

VEHICULE INTELLIGENT ET COMMUNICANT

Rapport TP - Lois de Contrôle

Lucas TRAMONTE
Guilherme MERTENS DE ANDRADE

Octobre 2023

Table des matières

1	Introduction	2
2	Synthèse de la loi de commande de contrôle latéral	2
2.1	Modèle cinématique bicycle non linéaire	2
2.2	Linéarisation	2
3	Implémentation sous Simulink du modèle cinématique bicycle non linéaire	3
4	Contrôleur implémenté	3
4.1	Résultats	4
5	Amélioration du premier régulateur	5

1 Introduction

Cette étude se concentre sur le développement de la commande d'un véhicule autonome pour effectuer des manœuvres de parking automatisées. Le contrôle longitudinal ne sera pas étudié, la dynamique longitudinale étant représentée par une vitesse prédéfinie¹. La trajectoire peut être vérifiée dans la Figure 1.

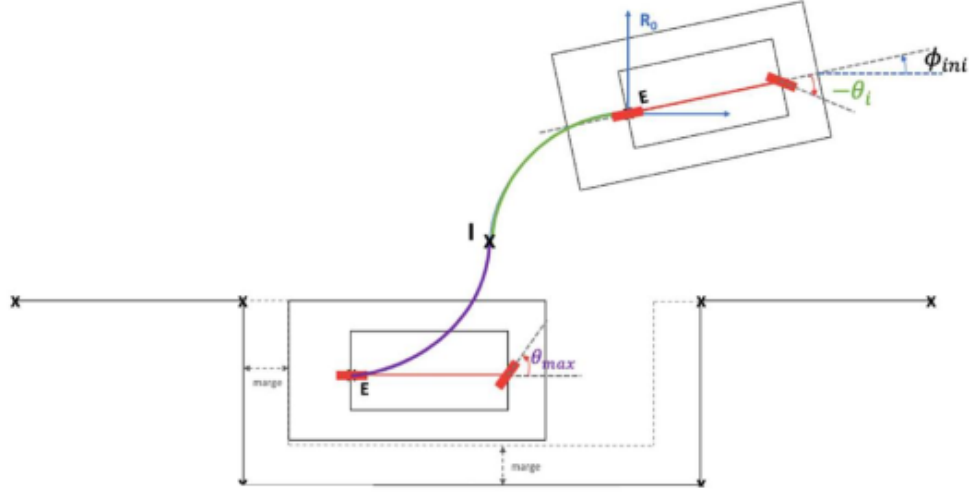


FIGURE 1 – Cas d'une manœuvre de créneau avec changement de direction

2 Synthèse de la loi de commande de contrôle latéral

2.1 Modèle cinématique bicycle non linéaire

Tout d'abord, nous considérons le vecteur d'état avec quatre variables :

$$\dot{X} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\Psi} \\ \dot{k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\Psi) \\ \sin(\Psi) \\ k \\ 0 \end{bmatrix} v + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \sigma, \quad (1)$$

avec $k = \tan(\delta)/b$ et $\dot{k} = \sigma$.

2.2 Linéarisation

On considère des variations de l'orientation du véhicule Ψ faibles de sorte qu'on puisse fixer sa valeur moyenne à l'équilibre $\tilde{\Psi} = 20$.

1. On considère $v = -v_{max} = -0.8333$ pour la partie expérimentale.

En définissant une nouvelle variable $\tilde{U} = \tan(\delta)$ pour linéariser le système, on obtient :

$$\delta \dot{X} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -v \cdot \sin(\tilde{\Psi}) \\ 0 & 0 & v \cdot \cos(\tilde{\Psi}) \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \delta X + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{v}{b} \end{bmatrix} \delta \tilde{U} \quad (2)$$

Néanmoins, comme le système est non commandable, on a besoin de déterminer une matrice T telle que il y a une base canonique de Commandabilité :

$$T = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{v^2 \cdot \sin(\tilde{\Psi})}{b} & 0 \\ 0 & \frac{v^2 \cdot \cos(\tilde{\Psi})}{b} & 1 \\ \frac{v}{b} & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

De cette façon, on peut appliquer la commande optimale LQ dans le système :

$$\delta \tilde{U} = L \cdot T^{-1} \cdot \delta X = \begin{bmatrix} \sqrt{3} & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\frac{b}{v \cdot \tan(\tilde{\Psi})} & -\frac{b}{v} & \frac{b}{v} \\ -\frac{b}{v^2 \cdot \sin(\tilde{\Psi})} & 0 & 0 \\ \frac{1}{\tan(\tilde{\Psi})} & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \\ \delta \Psi \end{bmatrix} \quad (4)$$

3 Implémentation sous Simulink du modèle cinématique bicycle non linéaire

Initialement, le modèle du véhicule a été construit en se basant sur l'équation (1), avec des conditions initiales nulles, tel qu'illustré dans la Figure 2.

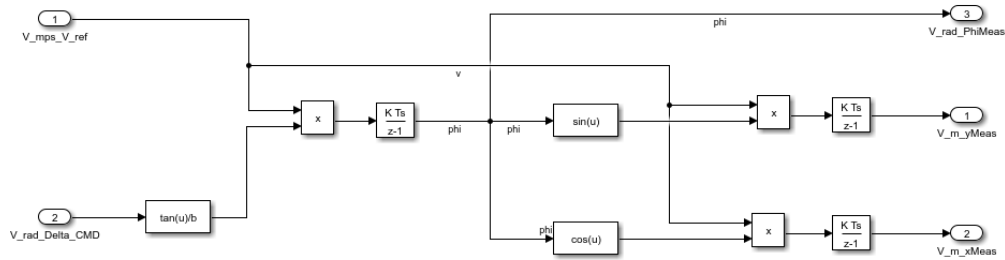


FIGURE 2 – Modèle véhicule

4 Contrôleur implémenté

De plus, en utilisant l'équation (1), un schéma-bloc de commande a été élaboré, comme représenté dans la Figure 3.

Avec l'équation (4), nous obtenons un système dans lequel les deux premiers états sont contrôlables. Il est important de noter que le premier terme de cet état provient des trois valeurs de

l'état d'origine, tandis que le deuxième terme provient uniquement de l'état x . Dans l'exemple de la prochaine section, la matrice de rétroaction d'état L a été utilisée, avec les valeurs $L = [\sqrt{3} \ 1 \ 0]$.

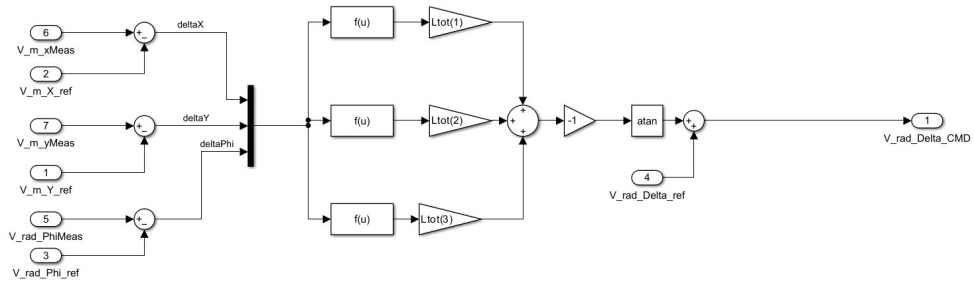


FIGURE 3 – Controle de la commande

4.1 Résultats

En examinant les résultats, on a constaté que la trajectoire réelle s'est approchée de la trajectoire de référence de manière satisfaisante, comme illustré dans la Figure 4.

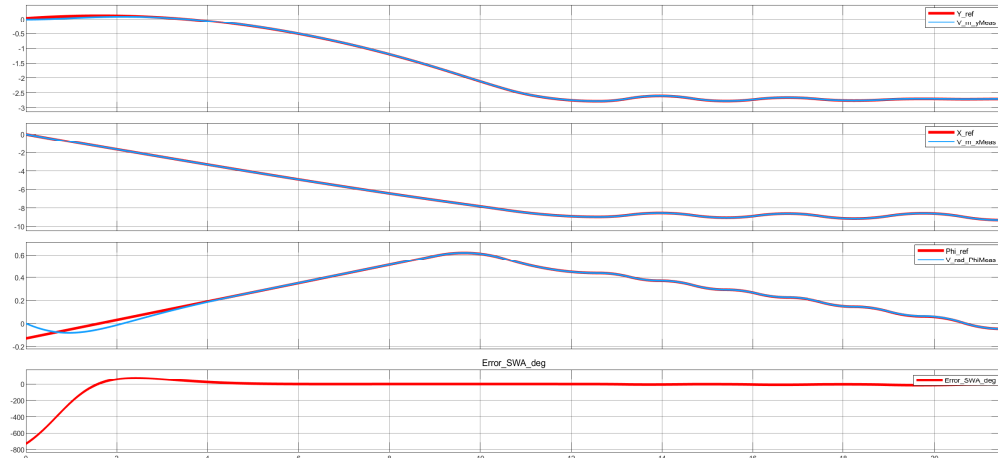


FIGURE 4 – Trajectoire réelle du véhicule VS Trajectoire de référence

De plus, on peut vérifier la trajectoire réalisé par le véhicule dasn la Figure 5.

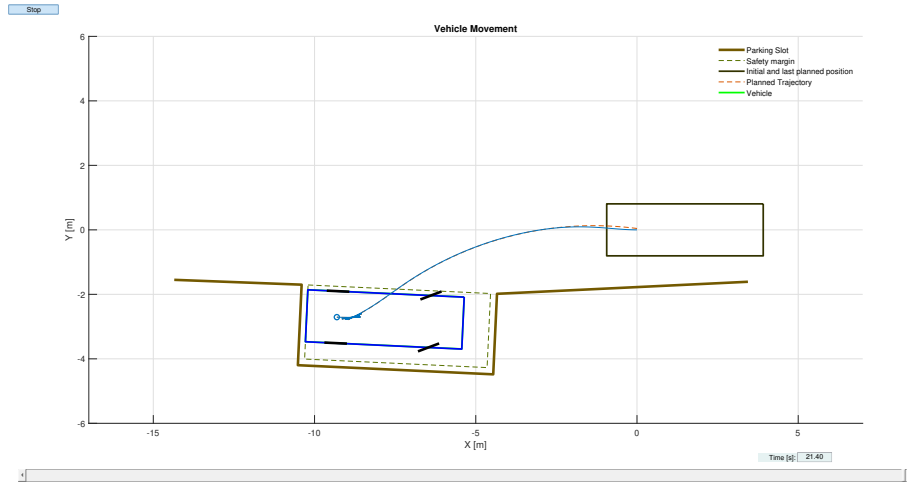


FIGURE 5 – Trajectoire réalisé par le véhicule

5 Amélioration du premier régulateur

Pour améliorer le contrôle latéral du véhicule, un code de synthèse de contrôle LQ a été créé dans MATLAB. Cependant, il n'a pas été possible de trouver des valeurs qui améliorent les performances du véhicule.

```
%% LQR
v = -vmax;
b3 = v/b;
a13 = -v*sin(phieq);
a23 = v*cos(phieq);

T_inv = [a23/(a13*b3) -1/b3 1/b3; 1/(a13*b3) 0 0; -a23/a13 1 0];

A = [0 0 -v*sin(phieq); 0 0 v*cos(phieq); 0 0 0];
B = [0; 0; v/b];

Q = eye(2);
Q(1,1) = 1;
R = 10;
A_til = T_inv*A*inv(T_inv);
B_til = T_inv*B;

[L,P,e] = lqr(A_til(1:2, 1:2),B_til(1:2),Q,R);

Ltot = [L 0];
```

FIGURE 6 – Synthèse de la loi de commande avec LQ

Un point important à analyser est que, dans une application réelle, la commande de direction

ne peut pas être trop brutale, car cela pourrait même mettre en danger le conducteur, notamment dans le cas d'un véhicule autonome.

Pour remédier à cette situation, la valeur de R a été augmentée lors de la synthèse du contrôle LQ afin d'adoucir l'action de contrôle. Il est à noter que cette modification a permis de rendre la direction plus douce, tout en préservant les performances du système, atteignant les mêmes résultats en régime permanent.

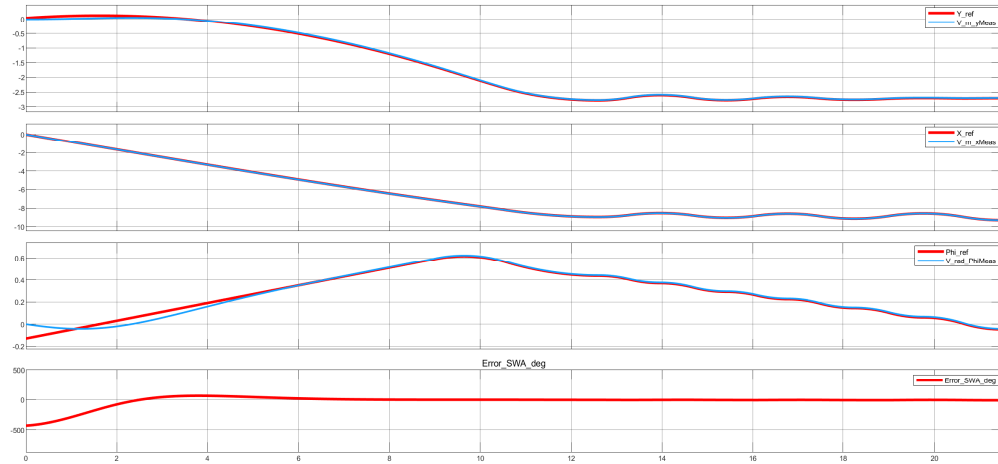


FIGURE 7 – Trajectoire réelle du véhicule avec LQ