

•Observateur hybride pour des systèmes à commutations non autonomes

Fatiha Hamdi, Nadhir Messai, Noureddine Manamanni

Centre de Recherche en Sciences et Technologie de l'information et de la Communication (CReSTIC)

Université de Reims Champagne Ardenne UFR Sciences exactes et naturelles, BP 1039, 51689 Reims, France

[fatiha.hamdi,nadhir.messai,noureddine.manamanni}@univ-reims.fr](mailto:{fatiha.hamdi,nadhir.messai,noureddine.manamanni}@univ-reims.fr)

Résumé – Dans ce travail nous proposons la synthèse d'un observateur hybride pour le diagnostic des systèmes à commutations non autonomes modélisés par des réseaux de Petri différentiels. L'observateur hybride proposé est constitué d'un observateur discret et d'un observateur continu en interaction. A partir du marquage discret initial la dynamique continue est identifiée, l'observateur continu procède à l'estimation de l'état continu du système hybride. Ce dernier est exploité par l'observateur discret dans le but d'estimer les composantes du vecteur de franchissement des transitions et de fournir le mode actif à l'observateur continu.

Abstract – This work deals with hybrid observer synthesis for non autonomous state switched system that are described via differential Petri Net (*DPN*). The proposed observer structure is constituted of a discrete observer and a continuous one that are in interaction. The discrete observer estimates the discrete mode, by estimating both the discrete marking and the firing vector. Once the current mode is deduced the continuous states are estimated. Finally, the result issued from the continuous observer is used by the discrete observer in order to update the discrete marking and the firing vector.

Introduction

Les efforts fournis dans le cadre de la surveillance des Systèmes Dynamiques Hybrides (SDH) en terme de sûreté de fonctionnement ont permis en premier lieu la mise en œuvre d'un nombre de travaux portant sur l'estimation de l'état hybride [1-4]. Cependant, la plupart des approches ne se basent pas forcément sur un modèle complètement hybride (les parties discrète et continue sont découplées). Par ailleurs, l'utilisation des réseaux de Petri différentiels (*RdPDF*) [5] a montré l'efficacité de cet outil pour modéliser une large classe de SDH [6]. C'est dans ce cadre que s'inscrivent les travaux présentés dans cette communication. Ils visent l'estimation de l'état complet d'un système à commutation non autonome modélisé par un *RdPDF*.

Ce travail entre dans le cadre du projet COSMOS¹ du GIS 3SGS et propose une extension des travaux présentés dans [7]. Il traite particulièrement une classe plus large de SDH et à l'instar de ce nos précédent travaux [7] [8] [9], le développement proposé ici considère le cas où l'on ne détecte pas le changement du mode discret.

¹ Conception et observation de systèmes à Modes multiples de fonctionnement Sûr.

L'estimation de l'état hybride est réalisée via un observateur discret et un observateur continu en interaction. L'observateur discret estime le marquage de la partie discrète du *RdPDF* permettant d'identifier le mode discret actif. En utilisant cette information l'état continu du système actif à cet instant est estimé.

Modélisation d'un système à commutation par réseaux de Petri différentiels

Dans cette section, nous allons exposer une structure générique de modélisation d'un système à commutation par *RdPDF*.

1.1 Réseaux de Petri différentiels

Les *RdPDF* sont une extension des réseaux de Petri Hybrides. Ils combinent les avantages des RdP continus et discrets et permettent une modélisation unifiée d'une large classe de SDH [5-6]. D'une façon générale, ce type de réseau est composé, d'une part, de places et de transitions discrètes et, d'autre part, de places et de transitions différentielles. Ainsi, la partie discrète du réseau décrit l'évolution discrète du SDH et la partie différentielle l'évolution de ses variables d'états continues. Notons que

les transitions différentielles sont caractérisées à la fois par une vitesse de franchissement associé à la variable d'état ou à la commande. Les transitions différentielles sont aussi caractérisées par une temporisation correspondant au pas d'intégration que l'on utilise lors de l'intégration des équations différentielles régissant l'évolution de la partie continue.

Formellement, un réseau de Petri différentiel est un quadruplet:

$$RdPDF = \langle P, T, Pre, Post, f, M_0, \mathfrak{T} \rangle \quad (1)$$

Où :

$P = \{p_i\}_{i=1, \dots, npD}$ est un ensemble fini de place.
 $T = \{t_j\}_{j=1, \dots, m}$ est un ensemble fini de transitions tels que $P \cap T = \emptyset$. $Pre(p_i, t_j), P \times T \rightarrow \mathbb{R}$ est le poids de l'arc reliant la place p_i à la transition t_j .
 $Post(p_i, t_j), P \times T \rightarrow \mathbb{R}$ est le poids de l'arc reliant la transition t_j à la place p_i . $f : P \cup T \rightarrow \{D, Df\}$ est une fonction différentielle, qui spécifie le type du nœud (discret (D) ou différentiel (Df)). M_0 est le marquage initial et \mathfrak{T} est une application qui associe un nombre réel à chaque transition et une temporisation à chaque transition différentielle.

Dans ce type de RdP le marquage est composé de deux parties

$$M(t_k) = (M^D(t_k) | M^{Df}(t_k)) \quad (2)$$

Où : $M^D \in \mathbb{N}^{npD}$ est le vecteur de marquage discret. Les composantes de ce vecteur sont des valeurs entières représentant le nombre de jetons dans les npD places discrètes. $M^{Df} \in \mathbb{R}^{npDf}$ est le vecteur de marquage différentiel. Les composantes de ce vecteur sont des valeurs réelles représentant le marquage des $npDf$ places différentielles.

Par ailleurs, la matrice d'incidence d'un $RdPDF$ est définie par

$$W = Pre(p_i, t_j) - Post(p_i, t_j) = \begin{pmatrix} W^D & W^{DfD} \\ W^{DDf} & W^{DfDf} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Où : W^D et W^{DfD} sont respectivement les matrices d'incidences des parties discrètes et différentielles et W^{DDf} , W^{DfDf} sont des matrices décrivant l'interaction entre les deux parties.

Dans la suite nous considérons également que la matrice d'incidence W^{Df} est constituée de deux parties, la première est associée à la matrice d'état $W^{E_{Df}}$ et la deuxième est liée à la matrice commande $W^{C_{Df}}$.

Enfin, le marquage atteignable à l'instant t_k à partir d'un marquage initial à l'instant t_i est défini par

$$M(t_k) = M(t_i) + W \left(\sigma(t_k) + \int_{t_i}^{t_k} v(u) du \right) \quad (4)$$

Avec $\sigma \in \mathbb{N}^m$ le vecteur de franchissement de transition discrète, m est le nombre de transition discrète et v le vecteur contenant les vitesses de franchissement instantanées des transitions différentielles.

1.2 Modélisation des SDH via $RdPDF$

La FIG 1 illustre un exemple de la partie discrète d'un $RdPDF$. Cette partie peut représenter l'évolution discrète d'un SDH ayant n modes discrets. Ainsi, les npD places représentent les n modes du SDH et les m transitions modélisent les conditions de passage d'un mode à un autre.

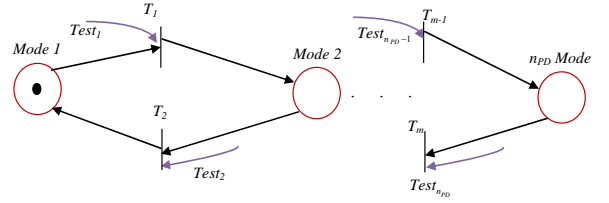


FIG.1. : Modèle de la partie discrète d'un SDH

Notons, ici que le franchissement de chaque transition discrète est conditionné, à la fois, par la présence d'un jeton dans la place en amont de cette dernière et du résultat issu du bloc test (i.e., jeton dans la place $Test1k$).

De la même façon, la FIG.2 illustre un exemple de modélisation d'une partie continue décrite par une représentation d'état classique. Sur cette figure les places différentielles notées $Pdf_{i \in \{1, \dots, npDf\}}$ représentent les

$x_{npDf} \in \mathbb{R}^{npDf}$ variables d'états continus du système.

Notons, ici, qu'à chaque transition différentielle $dx_{j \in \{1, \dots, npDf\}}$

et $T_{D_{j \in \{1, \dots, npDf\}}}$ est associée une vitesse de franchissement

maximale $x_{i \in \{1, \dots, npDf\}}$ (resp. u) et un pas d'intégration h . Ce

dernier est utilisé lors de la résolution de l'équation différentielle décrivant la dynamique continue de chaque

mode. Enfin, les arcs reliant les transitions différentielles

dx_j aux places différentielles définissent les composantes

de la matrice d'état de chaque sous système. De même, les

arcs reliant les transitions différentielles T_{D_j} représentent

les composantes du vecteur commande de chaque sous système.

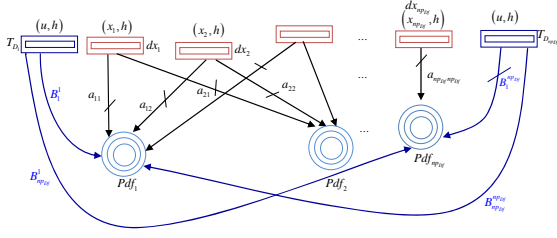


FIG.2. : Partie continue d'un SDH via RdPdf

Dans notre cas, le SDH passe d'un mode à un autre, si est seulement si l'expression (5) est vérifiée. Ainsi, les conditions de commutations peuvent être modélisées par le bloc "Hyperplans" de la FIG. 3, qui illustre l'expression suivante:

$$S_k = a_k x_1 + b_k x_2 + \dots + z_k x_{npdf} = 0 \quad (5)$$

Où : $a_k, b_k, \dots, z_k \in \mathbb{R}$, $k \in \{1, \dots, npdf\}$.

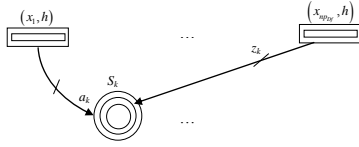


FIG.3. : Modèle RdP d'un Hyperplan

Une fois les hyperplans obtenus, les conditions de commutations sont testées par le dernier bloc (FIG 4) qui effectue le test « variation à l'intérieur d'une région » [5] en vérifiant l'inégalité $-\varepsilon < S_k < \varepsilon$. Notons, que ce test est quasi équivalent à l'expression $S_k = 0$ car ε est choisit infiniment petit.

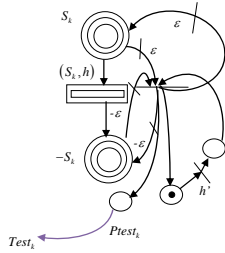


FIG.4. : Modèle RdP du test de la commutation

Structure de l'observateur

L'observateur hybride proposé est composé d'un observateur *discret* pour l'identification du mode courant $\hat{q} \in Q$, $Q = \{1, 2, \dots, npdf\}$ et d'un observateur *continu* pour l'estimation de l'état continu $\hat{x} \in \mathbb{R}^{npdf}$. Selon la FIG.5, l'observateur discret utilise d'une part une estimation de l'état continu, et, d'autre part l'entrée discrète (v) et la sortie discrète (ψ) du modèle SDH. En ce qui concerne l'observateur continu, il estime l'état continu, en utilisant l'estimation de l'état discret (i.e estimation du marquage

de la partie discrète) ainsi que l'entrée continue (u) et la sortie continue (y).

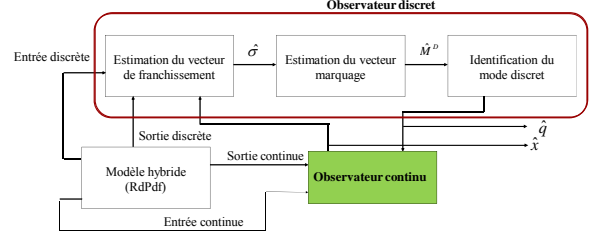


FIG.5. : Structure de l'observateur

Avant d'aborder la synthèse de l'observateur, nous proposons d'abord d'effectuer quelques transformations mathématiques permettant d'établir un lien direct entre la partie discrète et la partie continue du RdPdf qui modélise le système à commutations. En effet, l'équation (4) ne donne aucune relation directe entre les matrices d'états et le marquage discret représentant le mode courant du SDH. Afin de résoudre ce problème et sachant que les matrices W^{DDf} et W^{DfD} sont nulles, l'équation (4) peut être réécrite sous la forme :

$$M^D(t_k) = M^D(t_i) + W^D \sigma(t_k) \quad (6)$$

$$M^{Df}(t_k) = M^{Df}(t_i) + W^{Df} \int_{t_i}^{t_k} v(u) du \quad (7)$$

Par ailleurs, pour procéder à la dérivation de l'équation (7), il est nécessaire de multiplier W^{Df} par une matrice $Z_q \in \mathbb{N}^{n_{Tdf} \times npdf}$, où n_{Tdf} représente le nombre de transitions différentielles. Cette matrice donnée par (8) a été choisie de manière à ce que le produit matriciel soit fonction du marquage discret [6].

$$Z_q = M^D \otimes I_{npdf} \quad (8)$$

Enfin, sachant que les vitesses de franchissement des transitions différentielles sont associées aux variables d'états du SDH, l'équation décrivant l'évolution du RdPdf devient :

$$\dot{x} = \underbrace{\left(W^{E_{Df}} \left(M_0 + W^D \sigma \right) \otimes I_{npdf} \right)}_{A_q} x + \underbrace{W^{C_{Df}} \left(\left(M_0 + W^D \sigma \right) M^D \otimes I_s \right) u}_{b_q} \quad (9)$$

Ainsi, dans chaque mode discret (en fonction du marquage discret) $q \in Q = \{1, 2, \dots, npdf\}$, l'état continu de la classe des SDH considérée s'écrit:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= A_q x(t) + b_q u & \text{si } S_q = 0 \\ y(t) &= C_q x(t) & \text{pour } q = 1, 2, \dots, npdf \end{aligned} \quad (10)$$

Où : $y(t) \in \mathbb{R}^p$ est la sortie continue du SDH, $x(t) \in \mathbb{R}^{n_{pdj}}$ est le vecteur d'état, $A_q \in \mathbb{R}^{n_{pdj} \times n_{pdj}}$, $C_q \in \mathbb{R}^{p \times n_{pdj}}$ et $b_q \in \mathbb{R}^{p \times n_{pdj}}$ sont matrices dépendantes du mode courant. Notons également que le marquage discret du *RdPDF* est directement lié au mode discret du SDH et est décrit par :

$$\begin{cases} M^D = M^D + W^D \sigma_{t_{k+1}} \\ \Psi(t_k) = M^D \end{cases} \quad (11)$$

Où : $\psi \in \mathbb{N}^{n_{pd}}$ est le vecteur de sortie de la partie discrète

Dans ce qui suit, l'observateur hybride sera synthétisé sous des hypothèses d'observabilité et de connaissance de la loi de commutation

2.1 Synthèse de l'observateur discret

L'observateur discret estime le marquage discret du *RdPDF* à partir de la sortie discrète du système hybride. La méthode que nous utilisons ici pour sa synthèse est basée sur une approche classique de synthèse d'un observateur de Luenberger réduit [10].

Considérons que la partie discrète du *RdPDF* est composée de deux types de places et de deux types de transitions : mesurables et non mesurables. Ainsi, à chaque instant t_k le vecteur de marquage et le vecteur de franchissement peuvent s'écrire sous la forme :

$$M^D = \begin{bmatrix} M^{D_o} & M^{D_{\bar{o}}} \end{bmatrix}^T \text{ et } \sigma_{t_k} = \begin{bmatrix} \sigma_{t_k}^{D_o} & \sigma_{t_k}^{D_{\bar{o}}} \end{bmatrix}^T$$

Où : $M^{D_o} \in \mathbb{N}^{n_{pd_o}}$, $M^{D_{\bar{o}}} \in \mathbb{N}^{n_{pd_{\bar{o}}}}$, $\sigma_{t_k}^{D_o} \in \mathbb{N}^{m_o}$ et $\sigma_{t_k}^{D_{\bar{o}}} \in \mathbb{N}^{m_{\bar{o}}}$, sont respectivement le marquage des places mesurables, le marquage des places non mesurables, le vecteur de franchissement des transitions mesurables et le vecteur de franchissement des transitions non mesurables à l'instant t_k .

Afin d'estimer à chaque instant le marquage discret et détecter ainsi le mode actif, le modèle RdP partiellement mesurable sera décrit par :

$$\begin{cases} EY^D = AY^D \\ \Psi_{t_k} = HY^D \end{cases} \quad (12)$$

$$\text{Avec } Y^D = \begin{bmatrix} M^D \\ \sigma_{t_k} \end{bmatrix} \in \mathbb{N}^{n_{pd} + m}, \Psi_{t_k} = \begin{bmatrix} M^{D_o} \\ \sigma_{t_k}^{D_o} \end{bmatrix} \in \mathbb{N}^{n_{pd_o} + m_o},$$

$$E = \begin{bmatrix} I_{n_{pd}} & -W^D \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} I_{n_{pd}} & 0_{n_{pd} \times m} \end{bmatrix}$$

$$\text{et } H = \begin{bmatrix} I_{n_{pd_o}} & 0_{n_{pd_o} \times n_{pd_{\bar{o}}}} & 0_{n_{pd_o} \times m_o} & 0_{n_{pd_o} \times m_{\bar{o}}} \\ 0_{m_o \times n_{pd_o}} & 0_{m_o \times n_{pd_{\bar{o}}}} & I_{m_o} & 0_{m_o \times m_{\bar{o}}} \end{bmatrix}$$

Enfin, le vecteur global Y^D sera estimé par l'observateur de Luenberger d'ordre réduit décrit par :

$$\begin{cases} \hat{M}^D = F\hat{M}^D + G\Psi_{t_k} \\ \hat{Y}^D = B\hat{M}^D + N\Psi_{t_k} \end{cases} \quad (13)$$

Où : F, G, B et N sont des matrices de dimensions appropriées, qui garantissent la convergence asymptotique de l'observateur [10].

Nous précisons que le modèle délivre le marquage des places mesurables M^{D_o} , et que le vecteur de franchissement des transitions mesurables σ^{D_o} est déterminé en fonction de l'état continu estimé. Ces deux composantes (M^{D_o} et σ^{D_o}) sont ensuite utilisées pour former le vecteur global Ψ_{t_k} et, en utilisant (13), estimer l'état discret.

2.2 Synthèse de l'observateur continu

L'observateur continu² est un observateur de Luenberger dont la dynamique active dépend du mode estimé par l'observateur discret et est décrit par :

$$\begin{cases} \dot{\hat{x}} = A_{\hat{q}}\hat{x} + b_{\hat{q}}u - L_{\hat{q}}(C_q x - C_{\hat{q}}\hat{x}) \\ y = C_{\hat{q}}\hat{x} \end{cases} \quad (14)$$

Où : \hat{q} est le mode discret estimé en fonction du marquage discret, q est le mode discret réel et $L_{\hat{q}}$ sont les gains de l'observateur garantissant la convergence asymptotique de l'erreur de l'estimation $e = x - \hat{x}$, dont la dynamique est donnée par :

$$\dot{e} = \begin{cases} (A_q - L_q C_q)e & \text{si } q = \hat{q} \\ (A_q - L_q C_q)e + [(A_q - A_{\hat{q}}) - L_q(C_q - C_{\hat{q}})]x \\ \quad + (B_q - B_{\hat{q}})u & \text{si } \hat{q} \neq q \end{cases} \quad (15)$$

La convergence de l'erreur et le calcul des gains de l'observateur se basent sur la validité des conditions énoncées par le théorème suivant :

² L'indice du temps t_k sera omis dans ce qui suit pour simplifier les notations

Théorème: L'erreur d'estimation (15) converge asymptotiquement vers zéro s'il existe des matrices

$P_{\hat{q}} = P_{\hat{q}}^T > 0, Q_{\hat{q}} = \begin{bmatrix} Q_{\hat{q}_1} & Q_{\hat{q}_2} \\ Q_{\hat{q}_2}^T & Q_{\hat{q}_3} \end{bmatrix} > 0, Z_{\hat{q}}$ et Z_q , telles que l'inégalité suivante admet une solution

$$[A_{ij}]_{3 \times 3} < 0 \quad (16)$$

Avec :

$$\begin{aligned} A_{11} &= -A_q^T P_{\hat{q}} + C_q^T Z_q^T - P_{\hat{q}} A_q + Z_q C_q - C_{\hat{q}}^T Q_{\hat{q}_1} C_{\hat{q}} \\ A_{12} &= P_{\hat{q}} A_{\hat{q}} + Z_{\hat{q}} (C_q - C_{\hat{q}}) + C_{\hat{q}}^T Q_{\hat{q}_1} C_{\hat{q}} \\ A_{13} &= P_{\hat{q}} B_{\hat{q}} + C_{\hat{q}}^T Q_{\hat{q}_2} \\ A_{21} &= (A_{\hat{q}})^T P_{\hat{q}} + (C_q - C_{\hat{q}})^T Z_q^T + C_{\hat{q}}^T Q_{\hat{q}_1} C_{\hat{q}} \\ A_{22} &= -C_{\hat{q}}^T Q_{\hat{q}_1} C_{\hat{q}}, A_{23} = -C_{\hat{q}}^T Q_{\hat{q}_2} \\ A_{31} &= (B_{\hat{q}})^T P_{\hat{q}} + Q_{\hat{q}_2} C_{\hat{q}} \\ A_{32} &= -Q_{\hat{q}_2} C_{\hat{q}}, A_{33} = -Q_{\hat{q}_3} \end{aligned}$$

Preuve : En se basant sur le principe de « dissipativité » des systèmes dynamiques [11], un SDH est dissipatif s'il existe une fonction multiple définie par :

$$\int_{t_0}^{t_1} |S_q(y, u)| dt < \infty \quad (17)$$

Par conséquent il existe une fonction de stockage multiple $V_q > 0$ tel que l'inégalité (18) est vérifiée :

$$\dot{V}_q(x(t)) \leq S_q(y, u) \quad (18)$$

Ainsi, pour \hat{y} borné, (14) est dissipatif s'il existe une fonction d'approvisionnement S_s donnée par :

$$\int_{t_0}^{t_1} |S_s(\hat{y}, u)| dt < \infty \quad (19)$$

Ou encore sous forme quadratique donné par :

$$S_s = \begin{bmatrix} \hat{y} \\ u \end{bmatrix}^T Q_q \begin{bmatrix} \hat{y} \\ u \end{bmatrix} \quad (20)$$

Ainsi, on peut définir:

$$V_{\hat{q}}(\hat{x}(t)) = (\hat{x}(t))^T P_{\hat{q}} \hat{x}(t) \quad (21)$$

Où $P_{\hat{q}} = P_{\hat{q}}^T > 0$.

En remplaçant \hat{x} par $x - e$ dans (21), nous obtenons :

$$V_{\hat{q}}(x(t) - e(t)) = (x(t) - e(t))^T P_{\hat{q}} (x(t) - e(t)) \quad (22)$$

Ainsi, si le système (14) est stable alors (18) s'écrit :

$$\frac{d}{dt} \underbrace{[(x(t) - e(t))^T P_{\hat{q}} (x(t) - e(t))]}_{\dot{V}_{\hat{q}}} < \begin{bmatrix} \hat{y} \\ u \end{bmatrix}^T Q_{\hat{q}} \begin{bmatrix} \hat{y} \\ u \end{bmatrix} \quad (23)$$

Sachant que $\hat{y} = C_{\hat{q}}(x - e)$ et que $Q_{\hat{q}} = \begin{bmatrix} Q_{\hat{q}_1} & Q_{\hat{q}_2} \\ Q_{\hat{q}_2}^T & Q_{\hat{q}_3} \end{bmatrix} > 0$,

(23), permet de constater qu'il existe un lien entre la convergence de l'erreur d'estimation et la dissipativité. Ainsi, le système (14) est dissipatif si et seulement si l'erreur d'estimation converge asymptotiquement vers Zéro.

Par conséquent, à partir de (10) et (15) nous aurons

$$\dot{V}_{\hat{q}} = \begin{bmatrix} e \\ x \\ u \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \Delta_{11} & \Delta_{12} & \Delta_{13} \\ \Delta_{21} & 0 & 0 \\ \Delta_{31} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e \\ x \\ u \end{bmatrix} \quad (24)$$

Avec :

$$\begin{aligned} \Delta_{11} &= (-A_q + L_q C_q)^T P_{\hat{q}} + P_{\hat{q}} (-A_q + L_q C_q) \\ \Delta_{12} &= [A_{\hat{q}} + L_{\hat{q}} (C_q - C_{\hat{q}})] P_{\hat{q}} \\ \Delta_{13} &= B_{\hat{q}} P_{\hat{q}} \\ \Delta_{21} &= P_{\hat{q}} [A_{\hat{q}} + L_{\hat{q}} (C_q - C_{\hat{q}})]^T \\ \Delta_{22} &= \Delta_{23} = \Delta_{32} = \Delta_{33} = 0 \\ \Delta_{31} &= P_{\hat{q}} B_{\hat{q}}^T \end{aligned}$$

Ainsi, en effectuant le changement bijectif $Z_q = L_q^T P_{\hat{q}}$ et $Z_{\hat{q}} = L_{\hat{q}}^T P_{\hat{q}}$ et en remplaçant dans (23) nous obtenons(16). ■

Simulation et résultats

Afin d'illustrer l'efficacité de l'approche proposée, soit le système à commutations à deux modes décrit par :

$$\text{mode 1} \begin{cases} \dot{x} = 10x_2 + u \\ y = x_1 + 2.5x_2 \end{cases} \quad \text{si } 0.5x_1 - x_2 = 0$$

$$\text{mode 2} \begin{cases} \dot{x} = \begin{cases} 1.5x_1 + 2x_2 \\ -2x_1 - 0.5x_2 - u \end{cases} \\ y = -5x_1 + x_2 \end{cases} \quad \text{si } -0.25x_1 - x_2 = 0$$

Considérons que le système évolue initialement dans le mode 1 (i.e., le marquage initial du *RdPdf* est $M_0^D = [1 \ 0]^T$) et que l'état initial de la dynamique continue est $x_0 = [-1 \ 0.5]^T$. De même l'observateur continu a pour état initial $x_{0_observ} = [-0.5 \ 0]^T$ et à pour marquage discret initial $M_{0_observ}^D = [0 \ 1]^T$. La FIG.6. montre que le mode estimé converge vers le mode réel.

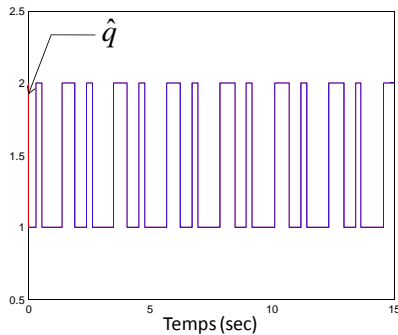


FIG.6. : Mode estimé et mode réel

Les FIG.7 et 8 illustrent que les états continus estimés convergent vers les états réels et que les erreurs d'estimations convergent vers zéro.

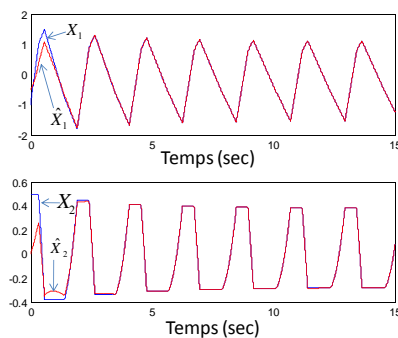


FIG.7. : Etats estimés et états réels

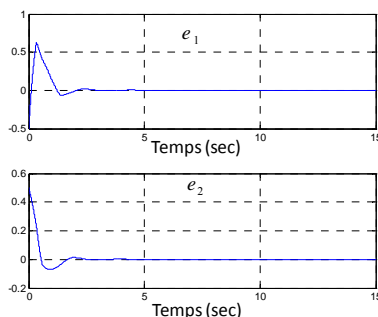


FIG.8. : Erreurs d'estimation

Conclusion

Dans cette communication nous avons synthétisé un observateur hybride pour un système à commutation non autonome modélisé par un réseau de Petri différentielle. L'observateur proposé est formé d'un observateur discret et d'un observateur continu en interaction. Le premier observateur détermine le marquage discret et le vecteur de franchissement des transitions, tandis que le second observateur reconstruit l'état continu en fonction du mode courant. Nos futurs travaux visent à exploiter ces résultats pour le diagnostic de cette classe de système.

Remerciement

Les auteurs remercient pour leur soutien, le GIS 3SGS dans le cadre du projet COSMOS et la région Champagne Ardenne dans le cadre du CPER « MOSYP »

Références

- [1] A. Alessandri and P. Coletta, "Design of Luenberger observers for a class of hybrid linear systems," *Eds., Hybrid systems: computation and control*. Lecture notes in computer science, vol 2034, pp .7-18. Springer-verlag, 2001.
- [2] A. Balluchi, L. Benvenuti, M.D. Di Benedetto, A.L.Sangiovanni-Vincentelli, "Design of observers for hybrid system," *Eds., Hybrid Systems: Computation and control (HSCC'02)*. Vol. 2289, LNCS, pp. 76–89. Springer-Verlag, 2002.
- [3] S. Pettersson. "Designing switched observers for switched systems using multiple Lyapunov functions and dwell-time switching," 2nd IFAC ADHS. Alghero, Italy. 2006.
- [4] H. Saadaoui, N. Manamanni, M. Djemaï, J.P. Barbot and T. Floquet. Exact differentiation and sliding mode observer for switched Lagrangian systems. *In Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Appl., Elsevier, pp. 1050-1069, (6), 2005*
- [5] I. Demongodin and N. T. Koussoulas. "Differential Petri net models for industrial automation and supervisory control," *IEEE Trans. SMC -Part C*, vol. 36, N° 4, 2006.
- [6] G. Davrazos and N. T. Koussoulas "Modelling and stability analysis of state-switched hybrid systems via differential Petri net," *in simulation modelling practice and theory* 15 (2007) 879-893.
- [7] F. Hamdi, N. Messai, N. Manamanni. "Synthèse d'observateur hybride pour le diagnostic d'une classe de système hybride à commutations". *W3SGS'08. Troyes, France 2008*.
- [8] F. Hamdi, N. Manamanni, N. Messai, K. Benmahammed, "Hybrid observer design for switched linear systems using differential Petri net". *IEEE MED'08. Ajaccio, France, June. 2008*.
- [9] F. Hamdi, N. Manamanni, N. Messai, K. Benmahammed, "Hybrid observer design for switched linear systems via differential Petri net". *Non linear analysis: Hybrid system journal, in press, 2009*.
- [10] A. Bourjij and D. Koenig "An original Petri net state estimation by a reduced Luenberger observer," *Proceeding of the ACC*. San Diego, California, 1999.
- [11] J. Zhao, D. J. Hill, "Passivity and stability of switched systems: A multiple storage function method". *Systems and Control letters*, 2008.