Commande d'un robot mobile pour l'évitement d'un obstacle par suivi de chemin

Présentation et modélisation du problème

On considère un robot unicycle tel que celui présenté en cours. Dans l'optique de réaliser une tâche de navigation dans un environnement encombré, on souhaite éviter les obstacles en suivant une enveloppe de sécurité ξ_0 située à une distance d_0 pré-définie (cf. figure ci-après). Pour cela, on souhaite commander le robot pour mettre en place un suivi de chemin. Le robot évoluera avec une vitesse linéaire fixée et égale à $v_0 = 1$ m/s.

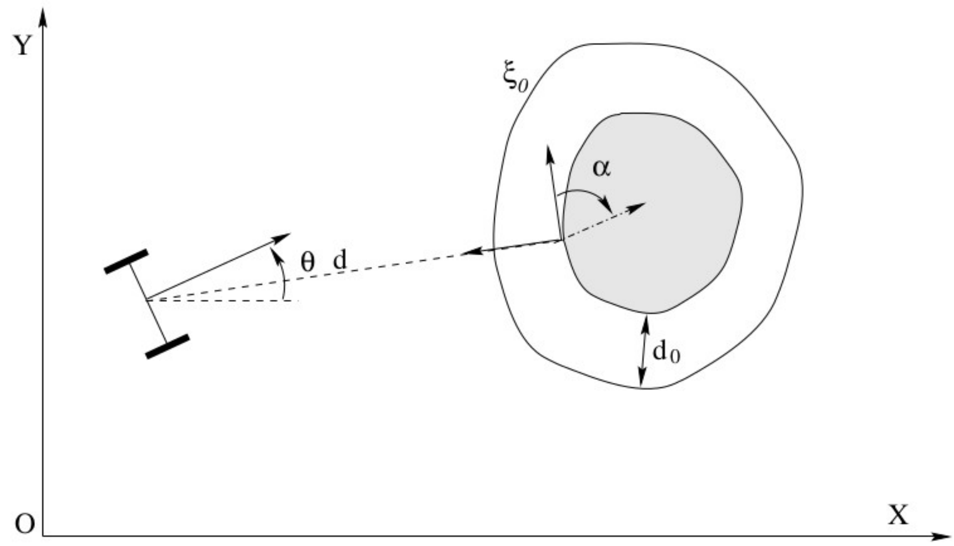

FIGURE 1 – Le robot mobile, l'obstacle et l'enveloppe de sécurité

.

On supposera que les obstacles rencontrés sont de forme circulaire et qu'ils peuvent être détectés via un capteur embarqué dédié tel un LiDAR ou un laser. Celui-ci renvoie les informations nécessaires au suivi de chemin, notamment la distance d et l'orientation relative robot/obstacle α. Sauf mention contraire, on supposera toutes les données nécessaires mesurables.

1. Le problème du suivi de chemin consiste à stabiliser à 0 un système dynamique non linéaire dont l'état X_e est défini par l'erreur en distance et en orientation entre le robot et le chemin. Définir X_e pour le problème considéré.
2. D'après le cours, il est possible de linéariser le système dynamique d'origine. Cette linéarisation conduit à la représentation d'état suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{X}_e = \begin{pmatrix} 0 & v_0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} X_e + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} u \text{ avec } u = \omega - \omega_r \\ Y = CX_e \end{array} \right. \tag{1}$$

   u étant l'entrée de commande considérée ici (ω_r est supposé connu à tout instant). Que vaut la matrice C ici ? Pourquoi ?
3. Est-il toujours possible de mettre en place une commande par retour d'état ? Justifier votre réponse.

Mise en place d'un retour d'état linéaire

Quelle que soit votre réponse à la question précédente, on souhaite mettre en place une loi de commande par retour d'état. On travaillera en deux étapes : tout d'abord on synthétisera et validera cette loi sur la représentation d'état linéaire seulement, avant de l'évaluer sur le robot non linéaire lui-même. Pour réaliser ces étapes, un ensemble de codes sont fournis sur moodle. Ils permettent – entre autres – d'initialiser les différents paramètres, simuler les mesures nécessaires et réaliser la boucle de commande ainsi qu'afficher les résultats désirés.

1. **Synthèse du retour d'état linéaire**
   (a) Compte tenu du problème considéré, donner la forme de cette loi de commande.
   (b) On propose deux choix de pôles :
   $$p_1 = p_2 = -2.5 \qquad p'_1 = p'_2 = -2.5 \pm 10j \tag{2}$$
   Quel est le comportement attendu dans chaque cas ? On précisera les temps de réponse et dépassement correspondants. Quel choix vous semble le mieux adapté ?
   Calculer le gain K correspondant à ce choix. On complètera ici le code fourni 'CodeRELineaireEtudiant.m'. Le gain N est-il nécessaire ici ?
   (c) Simuler la réponse du système à l'aide de matlab (fonction `initial`) ou en réalisant le schéma-bloc sous simulink. Conclure.
   (d) On suppose maintenant que seule la mesure de la distance d est disponible. Que devient la matrice C ?
   (e) Déterminer à l'aide de matlab [1] un observateur identité d'une dynamique bien adaptée. Intégrer votre observateur dans le schéma-bloc et simuler la réponse de l'asservissement complet.
2. **Validation sur le modèle non linéaire du robot mobile**
   (a) Compléter le second code fourni (chemin2024Etudiants.m) pour implanter le retour d'état et commander le robot à l'aide de cette loi linéaire. **NB : L'implantation de l'observateur n'est pas demandée.**
   (b) Lancer la simulation et conclure.
   (c) Comparer les résultats avec ceux obtenus à la question 1.d. On superposera notamment les erreurs en distance et en orientation calculées dans les deux cas.

Comparaison avec un retour d'état non linéaire

Dans cette partie, on cherche à évaluer les limites de notre retour d'état linéaire. Pour cela, on met en place cette loi de commande non linéaire [2] :

$$u(t) = -k_1 \; v \; l \; \frac{\sin\alpha}{\alpha} - k_2 \; |v| \; \alpha \tag{3}$$

où $u(t)$ est l'entrée de commande du système considérée, $k_1 = 4$ et $k_2 = 2\sqrt{2}$ étant les gains choisis pour la commande. l et α désignent respectivement l'erreur en distance et en orientation à annuler. On notera enfin que si $\alpha \to 0$ alors $\frac{\sin\alpha}{\alpha} \to 1$ et la loi précédente se simplifie en :

$$u(t) = -k_1 v l - k_2 |v| \alpha \tag{4}$$

1. Coder cette loi de commande et l'intégrer dans le programme fourni.
2. Simuler dans les mêmes conditions que précédemment. Conclure.
3. Positionner maintenant l'obstacle en $(10, 0)$. Simuler les lois de commande linéaire et non linéaire. Qu'observez-vous ? Conclure.

1. Il est aussi recommandé de faire ce calcul à la main en dehors de la séance, à titre d'entraînement.
2. Non linear control design for mobile robots. C. Canudas de Wit, H. Khennouf, C. Samson, & O. J. Sordalen. World Scientific Series in Robotics and Intelligent Systems, Recent Trends in Mobile Robots, 1994.