

ランダムネットワークが生み出すマテリアル知能: インマテリオ物理リザーバー

Material Intelligence generated by random network

= In-materio physical reservoir computing devices

九工大生命体工¹、九工大ニューロモルフィック AI ハードウェア研究センター² ○田中啓文^{1,2,*}

Graduate School of LSSE¹, Neumorph Center², Kyushu Inst. of Tech., Hirofumi Tanaka^{1,2,*}

*E-mail: tanaka@brain.kyutech.jp

【はじめに】リカレントニューラルネットワーク(RNN)の一種であるリザーバー演算(Fig.1)は、多電極からの出力重みの学習のみしか必要としないため、エネルギー効率が高くより速い予測や分類タスクを行えると期待されている[1]。非線形性、メモリ効果、高次元性といったエコーステートネットワーク(ESN)型リザーバーの特性を反映した物理的なハードウェアプラットフォームは、現状 AI システムで標準的に使われているソフトウェアベースのインターフェースへの代替が注目されている。本研究では、我々がすでに ESN 型物理リザーバーデバイスとしての有効性を確認している単層カーボンナノチューブ(SWNT)/ポリオキシメタレート(POM)ランダムネットワーク[2]、Ag/Ag₂S 微粒子集合体[3]、Ag/Ag₂Se ナノワイヤー集合体[4]、SWNT/ポルフィリン傾斜 POM(Por-POM)ランダムネットワークなど多様な材料を利用したランダムネットワーク(RNW)を構築し物理リザーバーとした際の電気測定結果を紹介する。また、波形生成、音声認識、把持物体認識などの結果を比較し、どのような特性がリザーバー演算にとって有効なのか検討する。また、ハードウェア接続やロボット応用への取り組みなど最近得られたデータを含め紹介する。【方法】I-V 曲線と波形生成の初歩的なリザーバータスクの測定には、プローブシステムを用いた。入出力信号はLabVIEWソフトウェアによって制御、保存した。【結果と考察】前処理されたSWNT/Por-POM デバイス (Fig.2)非線形スイッチング挙動がみられ、Por-POM の可逆的な酸化還元に起因する記憶状態が生成し、入力信号がリザーバーシステムと高い相互作用があることを示した。このデバイスに正弦波信号を印加し、多電極(この場合 11 電極)からの出力信号の線形結合を、三角波、余弦波、矩形波、のこぎり波を目標関数として学習し、学習結果のテスト出力を行った結果を各々 Fig. 3a-d に示す。この結果から、SWNT/Por-POM の非線形性がエコーステート性を有し、リザーバーとして機能したことが分かる。Ag/Ag₂S ナノ粒子集合体や Ag/Ag₂Se ナノワイヤー集合体でも同様の測定を行い、追従精度などを比較した。当日は、リザーバーデバイスを用い音声認識、触覚認識、論理回路追従などのタスクにこれらのリザーバーデバイスを用い、材料の違いによる特性の差などを紹介する。

Refs:[1]田中剛平ら、リザーバーコンピューティング、森北出版 (2021)に詳細な紹介がなされている。[2] H. Tanaka et al., *Nature Commun.* 9, 2693 (2018). [3] Hadiyawardman, H. Tanaka et al., *JJAP* 60, SCCF02 (2021). [4] T. Kotooka, H. Tanaka et al., preprint in *Nature Portfolio*, DOI: 10.21203/rs.3.rs-322405/v1. [5] D. Banerjee, H. Tanaka et al., submitted.

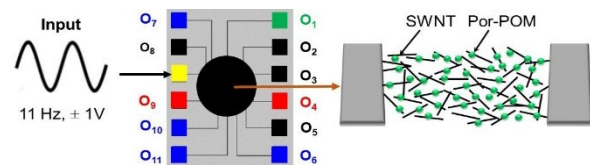
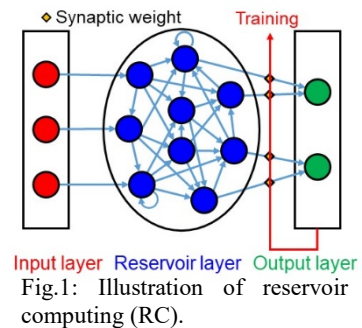


Fig. 2: SWNT/Por-POM complex network. (Left) Structure of device. Input signal was induced at the yellow electrode. Black circle is SWNT/Por-POM network. (Right) Enlarged schematic of the SWNT/Por-POM network which consists of SWNT (black line) complexed with Por-POM (green circle).

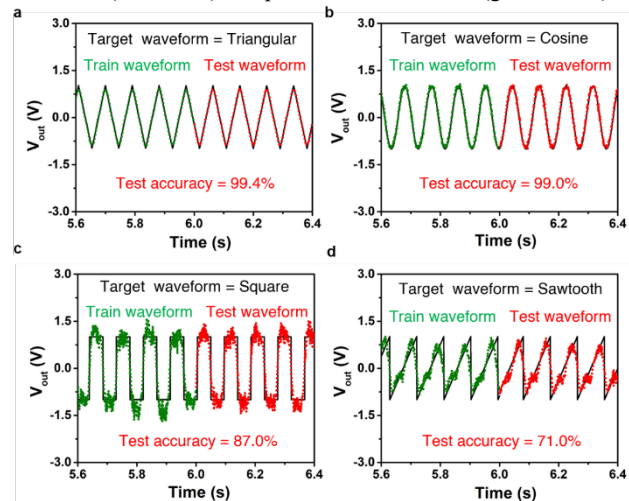


Fig. 3: Train and test waveform fitting to (a) triangular, (b) cosine, (c) square, and (d) sawtooth for the SWNT/Por-POM system transformed from a sine wave input of ± 1 V and 11 Hz. Eleven output weights were first trained via supervised learning (green line), and the performance was evaluated by accuracy between target (black) and test data (red).