

Informatique

Dérivation – Euler

Simulation du stick-slip

Exercice 1: Simulation du stick-slip

Introduction

Le crissement d'un frein à disque, le broutage d'un outil lors d'une opération de tournage, ou encore les micro-vibrations dans les articulations d'un bras robotisé... Ces phénomènes ont une origine commune : le stick-slip ou coller-glisser. Il prend son origine dans :

- L'élasticité des structures qui peuvent se déformer sous efforts
- Les lois de Coulomb qui régissent les phénomènes de frottement (adhérence/glissement)
- La différence qui existe entre les coefficients d'adhérence et de glissement

En SII, la maîtrise du comportement dynamique des systèmes est essentielle pour garantir précision, durabilité et sécurité. On retrouve ce phénomène dans de nombreux systèmes :

- En usinage (ex. tour à commande numérique) : Le contact outil/pièce peut alterner adhérence et glissement, générant des vibrations appelées broutage qui dégradent l'état de surface et usent prématurément l'outil.
- Dans les systèmes de freinage (ex. système ABS étudié en tant que système asservi) : Le crissement de frein résulte directement d'un stick-slip entre la garniture et le disque, phénomène que l'ABS cherche précisément à contrôler en régulant le glissement roue/chaussée.
- Dans les transmissions par embrayage (ex. boîte de vitesses robotisée) : La phase d'engagement de l'embrayage met en jeu une transition adhérence/glissement dont la maîtrise conditionne le confort et la durée de vie des organes.
- Dans les axes de robots (ex. robot manipulateur 6 axes) : Le frottement sec dans les réducteurs harmoniques génère des effets stick-slip qui limitent la précision de positionnement. C'est un problème important en automatique des systèmes asservis.

Ce sujet propose de modéliser numériquement ce phénomène à travers un banc masse-ressort-amortisseur sur tapis roulant (un modèle épuré mais représentatif de tous ces contacts réels).

L'activité s'articule autour de trois grandes étapes :

- Modélisation physique : Application du Principe Fondamental de la Dynamique pour traduire le comportement mécanique de la masse en une équation différentielle, en tenant compte des lois de Coulomb (adhérence/glissement).
- Mise en œuvre numérique : Implémentation de la méthode d'Euler explicite, schéma d'intégration temporelle classique en simulation pour résoudre cette équation différentielle pas à pas.
- Simulation et analyse : Observation de l'alternance périodique des phases d'adhérence et de glissement et interprétation des grandeurs physiques simulées (position, vitesse, effort tangentiel...).

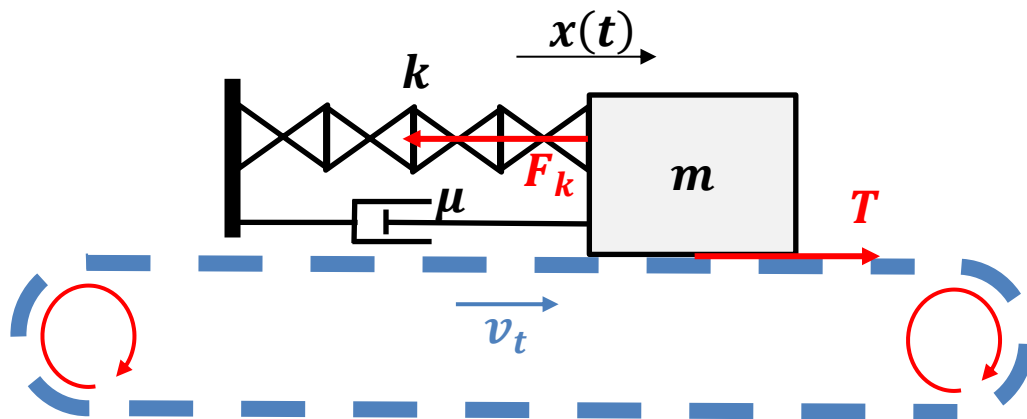
Cas d'application

On propose de modéliser un banc d'essai permettant de mettre en évidence le stick-slip, composé

- D'un tapis roulant se déplaçant vers la droite à la vitesse de translation constante $\vec{v}_t = v_t \vec{x}$
- D'une masse m posée dessus, de position $x(t)$, soumise à l'effort du ressort et à l'effort de contact avec le tapis dont la composante de frottement est appelée $\vec{T} = T \vec{x}$
- D'un ressort dont l'élongation est notée x tel que la force de rappel du ressort s'exprime par $\vec{F}_k = F_k \vec{x} = -kx(t) \vec{x}$
- D'un amortisseur qui représente les frottements visqueux de coefficient μ

On suppose que les efforts mis en jeu ne font pas basculer la masse.

Tous les coefficients sont définis dans le code élève à votre disposition.



Prise en main du code

Question 1: Télécharger le code élève et prendre connaissance des parties « Données physiques », « Données numériques » et « Initialisation des listes »

Remarquez que nous avons choisi de définir toutes les variables en global, ce qui permettra de les utiliser partout.

Vous aurez dans la suite à compléter les parties « Fonctions » et « Résolution » afin de remplir les listes de données de la simulation Lt Lx Lv Lvt Lvr LT LKk, nous en reparlerons dans la suite.

La suite du code permet l'affichage des résultats de simulation, vous n'avez pas à la lire et/ou la comprendre.

Fonctions

Question 2: Appliquer un principe fondamentale de la dynamique en translation à la masse et exprimer l'accélération xpp de la masse en fonction des données du problème

Soit V le vecteur sous forme d'array $V = \begin{bmatrix} x \\ xpp \end{bmatrix}$ où xp est la vitesse de translation de la masse ($xp = \frac{dx(t)}{dt}$)

Question 3: Compléter la fonction $f(V)$ afin qu'elle renvoie l'accélération xpp

Soit $V_p = \begin{bmatrix} xp \\ xpp \end{bmatrix}$ le vecteur $V_p = \frac{dV}{dt}$.

Question 4: Compléter la fonction $F(V)$ afin qu'elle renvoie V_p

Question 5: Compléter la fonction $New_V(F,V)$ afin qu'elle renvoie le vecteur V mis à jour par la méthode « Euler explicite »

Remarque : je vous ai mis à disposition un corrigé qui utilise la méthode des équations aux différences et qui utilise une fonction New_x .

Question 6: Compléter la fonction $sign(x)$ afin qu'elle renvoie 1, -1 ou 0 selon le signe de x

Description du phénomène

La masse est soit :

- En adhérence : Au pas de temps suivant...
 - o Elle va rester en adhérence, sa position est déterminée à l'aide de la vitesse du tapis
 - o Elle va glisser, sa position est déterminée à l'aide du PFD et de la méthode d'Euler
- En glissement : sa position au pas de temps suivant est déterminée à l'aide du PFD et de la méthode d'Euler

Remarque : Lorsque la masse se translate à une vitesse qui rattrape celle du tapis, la probabilité que la vitesse de la masse soit exactement numériquement égale à la vitesse du tapis est quasi nulle... On pensera à créer un test par inégalité (j'ai pris $v_t/10$)

Résolution

On définit les listes suivantes :

- Lt : Liste des temps
- Lx : Liste des positions de la masse
- Lv : Liste des vitesses de la masse
- Lvt : Liste des vitesses du tapis (constante)
- Lvr : Liste des vitesses relatives Masse/Tapis
- LT : Liste des efforts tangentiels au contact Tapis → Masse
- LFk : Liste des efforts du ressort sur la masse

Question 7: Compléter la boucle while afin de simuler le phénomène de stick-slip et de compléter toutes ces listes

Question 8: Simuler le phénomène et observer les résultats obtenus

Vous remarquerez que la simulation crée un dossier « Images » dans lequel vous retrouver toutes les images, ce qui permettra de les animer ensuite, ou par exemple de créer une vidéo comme celle-ci :

[LIEN](#)