

一般化リザーバー計算

Generalized Reservoir Computing

東大情理¹, ○(P) 窪田 智之¹, 中嶋 浩平¹

The Univ. of Tokyo¹, ○(P) Tomoyuki Kubota¹, Kohei Nakajima¹

E-mail: kubota@ai.u-tokyo.ac.jp

リザーバー計算 (RC) は非線形力学系を計算資源として利用する機械学習フレームワークであり, 量子系, スピントロニクス系, 有機材料系, 流体系, ソフトロボット系, 神経系のような様々なモデルに適用できる. RC は非常に広い範囲の系に適用可能であるが, 一方でエコー状態性 (ESP) と呼ばれる前提条件を系に課す. 状態を $\mathbf{x}_t \in \mathbb{R}^N$, 入力を $u_t \in \mathbb{R}$ とすると, 状態方程式 $\mathbf{x}_{t+1} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_t, u_t)$ の解は時間と入力履歴の関数として $\mathbf{x}_t = \mathbf{g}(t, \mathbf{u}_t; \mathbf{x}_0)$ のように表せる. ここで, $\mathbf{u}_t = \{u_{t-1}, u_{t-2}, \dots\}$ は入力履歴を表す. ESP の条件下では, $\mathbf{x}_t$ がエコー関数, すなわち, 入力履歴のみの関数 $\mathbf{x}_t = \mathbf{g}(\mathbf{u}_t)$ になることが要請される.

一方で, ESP を満たさない場合, 状態は時間と入力履歴の関数として記述される (例えば, 入力に駆動されたリミットサイクルやカオス).

ESP を満たさない系では, 入力が時間項と入力項の積の形で処理されるため, 線形回帰では取り出せない. そのため, 既存研究では, このような処理を取り出すために, ヒルベルト変換やトレンド除去のような状態に適した後処理を見つけ, 状態から時間依存性を手動で除去する必要があった.

以上から, リザーバー計算は任意の力学系に適用可能であるが, 従来の枠組みでは計算能力を引き出せない系も存在する. この問題を解決するため, 本発表では, 一般化リザーバー計算 (Generalized Reservoir Computing, GRC) と呼ばれる, ESP を満たすかどうかにかかわらず系から計算能力を引き出す枠組みを提案する.

GRC では, リザーバー層に任意の力学系を, 読み出し層にメモリ付きの多層非線形リードアウトを用い, 最終的な出力で ESP が保持されるように出力層の重みを調整する (図 1). すなわち, 従来の RC ではリザーバー層の状態に ESP を課してきたが, GRC では最終的な出力にのみ ESP を課するように一般化する. 本発表では, この手法が ESP を満たさない系からも計算能力を引き出せることを示す. さらに, ESP を満たさない系に GRC と後処理を適用した結果を比較し, GRC が既存の後処理を代替できることを示す.

以上を通して, GRC が ESP のない力学系からも計算能力を引き出せることを示す. これらの結果は, これまでリザーバーに利用できないと考えられてきた系を計算資源として活用できる可能性を示唆する.

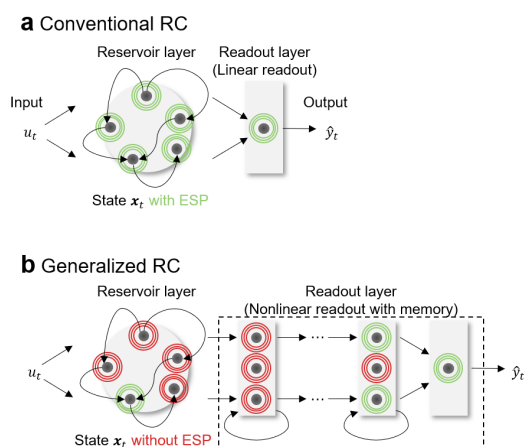


図 1 (a) 従来のリザーバー計算と (b) 一般化リザーバー計算. 緑 (赤) の波紋は, 状態が ESP を満たす (満たさない) ことを表す.