Mise à jour de réseaux d'automates

Mathilde Noual

Mathilde Noual a soutenu sa thèse en juin 2012 à l'École Normale Supérieure de Lyon, thèse préparée au Laboratoire de l'Informatique du Parallélisme (LIP), sous la direction de Sylvain Sené et Eric Rémila. Elle effectue actuellement un stage post-doctoral au sein du Laboratoire d'Informatique, Réseaux et Systèmes (I3S) de Sophia-Antipolis.



Les réseaux d'automates booléens (RAB) sont des objets hérités des réseaux de neurones de la cybernétique [1] qui ont depuis été considérés sous des angles plus ou moins théoriques [2, 3, 6] et appliqués [4, 5]. Ils peuvent être vus à la fois comme des modèles de calcul (composés d'unités de calcul, boîtes noires a priori sans restriction, fonctionnant en réseau), et comme des modèles de systèmes d'interaction, spécialement de réseaux de régulation biologiques (composés d'entités différentes s'incitant les unes les autres à changer d'état). Leur simplicité inhérente permet de mettre en avant deux notions élémentaires : celle de *possibilité de changement*, ou *instabilité locale*, et celle de *travail en réseau*. Dans un RAB, mettre à jour l'état d'un automate capable de changement, c'est le faire obéir à ses influences actuelles et transformer sa possibilité de changement en un changement effectif. Choisir un mode de mise à jour revient donc à organiser dans le temps les événements locaux possibles.

Durant ma thèse j'ai cherché à relier des propriétés comportementales globales des RAB à des propriétés de leur structure d'interaction et de leur mode de mise à

jour. Une de ces questions récurrentes principales a été celle de la différence fondamentale existant entre les effets du *synchronisme* et de l'*asynchronisme*.

Forcer une mise à jour totalement asynchrone consiste à imposer que chaque automate soit mis au courant dès que le moindre changement atomique a lieu dans le réseau (et donc à interdire tout chevauchement d'événements durables). Le synchronisme total (mode parallèle) quant à lui, exploite systématiquement et immédiatement tout potentiel de changement. Quand la structure du RAB est un cycle orienté, le synchronisme maintient constante la quantité de changements possibles de sorte qu'il faut au moins un peu d'asynchronisme pour stabiliser le système localement *et* globalement. Pourtant, dans certains cas, les rôles peuvent être inversés : l'asynchronisme peut maintenir des instabilités asymptotiquement que seul un peu de synchronisme peut espérer stabiliser définitivement en interdisant à plusieurs automates d'avoir le temps de se communiquer leurs mouvements. Les conditions nécessaires à cette situation suggèrent toutefois que majoritairement, ajouter du synchronisme est ineffectif (cela ne fait que court-circuiter ou dévier des trajectoires asynchrones). Les "effets prédominants" du synchronisme et de l'asynchronisme diffèrent donc sensiblement selon les RAB et leur structure.

Sous l'hypothèse d'interactions *monotones*, une caractérisation et une comparaison combinatoires des comportements asymptotiques en parallèle des cycles isolés et tangents a permis de formuler et partiellement prouver la conjecture suivante : "*Intersecter un cycle à un autre réduirait dramatiquement la quantité d'instabilités locales et, par là, réduirait d'un facteur exponentiel le nombre d'attracteurs au profit des attracteurs* localement *plus stables*". Une interaction entre cycles consisterait donc essentiellement en une forte gêne mutuelle. Et même sous le mode de mise à jour le plus enclin à entretenir les instabilités locales le long des cycles, il semblerait que les intersections de cycles "forcent" l'asynchronisme. Ceci expliquerait le peu d'effet du synchronisme dans la plupart des cas. Dans les autres cas, différents résultats suggèrent qu'intrinsèquement, la sensibilité au synchronisme est liée à une circulation d'informations contradictoires entre deux automates (généralisation de la notion d'interaction *non-monotone*).

Références

[1] W. S. McCulloch and W. H. Pitts. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics* **5**, 115–133 (1943).

[2] Ch. Choffrut. Automata networks. *Lecture Notes in Computer Science* **316** (1988).

[3] E. Goles. Comportement dynamique de réseaux d'automates. Thèse de l'université scientifique et médicale de Grenoble (1985).

[4] S. A. Kauffman. Metabolic stability and epigenesis in randomly constructed genetic nets. *Journal of Theoretical Biology* **22**, 437–467 (1969).

[5] R. Thomas. Boolean formalization of genetic control circuits. *Journal of Theoretical Biology* **42**, 563–585 (1973).

[6] F. Robert. *Discrete iterations : a metric study*. Springer Verlag (1986).