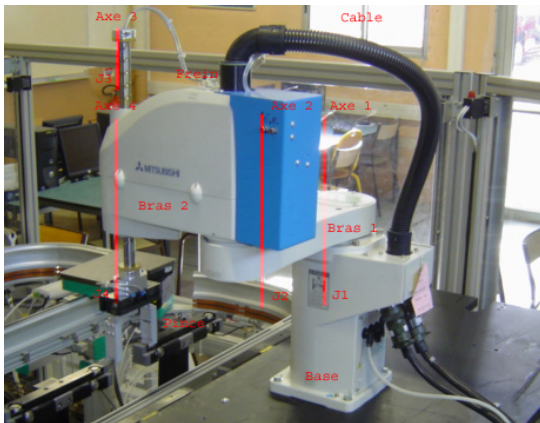


Étude d'un poste robotisé vision/robotique

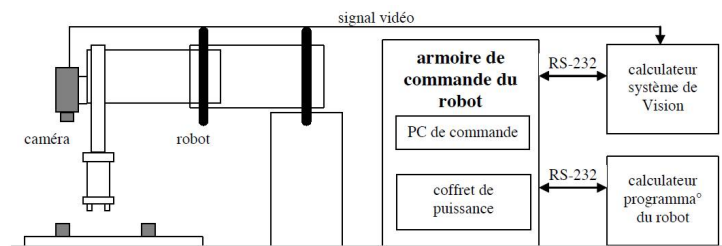
1 Présentation du TP

On s'intéresse ici à une problématique bien connue des chaînes industrielles où un poste de travail est souvent constitué d'un robot et d'une caméra (cf. figure 1). Le robot est utilisé pour manipuler des objets tandis que la caméra permet de déterminer l'emplacement de ces derniers dans la zone de travail. Il s'agit alors d'utiliser les informations fournies par la caméra pour commander le robot. Si l'on considère par exemple la prise/dépose d'objets arrivant en vrac sur un tapis roulant, ce problème peut être traité avec le séquençement suivant :

1. stopper le tapis roulant et faire une reconnaissance de la scène avec la caméra,
2. en déduire la position et l'orientation de l'objet à saisir dans le repère caméra,
3. ramener la situation dans le repère de base du robot,
4. déplacer le bras du robot jusqu'à l'objet,
5. saisir l'objet,
6. le déposer sur le poste de travail et l'évacuer,



(a) Le robot et ses liaisons.



(b) L'ensemble robot et caméra intelligente.

FIGURE 1 – Robot Mitsubishi RH-5AH55

Dans ce TP, nous nous intéressons aux étapes 3, 4 et 5 précédentes. Plus précisément, nous considérons le robot Mitsubishi RH-5AH55 (cf. figure 1a) équipé d'une caméra intelligente (cf. figure 1b) au sens où elle est couplée à un système de reconnaissance d'objets capable de fournir la position et l'orientation de l'objet à saisir **dans le repère de la caméra**.

Le robot Mitsubishi considéré est un robot qui présente une structure particulière appelée SCARA¹ très utilisée dans l'industrie. Il s'agit d'un robot qui comporte 4 liaisons (3 rotoïdes et 1 prismatique) dont les axes respectifs sont tous verticaux (cf. figures 2a). Les deux premières liaisons rotoïdes permettent de positionner le centre de l'outil, la 3e liaison prismatique permet de saisir l'objet d'intérêt, la dernière liaison rotoïde offrant un degré de liberté supplémentaire pour orienter correctement l'organe terminal. La caméra est, quant à elle, rigidement fixée au **deuxième corps mobile du robot**. Cela signifie qu'elle ne se déplace qu'avec les deux premières liaisons. Les figures 2 et 4 font apparaître la structure mécanique typique du robot Mitsubishi ainsi que les différents repères et points nécessaires.

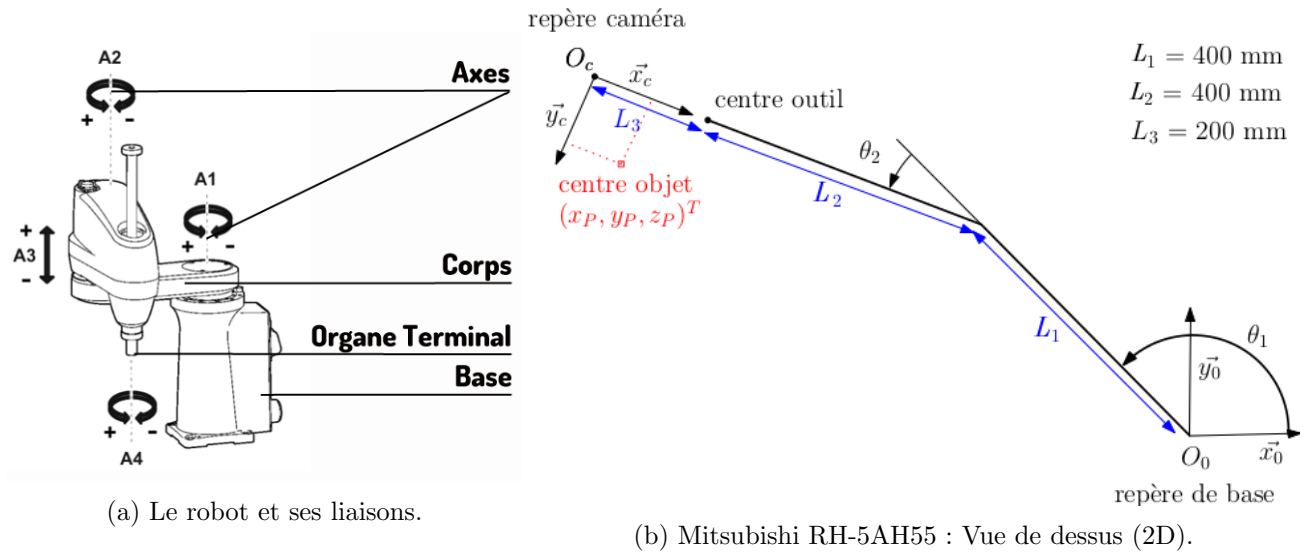


FIGURE 2 – Structure mécanique du robot RH-5AH55 et visualisation des repères

\mathcal{R}_0 (O_0 , \vec{x}_0 , \vec{y}_0 , \vec{z}_0) et \mathcal{R}_c (C , \vec{x}_c , \vec{y}_c , \vec{z}_c) représentent respectivement les repères liés à la base du robot et à la caméra. Le repère \mathcal{R}_4 (O_4 , \vec{x}_4 , \vec{y}_4 , \vec{z}_4), lié à l'organe terminal, désignera le repère outil. L'objectif de cette séance de travaux pratiques est de déterminer la situation de l'objet à saisir dans \mathcal{R}_0 (O_0 , \vec{x}_0 , \vec{y}_0 , \vec{z}_0), connaissant les informations renvoyées par le dispositif de vision puis de déplacer le robot de manière à saisir l'objet.

2 Travail à effectuer

Le développement sera effectué à l'aide du logiciel Matlab². Des fonctions de visualisation ainsi qu'un programme de base (`etudiant_vide.m`) à compléter sont accessibles dans le répertoire suivant : `partage/commun/MasterAURO/ROB`. Les questions suivantes vous aideront à compléter « les trous » qui ont été laissés dans le fichier `etudiant_vide.m`.

2.1 Modélisation du robot

1. Pour les configurations indiquées dans le fichier `etudiant`, à l'aide de la fonction `drawBM` fournie, afficher le bras manipulateur. Visualiser les différents axes afin d'appréhender la structure mécanique du bras manipulateur.
2. Écrire une fonction matlab permettant de calculer le modèle géométrique direct.
3. Valider votre modèle.

1. 'Selective Compliant Assembly Robot Arm', ou 'Bras robotisé d'assemblage à mobilité sélective'.
2. Il peut aussi être réalisé à l'aide du logiciel libre Octave.

2.2 Modélisation de la tâche

Pour pouvoir aller saisir la pièce d'intérêt, il faut déterminer sa situation dans le repère de base $\mathcal{R}_0 (O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ du bras manipulateur. L'objectif de cette partie est donc de déterminer cette position et d'en déduire les configurations correspondantes.

1. Déterminer la matrice de passage entre les repères $\mathcal{R}_0 (O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ et $\mathcal{R}_c (C, \vec{x}_c, \vec{y}_c, \vec{z}_c)$.
A l'aide de la fonction `drawFrame`, afficher le repère caméra et le robot manipulateur sur une même figure. Vérifier que l'orientation du repère \mathcal{R}_c correspond bien à celle de la figure 2.
2. Déterminer la situation de l'objet à saisir dans le repère de base à partir des informations fournies par la caméra et des résultats précédents. On supposera que le repère lié à la pièce est orienté de la même manière que le repère \mathcal{R}_0 .
3. Déterminer maintenant le modèle géométrique inverse (MGI) du robot. Pour cela, on montre que la matrice de passage homogène T_{04} s'écrit :

$$\begin{pmatrix} c_{1+2+4} & -s_{1+2+4} & 0 & L_1 c_1 + L_2 c_{1+2} \\ s_{1+2+4} & c_{1+2+4} & 0 & L_1 s_1 + L_2 s_{1+2} \\ 0 & 0 & 1 & h + q_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

En identifiant cette matrice à la matrice de passage homogène correspondant à la situation de l'objet à saisir dans $\mathcal{R}_0 (O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$, écrire le système à résoudre.

Résoudre ce système à l'aide de l'annexe en fin de sujet.

4. Déterminer la (ou les) configuration(s) permettant de saisir la pièce à l'aide de la fonction `MGI_mitsu` déjà fournie. Tracer les configurations obtenues et montrer qu'elles permettent de saisir l'objet désiré.

2.3 Réalisation du mouvement du robot

Dans cette partie, il s'agit de déplacer le bras manipulateur pour atteindre la pièce. Pour cela, il est nécessaire de commander le robot. La technique plus simple consiste à traiter chaque articulation séparément, c'est-à-dire à commander de manière découplée les actionneurs permettant de mettre en mouvement les liaisons. On supposera que l'on peut négliger les couples de charge et, pour la simplicité, on se limitera à la commande des deux premières liaisons.

Avant de mettre en place toute commande, il est nécessaire de modéliser les actionneurs de chacune des deux liaisons considérées. Ce modèle est donné sous forme du schéma-bloc suivant :

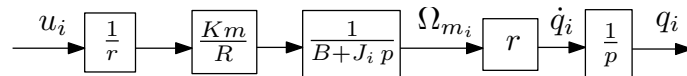


FIGURE 3 – Schéma-bloc de commande de l'articulation i .

où les paramètres et variables du modèle sont définis par :

- $r = \frac{1}{200}$ le rapport de réduction,
- $K_m = 0.3 \text{ N.m/A}$ la constante de couple,
- $R = 1 \Omega$ la résistance de l'induit,
- $B = \frac{1}{80} \text{ N.m.s/rad}$ le coefficient de frottements visqueux,
- $J_1 = 0.02 \text{ kg.m}^2$, $J_2 = 0.01 \text{ kg.m}^2$ les inerties efficaces des articulations,
- $\frac{u_i}{r}$ la tension-consigne envoyée au moteur,
- Ω_{m_i} la vitesse de rotation du moteur
- q_i la position articulaire (linéaire ou angulaire).

En choisissant comme vecteur d'état $X_i = (q_i \ \dot{q}_i)^T$, la représentation de l'actionneur i s'écrit comme suit :

$$\dot{X}_i = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -\frac{B}{J_i} \end{pmatrix} X_i + \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{K_m}{R J_i} \end{pmatrix} U_i \quad Y_i = (1 \ 0) X_i$$

U_i désigne l'entrée de l'actionneur i et Y_i la sortie. Seul q_i est supposé mesuré. Notre objectif est de commander les actionneurs de manière à ce que chaque axe tourne d'une valeur de référence, notée q_1^* pour le premier et q_2^* pour le second.

1. Comment vont être définies ici les valeurs de q_1^* et q_2^* ?
2. On souhaite mettre en place une commande par retour d'état pour chaque actionneur : $U_i(t) = N_i q_i^* - K_i X_i(t)$ où : $K_1 = [0.267 \ 0.225]$, $N_1 = 0.267$, $K_2 = [0.3 \ 0.158]$, $N_2 = 0.3$. Calculer la représentation d'état en boucle fermée pour chacun d'entre eux.
3. Simuler la réponse indicielle de chaque actionneur asservi avec la loi précédente à l'aide de la fonction `step`. Conclure. Attendiez-vous ce résultat ?
4. En activant l'option `showBM` dans la fonction `drawTraj`, dessiner la trajectoire effectuée par le robot. Conclure.

Annexe : Résolution du MGI

Afin de faciliter la résolution, on rappelle que le système d'équations :

$$\begin{cases} X \cos \theta_i + Y \cos(\theta_i + \theta_j) &= Z_1 \\ X \sin \theta_i + Y \sin(\theta_i + \theta_j) &= Z_2 \end{cases}$$

admet pour solution :

$$\begin{cases} \theta_j &= \text{atan2}(\sin \theta_j, \cos \theta_j) \\ \theta_i &= \text{atan2}(\sin \theta_i, \cos \theta_i) \end{cases}$$

où $\sin \theta_j, \cos \theta_j, \sin \theta_i, \cos \theta_i$ vérifient :

$$\begin{cases} \cos \theta_j &= \frac{Z_1^2 + Z_2^2 - X^2 - Y^2}{2XY} \\ \sin \theta_j &= \varepsilon_2 \sqrt{1 - \cos^2 \theta_j}, \varepsilon_2 = \pm 1 \\ \sin \theta_i &= \frac{B_1 Z_2 - B_2 Z_1}{B_1^2 + B_2^2} \\ \cos \theta_i &= \frac{B_1 Z_1 + B_2 Z_2}{B_1^2 + B_2^2} \\ B_1 &= X + Y \cos \theta_j \\ B_2 &= Y \sin \theta_j \end{cases}$$

On notera donc qu'il y a deux couples solutions : un pour chaque valeur de ε_2 .

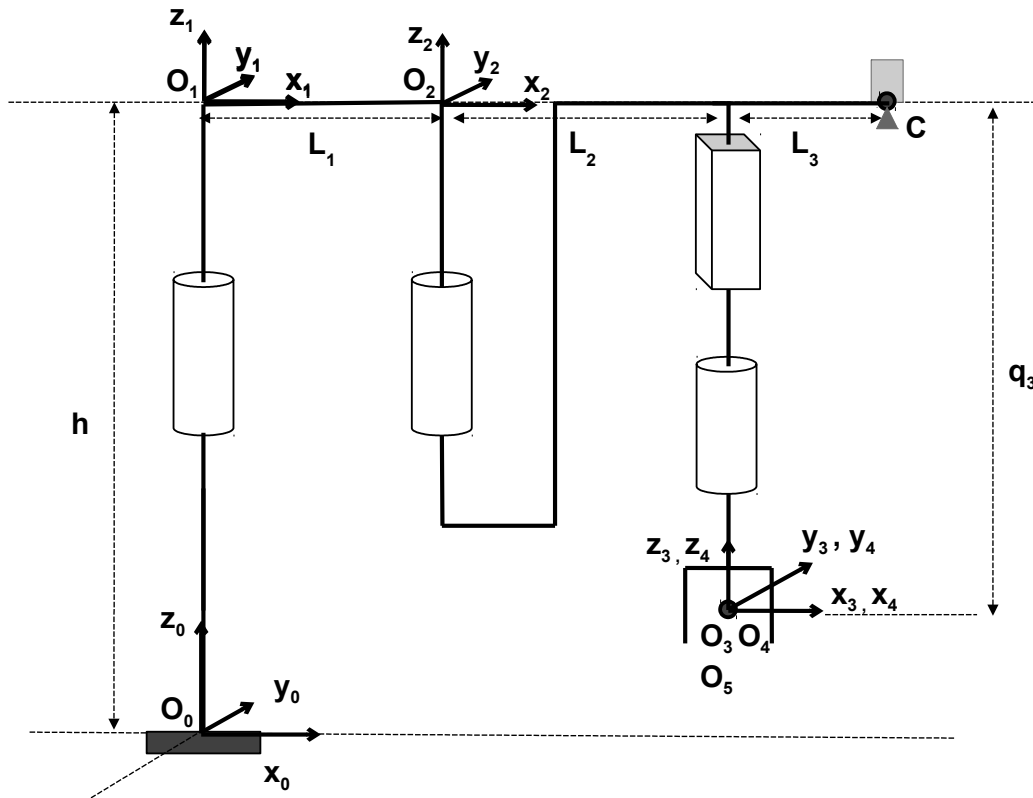


FIGURE 4 – Vue 3D du robot SCARA Mitsubishi RH-5AH55.

N.B : Données techniques du robot :

$$h = 800mm$$

$$L_1 = L_2 = 400mm$$

$$L_3 = 200mm$$