

拡張した情報処理容量によるリザーバーコンピューティングの評価

大澤龍太, 高橋宏知 准教授

Recurrent Neural Network, Reservoir Computing, Echo State Network, Memory Capacity, Information Processing Capacity

1. 序論

情報処理容量 (IPC) はリカレントニューラルネットワーク (RNN) の情報処理を測る指標であり, リザーバーコンピューティング (RC) で利用されてきた.

IPC は, RNN に一様乱数を与え, 出力 $s_{\{d_i\}}$ を直交多項式 $y_{\{d_i\}}$ で分解することで, RNN に記憶された入力 of 形状を定量化する. しかし, 実際に RNN が受ける入力は多様な時間構造と分布構造を有するので, 一様乱数を用いた評価は, 実際の情報処理と異なる可能性がある.

本研究の目的は 2 つある. 1 つ目は, 任意の分布に従う, 独立な入力を与えることで, 入力分布が IPC に与える影響を明らかにすることである. 2 つ目は, 多様な時間相関を持つ入力を与えることで, 時間相関が IPC に与える影響を明らかにすることである.

$$\text{IPC の定義: } C_T(\{d_i\}) = \frac{\langle y_{\{d_i\}} \cdot s_{\{d_i\}} \rangle_T^2}{\langle y_{\{d_i\}}^2 \rangle_T \langle s_{\{d_i\}}^2 \rangle_T}$$

2. 方法

本稿では RNN に echo state network (ESN) を用いた. まず, ESN を線形近似することで, 任意の時空間構造を持つ入力を与えたときの IPC の解析解を近似的に求めた. 次に, 1) 一様分布・正規分布・アークサイン分布・指数分布に従う独立な入力, 2) 自己回帰モデルによって生成される 1 次以上の時間相関を持つ入力, 3) テント写像によって生成される 2 次以上の相関を持つ, 一様分布に従う入力の 3 通りで, IPC を数値的に求めた.

3. 結果・考察

任意の分布に従い, 任意の時間構造を持つ入力に対する IPC を近似的に求めると, 次式ようになる.

$$C_T(\prod_{i=1}^k \theta_{a_i}^{n_i}) = \frac{\varphi^t (\sum_{i=0}^{\infty} W^i A W^{it})^{-1} \varphi}{\langle \prod_{i=1}^k \theta_{a_i}^{2n_i} \rangle_T}$$
$$\varphi = \sum_{i \neq a_1, \dots, a_k} W^i W_{in} \left(\langle \theta_i \prod_{j=1}^k \theta_{a_j}^{n_j} \rangle_T \right) + \sum_{i=1}^k W^{a_i} W_{in} \left(\langle \theta_i^{n_i+1} \left(\prod_{j \neq i}^k \theta_{a_j}^{n_j} \right) \rangle_T \right)$$

ここで, $u(t - a_i)^{n_i}$ を $\theta_{a_i}^{n_i}$ とした. この式から, 独立な入力に対して, 1 次 IPC は分布に依存しないこと, 高次 IPC は分布の高次モーメントに依存すること, 分布が原点对称ならば偶数次の IPC は 0 になることが認められる. さらに, 時間相関を持つ入力に対して, 1 次 IPC は, 1 次相関のみによって決まること, 1 次相関が強まると 1 次 IPC も増すこと, 2 次 IPC は 1 次相関に加え, 2 次以上の相関によって決まることが認められる.

また, 一様分布, 正規分布, アークサイン分布, 指

数分布に従う独立な入力を与えたときの 1 次と 2 次以上の IPC をそれぞれ Fig. 1(a) と Table 1 に示す. 近似式から想定される通り, Fig. 1(a) における 4 本の曲線は重なり, Table 1 において, 偶数次の IPC は 0 になっている.

自己回帰モデルに従う入力を与えたときの 1 次 IPC を Fig. 1(b) に示す. また, テント写像による一様分布に従う入力を与えたときの 1 次と 2 次の IPC を Fig. 1(c) と Table 2 にそれぞれ示す. 近似式から想定される通り, Fig. 1(c) における 2 本の曲線は重なり, Fig. 1(b) における曲線は, φ が増すと上方にシフトする. また, Table 2 におけるテント写像の 2 次 IPC は 0 にならない.

4. 結論

本稿は, ESN を線形近似し IPC の解析解を導出した. さらに, ESN に様々な独立同分布に従う入力を与え, IPC の分布形状への依存性を調べた. また, 1 次または 2 次以上の時間相関を有する入力を与え, IPC の時間相関への依存性を調べた. その結果,

- 任意の独立同分布に従う入力は, そのモーメントを通じて情報処理容量に寄与する.
- 入力の時間構造は, 時間相関を通じて情報処理容量に寄与する.

以上から, 一様乱数を用いた情報処理容量は, 一般の入力を受ける RNN の情報処理を調べるために不十分であることが示された. ただし独立な入力間では, IPC に大きな差は認められなかったため, 一様乱数を用いることで, 他の分布に従う独立な入力の情報処理容量を調べられる可能性がある.

Table 1: 高次の IPC に対する入力分布の影響

IPC	一様	正規	アークサイン	指数
[1, 1], [1, 2]	0	0	0	0.42
[2, 1]	0	0	0	0.65
[3, 1]	0.06	0.26	0.03	0.10

Table 2: 2 次 IPC に対する高次相関の影響

	一様分布	テント写像
[1, 1], [2, 1]	0	0.74
[2, 1]	0	0.28

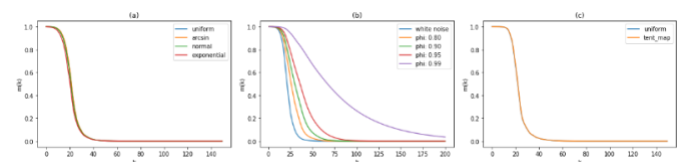


Fig 1: 1 次 IPC に対する入力分布, 時間相関の影響