

Title	Improving noise robustness of time-delay reservoir computing
Author(s)	康, 子辰
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/88135
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (康子辰)

論文題名

Improving noise robustness of time-delay reservoir computing
(時間遅延リザーバー計算のノイズ耐性の向上)

論文内容の要旨

Reservoir computing is a brain-inspired machine-learning framework that has been successfully used in information processing. A state-of-the-art methodology, called time-delay reservoir (TDR), realizes the reservoir using a single nonlinear physical node with delayed self-feedback. A major advantage of the TDRs is that they can be easily implemented in hardware. This novel paradigm has been demonstrated in several hardware implementations based on analog electronics, electromechanical devices and optoelectronic devices.

In the TDRs, noisy fluctuations in their surrounding environment and quantization noise have non-negligible impacts on their performance. It is necessary to reduce both internal and external noise effects by using noise mitigation techniques. Indeed, noise susceptibility of the TDRs is closely related to their robustness and adaptability.

This dissertation develops methods to improve the noise robustness of the two important types of TDRs in the context of the Fisher memory curve. (1) For single node delay-based reservoir computing, a method to optimize the input mask in a task-independent manner is developed for improving memory performance in the presence of state noise. We theoretically show that the input mask obtained as the maximal principal component of the spatial Fisher memory matrix optimizes the memory performance of such TDRs with small input signal and Gaussian state noise. The single Mackey-Glass oscillator is used to demonstrate the effectiveness of the proposed method via benchmark tasks strongly depending on memory. Compared with the existing optimization method, the proposed one is running-time-efficient and significantly improves memory performance in the presence of state noise. The memory-nonlinearity trade-off in view of the input masks is investigated using the chaotic times series prediction tasks. We also show that the echo state property of such TDRs impaired by state noise can be improved by the optimized input masks via the consistency parameter. (2) This method for input mask optimization is extended for hierarchical deep TDRs coupled unidirectionally. The coupled Ikeda systems are used to illustrate the proposed method. Analogously to the case of the single Mackey-Glass oscillator, we confirm the efficacy of the proposed method on the benchmark memory tasks and investigate the memory-nonlinearity trade-off by using chaotic times series prediction tasks. We also show that the consistency of each layer can be improved by the optimized input masks. In conclusion, the proposed methods facilitate the design of the input masks for improving noise robustness of TDRs on memory tasks.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (康 子 辰)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	鈴木 秀幸
	副 査	教授	谷田 純
	副 査	教授	森田 浩
	副 査	教授	沼尾 正行

論文審査の結果の要旨

リザバー計算は、主に時系列処理に適した高速な機械学習手法として近年注目を集めている。その中で、時間遅れフィードバックを持つ非線形システムをリザバーとして用いる時間遅れリザバー計算はハードウェア実装に適しており、高速・高効率な情報処理の実現に向けて、アナログ電子回路やレーザーなどに基づく様々なハードウェア実装が提案されている。このようなりザバー計算のハードウェア実装においては、実装環境に起因する様々なノイズが情報処理性能に影響を与えるため、その影響を考慮した実装を設計することは重要な課題である。

本論文では、時間遅れリザバーの入力信号に適用するマスクの設計がその性能に大きな影響を与えることに着目して、入力マスクを改善することにより、時間遅れリザバーのノイズ耐性を向上させている。具体的には、時間遅れリザバーから導かれるフィッシャー情報行列の最大固有値に対応する固有ベクトルを入力マスクとして用いることで、性能を向上させることを提案している。時間遅れリザバーの理論解析により、状態ノイズが十分に小さいガウス雑音であり、さらに入力が十分に小さいという仮定の下で、この入力マスクが時間遅れリザバーの記憶容量を最大化させることを示している。また、提案手法をMackey-Glass方程式に基づく時間遅れリザバーに適用してノイズ存在下での数値実験を行い、記憶を要するタスクに対して性能が向上することを示している。さらに、既存の類似の入力マスク最適化手法と比較して、提案手法は圧倒的に高速であり、ノイズ存在下での性能が優れていることを示している。深層時間遅れリザバーに対しても同様の理論解析と結合Ikeda遅延微分方程式を用いた数値実験を行い、提案手法により記憶を要するタスクに対する性能が向上することを示している。これらの結果は一般の時間遅れリザバーに対しても提案手法が有効であることを示唆している。

以上のように、本論文はノイズ存在下における時間遅れリザバーの性能を向上させる手法を提案して、その有効性を確認している。この結果は時間遅れリザバーに関して新たな知見を与えるとともに、時間遅れリザバーのハードウェア実装を設計する際にも有用であることから、情報科学や非線形科学において大きな貢献が認められる。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。