

## Institut Farman FR 3311 : appel à projets AAP 2016

### Proposition de projet Farman – Volet scientifique

RAILBOOL : convergence de systèmes d' équations booléennes et application à la sécurité ferroviaire

#### LSV – Thales Research Technology

**Intitulé du projet (acronyme ou autre) :** Railbool

**Titre explicite :** convergence de systèmes d' équations booléennes et application à la sécurité ferroviaire

**Version :** Industrielle

**Responsables scientifiques :**

Laurent Fribourg (LSV), fribourg@lsv.ens-cachan.fr

Romain Soulat (Thales Research & Technology), romain.soulat@thalesgroup.com ,

**Durée du projet :** 24 mois

**Membres pressentis de l'équipe-projet :**

Laurent Fribourg, Directeur de Recherche CNRS (LSV)

Romain Soulat, Ingénieur de Recherches

(Laboratoire des Systèmes Embarqués Critiques, Thales Research & Technology)

Sameh Mohamed, doctorant (LSV), stagiaires M1 et M2

#### Résumé du projet :

Thales Research & Technology est le centre français de recherche du groupe Thales. En tant que tel, TRT est amené à traiter des problèmes rencontrés par toutes les différentes entités opérationnelles du groupe (avionique, ferroviaire, spatiale, défense, cybers\_sécurité). Dans ce cadre, le problème de temps de stabilisation de systèmes d'équations booléennes a été identifié. Ce problème a déjà été abordé dans la littérature, principalement dans le domaine de la bio-informatique par l'étude des réseaux booléens [2]. Malheureusement, les solutions proposées (par exemple dans [3, 1]) ne conviennent pas toujours à la spécificité du problème identifié par TRT et ne permettent pas un passage à l'échelle suffisant pour être utilisable dans le cadre industriel prévu. TRT est intéressé par prouver que la dynamique d'un système booléen ne rencontre jamais de cycle et converge toujours vers un point fixe. Un autre sujet d'intérêt est de pouvoir donner une borne supérieure (idéalement exacte) sur le temps maximal de convergence vers les dits points-fixes.

L'expertise du LSV dans le domaine du comportement asymptotique des systèmes dynamiques permet d'envisager une collaboration fructueuse sur ce sujet.

## Description scientifique du projet (3 à 8 pages)

### 1 Contexte

Thales Research & Technology est le centre français de recherche du groupe Thales. En tant que tel, TRT est amené à traiter des problèmes rencontrés par toutes les différentes entités opérationnelles du groupe (avionique, ferroviaire, spatiale, défense, cybersécurité). Dans ce cadre, le problème de temps de stabilisation de systèmes d'équations booléennes a été identifié. Ce problème a déjà été abordé dans la littérature, principalement dans le domaine de la bio-informatique par l'étude des réseaux booléens [2]. Malheureusement, les solutions proposées (par exemple dans [3, 1]) ne conviennent pas toujours à la spécificité du problème identifié par TRT et ne permettent pas un passage à l'échelle suffisant pour être utilisable dans le cadre industriel prévu. TRT est intéressé par prouver que la dynamique d'un système booléen ne rencontre jamais de cycle et converge toujours vers un point fixe. Une autre question d'intérêt est de pouvoir donner une borne supérieure (idéalement exacte) sur le temps maximal de convergence vers les dits points fixes.

### 2 Description

Le système  $S$  est décrit par un ensemble de variables booléennes  $(X_i)$  pour  $i \in \{1, \dots, n\}$ .

Chaque variable  $X_i$  pour  $i \in \{1, \dots, n\}$  est associée à une fonction booléenne  $f_i$  sur un sous ensemble des variables  $(X_i)$  pour  $i \in \{1, \dots, n\}$ .

Les fonctions  $f_i$  suivent la grammaire suivante, où  $X$  est l'une des variables  $X_i$

$$E ::= X$$

$$| \neg E$$

$$| E \wedge E$$

$$| E \vee E$$

Les fonctions  $f_i$  sont appelées fonctions de mise à jour. Une mise à jour du système est composée de l'application de l'ensemble des fonctions de mise à jour sur leurs variables respectives en commençant par  $f_1$  jusqu'à  $f_n$ .

#### Exemple de système booléen et illustration de la mise à jour des variables

Considérons un exemple jouet de système booléen et illustrons comment sont effectuées ces mises à jour.

Prenons l'exemple où le système est composé de trois variables booléennes  $x_1, x_2, x_3$  associées aux fonctions

$$f_1 : (x_1, x_2, x_3) \rightarrow x_2 \text{ or } x_3,$$

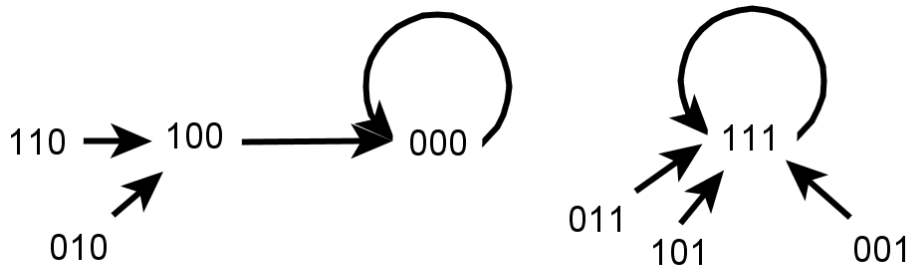
$$f_2 : (x_1, x_2, x_3) \rightarrow x_1 \ \& \ x_3,$$

$$f_3 : (x_1, x_2, x_3) \rightarrow x_1 \ \& \ x_2.$$

Prenons comme point de départ  $(x_1, x_2, x_3) = (1, 1, 0)$ . Par l'application de  $f_1$ , nous obtenons une mise à jour de  $x_1$  et obtenons l'état  $(1, 1, 0)$ , l'application de  $f_2$  conduit à l'état  $(1, 0, 0)$ , finalement l'application de  $f_3$  conduit à l'état  $(1, 0, 0)$ . L'état du système après mise à jour de tous les états est donc  $(x_1, x_2, x_3) = (1, 0, 0)$ . De cet état, nous pouvons remettre à jour toutes les variables pour atteindre l'état  $(x_1, x_2, x_3) = (0, 0, 0)$  et nous remarquons que cet état est un point fixe pour le système.

### 3 Temps de stabilisation

La construction de toutes les transitions pour l'exemple 1 permet d'obtenir la figure suivante



Dans cet exemple on remarque qu'il n'existe pas de cycle, uniquement deux points fixes. Le temps maximal pour atteindre ce point fixe est de 2.

#### 4. Passage à l'échelle recherché

Les systèmes réels étudiés par TRT comportent au minimum quelques centaines de variables, jusqu'à quelques milliers. Cependant, il est conjecturé que le temps de stabilisation maximal est assez court (6 cycles de mises-à-jour complets).

TRT mettra à disposition des exemples réels pour tester ce passage à l'échelle.

#### References

- [1] Daizhan Cheng, Hongsheng Qi, Zhiqiang Li, and Jiang B. Liu. *Stability and stabilization of boolean networks*. International Journal of Robust and Nonlinear Control , 21(2):134-156, 2011.
- [2] Florian Greil. *Dynamics of Boolean Networks* . PhD thesis, Technische Universitat, Darmstadt, September 2009.
- [3] Katsumi Inoue. *Logic programming for boolean networks*. In Proceedings of the Twenty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence - Volume Two , IJCAI'11, pages 924-930. AAAI Press, 2011.
- [4] L. Fribourg and R. Soulat. *Limit cycles of controlled switched systems : existence, stability, sensitivity*. In Proc. New Computational Methods in Inverse Problems (NCMIP), J. of Physics : Conf. Series 464 (012007). IOS Press, 2013.

#### Originalité du projet (1/2p)

La formulation de problèmes de sûreté de fonctionnement dans le ferroviaire sous forme d' équations booléennes est classique. L' originalité du projet vient ici de la question d' élaborer des conditions suffisantes de non-cyclicité de la solution du système, qui est à notre connaissance originale.

Le problème du passage à l' échelle est également un problème crucial. Le fait que TRT mette à disposition des exemples réels est un aspect original important du projet.

### **Valeur ajoutée des différents partenaires à la réalisation du projet (1/2p)**

Les responsables du projet ont une expérience fructueuse de collaboration (le responsable TRT est un ancien doctorant du responsable LSV). Ils ont notamment travaillé ensemble sur la convergence et la cyclicité limite de systèmes dynamiques commutés [4]. La reformulation du problème dans un cadre booléen ouvre de nouveaux champs d'application aux méthodes précédentes. La confrontation avec des exemples réels de grande taille va constituer une incitation à adapter des méthodes théoriques issues de la recherche académique pour faire face au défi du passage à l'échelle.

### **Publication du projet scientifique sur site web Farman**

Acceptez-vous la publication de ce projet scientifique sur le site web Farman ? O