Modélisations représentations et observateurs robustes et à entrée inconnue pour l'estimation, le diagnostic et l'analyse du comportement dynamique des véhicules

N. K. M'Sirdi, M. Ouladsine et H. Noura

Membres de l'équipe COSI et du pôle diagnostic des systèmes,
LSIS: Laboratoire des Sciences de l'Information et des Systèmes, UMR - CNRS 6168,
Dom. Universitaire St Jérôme, Av. Escadrille Normandie-Niemen 13397 MARSEILLE
nacer.msirdi@lsis.org

Résumé

Dans cette présentation, nous montrerons que les systèmes mécatroniques complexes, présentent certaines caractéristiques utiles pour l'observation est la commande. La possibilité de représenter le système sous forme de sous systèmes interconnectés continu, discrets ou hybrides permet d'exploiter les propriétés physiques et d'améliorer l'observabilité et la contrôlabilité. Une méthodologie de modélisation sous forme cascade peut être exploitée pour l'estimation des variables d'interface. Ces informations seront utiles pour le diagnostic. Les variables d'interface conditionnent le comportement et les performances du véhicule sur la route ainsi que leurs limites en fonction de l'infrastructure. Le comportement dynamique de ce dernier est l'effet des excitations produites à la fois par la chaussée, par le véhicules et sa motorisation et provoquées par le conducteur et ses réactions. Donc trois systèmes complexes sont en présence et la commande ne s'adresse, toujours qu'au véhicule. Les verrous scientifiques qui nous intéressent concernent l'observation et la maîtrise du véhicule: -L'observabilité et l'identifiabilité d'une part, et -La contrôlabilité du véhicule dans son environnement.

Mots Clef

Modélisation de véhicule, Observation et commande, aide à la conduite, détection de défauts, observateurs et estimateurs en ligne..

1 Introduction

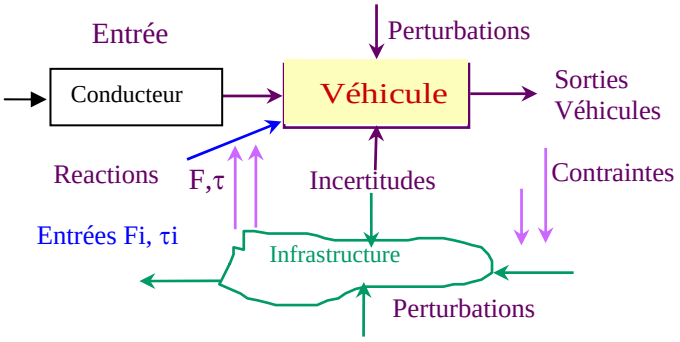
En robotique les processus considérés sont principalement des systèmes mécatroniques qui se veulent des outils de plus en plus perfectionnés et de plus en plus autonomes, au service de l'homme pour la réalisation de tâche de plus en plus complexes. Parmi ces robots (ou super – outils) on peut compter aujourd'hui l'automobile. Dans le passé, l'automobile était essentiellement composée de systèmes électriques et mécaniques jusqu'à ce que le véhicule devienne un outil indispensable pour la mobilité de l'homme. L'exigence de performance et les contraintes de sécurité, conjugués avec les nouvelles technologies, on imposé un niveau d'automatisation plus performant, plus rigoureux et plus fiable. Ainsi les roboticiens et les automaticiens ont été de plus en plus impliqués dans le domaine. Ceci explique qu'actuellement de plus en plus de chercheurs s'intéressent aux applications dans le domaine de l'automobile.

2 Caractéristiques dynamiques des véhicules

Un véhicule est un système mécanique complexe muni de capteurs et d'actionneurs dont la modélisation et représentation des mouvements peut se faire grâce aux outils utilisés classiquement en robotique. La maîtrise de ces mouvements n'est pas une chose évidente car ce système est l'objet de sollicitations du conducteur d'une part et de l'environnement d'autre part, sachant que les échanges d'énergie et les interaction ne se font ni dans des conditions simples, ni invariantes, ni connues ni maîtrisables. Il faut ajouter au modèle mécanique complexe, les modèles des actionneurs utilisés pour la (ou les) motorisation(s) et le freinage, des modèles d'adhérence et d'interaction pneu route. De plus cet ensemble est piloté par le conducteur dont on ne peut encore percer ni le mystère des perceptions et réactions ni la méthode de conduite. Le système à maîtriser de manière fiable est sûre se compose donc comme le montre la figure ci-dessus.

La dynamique d'un véhicule est composée d'une partie mécanique (passive), elle présente donc certaines caractéristiques qui peuvent être fort utiles pour l'observation et la commande. Certaines parties actives et électromécaniques sont conçues de manière adaptée, par les constructeurs, de façon à préserver la stabilité du véhicule et sa contrôlabilité.

Cette dernière observation montre la possibilité de représenter le système sous forme de sous systèmes interconnectés continus, discrets ou hybrides. Cela permettrait d'exploiter les propriétés physiques de chaque partie du système et d'améliorer l'observabilité et la contrôlabilité de l'ensemble du système en mettant en évidence des variables d'états internes qui sont pertinentes pour la compréhension de l'évolution de l'état du processus.



Une méthodologie de modélisation sous forme cascade peut être exploitée tant pour la reconstruction de l'état dynamique du véhicule que pour l'estimation des variables d'interface. Ainsi nous serions en mesure de reconstruire, par des observateurs robustes des états internes et des entrées inconnues. Ces informations seront utiles pour le diagnostic.

3 La controlabilité et l'observabilité

Les systèmes de contrôle de traction réduisent le glissement pendant l'accélération, pour augmenter la contrôlabilité et la manoeuvrabilité du véhicule. Cela permet d'améliorer la sécurité et la tenue de route par un meilleur transfert de couple. Grâce à l'exploitation des outils de l'automatique, l'analyse, l'estimation et l'aide au contrôle permettent d'améliorer le confort, la sécurité et l'exploitation des potentialités des véhicules récents et futurs. Plusieurs travaux ont été proposés dans ce domaine, plusieurs auteurs proposent des observations et ou une commande basé sur les modes glissants. D'autres travaux ont porté sur l'estimation des forces de contact et le développement de méthodes d'identification (moindres carré, filtre de Kalman, observateurs,…), dans le but d'évaluer les performances dynamiques de véhicules.

Le modèle du véhicule utilisé est souvent trop simplifié ou incomplet à cause, d'une part du manque de connaissances sur le processus et d'autre part pour la réalisabilité de l'observation ou la commande (en utilisant des approches connues). Les effets des suspensions et de leurs couplages sont souvent négligés et rares sont les modèles prenant en compte l'aspect stochastique du contact pneu route. Il faut noter en effet que des passages successifs d'une roue sur la même chaussée ne donneraient pas les mêmes signaux.

Les variables d'interface conditionnent le comportement et les performances du véhicule sur la route ainsi que leurs limites en fonction de l'infrastructure. Le comportement dynamique de ce dernier est l'effet des excitations produites à la fois par la chaussée, par le véhicules et sa motorisation et provoquées par le conducteur et ses réactions. Donc trois systèmes complexes, au moins, sont en présence et la commande ne s'adresse, toujours qu'au véhicule.

Les verrous scientifiques qui nous intéressent concernent l'observation et la maîtrise du véhicule :
- L'observabilité et l'identifiabilité d'une part, et
- La contrôlabilité du véhicule dans son environnement.

Les notions d'observabilité et de contrôlabilité sont définies dans le contexte ou 3 systèmes dynamiques complexes interagissent et seul l'un d'entre fait l'objet de la commande (voir la figure ci-dessus). Ceci diffère de la notion d'observabilité et de commandabilité classique en Automatique qui s'adresserait à la dynamique du véhicule seul.
Par ailleurs, ces notions sont rapportées, selon l'objectif considéré, soit du point de vue véhicule (pour définir des aides à la conduite, assistances, estimateurs et indicateurs embarqués) soit du point de vue de l'infrastructure (pour l'amélioration de sa conception et son état).

4 Observation, Contrôle et Diagnostic

La sécurité routière représente un point crucial dans la conception de véhicules et impose de plus en plus l'intégration de système d'aide à la conduite. Durant ces dernières décennies d'importantes études ont été menées dans ce cadre et un grand nombre de méthodes d'observation, de commande et de détection de situations critiques ont été développées. L'objectif consiste à définir et développer des procédures efficaces permettant d'observer la dynamique correctement et de façon robuste et de détecter suffisamment tôt certaines situations critiques et soit de réagir soit d'en avertir le conducteur à l'aide d'une alarme. Quelques méthodes d'observation robuste donnent des pistes pour améliorer les capacités d'appréhender le comportement (observateurs, estimations et diagnostic) et de commande.

Une méthodologie de détection de dysfonctionnements dans la conduite d'un véhicule peut être conçue sous une forme modulaire, à partir d'observateurs robustes couplés à des estimateurs et reconstructeurs d'informations. Les situations à détecter peuvent être : le cas d'une sortie de route, d'une défaillance de la suspension ou de la direction et d'une variation de la pression du pneu et même parfois de défaillances du conducteur. La génération de résidus

permettra d'élaborer des signaux informatifs sur des situations à risques ou situations critiques pour le véhicule routier. Ces observateurs et estimateurs sont développés à partir de modèles spécifiques (et bien orientés) du véhicule. La difficulté principale réside dans l'élaboration de modèles à partir d'un choix de capteurs appropriés suffisamment sensibles pour la détection.

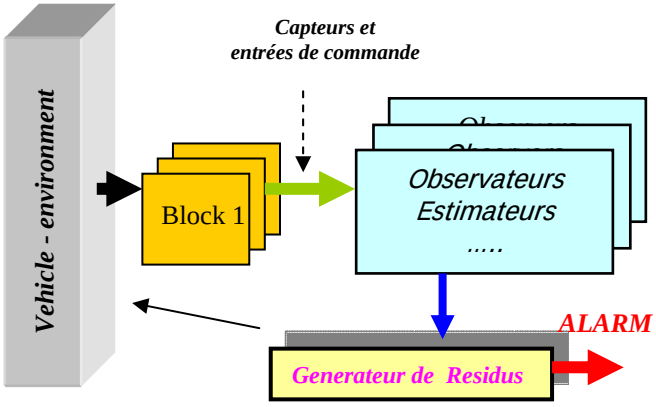


Fig. 1. Structure d'un système de détection

La détection peut être basée sur des techniques analytiques ainsi que des tests d'hypothèses pour une meilleure fiabilité de la détection. Le système de détection est conçu sous une forme modulaire permettant ainsi d'insérer d'autres types de défauts sans avoir besoin de le reconfigurer. Le principe proposé repose sur la construction d'observateurs couplés à des estimateurs. Cet ensemble génère des résidus qui sont examinés par des tests statistiques qui permettront de transmettre des messages d'alertes à destination du conducteur, des autres véhicules ou du gestionnaire de l'infrastructure.

En résumé, les problèmes ouverts concernent, d'une part l'amélioration de l'observabilité, de l'identification et la détection de situations de conduite et, d'autre part, le développement de nouveaux systèmes pour l'information, la détection et l'aide à la conduite. Dans la conférence, nous donnerons plus de détails sur la modélisation et la représentation dynamique des véhicules en vue de la synthèse d'observateurs robustes et à entrée inconnue pour l'estimation, le diagnostic et l'analyse du comportement dynamique des véhicules. Pour la définition de ces observateurs, nous privilégierons l'approche passive et les méthodes de synthèse par modes de glissements.

Références

[1] Ackermann "Robust control prevents car skidding. IEEE Control systems magazine, V17 J, N3, pp23-31, 1997

[2] Dr. Argiris Kamoulakos, Dr Ben G. Kao, "Transient Response of a Rotating Tire under Multiple Impacts with a Road Bump using PAM-SHOCK" Conference on High Performance Computing in Automotive Design, Engineering and Manufacturing 1996

[3] E. Bakker, H. B. Pacejka and L. Linder. A new tire model with an application in vehicle dynamics studies. SAE89,V98,N6,p101-113

[4] M. Bouteldja, N.K. M'Sirdi. Modélisation et observation dynamique d'un poids lourd et estimation des forces latérales. Soumis au CIFA 2004, Douz, Tunisie.

[5] M. Burckhardt, " Fahrwerktechnik: Radschlupf-Regel systeme", Vogel Verlag, Würzburg", 1993.

[6] C.Canudas de Wit, P.Tsiotras, E.Velenis, M.Basset, G.Gissinger. Dynamic Friction Models for Road/Tire Longitudinal Interaction. Vehicle Syst. Dynamics 2003. V39, N3, pp 189-226.

[7] C. L. Clover, and J. E. Bernard, "Longitudinal Tire Dynamics," Vehicle System Dynamics, Vol. 29, pp. 231-259, 1998.

[8] Y.Delanne, G.Beurier, N.K.M'Sirdi. Tire/Road Friction Perfor-mance Models from on-site Measurements. AIPCR PIARC, VIe Symp. "SURF 2000". 01-06.B. mai 2000 pp423-431, Nantes

[9] E.D.Dickmanns and B.D.Mysliwetz., " Recursive 3-D road and relative ego-state estimation" IEEE Transaction on PAMI, 14(2):199-213, February 1992.

[10] S. Drakunov, U. Ozguner, P. Dix and B. Ashrafi. ABS control using optimum search via sliding modes. IEEE Trans. Control Systems Technology, V 3, pp 79-85, March 1995.

[11] P. F. H. Dugoff and L. Segel. An analysis of tire traction properties and their influence on vehicle dynamic performance. SAE Transaction, vol 3, pp. 1219-1243, 1970.

[12] El Hadri, G. Beurier, N. K. M'Sirdi, J.C. Cadiou et Y. Delanne. Simulation et Observateurs pour l'estimation des performances Dynamiques d'un Véhicule. CIFA2000.

[13] El Hadri, G. Beurier, J. C. Cadiou, N.K. M'Sirdi, Y. Delanne. Non-linear longitudinal tire force estimation based sliding mode observer. IFAC 2001, Dusserldorf, Germany. pp51-56.

[14] G. Gim and P. Nikravesh. Analytical model of pneumatic tyres for vehicle dynamic simulations part1: Pure slips. Int J. Vehicle Design, vol. 11, no. 6, pp. 589-618, 1990.

[15] Gérard Gissinger et al, contrôle-commande de la voiture, Hermes ; Paris(2002)

[16] Gentiane Venture. Identification des paramètres dynamiques d'une voiture. Thèse de Doctorat de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, IRCCyN. Nantes novembre 2003.

[17] F. Gustafsson, "Slip-based tire-road friction estimation", Automatica, vol 33, no. 6, pp. 1087-1097, 1997.

[18] J.Harned, L.Johnston, G.Scharpf. Measurement of Tire Brake Forces Characteristics as Related to Wheel Slip (Antilock) Control System Design. SAE Trans. V78, pp909-925, 1969.

[19] Yi, K. Hedrick and S. C. Lee. Estimation of Tire Road

Friction Using Observers Based Identifiers. Vehicle System Dynamics, 31, pp. 233-261, 1999.

[20] H.Imine, N.K.M'Sirdi, L.Laval et Y.Delanne. Observateurs à entrées inconnues par mode glissant appliqués l'estimation du profil de route. CIFA 2002, Nantes, Juillet 2002

[21] H. Imine, N. M'Sirdi, L. Laval, Y. Delanne - Sliding Mode Observers for Systems with Unknown Inputs: Application to estimate the Road Profile. ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control en mars 2003.

[22] H. Imine, Y. Delanne, N.K. Msirdi. Road Profiles Inputs for Vehicle Dynamics Simulation, World Automotive Congress, SAE 2004, Detroit, Michigan, USA, March 8-11, 2004

[23] H. Imine, N.K. M'sirdi and Y. Delanne. Observers with unknown inputs for Estimation of the Road Profile. TMVDA 04. 3rd Int. Tyre Colloquium Tyre Models For Vehicle Dynamics Analysis August 30-31, 2004 University of Technology Vienna, Austria

[24] Imine Hocine, "Observation d'états d'un véhicule pour l'estimation du profil dans les traces de roulement", Thèse à l'Université de Versailles Saint Quentin en Yvelines, 13 decembre 2003.

[25] Isermann, R., "Diagnosis Methods for Electronic Controlled Vehicles", Vehicle System Dynamics, International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, Vol. Vol. 36, No. No. 2-3, (2001).

[26] H.Lee and M.Tomizuka. Adaptative vehicle traction force control for intelligent vehicle highway systems (IVHSs) IEEE Trans. on Industrial Electronics, V 50 N 1 February 2003

[27] Chia Shang Liu and Huei Peng. Road friction coefficient estimation for vehicle path prediction. Vehicle System Dynamics, V 25 supl. 1996, pp413-425.

[28] S. Mammar, L. Nouvelière, N.K. M'Sirdi. Contrôle intégré d'un Véhicule en Automatisation Basse Vitesse.CIFA2000, Lille

[29] Arnaud Miege, "Tyre model for truck ride simulations", thèse soutenue au "Cambridge University", dans le "Department of Engineering", en 2002

[30] Nacer K. M'Sirdi. Observateurs robustes et estimateurs pour l'estimation de la dynamique des véhicules et du contact pneu - route. JAA. Bordeaux, 5-6 Nov 2003

[31] N.K. M'sirdi, A. Rabhi, N. Zbiri and Y. Delanne. VRIM: Vehicle Road Interaction Modelling for Estimation of Contact Forces. Accepted for TMVDA 04. 3rd Int. Tyre Colloquium Tyre Models For Vehicle Dynamics Analysis August 30-31, 2004 University of Technology Vienna, Austria

[32] Msirdi1 : Nacer K. M'Sirdi. Observateurs robustes et estimateurs pour l'estimation de la dynamique des véhicules et du contact pneu - route. JAA. Bordeaux, 5-6 Nov 2003

[33] H.B.Pacejka, I.Besseling. Magic Formula Tyre Model with Transient Properties. 2nd Int Col on Tyre Models for Vehicle Dynamic Analysis, Berlin 1997. Swets and Zeitlinger

[34] H.Peng and M.Tomizuka (1990) " Vehicle lateral control for highway automation " In Proceeding of the American Control Conference pp 788-794 San Diego, U.S.A

[35] Idar Petersen, Wheel Slip Control in ABS Brakes using Gain Scheduled Optimal Control with Constraints, thesis submitted for the degree of doctor engineer. Department of Engineering Cybernetics, Norwegian University of Science and TechnologyTrondheim, Norway 2003.

[36] A. Rabhi, N.K. M'sirdi, N. Zbiri and Y. Delanne. Modélisation pour l'estimation de l'état et des forces d'Interaction Véhicule-Route. CIFA 2004, Douz, Tunisie.

[37] A. Rabhi, H. Imine, N. M' Sirdi and Y. Delanne. Observers With Unknown Inputs to Estimate Contact Forces and Road Profile AVCS'04 International Conference on Advances in Vehicle Control and Safety Genova -Italy, October 28-31 2004

[38] Abdelhamid Rabhi et al. Modélisation des Forces de Contact Véhicule-Chaussée. Rapport interne: LRV, UVSQ, 10, avenue de l'Europe 78140 Vélizy, FRANCE.

[39] Laura Ray. Nonlinear state and tire force estimation for advanced vehicle control. IEEE T on control systems technology, V3, N1, pp117-124, march 1995,

[40] J.Stephant, A. Charara, D.Meizel. Contact roue -sol : comparaison de modèles d'efforts. JAA 2001. Bordeaux, France.

[41] H. Shraim, M. Ouladsine, H. Noura, M. El Adel, ``The study of the influence of the pneumatic defects of the vehicles' dynamics", in: International Conference on Advances in Vehicle Control and Safety AVCS'04., 28-31 octobre 2004

[42] Jacob Svendenius, Review of Wheel Modelling and Friction Estimation, Bjorn Wittenmark, department of automatic control, Lund institute of technology Augusti 2003

[43] Takaji Umeno, Katsuhiro Asano, Hideki Ohashi, Masahiro Yonetani, Toshiharu Naitou, Takeyasu Taguchi, « Observer based estimation of parameter variations and its application to tyre pressure diagnosis » article de Science Direct, Control Engineering Practice (2001)

[44] K. UWE and L. NIELSEN, "Automotive control system",Springer(2000)

[45] Zegelaar, P.W.A., The dynamic response of tyres to brake torque unevennesses, PhD Thesis, Delft University of Technology, 1998.

[46] Zbiri, A. Rabhi, N.K. M'sirdi., Detection of critical situations for lateral vehicle control. AVCS'04 International Conference on Advances in Vehicle Control and Safety Genova -Italy, October 28-31 2004

[47] N. Zbiri, A. Rabhi, N.K. M'Sirdi «Diagnosis on the Vehicle Suspension » ACD04, Karlsruhe, October 17-18 2004.