

Dynamique intégrro-différentielle en longueur d’onde optique, à retards multiples, pour le “Reservoir Computing”

Romain Martinenghi¹, Sergei Rybalko¹, Lennert Appeltant², Guy Van der Sand², Jan Danckaert², Maxime Jacquot¹, Yanne Chembo¹, & Laurent Larger¹

¹ FEMTO-ST / dépt. Optique, UMR CNRS 6174, Université de Franche-Comté, 25030 Besançon Cedex, France.

² Applied Physics Research Group (APHY), Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, 1050 Brussels, Belgium.

laurent.larger@univ-fcomte.fr

Le “Reservoir Computing” est une discipline de recherche émergente qui est issue du domaine des calculateurs à réseau de neurones [1], et des sciences cognitives du cerveau [2]. Le principe consiste à exploiter le potentiel de calcul universel de systèmes dynamiques complexes (appelés alors *Réservoir*), lors de leur excitation par des données mises en forme pour être injectées dans le système dynamique. Le résultat du calcul, ou encore la solution au problème de l’analyse des données, s’obtient alors par une lecture “adéquate” de la trajectoire-réponse du *Réservoir* dans son espace des phases de grande dimension. Cette lecture consiste en l’apprentissage des localisations de cette trajectoire-réponse, propres à chacune des réponses possibles attendues. La localisation est très généralement effectuée par une séparation linéaire, c’est-à-dire par la recherche d’hyperplans de l’espace des phases qui permettent de mettre en évidence les solutions, celles-ci étant initialement cachées dans les données de départ. Le traitement effectué par le système dynamique complexe sur les données à analyser, peut alors être vu comme un étalement des données initiales, dans un espace de plus grande dimension, ce qui rend possible la séparation des informations initialement “trop” entremêlées.

Le “Reservoir Computing” en est encore à ses débuts, et les “investigations expérimentales” effectuées à ce jour se limitent dans la grande majeure partie des cas à des simulations numériques, où la dynamique complexe est soit un réseau de nœuds dynamiques à non linéarité de type sigmoïdale, soit à des réseaux plus proches des modélisations en neurosciences.

Nous proposons dans cette contribution de présenter les premiers résultats de réalisation d’un *Réservoir* sur la base d’un système dynamique à retards multiples, réalisé en optoélectronique. Dans ce dernier, le grand nombre de retards est destiné à augmenter la connectivité et donc la complexité, dans l’espace des phases de la dynamique à retard, espace de dimension infinie dans un sens similaire à celui des dynamiques spatio-temporelles [3]. Nous présenterons les résultats de caractérisation expérimentale de cette dynamique non linéaire à plusieurs centaines de retards, obtenue en combinant un système optoélectronique [4] à un retard multiple réalisé par un FPGA (composant logique programmable, *Fully Programmable Gate Array*). Le modèle dynamique est dérivé d’un filtre passe-bande (dynamique intégrro-différentielle). Des résultats de simulations numériques permettent de prévoir une efficacité de calcul sur la base d’un test standard NARMA (Nonlinear Auto-Regressive Moving Average) conduisant à une erreur quadratique normalisée inférieure à 0.3 (clairement en dessous du seuil de 0.4 qui est typiquement considéré comme la limite significative pour prétendre à une puissance de calcul sur la base de ce test NARMA).

Références

1. H. JAEGER, The “echo state” approach to analysing and training recurrent neural networks, *Technical Report GMD 148*, German National Research Center for Information Technology, (2001).
2. W. MAASS, T. NATSCHLÄGER, H. MARKRAM, Real-Time Computing Without Stable States : A New Framework for Neural Computation Based on Perturbations, *Neural Comput.* **14**, 2531–2560 (2002).
3. F.T. ARECCHI, G. GIACOMELLI, A. LAPUCCI, R. MEUCCI, Two-dimensional representation of a delayed dynamical system, *Phys. Rev. A* **45**, R4225 (1993).
4. J.-P. GOEDGEBUER, L. LARGER, H. PORTE, Optical cryptosystem based on synchronization of hyperchaos generated by a delayed feedback tunable laserdiode, *Phys. Rev. Lett.*, **80**, 2249–2253 (1998).