

Stabilisation d'un pendule inversé

7 septembre 2015



Robot Segway NXT¹

Objectif

Les robots Segway semblent défier les lois de l'équilibre. Ces derniers sont des véhicules à deux roues et contrairement à un vélo peuvent se maintenir à la

1. Illustration : <http://robotsquare.com/>, Copyright Laurens Valk

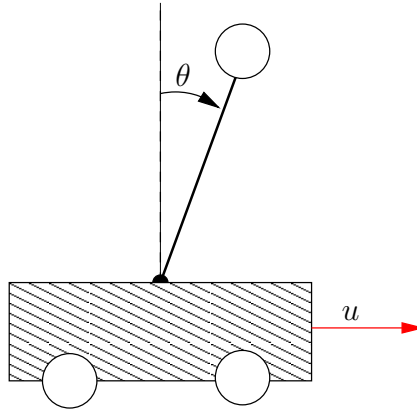


FIGURE 1 – Pendule monté sur un chariot

verticale à l'arrêt sans action de l'utilisateur. On propose ici d'étudier comment un tel système peut être maintenu à l'équilibre. A cet effet, nous considérons dans un premier temps un système légèrement simplifié constitué d'un pendule monté sur un chariot (voir figure 1).

Travail demandé

Modélisation. Il faudra tout d'abord modéliser le système mécanique et établir l'équation différentielle ordinaire qui le régit.

Simulation. On simulera l'évolution de ce système sur machine.

Stabilité. On montrera (au moins numériquement) que le pendule inverse sans contrôle est instable.

Contrôle. On proposera ensuite un contrôle afin de maintenir le pendule à la verticale à vitesse du chariot donné (dans un premier temps, à vitesse nulle). Le contrôle s'effectuera par l'intermédiaire d'une force u appliquée au chariot qu'on pourra choisir proportionnel aux variables du système.

Extension possibles. Plusieurs extension possibles sont possibles : Enrichir le modèle en prenant en compte les frottements ; Étudier la robustesse du système aux perturbations ; Optimiser le contrôle ; Considérer le cas d'un contrôle BANG-BANG ; Étudier un système Segway (une tige montée sur deux roues) ; Prendre en compte les mouvements non rectilignes ; Étudier un système plus complexe comme le double pendule inverse ; Et bien sûr CONSTRUIRE effectivement un tel système (par exemple avec des LEGO NXT) ;

Rédaction. Un rapport rédigé en L^AT_EX sera demandé. Le rapport devra contenir : un court résumé, une introduction, présentation de la modélisation, des résultats théoriques, des méthodes de simulations employées ainsi que les résultats numériques. Il est également important de justifier les différents choix effectués (en terme de modélisation, contrôle, etc...). Le rapport devra contenir tous les éléments nécessaires à la reproduction des résultats obtenus par un tiers, inclure une conclusion et des références. Il sera fourni sous format électronique avec les scripts (et mode d'emploi). Une page web pourra aussi être développée. Une version papier du rapport pourra également être demandée.

Présentation. Le groupe devra réaliser une présentation de ses résultats. Un vidéo projecteur sera à la disposition des étudiants (il est fortement conseillé de l'utiliser). On rappelle que la présentation devra s'adresser à un "large" public (i.e. sans présumer des connaissances des membres du jury).

Déroulement

Le projet devra être réalisé par groupe de 4 à 5 élèves. Le travail est avant tout personnel. L'originalité de l'approche adoptée sera évidemment pris en compte dans la notation finale.

Mots clés. Pendule inversé ; Inverted pendulum ;

Modélisation : Équations de Lagrange ; Équations différentielles ordinaire ; adimensionnement ;

Simulation : Scilab, matlab,...

Stabilité : Linéarisation ; valeurs propres ;

Contrôle : Contrôle et commande optimale ; Linear-quadratic regulator (LQR) ;