

河野貴大*, 前田道治*

(*福岡工業大学大学院工学研究科)

1. はじめに

本稿では、リザーバーコンピューティング (Reservoir Computing: RC) を用いて静止画像のごま塩ノイズ除去を行う。

2. ノイズモデル

本稿では、ごま塩ノイズを対象とする。原画像 $I(i, j)$ に対し、確率 $p/2$ で 0、確率 $p/2$ で 255、残りの画素は元の値を保持する。ここで、 p はノイズ密度とする。

3. リザーバー連結

従来の RC における線形フィルタ処理を画像データに適した非線形フィルタ処理 $W_{in} \diamond$ に置き換える。

3.1. ノイズマスクと近傍集合の定義

入力画像 I に対し、ごま塩ノイズの特徴を考慮して同じサイズのバイナリ画像 N を定義する。

$$N(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if } I(i, j) \in \{0, 255\} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

また、画素 (i, j) を中心とするパッチサイズ $(2m \times 1) \times (2m + 1)$ を考え、以下のノイズのっていない画素のみを含む近傍集合である $M_{i, j}$ を定義する。

$$M_{i, j} = \{(s, t) : |s|, |t| \leq m, N(i + s, j + t) = 0\} \quad (2)$$

3.2. ノイズマスクと近傍集合の定義

本稿では、3種類の適応フィルタ (平均, ガウシアン, アンシャープ) を用いた。それぞれの出力を $F_m I(i, j)$, $F_g I(i, j)$, $F_u I(i, j)$ とし、それぞれを結合し、各画素に対して4次元の特徴ベクトルを構成する。

$$W^{in} \diamond I_{i, j} = [F_m(i, j), F_g(i, j), F_u(i, j), 0] \in \mathbb{R}^4 \quad (3)$$

3.3. リザーバーの動作

非線形フィルタにより抽出された特徴ベクトル $W^{in} \diamond I_{i, j}$ を入力とし、次のようにリザーバー状態を更新する。

$$r_1 = \tanh(b + W^{in} \diamond I_{i, j}) \quad (4)$$

$$r_{k+1} = \alpha r_k + (1 - \alpha) \tanh\left(\frac{0.5}{\tanh 0.5} r_k A\right) \quad (5)$$

ここで、 A はリザーバーの結合行列、 b はバイアスペクトル、 α はリーキー係数である。最終的なリザーバー状態ベクトルは以下ようになる。

$$r_{i, j}^l = [r_1 \ r_2 \ \dots \ r_k] \quad (6)$$

3.4. 出力層の学習

学習データ $\{\{I_{i, j}^l\}_{i, j}, \{Z_{i, j}^l\}_{i, j}\}_{l=1}^L$ に対して、式(6) 出力データ

$\{\{r_{i, j}^l\}_{i, j}\}_{l=1}^L$ を用いる。これらを積み上げて最終的なリザーバー状態行列 R を構成し、同様にターゲット行列 Z を構成する。このとき、出力重み行列 W_{out} は次のように最小二

乗問題を解くことにより求める。

$$W_{out} = \arg \min_W \|Z - RW\|_2^2 \quad (7)$$

3.5. 修復処理

推定時は、ノイズ画素に対して同様に特徴抽出を行い、リザーバーにより得られた状態ベクトル $R(i, j)$ と学習済みの出力重み W_{out} を用いて、各画素の推定値 $\hat{I}(i, j)$ を以下のように計算する。

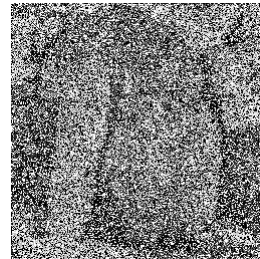
$$\hat{I}(i, j) = R(i, j)W_{out} \quad (8)$$

4. 数値実験

以下の条件で実験を行った。

入力画像 pepper(256 × 256), パッチ半径 $m = 2$, リザーバーのノード数 10, バイアスペクトル $b = -0.51$, リーキー係数 $\alpha = 0.5$, 反復回数 $K = 4$, スペクトル半径 $\rho = 0.9$, 試行回数 30回である。

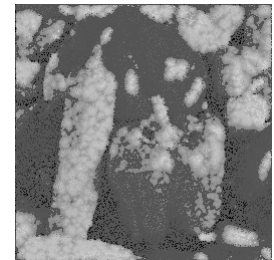
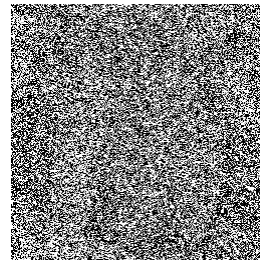
図1および図2はそれぞれノイズ率60%および80%である。図にはノイズ画像と修復画像を示している。本実験では、PSNR を用いて評価を行った。実験の結果ノイズ率60%で23.8188, 80%で18.6012となり、良好な結果が得られた。



(a) ノイズ画像

(b) 修復画像

図 1 ノイズ率60%



(a) ノイズ画像

(b) 修復画像

図 2 ノイズ率 80%

5. まとめ

リザーバー連結を適応することで、ごま塩ノイズの除去が可能となった。

参考文献

- [1] I. Lee, Y. Kim, T. Kim, H. Choi, S. Yang, Y. Kim, Recursive reservoir concatenation for salt-and-pepper denoising, Pattern Recognition 160 (2025) 1-11.