Synthèse d'un observateur pour réseaux de Petri P-temporels partiellement observables

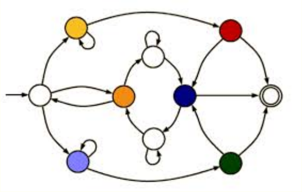
Patrice Bonhomme[1]

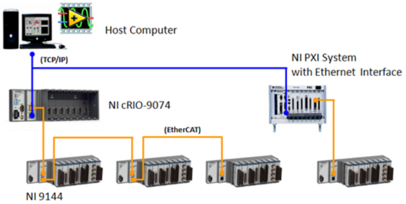
[1]Université François Rabelais
Laboratoire d'Informatique (EA 2101)
Equipe OC (ERL CNRS 6305)
64,avenue Jean Portalis, 37200 Tours, France
bonhomme@univ-tours.fr

15 Novembre 2013

Plan de la présentation

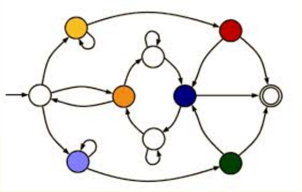
Contexte

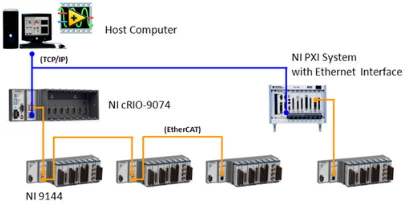




- Systèmes à événements discrets,
- Systèmes à contraintes de temps,
- Validité $\Longleftrightarrow$ prise en compte du facteur temps.

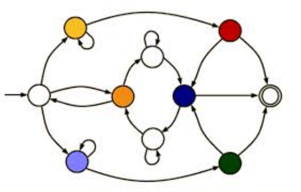
Contexte

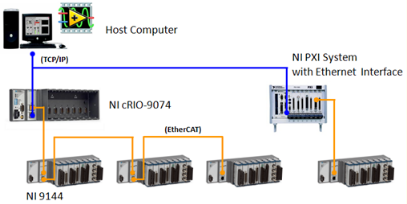




- Systèmes à événements discrets,
- Systèmes à contraintes de temps,
- Validité $\Longleftrightarrow$ prise en compte du facteur temps.

Contexte





- Systèmes à événements discrets,
- Systèmes à contraintes de temps,
- Validité $\Longleftrightarrow$ prise en compte du facteur temps.

Contexte

- Durées opératoire de type intervalles : $[D_{min}, D_{max}]$,
- Fonctionnement au plus tôt $\Longrightarrow$ pas toujours faisable !
  - Une couche de commande est souvent nécessaire
- Violation d'une contrainte $\Longrightarrow$ conséquences sévères.

Contexte

- Durées opératoire de type intervalles : $[D_{min}, D_{max}]$,
- Fonctionnement au plus tôt $\Longrightarrow$ pas toujours faisable !
  - Une couche de commande est souvent nécessaire
- Violation d'une contrainte $\Longrightarrow$ conséquences sévères.

Contexte

- Durées opératoire de type intervalles : $[D_{min}, D_{max}]$,
- Fonctionnement au plus tôt $\Longrightarrow$ pas toujours faisable !
  - Une couche de commande est souvent nécessaire
- Violation d'une contrainte $\Longrightarrow$ conséquences sévères.

Contexte

- Durées opératoire de type intervalles : $[D_{min}, D_{max}]$,
- Fonctionnement au plus tôt $\Longrightarrow$ pas toujours faisable !
  - Une couche de commande est souvent nécessaire
- Violation d'une contrainte $\Longrightarrow$ conséquences sévères.

Problématique

- Impossibilité de placer un capteur dédié à la mesure de l'état courant de chaque variable :
  - Pour des raisons économiques,
  - Pour des raisons d'accessibilité,
  - Déficience d'un capteur existant.

$\Longrightarrow$ Connaissance partielle de l'état du système

Prise de décisions dans un environnement incertain $\Longrightarrow$ introduction d'**observateurs**

Problématique

- Impossibilité de placer un capteur dédié à la mesure de l'état courant de chaque variable :
  - Pour des raisons économiques,
  - Pour des raisons d'accessibilité,
  - Déficience d'un capteur existant.

$\Longrightarrow$ Connaissance partielle de l'état du système

Prise de décisions dans un environnement incertain $\Longrightarrow$ introduction d'**observateurs**

Problématique

- Impossibilité de placer un capteur dédié à la mesure de l'état courant de chaque variable :
  - Pour des raisons économiques,
  - Pour des raisons d'accessibilité,
  - Déficience d'un capteur existant.

$\Longrightarrow$ Connaissance partielle de l'état du système

Prise de décisions dans un environnement incertain $\Longrightarrow$ introduction d'**observateurs**

Problématique

- Impossibilité de placer un capteur dédié à la mesure de l'état courant de chaque variable :
  - Pour des raisons économiques,
  - Pour des raisons d'accessibilité,
  - Déficience d'un capteur existant.

$\Longrightarrow$ Connaissance partielle de l'état du système

Prise de décisions dans un environnement incertain $\Longrightarrow$ introduction d'**observateurs**

Problématique

- Impossibilité de placer un capteur dédié à la mesure de l'état courant de chaque variable :
  - Pour des raisons économiques,
  - Pour des raisons d'accessibilité,
  - Déficience d'un capteur existant.

$\Longrightarrow$ Connaissance partielle de l'état du système

Prise de décisions dans un environnement incertain $\Longrightarrow$ introduction d'**observateurs**

Problématique

Hypothèses

1. Un modèle du procédé est donné,
2. L'état initial du système est connu,
3. Les événements sont partitionnés :

$\Longrightarrow$ observables/non-observables.

$\hookrightarrow$ A partir d'une observation : déterminer les états dans lesquels le système peut se trouver.

Méthodologie

Stratégie

1. Modélisation
   - RdP P-temporels avec $T = T_o \cup T_u$ et $T_o \cap T_u = \emptyset$.
2. Analyse
   - Observateur d'états $\Longleftarrow$ réseau autonome sous-jacent,
3. Vérification
   - Analyse d'ordonnançabilité.

Plan de la présentation

Outil de modélisation

La définition formelle d'un réseau de Petri P-temporel (P-RdP) est donnée par une paire $\langle N; I \rangle$ avec :

réseau de Petri p-temporel

- N un réseau de Petri marqué,
- $P \rightarrow (\mathbb{Q}^+ \cup \{0\}) \times (\mathbb{Q}^+ \cup \{\infty\}), p_i \rightarrow I(p_i) = [a_i, b_i]$ avec $0 \leq a_i \leq b_i$.

avec :

- P : l'ensemble de places du réseau N,
- $\mathbb{Q}^+$: l'ensemble des nombres positifs rationnels,
- I_i est l'intervalle statique des durées opératoires d'un jeton dans la place p_i.

La sémantique d'un P-RdP peut se représenter sous la forme d'un système de transitions temporisé.

sémantique

La sémantique d'un P-RdP $\langle N; I \rangle$ peut être définie par un système de transitions temporisé $\mathcal{S}_N = (\mathcal{Q}, \{q_0\}, \Sigma, \longrightarrow)$:

1. $\mathcal{Q} = \mathbb{N}^P \times (\mathbb{Q}_{\geq 0})^{TK}$
2. $q_0 = (M_0, \bar{0})$
3. $\Sigma = T$
4. $\longrightarrow \in \mathcal{Q} \times (\Sigma \cup \mathbb{Q}_{\geq 0}) \times \mathcal{Q}$

sémantique

- Les transitions de durée sont définies $\forall d \in \mathbb{Q}_{\geq 0}$ par :

$$(M, \upsilon) \xrightarrow{d} (M, \upsilon') \text{ ssi } \begin{cases} \upsilon' = \upsilon + d. \\ \forall \text{ jeton } k \text{ dans la place } p_s \Rightarrow \upsilon'_k \leq b_s. \end{cases}$$

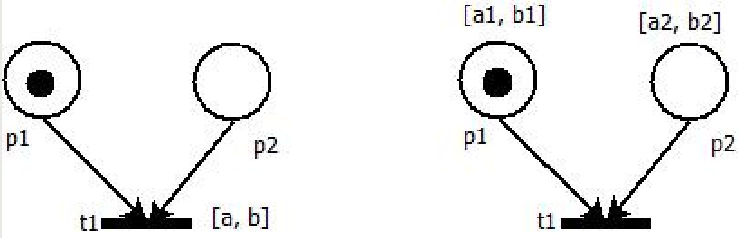
sémantique

- Les transitions discrètes sont définies par $\forall t_i \in T$:

$$(M, \upsilon) \xrightarrow{t_i} (M', \upsilon') \text{ ssi :}$$

$$\begin{cases} \text{(a) } M \geq^\circ t_i. \\ \text{(b) } \forall \text{ jeton } k \text{ dans la place } p_l, \upsilon_k \leq b_l. \\ \text{(c) } \forall\ p_s \in^\circ t_i, \forall \text{ jeton } k \text{ dans la place } p_s \text{ participant au tir de } t_i : \\ \bigcap_k [max(0, a_s - \upsilon_k), (b_s - \upsilon_k)] \neq \emptyset. \\ \text{(d) } M' = M -^\circ t_i + t_i^\circ. \\ \text{(e) } \forall \text{ jeton } r,\ \upsilon'_r = \begin{cases} 0 \text{ si créé par le tir de } t_i. \\ \upsilon_r \text{ sinon.} \end{cases} \end{cases}$$

T-temporel Vs P-temporel

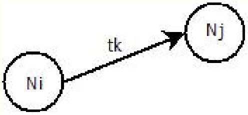


- Modèles non équivalents !
- Pas dédiés aux mêmes champs d'applications !

Plan de la présentation

Observateur d'états

Soient N_i et N_j deux noeuds de l'observateur, tels qu'il existe un arc orienté reliant N_i à N_j ($N_i \rightarrow N_j$, i.e., N_i est un prédécesseur de N_j) étiqueté avec la transition $t_k \in T_o$.



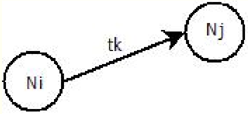
Marquages d'entrée

$SEM(N_j)$: ensemble des marquages d'entrée de N_j,

$$SEM(N_j) = \{M_s \in N_j | \exists M_u \in N_i, t_k \in T_o : M_u[t_k > M_s\}$$

Observateur d'états

Soient N_i et N_j deux noeuds de l'observateur, tels qu'il existe un arc orienté reliant N_i à N_j ($N_i \rightarrow N_j$, i.e., N_i est un prédécesseur de N_j) étiqueté avec la transition $t_k \in T_o$.



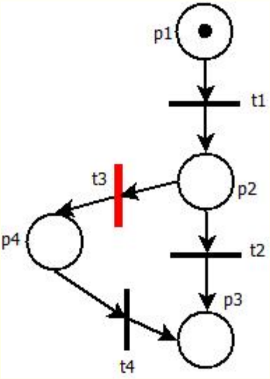
Marquages virtuels

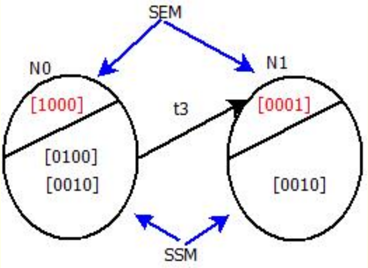
$SSM(N_j)$, l'ensemble des marquages virtuels de N_j,

$$SSM(N_j) = \{M_s \in N_j | \exists M_u \in SEM(N_j),\ \sigma_u \in T_u^\star : M_u[\sigma_u > M_s\}$$

Observateur d'états-illustration

$T_o = \{t_3\}$ et $T_u = \{t_1, t_2, t_4\}$





Observateur d'états

Bilan

- Construction itérative hors ligne,
- "Contraction" du graphe des marquages accessibles
  - notion de " macro marquages" (noeud $\Leftrightarrow$ ensemble de marquages)
- Permet d'éviter l'explosion $\Longleftarrow$ facteur temps non considéré !

Observateur d'états

séquences candidates

Etant donné un marquage $M_i \in R(N, M_0)$, l'ensemble des séquences de tir candidates de M_i noté $CS(M_i)$ correspondra à :

$$CS(M_i) = \{s.t | s \in T_u^\star \cup \epsilon, t \in T_o : M_i[s.t >\}$$

i.e., l'ensemble des séquences de franchissement composées d'une unique transition observable terminale, pouvant intervenir en partant de M_i.

Observateur d'état

Principe informel

- A partir de l'état initial
- Quand le tir d'une transition observable est détecté
- L'observateur d'état (construit hors ligne) est consulté :
  - Passage d'un noeud à un autre de l'observateur
- Détermination des séquences candidates
  - analyse d'ordonnançabilité
- Déduction des marquages potentiels dans lesquels le système peut se trouver

Observateur d'état

Principe informel

- A partir de l'état initial
- Quand le tir d'une transition observable est détecté
- L'observateur d'état (construit hors ligne) est consulté :
  - Passage d'un noeud à un autre de l'observateur
- Détermination des séquences candidates
  - analyse d'ordonnançabilité
- Déduction des marquages potentiels dans lesquels le système peut se trouver

Observateur d'état

Principe informel

- A partir de l'état initial
- Quand le tir d'une transition observable est détecté
- L'observateur d'état (construit hors ligne) est consulté :
  - Passage d'un noeud à un autre de l'observateur
- Détermination des séquences candidates
  - analyse d'ordonnançabilité
- Déduction des marquages potentiels dans lesquels le système peut se trouver

Observateur d'état

Principe informel

- A partir de l'état initial
- Quand le tir d'une transition observable est détecté
- L'observateur d'état (construit hors ligne) est consulté :
    - Passage d'un noeud à un autre de l'observateur
- Détermination des séquences candidates
    - analyse d'ordonnançabilité
- Déduction des marquages potentiels dans lesquels le système peut se trouver

Observateur d'état

Principe informel

- A partir de l'état initial
- Quand le tir d'une transition observable est détecté
- L'observateur d'état (construit hors ligne) est consulté :
  - Passage d'un noeud à un autre de l'observateur
- Détermination des séquences candidates
  - analyse d'ordonnançabilité
- Déduction des marquages potentiels dans lesquels le système peut se trouver

Observateur d'état

Principe informel

- A partir de l'état initial
- Quand le tir d'une transition observable est détecté
- L'observateur d'état (construit hors ligne) est consulté :
  - Passage d'un noeud à un autre de l'observateur
- Détermination des séquences candidates
  - analyse d'ordonnançabilité
- Déduction des marquages potentiels dans lesquels le système peut se trouver

Observateur d'état

Principe informel

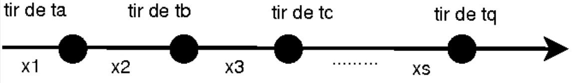
- A partir de l'état initial
- Quand le tir d'une transition observable est détecté
- L'observateur d'état (construit hors ligne) est consulté :
  - Passage d'un noeud à un autre de l'observateur
- Détermination des séquences candidates
  - analyse d'ordonnançabilité
- Déduction des marquages potentiels dans lesquels le système peut se trouver

Plan de la présentation

Analyse d'ordonnançabilité

Approche instants de tir

- Trajectoire : séquence de transitions $(t_a t_b \ldots t_q)$



- x_i variable de décision
- $x_i \geq 0$, temps écoulé entre $(i-1)^{eme}$ et le i^{eme} instant de tir

Analyse d'ordonnançabilité

Approche instants de tir

- Evolution du réseau
  - ensemble des jetons présents
- Identification d'un jeton
  - Aspect statique $\Rightarrow$ la place qui le contient
  - Aspect dynamique $\Rightarrow$ ses instants de création/consommation

Analyse d'ordonnançabilité

Approche instants de tir

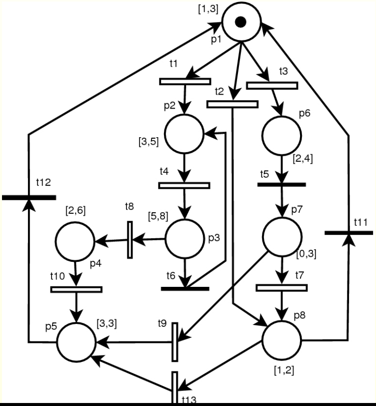
Une séquence de tir $\sigma = t_1 t_2 .... t_q$ est ordonnançable (i.e., t_1, t_2, ..., t_q sont tirées respectivement aux instants $1, 2, \ldots, q$) ssi il existe $x_1 \geq 0$, $x_2 \geq 0$,..., $x_q \geq 0$ tels que :

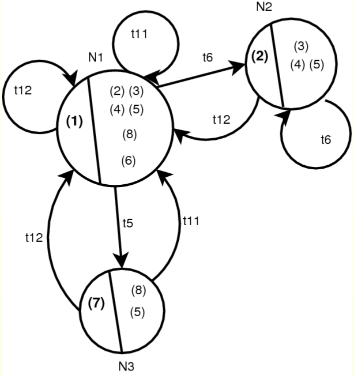
$$\begin{cases} c_{0k} \leq x_1 \leq d_{0k}, k = 1, ..., n \\ \max\limits_{k=2,...,n} (c_{0k}, c_{1k} + x_1) \leq x_1 + x_2 \leq \min\limits_{k=2,...,n} (d_{0k}, d_{1k} + x_1) \\ \ldots \\ \max\limits_{\substack{j=0,...,q-1 \\ k=q,...,n}} (c_{jk} + \sum\limits_{s=0}^{j} x_s) \leq \sum\limits_{s=0}^{q} x_s \leq \min\limits_{\substack{j=0,...,q-1 \\ k=q,...,n}} (d_{jk} + \sum\limits_{s=0}^{j} x_s) \end{cases}$$

Plan de la présentation

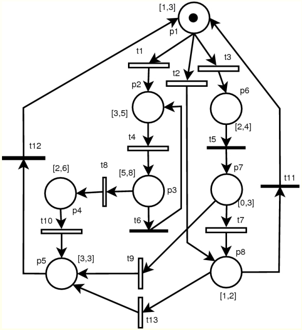
Exemple illustratif

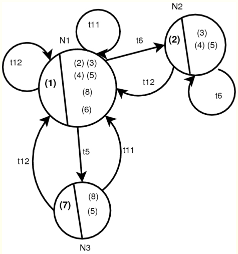
Soit le modèle P-RdP sauf suivant avec
$T_u = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{13}\}$ et $T_o = \{t_5, t_6, t_{11}, t_{12}\}$.





Exemple illustratif





Si à l'instant $t = 6$, le tir de t_{12} est détecté : passage de N_0 à N_0 et $CS(M_0) = \{t_1 t_4 t_6, t_1 t_4 t_8 t_{10} t_{12}, t_3 t_5, t_2 t_{13} t_{12}\}$
L'analyse d'ordonnançabilité $\Rightarrow ((t_2, 1), (t_{13}, 3), (t_{12}, 6))$ unique échéancier réalisable !

Conclusion

En bref

- Nouvelle méthode d'estimation des P-RdP
- Synthèse d'un observateur d'états
  - Basé sur le réseau autonome sous-jacent
  - Ne nécessite pas la construction du graphe des classes d'états
  - Construit hors ligne
  - Contraction du traditionnel ensemble des marquages accessibles (fini)
- Analyse d'ordonnançabilité de séquences candidates
- Permet de contourner le problème d'explosion combinatoire de l'espace des états