas tout : en contraignant le robot uniquement sur la position en y de son épaule et x de son centre de masse, nous pouvons remarquer que les articulations rotoïdes (de l'épaule et du coude) ont une infinité de solutions pour permettre au centre de masse de tendre vers 0 en x .

Pour contrôler la gestuelle des bras, nous pouvons émettre quelques pistes quant aux améliorations qui pourraient être mises en place sur notre projet :

- Imposer une troisième contrainte au robot peut être envisagée, il suffit de retravailler les équations du schéma de contrôle avec l'équation générale.
- Spécifier des butées articulaires à l'épaule de θ_4 peut contraindre le robot, notamment pour qu'il ait tendance à mettre les mains le long du corps.

Plus humainement, ce projet a également été l'occasion de réaliser un travail collaboratif ce qui permet de nous détacher un peu de notre statut d'étudiant et de mieux nous préparer à la vie active.

Le code source et le fichier de simulation sont disponibles sur :

<https://github.com/ArtusoAlexis/Humanoide>