

Convoi de véhicule pour une nouvelle forme de mobilité

Madeleine EL-ZAHER, Franck GECHTER, Pablo GRUER

Laboratoire Systèmes et Transports

Université de Technologie de Belfort-Montbéliard

90010 Belfort cedex, France

Email:madeleine.el-zaher@utbm.fr

Abstract—This work presents an approach to linear platoon control. Linear platoons are sets of vehicles which move while keeping a train configuration, without any mechanical coupling. each follower vehicle controls its movement by interacting only with the preceding one. To this end, platoon control was designed as a reactive multi agent system where each follower vehicle is an agent. Each agent behavior is specified by a physics inspired interaction model, which allows to compute vehicle speed and direction from a single perception: the distance to the preceding vehicle. We present here the proposed model and the measurements performed on a vehicle simulation environment, capable to integrate detailed vehicle and terrain characteristics.

Abstract—Ce travail présente une sélection de platooning en configuration linéaire. Le Platooning est un ensemble de véhicules qui circulent tout en gardant une configuration linéaire, sans aucun couplage matériel. Chaque véhicule suiveur contrôle ses mouvements en interagissant avec son prédécesseur seulement. Pour cela, notre solution a été conçu comme un système multi agent réactif, où chaque véhicule suiveur est un agent. Le comportement de chaque agent est spécifié par un modèle d'interaction physique, qui permet de calculer la vitesse et la direction du véhicule grâce à une seule perception : la distance entre le véhicule et son prédécesseur. Nous présentons ici le modèle physique proposé avec son évaluation grâce à des simulations réalisées dans un environnement virtuel, capable d'intégrer les détails des véhicules et les caractéristiques du terrain.

I. INTRODUCTION

Les convois de véhicules sont des approches prometteuses pour les systèmes de transport, avec des capacités innovantes comme le partage de véhicule et l'adaptabilité à la demande. Le Platooning linéaire est un ensemble de véhicules qui circulent tout en conservant une configuration linéaire, sans aucun couplage matériel. Le but de chaque véhicule est de pouvoir contrôler la distance qui le sépare de son prédécesseur d'un côté, et d'accomplir le suivi de trajectoire le mieux possible. Généralement les lois de contrôle du platoon peuvent être divisées en deux sous axes. Le contrôle longitudinal consiste à contrôler l'accélération et le freinage du véhicule. Le contrôle latéral, consiste à déterminer la direction du véhicule selon la trajectoire du platoon. Dans la littérature, les approches de platooning sont généralement classées entre globales ou locales.

Dans les approches globales, un des véhicule du platooning (généralement le véhicule de tête) envoie les informations nécessaires (instructions d'accélération et de décélération,

points de la trajectoire...) aux véhicules suivants. [7] et [8] utilisent des systèmes comme le GPS RTK (Real Time Kinematic) pour calculer les points de trajectoire pour les véhicules suiveurs.

Les approches globales permettent un bon suivi de trajectoire, par contre l'utilisation des GPS ou autres technologies nécessitent l'adaptation des routes pour éviter la perte du signal GPS (Effets tunnel et canyons). De plus, une communication sûre et fiable entre les véhicules est nécessaire. Pour qu'elles soient adéquates, les approches globales sont soumises à des fortes contraintes, comme les coûts élevés des capteurs, l'adaptation de la route et la fiabilité de communication.

Dans les approches locales, les contrôles latéraux et longitudinaux sont assurés grâce aux perceptions de chaque véhicule. Généralement les véhicules sont équipés par des capteurs qui mesurent la distance qui les sépare du véhicule précédent. Chaque véhicule va calculer ses lois de commandes (accélération et direction), basé seulement sur ses propres perceptions. La plupart des approches locales proposées utilisent des contrôleurs PID (Proportional Integral Derivative controller), comme dans [3], [6], [1]. D'autres approches proposées sont basées sur des modèles d'interaction physique, où chaque véhicule calcule ses lois de commande grâce à un lien d'interaction comme dans [11] [2] et [9]. Les approches locales ne nécessitent ni des infrastructures routières coûteuses, ni une communication fiable entre véhicules. Par contre, les approches locales peuvent souffrir du problème d'erreur d'anticipation, ce qui réduit la qualité du suivi du trajet.

La section III présente une approche locale qui minimise l'erreur d'anticipation en prenant en compte, les propriétés des courbes locales, et qui possède un niveau de performance proche de ce qui est obtenu dans les approches globales.

Dans la section II nous présentons la cohérence entre le système de platooning et les systèmes multiagents, dans la section III nous détaillons notre approche locale puis dans la section IV nous évaluons notre approche par simulation.

II. SYSTÈME MULTIAGENT EN PLATOONING LINÉAIRE

Le système multiagent de platooning proposé dans ce papier est constitué d'un ensemble des agents où chaque entité représente un véhicule. Chaque agent est spécifié par un ensemble de paramètres tels que son indice dans le platooning,

sa masse,... Nous pouvons distinguer deux rôles essentiels des agents : Les véhicules leader et les véhicules suiveurs. Les véhicules leaders agissent directement avec l'environnement (la route) ou suivent une trajectoire prédéfinie. Le rôle des véhicules suiveurs est d'interagir avec son prédécesseur. Le comportement des véhicules suiveurs est défini selon un modèle inspiré de la physique. Le statechart du figure 1 montre le comportement global de chaque agent. Ce comportement est le résultat d'une composition cyclique des 3 sous-comportements :

- **Perception** : Mesure la distance entre deux véhicules qui se suivent.
- **Contrôle** : Calcule l'accélération du système.
- **Modèle physique** : Calcule la réaction en fonction de la vitesse.

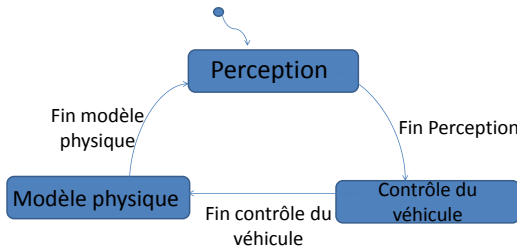


Fig. 1. Statechart représentant les différents comportements d'un agent

III. PRÉSENTATION DU MODÈLE

La liaison virtuelle entre deux véhicules suiveurs est faite par un modèle d'inspiration physique composé de deux ressorts et d'un amortisseur comme montre la figure 2 .

Les paramètres du modèle sont les raideurs de chacun des

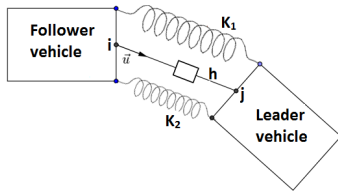


Fig. 2. Modèle d'interaction physique

deux ressorts k_1 et k_2 , la constante d'amortissement h et la distance du ressort au repos l_0 .

Les forces impliquées dans ce modèle sont :

- **La force des ressorts :**
 $\vec{F}_i = k_i(d_i - l_0)\vec{u}$. Où $i \in \{1, 2\}$ et d_i est la distance du premier ou du deuxième ressort.
- **la Force de l'amortisseur:**
 $\vec{F}_a = h(\|\frac{\Delta D}{\Delta t}\|)\vec{u}$. Où D est la longueur entre le deux centres des véhicules.

L'objectif c'est de calculer dans un premier temps les raideurs des deux ressorts, dans le but de compenser l'erreur d'anticipation en ajustant ces valeurs. Puis, il s'agit de calculer une force d'interaction qui conduit au calcul de l'accélération. Pour calculer ces inconnues, la seconde loi de Newton est utilisée ainsi que le théorème des moments d'inertie. De plus une contrainte de conservation de la raideur globale est ajoutée. L'accélération et les deux raideurs des deux ressorts sont maintenant calculés. La vitesse et l'état du véhicule (position et orientation) peuvent être déduits par intégration.

IV. SIMULATION

Les simulations sont réalisées par le simulateur VIVUS [10] (figure 3), développé au laboratoire SeT¹. La simulation utilise un train de 3 véhicules. Le premier est autonome ou conduit par un humain. Chacun des véhicules suiveurs est équipé avec le système de contrôle présenté dans la section III. La perception des véhicules est assurée par un télémètre laser ayant les mêmes caractéristiques (portée, angle, taux d'erreur) qu'un capteur réel. La sortie des capteurs est composée d'une distance et d'un angle.

Afin d'évaluer la qualité de cette approche de contrôle, les tests suivant ont été réalisés :

- **Evaluation de la distance entre les véhicules** : consiste à mesurer la distance entre deux véhicules suiveurs, afin d'éviter les collisions entre les véhicules. Cette distance doit rester supérieure à une distance de sécurité (Dans ce test la distance de sécurité est de 0,5 m).
- **Evaluation de l'erreur latérale** : mesure la distance entre les trajectoires du centre géométrique d'un véhicule par rapport à son prédécesseur.



Fig. 3. Platooning linéaire en simulation

A. Evaluation de la distance entre deux véhicules suiveurs:

La figure 4, zone(a) montre un démarrage rapide. Le premier véhicule accélère rapidement pour atteindre sa vitesse maximale (8 km/h). La distance entre les véhicules dépassent de 25% la distance souhaitée (1,8 m). Figure 4 (b) et (c),

¹<http://set.utbm.fr/>

présentent 2 cas de variation rapide de la vitesse. Dans (b) la vitesse du premier véhicule diminue jusqu'à (4 km/h), dans (c) elle diminue jusqu'à (2 km/h). Dans ces deux cas la distance entre véhicule diminue au dessous de la vitesse souhaitée puis elle se stabilise autour d'elle après 150 ms.

Dans la zone (d) une accélération rapide suivie d'un freinage brusque sont montrés. La distance entre véhicules reste toujours au-delà de la distance de sécurité.

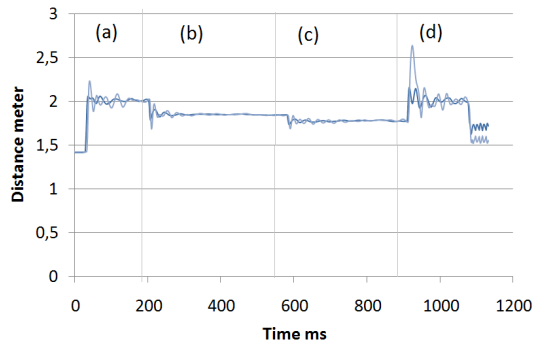


Fig. 4. Evaluation de la distance entre véhicule

B. Evaluation de l'erreur latérale :

La figure 5 montre la trajectoire des véhicules lors d'une sortie d'une station. Pour sortir de la station, le véhicule doit tourner à droite, puis à gauche. L'erreur latérale maximale est sur le point d'inflexion entre les deux virages. Cette figure montre que l'erreur latérale maximale entre le premier et le second véhicule est d'environ 0,5 m, et elle est d'environ 1 m entre le premier et le troisième véhicule. Le rayon de courbure est de 2,7 m. L'erreur latérale diminue après le point d'inflexion pour atteindre une valeur inférieure à la largeur d'un pneu (20 cm).

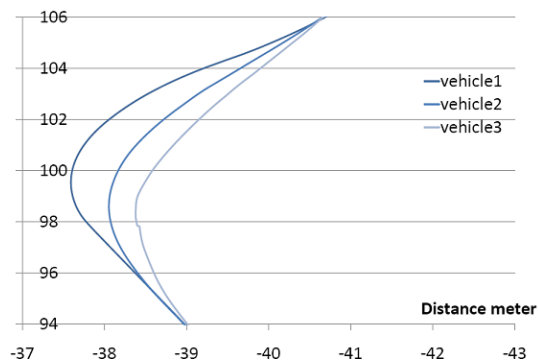


Fig. 5. Erreur latérale lors de la sortie d'une station

V. CONCLUSION

Dans ce travail, nous présentons une approche pour le problème de contrôle du platoon dans le cas du platoon linéaire. L'approche est basée sur un modèle d'interaction physique virtuel, entre un véhicule du platoon et son

prédécesseur. Dans ce travail, nous avons mis l'accent sur les principes de notre approche et nous avons présenté quelques résultats expérimentaux, obtenus en simulant le platoon linéaire. Le simulateur est un outil développé dans notre laboratoire. La simulation est une étape précédente à l'expérimentation qui utilise des véhicules autonomes également développés par le laboratoire SeT. Les travaux futurs seront consacrés à l'expérimentation réelle de ce modèle. Nous étudions également d'autres modèles d'interaction, inspirés de la physique, qui pourraient être adaptés à des configurations du platoon autres que les trains et qui pourrait être la base des contrôles plus sophistiqués permettant, par exemple, d'effectuer l'insertion et l'éjection dynamique des véhicules. Ces travaux sont réalisés avec le soutien de l'ANR français (Agence Nationale de la Recherche) à travers l'ANR-VTT *SafePlatoon* projet²(ANR-10-VPTT-011).

REFERENCES

- [1] Daviet, P. and Parent, M.: Longitudinal and lateral servoing of vehicles in a platoon, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings, 41 - 46, (1996)
- [2] Gehrig, S.K. and Stein, F.J., Elastic bands to enhance vehicle following, IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC, 597 - 602, (2001)
- [3] Ioannou, P. and Xu, Z.: Throttle and brake control systems for automatic vehicle following, IVHS Journal, 345 - , (1994)
- [4] Kheirnavaz, N. and Griswold, N.C. and Lee, J.S.: Visual control of an autonomous vehicle (BART)-The vehicle-following problem, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 40, 654 - 662, (1991)
- [5] Lee, H. and Tomizuka, M.: Adaptive vehicle traction force control for intelligent vehicle highway systems (IVHSs), IEEE Transactions on Industrial Electronics, 50, 37 - 47, (2003)
- [6] Moskwa, John J. and Hedrick, Karl J.: Nonlinear algorithms for automotive engine control, IEEE Control Systems Magazine, 10, 88 - 93, (1990)
- [7] Martinet P., Thuilot B., Bom J.: Autonomous Navigation and Platooning using a Sensory Memory, International IEEE Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS'06, Beijing, China, (2006)
- [8] Myung J.W and Jae Weon C.: A relative navigation system for vehicle platooning, SICE 2001. Proceedings of the 40th SICE Annual Conference. International Session Papers, 28 - 31, (2001)
- [9] Soo-Yeong Yi and Kil-To Chong, Impedance control for a vehicle platoon system, Mechatronics (UK), Vol 15, pages 627, (2005)
- [10] Olivier Lamotte and Stephane Galland and Jean-Michel Contet and Franck Gechter, Submicroscopic and Physics Simulation of Autonomous and Intelligent Vehicles in Virtual Reality, The Second International Conference on Advances in System Simulation (SIMUL 2010), August 22-27, 2010 - Nice, France
- [11] Jean-Michel Contet and Franck Gechter and Pablo Gruer and Abderrafaa Koukam, Bending Virtual Spring-Damper: A Solution to Improve Local Platoon Control, ICCS (1), 2009, 601-610

²<http://web.utbm.fr/safeplatoon>