Vérification et automates symboliques

Laure (Danthony-)Gonnord
(Rappels et) Stage de DEA

Sous la direction de Nicolas Halbwachs
Verimag - Grenoble - France
mars-juin 2003

Plan

- La vérification, qu'est-ce que c'est ?
- État de l'art
- Stage de DEA "de la logique des durées aux automates symboliques"

Idée

Cahier des Charges $\Rightarrow$ Logiciel

Idée

Cahier des Charges $\Rightarrow$ Logiciel

Environnement + Logiciel + Système Physique = Système Critique

Idée

Cahier des Charges $\Rightarrow$ Logiciel

Environnement + Logiciel + Système Physique = Système Critique

$\Rightarrow$ BOUM !

➥ Vérifier de façon automatique qu'un programme est correct

Domaines

Différents domaines s'y rapportent :

Domaines

Différents domaines s'y rapportent :

- ⋆ Automates

Domaines

Différents domaines s'y rapportent :

- ⋆ Automates
- ⋆ Logique

Domaines

Différents domaines s'y rapportent :

- ⋆ Automates
- ⋆ Logique
- ⋆ Maths Applis

Domaines

Différents domaines s'y rapportent :

- ⋆ Automates
- ⋆ Logique
- ⋆ Maths Applis
- ⋆ Stats

Domaines

Différents domaines s'y rapportent :

- ⋆ Automates
- ⋆ Logique
- ⋆ Maths Applis
- ⋆ Stats
- ⋆ Compilation

Domaines

Différents domaines s'y rapportent :

- ⋆ Automates
- ⋆ Logique
- ⋆ Maths Applis
- ⋆ Stats
- ⋆ Compilation
- ⋆ . . .

Laboratoires de recherche

En France, les labos :

- ⋆ LSV (Cachan) : Vérification, Automates, . . .
- ⋆ LIAFA (Jussieu) : Algorithmique, Automates, Mots, Vérification . . .
- ⋆ Vérimag (Grenoble) : Conception de Systèmes, Vérification . . .
- ⋆ et aussi : LORIA (Nancy), Irisa (Ker Lahn), . . .

Systèmes étudiés

Différentes modélisations des systèmes :

- ⋆ Automates finis (mots finis ou infinis)

Systèmes étudiés

Différentes modélisations des systèmes :

- ⋆ Automates finis (mots finis ou infinis)
- ⋆ Automates temporisés = automates + horloges

Systèmes étudiés

Différentes modélisations des systèmes :

- ⋆ Automates finis (mots finis ou infinis)
- ⋆ Automates temporisés = automates + horloges
- ⋆ Automates hybrides = automates + var. dynamiques

Systèmes étudiés

Différentes modélisations des systèmes :

- ⋆ Automates finis (mots finis ou infinis)
- ⋆ Automates temporisés = automates + horloges
- ⋆ Automates hybrides = automates + var. dynamiques
- ⋆ Traces (systèmes concurrents)

Systèmes étudiés

Différentes modélisations des systèmes :

- ⋆ Automates finis (mots finis ou infinis)
- ⋆ Automates temporisés = automates + horloges
- ⋆ Automates hybrides = automates + var. dynamiques
- ⋆ Traces (systèmes concurrents)
- ⋆ Programmes assembleur

Systèmes étudiés

Différentes modélisations des systèmes :

- ⋆ Automates finis (mots finis ou infinis)
- ⋆ Automates temporisés = automates + horloges
- ⋆ Automates hybrides = automates + var. dynamiques
- ⋆ Traces (systèmes concurrents)
- ⋆ Programmes assembleur
- ⋆ . . .

➥ Différentes méthodes

Différentes méthodes complémentaires

Méthodes classiques :

- ⋆ Simulation/Test : pb de "couverture"
- ⋆ Theorem Proving : Coq, Isabelle, . . .
- ⋆ Vérification Formelle :
  - Model-checking : ± vérification exhaustive des états
  - Analyse approchée : interprétation abstraite

A l'encontre des idées reçues

2 constats

⋆ Les problèmes intéressants sont indécidables

A l'encontre des idées reçues

2 constats

- ⋆ Les problèmes intéressants sont indécidables
- ⋆ Les rares algos sont de complexité monstrueuse

MAIS

A l'encontre des idées reçues

2 constats

- ⋆ Les problèmes intéressants sont indécidables
- ⋆ Les rares algos sont de complexité monstrueuse

MAIS

- ⋆ Des semi-algorithmes suffisent souvent

A l'encontre des idées reçues

2 constats

- ⋆ Les problèmes intéressants sont indécidables
- ⋆ Les rares algos sont de complexité monstrueuse

MAIS

- ⋆ Des semi-algorithmes suffisent souvent
- ⋆ Un algorithme exponentiel peut s'exécuter rapidement en pratique.

Interprétation abstraite

Méthode (Cousot 72/78) :

- ⋆ Définition d'un opérateur d'élargissement
- ⋆ Calcul d'ensembles emboîtés en avant puis en arrière
- ⋆ Avec de la chance, diagnostic YES

➥ Algorithme conservatif

Interprétation abstraite - 2 - Exemple

```
x:=1
(1)
while x < 10000 do
(2)
    x := x + 1
(3)
od;
(4)
```

Interprétation abstraite - 2 - Exemple

```
x:=1
(1)
while x < 10000 do
(2)
    x := x + 1
(3)
od;
(4)
```

$$X_1 = [1, 1]$$

$$X_2 = (X_1 \cup X_3) \cap [-\infty, 9999]$$

$$X_3 = X_2 \oplus [1, 1]$$

$$X_4 = (X_1 \cup X_3) \cap [10000, +\infty]$$

Interprétation abstraite - 2 - Exemple

```
x:=1
(1)
while x < 10000 do
(2)
    x := x + 1
(3)
od;
(4)
```

$$X_1 = [1, 1]$$

$$X_2 = (X_1 \cup X_3) \cap [-\infty, 9999]$$

$$X_3 = X_2 \oplus [1, 1]$$

$$X_4 = (X_1 \cup X_3) \cap [10000, +\infty]$$

➥ Et maintenant, calculons !

Interprétation abstraite - 3 - exemple

Itérations croissantes et décroissantes :

Interprétation abstraite - 3 - exemple

Itérations croissantes et décroissantes :

X_1	$\emptyset$	$[1,1]$	$[1,1]$	$[1,1]$	$[1,1]$	$[1,1]$	$[1,1]$	$[1,1]$
X_2	$\emptyset$	$\emptyset$	$[1,1]$	$[1,1]$	$[1,2]$	$[1,+\infty]$	$[1,+\infty]$	$[1,9999]$
X_3	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$[2,2]$	$[2,2]$	$[2,2]$	$[2,10000]$	$[2,10000]$
X_4	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$[10000,10000]$

Interprétation abstraite - 3 - exemple

Itérations croissantes et décroissantes :

X_1	$\emptyset$	$[1,1]$	$[1,1]$	$[1,1]$	$[1,1]$	$[1,1]$	$[1,1]$	$[1,1]$
X_2	$\emptyset$	$\emptyset$	$[1,1]$	$[1,1]$	$[1,2]$	$[1,+\infty]$	$[1,+\infty]$	$[1,9999]$
X_3	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$[2,2]$	$[2,2]$	$[2,2]$	$[2,10000]$	$[2,10000]$
X_4	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$\emptyset$	$[10000,10000]$

➥ Sur-approximation du point fixe $\Rightarrow$ pas de dépassement de capacité.

Et maintenant

Le stage de DEA ...

Cadre de l'Etude

– Automates symboliques

Cadre de l'Etude

– Automates symboliques
– Variables numériques

Cadre de l'Etude

– Automates symboliques
– Variables numériques

↪ Comme d'habitude, vérification conservative !

Le langage Lustre

- Modèle synchrone (E/S synchronisées)

Le langage Lustre

- ⋆ Modèle synchrone (E/S synchronisées)
- ⋆ Notion de flot de variables

Le langage Lustre

- ⋆ Modèle synchrone (E/S synchronisées)
- ⋆ Notion de flot de variables

- ⋆ Définitions par équation $s_1 = e_1 \wedge e_2 \wedge \mathtt{pre}(e_3)$
  $(\forall n, s_1^{(n)} = e_1^{(n)} \wedge e_2^{(n)} \wedge e_3^{(n-1)})$

Le langage Lustre

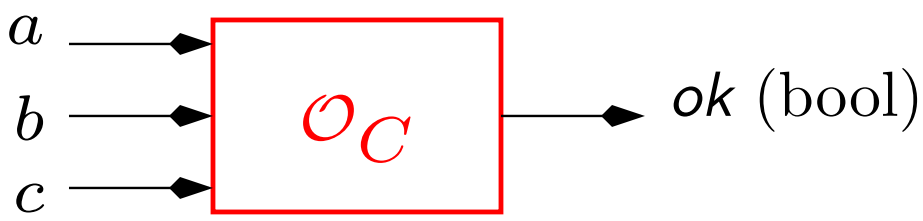
- ⋆ Modèle synchrone (E/S synchronisées)
- ⋆ Notion de flot de variables

- ⋆ Définitions par équation $s_1 = e_1 \wedge e_2 \wedge \mathtt{pre}(e_3)$
  $(\forall n, s_1^{(n)} = e_1^{(n)} \wedge e_2^{(n)} \wedge e_3^{(n-1)})$

➥ automates symboliques

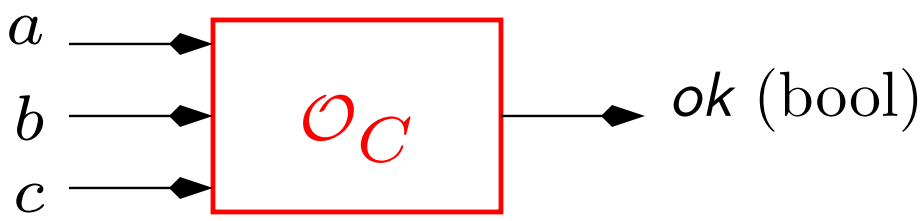
Observateurs

⋆ Propriété ⇒ Automate Observateur



Observateurs

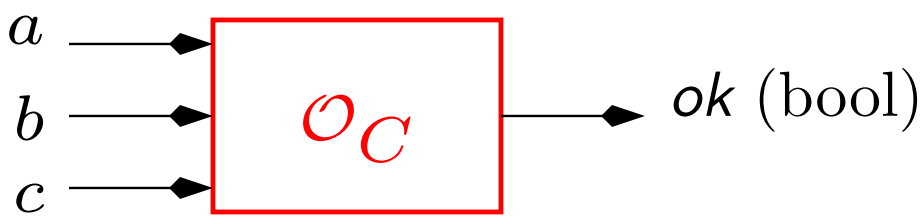
⋆ Propriété ⇒ Automate Observateur



⋆ Spécification dans le même langage

Observateurs

⋆ Propriété ⇒ Automate Observateur

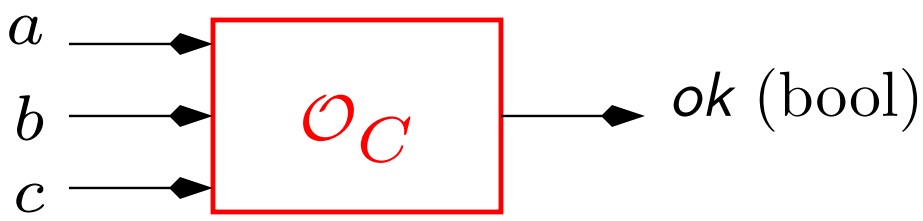


⋆ Spécification dans le même langage

⋆ Exécution en parallèle

Observateurs

⋆ Propriété ⇒ Automate Observateur



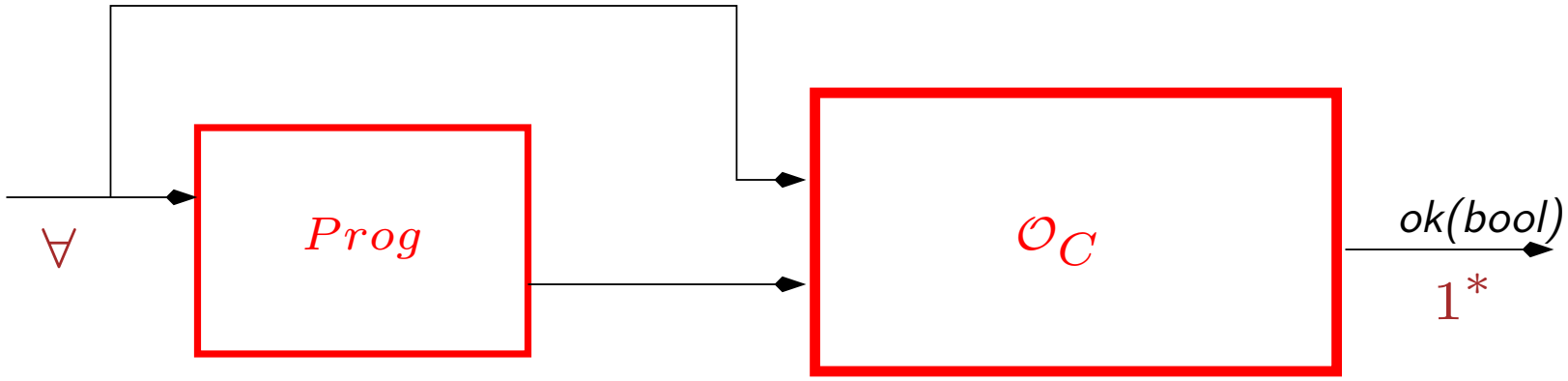
⋆ Spécification dans le même langage

⋆ Exécution en parallèle

➥ But : prouver $L(\neg C) \cap L(Prog) = \emptyset$

Observateurs - 2

Schéma :



Autour de Lustre

Des outils de vérification :

⋆ Lésar : contrôle uniquement : méthode énumérative ou symbolique.

Autour de Lustre

Des outils de vérification :

- ⋆ Lésar : contrôle uniquement : méthode énumérative ou symbolique.
- ⋆ NBac : contrôle + approximation supérieure des états atteignables des variables numériques (polyèdres convexes).

Autour de Lustre

Des outils de vérification :

- ⋆ Lésar : contrôle uniquement : méthode énumérative ou symbolique.
- ⋆ NBac : contrôle + approximation supérieure des états atteignables des variables numériques (polyèdres convexes).

➥ Utilisation des outils existants

Une logique temporelle

"Quantified discrete duration calculus" [Pandya] :

⋆ Une logique temporelle

Une logique temporelle

"Quantified discrete duration calculus" [Pandya] :

- ⋆ Une logique temporelle
- ⋆ Une logique d'intervalles

Une logique temporelle

"Quantified discrete duration calculus" [Pandya] :

- ⋆ Une logique temporelle
- ⋆ Une logique d'intervalles
- ⋆ Modèles : suites finies de fonctions booléennes

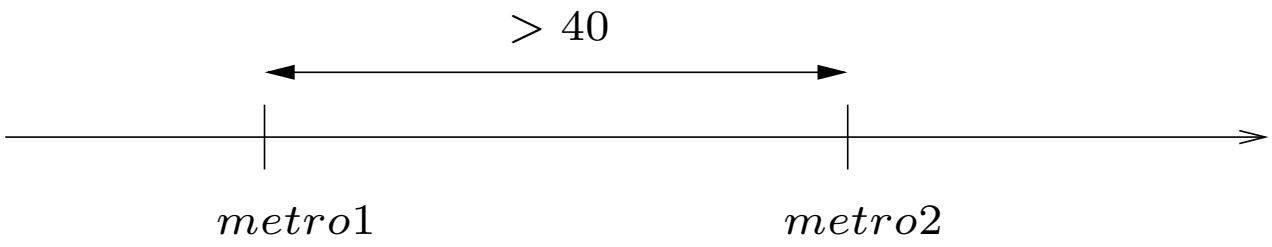
Une logique temporelle

"Quantified discrete duration calculus" [Pandya] :

- ⋆ Une logique temporelle
- ⋆ Une logique d'intervalles
- ⋆ Modèles : suites finies de fonctions booléennes

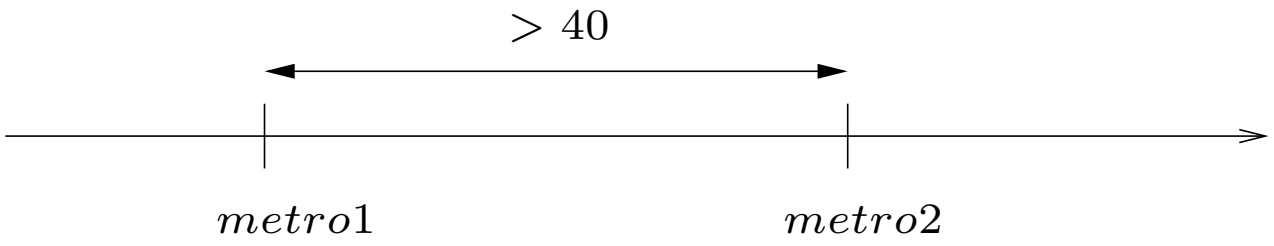
➥ But : Construire $\mathcal{O}_\varphi$

Exemples de propriétés

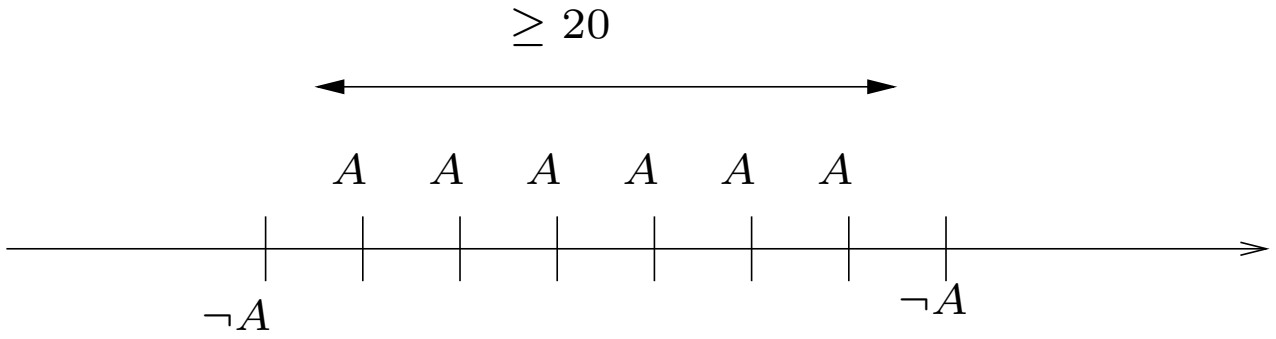


Exemples de propriétés

★



★



Exemples simples d'observateurs

⋆ Soit $\varphi_1 = \lceil\lceil p \rceil\rceil$:

```
ok = p -> p and pre(ok)
```

Exemples simples d'observateurs

- Soit $\varphi_1 = \lceil\lceil p \rceil\rceil$:

```
ok = p -> p and pre(ok)
```

- Soit $\varphi_2 = \Sigma P \leq \delta$:

```
nb_p = 0-> (if p then pre(nb_p)+1 else pre(nb_p));
ok = nb_p <= delta
```

Exemples simples d'observateurs

⋆ Soit $\varphi_1 = \lceil\lceil p \rceil\rceil$:

```
ok = p -> p and pre(ok)
```

⋆ Soit $\varphi_2 = \Sigma P \leq \delta$:

```
nb_p = 0-> (if p then pre(nb_p)+1 else pre(nb_p));
ok = nb_p <= delta
```

➥ Automatisons tout ça !

Conclusion

- ⋆ Travail réalisé : identification de deux fragments QDDC-DET et QDDC-INDET(avec oracle)

Conclusion

- ⋆ Travail réalisé : identification de deux fragments QDDC-DET et QDDC-INDET(avec oracle)
- ⋆ Traduction prouvée et implémentée

Conclusion

- ⋆ Travail réalisé : identification de deux fragments QDDC-DET et QDDC-INDET(avec oracle)
- ⋆ Traduction prouvée et implémentée
- ⋆ Études de cas :

Conclusion

- ⋆ Travail réalisé : identification de deux fragments QDDC-DET et QDDC-INDET(avec oracle)
- ⋆ Traduction prouvée et implémentée
- ⋆ Études de cas :
  - expressivité bonne (Mine Pump)

Conclusion

- ⋆ Travail réalisé : identification de deux fragments QDDC-DET et QDDC-INDET(avec oracle)
- ⋆ Traduction prouvée et implémentée
- ⋆ Études de cas :
  - expressivité bonne (Mine Pump)
  - vérification de propriétés paramétrées.

Conclusion

- ⋆ Travail réalisé : identification de deux fragments QDDC-DET et QDDC-INDET(avec oracle)
- ⋆ Traduction prouvée et implémentée
- ⋆ Études de cas :
  - expressivité bonne (Mine Pump)
  - vérification de propriétés paramétrées.
  - vérification pas toujours concluante

Perspectives

- ⋆ Automates à oracles pour d'autres logiques

Perspectives

- ⋆ Automates à oracles pour d'autres logiques
- ⋆ Meilleurs outils pour les variables numériques

Perspectives

- ⋆ Automates à oracles pour d'autres logiques
- ⋆ Meilleurs outils pour les variables numériques

↪ Poursuite du travail en thèse

Et enfin

http://laure.gonnord.org

http://www-verimag.imag.fr