Sébastien Varrier
2927 avenue d'Uriage
38410 Vaulnaveys-le-Haut
Mail. varrier.sebastien@orange.fr
sebastien.varrier@esisar.grenoble-inp.fr

2013 – 2014 : Poste ATER à Valence (LCIS - ESISAR, Grenoble-INP)

Doctorat : Détection de situations critiques et commande robuste tolérante aux défauts pour l'automobile
(2010 - 2013, soutenu le 18 Septembre 2013)

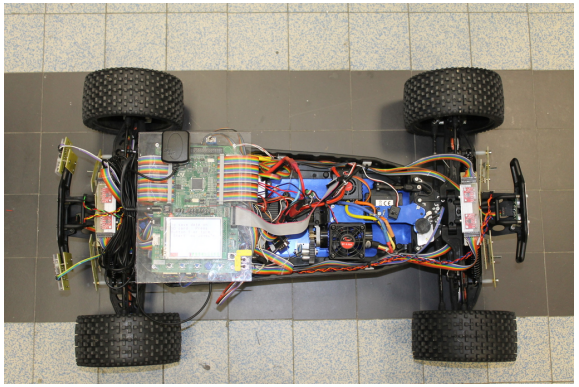
Encadrants : Damien KOENIG et John-Jairo MARTINEZ-MOLINA
Gipsa-Lab (Equipe SLR)

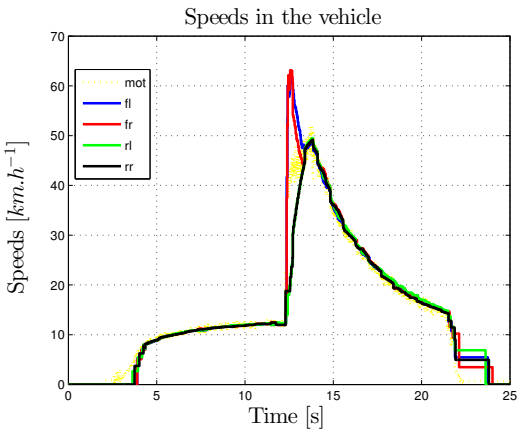
Scolarité :

- 2009 - 2010 : Master recherche en Automatique à l'école doctorale EEATS (Electronique, Electrotechnique, Automatique et Traitement du Signal)
  - Stage : Commande robuste de véhicule sous-marin autonome, *Thèse de Master, Gipsa-Lab*
- 2007 - 2010 : Diplôme d'ingénieur à l'ENSE^3 (Grenoble-INP, école de l'Energie, l'Eau et l'Environnement)

Activités de recherche

- Commande décentralisée (LCIS - Grenoble-INP)
- Modélisation de véhicules automobiles et analogies avec les systèmes LPV
- Développement de méthodologies pour la détection de défauts pour systèmes LPV
  - Détection de défauts pour systèmes LPV, incertains avec entrées inconnues
- Validations expérimentales sur véhicules réels (détection de défauts capteur d'ESP, commende tolérante d'amortisseurs semi-actifs, détection de situations critiques pour la dynamique latérale / longitudinales)





Utilisation du véhicule 1/5eme comme plateforme pédagogique : TP Identification, Implémentation de contrôleurs, Traitement du signal etc ...

Introduction

Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV

Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules

Conclusion

Détection de défauts robuste pour systèmes incertains, LPV et à entrées inconnues

Sébastien Varrier

LCIS, (anc. Gipsa-Lab), Grenoble INP

28 janvier 2014

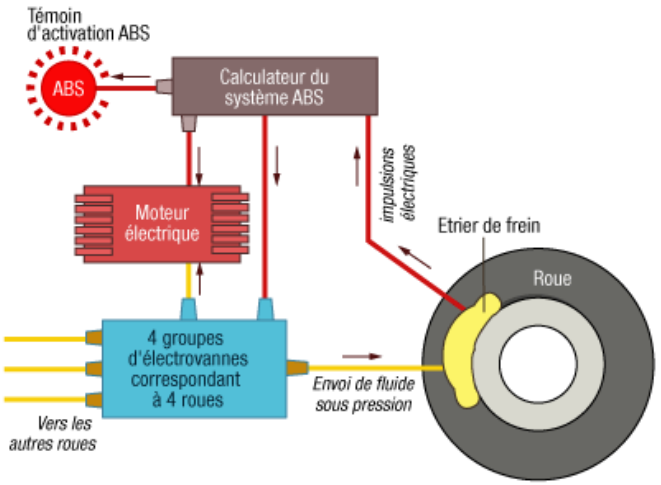
ANR 2010blan0308

Motivations

Systèmes de sécurité et de confort

Les véhicules modernes sont de plus en plus équipés avec des organes de sécurité et de confort actifs :

- ABS : anti-blocage des roues
- ESP : détecte la perte d'adhérence et l'erreur de trajectoire et rattrape la trajectoire
- ACC : régulation de la vitesse avec détecteur anti-collision
- Suspension active : amélioration du confort ou de la tenue de route.



Que se passe t-il en cas de défaillance ?

Peut-on anticiper une perte d'adhérence d'un véhicule ?

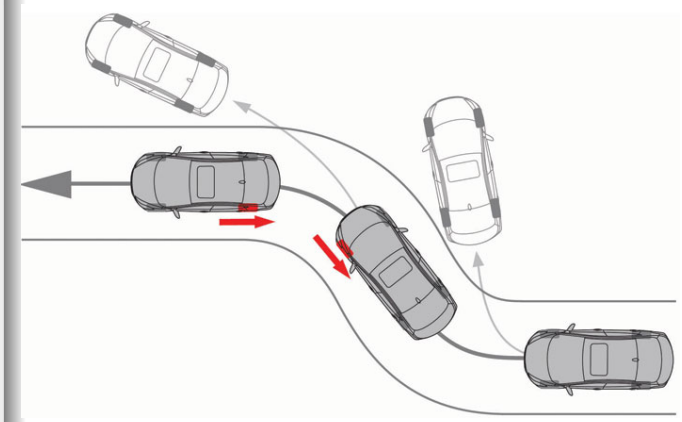
ANR 2010blan0308

Motivations

Systèmes de sécurité et de confort

Les véhicules modernes sont de plus en plus équipés avec des organes de sécurité et de confort actifs :

- ABS : anti-blocage des roues
- ESP : détecte la perte d'adhérence et l'erreur de trajectoire et rattrape la trajectoire
- ACC : régulation de la vitesse avec détecteur anti-collision
- Suspension active : amélioration du confort ou de la tenue de route.



Que se passe t-il en cas de défaillance ?

Peut-on anticiper une perte d'adhérence d'un véhicule ?

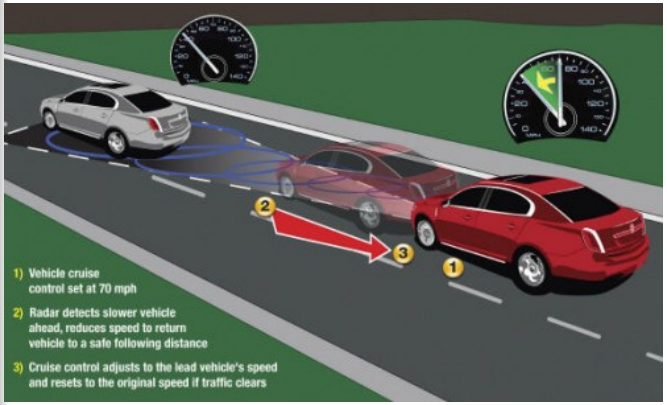
ANR 2010blan0308

Motivations

Systèmes de sécurité et de confort

Les véhicules modernes sont de plus en plus équipés avec des organes de sécurité et de confort actifs :

- ABS : anti-blocage des roues
- ESP : détecte la perte d'adhérence et l'erreur de trajectoire et rattrape la trajectoire
- ACC : régulation de la vitesse avec détecteur anti-collision
- Suspension active : amélioration du confort ou de la tenue de route.



Que se passe t-il en cas de défaillance ?

Peut-on anticiper une perte d'adhérence d'un véhicule ?

ANR 2010blan0308

Motivations

Systèmes de sécurité et de confort

Les véhicules modernes sont de plus en plus équipés avec des organes de sécurité et de confort actifs :

- ABS : anti-blocage des roues
- ESP : détecte la perte d'adhérence et l'erreur de trajectoire et rattrape la trajectoire
- ACC : régulation de la vitesse avec détecteur anti-collision
- Suspension active : amélioration du confort ou de la tenue de route.

Que se passe t-il en cas de défaillance ?

Peut-on anticiper une perte d'adhérence d'un véhicule ?

ANR 2010blan0308

Motivations

Systèmes de sécurité et de confort

Les véhicules modernes sont de plus en plus équipés avec des organes de sécurité et de confort actifs :

- ABS : anti-blocage des roues
- ESP : détecte la perte d'adhérence et l'erreur de trajectoire et rattrape la trajectoire
- ACC : régulation de la vitesse avec détecteur anti-collision
- Suspension active : amélioration du confort ou de la tenue de route.

Que se passe t-il en cas de défaillance ?

Peut-on anticiper une perte d'adhérence d'un véhicule ?

ANR 2010blan0308

Plan

1. Introduction
2. Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
   - Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
   - Synthèse de résidus par optimisation
   - Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV
3. Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
   - Détection d'un défaut capteur et robustesse
   - Détection de situations critiques
4. Conclusion

ANR 2010blan0308

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus par optimisation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques

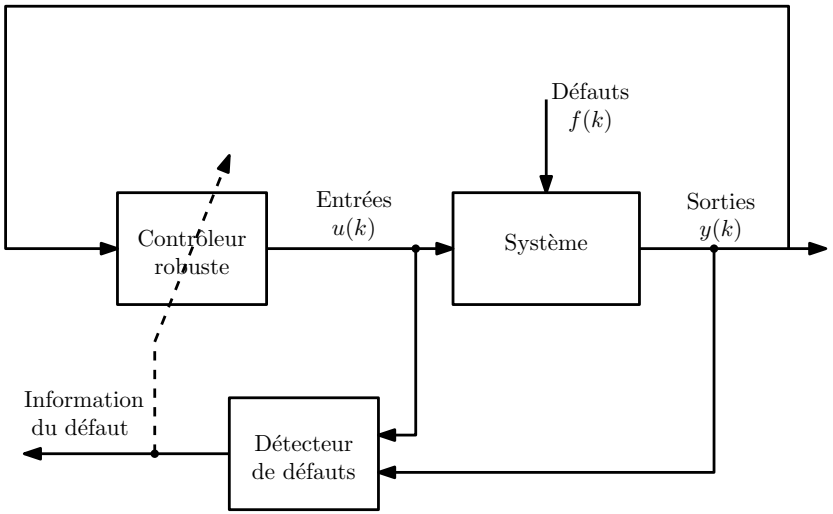
4 Conclusion

ANR 2010blan0308

Détection de défauts

Qu'est ce qu'un diagnostic ?

Un diagnostic permet de caractériser l'état du système, c'est à dire : en défaut ou sain.
Le diagnostic est généralement combiné avec des algorithmes de tolérance au défaut afin d'accommoder le défaut.



Détection de défauts $\neq$ Contrôle tolérant (contrôle robuste)

La détection de défaut n'est qu'une étape pour la commande robuste !!

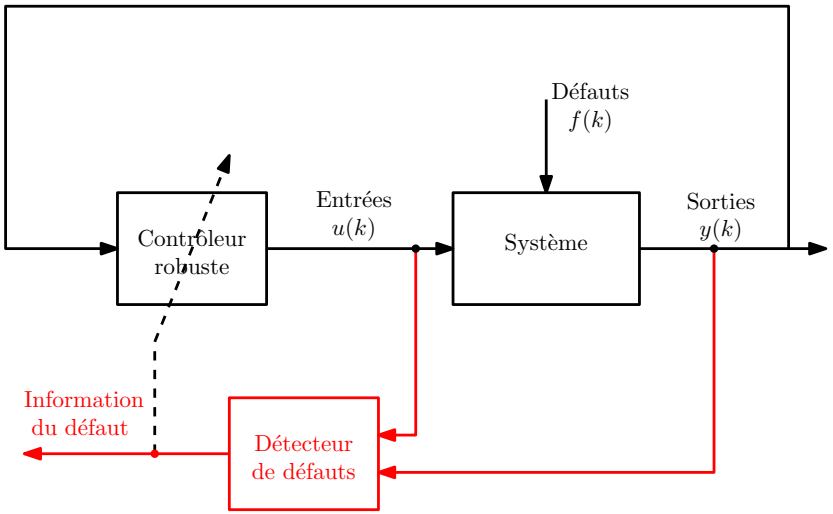
- Fonctionne en boucle ouverte
- Génère un signal robuste aux perturbations et sensible aux phénomènes anormaux (défauts)

ANR 2010blan0308

Détection de défauts

Qu'est ce qu'un diagnostic ?

Un diagnostic permet de caractériser l'état du système, c'est à dire : en défaut ou sain.
Le diagnostic est généralement combiné avec des algorithmes de tolérance au défaut afin d'accommoder le défaut.



Détection de défauts $\neq$ Contrôle tolérant (contrôle robuste)

La détection de défaut n'est qu'une étape pour la commande robuste !!

- Fonctionne en boucle ouverte
- Génère un signal robuste aux perturbations et sensible aux phénomènes anormaux (défauts)

ANR 2010blan0308

Détection de défauts

Il existe différents types de diagnostics :

- Détection de défaut par redondance analytique [1] [2]
- Méthodes statistiques et géométriques [3] [4] [5]
- Méthodes par observateurs [6] [7]

et différents objectifs de diagnostics :

Détection de défaut

Un résidu informe d'un état "en défaut" du système.

Localisation du défaut

La détection et localisation de défaut permet de savoir quel organe (capteur, actionneur) est en défaut.

Estimation du défaut

Cette dernière catégorie permet en plus de quantifier l'amplitude du défaut.

[1] *E. Chow, A. Willsky, Analytical redundancy and the design of robust failure detection systems,IEEE Transactions on Automatic Control, pp.603-614, 1984*

[2] *J. Gertler, Fault detection and diagnosis in engineering systems, New York - Marcel Dekker, 1998*

[3] *M. Basseville, I.V. Nikiforov, Detection of Abrupt Changes - Theory and Application, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, 1993*

[4] *M. Basseville, I.V. Nikiforov, Detection of Abrupt Changes - Theory and Application, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, 1993*

[5] *G. Balas, J. Bokor, Z. Szabó, Invariant subspace for LPV systems and their applications, IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 48, pp. 2065-2069, 2003*

[6] *J. Chen, R. Patton, Robust Model-Based Fault Diagnosis for Dynamic Systems, Kluwer Academic Publishers, 1999*

[7] *S. Ding, Model-based Fault diagnosis techniques, Springer, Berlin 2008*

Détection de défauts

Il existe différents types de diagnostics :

- Détection de défaut par redondance analytique [1] [2]
- Méthodes statistiques et géométriques [3] [4] [5]
- Méthodes par observateurs [6] [7]

et différents objectifs de diagnostics :

Détection de défaut

Un résidu informe d'un état "en défaut" du système.

Localisation du défaut

La détection et localisation de défaut permet de savoir quel organe (capteur, actionneur) est en défaut.

Estimation du défaut

Cette dernière catégorie permet en plus de quantifier l'amplitude du défaut.

[1] *E. Chow, A. Willsky, Analytical redundancy and the design of robust failure detection systems,IEEE Transactions on Automatic Control, pp.603-614, 1984*

[2] *J. Gertler, Fault detection and diagnosis in engineering systems, New York - Marcel Dekker, 1998*

[3] *M. Basseville, I.V. Nikiforov, Detection of Abrupt Changes - Theory and Application, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, 1993*

[4] *M. Basseville, I.V. Nikiforov, Detection of Abrupt Changes - Theory and Application, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, 1993*

[5] *G. Balas, J. Bokor, Z. Szabó, Invariant subspace for LPV systems and their applications, IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 48, pp. 2065-2069, 2003*

[6] *J. Chen, R. Patton, Robust Model-Based Fault Diagnosis for Dynamic Systems, Kluwer Academic Publishers, 1999*

[7] *S. Ding, Model-based Fault diagnosis techniques, Springer, Berlin 2008*

ANR 2010blan0308

Détection de défauts

Il existe différents types de diagnostics :

- Détection de défaut par redondance analytique [1] [2]
- Méthodes statistiques et géométriques [3] [4] [5]
- Méthodes par observateurs [6] [7]

et différents objectifs de diagnostics :

Détection de défaut

Un résidu informe d'un état "en défaut" du système.

Localisation du défaut

La détection et localisation de défaut permet de savoir quel organe (capteur, actionneur) est en défaut.

Estimation du défaut

Cette dernière catégorie permet en plus de quantifier l'amplitude du défaut.

[1] *E. Chow, A. Willsky, Analytical redundancy and the design of robust failure detection systems,IEEE Transactions on Automatic Control, pp.603-614, 1984*

[2] *J. Gertler, Fault detection and diagnosis in engineering systems, New York - Marcel Dekker, 1998*

[3] *M. Basseville, I.V. Nikiforov, Detection of Abrupt Changes - Theory and Application, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, 1993*

[4] *M. Basseville, I.V. Nikiforov, Detection of Abrupt Changes - Theory and Application, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, 1993*

[5] *G. Balas, J. Bokor, Z. Szabó, Invariant subspace for LPV systems and their applications, IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 48, pp. 2065-2069, 2003*

[6] *J. Chen, R. Patton, Robust Model-Based Fault Diagnosis for Dynamic Systems, Kluwer Academic Publishers, 1999*

[7] *S. Ding, Model-based Fault diagnosis techniques, Springer, Berlin 2008*

Détection de défauts

Il existe différents types de diagnostics :

- Détection de défaut par redondance analytique [1] [2]
- Méthodes statistiques et géométriques [3] [4] [5]
- Méthodes par observateurs [6] [7]

et différents objectifs de diagnostics :

Détection de défaut

Un résidu informe d'un état "en défaut" du système.

Localisation du défaut

La détection et localisation de défaut permet de savoir quel organe (capteur, actionneur) est en défaut.

Estimation du défaut

Cette dernière catégorie permet en plus de quantifier l'amplitude du défaut.

[1] *E. Chow, A. Willsky, Analytical redundancy and the design of robust failure detection systems,IEEE Transactions on Automatic Control, pp.603-614, 1984*

[2] *J. Gertler, Fault detection and diagnosis in engineering systems, New York - Marcel Dekker, 1998*

[3] *M. Basseville, I.V. Nikiforov, Detection of Abrupt Changes - Theory and Application, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, 1993*

[4] *M. Basseville, I.V. Nikiforov, Detection of Abrupt Changes - Theory and Application, Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, 1993*

[5] *G. Balas, J. Bokor, Z. Szabó, Invariant subspace for LPV systems and their applications, IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 48, pp. 2065-2069, 2003*

[6] *J. Chen, R. Patton, Robust Model-Based Fault Diagnosis for Dynamic Systems, Kluwer Academic Publishers, 1999*

[7] *S. Ding, Model-based Fault diagnosis techniques, Springer, Berlin 2008*

ANR 2010blan0308

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
  - Extension "brutale" pour systèmes LPV
  - Cas des systèmes à faible variation des paramètres dans le temps
- Synthèse de résidus par optimisation
  - Synthèse de résidu pour systèmes incertains
  - Première extension : robustesse vis à vis des variations paramétriques
  - Résidu orienté vers l'implémentation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV
  - Modélisation des systèmes $\mathcal{U} - LPV$
  - Approche par espace de parité
  - Approche polytopique par optimisation

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques

4 Conclusion

ANR 2010blan0308

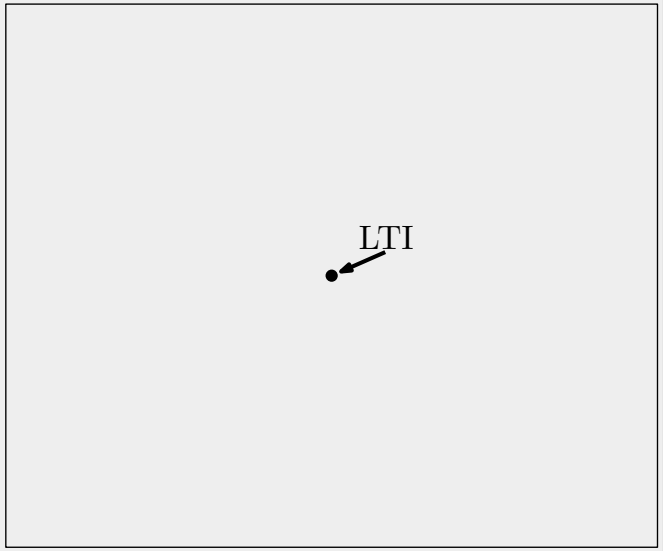
Espace de parité pour les systèmes LPV

Introduction des différents travaux

Tous les travaux sont inspirés de la méthodologie de l'espace de parité.

Evolution de la méthodologie :

- **Système LTI** *(détection de défauts sur la dynamique verticale)*.
- **Extension aux systèmes LPV** *(détection de défaut capteur pour la dynamique latérale)*.
- **Lien entre systèmes LPV et systèmes incertains** *(détection de défaut capteur et de situations critiques pour la dynamique latérale)*
- **Extension aux systèmes LPV incertains à entrées inconnues** $\mathcal{U}-LPV$ *(détection de défaut capteur pour la dynamique latérale)*



Publications associées

J1 Sébastien Varrier and Damien Koenig and John-Jairo Martinez-Molina, *Robust fault detection for Uncertain Unknown Inputs LPV system*, A paraître dans **Control Engineering Practice**

C1 Sébastien Varrier, Damien Koenig, and John-Jairo Martinez-Molina. *A parity space-based fault detection on lpv systems : Approach for vehicle lateral dynamics control system*. 8th IFAC Symposium Safeprocess, México, 8 :1191–1196, 2012. México, México city.

C2 Sébastien Varrier, Damien Koenig, and John-Jairo Martinez-Molina. *Robust fault detection for vehicle lateral dynamics*. Proceedings of the 51st IEEE Conference on Decision and Control, pp. 4366–4371, 2012. USA, Hawaii, Maui.

ANR 2010blan0308

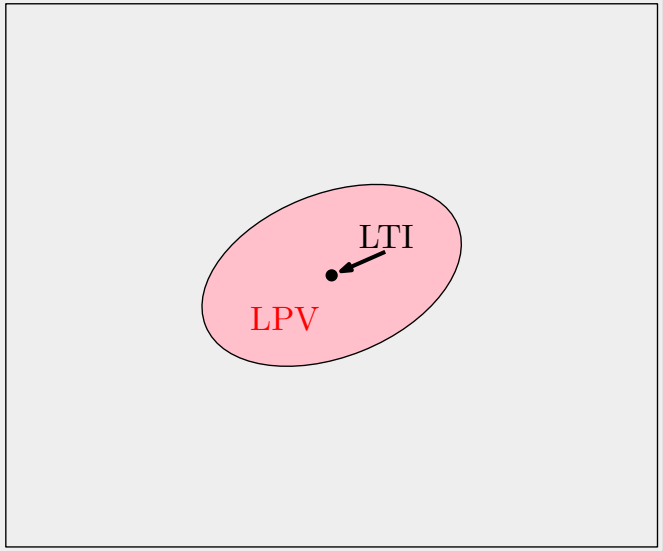
Espace de parité pour les systèmes LPV

Introduction des différents travaux

Tous les travaux sont inspirés de la méthodologie de l'espace de parité.

Evolution de la méthodologie :

- **Système LTI** *(détection de défauts sur la dynamique verticale)*.
- **Extension aux systèmes LPV** *(détection de défaut capteur pour la dynamique latérale)*.
- **Lien entre systèmes LPV et systèmes incertains** *(détection de défaut capteur et de situations critiques pour la dynamique latérale)*
- **Extension aux systèmes LPV incertains à entrées inconnues** $\mathcal{U} - LPV$ *(détection de défaut capteur pour la dynamique latérale)*



Publications associées

J1 Sébastien Varrier and Damien Koenig and John-Jairo Martinez-Molina, *Robust fault detection for Uncertain Unknown Inputs LPV system*, A paraître dans **Control Engineering Practice**

C1 Sébastien Varrier, Damien Koenig, and John-Jairo Martinez-Molina. *A parity space-based fault detection on lpv systems : Approach for vehicle lateral dynamics control system*. 8th IFAC Symposium Safeprocess, México, 8 :1191–1196, 2012. México, México city.

C2 Sébastien Varrier, Damien Koenig, and John-Jairo Martinez-Molina. *Robust fault detection for vehicle lateral dynamics*. Proceedings of the 51st IEEE Conference on Decision and Control, pp. 4366–4371, 2012. USA, Hawaii, Maui.

ANR 2010blan0308

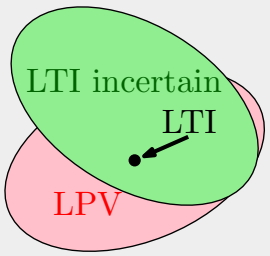
Espace de parité pour les systèmes LPV

Introduction des différents travaux

Tous les travaux sont inspirés de la méthodologie de l'espace de parité.

Evolution de la méthodologie :

- **Système LTI** *(détection de défauts sur la dynamique verticale)*.
- **Extension aux systèmes LPV** *(détection de défaut capteur pour la dynamique latérale)*.
- **Lien entre systèmes LPV et systèmes incertains** *(détection de défaut capteur et de situations critiques pour la dynamique latérale)*
- **Extension aux systèmes LPV incertains à entrées inconnues** $\mathcal{U} - LPV$ *(détection de défaut capteur pour la dynamique latérale)*



Publications associées

J1 Sébastien Varrier and Damien Koenig and John-Jairo Martinez-Molina, *Robust fault detection for Uncertain Unknown Inputs LPV system*, A paraître dans **Control Engineering Practice**

C1 Sébastien Varrier, Damien Koenig, and John-Jairo Martinez-Molina. *A parity space-based fault detection on lpv systems : Approach for vehicle lateral dynamics control system*. 8th IFAC Symposium Safeprocess, México, 8 :1191–1196, 2012. México, México city.

C2 Sébastien Varrier, Damien Koenig, and John-Jairo Martinez-Molina. *Robust fault detection for vehicle lateral dynamics*. Proceedings of the 51st IEEE Conference on Decision and Control, pp. 4366–4371, 2012. USA, Hawaii, Maui.

ANR 2010blan0308

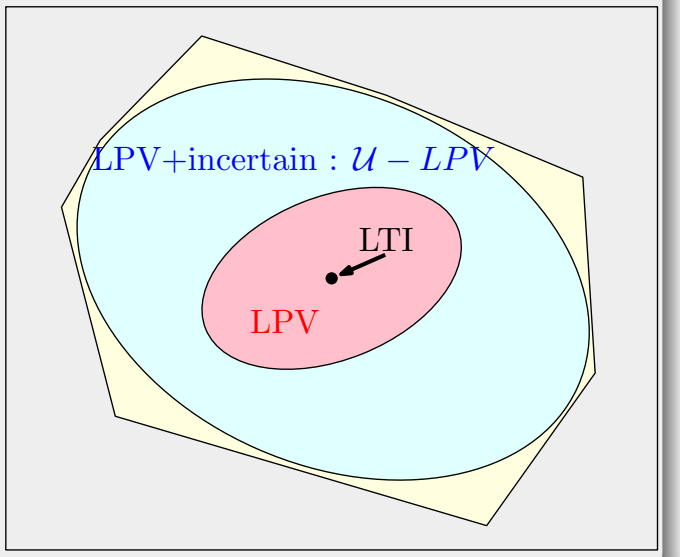
Espace de parité pour les systèmes LPV

Introduction des différents travaux

Tous les travaux sont inspirés de la méthodologie de l'espace de parité.

Evolution de la méthodologie :

- **Système LTI** *(détection de défauts sur la dynamique verticale)*.
- **Extension aux systèmes LPV** *(détection de défaut capteur pour la dynamique latérale)*.
- **Lien entre systèmes LPV et systèmes incertains** *(détection de défaut capteur et de situations critiques pour la dynamique latérale)*
- **Extension aux systèmes LPV incertains à entrées inconnues** $\mathcal{U} - LPV$ *(détection de défaut capteur pour la dynamique latérale)*



Publications associées

J1 Sébastien Varrier and Damien Koenig and John-Jairo Martinez-Molina, *Robust fault detection for Uncertain Unknown Inputs LPV system*, A paraître dans **Control Engineering Practice**

C1 Sébastien Varrier, Damien Koenig, and John-Jairo Martinez-Molina. *A parity space-based fault detection on lpv systems : Approach for vehicle lateral dynamics control system*. 8th IFAC Symposium Safeprocess, México, 8 :1191–1196, 2012. México, México city.

C2 Sébastien Varrier, Damien Koenig, and John-Jairo Martinez-Molina. *Robust fault detection for vehicle lateral dynamics*. Proceedings of the 51st IEEE Conference on Decision and Control, pp. 4366–4371, 2012. USA, Hawaii, Maui.

ANR 2010blan0308

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
  - Extension "brutale" pour systèmes LPV
  - Cas des systèmes à faible variation des paramètres dans le temps
- Synthèse de résidus par optimisation
  - Synthèse de résidu pour systèmes incertains
  - Première extension : robustesse vis à vis des variations paramétriques
  - Résidu orienté vers l'implémentation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV
  - Modélisation des systèmes $\mathcal{U} - LPV$
  - Approche par espace de parité
  - Approche polytopique par optimisation

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques

4 Conclusion

ANR 2010blan0308

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
  - Extension "brutale" pour systèmes LPV
  - Cas des systèmes à faible variation des paramètres dans le temps
- Synthèse de résidus par optimisation
  - Synthèse de résidu pour systèmes incertains
  - Première extension : robustesse vis à vis des variations paramétriques
  - Résidu orienté vers l'implémentation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV
  - Modélisation des systèmes $\mathcal{U} - LPV$
  - Approche par espace de parité
  - Approche polytopique par optimisation

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques

4 Conclusion

Extension "brutale" pour systèmes LPV

Extension de la méthode de l'espace de parité pour les systèmes LPV

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A(\rho(k))x(k) + B(\rho(k))u(k) \\ y(k) &= C(\rho(k))x(k) + D(\rho(k))u(k) \end{aligned}$$

Les mesures sont exprimées selon un horizon s :

$$\underbrace{\begin{bmatrix} y(k) \\ y(k+1) \\ \vdots \\ \vdots \\ y(k+s) \end{bmatrix}}_{\mathcal{Y}} - \mathcal{G}(\rho(k)) \underbrace{\begin{bmatrix} u(k) \\ u(k+1) \\ \vdots \\ \vdots \\ u(k+s-1) \end{bmatrix}}_{\mathcal{U}} = \underbrace{\begin{bmatrix} C(\rho(k)) \\ C(\rho(k+1))A(\rho(k)) \\ \vdots \\ \vdots \\ C(\rho(k+s)) \prod_{i=1}^{s} A(\rho(k+s-i)) \end{bmatrix}}_{\mathcal{H}(\rho(k))} x(k)$$

L'objectif est alors de trouver la matrice $W(\rho(k))$ telle que $W(\rho(k)) \cdot \mathcal{H}(\rho(k)) = 0$. Le résidu est alors donné par :

$$r = W(\rho(k))(\mathcal{Y} - \mathcal{G}(\rho(k))\mathcal{U}) = W(\rho(k)) \cdot \mathcal{H}(\rho(k)) = 0$$

Extension "brutale" pour systèmes LPV

Extension de la méthode de l'espace de parité pour les systèmes LPV

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A(\rho(k))x(k) + B(\rho(k))u(k) \\ y(k) &= C(\rho(k))x(k) + D(\rho(k))u(k) \end{aligned}$$

Les mesures sont exprimées selon un horizon s :

$$\underbrace{\begin{bmatrix} y(k) \\ y(k+1) \\ \vdots \\ \vdots \\ y(k+s) \end{bmatrix}}_{\mathcal{Y}} + \underbrace{\begin{bmatrix} y_F(k) \\ y_F(k+1) \\ \vdots \\ \vdots \\ y_F(k+s) \end{bmatrix}}_{\mathcal{Y}_F} - \mathcal{G}(\rho(k)) \underbrace{\begin{bmatrix} u(k) \\ u(k+1) \\ \vdots \\ \vdots \\ u(k+s-1) \end{bmatrix}}_{\mathcal{U}} = \underbrace{\begin{bmatrix} C(\rho(k)) \\ C(\rho(k+1))A(\rho(k)) \\ \vdots \\ \vdots \\ C(\rho(k+s)) \prod_{i=1}^{s} A(\rho(k+s-i)) \end{bmatrix}}_{\mathcal{H}(\rho(k))} x(k)$$

L'objectif est alors de trouver la matrice $W(\rho(k))$ telle que $W(\rho(k)) \cdot \mathcal{H}(\rho(k)) = 0$. Le résidu est alors donné par :

$$r = W(\rho(k))(\mathcal{Y} - \mathcal{G}(\rho(k))\mathcal{U}) = W(\rho(k)) \cdot \mathcal{H}(\rho(k)) - W(\rho(k))\mathcal{Y}_F = -W(\rho(k))\mathcal{Y}_F$$

Extension "brutale" pour systèmes LPV

Calcul de $W(\rho(k))$

- Analytique : Décomposer $\mathcal{H}(\rho(k))$ sous la forme $\mathcal{H}(\rho(k)) = \begin{bmatrix} \mathcal{H}_1(\rho(k)) \\ \mathcal{H}_2(\rho(k)) \end{bmatrix}$ où $\mathcal{H}_1(\rho(k))$ est la partie régulière de $\mathcal{H}(\rho(k))$.
  $W(\rho(k))$ est alors donné par :
  $$W(\rho(k)) = \begin{bmatrix} -\mathcal{H}_2(\rho(k)) \cdot \mathcal{H}_1{}^{-1}(\rho(k)) & \mathbb{I} \end{bmatrix}$$
- Matlab + calculs symboliques: `W = null(H')';`

Difficulté : CALCUL DE L'INVERSE FORMELLE

Solutions

- Possibilité analytique : OK
- Numériquement : matrices de faible dimension (difficile à quantifier)
- Affranchissement du calcul de l'inverse

Extension "brutale" pour systèmes LPV

Calcul de $W(\rho(k))$

- Analytique : Décomposer $\mathcal{H}(\rho(k))$ sous la forme $\mathcal{H}(\rho(k)) = \begin{bmatrix} \mathcal{H}_1(\rho(k)) \\ \mathcal{H}_2(\rho(k)) \end{bmatrix}$ où $\mathcal{H}_1(\rho(k))$ est la partie régulière de $\mathcal{H}(\rho(k))$.
  $W(\rho(k))$ est alors donné par :
  $$W(\rho(k)) = \begin{bmatrix} -\mathcal{H}_2(\rho(k)) \cdot \mathcal{H}_1{}^{-1}(\rho(k)) & \mathbb{I} \end{bmatrix}$$
- Matlab + calculs symboliques: `W = null(H')';`

Difficulté : CALCUL DE L'INVERSE FORMELLE

Solutions

- Possibilité analytique : OK
- Numériquement : matrices de faible dimension (difficile à quantifier)
- Affranchissement du calcul de l'inverse

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
  - Extension "brutale" pour systèmes LPV
  - Cas des systèmes à faible variation des paramètres dans le temps
- Synthèse de résidus par optimisation
  - Synthèse de résidu pour systèmes incertains
  - Première extension : robustesse vis à vis des variations paramétriques
  - Résidu orienté vers l'implémentation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV
  - Modélisation des systèmes $\mathcal{U} - LPV$
  - Approche par espace de parité
  - Approche polytopique par optimisation

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques

4 Conclusion

Cas des systèmes à faible variation des paramètres dans le temps

Méthodologie

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A(\rho(k))x(k) + B(\rho(k))u(k) \\ y(k) &= C(\rho(k))x(k) + D(\rho(k))u(k) \end{aligned}$$

En appliquant la méthodologie de l'espace de parité, les mesures sont exprimées selon un horizon s :

$$\underbrace{\begin{bmatrix} y(k) \\ y(k+1) \\ \vdots \\ \vdots \\ y(k+s) \end{bmatrix}}_{\mathcal{Y}} - \mathcal{G}(\rho(k)) \underbrace{\begin{bmatrix} u(k) \\ u(k+1) \\ \vdots \\ \vdots \\ u(k+s-1) \end{bmatrix}}_{\mathcal{U}} = \underbrace{\begin{bmatrix} C(\rho(k)) \\ C(\rho(k+1))A(\rho(k)) \\ \vdots \\ \vdots \\ C(\rho(k+s))\prod_{i=1}^{s} A(\rho(k+s-i)) \end{bmatrix}}_{\mathcal{H}(\rho(k))} x(k)$$

Si les paramètres peuvent être considérés "constants" sur l'horizon s :

$$\rho(k) = \rho(k+1) = \cdots = \rho(k+s)$$

Cas des systèmes à faible variation des paramètres dans le temps

Méthodologie

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A(\rho(k))x(k) + B(\rho(k))u(k) \\ y(k) &= C(\rho(k))x(k) + D(\rho(k))u(k) \end{aligned}$$

En appliquant la méthodologie de l'espace de parité, les mesures sont exprimées selon un horizon s :

$$\underbrace{\begin{bmatrix} y(k) \\ y(k+1) \\ \vdots \\ \vdots \\ y(k+s) \end{bmatrix}}_{\mathcal{Y}} - \mathcal{G}(\rho(k)) \underbrace{\begin{bmatrix} u(k) \\ u(k+1) \\ \vdots \\ \vdots \\ u(k+s-1) \end{bmatrix}}_{\mathcal{U}} = \underbrace{\begin{bmatrix} C(\rho(k)) \\ C(\rho(k))A(\rho(k)) \\ \vdots \\ \vdots \\ C(\rho(k))A^s(\rho(k)) \end{bmatrix}}_{\mathcal{H}(\rho(k))} x(k)$$

Si les paramètres peuvent être considérés "constants" sur l'horizon s :

$$\rho(k) = \rho(k+1) = \cdots = \rho(k+s)$$

Cas des systèmes à faible variation des paramètres dans le temps

Matrice de parité dans le cas de faible variations de paramètres

La matrice $\mathcal{H}(\rho(k))$ peut se réécrire :

$$\mathcal{H}(\rho(k)) = \begin{bmatrix} C(\rho(k)) \\ C(\rho(k))A(\rho(k)) \\ \vdots \\ C(\rho(k))A^s(\rho(k)) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C(\rho(k)) & & \\ & \ddots & \\ & & C(\rho(k)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbb{I}_n \\ A(\rho(k)) \\ \vdots \\ A^s(\rho(k)) \end{bmatrix}$$

Grâce au théorème de Cayley-Hamilton, on a la relation sur la matrice $A(\rho(k))$ suivante :

$$A^n(\rho(k)) + a_{n-1}(\rho(k))A^{n-1}(\rho(k)) + \cdots + a_0(\rho(k))\mathbb{I}_n = 0$$

Ainsi, on obtient :

$$\begin{bmatrix} a_0(\rho(k)) & \cdots & a_{n-1}(\rho(k)) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C(\rho(k))\mathbb{I}_n \\ C(\rho(k))A(\rho(k)) \\ \vdots \\ C(\rho(k))A^s(\rho(k)) \end{bmatrix} = 0$$

Matrice de parité dans le cas de faible variations de paramètres

La matrice de parité est définie par les coefficients du polynôme caractéristique de la matrice $A(\rho(k))$:

$$W(\rho(k)) = \begin{bmatrix} a_0(\rho(k)) & \cdots & a_{n-1}(\rho(k)) & 1 \end{bmatrix}$$

Cas des systèmes à faible variation des paramètres dans le temps

Matrice de parité dans le cas de faible variations de paramètres

La matrice $\mathcal{H}(\rho(k))$ peut se réécrire :

$$\mathcal{H}(\rho(k)) = \begin{bmatrix} C(\rho(k)) \\ C(\rho(k))A(\rho(k)) \\ \vdots \\ C(\rho(k))A^s(\rho(k)) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C(\rho(k)) & & \\ & \ddots & \\ & & C(\rho(k)) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbb{I}_n \\ A(\rho(k)) \\ \vdots \\ A^s(\rho(k)) \end{bmatrix}$$

Grâce au théorème de Cayley-Hamilton, on a la relation sur la matrice $A(\rho(k))$ suivante :

$$A^n(\rho(k)) + a_{n-1}(\rho(k))A^{n-1}(\rho(k)) + \cdots + a_0(\rho(k))\mathbb{I}_n = 0$$

Ainsi, on obtient :

$$\begin{bmatrix} a_0(\rho(k)) & \cdots & a_{n-1}(\rho(k)) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C(\rho(k))\mathbb{I}_n \\ C(\rho(k))A(\rho(k)) \\ \vdots \\ C(\rho(k))A^s(\rho(k)) \end{bmatrix} = 0$$

Matrice de parité dans le cas de faible variations de paramètres

La matrice de parité est définie par les coefficients du polynôme caractéristique de la matrice $A(\rho(k))$:

$$W(\rho(k)) = \begin{bmatrix} a_0(\rho(k)) & \cdots & a_{n-1}(\rho(k)) & 1 \end{bmatrix}$$

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
  - Extension "brutale" pour systèmes LPV
  - Cas des systèmes à faible variation des paramètres dans le temps
- Synthèse de résidus par optimisation
  - Synthèse de résidu pour systèmes incertains
  - Première extension : robustesse vis à vis des variations paramétriques
  - Résidu orienté vers l'implémentation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV
  - Modélisation des systèmes $\mathcal{U} - LPV$
  - Approche par espace de parité
  - Approche polytopique par optimisation

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques

4 Conclusion

ANR 2010blan0308

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
  - Extension "brutale" pour systèmes LPV
  - Cas des systèmes à faible variation des paramètres dans le temps
- Synthèse de résidus par optimisation
  - Synthèse de résidu pour systèmes incertains
  - Première extension : robustesse vis à vis des variations paramétriques
  - Résidu orienté vers l'implémentation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV
  - Modélisation des systèmes $\mathcal{U} - LPV$
  - Approche par espace de parité
  - Approche polytopique par optimisation

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques

4 Conclusion

Synthèse de résidu pour systèmes incertains affine

Modélisation d'un système incertain affine

Un système incertain peut être modélisé par :

$$\Sigma_U : \begin{cases} x(k+1) = & \overline{A}x(k) + Bu(k) + B_d d(k) + B_f f(k) \\ y(k) = & \overline{C}x(k) + Du(k) + D_d d(k) + D_f f(k) \end{cases}$$

où les matrices $\overline{X}$ représentent des matrices incertaines.
Les incertitudes sont de la forme :

$$\overline{X} = X_0 + \sum_{i=1}^{N} \widetilde{X}_i \delta_i = X_0 + \underbrace{\begin{bmatrix} \widetilde{X_1} & \widetilde{X_2} & \cdots & \widetilde{X_N} \end{bmatrix}}_{\widetilde{X}} \underbrace{\begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_N \end{bmatrix}}_{\delta}$$

où X_0 représente la matrice nominale, $\widetilde{X}_i$ sont des matrices connues et δ_i des scalaires inconnus bornés $\|\delta_i\| \leq 1$.
Le système incertain Σ_U peut alors se réécrire :

$$\Sigma_U : \begin{cases} x(k+1) & = & A_0 x(k) + \widetilde{A}\widetilde{\delta} x(k) + Bu(k) \\ & & + B_d d(k) + B_f f(k) \\ y(k) & = & C_0 x(k) + \widetilde{C}\widetilde{\delta} x(k) + Du(k) \\ & & + D_d d(k) + D_f f(k) \end{cases}$$

Synthèse de résidu pour systèmes incertains affine

Modélisation d'un système incertain affine

Un système incertain peut être modélisé par :

$$\Sigma_U : \begin{cases} x(k+1) = & \overline{A}x(k) + Bu(k) + B_d d(k) + B_f f(k) \\ y(k) = & \overline{C}x(k) + Du(k) + D_d d(k) + D_f f(k) \end{cases}$$

où les matrices $\overline{X}$ représentent des matrices incertaines.
Les incertitudes sont de la forme :

$$\overline{X} = X_0 + \sum_{i=1}^{N} \widetilde{X}_i \delta_i = X_0 + \underbrace{\begin{bmatrix} \widetilde{X_1} & \widetilde{X_2} & \cdots & \widetilde{X_N} \end{bmatrix}}_{\widetilde{X}} \underbrace{\begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_N \end{bmatrix}}_{\delta}$$

où X_0 représente la matrice nominale, $\widetilde{X}_i$ sont des matrices connues et δ_i des scalaires inconnus bornés $\|\delta_i\| \leq 1$.
Le système incertain Σ_U peut alors se réécrire :

$$\Sigma_U : \begin{cases} x(k+1) & = & A_0 x(k) + \widetilde{A}\widetilde{\delta}x(k) + Bu(k) \\ & & + B_d d(k) + B_f f(k) \\ y(k) & = & C_0 x(k) + \widetilde{C}\widetilde{\delta}x(k) + Du(k) \\ & & + D_d d(k) + D_f f(k) \end{cases}$$

Synthèse de résidu pour systèmes incertains affine

Approche par espace de parité

En appliquant la méthodologie de l'espace de parité, on obtient :

$$Y_s(k) - H_{us}U_s(k) = H_{os}x(k) + \sum_i \left(\zeta(i)\widetilde{H}_{os,i}\right) x(k) + \sum_i \left(\zeta(i)\widetilde{H}_{us,i}\right) U_s(k) + H_{ds}U_{ds}(k) + \sum_i \left(\zeta(i)\widetilde{H}_{ds,i}\right) U_s(k) + H_{fs}F_s(k)$$

avec la structure classique des matrices :

$$Y_s(k) = \begin{bmatrix} y(k) \\ y(k+1) \\ \vdots \\ y(k+s) \end{bmatrix}, \; U_s(k) = \begin{bmatrix} u(k) \\ u(k+1) \\ \vdots \\ u(k+s) \end{bmatrix}, \; H_{os} = \begin{bmatrix} C_0 \\ C_0A_0 \\ \vdots \\ C_0A_0^s \end{bmatrix}.$$

et le vecteur ζ défini par les éléments δ_i.

Synthèse de résidu pour systèmes incertains affine

Résolution du problème

- Approche triviale : Trouver W tel que :

$$W^T \begin{bmatrix} H_{os} & \widetilde{H}_{os} & \widetilde{H}_{us} & H_{ds} & \widetilde{H}_{ds} \end{bmatrix} = 0$$

Bien trop conservatif, existence non garantie.

- Approche par procédure d'optimisation : Trouver un résidu r de la forme

$$r(k) = W^T (Y_s(k) - H_{us} U_s(k))$$

en synthétisant la matrice W telle que :

$$\text{trouver } W \text{ t.q. : } \begin{cases} W^T H_{os} = 0 & \leftarrow \text{ Garantit l'orthogonalité au système nominal} \\ \max\limits_W \left\| W^T H_{fs} \right\|^2 & \leftarrow \text{ Maximise la sensibilité aux défauts} \\ \min\limits_W \left\| W^T \widetilde{H}_{os} \right\|^2 & \leftarrow \text{ Min. l'effet des incertitudes sur les états} \\ \min\limits_W \left\| W^T \widetilde{H}_{us} \right\|^2 & \leftarrow \text{ Min. l'effet des incertitudes sur les entrées} \\ \min\limits_W \left\| W^T H_{ds} \right\|^2 & \leftarrow \text{ Min. l'effet des perturbations} \\ \min\limits_W \left\| W^T \widetilde{H}_{ds} \right\|^2 & \leftarrow \text{ Minimise l'effet couplé des pert. et incert.} \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \mathcal{P}_1 : \begin{cases} W^T H_{os} = 0 \\ \min\limits_W \dfrac{\left\| W^T G \right\|^2}{\left\| W^T H_{fs} \right\|^2} \end{cases} \quad \text{où } G = \begin{bmatrix} \widetilde{H}_{os} & \widetilde{H}_{us} & H_{ds} & \widetilde{H}_{ds} \end{bmatrix}.$$

Synthèse de résidu pour systèmes incertains affine

Résolution du problème

- Approche triviale : Trouver W tel que :

$$W^T \begin{bmatrix} H_{os} & \widetilde{H}_{os} & \widetilde{H}_{us} & H_{ds} & \widetilde{H}_{ds} \end{bmatrix} = 0$$

Bien trop conservatif, existence non garantie.

- Approche par procédure d'optimisation : Trouver un résidu r de la forme

$$r(k) = W^T (Y_s(k) - H_{us} U_s(k))$$

en synthétisant la matrice W telle que :

$$\text{trouver } W \text{ t.q. : } \begin{cases} W^T H_{os} = 0 & \leftarrow \text{ Garantit l'orthogonalité au système nominal} \\ \max\limits_W \left\| W^T H_{fs} \right\|^2 & \leftarrow \text{ Maximise la sensibilité aux défauts} \\ \min\limits_W \left\| W^T \widetilde{H}_{os} \right\|^2 & \leftarrow \text{ Min. l'effet des incertitudes sur les états} \\ \min\limits_W \left\| W^T \widetilde{H}_{us} \right\|^2 & \leftarrow \text{ Min. l'effet des incertitudes sur les entrées} \\ \min\limits_W \left\| W^T H_{ds} \right\|^2 & \leftarrow \text{ Min. l'effet des perturbations} \\ \min\limits_W \left\| W^T \widetilde{H}_{ds} \right\|^2 & \leftarrow \text{ Minimise l'effet couplé des pert. et incert.} \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \mathcal{P}_1 : \begin{cases} W^T H_{os} = 0 \\ \min\limits_W \dfrac{\left\| W^T G \right\|^2}{\| W^T H_{fs} \|^2} \end{cases} \quad \text{où } G = \begin{bmatrix} \widetilde{H}_{os} & \widetilde{H}_{us} & H_{ds} & \widetilde{H}_{ds} \end{bmatrix}.$$

Synthèse de résidu pour systèmes incertains affine

Solution du problème d'optimisation avec contrainte

1. Obtenir un problème d'optimisation sans contraintes :
   a. Décomposer la matrice H_{os} comme :
   $$H_{os} = \begin{bmatrix} H_{os1} \\ H_{os2} \end{bmatrix}$$
   où H_{os1} est régulière (inversible).
   b. Structurer W comme : $W^T = \begin{bmatrix} W_1{}^T & W_2{}^T \end{bmatrix}^T$ avec $W_1{}^T = -W_2{}^T H_{os2} H_{os1}^{-1}$, ainsi
   $$W^T = W_2{}^T \underbrace{\begin{bmatrix} -H_{os2} H_{os1}^{-1} & \mathbb{I}_q \end{bmatrix}}_{P} = W_2{}^T P$$
2. Réécrire le problème d'optimisation sans contraintes selon la variable W_2 :
   $$\mathcal{P}_1 : \min_{W_2} \frac{\left\| W_2{}^T P G \right\|^2}{\left\| W_2{}^T P H_{fs} \right\|^2} = \min_{W_2} \frac{W_2{}^T \Gamma_1 W_2}{W_2{}^T \Gamma_2 W_2}$$
   où Γ_1 et Γ_2 sont des matrices symétriques, définies par :
   $$\Gamma_1 = P G G^T P^T \text{ and } \Gamma_2 = P H_{fs} H_{fs}{}^T P^T.$$

Synthèse de résidu pour systèmes incertains affine

Résolution du problème d'optimisation

3. Utilisation du théorème pour résoudre le problème :

Theorem 1 (*S.X. Ding, Model-based fault diagnosis techniques. Springer, 2008*)

Soit le problème d'optimisation suivant :

$$\gamma^* = \min_X \frac{X^T A X}{X^T B X}$$

où A et B sont des matrices symétriques, le minimum γ^* correspondant au critère ci dessus est obtenu en choisissant la matrice X^* telle que :

$$X^* = \vartheta_{\lambda_q(A,B)}$$

où $\lambda_q(A, B)$ représente la plus petite valeur propre généralisée de la paire (A, B), et $\vartheta_{\lambda_q(A,B)}$ son vecteur propre généralisé associé.
Le minimum γ^* est donné par $\gamma^* = \lambda_q(A, B)$.

Donc $W_2 = \vartheta_{\lambda_q(\Gamma_1,\Gamma_2)}$

Résidu à implémenter

$$r(k) = W_2 \cdot P \cdot \Big(Y_s(k) - H_{us} U_s(k)\Big)$$

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
  - Extension "brutale" pour systèmes LPV
  - Cas des systèmes à faible variation des paramètres dans le temps
- Synthèse de résidus par optimisation
  - Synthèse de résidu pour systèmes incertains
  - Première extension : robustesse vis à vis des variations paramétriques
  - Résidu orienté vers l'implémentation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV
  - Modélisation des systèmes $\mathcal{U} - LPV$
  - Approche par espace de parité
  - Approche polytopique par optimisation

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques

4 Conclusion

Première extension : robustesse vis à vis des variations paramétriques

Robustesse vis à vis des variations paramétriques

Le système LPV :

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A(\rho(k))x(k) + B(\rho(k))u(k) \\ y(k) &= C(\rho(k))x(k) + D(\rho(k))u(k) \end{aligned}$$

est considéré sans prendre en compte la connaissance des paramètres variants :

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A(\delta(k))x(k) + B(\delta(k))u(k) \\ y(k) &= C(\delta(k))x(k) + D(\delta(k))u(k) \end{aligned}$$

Limites et avantage ?

- Aucune prise en compte des paramètres variants
- Approche très conservative
- Valide dans le cas de faible variations

Première extension : robustesse vis à vis des variations paramétriques

Robustesse vis à vis des variations paramétriques

Le système LPV :

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A(\rho(k))x(k) + B(\rho(k))u(k) \\ y(k) &= C(\rho(k))x(k) + D(\rho(k))u(k) \end{aligned}$$

est considéré sans prendre en compte la connaissance des paramètres variants :

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A(\delta(k))x(k) + B(\delta(k))u(k) \\ y(k) &= C(\delta(k))x(k) + D(\delta(k))u(k) \end{aligned}$$

Limites et avantage ?

- Aucune prise en compte des paramètres variants
- Approche très conservative
- Valide dans le cas de faible variations

Première extension : robustesse vis à vis des variations paramétriques

Robustesse vis à vis des variations paramétriques

Le système LPV :

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A(\rho(k))x(k) + B(\rho(k))u(k) \\ y(k) &= C(\rho(k))x(k) + D(\rho(k))u(k) \end{aligned}$$

est considéré sans prendre en compte la connaissance des paramètres variants :

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A(\delta(k))x(k) + B(\delta(k))u(k) \\ y(k) &= C(\delta(k))x(k) + D(\delta(k))u(k) \end{aligned}$$

Limites et avantage ?

- Aucune prise en compte des paramètres variants
- Approche très conservative
- Valide dans le cas de faible variations

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
  - Extension "brutale" pour systèmes LPV
  - Cas des systèmes à faible variation des paramètres dans le temps
- Synthèse de résidus par optimisation
  - Synthèse de résidu pour systèmes incertains
  - Première extension : robustesse vis à vis des variations paramétriques
  - Résidu orienté vers l'implémentation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV
  - Modélisation des systèmes $\mathcal{U} - LPV$
  - Approche par espace de parité
  - Approche polytopique par optimisation

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques

4 Conclusion

Résidu orienté vers l'optimisation

Idée de l'approche

On considère le système LPV :

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A(\rho(k))x(k) + B(\rho(k))u(k) \\ y(k) &= C(\rho(k))x(k) + D(\rho(k))u(k) \end{aligned}$$

1. Définition de l'espace des paramètres variants
2. Découpage de l'espace en différentes régions
3. Définition de sous-systèmes incertains

Idée de l'approche

Les paramètres variants sont alors réécrit comme :

$$\rho(k) = \rho^i + \delta_i(k)$$

Chaque sous-système LTI incertain est défini à partir de

- "un point de fonctionnement" : ρ^i
- une variation : $\delta_i(k)$

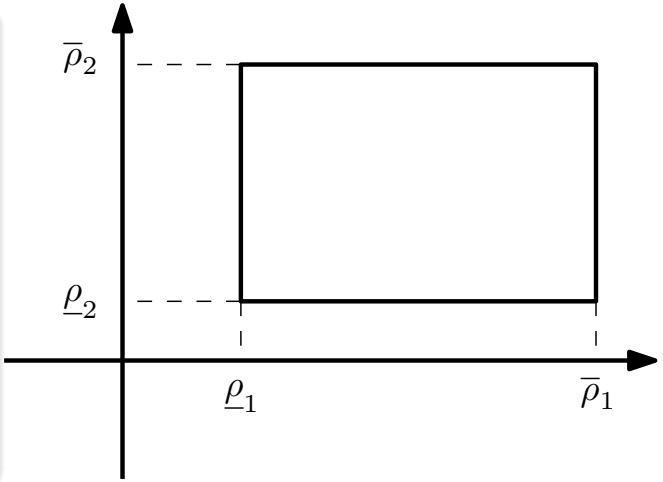
Résidu orienté vers l'optimisation

Idée de l'approche

On considère le système LPV :

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A(\rho(k))x(k) + B(\rho(k))u(k) \\ y(k) &= C(\rho(k))x(k) + D(\rho(k))u(k) \end{aligned}$$

1. Définition de l'espace des paramètres variants
2. Découpage de l'espace en différentes régions
3. Définition de sous-systèmes incertains



Idée de l'approche

Les paramètres variants sont alors réécrit comme :

$$\rho(k) = \rho^i + \delta_i(k)$$

Chaque sous-système LTI incertain est défini à partir de

- "un point de fonctionnement" : ρ^i
- une variation : $\delta_i(k)$

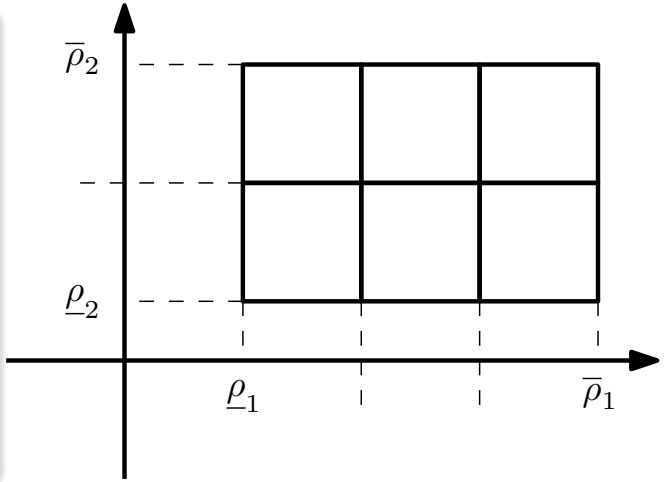
Résidu orienté vers l'optimisation

Idée de l'approche

On considère le système LPV :

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A(\rho(k))x(k) + B(\rho(k))u(k) \\ y(k) &= C(\rho(k))x(k) + D(\rho(k))u(k) \end{aligned}$$

1. Définition de l'espace des paramètres variants
2. Découpage de l'espace en différentes régions
3. Définition de sous-systèmes incertains



Idée de l'approche

Les paramètres variants sont alors réécrit comme :

$$\rho(k) = \rho^i + \delta_i(k)$$

Chaque sous-système LTI incertain est défini à partir de

- "un point de fonctionnement" : ρ^i
- une variation : $\delta_i(k)$

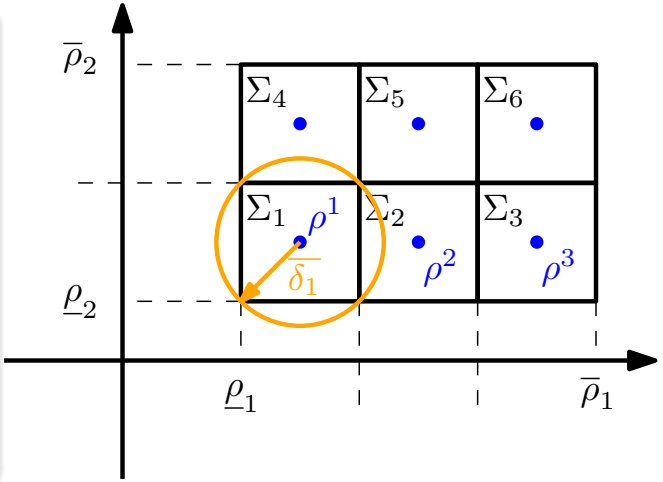
Résidu orienté vers l'optimisation

Idée de l'approche

On considère le système LPV :

$$\begin{aligned} x(k+1) &= A(\rho(k))x(k) + B(\rho(k))u(k) \\ y(k) &= C(\rho(k))x(k) + D(\rho(k))u(k) \end{aligned}$$

1. Définition de l'espace des paramètres variants
2. Découpage de l'espace en différentes régions
3. Définition de sous-systèmes incertains



Idée de l'approche

Les paramètres variants sont alors réécrit comme :

$$\rho(k) = \rho^i + \delta_i(k)$$

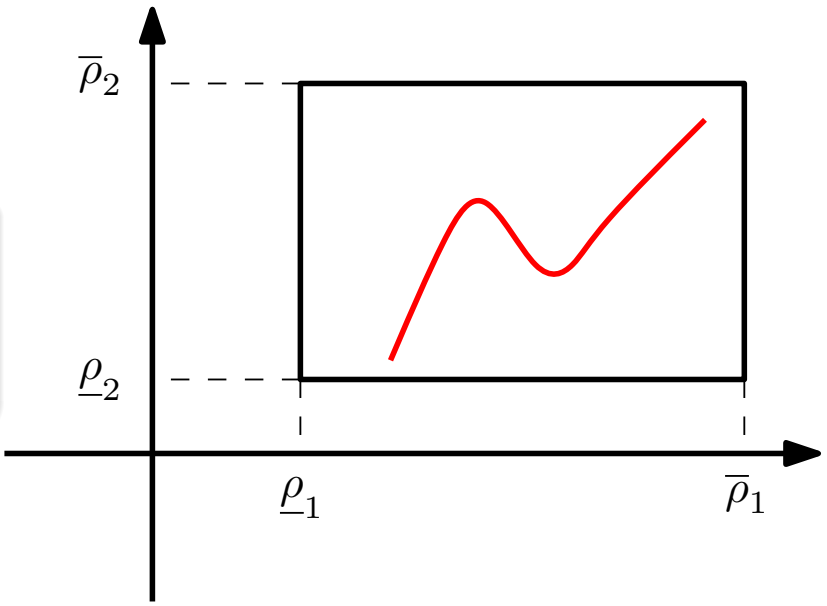
Chaque sous-système LTI incertain est défini à partir de

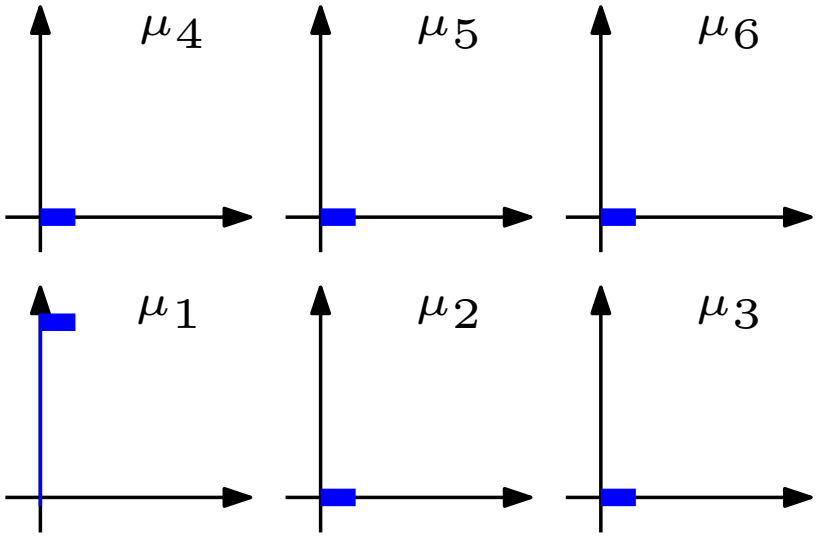
- "un point de fonctionnement" : ρ^i
- une variation : $\delta_i(k)$

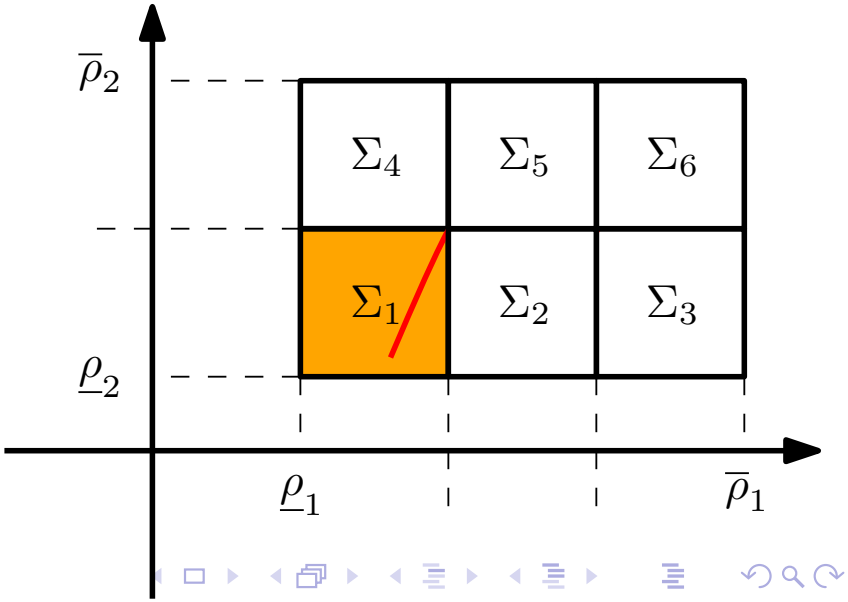
Résidu orienté vers l'optimisation

Formulation du système

$$\Sigma_{LPV} = \sum_{i=1}^{q} \mu_i(\rho)\Sigma_{LTIu,i}$$



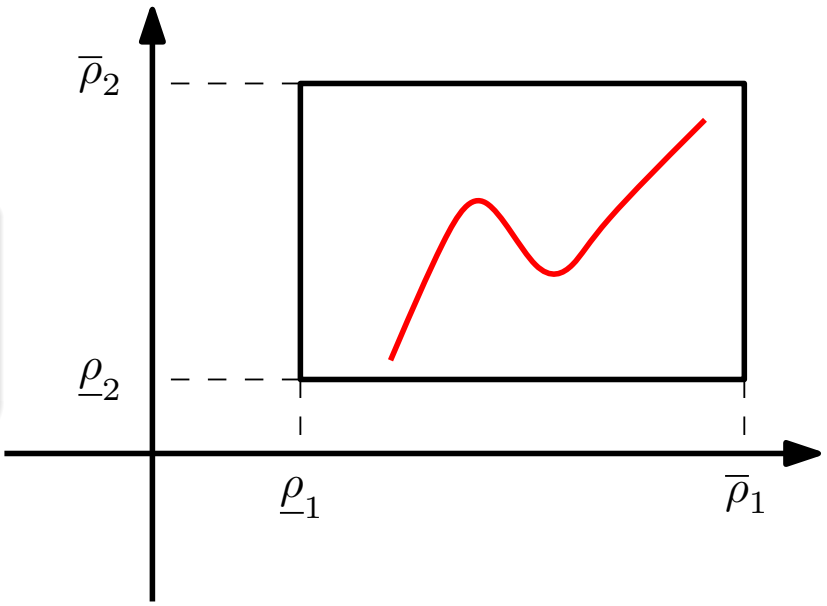


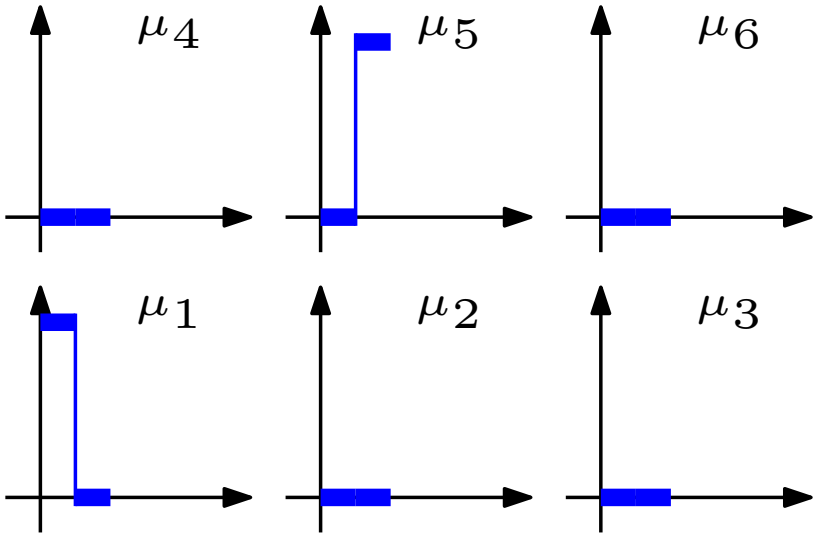


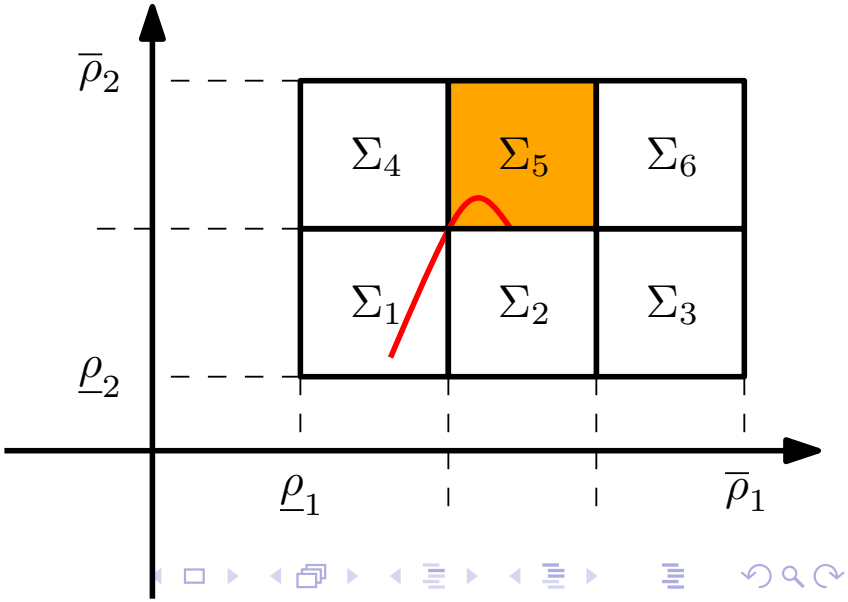
Résidu orienté vers l'optimisation

Formulation du système

$$\Sigma_{LPV} = \sum_{i=1}^{q} \mu_i(\rho)\Sigma_{LTIu,i}$$



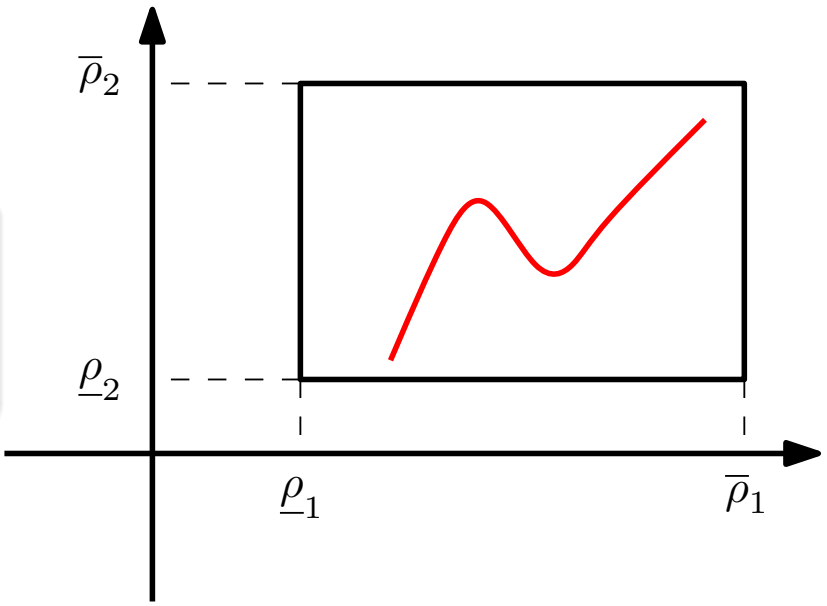


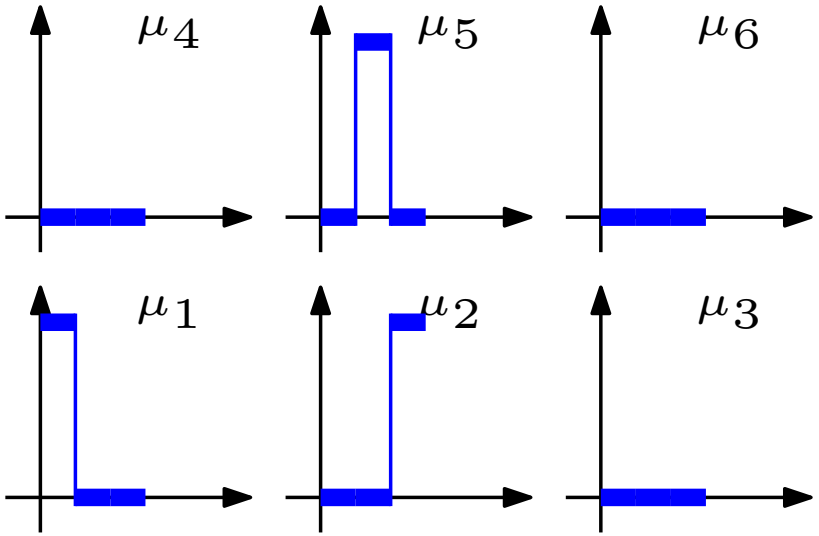


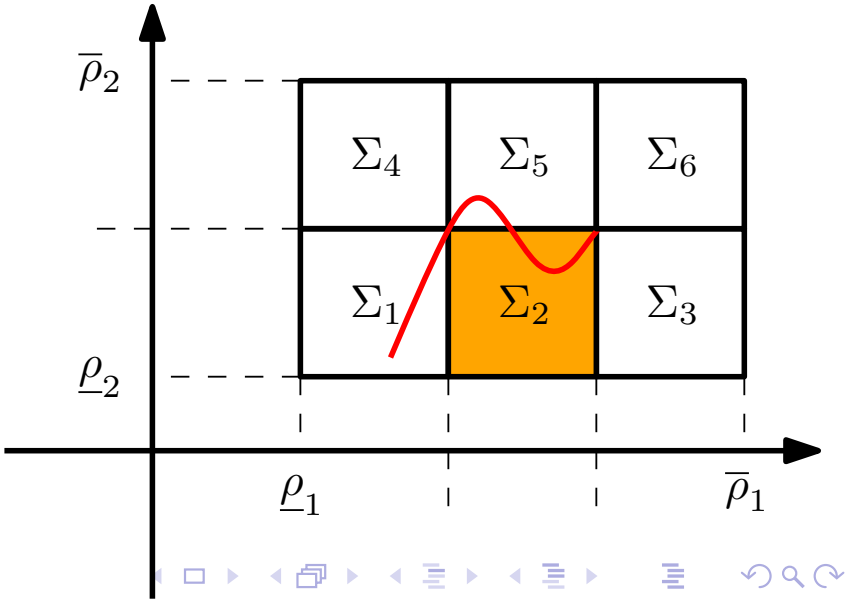
Résidu orienté vers l'optimisation

Formulation du système

$$\Sigma_{LPV} = \sum_{i=1}^{q} \mu_i(\rho)\Sigma_{LTIu,i}$$



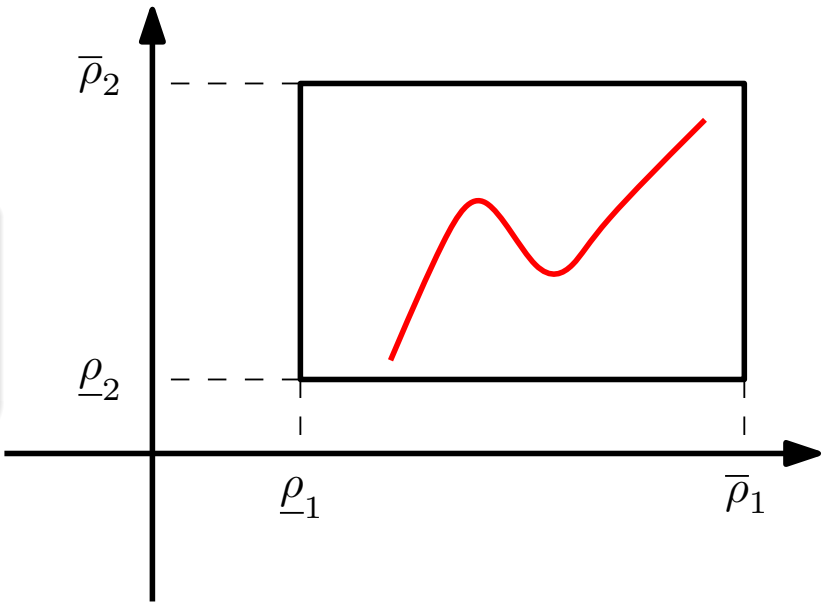


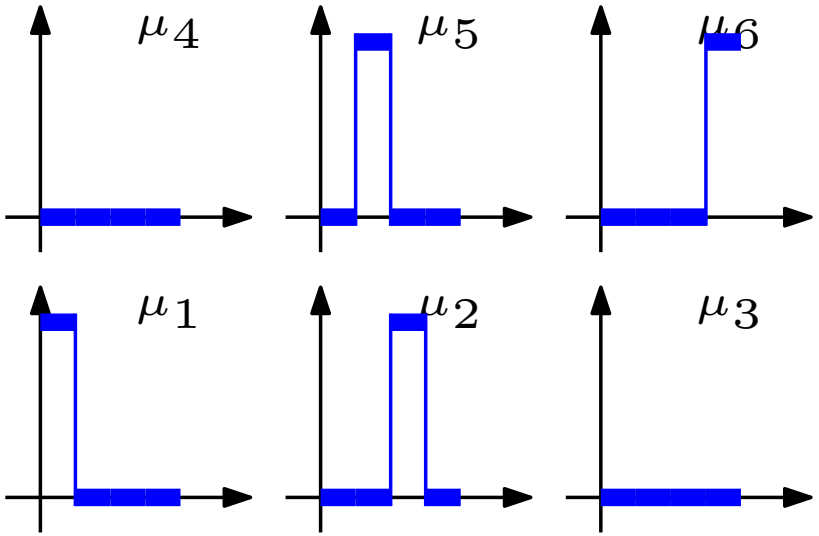


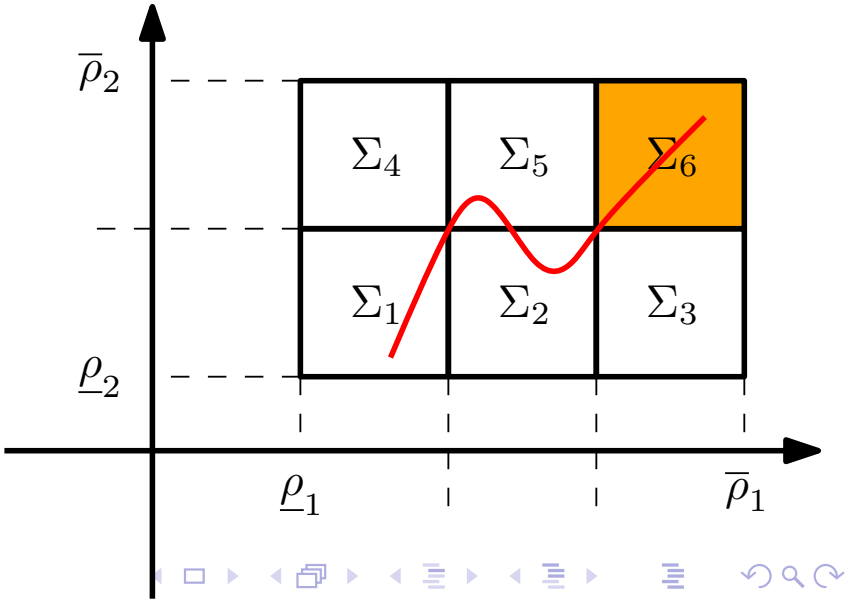
Résidu orienté vers l'optimisation

Formulation du système

$$\Sigma_{LPV} = \sum_{i=1}^{q} \mu_i(\rho)\Sigma_{LTIu,i}$$



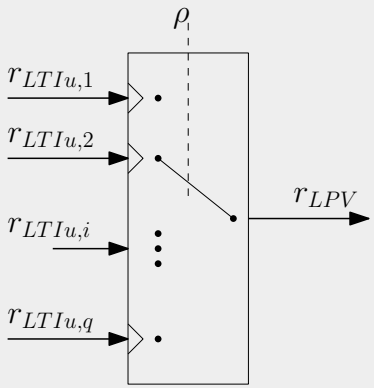




Résidu orienté vers l'optimisation

Synthèse du résidu

Un résidu robuste aux incertitudes δ_i est synthétisé pour chaque sous-système.
Le résidu final est la combinaison commutée des différents sous-résidus :



$$r_{LPV} = \sum_{i=1}^{q} \mu_i(\rho) r_{LTIu,i}$$

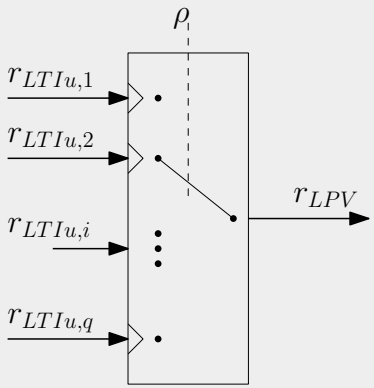
Intérêts de cette approche

- Adaptation du nombre de résidus en fonction de la cible d'implémentation.
- Quantification de l'erreur de modélisation grâce à la majoration de δ_i.
- Possibilité de prendre en compte d'autres perturbations / incertitudes facilement.

Résidu orienté vers l'optimisation

Synthèse du résidu

Un résidu robuste aux incertitudes δ_i est synthétisé pour chaque sous-système.
Le résidu final est la combinaison commutée des différents sous-résidus :



$$r_{LPV} = \sum_{i=1}^{q} \mu_i(\rho) r_{LTIu,i}$$

Intérêts de cette approche

- Adaptation du nombre de résidus en fonction de la cible d'implémentation.
- Quantification de l'erreur de modélisation grâce à la majoration de δ_i.
- Possibilité de prendre en compte d'autres perturbations / incertitudes facilement.

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
  - Extension "brutale" pour systèmes LPV
  - Cas des systèmes à faible variation des paramètres dans le temps
- Synthèse de résidus par optimisation
  - Synthèse de résidu pour systèmes incertains
  - Première extension : robustesse vis à vis des variations paramétriques
  - Résidu orienté vers l'implémentation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV
  - Modélisation des systèmes $\mathcal{U} - LPV$
  - Approche par espace de parité
  - Approche polytopique par optimisation

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques

4 Conclusion

ANR 2010blan0308

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
  - Extension "brutale" pour systèmes LPV
  - Cas des systèmes à faible variation des paramètres dans le temps
- Synthèse de résidus par optimisation
  - Synthèse de résidu pour systèmes incertains
  - Première extension : robustesse vis à vis des variations paramétriques
  - Résidu orienté vers l'implémentation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV
  - Modélisation des systèmes $\mathcal{U} - LPV$
  - Approche par espace de parité
  - Approche polytopique par optimisation

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques

4 Conclusion

Modélisation

Modélisation d'un système $\mathcal{U} - LPV$

Un système $\mathcal{U}$-LPV est un système incertain LPV à entrées inconnues, défini par :

$$\begin{aligned} x(k+1) &= \overline{A}(\rho(k))x(k) + B(\rho(k))u(k) + B_d(\rho(k))d(k) \\ &\quad + B_f(\rho(k))f(k) \\ y(k) &= \overline{C}(\rho(k))x(k) + D(\rho(k))u(k) + D_d(\rho(k))d(k) \\ &\quad + D_f(\rho(k))f(k) \end{aligned}$$

où

$$\overline{X}(\rho(k)) = X_0(\rho(k)) + \sum_{i=1}^{N} \widetilde{X}_i(\rho(k))\delta_i(k)$$

Utilité de ce modèle ?

- Un modèle physique possède souvent des incertitudes
- Dynamiques négligées

Modélisation

Modélisation d'un système $\mathcal{U} - LPV$

Un système $\mathcal{U}$-LPV est un système incertain LPV à entrées inconnues, défini par :

$$\begin{aligned} x(k+1) &= \overline{A}(\rho(k))x(k) + B(\rho(k))u(k) + B_d(\rho(k))d(k) \\ &\quad + B_f(\rho(k))f(k) \\ y(k) &= \overline{C}(\rho(k))x(k) + D(\rho(k))u(k) + D_d(\rho(k))d(k) \\ &\quad + D_f(\rho(k))f(k) \end{aligned}$$

où

$$\overline{X}(\rho(k)) = X_0(\rho(k)) + \sum_{i=1}^{N} \widetilde{X}_i(\rho(k))\delta_i(k)$$

Utilité de ce modèle ?

- Un modèle physique possède souvent des incertitudes
- Dynamiques négligées

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
  - Extension "brutale" pour systèmes LPV
  - Cas des systèmes à faible variation des paramètres dans le temps
- Synthèse de résidus par optimisation
  - Synthèse de résidu pour systèmes incertains
  - Première extension : robustesse vis à vis des variations paramétriques
  - Résidu orienté vers l'implémentation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV
  - Modélisation des systèmes $\mathcal{U} - LPV$
  - Approche par espace de parité
  - Approche polytopique par optimisation

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques

4 Conclusion

Approche par espace de parité

Approche par espace de parité

En appliquant la méthodologie de l'espace de parité, on obtient :

$$Y_s(k) - H_{us}(\rho(k))U_s(k) = H_{os}(\rho(k))x(k) + \sum_i \left(\zeta(k,i)\widetilde{H}_{os,i}(\rho(k))\right) x(k)$$
$$+ \sum_i \left(\zeta(k,i)\widetilde{H}_{us,i}(\rho(k))\right) U_s(k) + H_{ds}(\rho(k))U_{ds}(k)$$
$$+ \sum_i \left(\zeta(k,i)\widetilde{H}_{ds,i}(\rho(k))\right) U_s(k) + H_{fs}(\rho(k))F_s(k)$$

Approche par espace de parité

Optimisation ?

Trouver $W(\rho(k))$ tel que :

$$\begin{cases} W(\rho(k))^T H_{os}(\rho(k)) = 0 \\ \max\limits_{W} \left\| W(\rho(k))^T H_{fs}(\rho(k)) \right\|^2 \\ \min\limits_{W} \left\| W(\rho(k))^T \widetilde{H}_{os}(\rho(k)) \right\|^2 \\ \min\limits_{W} \left\| W(\rho(k))^T \widetilde{H}_{us}(\rho(k)) \right\|^2 \\ \min\limits_{W} \left\| W(\rho(k))^T H_{ds}(\rho(k)) \right\|^2 \\ \min\limits_{W} \left\| W(\rho(k))^T \widetilde{H}_{ds}(\rho(k)) \right\|^2 \end{cases} \Longrightarrow \min_{W_2} \frac{W_2(\rho(k))^T \Gamma_1(\rho(k)) W_2(\rho(k))}{W_2(\rho(k))^T \Gamma_2(\rho(k)) W_2(\rho(k))}$$

Solution

- Les matrices dépendent des paramètres variants du système :
  $\Longrightarrow$ Solution formelle des vecteurs propres généralisés : $\vartheta_{\lambda_q(\Gamma_1(\rho(k)),\Gamma_2(\rho(k)))}(\rho(k))$
- Approche polytopique par optimisation.

Approche par espace de parité

Optimisation ?

Trouver $W(\rho(k))$ tel que :

$$\begin{cases} W(\rho(k))^T H_{os}(\rho(k)) = 0 \\ \max\limits_{W} \left\| W(\rho(k))^T H_{fs}(\rho(k)) \right\|^2 \\ \min\limits_{W} \left\| W(\rho(k))^T \widetilde{H}_{os}(\rho(k)) \right\|^2 \\ \min\limits_{W} \left\| W(\rho(k))^T \widetilde{H}_{us}(\rho(k)) \right\|^2 \\ \min\limits_{W} \left\| W(\rho(k))^T H_{ds}(\rho(k)) \right\|^2 \\ \min\limits_{W} \left\| W(\rho(k))^T \widetilde{H}_{ds}(\rho(k)) \right\|^2 \end{cases} \Longrightarrow \min_{W_2} \frac{W_2(\rho(k))^T \Gamma_1(\rho(k)) W_2(\rho(k))}{W_2(\rho(k))^T \Gamma_2(\rho(k)) W_2(\rho(k))}$$

Solution

- Les matrices dépendent des paramètres variants du système :
  $\Longrightarrow$ Solution formelle des vecteurs propres généralisés : $\vartheta_{\lambda_q(\Gamma_1(\rho(k)),\Gamma_2(\rho(k)))}(\rho(k))$
- Approche polytopique par optimisation.

Approche par espace de parité

Optimisation ?

Trouver $W(\rho(k))$ tel que :

$$\begin{cases} W(\rho(k))^T H_{os}(\rho(k)) = 0 \\ \max\limits_{W} \left\| W(\rho(k))^T H_{fs}(\rho(k)) \right\|^2 \\ \min\limits_{W} \left\| W(\rho(k))^T \widetilde{H}_{os}(\rho(k)) \right\|^2 \\ \min\limits_{W} \left\| W(\rho(k))^T \widetilde{H}_{us}(\rho(k)) \right\|^2 \\ \min\limits_{W} \left\| W(\rho(k))^T H_{ds}(\rho(k)) \right\|^2 \\ \min\limits_{W} \left\| W(\rho(k))^T \widetilde{H}_{ds}(\rho(k)) \right\|^2 \end{cases} \Longrightarrow \min_{W_2} \frac{W_2(\rho(k))^T \Gamma_1(\rho(k)) W_2(\rho(k))}{W_2(\rho(k))^T \Gamma_2(\rho(k)) W_2(\rho(k))}$$

Solution

- Les matrices dépendent des paramètres variants du système :
  $\Longrightarrow$ Solution formelle des vecteurs propres généralisés : $\vartheta_{\lambda_q(\Gamma_1(\rho(k)),\Gamma_2(\rho(k)))}(\rho(k))$
- Approche polytopique par optimisation.

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
  - Extension "brutale" pour systèmes LPV
  - Cas des systèmes à faible variation des paramètres dans le temps
- Synthèse de résidus par optimisation
  - Synthèse de résidu pour systèmes incertains
  - Première extension : robustesse vis à vis des variations paramétriques
  - Résidu orienté vers l'implémentation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV
  - Modélisation des systèmes $\mathcal{U} - LPV$
  - Approche par espace de parité
  - Approche polytopique par optimisation

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques

4 Conclusion

Approche polytopique par optimisation

Réécriture du problème d'optimisation

Le problème d'optimisation est réécrit sous la forme :

$$\min_{W_2} \frac{W_2(\rho(k))^T \Gamma_1(\rho(k)) W_2(\rho(k))}{W_2(\rho(k))^T \Gamma_2(\rho(k)) W_2(\rho(k))} \approx \min_{W_2} W_2(\rho(k))^T \underbrace{\left(\Gamma_1(\rho(k)) - \kappa^2 \Gamma_2(\rho(k))\right)}_{\Gamma_\kappa(\rho(k))} W_2(\rho(k))$$

et peut se réécrire :

$$\begin{cases} \underset{W_2}{\text{minimiser}} & \gamma(\rho(k)) \\ \text{sous la contrainte} & {W_2}^T(\rho(k)) \Gamma_\kappa(\rho(k)) W_2(\rho(k)) \prec \gamma(\rho(k)) \end{cases}$$

Via le Lemme de Schur, on obtient la contrainte sous forme matricielle :

$$\begin{cases} \underset{W_2}{\text{minimiser}} & \gamma(\rho(k)) \\ \text{sous la contrainte} & \begin{bmatrix} {\Gamma_\kappa}^{-1}(\rho(k)) & W_2(\rho(k)) \\ {W_2}^T(\rho(k)) & \gamma(\rho(k)) \end{bmatrix} \succ 0 \end{cases}$$

Difficultés

1. Inverse de la matrice Γ_κ
2. Présence des paramètres variants
3. Que dire de $W_2 = \mathbb{O}$?

Approche polytopique par optimisation

Réécriture du problème d'optimisation

Le problème d'optimisation est réécrit sous la forme :

$$\min_{W_2} \frac{W_2(\rho(k))^T \Gamma_1(\rho(k)) W_2(\rho(k))}{W_2(\rho(k))^T \Gamma_2(\rho(k)) W_2(\rho(k))} \approx \min_{W_2} W_2(\rho(k))^T \underbrace{\left(\Gamma_1(\rho(k)) - \kappa^2 \Gamma_2(\rho(k))\right)}_{\Gamma_\kappa(\rho(k))} W_2(\rho(k))$$

et peut se réécrire :

$$\begin{cases} \underset{W_2}{\text{minimiser}} & \gamma(\rho(k)) \\ \text{sous la contrainte} & {W_2}^T(\rho(k)) \Gamma_\kappa(\rho(k)) W_2(\rho(k)) \prec \gamma(\rho(k)) \end{cases}$$

Via le Lemme de Schur, on obtient la contrainte sous forme matricielle :

$$\begin{cases} \underset{W_2}{\text{minimiser}} & \gamma(\rho(k)) \\ \text{sous la contrainte} & \begin{bmatrix} {\Gamma_\kappa}^{-1}(\rho(k)) & W_2(\rho(k)) \\ {W_2}^T(\rho(k)) & \gamma(\rho(k)) \end{bmatrix} \succ 0 \end{cases}$$

Difficultés

1. Inverse de la matrice Γ_κ
2. Présence des paramètres variants
3. Que dire de $W_2 = \mathbb{O}$?

Approche polytopique par optimisation

Réécriture du problème d'optimisation

Le problème d'optimisation est réécrit sous la forme :

$$\min_{W_2} \frac{W_2(\rho(k))^T \Gamma_1(\rho(k)) W_2(\rho(k))}{W_2(\rho(k))^T \Gamma_2(\rho(k)) W_2(\rho(k))} \approx \min_{W_2} W_2(\rho(k))^T \underbrace{\left(\Gamma_1(\rho(k)) - \kappa^2 \Gamma_2(\rho(k))\right)}_{\Gamma_\kappa(\rho(k))} W_2(\rho(k))$$

et peut se réécrire :

$$\begin{cases} \underset{W_2}{\text{minimiser}} & \gamma(\rho(k)) \\ \text{sous la contrainte} & {W_2}^T(\rho(k)) \Gamma_\kappa(\rho(k)) W_2(\rho(k)) \prec \gamma(\rho(k)) \end{cases}$$

Via le Lemme de Schur, on obtient la contrainte sous forme matricielle :

$$\begin{cases} \underset{W_2}{\text{minimiser}} & \gamma(\rho(k)) \\ \text{sous la contrainte} & \begin{bmatrix} {\Gamma_\kappa}^{-1}(\rho(k)) & W_2(\rho(k)) \\ {W_2}^T(\rho(k)) & \gamma(\rho(k)) \end{bmatrix} \succ 0 \end{cases}$$

Difficultés

1. Inverse de la matrice Γ_κ
2. Présence des paramètres variants
3. Que dire de $W_2 = \mathbb{O}$?

Approche polytopique par optimisation

Réécriture du problème d'optimisation

Le problème d'optimisation est réécrit sous la forme :

$$\min_{W_2} \frac{W_2(\rho(k))^T \Gamma_1(\rho(k)) W_2(\rho(k))}{W_2(\rho(k))^T \Gamma_2(\rho(k)) W_2(\rho(k))} \approx \min_{W_2} W_2(\rho(k))^T \underbrace{\left(\Gamma_1(\rho(k)) - \kappa^2 \Gamma_2(\rho(k))\right)}_{\Gamma_\kappa(\rho(k))} W_2(\rho(k))$$

et peut se réécrire :

$$\begin{cases} \underset{W_2}{\text{minimiser}} & \gamma(\rho(k)) \\ \text{sous la contrainte} & {W_2}^T(\rho(k)) \Gamma_\kappa(\rho(k)) W_2(\rho(k)) \prec \gamma(\rho(k)) \end{cases}$$

Via le Lemme de Schur, on obtient la contrainte sous forme matricielle :

$$\begin{cases} \underset{W_2}{\text{minimiser}} & \gamma(\rho(k)) \\ \text{sous la contrainte} & \begin{bmatrix} {\Gamma_\kappa}^{-1}(\rho(k)) & W_2(\rho(k)) \\ {W_2}^T(\rho(k)) & \gamma(\rho(k)) \end{bmatrix} \succ 0 \end{cases}$$

Difficultés

1. Inverse de la matrice Γ_κ
2. Présence des paramètres variants
3. Que dire de $W_2 = \mathbb{O}$?

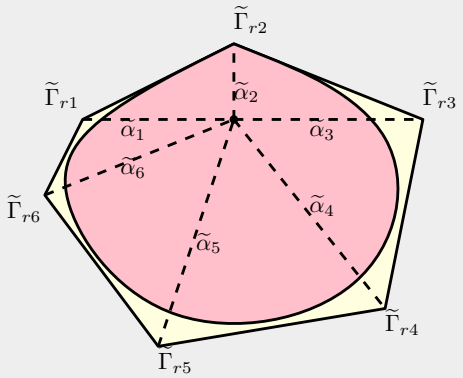
Approche polytopique par optimisation

Inverse et structure polytopique

1. L'inverse de Γ_κ peut s'écrire :

$$\Gamma_\kappa^{-1}(\rho(k)) = \alpha_0(\rho(k)) \sum_{i=1}^{r} \tilde{\alpha}_i(\rho(k)) \widetilde{\Gamma}_{ri}$$

où $\alpha_0(\rho(k))$ est l'inverse du déterminant de Γ_κ, et où $\tilde{\alpha}_i$ est construit à partir des ρ_i et des différents produits induits.



2. La matrice W_2 est définie sous la forme polytopique :

$$W_2 = \sum_{i=1}^{r} \tilde{\alpha}_i(\rho(k)) W_{2i}$$

3. Que dire de la solution $W_2 = \mathbb{O}$? $\Longrightarrow$ Imposer $W_2 \neq \mathbb{O}$.

Problème sous forme LMI

$$\begin{cases} \underset{W_2}{\text{minimiser}} & \gamma'(\rho(k)) \\ \text{sous la contrainte} & \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{r} \tilde{\alpha}_i(\rho(k)) \widetilde{\Gamma}_{ri} & W_2(\rho(k)) \\ W_{2i}^T(\rho(k)) & \gamma'(\rho(k)) \end{bmatrix} \succ 0 \end{cases}$$

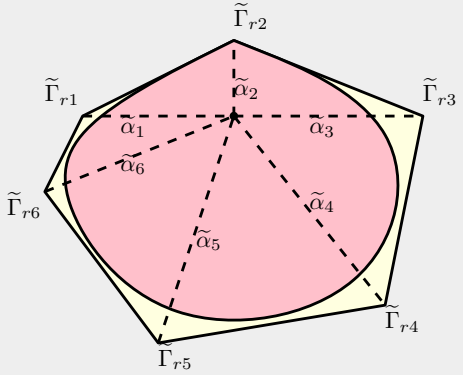
Approche polytopique par optimisation

Inverse et structure polytopique

1. L'inverse de Γ_κ peut s'écrire :

$$\Gamma_\kappa^{-1}(\rho(k)) = \alpha_0(\rho(k)) \sum_{i=1}^{r} \tilde{\alpha}_i(\rho(k)) \widetilde{\Gamma}_{ri}$$

où $\alpha_0(\rho(k))$ est l'inverse du déterminant de Γ_κ, et où $\tilde{\alpha}_i$ est construit à partir des ρ_i et des différents produits induits.



2. La matrice W_2 est définie sous la forme polytopique :

$$W_2 = \sum_{i=1}^{r} \tilde{\alpha}_i(\rho(k)) W_{2i}$$

3. Que dire de la solution $W_2 = \mathbb{O}$? $\Longrightarrow$ Imposer $W_2 \neq \mathbb{O}$.

Problème sous forme LMI

$$\begin{cases} \underset{W_2}{\text{minimiser}} & \gamma' \\ \text{sous la contrainte} & \begin{bmatrix} \widetilde{\Gamma}_{ri} & W_{2i} \\ W_{2i}^T & \gamma' \end{bmatrix} \succ 0 \quad \forall i \in [\![1:r]\!] \end{cases}$$

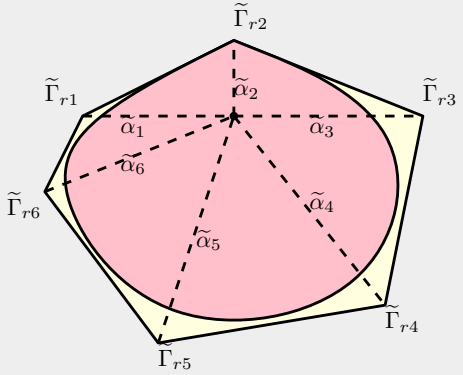
Approche polytopique par optimisation

Inverse et structure polytopique

1. L'inverse de Γ_κ peut s'écrire :

$$\Gamma_\kappa^{-1}(\rho(k)) = \alpha_0(\rho(k)) \sum_{i=1}^{r} \tilde{\alpha}_i(\rho(k)) \widetilde{\Gamma}_{ri}$$

où $\alpha_0(\rho(k))$ est l'inverse du déterminant de Γ_κ, et où $\tilde{\alpha}_i$ est construit à partir des ρ_i et des différents produits induits.



2. La matrice W_2 est définie sous la forme polytopique :

$$W_2 = \sum_{i=1}^{r} \tilde{\alpha}_i(\rho(k)) W_{2i}$$

3. Que dire de la solution $W_2 = \mathbb{O}$? $\Longrightarrow$ Imposer $W_2 \neq \mathbb{O}$.

Problème sous forme LMI

$$\begin{cases} \underset{W_2}{\text{minimiser}} & \gamma' \\ \text{sous la contrainte} & \begin{bmatrix} \widetilde{\Gamma}_{ri} & W_{2i} \\ W_{2i}^T & \gamma' \end{bmatrix} \succ 0 \quad \forall i \in [\![1:r]\!] \end{cases}$$

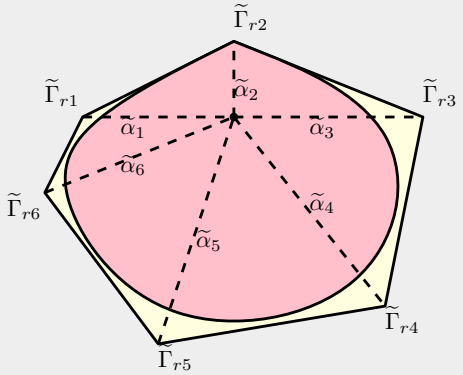
Approche polytopique par optimisation

Inverse et structure polytopique

1. L'inverse de Γ_κ peut s'écrire :

$$\Gamma_\kappa^{-1}(\rho(k)) = \alpha_0(\rho(k)) \sum_{i=1}^{r} \tilde{\alpha}_i(\rho(k)) \widetilde{\Gamma}_{ri}$$

où $\alpha_0(\rho(k))$ est l'inverse du déterminant de Γ_κ, et où $\tilde{\alpha}_i$ est construit à partir des ρ_i et des différents produits induits.



2. La matrice W_2 est définie sous la forme polytopique :

$$W_2 = \sum_{i=1}^{r} \tilde{\alpha}_i(\rho(k)) W_{2i}$$

3. Que dire de la solution $W_2 = \mathbb{O}$? $\Longrightarrow$ Imposer $W_2 \neq \mathbb{O}$.

Problème sous forme LMI

$$\begin{cases} \underset{W_2}{\text{minimiser}} & \gamma' \\ \text{sous la contrainte} & \begin{cases} \begin{bmatrix} \widetilde{\Gamma}_{ri} & W_{2i} \\ W_{2i}^T & \gamma' \end{bmatrix} \succ 0 & \forall i \in [\![1:r]\!] \\ \text{trace}(|Y_i|) - \epsilon \succ 0 \qquad \epsilon > 0 \end{cases} \end{cases}$$

où $Y_i = \text{diag}(W_{2_i})$.

Approche polytopique par optimisation

Intérêts de l'approche

- Prise en compte des incertitudes et des entrées inconnues sur le modèle.
- Résolution d'un nombre fini de LMIs pour la synthèse du résidu LPV.
- Possibilité de réduire la complexité et de réduire le nombre de LMIs.

Difficultés

- Nécessité de calcul d'une inverse formelle
- Grand nombre de LMIs à résoudre

Approche polytopique par optimisation

Intérêts de l'approche

- Prise en compte des incertitudes et des entrées inconnues sur le modèle.
- Résolution d'un nombre fini de LMIs pour la synthèse du résidu LPV.
- Possibilité de réduire la complexité et de réduire le nombre de LMIs.

Difficultés

- Nécessité de calcul d'une inverse formelle
- Grand nombre de LMIs à résoudre

Approche polytopique par optimisation

Intérêts de l'approche

- Prise en compte des incertitudes et des entrées inconnues sur le modèle.
- Résolution d'un nombre fini de LMIs pour la synthèse du résidu LPV.
- Possibilité de réduire la complexité et de réduire le nombre de LMIs.

Difficultés

- Nécessité de calcul d'une inverse formelle
- ~~*Grand nombre de LMIs à résoudre*~~

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus par optimisation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
  - Modèle du véhicule
  - Détection d'un défaut capteur sur système LPV
  - Détection de défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques
  - Modélisation du véhicule et objectif
  - Détection de défauts
  - Résultats expérimentaux

4 Conclusion

ANR 2010blan0308

1 Introduction

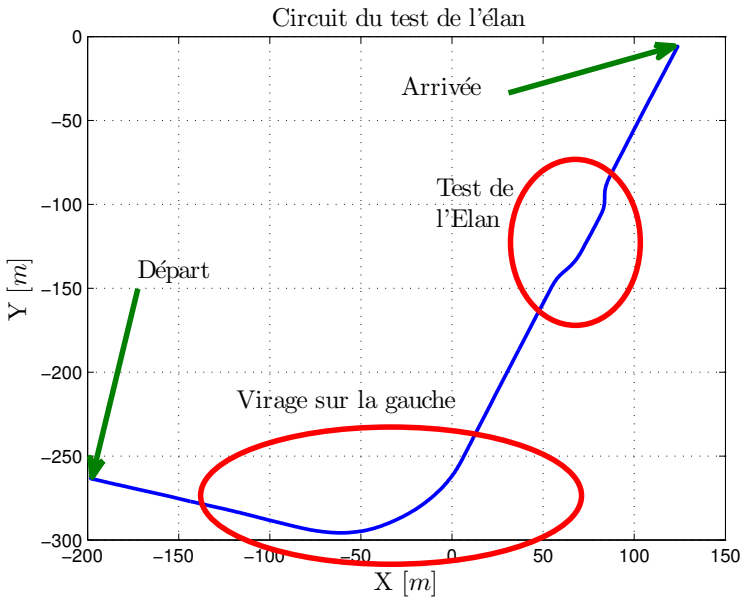
2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus par optimisation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
  - Modèle du véhicule
  - Détection d'un défaut capteur sur système LPV
  - Détection de défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques
  - Modélisation du véhicule et objectif
  - Détection de défauts
  - Résultats expérimentaux

4 Conclusion

ANR 2010blan0308

Scénario et objectifs



Publications associées

J1 Sébastien Varrier and Damien Koenig and John-Jairo Martinez-Molina, *Robust fault detection for Uncertain Unknown Inputs LPV system*, **Control Engineering Practice**, Elsevier, 2012

J4 Sébastien Varrier and Damien Koenig and John-Jairo Martinez-Molina, *Détection de situation critique d'un véhicule automobile*, **Journal Européen des Systèmes Automatisés**, 2013

C2 Sébastien Varrier, Damien Koenig, and John-Jairo Martinez-Molina. *Robust fault detection for vehicle lateral dynamics*. Proceedings of the 51st IEEE Conference on Decision and Control, pp. 4366–4371, 2012. USA, Hawaii, Maui.

C4 Sébastien Varrier, Damien Koenig, and John-Jairo Martinez-Molina. *Integrated fault estimation and fault tolerant control design for lpv systems*. 5th IFAC SSSC, 5, pp. 689–694, 2013. France, Grenoble.

C6 Sébastien Varrier, Jorge de Jesus Lozoya-Santos, Diana Hernandez, Damien Koenig, John- Jairo Martinez-Molina, and Ruben Morales-Menéndez. *Fault detection in automotive semi- active suspension : Experimental results*. Proceedings of the SAE 2013 World Congress, 2013. USA, Michigan, Detroit.

N2 Sébastien Varrier, Damien Koenig, and John-Jairo Martinez-Molina. *Détection de situation critique d'un véhicule automobile*. 5èmes Journées Doctorales / Journées Nationales MACS, 2013. France, Strasbourg.

ANR 2010blan0308

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus par optimisation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
  - Modèle du véhicule
  - Détection d'un défaut capteur sur système LPV
  - Détection de défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques
  - Modélisation du véhicule et objectif
  - Détection de défauts
  - Résultats expérimentaux

4 Conclusion

ANR 2010blan0308

Modèle du véhicule

Modèle du véhicule

On considère le modèle bicyclette du véhicule :

$$\begin{bmatrix}\beta(k+1)\\ \dot{\psi}(k+1)\end{bmatrix} = A(\rho(k))\begin{bmatrix}\beta(k)\\ \dot{\psi}(k)\end{bmatrix} + B(\rho(k))u_L$$

$$\begin{bmatrix}a_y(k)\\ \dot{\psi}(k)\end{bmatrix} = C(\rho(k))\begin{bmatrix}\beta(k)\\ \dot{\psi}(k)\end{bmatrix} + D(\rho(k))u_L(k)$$

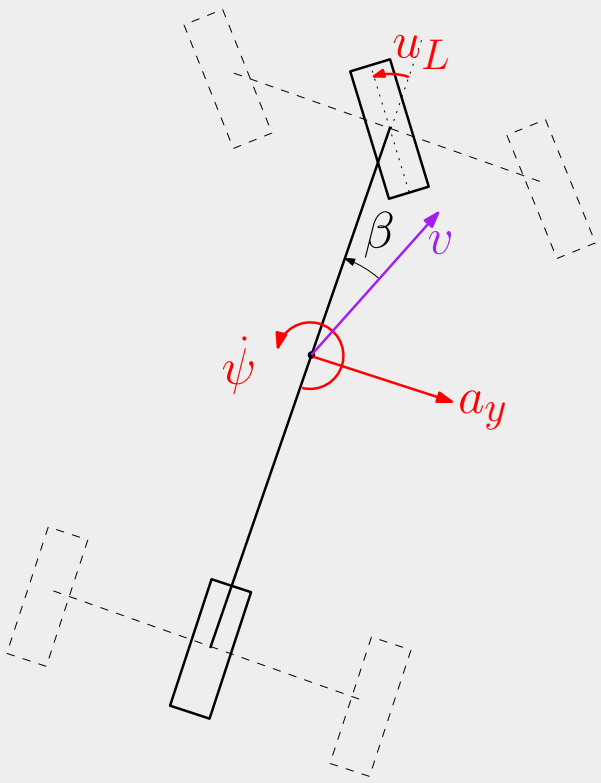
avec

$$A(\rho(k) = \begin{bmatrix}1.0 - 1.71\rho_1(k) & 0.58\rho_2(k) - 0.02\\ 0.47 & 1.0 - 2.33\rho_1(k)\end{bmatrix}$$

$$B(\rho(k)) = \begin{bmatrix}0.70\rho_1(k)\\ 0.67\end{bmatrix}$$

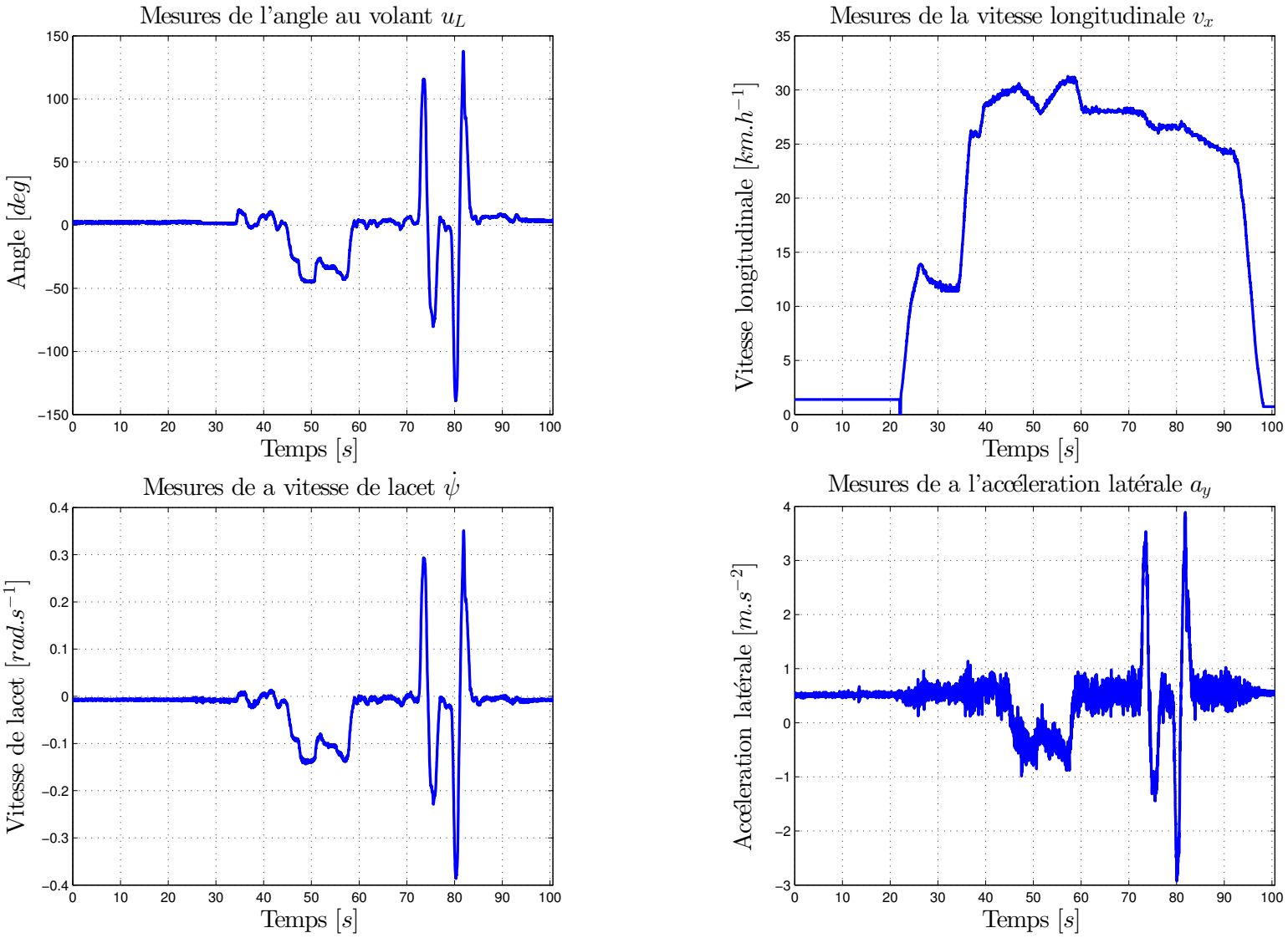
$$C(\rho(k)) = \begin{bmatrix}-85.45 & 28.77\rho_1(k)\\ 0 & 1.0\end{bmatrix}$$

$$D(\rho(k)) = \begin{bmatrix}35.24\\ 0\end{bmatrix}$$



ANR 2010blan0308

Modèle du véhicule - Données expérimentales



ANR 2010blan0308

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus par optimisation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
  - Modèle du véhicule
  - Détection d'un défaut capteur sur système LPV
  - Détection de défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques
  - Modélisation du véhicule et objectif
  - Détection de défauts
  - Résultats expérimentaux

4 Conclusion

ANR 2010blan0308

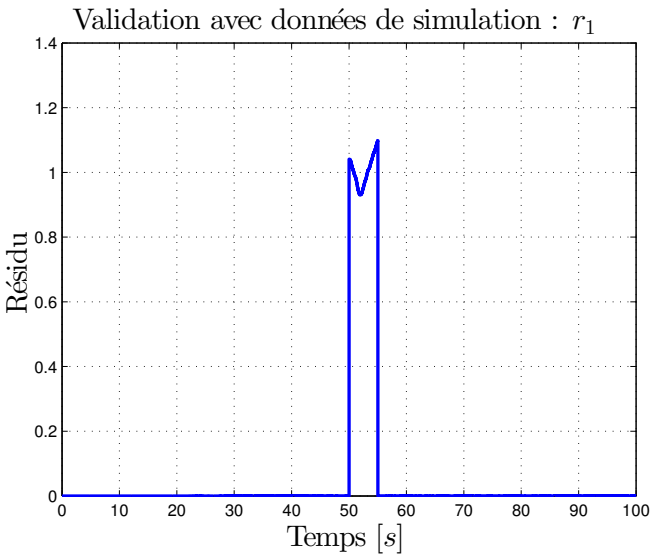
Détection d'un défaut capteur sur système LPV

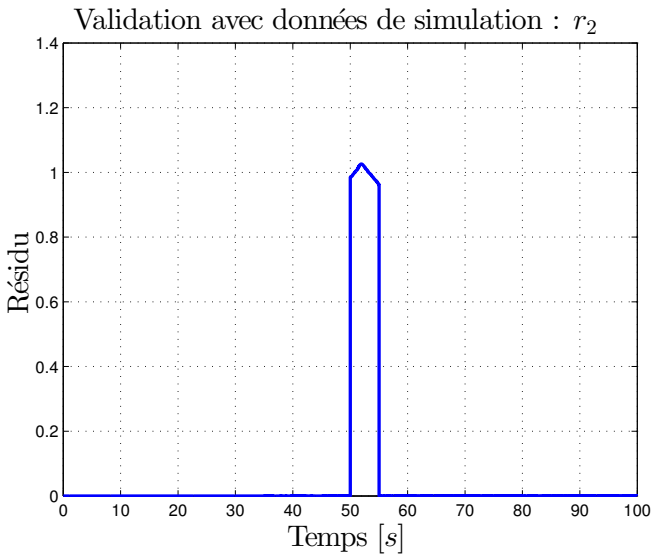
Résidu à implémenter

On obtient deux résidus $r(k) = \begin{bmatrix} r_1(k) \\ r_2(k) \end{bmatrix}$ donnés par :

$$r(k) = W(\rho(k)) \left(\begin{bmatrix} y(k-1) \\ y(k) \end{bmatrix} - H_{us}(\rho(k)) \begin{bmatrix} u(k-1) \\ u(k) \end{bmatrix} \right)$$

Résidus sur modèle de synthèse





ANR 2010blan0308

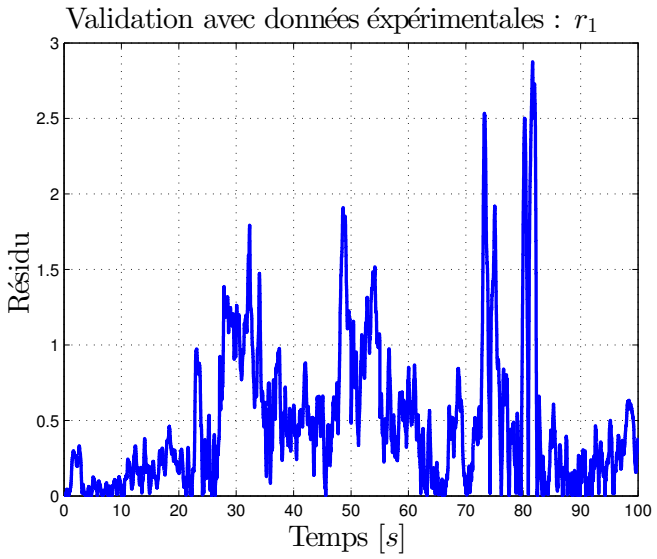
Détection d'un défaut capteur sur système LPV

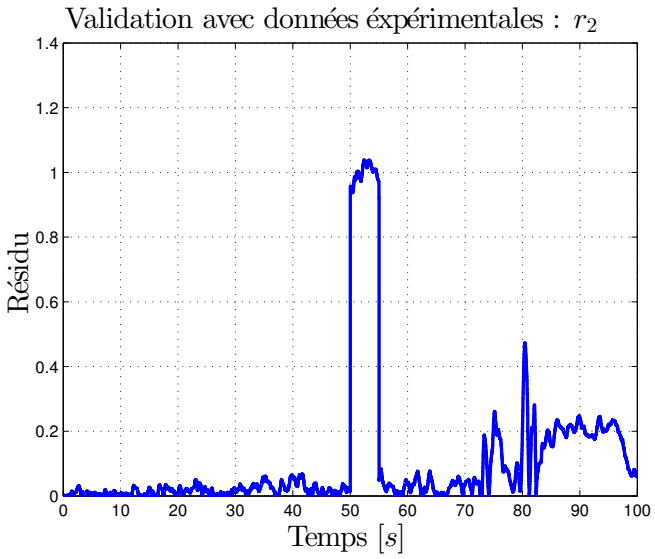
Résidu à implémenter

On obtient deux résidus $r(k) = \begin{bmatrix} r_1(k) \\ r_2(k) \end{bmatrix}$ donnés par :

$$r(k) = W(\rho(k)) \left(\begin{bmatrix} y(k-1) \\ y(k) \end{bmatrix} - H_{us}(\rho(k)) \begin{bmatrix} u(k-1) \\ u(k) \end{bmatrix} \right)$$

Résidus sur données expérimentales





ANR 2010blan0308

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus par optimisation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
  - Modèle du véhicule
  - Détection d'un défaut capteur sur système LPV
  - Détection de défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques
  - Modélisation du véhicule et objectif
  - Détection de défauts
  - Résultats expérimentaux

4 Conclusion

ANR 2010blan0308

Détection de défaut capteur et robustesse

Modélisation incertaine

On considère une incertitude sur la dynamique du système étant de 20%, pour une vitesse nominale de $v* = 20km.h^{-1}$.
La matrice A_1 relative à l'incertitude est alors donnée par :

$$A_1 = 0.2A(\rho^*) = 0.2A(0.18)$$

On considère une nouvelle entrée inconnue $d(k)$ affectant l'accélération latérale qui est très bruitée :

$$D_d = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Analyse de la complexité

A ce stade, on a :

- Γ_κ de taille 4×4.
- 2 paramètres variants pour chaque période d'échantillonnage $\Longrightarrow 2 \times 3 = 6$ paramètres variants dans la définition de Γ_κ :
  $\rho_1(k)$, $\rho_2(k)$, $\rho_1(k-1)$, $\rho_2(k-1)$, $\rho_1(k)$, $\rho_2(k)$.
- calcul de l'inverse formelle de Γ_κ: il y a $\sum_{i=1}^{4} \frac{(6+i-1)!}{(6-1)!i!} = 209$ combinaisons de paramètres variants, soit un polytope de $N = 2^{209}$ sommets ...

ANR 2010blan0308

Détection de défaut capteur et robustesse

Modélisation incertaine

On considère une incertitude sur la dynamique du système étant de 20%, pour une vitesse nominale de $v* = 20km.h^{-1}$.
La matrice A_1 relative à l'incertitude est alors donnée par :

$$A_1 = 0.2A(\rho^*) = 0.2A(0.18)$$

On considère une nouvelle entrée inconnue $d(k)$ affectant l'accélération latérale qui est très bruitée :

$$D_d = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Analyse de la complexité

A ce stade, on a :

- Γ_κ de taille 4×4.
- 2 paramètres variants pour chaque période d'échantillonnage $\Longrightarrow 2 \times 3 = 6$ paramètres variants dans la définition de Γ_κ :
  $\rho_1(k)$, $\rho_2(k)$, $\rho_1(k-1)$, $\rho_2(k-1)$, $\rho_1(k)$, $\rho_2(k)$.
- calcul de l'inverse formelle de Γ_κ: il y a $\sum_{i=1}^{4} \frac{(6+i-1)!}{(6-1)!i!} = 209$ combinaisons de paramètres variants, soit un polytope de $N = 2^{209}$ sommets ...

ANR 2010blan0308

Détection de défaut et robustesse

Simplifications

- On a la relation entre les paramètres variants $\rho_2(k) = \rho_1(k)^2$.

$$N = 2^{55}$$

- Les paramètres variants varient peu sur l'horizon de $3 \times 20ms = 60ms$: $\rho(k+\tau) = \rho(k) + \tau \cdot \rho'(k) + \sum_{n=2}^{+\infty} \frac{\rho^{(n)}(k)}{n!}(\tau)^n \simeq \rho(k) + M$

$$N = 2^5$$

- Réduction du polytope en éliminant les sommets non utiles :

$$N = 6$$

$\rho_1(k-2)$, $\rho_1(k-1)$, $\rho_1(k)$, $\rho_1(k-2)^2$, $\rho_1(k-1)^2$, $\rho_1(k)^2$.

ANR 2010blan0308

Détection de défaut et robustesse

Simplifications

- On a la relation entre les paramètres variants $\rho_2(k) = \rho_1(k)^2$.

$$N = 2^{55}$$

- Les paramètres variants varient peu sur l'horizon de $3 \times 20ms = 60ms$: $\rho(k+\tau) = \rho(k) + \tau \cdot \rho'(k) + \sum_{n=2}^{+\infty} \frac{\rho^{(n)}(k)}{n!}(\tau)^n \simeq \rho(k) + M$

$$N = 2^5$$

- Réduction du polytope en éliminant les sommets non utiles :

$$N = 6$$

Dans l'inverse : $\rho_1(k)$, $\rho_1(k)^2$, $\rho_1(k)^3$, $\rho_1(k)^4$, $\rho_1(k)^5$.

ANR 2010blan0308

Détection de défaut et robustesse

Simplifications

- On a la relation entre les paramètres variants $\rho_2(k) = \rho_1(k)^2$.

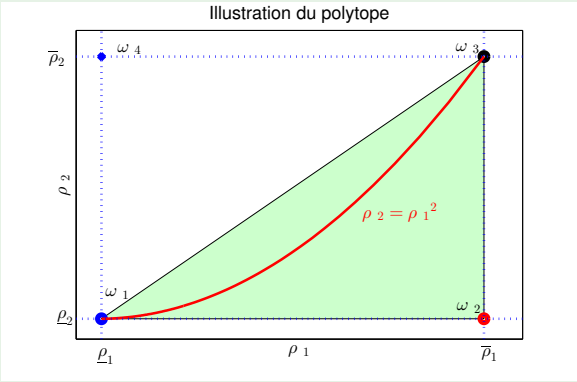
$$N = 2^{55}$$

- Les paramètres variants varient peu sur l'horizon de $3 \times 20ms = 60ms$: $\rho(k+\tau) = \rho(k) + \tau \cdot \rho'(k) + \sum_{n=2}^{+\infty} \frac{\rho^{(n)}(k)}{n!}(\tau)^n \simeq \rho(k) + M$

$$N = 2^{5}$$

- Réduction du polytope en éliminant les sommets non utiles :

$$N = 6$$



Détection de défaut et robustesse - Résultats expérimentaux

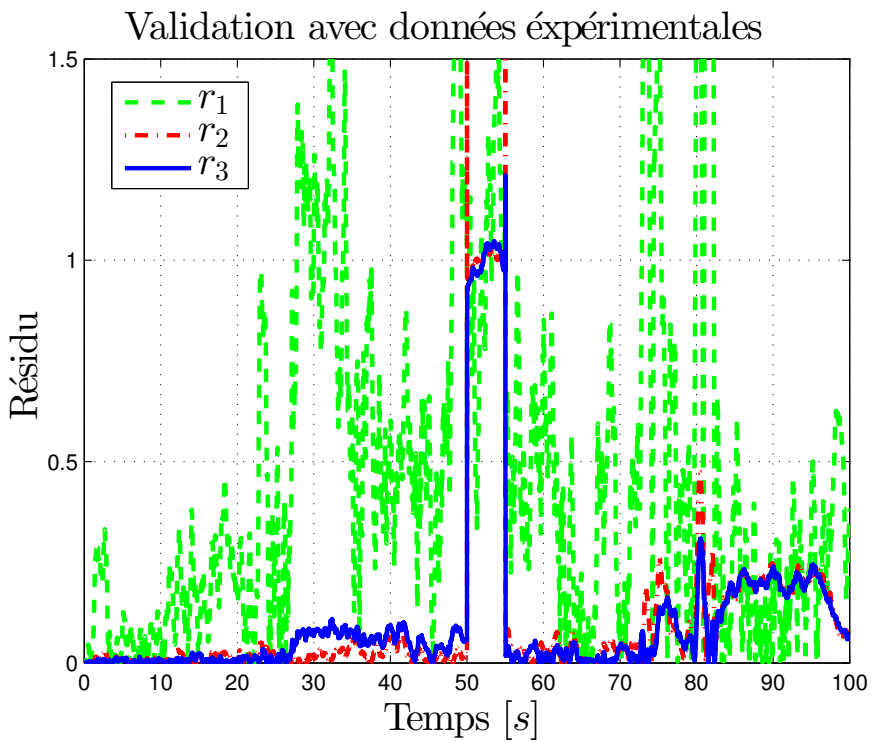
Matrice de parité et résidu

Le vecteur W_2 se calcul alors via la relation :

$$W_2(\rho(k)) = \sum_{i=1}^{6} \tilde{\alpha}_i(\rho(k)) W_{2i}$$

Il en découle la forme suivante du résidu :

$$r_3(k) = W_2(\rho(k)) \cdot P(\rho(k)) \left(\begin{bmatrix} y(k-2) \\ y(k-1) \\ y(k) \end{bmatrix} - H_{us}(\rho(k)) \begin{bmatrix} u(k-2) \\ u(k-1) \\ u(k) \end{bmatrix} \right)$$



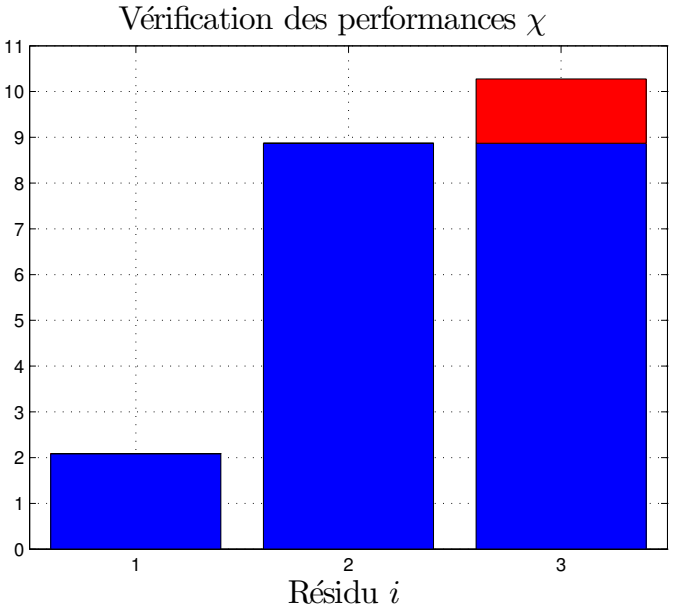
Détection de défaut et robustesse - Résultats expérimentaux

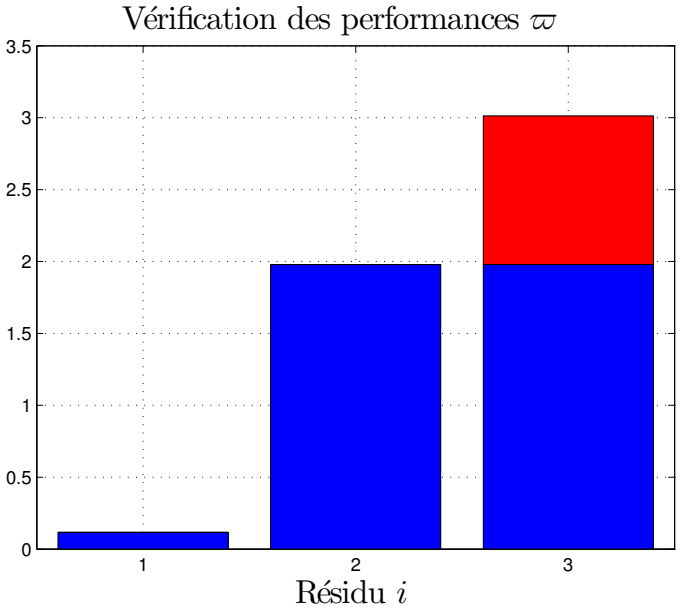
Analyse quantitative de la performance des résidus

On définit 2 critères :

- $\chi = \dfrac{\overline{r}_i^{\text{défaut}}}{\overline{r}_i^{\text{sans défaut}}}$
- $\varpi = \dfrac{\min(r_i^{\text{défaut}})}{\max(r_i^{\text{sans défaut}})}$

Critère	Résidu r_1	Résidu r_2	Résidu r_3
χ	2.0868	8.87	10.28 (+ 16 %)
ϖ	0.11662	1.9785	3.01(+ 52 %)





ANR 2010blan0308

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus par optimisation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
  - Modèle du véhicule
  - Détection d'un défaut capteur sur système LPV
  - Détection de défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques
  - Modélisation du véhicule et objectif
  - Détection de défauts
  - Résultats expérimentaux

4 Conclusion

ANR 2010blan0308

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus par optimisation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
  - Modèle du véhicule
  - Détection d'un défaut capteur sur système LPV
  - Détection de défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques
  - Modélisation du véhicule et objectif
  - Détection de défauts
  - Résultats expérimentaux

4 Conclusion

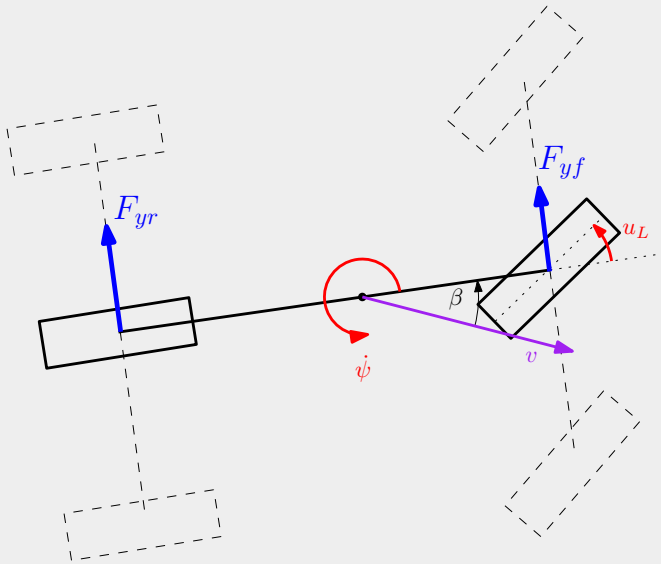
ANR 2010blan0308

Modélisation du véhicule et objectif

Modélisation du véhicule

Le système considéré est un véhicule ou sont mesurés :

- la vitesse de lacet $\dot{\psi}$
- la vitesse du véhicule v
- l'angle des roues u_L



$$
\begin{aligned}
mv(\dot{\beta} + \dot{\psi}) &= F_{yf} + F_{yr} \\
I_z \ddot{\psi} &= l_f F_{yf} - l_r F_{yr}
\end{aligned}
$$

ANR 2010blan0308

Modélisation du véhicule et objectif

Modélisation des pneumatiques

Dans la littérature, il existe différents modèles de pneumatiques. Un des modèles les plus communs est le modèle de Pacejka. La force latérale F_y est donnée en fonction de l'angle de glissement β par :

$$F_{yi} = D \sin\Big[C \arctan\Big(B\beta_i - E\big(B\beta_i - \arctan(B\beta_i)\big)\Big)\Big]$$

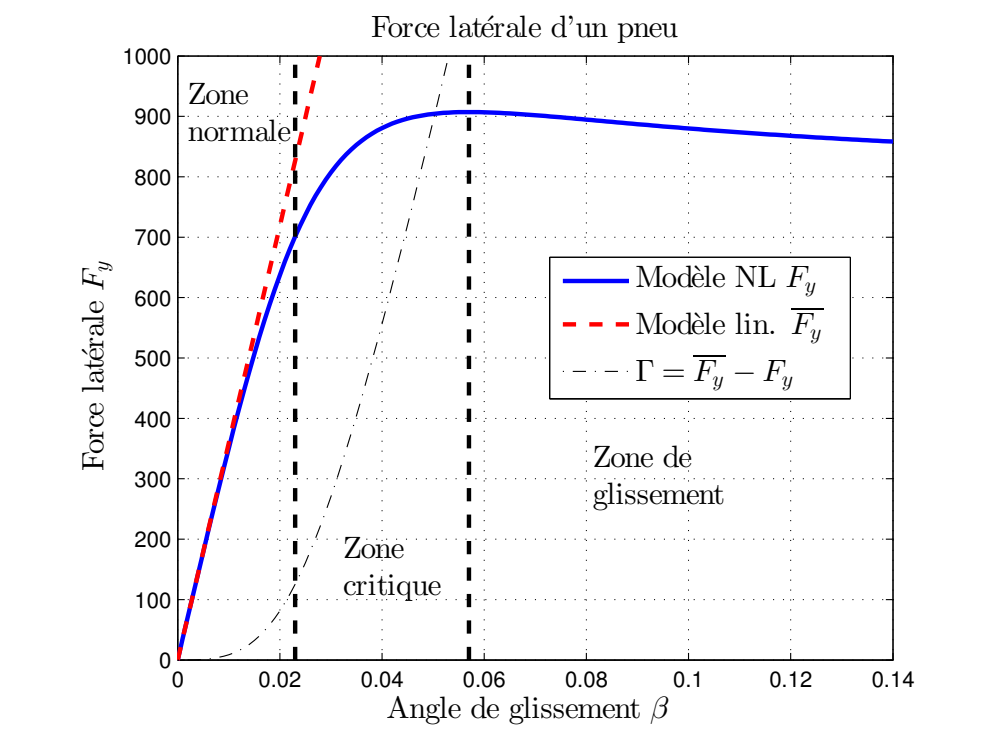
On retrouve 3 zones :

- Zone normale (zone linéaire)
- Zone critique
- Zone de glissement

La force latérale F_{yi} peut se réécrire comme la combinaison d'une force linéaire $\overline{F}_{yi} = c_i\beta_i$ et d'un effort non-linéaire Γ_i comme :

$$F_{yi} = c_i\beta_i + \Gamma_i(\beta)$$

avec $\beta_f = u_L - \beta - \frac{l_f\dot{\psi}}{v}$ et $\beta_r = -\beta + \frac{l_r\dot{\psi}}{v}$



ANR 2010blan0308

Modélisation du véhicule et objectif

Modèle complet du véhicule

Le modèle du véhicule est donné par :

$$\begin{aligned} m v(t)\left(\dot{\beta}(t)+\dot{\psi}(t)\right) &= c_f u_f(t) - (c_r + c_f)\beta(t) \\ &\quad + \frac{(c_r l_r - c_f l_f)}{v(t)}\dot{\psi}(t) + \Gamma_f(t) + \Gamma_r(t) \\ I_z \ddot{\psi}(t) &= l_f c_f u_f(t) - \frac{{l_f}^2 c_f - {l_r}^2 c_r}{v(t)}\dot{\psi}(t) \\ &\quad (l_r c_r + l_f c_f)\beta(t) + l_f \Gamma_f(t) - l_r \Gamma_r(t) \end{aligned}$$

réécrit sous la représentation d'état :

$$\begin{bmatrix} \dot{\beta}(t) \\ \ddot{\psi}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{c_r + c_f}{m v(t)} & \frac{c_r l_r - c_f l_f}{m v(t)^2} - 1 \\ \frac{l_r c_r - l_f c_f}{I_z} & -\frac{{l_f}^2 c_f + {l_r}^2 c_r}{I_z v(t)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta(t) \\ \dot{\psi}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{c_f}{m v(t)} \\ \frac{l_f c_f}{I_z} \end{bmatrix} u_f(t) + \begin{bmatrix} \frac{1}{m v(t)} & \frac{1}{m v(t)} \\ \frac{l_f}{I_z} & -\frac{l_r}{I_z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Gamma_f(t) \\ \Gamma_r(t) \end{bmatrix}$$

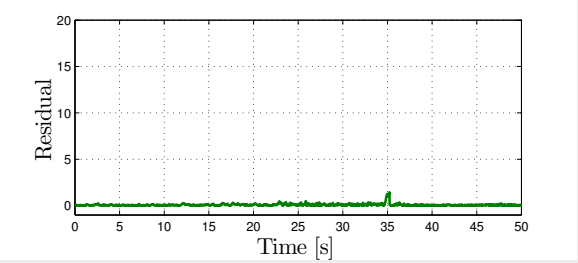
ANR 2010blan0308

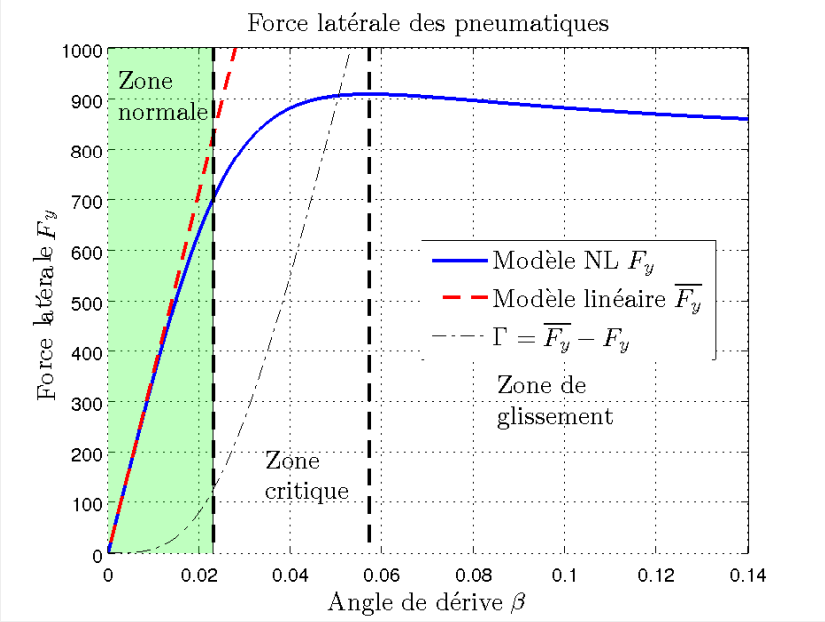
Modélisation du véhicule et objectif

Objectif de l'approche

L'objectif de l'approche consiste à détecter lorsque le véhicule n'est plus en situation normale. Pour ce faire, l'effort non linéaire Γ est considéré comme un défaut à détecter.

$$\begin{bmatrix}\dot{\beta}(t)\\ \ddot{\psi}(t)\end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{c_r+c_f}{mv(t)} & \frac{c_r l_r - c_f l_f}{mv(t)^2} - 1 \\ \frac{l_r c_r - l_f c_f}{I_z} & -\frac{l_f{}^2 c_f + l_r{}^2 c_r}{I_z v(t)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix}\beta(t)\\ \dot{\psi}(t)\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\frac{c_f}{mv(t)}\\ \frac{l_f c_f}{I_z}\end{bmatrix} u_f(t) + \begin{bmatrix}\frac{1}{mv} & \frac{1}{mv}\\ \frac{l_f}{I_z} & -\frac{l_r}{I_z}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Gamma_f\\ \Gamma_r\end{bmatrix}$$





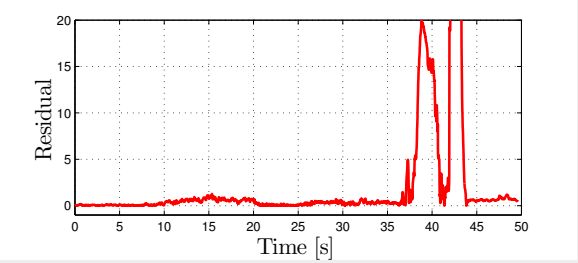
Détection de situations critiques $\Longleftrightarrow$ Détection de défauts

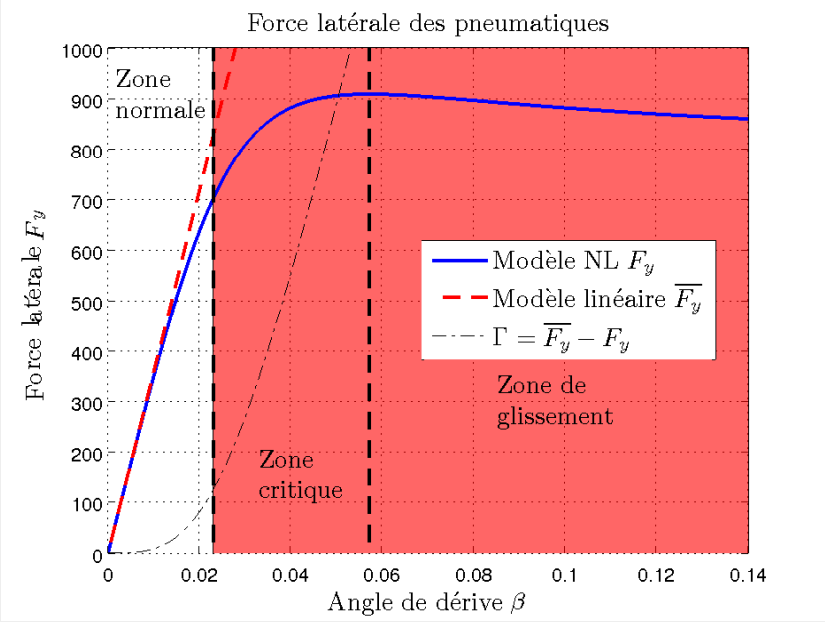
Modélisation du véhicule et objectif

Objectif de l'approche

L'objectif de l'approche consiste à détecter lorsque le véhicule n'est plus en situation normale. Pour ce faire, l'effort non linéaire Γ est considéré comme un défaut à détecter.

$$\begin{bmatrix}\dot{\beta}(t)\\ \ddot{\psi}(t)\end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{c_r+c_f}{mv(t)} & \frac{c_r l_r - c_f l_f}{mv(t)^2} - 1 \\ \frac{l_r c_r - l_f c_f}{I_z} & -\frac{{l_f}^2 c_f + {l_r}^2 c_r}{I_z v(t)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix}\beta(t)\\ \dot{\psi}(t)\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\frac{c_f}{mv(t)}\\ \frac{l_f c_f}{I_z}\end{bmatrix} u_f(t) + \begin{bmatrix}\frac{1}{mv} & \frac{1}{mv}\\ \frac{l_f}{I_z} & -\frac{l_r}{I_z}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Gamma_f\\ \Gamma_r\end{bmatrix}$$





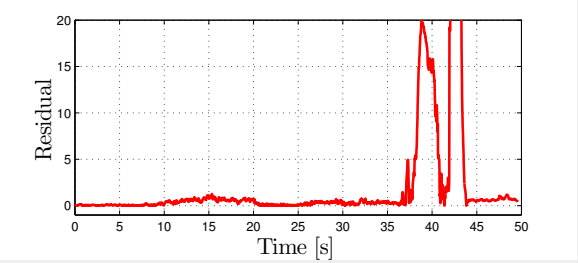
Détection de situations critiques $\Longleftrightarrow$ Détection de défauts

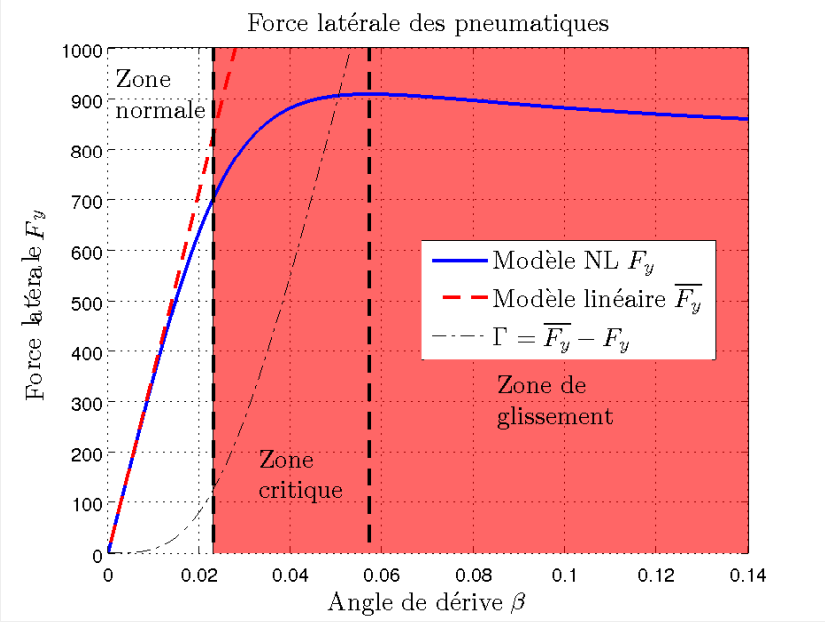
Modélisation du véhicule et objectif

Objectif de l'approche

L'objectif de l'approche consiste à détecter lorsque le véhicule n'est plus en situation normale. Pour ce faire, l'effort non linéaire Γ est considéré comme un défaut à détecter.

$$\begin{bmatrix}\dot{\beta}(t)\\ \ddot{\psi}(t)\end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{c_r+c_f}{mv(t)} & \frac{c_r l_r - c_f l_f}{mv(t)^2} - 1 \\ \frac{l_r c_r - l_f c_f}{I_z} & -\frac{l_f{}^2 c_f + l_r{}^2 c_r}{I_z v(t)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix}\beta(t)\\ \dot{\psi}(t)\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\frac{c_f}{mv(t)}\\ \frac{l_f c_f}{I_z}\end{bmatrix} u_f(t) + \begin{bmatrix}\frac{1}{mv} & \frac{1}{mv}\\ \frac{l_f}{I_z} & -\frac{l_r}{I_z}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Gamma_f\\ \Gamma_r\end{bmatrix}$$





Détection de situations critiques $\Longleftrightarrow$ Détection de défauts

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus par optimisation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
  - Modèle du véhicule
  - Détection d'un défaut capteur sur système LPV
  - Détection de défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques
  - Modélisation du véhicule et objectif
  - Détection de défauts
  - Résultats expérimentaux

4 Conclusion

ANR 2010blan0308

Détection de défauts

Principe de l'approche

Le système considéré dépend de la vitesse du véhicule et peut se réécrire sous la forme du système LPV suivant :

$$\Sigma_{LPV}\begin{cases} \begin{bmatrix}\beta(k+1)\\ \dot{\psi}(k+1)\end{bmatrix} = A(\rho(k))\begin{bmatrix}\beta(k)\\ \dot{\psi}(k)\end{bmatrix} + B(\rho(k))u_f + B_\Gamma(\rho(k))\Gamma \\ \dot{\psi}(k) = \begin{bmatrix}0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\beta(k)\\ \dot{\psi}(k)\end{bmatrix}\end{cases}$$

avec $\rho(k) \triangleq \begin{bmatrix}\frac{1}{v(k)} & \frac{1}{v(k)^2}\end{bmatrix}$.

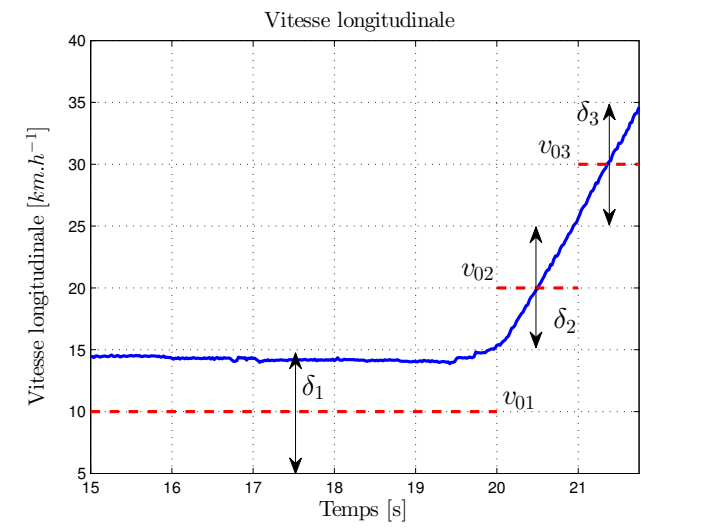
Ce système LPV se réécrit comme la combinaison commutée de sous systèmes LTI incertains :

Chaque sous-système LTI incertain $\Sigma_{i,LTIu}$ est caractérisé par sa vitesse nominale v_{0i} ainsi que la variation δ_i :

$$v(k) = v_{0i} + \delta_i\delta(k)$$

Le système LPV se réécrit alors comme la combinaison commutée des systèmes incertains :

$$\Sigma_{LPV} = \sum_{i=1}^{N}\mu_i(\rho)\Sigma_{i,LTIu}$$



Détection de défauts

Principe de l'approche

Le système considéré dépend de la vitesse du véhicule et peut se réécrire sous la forme du système LPV suivant :

$$\Sigma_{LPV}\begin{cases} \begin{bmatrix}\beta(k+1)\\ \dot{\psi}(k+1)\end{bmatrix} = A(\rho(k))\begin{bmatrix}\beta(k)\\ \dot{\psi}(k)\end{bmatrix} + B(\rho(k))u_f + B_\Gamma(\rho(k))\Gamma \\ \dot{\psi}(k) = \begin{bmatrix}0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\beta(k)\\ \dot{\psi}(k)\end{bmatrix}\end{cases}$$

avec $\rho(k) \triangleq \begin{bmatrix}\frac{1}{v(k)} & \frac{1}{v(k)^2}\end{bmatrix}$.

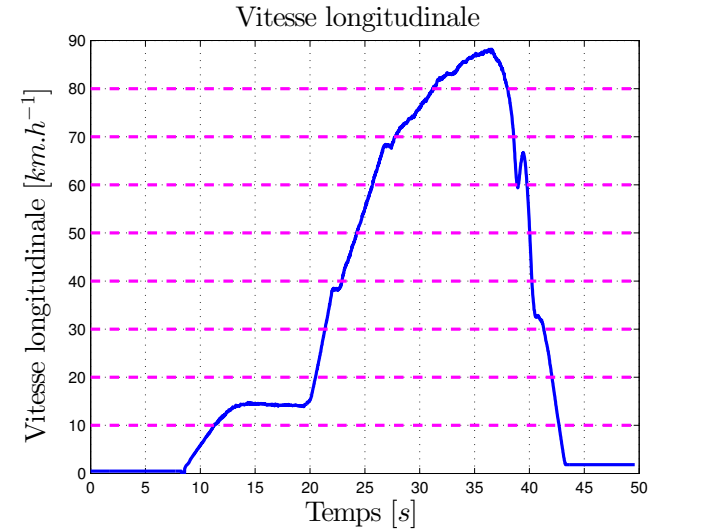
Ce système LPV se réécrit comme la combinaison commutée de sous systèmes LTI incertains :

Chaque sous-système LTI incertain $\Sigma_{i,LTIu}$ est caractérisé par sa vitesse nominale v_{0i} ainsi que la variation δ_i :

$$v(k) = v_{0i} + \delta_i\delta(k)$$

Le système LPV se réécrit alors comme la combinaison commutée des systèmes incertains :

$$\Sigma_{LPV} = \sum_{i=1}^{N}\mu_i(\rho)\Sigma_{i,LTIu}$$



ANR 2010blan0308

Détection de défauts

Modélisation des systèmes LTI incertains

Le paramètre variant $\rho(k)$ dépend de la vitesse du véhicule $v(k)$.
La vitesse est donnée par :

$$v(k) = v_{0i} + \delta_v \delta(k)$$

ainsi le premier paramètre variant $\rho_1(k) \triangleq \frac{1}{v(k)}$ est donné par :

$$\rho_1(k) = \frac{1}{v_{0i} + \delta_v \delta(k)} \simeq \frac{1}{v_{0i}} - \frac{\delta_v}{{v_{0i}}^2}\delta(k)$$

et de même :

$$\rho_2(k) = \frac{1}{(v_{0i} + \delta_v \delta(k))^2} \simeq \frac{1}{{v_{0i}}^2} - \frac{2\delta_v}{{v_{0i}}^3}\delta(k)$$

Finalement, chaque sous-système $\Sigma_{i,LTIu}$ est obtenu en évaluant le système LPV grâce à la relation précédente. Ils ont la forme suivante :

$$\Sigma_{i,LTIu} : \begin{cases} x(k+1) = & \left(\overline{A_0} + \overline{A_1}\delta_v\right) x(k) + \left(\overline{B_0} + B_d \delta_v\right) u(k) + B_\Gamma \Gamma(k) \\ y(k) = & \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} x(k) \end{cases}$$

avec :

- $\overline{A_0} = A_0 + \frac{1}{v_{0i}} A_1 + \frac{1}{{v_{0i}}^2} A_2$
- $\overline{A_1} = -\frac{\delta_v}{{v_{0i}}^2} A_1 - \frac{2\delta_v}{{v_{0i}}^3} A_2$
- $\overline{B_0} = B_0$
- $B_d = -\frac{\delta_v}{{v_{0i}}^2} B_0$

On implémente alors le résidu $r_{LTIu,i}$ donné par

$$r_{LTIu,i}(k) = W_i^T (Y_s(k) - H_{us,i} U_s(k))$$

ANR 2010blan0308

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus par optimisation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
  - Modèle du véhicule
  - Détection d'un défaut capteur sur système LPV
  - Détection de défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques
  - Modélisation du véhicule et objectif
  - Détection de défauts
  - Résultats expérimentaux

4 Conclusion

ANR 2010blan0308

Résultats expérimentaux

Scénario

Le véhicule considéré est le `Renault Megane` du laboratoire MIPS, partenaire dans le cadre du projet ANR INOVE.
Le véhicule expérimente le test de l'élan pour 3 vitesses nominales : 30, 60 et 90 $km.h^{-1}$.

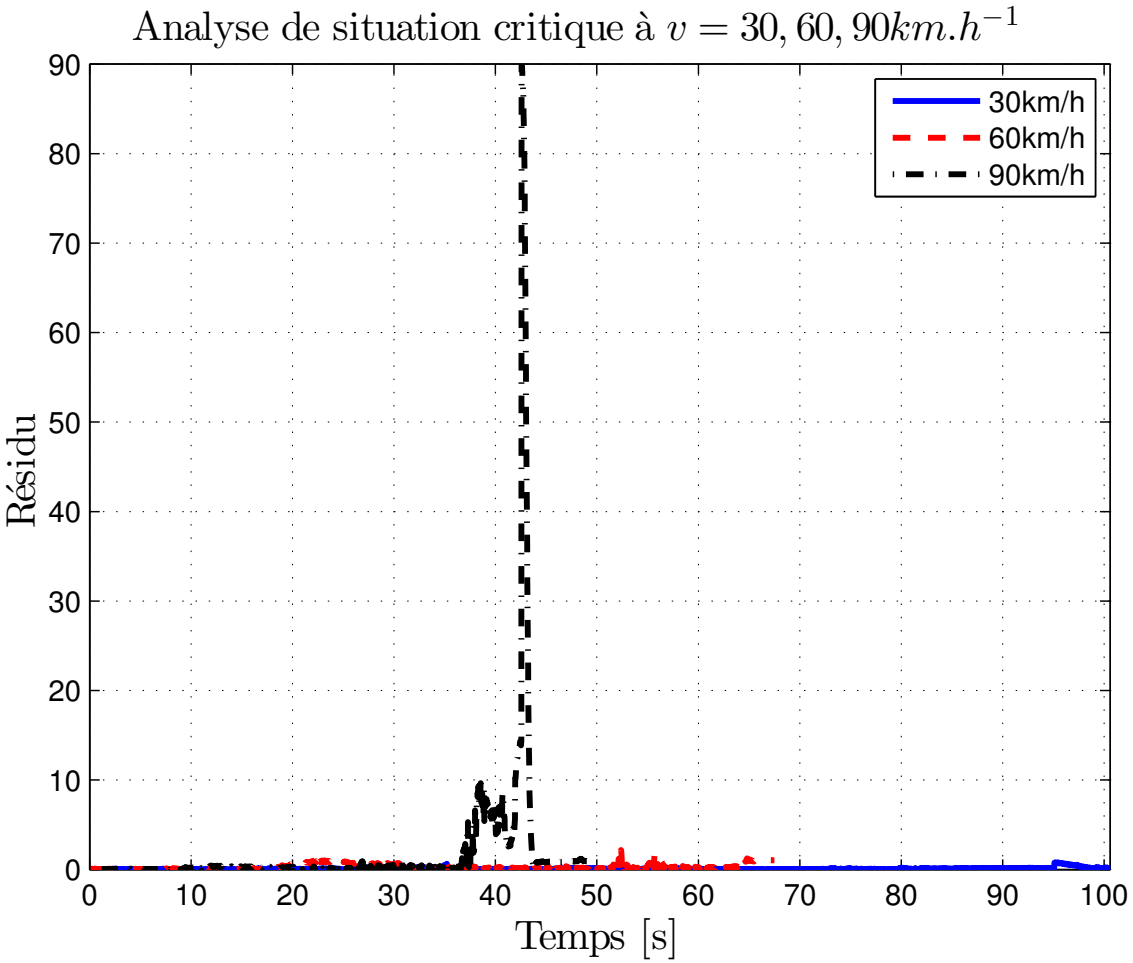
Vitesse nominales	Validé
30 $km.h^{-1}$	✓
60 $km.h^{-1}$	✓
90 $km.h^{-1}$	✗

(a) Test 60 $km.h^{-1}$

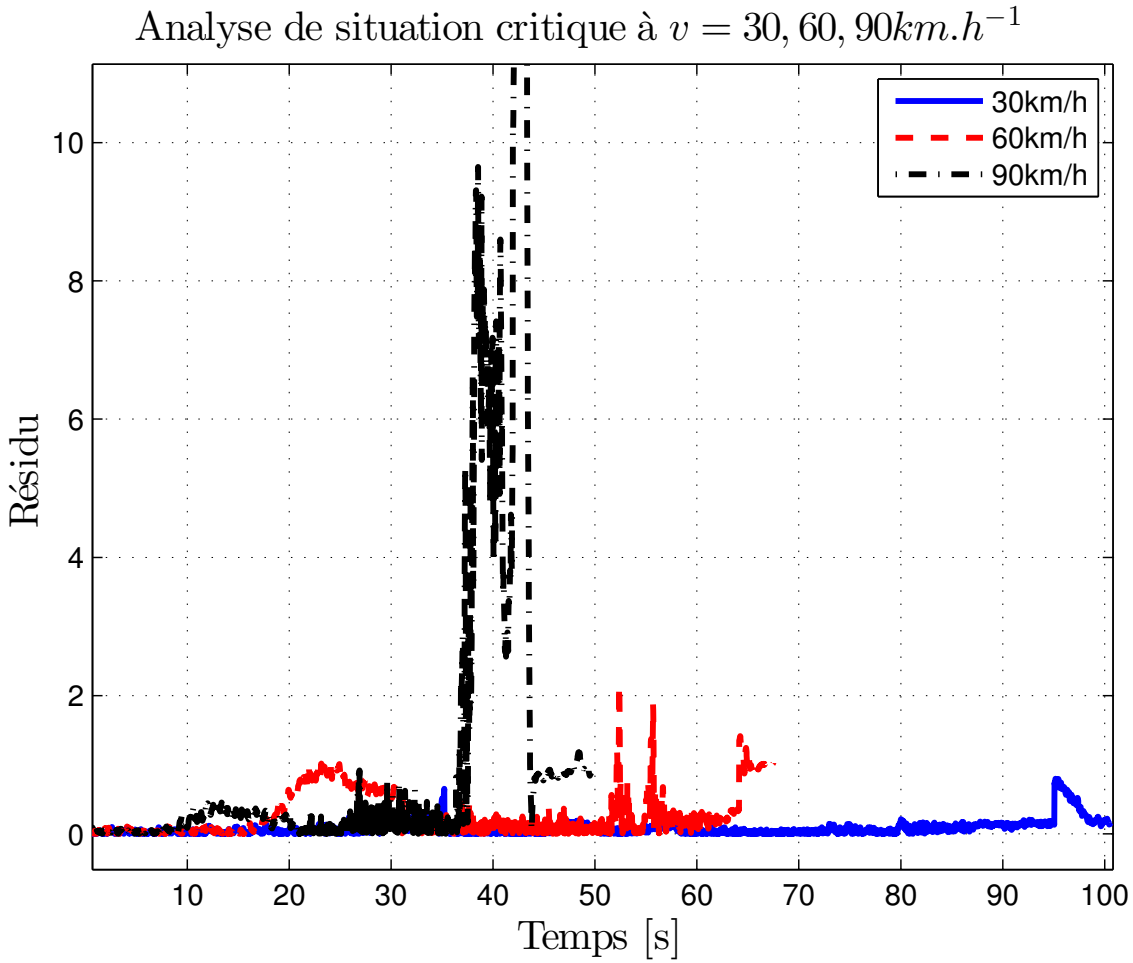
(b) Test 90 $km.h^{-1}$

ANR 2010blan0308

Analyse des résidus

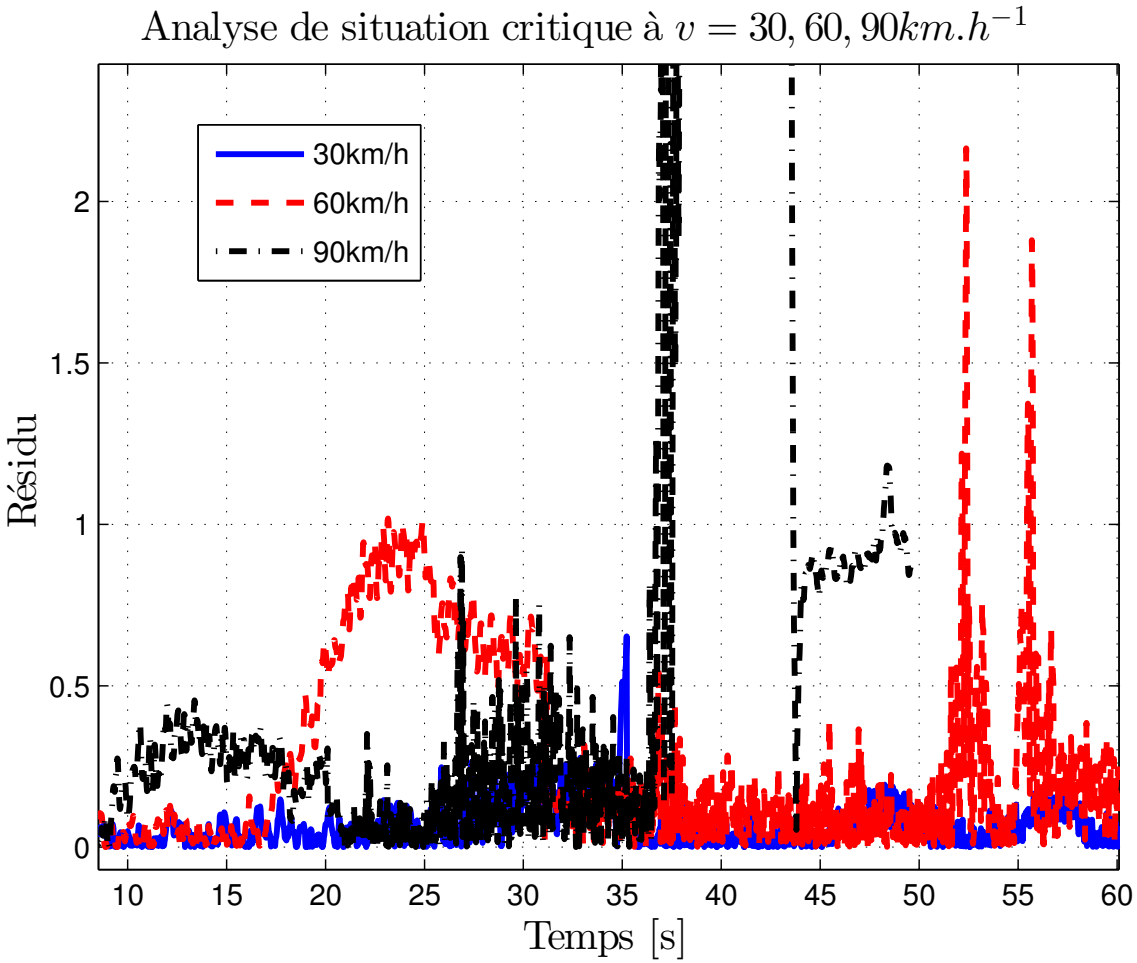


Analyse des résidus



ANR 2010blan0308

Analyse des résidus



ANR 2010blan0308

1 Introduction

2 Méthodologies de détection de défauts pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus pour les systèmes LPV
- Synthèse de résidus par optimisation
- Synthèse de résidus pour les systèmes $\mathcal{U}$-LPV

3 Détection de défauts et contrôle tolérant pour les véhicules
- Détection d'un défaut capteur et robustesse
- Détection de situations critiques

4 Conclusion

ANR 2010blan0308

Conclusion

Conclusion

- La modélisation des véhicule automobile a montré que les systèmes LPV étaient utiles pour les représenter.
- Des méthodes de détection de défauts inspiré de la méthodologie de l'espace de parité pour systèmes LPV ont été développées
- Une approche LPV orientée vers l'implémentation pouvant prendre en compte des incertitudes a été développée.
- Une approche pour systèmes LPV incertain avec entrées inconnues permet de prendre en compte la sensibilité du résidu aux perturbations.

Validations expérimentales

Les diverses approches ont été validées expérimentalement sur véhicule réel ou sur simulateur :

- Détection d'un défaut capteur / actionneur
- Lien entre détection de défauts et détection de situations critiques.

ANR 2010blan0308

Conclusion

Conclusion

- La modélisation des véhicule automobile a montré que les systèmes LPV étaient utiles pour les représenter.
- Des méthodes de détection de défauts inspiré de la méthodologie de l'espace de parité pour systèmes LPV ont été développées
- Une approche LPV orientée vers l'implémentation pouvant prendre en compte des incertitudes a été développée.
- Une approche pour systèmes LPV incertain avec entrées inconnues permet de prendre en compte la sensibilité du résidu aux perturbations.

Validations expérimentales

Les diverses approches ont été validées expérimentalement sur véhicule réel ou sur simulateur :

- Détection d'un défaut capteur / actionneur
- Lien entre détection de défauts et détection de situations critiques.

ANR 2010blan0308

Perspectives

Perspectives théoriques

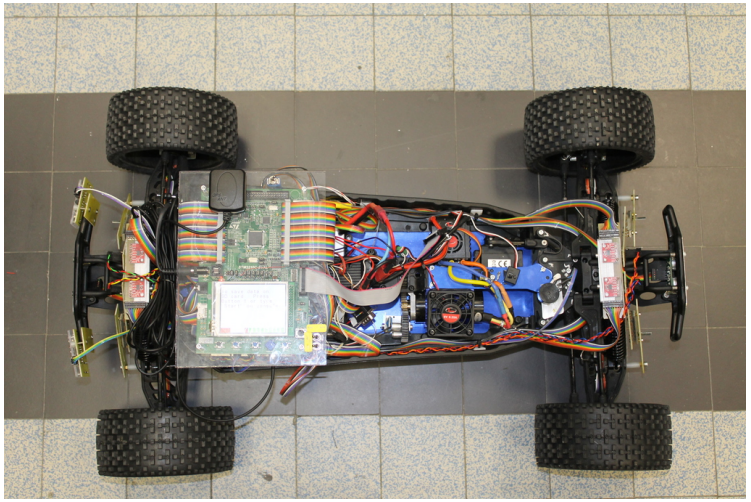
- Doit on vraiment considérer la contrainte $W \cdot H_{os} = 0$ lors d'optimisation ?
- Etude qualitative de la borne des résidus incertains.
- Modéliser les véhicules comme des systèmes à temps variant (+ approches EKF, TVO).

ANR 2010blan0308

Perspectives

Perspectives applicatives

- Concernant la dynamique verticale :
  - Lors de la compensation globale, est-il nécessaire de considérer toutes les dynamiques ? Etude en mode dégradé.
  - Prise en compte la semi-activité de l'amortisseur dans la synthèse.
- Prise en compte d'autres paramètres variants, incertitudes sur le modèle :
  - Coefficients d'adhérence : modélisation incertaine
  - Autres paramètres : rayon de la roue ?
- Détection de situations critiques longitudinales : développement de nouvelles technologies d'ABS ou d'antipatinage.



ANR 2010blan0308

Perspectives

Perspectives applicatives

- Concernant la dynamique verticale :
  - Lors de la compensation globale, est-il nécessaire de considérer toutes les dynamiques ? Etude en mode dégradé.
  - Prise en compte la semi-activité de l'amortisseur dans la synthèse.
- Prise en compte d'autres paramètres variants, incertitudes sur le modèle :
  - Coefficients d'adhérence : modélisation incertaine
  - Autres paramètres : rayon de la roue ?
- Détection de situations critiques longitudinales : développement de nouvelles technologies d'ABS ou d'antipatinage.

ANR 2010blan0308

Perspectives

Perspectives applicatives

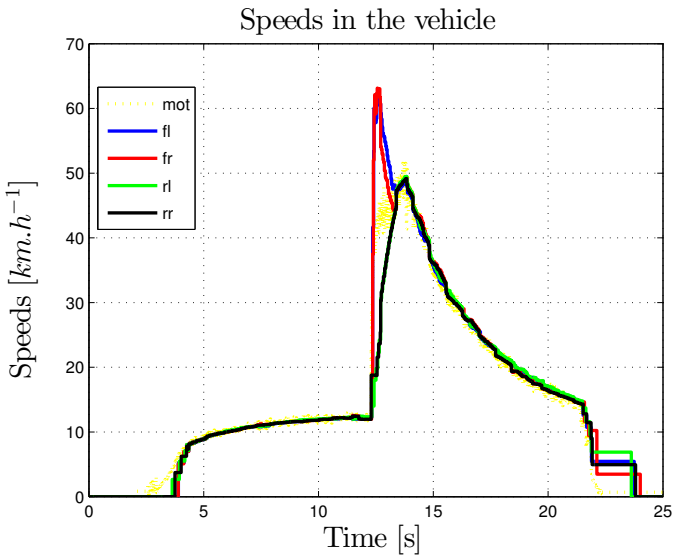
- Concernant la dynamique verticale :
  - Lors de la compensation globale, est-il nécessaire de considérer toutes les dynamiques ? Etude en mode dégradé.
  - Prise en compte la semi-activité de l'amortisseur dans la synthèse.
- Prise en compte d'autres paramètres variants, incertitudes sur le modèle :
  - Coefficients d'adhérence : modélisation incertaine
  - Autres paramètres : rayon de la roue ?
- Détection de situations critiques longitudinales : développement de nouvelles technologies d'ABS ou d'antipatinage.

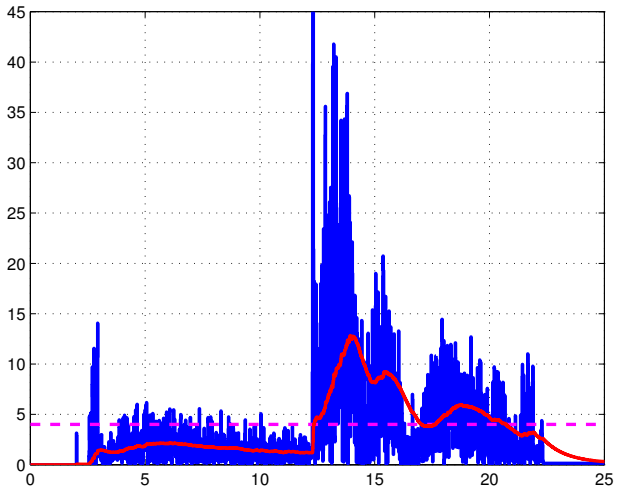
ANR 2010blan0308

Perspectives

Perspectives applicatives

- Concernant la dynamique verticale :
  - Lors de la compensation globale, est-il nécessaire de considérer toutes les dynamiques ? Etude en mode dégradé.
  - Prise en compte la semi-activité de l'amortisseur dans la synthèse.
- Prise en compte d'autres paramètres variants, incertitudes sur le modèle :
  - Coefficients d'adhérence : modélisation incertaine
  - Autres paramètres : rayon de la roue ?
- Détection de situations critiques longitudinales : développement de nouvelles technologies d'ABS ou d'antipatinage.





ANR 2010blan0308

Merci pour votre attention.
Questions ?