



ニューロンにより構成されており、隣接するセルのみと接続した構造をしている。座標  $(i, j)$  におけるセルを  $C(i, j)$  とし、セルの入力を  $u_{ij}$ 、セルの状態変数を  $x_{ij}(t)$ 、セルの出力を  $y_{ij}(t)$ 、セルの平衡解を  $y_{ij}^e$  とする。フィードバックテンプレートを  $A(i, j; k, l)$ 、ガウス関数の標準偏差を  $\sigma$  とすると CNN の状態方程式は次式により与えられる。

$$x_{ij}(t+1) = u_{kl} + \sum_{C(k,l) \in N_r(i,j)} A(i, j; k, l) y_{kl} \quad (1)$$

$$y_{ij}(t) = f(x_{ij}(t)) \quad (2)$$

$$f(x) = \begin{cases} -1 & x \leq -\frac{1}{\alpha} \\ x \cdot \alpha & -\frac{1}{\alpha} \leq x \leq \frac{1}{\alpha} \\ 1 & \frac{1}{\alpha} \leq x \end{cases} \quad (3)$$

$$A = A(i, j; k, l), \quad C(k, l) \in N_r(i, j), \quad (4)$$

$$= \begin{cases} 0 & \text{if } k = i \text{ and } l = j \\ -\frac{1}{\alpha} \exp\left(-\frac{(k-i)^2 + (l-j)^2}{2\sigma^2}\right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

ここで、 $\alpha$  はフィードバックテンプレートの係数とを 1 とする正規化係数である。また、セルの  $r$  近傍を  $N_r(i, j) = \{C(k, l) \mid \max(|k-i|, |l-j|) \leq r\}$  と定義する。式 (1) を反復計算することで平衡解が得られる。次に、平衡解を図 2 に示すように拡大率  $d_m$  に応じて等間隔に配置し、出力テンプレート  $D(i, j; k, l)$  を適用し、拡大画像を得る。このとき出力テンプレートは次式により与えられる。

$$D = D(i, j; k, l), \quad C(k, l) \in N_{r'}(i, j), \quad (5)$$

$$= \frac{1}{\beta} \exp\left(-\frac{\frac{(k-i)^2}{d_m^2} + \frac{(l-j)^2}{d_m^2}}{2\sigma^2}\right)$$

ここで、 $\beta$  は出力テンプレートの係数とを 1 とする正規化係数であり、 $N_{r'}(i, j) = \{C(k, l) \mid \max(|k-i|, |l-j|) \leq rd_m\}$  である。

#### 4 超解像実験

提案手法の超解像性能を評価するため、解像度  $512 \times 512$  の 16 枚の 8bit グレースケール画像を用いて、基本 IBP 法、提案手法での 4 倍超解像による超解像実験を行った。基本 IBP 法と提案手法を比較して、PSNR の改善量が最大、最小の画像の各手法における結果画像の一部を図 3 に示す。また、PSNR による評価結果を表 1 に示す。図 3 より基本 IBP 法では机や人などの輪郭部に原画像には存在しない疑似輪郭が確認できる。また、表 1 より提案手法は基本 IBP 法よりも PSNR が平均約 4.43dB 高く、客観的評価においても提案手法は基本 IBP 法より優れた性能を有していることが確認できる。これらの結果から、提案手法の有効性が明らかになった。

#### 5 結論

本論文では、グレースケール画像に対する IBP 法における画像拡大方法に CNN 予測を用いた超解像手法を提

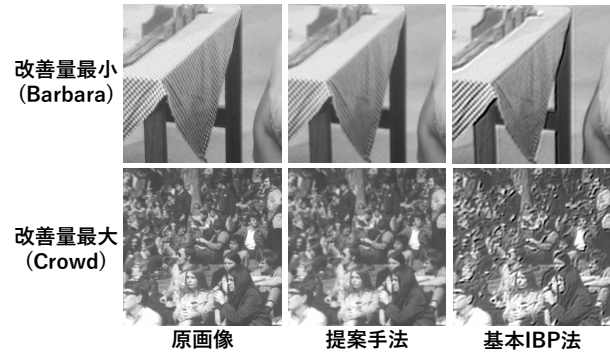


図 3 各手法による超解像結果 (一部抜粋)

表 1 PSNR による各手法の超解像性能評価 [dB]

	提案手法	基本 IBP 法
Aerial	<b>26.34</b>	20.74
Airplane	<b>30.52</b>	25.08
Baboon	<b>23.94</b>	21.69
Barbara	<b>24.35</b>	22.71
Boat	<b>28.83</b>	23.87
Bridge	<b>25.53</b>	21.70
Couple	<b>28.44</b>	24.33
Crowd	<b>31.41</b>	23.87
Elaine	<b>32.48</b>	28.90
Goldhill	<b>30.34</b>	26.06
Lena	<b>32.99</b>	25.73
Milkdrop	<b>34.36</b>	30.51
Peppers	<b>31.96</b>	27.14
Sailboat	<b>29.13</b>	23.68
Shapes	<b>32.94</b>	28.92
Tiffany	<b>30.46</b>	28.26
平均	<b>29.63</b>	25.20

案した。様々な画像に対しての実験結果より、提案手法は基本 IBP 法と比べ主観的評価と PSNR による客観的評価の両方において良好な結果を得ることができ、提案手法の有効性が確認できた。

#### 参考文献

- [1] C. Ledig, L. Theis, F. Huszar, J. Caballero, A. Cunningham, A. Acosta, A. Aitken, A. Tejani, J. Totz, Z. Wang, and W. Shi, "Photo-realistic single image super-resolution using a generative adversarial network," The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp.4681-4690, July 2017.
- [2] 鈴木寿晃, 藤原徹, 佐藤誠, "超解像技術を用いた画質向上の解析と検討," 映像情報メディア学会年次大会講演予稿集, 6-4, Aug. 2012.
- [3] M. Irain, "Improving resolution by image registration," Graphical models and image processing, vol.53, pp.231-239, May 1991.
- [4] L.O. Chua and L. Yang, "Cellular Neural Networks: Theory," IEEE Transactions on Circuits and Systems, pp.1257-1272, Oct. 1988.