

APPLICATION DU FORMALISME RESEAUX DE PETRI POUR LA MODELISATION DE SYSTEMES HYBRIDES

Mircea Adrian DRIGHICIU

Université de Craiova, Faculté d'Electromécanique, adrighiciu@em.ucv.ro

Abstract – L'approche que nous venons de le présenter s'avère sur les modèles de type Réseaux de Petri Hybrides et leurs applications. L'analyse de propriétés comportementales du modèle peut se faire par des méthodes analytiques, ou via la simulation, en utilisant des logiciels spécifiques. A partir d'une définition initiale d'un réseaux hybride généralisé, on est proposé une extinction du celui-ci, avec une grande puissance de représentation, qui va permettre de construire une structure de contrôle -commande hiérarchisée. Le formalisme proposé a été vérifié par simulation avec le logiciel Visual Object Net ++ pour quelques types de systèmes physiques.

Keywords: *Système hybride, Modélisation, Réseau de Petri, Simulation.*

1. INTRODUCTION

Les systèmes dynamiques faisant intervenir explicitement et simultanément des phénomènes ou des modèles de type dynamique continu et événementiel sont appelés systèmes dynamiques hybrides (SDH). Ces systèmes sont classiquement constitués de processus continus interagissant avec ou supervisés par des processus discrets. Ils résultent également de l'organisation hiérarchique des systèmes de contrôle / commande complexes ou des algorithmes continus de commande. On peut également rencontrer des systèmes continus auxquels sont associés des commutations discrètes.

Les Réseaux de Petri sont largement utilisés pour modéliser les systèmes discrets (systèmes de calcul, de production, de communication etc.). Dans un réseau de Petri le marquage d'une place peut correspondre, soit à l'état booléen d'un dispositif (par exemple, une ressource est disponible ou pas), soit à un nombre entier (par exemple le nombre de pièces dans un stock).

Une méthode générale d'analyse consiste - par exemple - à déterminer tous les états atteignables et à en déduire diverses propriétés du système. Mais, quand le réseau contient un grand nombre de jetons, le nombre d'états atteignables explose. C'est une limitation pratique à l'utilisation de réseaux de Petri. Cette observation a conduit d'abord à la définition des réseaux de Petri continus, puis on a permis l'introduction d'une structure hybride : le réseau de Petri hybride [1], [2], [3], [5].

2. STRUCTURE DU MODELE

Dans un réseau hybride, on retrouve des places et des transitions discrètes (représentées en simple ligne) et des places et des transitions continues (représentées en double ligne), avec une influence mutuelle des

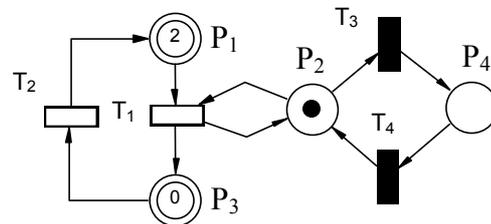


Figure 1 : Exemple d'un Réseau de Petri hybride parties discrètes et continues, (Fig.1), [2], [3].

Les places continues sont P1 et P3, les transitions continues sont T1 et T2, les places discrètes P2 et P4, et les transitions discrètes T3 et T4. Les transitions T1 et T3 sont validées, donc franchissables. Alors, si la transition continue T1 sera franchie avec une vitesse constante, pour une quantité de franchissement 0.1 on obtient le marquage (1.9, 1, 0.1, 0). On a retiré donc une quantité de marquage 0.1 de P1 et P2 qui sont les places d'entrée, et l'on a ajouté la même quantité à P3 et P2 qui sont les places de sortie. On voit que le marquage de la place discrète P2 est encore un entier, puisque l'on a retiré et ajouté la même quantité.

L'influence de la partie discrète du réseau (du système) sur la partie continue de celui-ci et vice versa décrit le comportement événementiel pour l'entière structure hybride du système.

Par exemple, pour un système de deux réservoirs (Fig.2.a) - les places P4 et P5 - qui se vident l'un dans l'autre à travers une vanne (transition T3) qui peut être ouverte (place discrète P1 avec un jeton) ou fermée (jeton dans la place P2), l'état de la place discrète P1 influence le fonctionnement de la partie continue, (Fig. 2.b). Le franchissement continu de la transition T3 correspond à un écoulement à une vitesse V_3 quand la place P1 n'est pas vide. Les durées d_1 et d_2 correspondent à des temporisations de la partie discrète. Quand la place P1 n'est pas

marquée, la transition T3 n'est plus franchie (arrêt de l'écoulement).

En cas de conflit entre une transition discrète et une transition continue, la transition discrète est toujours prioritaire. Alors, quand P₁ est marquée, le franchissement d'une quantité V₃dt de T₃ consiste à retirer V₃dt marques à P₁ et à ajouter la même quantité à P₁, donc le marquage de P₁ reste constant à la valeur 1, [3], [4].

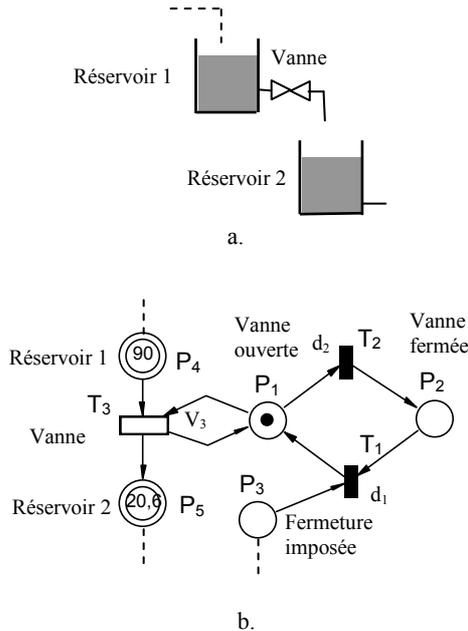


Figure 2 : Explicative à la modélisation du système:
a) La configuration du système; b) Le modèle Réseau de Petri Hybride.

Par similitude avec les Réseaux de Petri discretes, un Réseau de Petri hybride - modèle pour un système hybride - est un sextuplet RPH = (PN, h), tel que PN est un réseau généralisé et h : P ∪ T → {D, C} - fonction hybride qui indique, pour chaque nœud s'il est discret (D), ou continu (C). De plus, le vecteur caractéristique s d'une séquence S est un vecteur dans lequel chaque composante est soit un entier correspondant au nombre de franchissements d'une transition discrète, soit un nombre réel correspondant à une quantité de franchissement d'une transition continue. On peut montrer que, la relation qui exprime la variation du marquage en fonction du temps, [3]:

$$\frac{d\mathbf{M}}{dt} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{v}(t) \quad (1)$$

est vraie pour n'importe quelle expression de v(t), ce qui conduit à une expression :

$$\mathbf{M}(t) = \mathbf{M}_0 + \int_0^t \mathbf{U} \cdot \mathbf{v}(u) \cdot du \quad (2)$$

qui peut toujours s'appliquer si l'on dispose de v(t).

3. EXEMPLES

La plupart des systèmes physiques sont des systèmes hybrides ; pour les modéliser à l'aide des Réseaux de Petri (RdP) il est nécessaire de trouver une configuration qui réponde en même temps au caractère continu q'au caractère discret du système, bien que le nombre d'états atteignables soit fini et les événements externes qui pilotent le système sont asynchrones.

3.1. Système de remplissage

Dans un système de stockage, deux réservoirs se relient entre eux par une vanne V₁ qui, une fois ouverte permet l'écoulement libre du liquide de R₁ vers R₂ (Fig. 3), [4].

L'alimentation du premier réservoir est réalisée par la vanne V₂ et l'écoulement du liquide contenu dans le second réservoir est fait par la vanne de sortie V₃. On demande de commander les trois vannes pour maintenir le liquide dans le réservoir R₁ à un niveau constant.

Dans l'état initial, le niveau du liquide dans le réservoir R₁ est h = h_{min} et le réservoir R₂ est vide. A ce moment là, on ouvre la vanne V₁. Cette ci reste ouvert jusqu'au moment dont le niveau dans R₁ est h = h_{min}. Alors on ferme la vanne V₁ et on ouvre V₂ et V₃. Le niveau augmente à la cote maximale. Pour h = h_{max} les vannes V₂ et V₃ seront fermées et la vanne V₁ sera ouverte.

Ainsi, c'est possible de réaliser un réglage du niveau entre h_{min} et h_{max} : h_{min} ≤ h ≤ h_{max}.

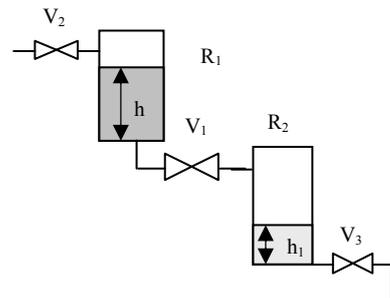


Figure 3: Système de remplissage

Le modèle Réseau de Petri est hybride (Fig.4), composé d'un sous - réseau continu (les places P₁ et P₂ et les transitions T₄, T₁ et T₉) et d'un réseau discret (les autres éléments du réseau) qui correspondre à la partie commande (ouverture et fermeture des vannes).

Les arcs de test autorisent le franchissement des transitions dont elles sont reliées. On a associé pour

les transitions continues des vitesses de franchissement :

$$v = c \cdot \sqrt{h} \quad (3)$$

avec h – le niveau du liquide dans un réservoir et c le coefficient d'écoulement.

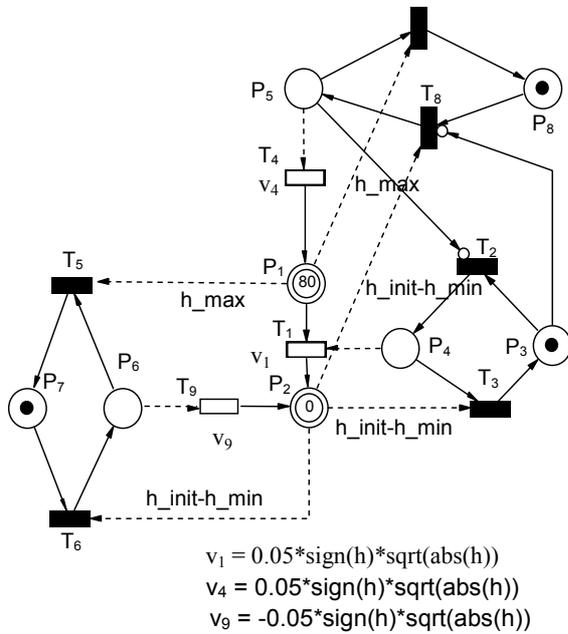


Figure 4 : Le modèle réseau de Petri hybride du système dans l'état initial : toutes les vannes sont fermées et le liquide dans le réservoir R_1 se trouve au niveau h_{in} .

Le modèle a été vérifié par simulation avec le logiciel Visual Object Net ++ pour $h_{in} = 40$ cm, $h_{max} = 30$ cm, $h_{min} = 10$ cm. Les jetons qui se trouvent dans les places P_3 , P_6 et P_7 indiquent l'état « fermé » de toutes les vannes. L'ordre d'ouverture pour la vanne V_1 est reçu après une durée d_1 (la temporisation associée à la transition T_2). Puis, le processus de réglage se déroule périodiquement (Fig. 5), [3], [6], [7].

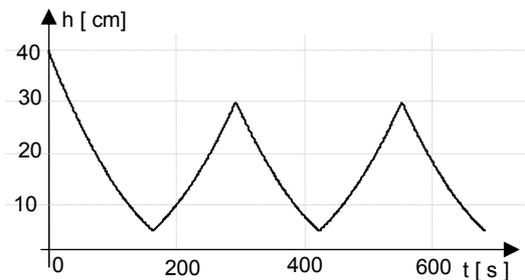


Figure 5 : Variation du niveau de liquide dans le réservoir R_1 pendant le cycle de fonctionnement.

3.2. Système de transport

On considère un système de transport continu de type convoyeur (sans, ou avec accumulation) qui porte des certains produits entre plusieurs stations de travail (machines) ayant un stock (de capacité finie, en général) à l'entrée et l'autre à la sortie (Fig.6 a).

Le premier niveau de la structure que nous venons à réaliser contient le modèle hybride réseau de Petri, sur lequel on indique les éléments: les places P_1 , P_2 et P_3 (discrètes), P_5 et P_6 (continus), et les transitions T_1 , T_2 et T_4 (continus), (Fig.6 b).

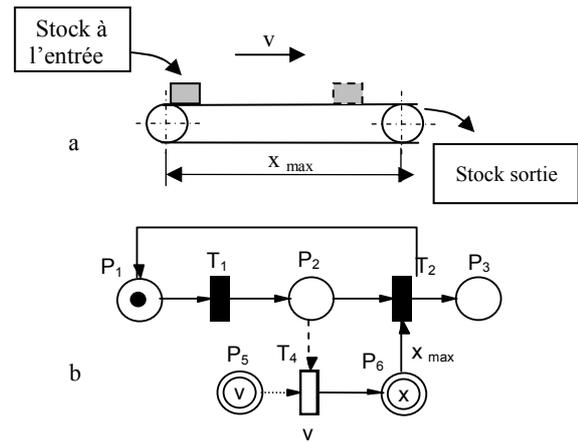


Figure 6 : Sur la réalisation d'un modèle hybride pour le système de transport : a) Structure du système de type convoyeur; b) Modèle réseau de Petri.

Le modèle proposé représente d'une manière très explicite un élément spécifique pour la classe de systèmes de transport, donc il contient a priori des propriétés structurelles qui permettent de représenter plusieurs caractéristiques (attributs) paramétrisables (longueur, vitesse, capacité de transport etc.). On peut aisément adapter le modèle à une autre structure, en changeant soit la capacité d'arc $P_6 - T_2$, la valeur nominale de la vitesse – v_N (le marquage en P_5), ou bien le marquage en P_1 (la capacité du convoyeur). Pour ce cas – là, le convoyeur peut transporter un seul produit à la fois. Le franchissement de la transition discrète T_1 ajoute un jeton dans la place P_2 , qui autorise le franchissement continu de la transition T_4 par l'arc de test $P_2 - T_4$. Au moment que la longueur maximale est atteinte (le produit est portée par le convoyeur sur la valeur x_{max} – le marquage réel de la place P_6), la transition T_2 sera franchie, on retrouve le produit dans le stock de sortie (jeton dans la place P_3) et un nouveau produit est en train d'être transporté d'une manière similaire. On peut faire aisément l'analyse du réseau (la vérification des principales propriétés structurelles et comportementales) par simulation, avec le logiciel Visual Object Net ++ [6].

4. PARADIGME OBJET ET LES SYSTEMES DYNAMIQUES HYBRIDES

Pour ce qui est la structuration des modèles de systèmes hybrides, trois concepts fondamentaux des approches objets sont dans un premier temps les plus utiles : l'encapsulation des informations à l'intérieur des objets est basée sur la définition explicite d'une interface par laquelle l'environnement peut interagir avec l'objet, rendant l'intérieur de cet objet inaccessible, puis les notions de classes génériques et d'objets permettent de définir des comportements généraux et paramétrés, en utilisant la notion d'attributs, et de préciser ces paramètres pour les instances particulières et, finalement - la notion d'héritage, qui permet de créer des relations entre les classes en spécialisant progressivement les modèles, en indiquant qu'une classe hérite des propriétés d'une autre [6]. Le mécanisme d'héritage est puissant pour la structuration des modèles. En effet, il permet de construire un modèle d'un ensemble d'entités, puis de le réutiliser en caractérisant les particularités de l'entité considérée [6], [8], [9].

De plus, cet paradigme conduit à une structure hiérarchisée des modèles, à plusieurs niveaux, qui correspondent aux topologies des réseaux primaires (réseaux parent), bien qu'à ceux enrichies par des éléments auxiliaires (Fig.7).

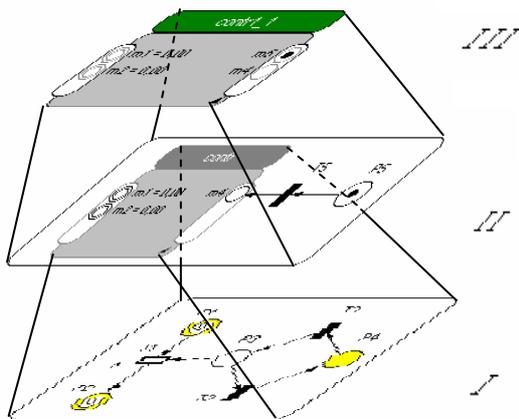


Figure 7 : Structure hiérarchisée d'un modèle Réseau de Petri Objet

5. CONCLUSIONS

L'intérêt essentiel des Réseaux de Petri hybrides réside dans leur capacité d'analyse du modèle graphique. Cette analyse, dite validation, permet d'extraire du modèle les propriétés que doit posséder le système physique représenté. Le modèle peut dès

lors être implanté sur un ordinateur sous la forme d'un programme ou d'une base de données confiée à un programme exécutable.

Enfin, les modèles Réseaux de Petri Hybrides Objets peuvent être utilisés en commande. C'est ainsi que l'on pourra associer aux jetons de chaque place, d'une part des actions de commande à destination du procédé, d'autre part, des événements comptes – rendus de ces actions. Il est ainsi possible de les utiliser comme aide à la décision dans l'exploitation en temps réel.

Bibliographie

- [1] R. David, H. Alla, *Du Grafcet aux Réseaux de Petri*, Hermes, Paris, 1992.
- [2] R. David, H. Alla, *On Hybrid Petri nets*, Discrete Event Dynamic Systems: Theory and Applications, No.11, 2001, pp.9–40.
- [3] J.Zaytoon, *Systèmes dynamiques hybrides*, Hermes, Paris, 2001.
- [4] M.A. Drighiciu, Gh. Manolea, *Formalismul Rețelelor Petri neautonome în analiza sistemelor electromecanice*, A Treia Conferință Internațională de Sisteme Electromecanice și Energetice – SIELMEN 2001, Chișinău, 4 – 5 octombrie 2001.
- [5] M.A. Drighiciu, *Studiul sistemelor electromecanice utilizând Rețele Petri*, Teză de doctorat Universitatea din Craiova, 2003.
- [6] Drath, R., *Objektorientierte Modellierung hybrider Prozesse*, Vorstellung eines neuen Werkzeuges, 42, IWK, TU Ilmenau, Bd.3, 1997, pp.533 – 540.
- [7] M.A. Drighiciu, *A Class of Petri Nets for Hybrid Systems Representation*, Analele Universității din Craiova, Seria: Inginerie Electrică, Anul 27, Nr.27, Vol. II, 2004, pg. 63 – 68.
- [8] M.A. Drighiciu, Anca Petrișor, *Hybrid Systems Modeling Using Petri Nets; A Case Study*, Buletinul Institutului Politehnic Iași, Tomul LII (LVI), Fasc.5A, ISSN:1223-8139, 2006, pg.89-94.
- [9] M.A. Drighiciu, *Petri Net formalism for a possible hierarchical structure of complex hybrid systems*, Proceedings of 6th International Carpathian Control Conference, Miskolc – Lillafüred, Hungary, May 24 – 27, 2005, pp.371-376.