

Modélisation de vie artificielle à l'aide d'automates cellulaires continues

Lorsque j'étais plus jeune, je m'étais amusé à jouer au "Jeu de la Vie", une simulation de cellules facile à prendre en main, mais aux possibilités gigantesques. Il m'a donc paru intéressant de pousser les recherches sur la vie artificielle et les automates cellulaires.

Bien qu'il n'y est pas de "joueur" à proprement parler dans ce type de simulation, l'étude des paramètres de simulation permettant l'observation de phénomènes intéressants est une tâche complexe qui peut être considérée comme un jeu. C'est dans ce cadre que s'inscrit mon TIPE dans le thème de l'année.

Professeur encadrant du candidat

Q. Fortier

Positionnement thématique

- INFORMATIQUE(*Informatique Pratique*)
- MATHEMATIQUES(*Mathématiques Appliquées*)

Mots-clés

(<i>français</i>)	(<i>anglais</i>)
Automate Cellulaire	Cellular Automaton
Vie artificielle	Artificial Life
Sensorimoteur	Sensorimotor
Apprentissage Automatique	Machine Learning
Fonction de Croissance	Growth Mapping
Noyau (convolutif)	Kernel

Bibliographie commentée

La vie artificielle est un domaine de recherche faisant appel à des notions mathématiques, informatiques et biologiques. En s'inspirant de systèmes vivants, la recherche sur la vie artificielle est divisée en trois axes^[1]. La ALife (A[r]tificial]Life) "soft", qui consiste en la simulation informatique de comportements semblables à ceux de la vie ; l'axe "hard" qui produit quant à lui des objets matériels, et enfin la ALife "wet", qui synthétise des systèmes vivants à partir de substances biochimiques.

Lorsqu'il est question de vie artificielle "soft", ce sur quoi nous allons nous focaliser, il existe encore divers sous-branches, comme par exemple les réseaux de neurones, les algorithmes génétiques ou les automates cellulaires^[2].

L'automate cellulaire le plus connu est sûrement le "Jeu de la vie", mis au point par le mathématicien anglais Jonh Conway en 1970^[3]. C'est un jeu à zéro joueur, il est appelé ainsi car il n'est défini que par son état initial, fixé par le joueur (joueur qui n'intervient plus par la suite). Ce jeu consiste en la vie de cellules sur une grille, qui naissent, meurent et survivent en fonction des cellules vivantes de leur voisinage. 50 ans plus tard, en 2019, le chercheur B. W. Chan publie une généralisation continue du modèle discret de Conway, qu'il nomme Lenia^[4].

Cette généralisation fait appel à des noyaux convolutifs et des fonctions de croissance^[4], permettant, tout comme le Jeu de la Vie, de connaître l'évolution des cellules au cours du temps et de l'espace.

Mais les configurations initiales de Lenia sont infinies, ainsi il convient de les choisir au mieux si l'on veut observer des phénomènes remarquables. Mais comment bien choisir ces attributs ? C'est ici que l'apprentissage automatique s'avère utile. Par des moyens de machine learning, il est possible de chercher des configurations stables, résistantes à certaines perturbations, capables de sortir d'un labyrinthe, ou encore de se déplacer vers des zones plus favorables à la survie des cellules^{[5][6]}.

Il est également possible de faire des analogies entre notre système de cellules et un réseau de neurones, permettant ainsi d'appliquer des algorithmes de rétro-propagation, qui permettent d'orienter nos cellules vers le comportement souhaité^[5].

Finalement, les méthodes permettant l'observation de phénomènes macroscopiques remarquables à partir de règles élémentaires sont nombreuses, il conviendra donc d'explorer ces différentes voies afin de simuler une forme de vie grâce à ce modèle.

Problématique Retenue

Comment optimiser les attributs d'automates cellulaires continus afin de créer des structures au comportement macroscopiques remarquables ?

Objectif du TIPE

- Implémentation d'une simulation de vie artificielle au moyen d'automates cellulaires continus
- Recherche de paramètres permettant des comportements macroscopiques remarquables
- Chercher à combiner les structures afin d'obtenir une certaine forme de groupement de cellules intelligente ou adaptative.

Références bibliographiques

- [1] Mark A. BEDAU. « Artificial life : organization, adaptation and complexity from the bottom up ». In : *Trends in Cognitive Sciences* 7.11 (2003), p. 505-512. ISSN : 1364-6613. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.09.012>. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364661303002626>.
- [2] M. KOMOSINSKI et A. ADAMATZKY. *Artificial Life Models in Software*. Springer London, 2009. ISBN : 9781848822856. URL : <https://books.google.fr/books?id=hpyEK-Lu2cAC>.
- [3] Eugene M IZHIKEVICH, John H CONWAY et Anil SETH. « Game of life ». In : *Scholarpedia* 10.6 (2015), p. 1816.
- [4] Bert Wang-Chak CHAN. « Lenia : Biology of Artificial Life ». In : *Complex Systems* 28.3 (oct. 2019), p. 251-286. ISSN : 0891-2513. DOI : 10.25088/complexsystems.28.3.251. URL : <http://dx.doi.org/10.25088/ComplexSystems.28.3.251>.
- [5] Gautier HAMON, Mayalen ETCHEVERRY, Bert Wang-Chak CHAN, Clément MOULIN-FRIER et Pierre-Yves OUDEYER. *Learning Sensorimotor Agency in Cellular Automata*. Jan. 2022. URL : <https://hal.inria.fr/hal-03519319>.
- [6] Erwan PLANTEC et al. *Flow-Lenia : Towards open-ended evolution in cellular automata through mass conservation and parameter localization*. 2023. arXiv : 2212.07906 [cs.NE].