

Approches Incrémentales pour les Réseaux de Petri Temporisés fondées sur la Programmation par Contraintes

MSR 2013, Rennes – 13/11/2013

Yongliang HUANG, doctorant, LAGIS STF/OSL

Thomas BOURDEAUD'HUY, LAGIS OSL

Pierre-Alain YVARS, LISMMA

Armand TOGUYENI, LAGIS STF



Plan

- Introduction & Objectifs
- Formalisation incrémentale du comportement des RdPT
- Approches de résolution fondées sur la programmation par contraintes
- Conclusion & Perspectives

Introduction

- Communication, Transport, Systèmes de production...
 - Recherche de performance, fiabilité, sûreté de fonctionnement
 - Recherche de modèles représentant finement les systèmes considérés
 - Systèmes distribués, encours, contraintes temporelles...

Introduction

- Communication, Transport, Systèmes de production...
 - Recherche de performance, fiabilité, sûreté de fonctionnement
 - Recherche de modèles représentant finement les systèmes considérés
 - Systèmes distribués, encours, contraintes temporelles...
- Approches formelles fondées sur les Réseaux de Petri Temporisés
 - Intérêt pour l'énumération des solutions
 - Contexte RdPT : « séquences de franchissement temporisées contraintes »

Introduction

- Communication, Transport, Systèmes de production...
 - Recherche de performance, fiabilité, sûreté de fonctionnement
 - Recherche de modèles représentant finement les systèmes considérés
 - Systèmes distribués, encours, contraintes temporelles...
- Approches formelles fondées sur les Réseaux de Petri Temporisés
 - Intérêt pour l'énumération des solutions
 - Contexte RdPT : « séquences de franchissement temporisées contraintes »
- Approche Incrémentale
 - Analyse sans construction explicite du graphe d'accessibilité
 - Formulation de Modèles Mathématiques
 - Résolution à l'aide de la programmation par contraintes

Positionnement du travail

- Approche similaire au *Bounded Model Checking* :
 - Etude du comportement du système avec un horizon donné
 - Démarche semi-complète
 - Utilisation de solveurs de contraintes
 - Recherche de contre-exemples généralement plus efficace que des approches Bdd

Positionnement du travail

- Approche similaire au *Bounded Model Checking* :
 - Etude du comportement du système avec un horizon donné
 - Démarche semi-complète
 - Utilisation de solveurs de contraintes
 - Recherche de contre-exemples généralement plus efficace que des approches Bdd
- Approche sur les RdPT aussi générale que possible
 - Non limitée à une sous-classe de RdP ou à une sémantique de franchissement particulière
 - Graphes d'événements temporisés, franchissement au plus tôt...
 - Seules restrictions :
 - Sémantique mono-serveur
 - Transitions immédiates interdites

Démarche

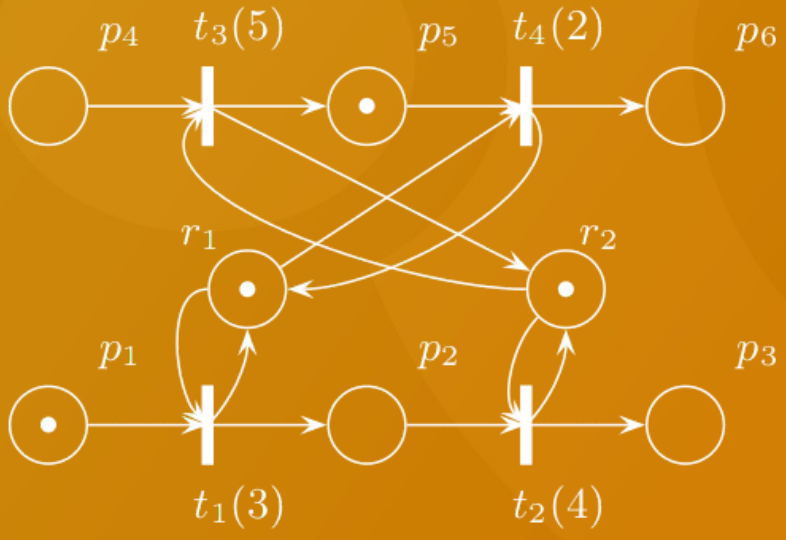
- Équivalence entre exécutions contrôlées et séquence de steps temporisés : formulation du modèle incrémental
- Adaptation du modèle incrémental pour la résolution par la programmation par contraintes : formulation d'un modèle mathématique à l'aide de contraintes conditionnelles
- Amélioration du modèle
 - Efficacité
 - Expressivité

Formalisation incrémentale du comportement des Réseaux de Petri Temporisés

- Sémantique de franchissement des RdPT
- Séquences de steps temporisés
- Vers un modèle incrémental

Réseau de Petri Temporisé [Ramchandani 74]

- Vecteur de durées $d(t) \in \mathbb{N}^*$ (pas de transitions instantanées)
- Horloge externe
- Hypothèse mono-serveur* (pas de réentrance)



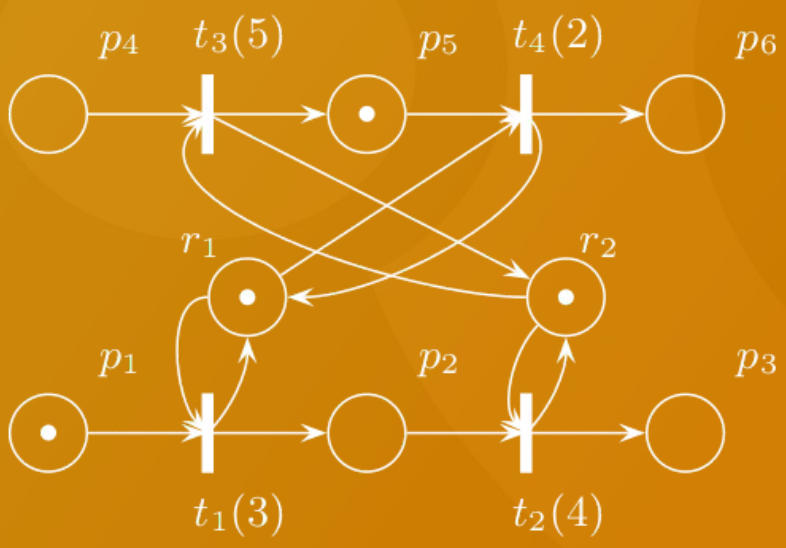
$d(t) = (3, 4, 5, 2)$

	Date	Marquage $(p_1, p_2, \dots, p_6, r_1, r_2)^T$
Instant initial	0	$(1, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 1)^T$
Tir de $t_1 \rightarrow$	1	$(0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1)^T$
	2	$(0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1)^T$
	3	$(0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1)^T$
Fin de $t_1 \rightarrow$	4	$(0, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1)^T$
Tir de $t_4 \rightarrow$	5	$(0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1)^T$
	6	$(0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1)^T$
Fin de $t_4 \rightarrow$	7	$(0, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 1)^T$
	8	$(0, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 1)^T$

Réseau de Petri Temporisé [Ramchandani 74]

- Vecteur de durées $d(t) \in \mathbb{N}^*$ (pas de transitions instantanées)
- Horloge externe
- Hypothèse mono-serveur* (pas de réentrance)

Nécessité de gérer les durées résiduelles des transitions



$d(t) = (3, 4, 5, 2)$

	Date	Marquage $(p_1, p_2, \dots, p_6, r_1, r_2)^T$
Instant initial	0	$(1, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 1)^T$
Tir de $t_1 \rightarrow$	1	$(0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1)^T$
	2	$(0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1)^T$
	3	$(0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1)^T$
Fin de $t_1 \rightarrow$	4	$(0, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1)^T$
Tir de $t_4 \rightarrow$	5	$(0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1)^T$
	6	$(0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1)^T$
Fin de $t_4 \rightarrow$	7	$(0, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 1)^T$
	8	$(0, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 1)^T$



- État d'un RdPT : (vect. Marquage, vect. Durées résiduelles)
 $\vec{s}_m \in \mathbb{N}^M$ $\vec{s}_r \in \mathbb{N}^N$

- État d'un RdPT : (vect. Marquage, vect. Durées résiduelles)
- Exécutions contrôlées : $\vec{s}_m \in \mathbb{N}^M$ $\vec{s}_r \in \mathbb{N}^N$
 - Famille de séquence de franchissements $(u_k^t)_{t \in \mathbb{T}, k \in \llbracket 1, K_t \rrbracket}$
telle que : $\forall k \in \llbracket 1, K_t - 1 \rrbracket, u_k^t + d(t) \leq u_{k+1}^t$

- État d'un RdPT : (vect. Marquage, vect. Durées résiduelles)
- Exécutions contrôlées : $\vec{s}_m \in \mathbb{N}^M$ $\vec{s}_r \in \mathbb{N}^N$
 - Famille de séquence de franchissements $(u_k^t)_{t \in \mathbb{T}, k \in \llbracket 1, K_t \rrbracket}$
telle que : $\forall k \in \llbracket 1, K_t - 1 \rrbracket, u_k^t + d(t) \leq u_{k+1}^t$
 - Vect. Caractéristiques $\left. \begin{array}{l} \vec{N}(v) \\ \vec{F}(v) \end{array} \right|_t = \text{card}(\{u_k^t, k \in \llbracket 1, K_t \rrbracket \mid u_k^t \leq v\})$
 $\left. \begin{array}{l} \vec{N}(v) \\ \vec{F}(v) \end{array} \right|_t = \text{card}(\{u_k^t, k \in \llbracket 1, K_t \rrbracket \mid u_k^t + d(t) \leq v\})$

- État d'un RdPT : (vect. Marquage, vect. Durées résiduelles)

$$\vec{s}_m \in \mathbb{N}^M$$

$$\vec{s}_r \in \mathbb{N}^N$$

- Exécutions contrôlées :

- Famille de séquence de franchissements $(u_k^t)_{t \in \mathbb{T}, k \in \llbracket 1, K_t \rrbracket}$

$$\text{telle que : } \forall k \in \llbracket 1, K_t - 1 \rrbracket, u_k^t + d(t) \leq u_{k+1}^t$$

- Vect. Caractéristiques $\left. \overrightarrow{N(v)} \right|_t = \text{card}(\{u_k^t, k \in \llbracket 1, K_t \rrbracket \mid u_k^t \leq v\})$

$$\left. \overrightarrow{F(v)} \right|_t = \text{card}(\{u_k^t, k \in \llbracket 1, K_t \rrbracket \mid u_k^t + d(t) \leq v\})$$

- États instantanés $\overrightarrow{s_m(v)} = \overrightarrow{s_{m_0}} + C^+ \cdot \overrightarrow{F(v)} - C^- \cdot \overrightarrow{N(v)}$

$$\forall t \in \mathbb{T}, \left. \overrightarrow{s_r(v)} \right|_t = \begin{cases} u_k^t + d(t) - v & \text{si } \exists k \in \llbracket 1, K_t \rrbracket \text{ st } v \in \llbracket u_k^t, u_k^t + d(t) \rrbracket \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

- État d'un RdPT : (vect. Marquage, vect. Durées résiduelles)

$$\vec{s}_m \in \mathbb{N}^M$$

$$\vec{s}_r \in \mathbb{N}^N$$

- Exécutions contrôlées :

- Famille de séquence de franchissements $(u_k^t)_{t \in \mathbb{T}, k \in \llbracket 1, K_t \rrbracket}$

$$\text{telle que : } \forall k \in \llbracket 1, K_t - 1 \rrbracket, u_k^t + d(t) \leq u_{k+1}^t$$

- Vect. Caractéristiques $\left. \begin{array}{l} \vec{N}(v) \\ \vec{F}(v) \end{array} \right|_t = \text{card}(\{u_k^t, k \in \llbracket 1, K_t \rrbracket \mid u_k^t \leq v\})$
 $\left. \begin{array}{l} \vec{N}(v) \\ \vec{F}(v) \end{array} \right|_t = \text{card}(\{u_k^t, k \in \llbracket 1, K_t \rrbracket \mid u_k^t + d(t) \leq v\})$

- États instantanés $\vec{s}_m(v) = \vec{s}_{m_0} + C^+ \cdot \vec{F}(v) - C^- \cdot \vec{N}(v)$
 $\forall t \in \mathbb{T}, \left. \vec{s}_r(v) \right|_t = \begin{cases} u_k^t + d(t) - v & \text{si } \exists k \in \llbracket 1, K_t \rrbracket \text{ st } v \in \llbracket u_k^t, u_k^t + d(t) \rrbracket \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$

- Exécution Contrôlée valide si $\forall v \in \llbracket 0, v_{\max} \rrbracket, \vec{s}_m(v) \geq \vec{0}_M$

Formulation(s) inadaptée(s)

- Contexte de l'ordonnancement
 - Résultats de [Chrétienne 84] fondés sur la sémantique *au plus tôt*
 - Approches (max,+) fondées sur une *sous-classe* de RdPT
- Notre contexte : Sûreté de fonctionnement
 - Vérification de la présence/absence de comportements défaillants
 - Définis par des contraintes sur leurs états/transitions
 - Besoin d'énumération des solutions

Formulation(s) inadaptée(s)

- Contexte de l'ordonnancement
 - Résultats de [Chrétienne 84] fondés sur la sémantique *au plus tôt*
 - Approches (max,+) fondées sur une *sous-classe* de RdPT
- Notre contexte : Sûreté de fonctionnement
 - Vérification de la présence/absence de comportements défailants
 - Définis par des contraintes sur leurs états/transitions
 - Besoin d'énumération des solutions
- Développement d'une Approche fondée sur la programmation par contraintes
 - Besoin d'une formulation incrémentale

Séquence de steps temporisés

$$\sigma \in \{0, 1\}^T$$

- Step temporisé : paire (σ, v) (vecteur de tir*, date) $v \in \mathbb{N}$

Séquence de steps temporisés

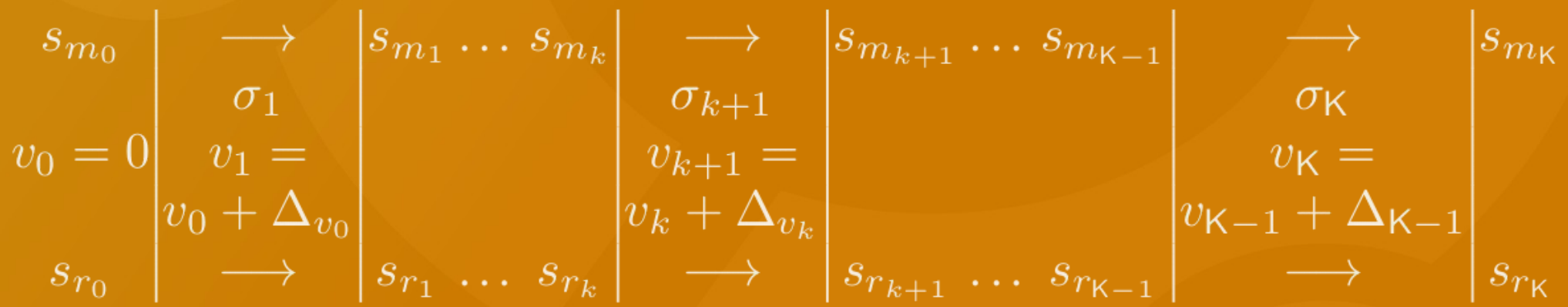
$$\sigma \in \{0, 1\}^T$$

- Step temporisé : paire (σ, v) (vecteur de tir*, date) $v \in \mathbb{N}$
- Formulation progressive d'un modèle mathématique caractérisant le comportement du RdPT pour une séquence de steps temporisés $(\sigma_k, v_k)_{k \in \llbracket 1, K \rrbracket}$
- Possibilité de formuler une équation d'état pour les RdPT

Séquence de steps temporisés

$$\sigma \in \{0, 1\}^T$$

- Step temporisé : paire (σ, v) (vecteur de tir*, date) $v \in \mathbb{N}$
- Formulation progressive d'un modèle mathématique caractérisant le comportement du RdPT pour une séquence de steps temporisés $(\sigma_k, v_k)_{k \in \llbracket 1, K \rrbracket}$
- Possibilité de formuler une équation d'état pour les RdPT



Vers un modèle incrémental

- [Déf] Ensembles de franchissements à la date v_{k+1}

- Transitions actives à la date v_k et se terminant avant v_{k+1}

$$T_{k+1}^f = \left\{ t \in \mathbb{T}, v_k < \max_{i \in \llbracket 1, k \rrbracket} \{v_i : \sigma_i(t) = 1\} + d(t) \leq v_{k+1} \right\}$$

- Transitions actives à la date v_k et toujours actives à v_{k+1}

$$T_{k+1}^s = \left\{ t \in \mathbb{T}, v_k < v_{k+1} < \max_{i \in \llbracket 1, k \rrbracket} \{v_i : \sigma_i(t) = 1\} + d(t) \right\}$$

Vers un modèle incrémental

- [Déf] Ensembles de franchissements à la date v_{k+1}

- Transitions actives à la date v_k et se terminant avant v_{k+1}

$$T_{k+1}^f = \left\{ t \in \mathbb{T}, v_k < \max_{i \in \llbracket 1, k \rrbracket} \{v_i : \sigma_i(t) = 1\} + d(t) \leq v_{k+1} \right\}$$

- Transitions actives à la date v_k et toujours actives à v_{k+1}

$$T_{k+1}^s = \left\{ t \in \mathbb{T}, v_k < v_{k+1} < \max_{i \in \llbracket 1, k \rrbracket} \{v_i : \sigma_i(t) = 1\} + d(t) \right\}$$

- NB : formulation incrémentale $T_{k+1} = f(N_k, F_k, F_{k+1})$

$$T_{k+1}^f = \left\{ t \in \mathbb{T} : \overrightarrow{F(v_k)} \Big|_t = \overrightarrow{N(v_k)} \Big|_t - 1 \wedge \overrightarrow{F(v_{k+1})} \Big|_t = \overrightarrow{N(v_k)} \Big|_t \right\}$$

$$T_{k+1}^s = \left\{ t \in \mathbb{T} : \overrightarrow{F(v_k)} \Big|_t = \overrightarrow{N(v_k)} \Big|_t - 1 \wedge \overrightarrow{F(v_{k+1})} \Big|_t = \overrightarrow{F(v_{k+1})} \Big|_t \right\}$$

Vers un modèle incrémental

- [Déf] Condition de franchissement d'un step

$$\forall t \in \mathbb{T} \text{ t.q. } \sigma_{k+1}(t) = 1, \quad \overrightarrow{s_{r_k}}(t) \leq \Delta_k$$

$$C^- \cdot \overrightarrow{\sigma_{k+1}} \leq \overrightarrow{s_{m_k}} + C^+ \cdot \sum_{t_j \in T_{k+1}^f} \overrightarrow{e_{t_j}}$$

Vers un modèle incrémental

- [Déf] Condition de franchissement d'un step

$$\forall t \in \mathbb{T} \text{ t.q. } \sigma_{k+1}(t) = 1, \quad \overrightarrow{s_{r_k}}(t) \leq \Delta_k$$

$$C^- \cdot \overrightarrow{\sigma_{k+1}} \leq \overrightarrow{s_{m_k}} + C^+ \cdot \sum_{t_j \in T_{k+1}^f} \overrightarrow{e_{t_j}}$$

- [Déf] Franchissement d'un step

$$\overrightarrow{s_{m_{k+1}}} = \overrightarrow{s_{m_k}} - C^- \cdot \overrightarrow{\sigma_{k+1}} + C^+ \cdot \sum_{t_j \in T_{k+1}^f} \overrightarrow{e_{t_j}}$$

$$\overrightarrow{s_{r_{k+1}}} = \sum_{t_j \in T_{k+1}^s} (s_{r_k}(t) - \Delta_k) \cdot \overrightarrow{e_{t_j}} + \sum_{t_j \in \mathbb{T}} d(t_j) \cdot \sigma_{k+1}(j) \cdot \overrightarrow{e_{t_j}}$$

Vers un modèle incrémental

- [Déf] Condition de franchissement d'un step

$$\forall t \in \mathbb{T} \text{ t.q. } \sigma_{k+1}(t) = 1, \quad \overrightarrow{s_{r_k}}(t) \leq \Delta_k$$

$$C^- \cdot \overrightarrow{\sigma_{k+1}} \leq \overrightarrow{s_{m_k}} + C^+ \cdot \sum_{t_j \in T_{k+1}^f} \overrightarrow{e_{t_j}}$$

- [Déf] Franchissement d'un step

$$\overrightarrow{s_{m_{k+1}}} = \overrightarrow{s_{m_k}} - C^- \cdot \overrightarrow{\sigma_{k+1}} + C^+ \cdot \sum_{t_j \in T_{k+1}^f} \overrightarrow{e_{t_j}}$$

$$\overrightarrow{s_{r_{k+1}}} = \sum_{t_j \in T_{k+1}^s} (s_{r_k}(t) - \Delta_k) \cdot \overrightarrow{e_{t_j}} + \sum_{t_j \in \mathbb{T}} d(t_j) \cdot \sigma_{k+1}(j) \cdot \overrightarrow{e_{t_j}}$$

PROPOSITION 11 (Equivalence entre exécutions contrôlées et séquences de steps temporisés). — *Soit (R, d) un RdPT avec son état initial s_0 donné à la date v_0 et un état $s_f \in \mathcal{S}(R, d)$. L'équivalence suivante est vérifiée :*

Il existe une exécution contrôlée valide permettant d'atteindre s_f à la date v_{\max} à partir de s_0 .

\Leftrightarrow Il existe une séquence de steps temporisés franchissable permettant d'atteindre s_f à la date v_{\max} à partir de s_0 .

COROLLAIRE 12 (Capture du comportement d'un RdPT par une séquence de steps temporisés). — *Soit (R, d) un RdPT avec son état initial s_0 donné à la date $v_0 = 0$.*

Toute exécution contrôlée peut être représentée comme une séquence de steps temporisés. Ainsi, tout état s_f accessible depuis s_0 peut être atteint par une séquence de steps temporisés. La longueur d'une telle séquence dépend de l'état final à atteindre s_f .

Intérêt d'une approche incrémentale

- Pas de construction exhaustive du graphe de comportement
- Les éléments constitutifs du comportement du modèle (états, transitions) apparaissent sous forme de variables que l'on peut utiliser
 - Pour spécifier la propriété à vérifier
 - Pour contrôler la stratégie de recherche
- Recherches séquentielles ou dichotomiques
 - Les propagations réalisées lors des étapes précédentes peuvent être utilisées pour informer la résolution courante
- Cf. BMC \neq BDD

Approches de résolution fondées sur la programmation par contraintes

- Adaptation du modèle incrémental
 - Contraintes conditionnelles
- Amélioration du modèle
 - Efficacité
 - Expressivité

Adaptation du modèle

- Expression de T_f et T_s à l'aide de contraintes conditionnelles

$$\forall j \in \llbracket 1, N \rrbracket, \left\{ \begin{array}{l} s_{rkj} > 0 \\ \wedge \quad s_{rkj} - \Delta v_k \leq 0 \end{array} \right. \Rightarrow TF_{(k+1)j} = 1$$
$$\left\{ \begin{array}{l} e_{rkj} \leq 0 \\ \vee \quad e_{rkj} - \Delta_k > 0 \end{array} \right. \Rightarrow TF_{(k+1)j} = 0$$

Adaptation du modèle

- Expression de Tf et Ts à l'aide de contraintes conditionnelles

$$\forall j \in \llbracket 1, N \rrbracket, \begin{cases} s_{rkj} > 0 \\ \wedge \quad s_{rkj} - \Delta v_k \leq 0 \end{cases} \Rightarrow TF_{(k+1)j} = 1$$
$$\begin{cases} e_{rkj} \leq 0 \\ \vee \quad e_{rkj} - \Delta_k > 0 \end{cases} \Rightarrow TF_{(k+1)j} = 0$$

- Équation d'état des RdPT

$$\overrightarrow{s_{m_{k+1}}} = \overrightarrow{s_{m_k}} - C^- \cdot \overrightarrow{\sigma_{k+1}} + C^+ \cdot \overrightarrow{TF_{k+1}}$$

$$s_{rkj} - \Delta_k > 0 \Rightarrow \begin{cases} s_{r(k+1)j} = s_{rkj} - \Delta_k \\ \sigma_{(k+1)j} = 0 \end{cases}$$

$$s_{rkj} - \Delta_k \leq 0 \Rightarrow s_{r(k+1)j} = d(j) \cdot \sigma_{(k+1)j}$$

Améliorations, Benchmarks

- Efficacité
 - Linéarisation des contraintes conditionnelles, bornes et coupes [MOSIM 2012]
 - Étude de plusieurs stratégies de recherche [INCOM 2012]
- Expressivité [WODES 2012]
 - Approche d'identification des jetons
 - Application à la reconfiguration de systèmes flexibles de production
- [INCOM12] Using Constraint Programming for solving the reachability problem in TPN : evaluation of basic labeling strategies
- [MOSIM12] A constraint programming model for solving the reachability problem in TPN
- [WODES12] A Constraint Programming Approach for Generating Firing Sequences in Timed Petri Nets With Token Identification

Améliorations...

- Ajustement du domaine des variables
- Pas de « pause » entre les franchissements
- Interdiction des steps vides
- On ne répartit pas des franchissements simultanés en plusieurs steps

$$D_{max} = \max_{t \in T} d(t)$$

$$s_{rkj} \in \{0, D_{max}\}$$

$$s_{mki} \in \{0, M_{max}\}$$

$$\Delta_k \leq \max_{j \in \llbracket 1, N \rrbracket} (\overrightarrow{s_{rk}}(j))$$

$$\forall k, \sum_{j=0}^{N-1} \sigma_{kj} \neq 0$$

$$\forall k, \Delta_k \neq 0$$

- Opérateurs « + » (partie positive) et « s » (signe) tels que :

$$\begin{cases} X > 0 \Rightarrow X^s = 1 \text{ et } X^+ = X \\ X \leq 0 \Rightarrow X^s = 0 \text{ et } X^+ = 0 \end{cases}$$

- Formulation du modèle incrémental à l'aide de ces opérateurs

$$\vec{s}_r(v + \Delta v) = \sum_{t \in T} d(t) \cdot \overrightarrow{\sigma}_{v+\Delta v}(t) \cdot \vec{e}_t$$

$$+ \left(\vec{s}_r(v) - \Delta v \cdot \vec{Id} \right)^+$$

$$\vec{s}_m(v + \Delta v) = \vec{e}_m(v) - C^- \cdot \overrightarrow{\sigma}_{v+\Delta v}$$

$$+ C^+ \cdot \left(\vec{s}_r(v)^s - \left(\vec{s}_r(v) - \Delta v \cdot \vec{Id} \right)^s \right)$$

Linéarisation

- Opérateurs « + » (partie positive) et « s » (signe) tels que :

$$\begin{cases} X > 0 \Rightarrow X^s = 1 \text{ et } X^+ = X \\ X \leq 0 \Rightarrow X^s = 0 \text{ et } X^+ = 0 \end{cases}$$

- Formulation du modèle incrémental à l'aide de ces opérateurs

$$\vec{s}_r(v + \Delta v) = \sum_{t \in T} d(t) \cdot \overrightarrow{\sigma}_{v+\Delta v}(t) \cdot \vec{e}_t$$

$$+ \left(\vec{s}_r(v) - \Delta v \cdot \vec{Id} \right)^{\oplus}$$

$$\vec{s}_m(v + \Delta v) = \vec{e}_m(v) - C^- \cdot \overrightarrow{\sigma}_{v+\Delta v}$$

$$+ C^{\oplus} \cdot \left(\vec{s}_r(v)^s - \left(\vec{s}_r(v) - \Delta v \cdot \vec{Id} \right)^s \right)$$

Linéarisation

- Ajout de variables et de contraintes de linéarisation

$B \in \mathbb{N}^*$ suffisamment grand
 $\alpha \in \{0, 1\}, \beta \in \mathbb{N}$

$$\left\{ \begin{array}{l} B \cdot \alpha - X \leq B - 1 \\ X - B \cdot \alpha \leq 0 \\ X - \beta \leq 0 \\ \beta - B \cdot \alpha \leq 0 \\ \beta + B \cdot \alpha - X \leq B \end{array} \right. \quad \text{Alors : } \left\{ \begin{array}{l} X > 0 \Leftrightarrow \alpha = 1 \\ \text{et } \beta = X \\ X \leq 0 \Leftrightarrow \alpha = 0 \\ \text{et } \beta = 0 \end{array} \right.$$

Conclusion

- Approche **incrémentale** faisant apparaître tous les éléments de comportement du modèle (marquages, franchissements)
 - Permet la recherche de séquences de franchissement « représentatives »
- Approche « guidée par le but »
 - L'explosion combinatoire est **repoussée** dans la phase de résolution des contraintes
- Approche **validée** sur un cas d'étude pratique
 - Résolution à l'aide de IBM ILOG Solver
- Thèse à soutenir le 25 novembre

- Améliorations usuelles : coupes, stratégies, jeux d'essais...
- Comparaison avec les approches BMC pour RdP
- Modèle dédié à l'énumération plutôt qu'à l'optimisation
 - Développer des approches de partitionnement pour diminuer le nombre de séquences à énumérer (cf. « entrelacement des actions »)
- Approche exacte mais incomplète
 - Développer des approches permettant de garantir la couverture du comportement du RdPT par un modèle incrémental d'horizon suffisant. (cf. « diamètre » du graphe de comportement dans le BMC)

Approches Incrémentales pour les Réseaux de Petri Temporisés fondées sur la Programmation par Contraintes

MSR 2013, Rennes – 13/11/2013

Merci pour votre attention



Du GT RdP au GT MACSED ?

« Modélisation, Analyse et Commande des SED »

- Reconfiguration des GT RdP & INCOS du GDRMACS
 - Patrice Moreaux
 - Thomas Bourdeaud'huy
 - Jean-François Pétin
 - Pascal Berruet
 - Sébastien Lahaye

*Discussions demain
après-midi*