

Soutenance de thèse de doctorat

Vérification et dépliages de réseaux de Petri temporels paramétrés

Louis-Marie Traonouez

Institut de Recherche en Communications et en Cybernétique de Nantes
(IRCCyN)

Vendredi 27 novembre 2009

Rapporteurs : Claude JARD
François LAROUSSINIE
Examineurs : Bernard BERTHOMIEU
Jean-Louis BOIMOND
David DELFIEU
Olivier (H.) ROUX



L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

- 1 Introduction
 - Conception des systèmes temps réel
 - Modèles formels
 - Une approche de vérification paramétrée
- 2 Model-checking paramétré
 - Graphe des classes d'états paramétrées
 - Model-checking de formules TCTL paramétrées
 - Application
- 3 Dépliage symboliques paramétrés
 - Dépliage non temporels
 - Processus temporels
 - Dépliage symbolique de PTPN
 - Application à la supervision basée sur les modèles
- 4 Conclusion

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrés

Application

Dépliage symbolique paramétré

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

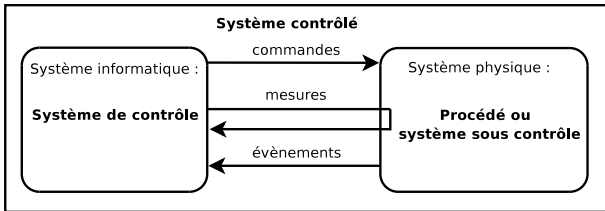
Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

- 1 Introduction
 - Conception des systèmes temps réel
 - Modèles formels
 - Une approche de vérification paramétrée
- 2 Model-checking paramétré
 - Graphe des classes d'états paramétrés
 - Model-checking de formules TCTL paramétrés
 - Application
- 3 Dépliage symbolique paramétré
 - Dépliage non temporels
 - Processus temporels
 - Dépliage symbolique de PTPN
 - Application à la supervision basée sur les modèles
- 4 Conclusion

Systèmes temps réel

Des systèmes réactifs :



Des contraintes temporelles.

Des applications critiques :

- systèmes de pilotage embarqués : avionique, automobile, espace ...
- systèmes de production
- autres : applications médicales, systèmes de gestion boursière ...

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Plusieurs modèles formels disponibles :

- systèmes de transitions,
- algèbres de processus
- réseaux de Petri
- . . .

Modèles formels : réseau de Petri

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrés

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

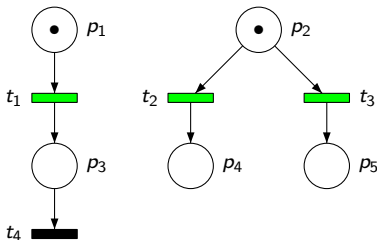
Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Un réseau de Petri (PN) :

- décrit le fonctionnement logique d'un système distribué.



$$\left\{ \begin{array}{l} p_1 \\ p_2 \end{array} \right\}$$

Modèles formels : réseau de Petri

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrés

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

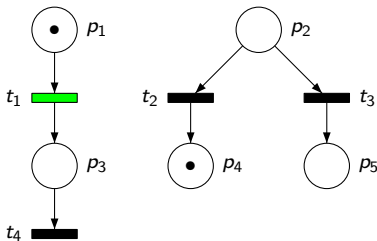
Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Un réseau de Petri (PN) :

- décrit le fonctionnement logique d'un système distribué.



$$\left\{ \begin{array}{c} p_1 \\ p_2 \end{array} \right\} \xrightarrow{t_2} \left\{ \begin{array}{c} p_1 \\ p_4 \end{array} \right\}$$

Modèles formels : réseau de Petri

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

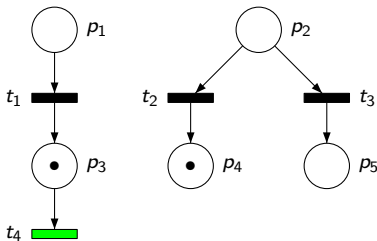
Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Un réseau de Petri (PN) :

- décrit le fonctionnement logique d'un système distribué.



$$\left\{ \begin{array}{c} p_1 \\ p_2 \end{array} \right\} \xrightarrow{t_2} \left\{ \begin{array}{c} p_1 \\ p_4 \end{array} \right\} \xrightarrow{t_1} \left\{ \begin{array}{c} p_3 \\ p_4 \end{array} \right\}$$

Modèles formels : réseau de Petri

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

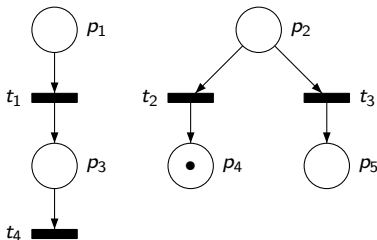
Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Un réseau de Petri (PN) :

- décrit le fonctionnement logique d'un système distribué.

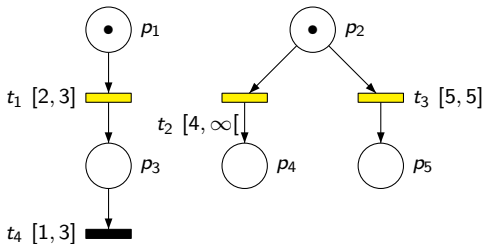


$$\left\{ \begin{array}{c} p_1 \\ p_2 \end{array} \right\} \xrightarrow{t_2} \left\{ \begin{array}{c} p_1 \\ p_4 \end{array} \right\} \xrightarrow{t_1} \left\{ \begin{array}{c} p_3 \\ p_4 \end{array} \right\} \xrightarrow{t_4} \{p_4\}$$

Modèles formels : TPN

Un réseau de Petri temporel (TPN) :

- décrit le fonctionnement logique et temporel ;
- une sémantique de tir forte permet de modéliser l'urgence des évènements.



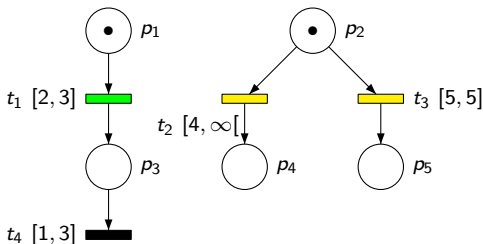
$$\begin{aligned} v(t_1) : & \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\ v(t_2) : & \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\ v(t_3) : & \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\ v(t_4) : & \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$\{p_1, p_2\}$

Modèles formels : TPN

Un réseau de Petri temporel (TPN) :

- décrit le fonctionnement logique et temporel ;
- une sémantique de tir forte permet de modéliser l'urgence des évènements.

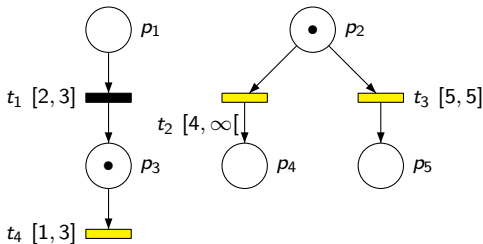


$$\begin{array}{l} v(t_1) : \\ v(t_2) : \\ v(t_3) : \\ v(t_4) : \end{array} \begin{pmatrix} \{p_1, p_2\} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \xrightarrow{2.3} \begin{pmatrix} \{p_1, p_2\} \\ 2.3 \\ 2.3 \\ 2.3 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Modèles formels : TPN

Un réseau de Petri temporel (TPN) :

- décrit le fonctionnement logique et temporel ;
- une sémantique de tir forte permet de modéliser l'urgence des évènements.

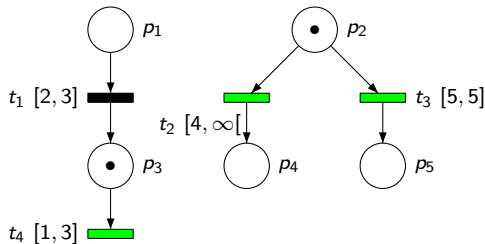


$$\begin{array}{l}
 v(t_1) : \\
 v(t_2) : \\
 v(t_3) : \\
 v(t_4) :
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \{p_1, p_2\} \\
 \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}
 \end{array}
 \xrightarrow{2.3}
 \begin{array}{c}
 \{p_1, p_2\} \\
 \begin{pmatrix} 2.3 \\ 2.3 \\ 2.3 \\ 0 \end{pmatrix}
 \end{array}
 \xrightarrow{t_1}
 \begin{array}{c}
 \{p_2, p_3\} \\
 \begin{pmatrix} 0 \\ 2.3 \\ 2.3 \\ 0 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

Modèles formels : TPN

Un réseau de Petri temporel (TPN) :

- décrit le fonctionnement logique et temporel ;
- une sémantique de tir forte permet de modéliser l'urgence des évènements.

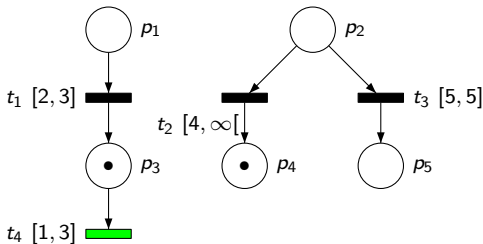


$$\begin{array}{l} v(t_1) : \\ v(t_2) : \\ v(t_3) : \\ v(t_4) : \end{array} \begin{pmatrix} \{p_1, p_2\} \\ 2.3 \\ 2.3 \\ 2.3 \\ 0 \end{pmatrix} \xrightarrow{t_1} \begin{pmatrix} \{p_2, p_3\} \\ 0 \\ 2.3 \\ 2.3 \\ 0 \end{pmatrix} \xrightarrow{2.7} \begin{pmatrix} \{p_2, p_3\} \\ 0 \\ 5 \\ 5 \\ 2.7 \end{pmatrix}$$

Modèles formels : TPN

Un réseau de Petri temporel (TPN) :

- décrit le fonctionnement logique et temporel ;
- une sémantique de tir forte permet de modéliser l'urgence des évènements.

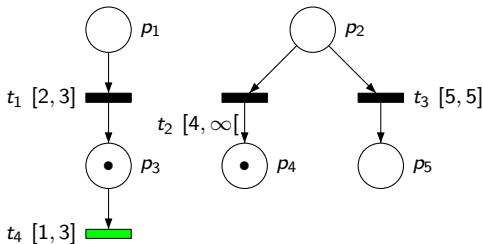


$$\begin{array}{l} v(t_1) : \\ v(t_2) : \\ v(t_3) : \\ v(t_4) : \end{array} \begin{array}{c} \{p_2, p_3\} \\ \begin{pmatrix} 0 \\ 2.3 \\ 2.3 \\ 0 \end{pmatrix} \end{array} \xrightarrow{2.7} \begin{array}{c} \{p_2, p_3\} \\ \begin{pmatrix} 0 \\ 5 \\ 5 \\ 2.7 \end{pmatrix} \end{array} \xrightarrow{t_2} \begin{array}{c} \{p_3, p_4\} \\ \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.7 \end{pmatrix} \end{array}$$

Modèles formels : TPN

Un réseau de Petri temporel (TPN) :

- décrit le fonctionnement logique et temporel ;
- une sémantique de tir forte permet de modéliser l'urgence des évènements.

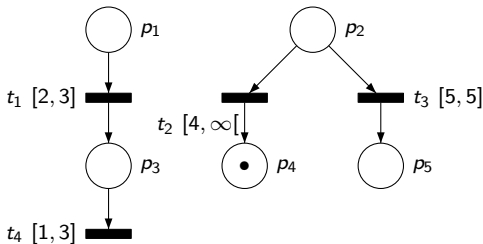


$$\begin{array}{l}
 v(t_1) : \\
 v(t_2) : \\
 v(t_3) : \\
 v(t_4) :
 \end{array}
 \begin{pmatrix} \{p_2, p_3\} \\ 0 \\ 5 \\ 5 \\ 2.7 \end{pmatrix}
 \xrightarrow{t_2}
 \begin{pmatrix} \{p_3, p_4\} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.7 \end{pmatrix}
 \xrightarrow{0.1}
 \begin{pmatrix} \{p_3, p_4\} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.8 \end{pmatrix}$$

Modèles formels : TPN

Un réseau de Petri temporel (TPN) :

- décrit le fonctionnement logique et temporel ;
- une sémantique de tir forte permet de modéliser l'urgence des évènements.

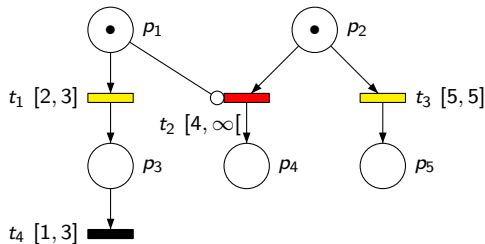


$$\begin{array}{l} v(t_1) : \\ v(t_2) : \\ v(t_3) : \\ v(t_4) : \end{array} \begin{pmatrix} \{p_3, p_4\} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.7 \end{pmatrix} \xrightarrow{0.1} \begin{pmatrix} \{p_3, p_4\} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.8 \end{pmatrix} \xrightarrow{t_4} \begin{pmatrix} \{p_4\} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Modèles formels : ITPN

Un réseau de Petri temporel avec arcs inhibiteurs (ITPN) :

- modèle hybride : écoulement du temps non linéaire ;
- permet de représenter la suspension/reprise d'actions.

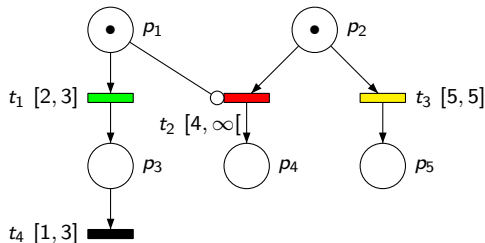


$$\begin{aligned} v(t_1) : & \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\ v(t_2) : & \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\ v(t_3) : & \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\ v(t_4) : & \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Modèles formels : ITPN

Un réseau de Petri temporel avec arcs inhibiteurs (ITPN) :

- modèle hybride : écoulement du temps non linéaire ;
- permet de représenter la suspension/reprise d'actions.

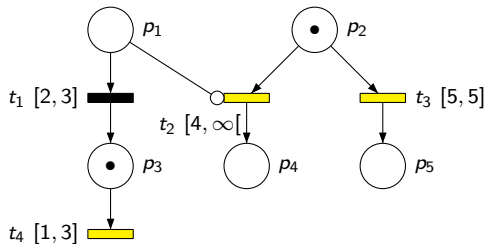


$$\begin{array}{l} v(t_1) : \\ v(t_2) : \\ v(t_3) : \\ v(t_4) : \end{array} \begin{pmatrix} \{p_1, p_2\} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \xrightarrow{2.3} \begin{pmatrix} \{p_1, p_2\} \\ 2.3 \\ 0 \\ 2.3 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Modèles formels : ITPN

Un réseau de Petri temporel avec arcs inhibiteurs (ITPN) :

- modèle hybride : écoulement du temps non linéaire ;
- permet de représenter la suspension/reprise d'actions.

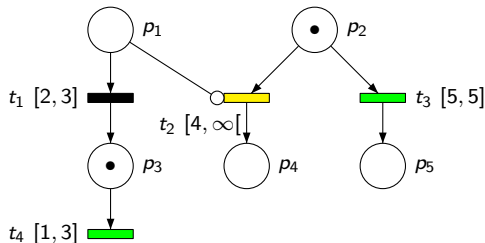


$$\begin{array}{l}
 v(t_1) : \\
 v(t_2) : \\
 v(t_3) : \\
 v(t_4) :
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \{p_1, p_2\} \\
 \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}
 \end{array}
 \xrightarrow{2.3}
 \begin{array}{c}
 \{p_1, p_2\} \\
 \begin{pmatrix} 2.3 \\ 0 \\ 2.3 \\ 0 \end{pmatrix}
 \end{array}
 \xrightarrow{t_1}
 \begin{array}{c}
 \{p_2, p_3\} \\
 \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2.3 \\ 0 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

Modèles formels : ITPN

Un réseau de Petri temporel avec arcs inhibiteurs (ITPN) :

- modèle hybride : écoulement du temps non linéaire ;
- permet de représenter la suspension/reprise d'actions.

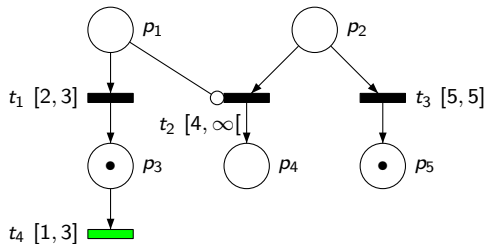


$$\begin{array}{l}
 v(t_1) : \\
 v(t_2) : \\
 v(t_3) : \\
 v(t_4) :
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \{p_1, p_2\} \\
 \begin{pmatrix} 2.3 \\ 0 \\ 2.3 \\ 0 \end{pmatrix}
 \end{array}
 \xrightarrow{t_1}
 \begin{array}{c}
 \{p_2, p_3\} \\
 \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 2.3 \\ 0 \end{pmatrix}
 \end{array}
 \xrightarrow{2.7}
 \begin{array}{c}
 \{p_2, p_3\} \\
 \begin{pmatrix} 0 \\ 2.7 \\ 5 \\ 2.7 \end{pmatrix}
 \end{array}$$

Modèles formels : ITPN

Un réseau de Petri temporel avec arcs inhibiteurs (ITPN) :

- modèle hybride : écoulement du temps non linéaire ;
- permet de représenter la suspension/reprise d'actions.

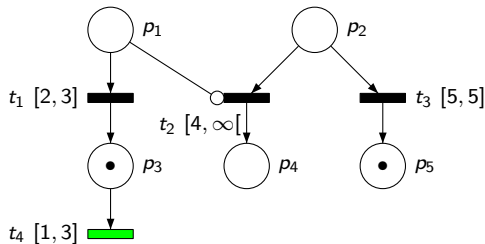


$$\begin{array}{l}
 v(t_1) : \\
 v(t_2) : \\
 v(t_3) : \\
 v(t_4) :
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 \{p_2, p_3\} \\
 0 \\
 0 \\
 2.3 \\
 0
 \end{pmatrix}
 \xrightarrow{2.7}
 \begin{pmatrix}
 \{p_2, p_3\} \\
 0 \\
 2.7 \\
 5 \\
 2.7
 \end{pmatrix}
 \xrightarrow{t_3}
 \begin{pmatrix}
 \{p_3, p_5\} \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 2.7
 \end{pmatrix}$$

Modèles formels : ITPN

Un réseau de Petri temporel avec arcs inhibiteurs (ITPN) :

- modèle hybride : écoulement du temps non linéaire ;
- permet de représenter la suspension/reprise d'actions.

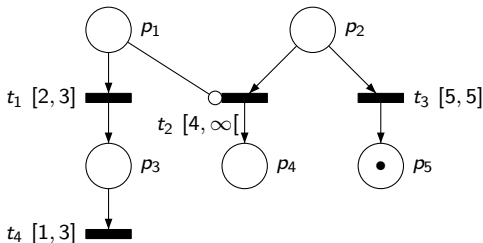


$$\begin{array}{l}
 v(t_1) : \\
 v(t_2) : \\
 v(t_3) : \\
 v(t_4) :
 \end{array}
 \begin{pmatrix} \{p_2, p_3\} \\ 0 \\ 2.7 \\ 5 \\ 2.7 \end{pmatrix}
 \xrightarrow{t_3}
 \begin{pmatrix} \{p_3, p_5\} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.7 \end{pmatrix}
 \xrightarrow{0.1}
 \begin{pmatrix} \{p_3, p_5\} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.8 \end{pmatrix}$$

Modèles formels : ITPN

Un réseau de Petri temporel avec arcs inhibiteurs (ITPN) :

- modèle hybride : écoulement du temps non linéaire ;
- permet de représenter la suspension/reprise d'actions.

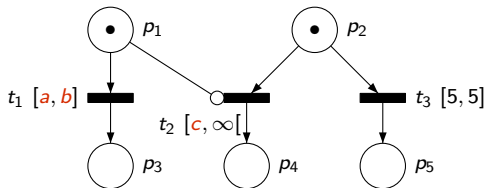


$$\begin{array}{l}
 v(t_1) : \\
 v(t_2) : \\
 v(t_3) : \\
 v(t_4) :
 \end{array}
 \begin{pmatrix} \{p_3, p_5\} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.7 \end{pmatrix}
 \xrightarrow{0.1}
 \begin{pmatrix} \{p_3, p_5\} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2.8 \end{pmatrix}
 \xrightarrow{t_4}
 \begin{pmatrix} \{p_5\} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Des modèles paramétrés : PITPN

L'introduction de paramètres permet :

- d'insérer des degrés de libertés dans la modélisation ;
- de prendre en compte des spécifications incomplètes ;
- de définir des modèles réutilisables dans différents environnements.



$$D_p = \left\{ \begin{array}{l} 0 \leq a \leq b \\ 1 \leq b < c \leq 5 \end{array} \right\}$$

$$\begin{array}{l} a : \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \\ 4 \end{pmatrix} \\ b : \\ c : \end{array} \in D_p$$

Vérification des systèmes temps réel

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking
paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrés

Application

Dépliage
symbolique
paramétré

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Des méthodes formelles de vérification :

Model-checking

Un modèle \mathcal{M} satisfait-il une propriété φ ?

$$\mathcal{M} \models \varphi ?$$

Supervision basée sur les modèles

Séquence d'observations σ



Explications dans le modèle \mathcal{M} ?

Vérification formelle paramétrée

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrés

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

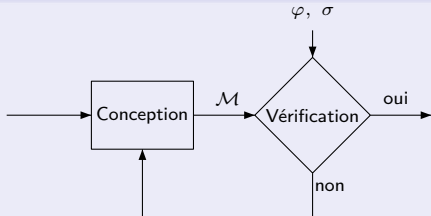
Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

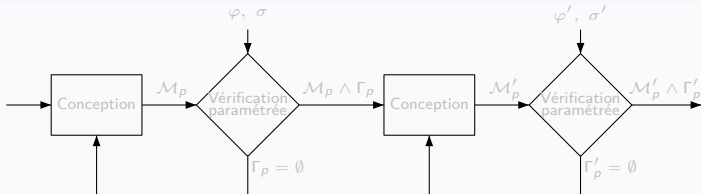
Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Vérification formelle



Vérification formelle paramétrée



Vérification formelle paramétrée

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

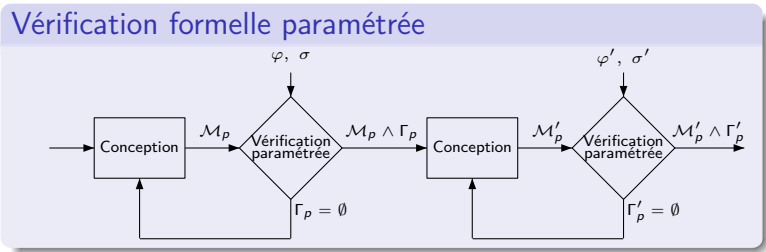
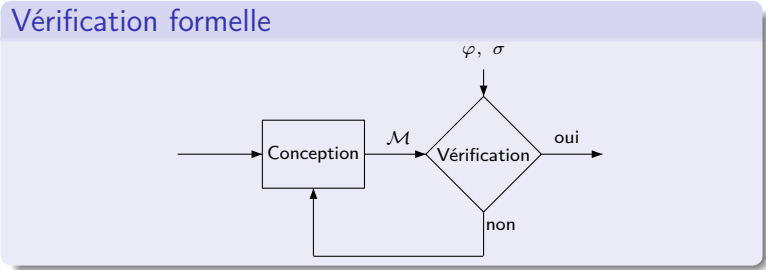
Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion



Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Sommaire

- 1 Introduction
 - Conception des systèmes temps réel
 - Modèles formels
 - Une approche de vérification paramétrée
- 2 Model-checking paramétré
 - Graphe des classes d'états paramétrées
 - Model-checking de formules TCTL paramétrées
 - Application
- 3 Dépliage symboliques paramétrés
 - Dépliage non temporels
 - Processus temporels
 - Dépliage symbolique de PTPN
 - Application à la supervision basée sur les modèles
- 4 Conclusion

Problématique du model-checking paramétré

Étant donné un modèle paramétré \mathcal{M} et une propriété paramétrée

φ ,

- $\llbracket \mathcal{M} \rrbracket_\nu$ est le modèle non paramétré obtenu pour une valuation ν des paramètres,
- $\llbracket \varphi \rrbracket_\nu$ est la propriété non paramétrée obtenue pour la même valuation.

Problème du model-checking paramétré

$$\exists \nu, \llbracket \mathcal{M} \rrbracket_\nu \models \llbracket \varphi \rrbracket_\nu$$

Ce problème est indécidable, même pour des PTPN bornés [Traonouez,08].

Problème de la synthèse des paramètres

Déterminer l'ensemble Γ des valuations valides, tel que :

$$\forall \nu \in \Gamma, \llbracket \mathcal{M} \rrbracket_\nu \models \llbracket \varphi \rrbracket_\nu$$

Problématique du model-checking paramétré

Étant donné un modèle paramétré \mathcal{M} et une propriété paramétrée

φ ,

- $\llbracket \mathcal{M} \rrbracket_\nu$ est le modèle non paramétré obtenu pour une valuation ν des paramètres,
- $\llbracket \varphi \rrbracket_\nu$ est la propriété non paramétrée obtenue pour la même valuation.

Problème du model-checking paramétré

$$\exists \nu, \llbracket \mathcal{M} \rrbracket_\nu \models \llbracket \varphi \rrbracket_\nu$$

Ce problème est indécidable, même pour des PTPN bornés [Traonouez,08].

Problème de la synthèse des paramètres

Déterminer l'ensemble Γ des valuations valides, tel que :

$$\forall \nu \in \Gamma, \llbracket \mathcal{M} \rrbracket_\nu \models \llbracket \varphi \rrbracket_\nu$$

Problématique du model-checking paramétré

Étant donné un modèle paramétré \mathcal{M} et une propriété paramétrée

φ ,

- $\llbracket \mathcal{M} \rrbracket_\nu$ est le modèle non paramétré obtenu pour une valuation ν des paramètres,
- $\llbracket \varphi \rrbracket_\nu$ est la propriété non paramétrée obtenue pour la même valuation.

Problème du model-checking paramétré

$$\exists \nu, \llbracket \mathcal{M} \rrbracket_\nu \models \llbracket \varphi \rrbracket_\nu$$

Ce problème est indécidable, même pour des PTPN bornés [Traonouez,08].

Problème de la synthèse des paramètres

Déterminer l'ensemble Γ des valuations valides, tel que :

$$\forall \nu \in \Gamma, \llbracket \mathcal{M} \rrbracket_\nu \models \llbracket \varphi \rrbracket_\nu$$

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphes des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrés

Application

Dépliage symbolique paramétré

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Représentations de l'espace d'états

Temps dense \Rightarrow espace d'états infini.

Pour les TPN

Abstraction de l'espace
d'états \Rightarrow Ensemble fini de classes
d'équivalence

- 1 méthode du graphe des classes d'états
- 2 méthode du graphe des zones.

Pour les PITPN

Infinité de valeurs possibles pour les paramètres.

Abstraction du temps et de l'espace des paramètres.

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrés

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Représentations de l'espace d'états

Temps dense \Rightarrow espace d'états infini.

Pour les TPN

Abstraction de l'espace
d'états \Rightarrow Ensemble fini de classes
d'équivalence

- 1 méthode du graphe des classes d'états
- 2 méthode du graphe des zones.

Pour les PITPN

Infinité de valeurs possibles pour les paramètres.

Abstraction du temps et de l'espace des paramètres.

Classes d'états paramétrées

Definition

Une **classe d'états paramétrée** C d'un PITPN est un couple (M, D) où :

- M est un marquage du réseau,
- D le domaine de tir représenté par un polyèdre convexe.

Un point $(\nu|\theta)$ de D est constitué :

- d'une valuation ν des paramètres,
- d'une valuation θ des dates de tirs des transitions sensibilisées.

La classe initiale C_0 est définie par $C_0 = (M_0, D_0)$ où :

- M_0 est le marquage initial,
- $D_0 = D_p \wedge \{\forall t_k \in \text{enabled}(M_0), \text{eft}(t_k) \leq \theta_k \leq \text{lft}(t_k)\}$

Classes d'états paramétrées

Definition

Une **classe d'états paramétrée** C d'un PITPN est un couple (M, D) où :

- M est un marquage du réseau,
- D le domaine de tir représenté par un polyèdre convexe.

Un point $(\nu|\theta)$ de D est constitué :

- d'une valuation ν des paramètres,
- d'une valuation θ des dates de tirs des transitions sensibilisées.

La classe initiale C_0 est définie par $C_0 = (M_0, D_0)$ où :

- M_0 est le marquage initial,
- $D_0 = D_p \wedge \{\forall t_k \in \text{enabled}(M_0), \text{eft}(t_k) \leq \theta_k \leq \text{lft}(t_k)\}$

Classes d'états paramétrées

Definition

Une **classe d'états paramétrée** C d'un PITPN est un couple (M, D) où :

- M est un marquage du réseau,
- D le domaine de tir représenté par un polyèdre convexe.

Un point $(\nu|\theta)$ de D est constitué :

- d'une valuation ν des paramètres,
- d'une valuation θ des dates de tirs des transitions sensibilisées.

La classe initiale C_0 est définie par $C_0 = (M_0, D_0)$ où :

- M_0 est le marquage initial,
- $D_0 = D_p \wedge \{\forall t_k \in \text{enabled}(M_0), \text{eft}(t_k) \leq \theta_k \leq \text{lft}(t_k)\}$

Calcul du graphe des classes d'états paramétrées

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Étant donnée une classe d'états paramétrée $C = (M, D)$ et une transition tirable t_f , $C' = succ(C, t_f)$ est déterminée par :

- $M' = M - \bullet t_f + t_f^\bullet$
- $D' = next(D, t_f)$
 - 1 intersection avec les contraintes de franchissabilité :
 $\forall j$ t.q. t_j est non inhibée, $\theta_f \leq \theta_j$
 - 2 substitution des variables pour toutes les transitions non inhibées t_j : $\theta_j = \theta_f + \theta'_j$,
 - 3 élimination de toutes les variables relatives aux transitions désensibilisées par le tir de t_f ,
 - 4 ajout des inéquations relatives aux transitions nouvellement sensibilisées :

$$\forall t_k \in \uparrow enabled(M, t_f), \quad \uparrow J_s(t_k) \leq \theta'_k \leq J_s(t_k)^\downarrow$$

Valuation du graphe des classes d'états paramétrés

Théorème [Traonouez, 08]

Étant donné un PTIPN \mathcal{N} et une valuation $\nu \in D_p$, la relation d'égalité \equiv entre classes est une relation de bisimulation entre $\llbracket \mathcal{G}(\mathcal{N}) \rrbracket_\nu$ et $\mathcal{G}(\llbracket \mathcal{N} \rrbracket_\nu)$:

$$\llbracket \mathcal{G}(\mathcal{N}) \rrbracket_\nu \equiv \mathcal{G}(\llbracket \mathcal{N} \rrbracket_\nu)$$

Grphe des classes d'états paramétrées

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Grphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

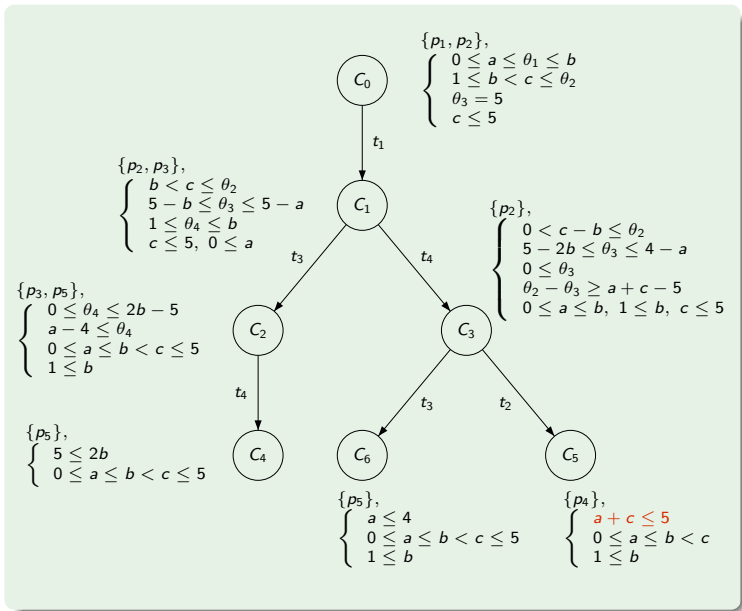
Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion



Formules TCTL paramétrées : PTCTL

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking
paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage
symboliques
paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

PTCTL_S

Sous-ensemble de formules TCTL paramétrées défini par :

$$\text{PTCTL}_S := \exists\varphi \mathcal{U}_J \psi \mid \forall\varphi \mathcal{U}_J \psi \mid \exists\Diamond_J\varphi \mid \forall\Diamond_J\varphi \\ \mid \exists\Box_J\varphi \mid \forall\Box_J\varphi \mid \varphi \rightsquigarrow_{J_r} \psi$$

où

- φ, ψ sont des propositions sur les marquages du réseau,
- J, J_r sont des intervalles temporels paramétrés :
pour deux expressions linéaires paramétrées a et b ,
 $J = [a, b]$ ou $J = [a, \infty[$, et $J_r = [0, b]$ ou $J_r = [0, \infty[$.
- $\varphi \rightsquigarrow_{J_r} \psi = \forall\Box(\varphi \Rightarrow \forall\Diamond_{J_r}\psi)$.

Model-checking “à la volée” de PTCTL

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking
paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage
symbolique
paramétré

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Mesure de l'écoulement du temps dans le graphe des classes d'états :

⇒ ajout d'une variable supplémentaire dans les domaines de tir.

3 semi-algorithmes de model-checking paramétré implémentés dans le logiciel ROMEO [Traonouez,09] :

- $\exists \varphi \mathcal{U}_J \psi$
- $\forall \varphi \mathcal{U}_J \varphi$
- $\varphi \rightsquigarrow_{J,r} \psi$

Résultat

Ces semi-algorithmes synthétisent les contraintes sur les paramètres définissant l'ensemble Γ des valuations satisfaisantes.

Model-checking “à la volée” de PTCTL

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking
paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliages
symboliques
paramétrés

Dépliages non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Mesure de l'écoulement du temps dans le graphe des classes d'états :

⇒ ajout d'une variable supplémentaire dans les domaines de tir.

3 semi-algorithmes de model-checking paramétré implémentés dans le logiciel ROMEO [Traonouez,09] :

- $\exists \varphi \mathcal{U}_J \psi$
- $\forall \varphi \mathcal{U}_J \varphi$
- $\varphi \rightsquigarrow_{J,r} \psi$

Résultat

Ces semi-algorithmes synthétisent les contraintes sur les paramètres définissant l'ensemble Γ des valuations satisfaisantes.

Model-checking “à la volée” de PTCTL

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking
paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage
symbolique
paramétré

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Mesure de l'écoulement du temps dans le graphe des classes d'états :

⇒ ajout d'une variable supplémentaire dans les domaines de tir.

3 semi-algorithmes de model-checking paramétré implémentés dans le logiciel ROMEO [Traonouez,09] :

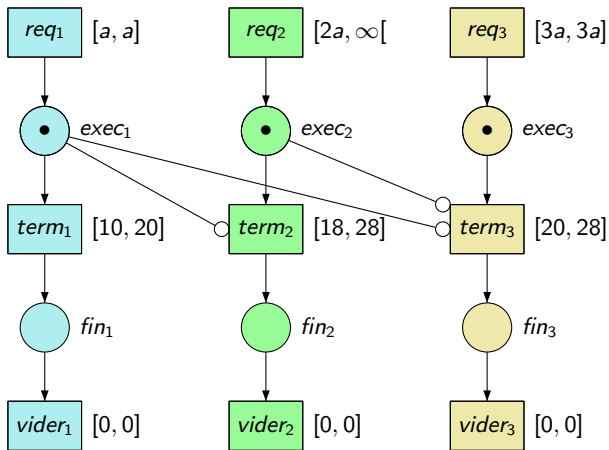
- $\exists \varphi \mathcal{U}_J \psi$
- $\forall \varphi \mathcal{U}_J \varphi$
- $\varphi \rightsquigarrow_{J,r} \psi$

Résultat

Ces semi-algorithmes synthétisent les contraintes sur les paramètres définissant l'ensemble Γ des valuations satisfaisantes.

Ordonnancement à priorités fixes

Trois tâches à échéance sur requête [Bucci,04] :



Priorité(tâche₁) > Priorité(tâche₂) > Priorité(tâche₃)

Ordonnançabilité

Le modèle doit être sauf (1-borné) :

$$\forall p_i \in P, \forall \square_{[0,inf[} (M(p_i) \leq 1)$$

Résultat : $a > 48$

La contrainte calculée est ajoutée au domaine des paramètres : $D_p = \{a > 48\}$

Calcul du WCRT de la tâche 3

On vérifie la propriété PTCTL suivante :

$$(M(exec_3) > 0) \rightsquigarrow_{[0,b]} (M(fin_3) > 0)$$

Résultat : $b \geq 96$

ce qui implique que le WCRT de la tâche 3 est 96.

Ordonnançabilité

Le modèle doit être sauf (1-borné) :

$$\forall p_i \in P, \forall \square_{[0,inf[} (M(p_i) \leq 1)$$

Résultat : $a > 48$

La contrainte calculée est ajoutée au domaine des paramètres : $D_p = \{a > 48\}$

Calcul du WCRT de la tâche 3

On vérifie la propriété PTCTL suivante :

$$(M(exec_3) > 0) \rightsquigarrow_{[0,b]} (M(fin_3) > 0)$$

Résultat : $b \geq 96$

ce qui implique que le WCRT de la tâche 3 est 96.

Ordonnançabilité

Le modèle doit être sauf (1-borné) :

$$\forall p_i \in P, \forall \square_{[0,inf[} (M(p_i) \leq 1)$$

Résultat : $a > 48$

La contrainte calculée est ajoutée au domaine des paramètres : $D_p = \{a > 48\}$

Calcul du WCRT de la tâche 3

On vérifie la propriété PTCTL suivante :

$$(M(exec_3) > 0) \rightsquigarrow_{[0,b]} (M(fin_3) > 0)$$

Résultat : $b \geq 96$

ce qui implique que le WCRT de la tâche 3 est 96.

Ordonnançabilité

Le modèle doit être sauf (1-borné) :

$$\forall p_i \in P, \forall \square_{[0,inf[} (M(p_i) \leq 1)$$

Résultat : $a > 48$

La contrainte calculée est ajoutée au domaine des paramètres : $D_p = \{a > 48\}$

Calcul du WCRT de la tâche 3

On vérifie la propriété PTCTL suivante :

$$(M(exec_3) > 0) \rightsquigarrow_{[0,b]} (M(fin_3) > 0)$$

Résultat : $b \geq 96$

ce qui implique que le WCRT de la tâche 3 est 96.

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symbolique paramétré

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Sommaire

- 1 Introduction
 - Conception des systèmes temps réel
 - Modèles formels
 - Une approche de vérification paramétrée
- 2 Model-checking paramétré
 - Graphe des classes d'états paramétrées
 - Model-checking de formules TCTL paramétrées
 - Application
- 3 Dépliage symbolique paramétré
 - Dépliage non temporels
 - Processus temporels
 - Dépliage symbolique de PTPN
 - Application à la supervision basée sur les modèles
- 4 Conclusion

Représentation de la concurrence

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

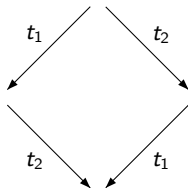
Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

- 1 Classiquement, par des entrelacements :

$t_1 \parallel t_2 \implies$



\implies C'est une cause d'explosion combinatoire.

- 2 Méthodes de préservations de la concurrence :
réduction des ordres partiels, **dépliage**.
 \implies Permettent d'exhiber efficacement les liens de causalité.

Représentation de la concurrence

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

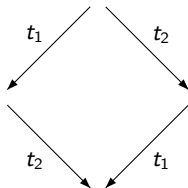
Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

- 1 Classiquement, par des entrelacements :

$t_1 \parallel t_2 \implies$



\implies C'est une cause d'explosion combinatoire.

- 2 Méthodes de préservations de la concurrence :
réduction des ordres partiels, **dépliage**.
 \implies Permettent d'exhiber efficacement les liens de causalité.

Processus de branchement de réseaux de Petri

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking
paramétré

Grappe de classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Déplages
symboliques
paramétrés

Déplages non
temporels

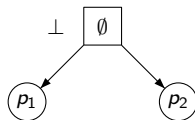
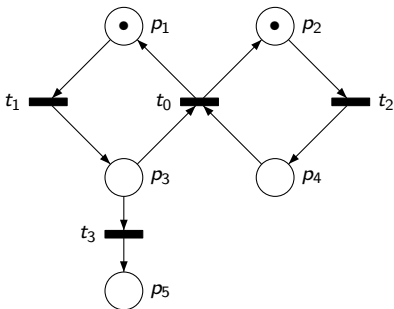
Processus temporels

Déplage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

25 / 48



Relations entre deux nœuds x et y :

- une relation causale : $x < y$ (par ex. $e_1 < e_3$)
- une relation de conflit : $x \# y$ (par ex. $e_4 \# e_3$)
- sinon une relation de concurrence : $x \text{ co } y$ (par ex. $e_1 \text{ co } e_2$)

Processus de branchement de réseaux de Petri

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

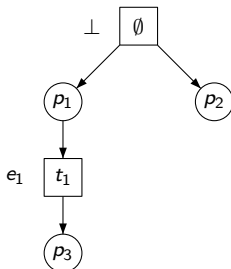
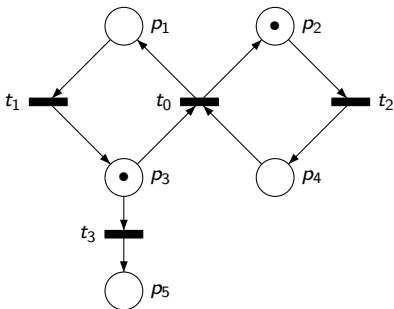
Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion



Relations entre deux nœuds x et y :

- une relation causale : $x < y$ (par ex. $e_1 < e_3$)
- une relation de conflit : $x \# y$ (par ex. $e_4 \# e_3$)
- sinon une relation de concurrence : $x \text{ co } y$ (par ex. $e_1 \text{ co } e_2$)

Processus de branchement de réseaux de Petri

Soutenance de thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de vérification paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes d'états paramétrés

Model-checking de formules TCTL paramétrées

Application

Dépliage symbolique paramétré

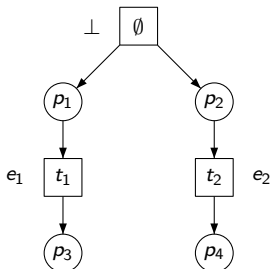
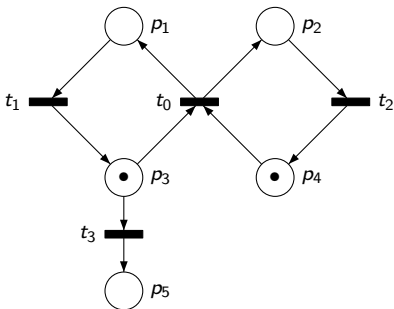
Dépliage non temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique de PTPN

Application à la supervision basée sur les modèles

Conclusion



Relations entre deux nœuds x et y :

- une relation causale : $x < y$ (par ex. $e_1 < e_3$)
- une relation de conflit : $x \# y$ (par ex. $e_4 \# e_3$)
- sinon une relation de concurrence : $x \text{ co } y$ (par ex. $e_1 \text{ co } e_2$)

Processus de branchement de réseaux de Petri

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrés

Application

Dépliage symboliques paramétrés

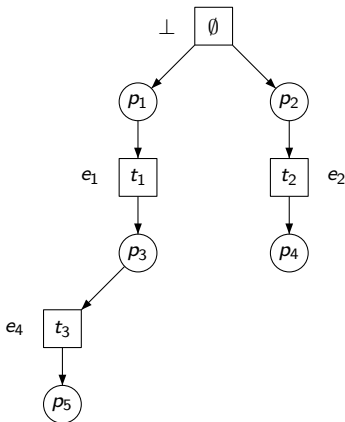
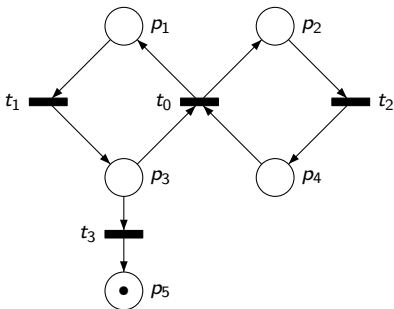
Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion



Relations entre deux nœuds x et y :

- une relation causale : $x < y$ (par ex. $e_1 < e_3$)
- une relation de conflit : $x \# y$ (par ex. $e_4 \# e_3$)
- sinon une relation de concurrence : $x \text{ co } y$ (par ex. $e_1 \text{ co } e_2$)

Processus de branchement de réseaux de Petri

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

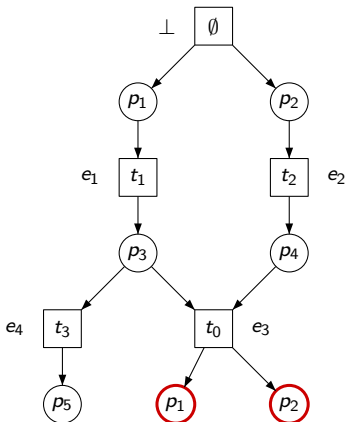
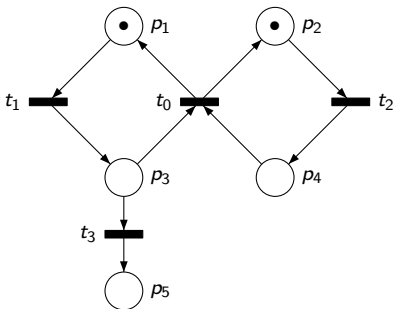
Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

25 / 48



Relations entre deux nœuds x et y :

- une relation causale : $x < y$ (par ex. $e_1 < e_3$)
- une relation de conflit : $x \# y$ (par ex. $e_4 \# e_3$)
- sinon une relation de concurrence : $x \text{ co } y$ (par ex. $e_1 \text{ co } e_2$)

Processus de branchement de réseaux de Petri

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking
paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage
symboliques
paramétrés

Dépliage non
temporels

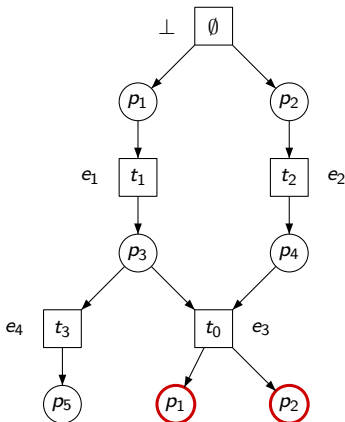
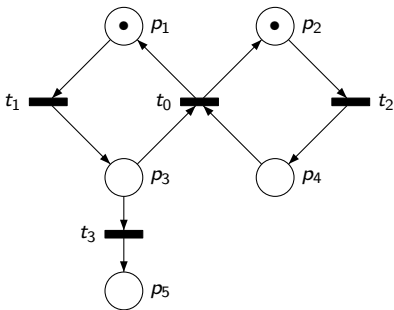
Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

25 / 48



Relations entre deux nœuds x et y :

- une **relation causale** : $x < y$ (par ex. $e_1 < e_3$)
- une **relation de conflit** : $x \# y$ (par ex. $e_4 \# e_3$)
- sinon une **relation de concurrence** : $x \text{ co } y$ (par ex. $e_1 \text{ co } e_2$)

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Dépliage d'un réseau de Petri

Définition

Le dépliage d'un réseau de Petri est défini par
« **le plus grand** » processus de branchement.

Préfixe [Esparza, McMillan...]

Il est possible de calculer un préfixe fini complet du dépliage
contenant tous les marquages accessibles.

Processus temporels [Aura,97]

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Déplages symboliques paramétrés

Déplages non
temporels

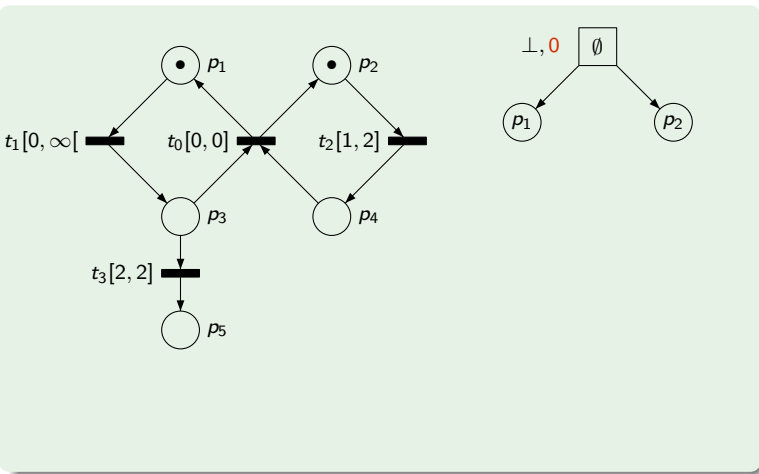
Processus temporels

Déplage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Restriction : TPN saufs.



Processus temporels [Aura,97]

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Déplages symboliques paramétrés

Déplages non
temporels

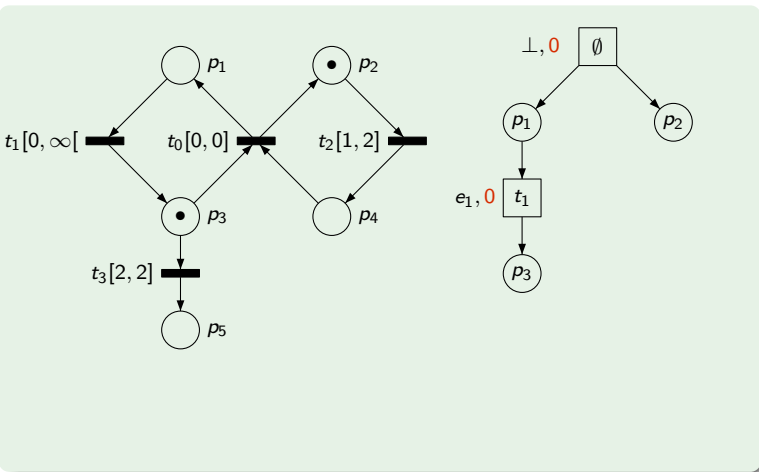
Processus temporels

Déplage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Restriction : TPN saufs.



Processus temporels [Aura,97]

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

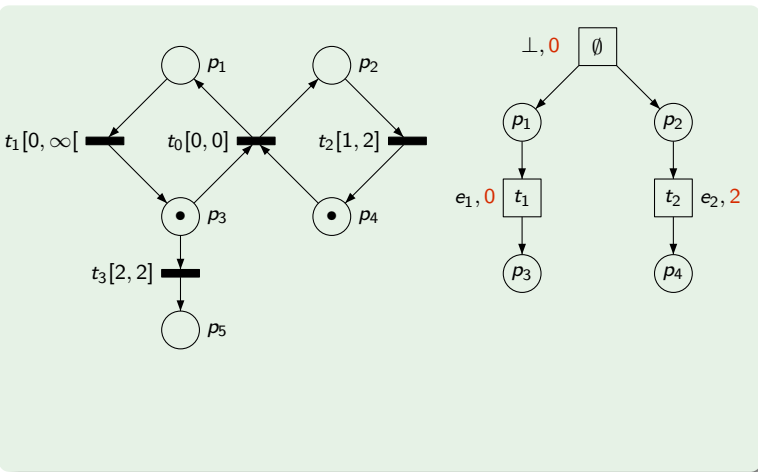
Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Restriction : TPN saufs.



Processus temporels [Aura,97]

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

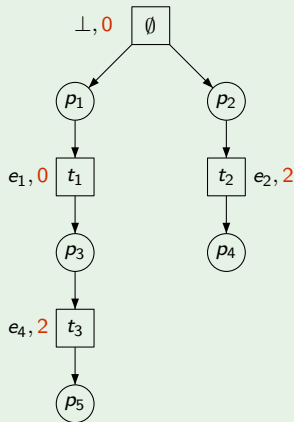
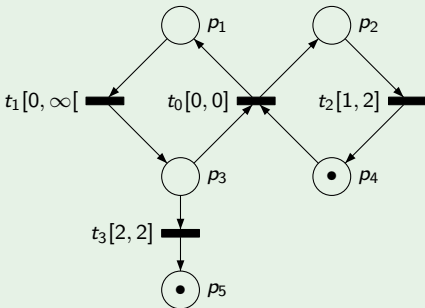
Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Restriction : TPN saufs.



Processus temporels [Aura,97]

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

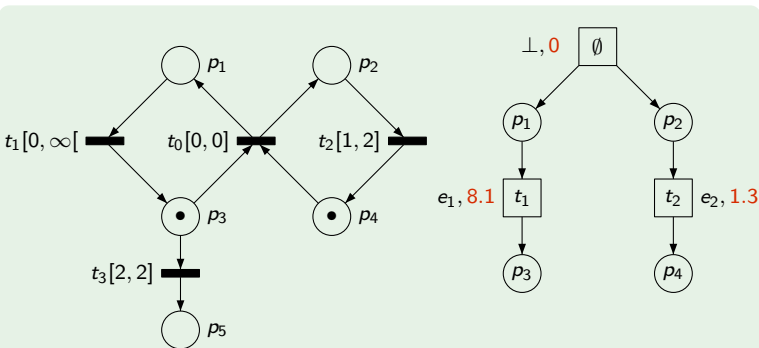
Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Restriction : TPN saufs.



Processus temporels [Aura,97]

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

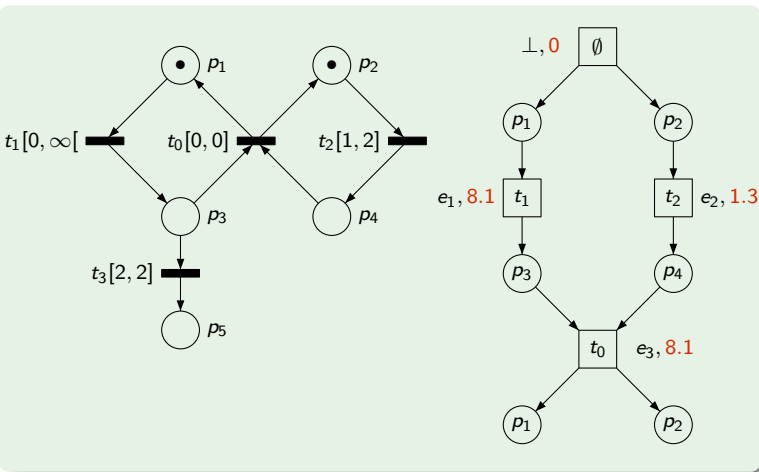
Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Restriction : TPN saufs.

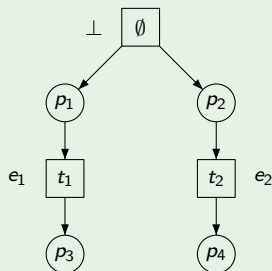
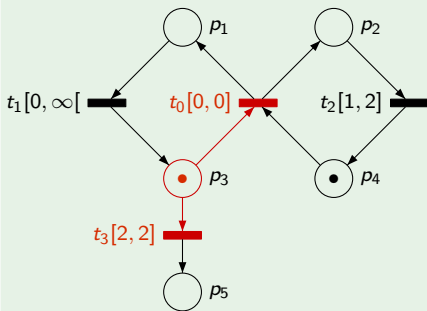


Conflits et sémantique forte

L'urgence modifie les liens de causalité entre les évènements :

- les jetons consommés par une transition ne sont pas suffisants pour déterminer sa franchissabilité.

Sémantique de tir locale ?



Conflits et sémantique forte

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking
paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage
symboliques
paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

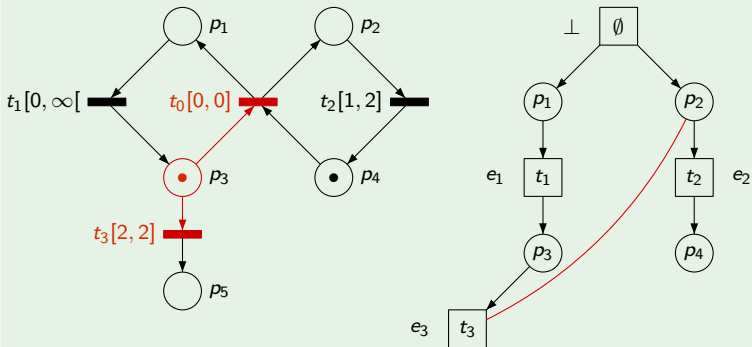
Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

L'urgence modifie les liens de causalité entre les évènements :

- les jetons consommés par une transition ne sont pas suffisants pour déterminer sa franchissabilité.

Sémantique de tir locale ?



Conflits et sémantique forte

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking
paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage
symboliques
paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

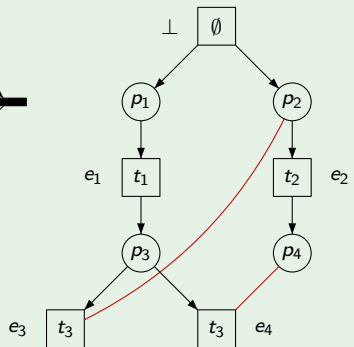
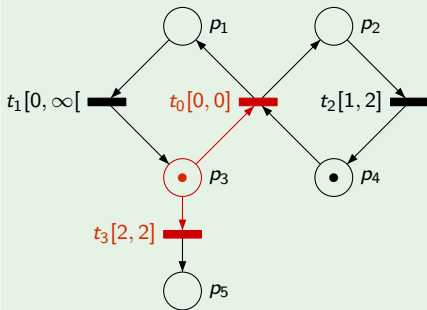
Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

L'urgence modifie les liens de causalité entre les évènements :

- les jetons consommés par une transition ne sont pas suffisants pour déterminer sa franchissabilité.

Sémantique de tir locale ?



Conflits et sémantique forte

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

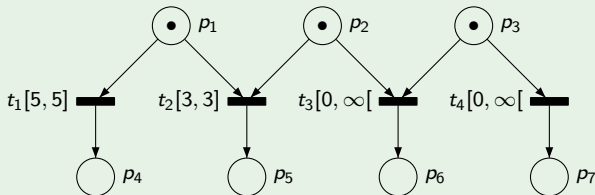
Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

L'urgence introduit de nouvelles relation de causalité dues au temps.

Conflit indirect



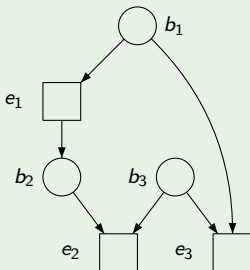
- le tir de t_1 nécessite le tir préalable de t_3 ;
- en conséquence le marquage $\{p_4, p_7\}$ n'est pas accessible.

Analyse des conflits : conflits directs

Conflits directs

Deux évènements e_1 , e_2 sont en **conflit direct** : $e_1 \text{ conf } e_2$,
ssi :

- $\bullet e_1 \cap \bullet e_2 \neq \emptyset$,
- $\forall b \in \bullet e_1, \neg(b \# e_2)$,
- $\forall b \in \bullet e_2, \neg(b \# e_1)$.



- $e_1 \text{ conf } e_3$
- $\neg e_2 \text{ conf } e_3$

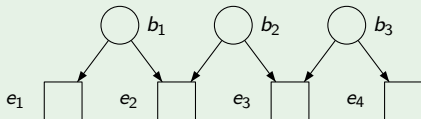
Analyse des conflits : évènements libérateurs

Évènements libérateurs

Trois évènements e_1, e_2, e_3 sont en relation de libération :
 $(e_1, e_2, e_3) \in \text{lib}$, ssi

- $e_1 \text{ co } e_3$,
- $e_1 \text{ conf } e_2$ et $e_2 \text{ conf } e_3$.

$\Rightarrow e_1$ peut libérer e_3 du conflit avec e_2
(symétriquement $(e_3, e_2, e_1) \in \text{lib}$).



- $e_1 \text{ conf } e_2$
- $e_2 \text{ conf } e_3$
- $e_3 \text{ conf } e_4$
- $(e_1, e_2, e_3) \in \text{lib}$
- $(e_2, e_3, e_4) \in \text{lib}$

Processus de branchement temporels (TBP)

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking
paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage
symboliques
paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

32 / 48

Processus de branchement temporels valides

Pour une valuation ν des paramètres, la fonction de temporisation θ d'un TBP est **valide** ssi $\forall e \in E$:

$$\left[\theta(e) \neq \infty \wedge \theta(e) \geq \text{TOE}(\bullet e, I(e)) + \nu(\text{eft}(I(e))) \right] \quad (1)$$

$$\wedge \theta(e) \leq \text{TOE}(\bullet e, I(e)) + \nu(\text{lft}(I(e))) \quad (2)$$

$$\wedge \left[\forall e' \in E \text{ s.t. } e' \text{ conf } e, \theta(e') = \infty \wedge \left[\theta(e) \leq \text{TOE}(\bullet e', I(e')) + \nu(\text{lft}(I(e'))) \right] \right] \quad (3)$$

$$\vee \left[\exists e'' \text{ s.t. } (e, e', e'') \in \text{lib} \wedge \theta(e'') < \theta(e) \right] \quad (4)$$

$$\vee \left[\theta(e) = \infty \wedge \exists b \in \bullet e, \theta(\bullet b) = \infty \right] \quad (5)$$

$$\vee \left[\theta(e) = \infty \wedge \exists e' \in E \text{ s.t. } e' \text{ conf } e \wedge \theta(e') \neq \infty \right] \quad (6)$$

où $\text{TOE}(B', t) = \max(\{\theta(\bullet b) \mid b \in B' \wedge I(b) \in \bullet t\})$.

TBP temporellement complet

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

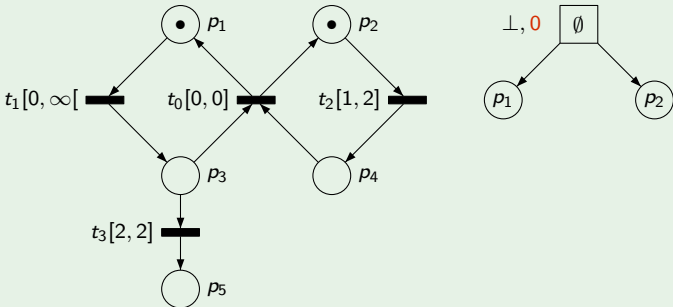
Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion



Processus de branchement temporellement complet

Un TBP est **temporellement complet** si pour toutes ses extensions e :

$$\max\{\theta(e') \mid e' \in E \wedge \theta(e') \neq \infty\} \leq \text{TOE}(\bullet e, I(e)) + \nu(\text{lft}(I(e))) \quad (7)$$

TBP temporellement complet

Soutenance de thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de vérification paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes d'états paramétrés

Model-checking de formules TCTL paramétrées

Application

Dépliage symbolique paramétrés

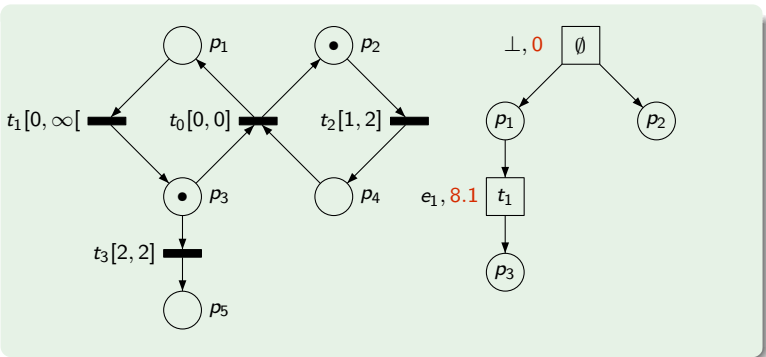
Dépliage non temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique de PTPN

Application à la supervision basée sur les modèles

Conclusion



Processus de branchement temporellement complet

Un TBP est temporellement complet si pour toutes ses extensions e :

$$\max\{\theta(e') \mid e' \in E \wedge \theta(e') \neq \infty\} \leq \text{TOE}(\bullet e, I(e)) + \nu(\text{lft}(I(e))) \quad (7)$$

TBP temporellement complet

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

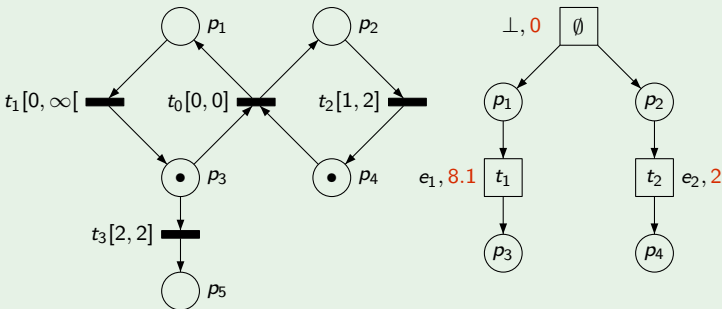
Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion



Processus de branchement temporellement complet

Un TBP est temporellement complet si pour toutes ses extensions e :

$$\max\{\theta(e') \mid e' \in E \wedge \theta(e') \neq \infty\} \leq \text{TOE}(\bullet e, I(e)) + \nu(\text{lft}(I(e))) \quad (7)$$

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking
paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage
symboliques
paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Théorème (Correction)

Soit $\langle B, E, F, I, \nu, \theta \rangle$ un processus de branchement temporel temporellement complet d'un PTPN $\mathcal{N} = \langle P, T, Par, \bullet(\cdot), (\cdot)^\bullet, M_0, J_s, D_p \rangle$. On considère $E_{<\infty} = \{e \in E \mid \theta(e) \neq \infty\}$ et $\theta_{<\infty}$ la restriction de θ à $E_{<\infty}$.

$\langle E_{<\infty}, \theta_{<\infty} \rangle$ est un processus temporel valide.

Théorème (Complétude)

Étant donné un PTPN $\mathcal{N} = \langle P, T, Par, \bullet(\cdot), (\cdot)^\bullet, M_0, J_s, D_p \rangle$ et $\nu \in D_p$ une valuation des paramètres, soit $\langle B, E, F, I, \theta \rangle$ un processus temporel valide du TPN $\llbracket \mathcal{N} \rrbracket_\nu$.

Il existe un processus de branchement temporel

$\langle B', E', F', I', \nu, \theta' \rangle$, tel que

$\forall e \in E, \exists e' \in E', \text{ t.q. } I(e) = I'(e') \text{ et } \theta(e) = \theta'(e').$

Dépliage symbolique paramétré

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symbolique paramétré

Dépliage non
temporels

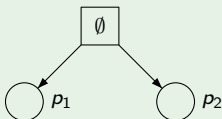
Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Exemple



Dépliage symbolique paramétré

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliegés symboliques paramétrés

Dépliegés non
temporels

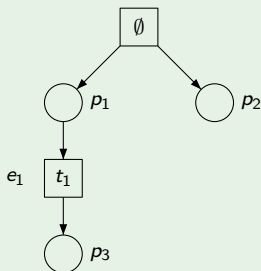
Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Exemple



- $\theta(e_1) \geq 0$

Dépliage symbolique paramétré

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symbolique paramétré

Dépliage non
temporels

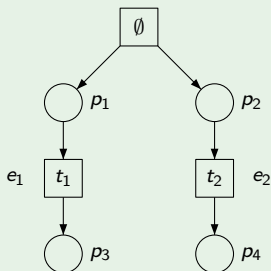
Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Exemple



- $\theta(e_1) \geq 0$

- $1 \leq \theta(e_2) \leq 2$

Dépliage symbolique paramétré

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliegés symboliques paramétrés

Dépliegés non
temporels

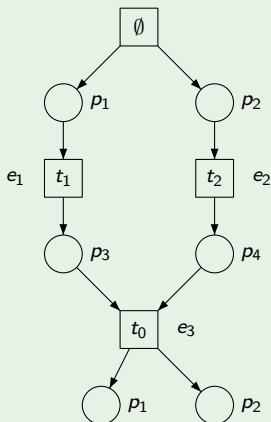
Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Exemple



- $\theta(e_1) \geq 0$
- $1 \leq \theta(e_2) \leq 2$
- $\theta(e_3) = \max(\theta(e_1), \theta(e_2))$

Dépliage symbolique paramétré

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliegés symboliques paramétrés

Dépliegés non
temporels

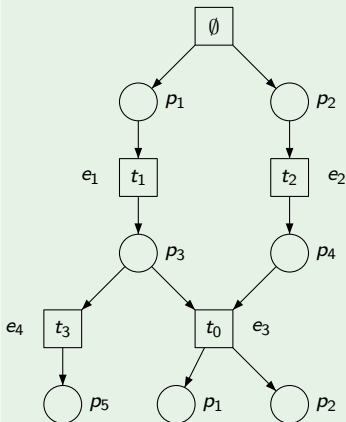
Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Exemple



$e_3 \text{ conf } e_4$

- $\theta(e_1) \geq 0$
- $1 \leq \theta(e_2) \leq 2$
- $\theta(e_3) = \max(\theta(e_1), \theta(e_2))$
 $\wedge \theta(e_3) \leq \theta(e_1) + 2$
 $\wedge \theta(e_4) = \infty$
 $\vee (\theta(e_3) = \infty \wedge \theta(e_4) \neq \infty)$
- $\theta(e_4) = \theta(e_1) + 2$
 $\wedge \theta(e_4) \leq \max(\theta(e_1), \theta(e_2))$
 $\wedge \theta(e_3) = \infty$
 $\vee (\theta(e_4) = \infty \wedge \theta(e_3) \neq \infty)$

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Supervision d'observations partielles

- 1 Une séquence non ordonnée d'observations est issue de capteurs
⇒ liste d'actions correspondant à des événements.
- 2 Ces actions sont assignées à certaines transitions du modèle PTPN
⇒ les autres transitions sont **non observables**.
- 3 Un préfixe du dépliage est construit, guidé par ces observations.
- 4 On extrait ainsi les dépendances causales expliquant les observations.
- 5 Ces explications sont associées à des contraintes sur les paramètres nécessaire à leur exécution.

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Supervision d'observations partielles

- 1 Une séquence non ordonnée d'observations est issue de capteurs
⇒ liste d'actions correspondant à des événements.
- 2 Ces actions sont assignées à certaines transitions du modèle PTPN
⇒ les autres transitions sont **non observables**.
- 3 Un préfixe du dépliage est construit, guidé par ces observations.
- 4 On extrait ainsi les dépendances causales expliquant les observations.
- 5 Ces explications sont associées à des contraintes sur les paramètres nécessaire à leur exécution.

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Supervision d'observations partielles

- 1 Une séquence non ordonnée d'observations est issue de capteurs
⇒ liste d'actions correspondant à des événements.
- 2 Ces actions sont assignées à certaines transitions du modèle PTPN
⇒ les autres transitions sont **non observables**.
- 3 Un préfixe du dépliage est construit, guidé par ces observations.
- 4 On extrait ainsi les dépendances causales expliquant les observations.
- 5 Ces explications sont associées à des contraintes sur les paramètres nécessaire à leur exécution.

Supervision d'observations partielles

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

- 1 Une séquence non ordonnée d'observations est issue de capteurs
⇒ liste d'actions correspondant à des événements.
- 2 Ces actions sont assignées à certaines transitions du modèle PTPN
⇒ les autres transitions sont **non observables**.
- 3 Un préfixe du dépliage est construit, guidé par ces observations.
- 4 On extrait ainsi les dépendances causales expliquant les observations.
- 5 Ces explications sont associées à des contraintes sur les paramètres nécessaire à leur exécution.

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Supervision d'observations partielles

- 1 Une séquence non ordonnée d'observations est issue de capteurs
⇒ liste d'actions correspondant à des évènements.
- 2 Ces actions sont assignées à certaines transitions du modèle PTPN
⇒ les autres transitions sont **non observables**.
- 3 Un préfixe du dépliage est construit, guidé par ces observations.
- 4 On extrait ainsi les dépendances causales expliquant les observations.
- 5 Ces explications sont associées à des contraintes sur les paramètres nécessaire à leur exécution.

Protocole du Bit Alterné : émetteur

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

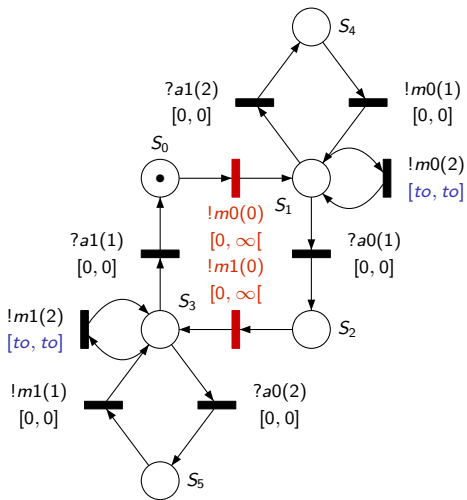
Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles



Conclusion

Protocole du Bit Alterné : récepteur

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrés

Application

Dépliage symboliques paramétrés

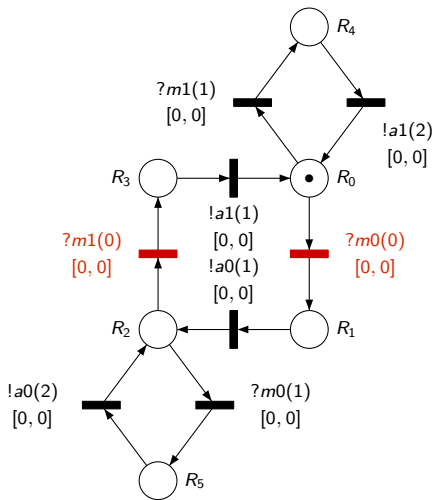
Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion



Protocole du Bit Alterné : canal des messages

Soutenance de thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

- Conception des systèmes temps réel
- Modèles formels
- Une approche de vérification paramétrée

Model-checking paramétré

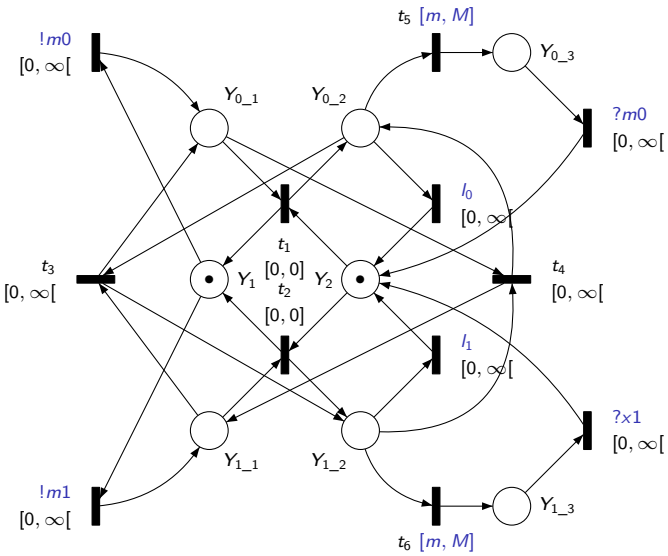
- Graphe des classes d'états paramétrés
- Model-checking de formules TCTL paramétrées
- Application

Dépliage symbolique paramétrés

- Dépliage non temporels
- Processus temporels
- Dépliage symbolique de PTPN

Application à la supervision basée sur les modèles

Conclusion



Protocole du Bit Alterné : canal des accusés de réception

Soutenance de thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de vérification paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes d'états paramétrés

Model-checking de formules TCTL paramétrées

Application

Dépliage symbolique paramétrés

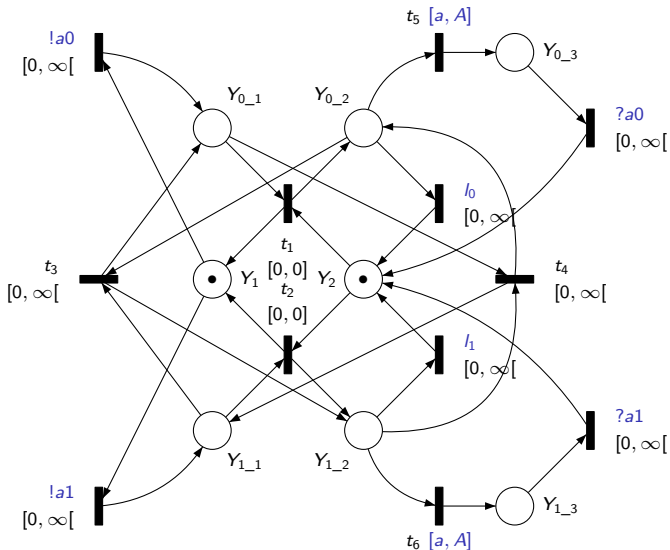
Dépliage non temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique de PTPN

Application à la supervision basée sur les modèles

Conclusion



Supervision du protocole du Bit Alterné

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

- 1 On considère la séquence d'observations partielles suivante : $\sigma = !m0(0), !m1(0), ?m0(0), ?m1(0), ?m0(0)$
- 2 On ajoute un maximum de 15 actions non observables.
- 3 Guidé par ces observations, on construit un préfixe fini du dépliage du modèle.

On extrait 5 explications de ce dépliage :

Explication 1 :

$$\left\{ \begin{array}{l} m \leq A \\ m \leq to \\ m + a \leq 2to \\ m + a \leq to + M \\ to \leq M + A \end{array} \right\}$$

Explication 2 :

$$\left\{ \begin{array}{l} m \leq A \\ m \leq to \\ a \leq M \\ a \leq to \\ to \leq M + A \end{array} \right\}$$

Supervision du protocole du Bit Alterné

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

- 1 On considère la séquence d'observations partielles suivante : $\sigma = !m0(0), !m1(0), ?m0(0), ?m1(0), ?m0(0)$
- 2 On ajoute un maximum de 15 actions non observables.
- 3 Guidé par ces observations, on construit un préfixe fini du dépliage du modèle.

On extrait 5 explications de ce dépliage :

Explication 1 :

$$\left\{ \begin{array}{l} m \leq A \\ m \leq to \\ m + a \leq 2to \\ m + a \leq to + M \\ to \leq M + A \end{array} \right\}$$

Explication 2 :

$$\left\{ \begin{array}{l} m \leq A \\ m \leq to \\ a \leq M \\ a \leq to \\ to \leq M + A \end{array} \right\}$$

Supervision du protocole du Bit Alterné

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

- 1 On considère la séquence d'observations partielles suivante : $\sigma = !m0(0), !m1(0), ?m0(0), ?m1(0), ?m0(0)$
- 2 On ajoute un maximum de 15 actions non observables.
- 3 Guidé par ces observations, on construit un préfixe fini du dépliage du modèle.

On extrait 5 explications de ce dépliage :

Explication 1 :

$$\left\{ \begin{array}{l} m \leq A \\ m \leq to \\ m + a \leq 2to \\ m + a \leq to + M \\ to \leq M + A \end{array} \right\}$$

Explication 2 :

$$\left\{ \begin{array}{l} m \leq A \\ m \leq to \\ a \leq M \\ a \leq to \\ to \leq M + A \end{array} \right\}$$

Supervision du protocole du Bit Alterné

Soutenance de
thèse de doctorat

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking
paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage
symboliques
paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Explication 3 :

$$\left\{ \begin{array}{l} to \leq M + A \\ m + a \leq to + M \\ m + a \leq 2to \end{array} \right\}$$

Explication 4 :

$$\left\{ \begin{array}{l} m \leq A \\ m \leq to \\ to \leq M + A \\ m + a \leq to + M \\ m + a \leq 2to \end{array} \right\}$$

Explication 5 :

$$\left\{ \begin{array}{l} to \leq M \\ a \leq to \end{array} \right\} \vee \left\{ \begin{array}{l} to \leq M \\ m \leq to \\ m + a \leq 2to \end{array} \right\}$$

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking
paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Déplages
symboliques
paramétrés

Déplages non
temporels

Processus temporels

Déplage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Supervision du protocole du Bit Alterné : résultats

On détermine la condition nécessaire suivante pour expliquer les observations :

$$to \leq M + A$$

On peut corriger le système pour empêcher cette exécution en fixant le temps de réémission tel que :

$$to > M + A$$

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliegés symboliques paramétrés

Dépliegés non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Sommaire

- 1 Introduction
 - Conception des systèmes temps réel
 - Modèles formels
 - Une approche de vérification paramétrée
- 2 Model-checking paramétré
 - Graphe des classes d'états paramétrées
 - Model-checking de formules TCTL paramétrées
 - Application
- 3 Dépliegés symboliques paramétrés
 - Dépliegés non temporels
 - Processus temporels
 - Dépliage symbolique de PTPN
 - Application à la supervision basée sur les modèles
- 4 Conclusion

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symboliques paramétrés

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Deux méthodes pour une approche de vérification paramétrée :

Model-checking paramétré

- Vérification de propriétés PTCTL sur un modèle paramétré
- ⇒ on synthétise des conditions paramétrées.
- Ne nécessite pas d'information supplémentaire sur le système.
 - Limité par l'explosion combinatoire et l'indécidabilité du problème.

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symbolique paramétré

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Dépliage symbolique paramétré

- Une méthode préservant la concurrence des réseaux de Petri.
 - En l'absence de préfixe fini complet, un critère d'arrêt est à définir.
 - Utile pour vérifier des propriétés sur les événements et analyser les causalités.
- ⇒ application intéressante au problème de la supervision.

L-M. Traonouez

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

Model-checking paramétré

Graphe des classes
d'états paramétrés

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

Dépliage symbolique paramétré

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Model-checking paramétré

- Amélioration de l'efficacité à l'aide par exemple de DBM paramétrées.
- Recherche de sous-problèmes décidables intéressants.

Dépliage symbolique

- Extension à des modèles à chronomètres.
- Extension à des modèles non saufs.
- Recherche d'un préfixe fini complet.

Introduction

Conception des
systèmes temps réel

Modèles formels

Une approche de
vérification
paramétrée

**Model-checking
paramétré**

Graphe des classes
d'états paramétrées

Model-checking de
formules TCTL
paramétrées

Application

**Dépliage
symbolique
paramétré**

Dépliage non
temporels

Processus temporels

Dépliage symbolique
de PTPN

Application à la
supervision basée sur
les modèles

Conclusion

Merci pour votre attention...

Questions ?