UNIRAIL : commande robuste pour le suivi des trains sur des cantons

# Introduction et objectifs

Il s’agit d’implémenter une librairie de fonctions en C permettant au RBC de commander en vitesse les trains sur des cantons partagés par deux ou trois trains. Cette commande doit être robuste vis-à-vis des incertitudes paramétriques présentes sur les modèles dynamiques de chaque train. Par ailleurs, cette étude, comme expliqué par la suite, il s’agit de déterminer la distance de suivi minimale entre les trains garantissant d’éviter toute collision en cas de freinage d’urgence.

On voit ci-dessous les paramètres principaux du système. L’étude se fera en suivant les étapes suivantes :

1. Déterminer les cantons et les trains concernés
2. Diagramme de séquence de la solution envisagée : communication entre EVC et RBC
3. Approche polytopique pour la détermination d’une commande robuste
4. Détermination de la distance de suivi minimale
5. Implémentation de la solution sous forme de librairie

# Cantons et trains concernés

Les zones de suivi sont les suivantes :

|  |  |
| --- | --- |
| Trains concernés | Cantons |
| T\_1 / T\_3 | C12-C13-C7-C-8-C9 |
| T\_2/T\_3 | C\_1 |

Diagram

Description automatically generated

# Protocole envisagé : diagramme de séquence

Diagram, schematic

Description automatically generated

# Etude

Lorsque le premier train rentre sur l’une des zones de suivi, il est alors qualifié de train leader. Le RBC le pilote comme sur tous les autres secteurs du réseau à l’aide d’autorisations de mouvement (listes de cantons et de vitesses). La vitesse du train leader varie donc, sur la zone de suivi, entre et  :

Le système dynamique d’un train commandable en vitesse, c’est-à-dire dans ce cas du deuxième train entrant dans la zone de suivi, appelé , peut être représenté sous la forme d’un système du second ordre dont les paramètres, estimés à partir des données relevées par les capteurs lors des premiers tests, varient :

En prenant en compte l’incertitude sur les paramètres et , on obtient :

On utilise les données relevées lors de différents tests pour réaliser plusieurs fois l’identification de fonction de transfert à partir de ces données (vitesse mesurée en fonction du temps, consigne en vitesse en fonction du temps). Ainsi, on peut estimer la valeur nominale pour chaque paramètre, ainsi que leurs intervalles de variation.

Avec :

; et :

Afin de permettre la convergence de la distance vers la distance minimale envisageable qui est à calculer dans ce problème, nous nous servons de la mesure de que nous possédons grâce aux capteurs.

On a alors le système qui devient le suivant :

Avec :

On doit garder en tête le problème de l’incertitude sur les paramètres.

## Approche polytopique

Après discussion avec Mr. Kruszewski, il est plus simple d’utiliser l’approche polytopique pour traiter ce problème. En effet, le lien entre les paramètres et rend impossible la mise en place du problème LMI avec des incertitudes sur A et B.

On a donc :

et

On essaie dans un premier temps de résoudre ce problème dans l’un des cas, celui avec le plus faible amortissement, puis il suffira de copier/coller les équations en changeant les valeurs avec les autres cas limite.

On souhaite réaliser une commande par retour d’état. On veut donc tel que :

En résumé, on a :

* Des Incertitudes sur les paramètres des matrices du système
* Une incertitude sur la valeur de
* On souhaite connaître l’amplitude de la commande, qui est contrainte
* On veut déterminer la commande réalisable permettant de minimiser la distance de suivi, sachant que le problème est discrétisé.

Il s’agit donc d’un problème LMI avec 4 conditions.

**Condition 1** : Provenant de l’incertitude paramétrique. Les paramètres, constants dans le temps, sont connus avec une certaine précision. On a donc des incertitudes sur les matrices , . On veut synthétiser le gain K avec une décroissance exponentielle.

On a :

On veut   et donc après réécriture du problème pour le transformer en un problème LMI, on obtient :

Avec et . Bien sûr, il faut toujours

**Condition 2**: On a également des contraintes sur la commande. Elle doit, tout d’abord, être inférieure à vitesse limite des trains. Mais quelle peut être son amplitude ? On note la consigne maximale.

On a :

et On veut donc En posant il vient la condition :

**Condition 3 :** Il faut également prendre en compte l’influence de l’incertitude sur . On souhaite minimiser l’impact de ces variations dans l’intervalle déjà précisé sur notre système. On cherche donc à résoudre un problème de *Practical Stability.*

quand et avec la vitesse du train leader. Il vient :

On en déduit, avec le complément de Schur, la LMI suivante :

On veut également dans le même temps rechercher l’équipotentielle qui minimise les conditions sur . Il s’agit donc de résoudre équivalent à ,

Avec

**Discrétisation :** Notre système est discrétisé par la fréquence d’envoi des positions et vitesses des trains vers le contrôleur dans le RBC, ainsi que par l’échantillonnage de la commande.