

多数決機械に基づく人工画像の拡大 Enlargement of Artificial Images using Committee Machine

神田 真宏
KANDA, Masahiro

概要: 拡大画像を生成するためには補間処理を行う必要がある。補間法としては一般に最近隣補間法、線形補間法、三次畳込補間法などが用いられる。人物・風景等の自然画像においては画像を滑らかに補間処理できるが、CG等の人工画像においてはエッジ部がなまり、画像が不鮮明になる問題が起こる。本研究では、多数決機械を用いて人工画像の一種である2値画像の鮮明な拡大画像を生成する手法を提案する。多数決機械は、線形パターンを識別する奇数個の線形機械から構成されるシステムであり、各線形機械の多数決により非線形パターンを認識する。対象画像の補間処理に必要な画素に対して、多数決機械により適切な補間値を決定することで拡大画像を生成する。各線形機械が持つパラメータは、元画像と理想画像の組を用いた学習により決定される。数値的、および主観的な評価により、提案手法と従来手法で拡大された画像を比較する。数値的評価には、平均二乗誤差(MSE)、適合率、再現率、F値の4つの評価指標を用いる。主観的評価では、大学生・大学院生24名を被験者として、提案手法と従来手法によって拡大された3つの画像を提示し、多数決機械による拡大画像を基準にして5段階評価をさせる。

Summary: Enlargement of images needs pixel interpolation by the nearest-neighbor interpolation, the linear interpolation, the tricubic interpolation, etc. While natural images such as photographs can be interpolated clearly by those methods, edges of artificial images may become blurred. This study aims to enlarge binary format images clearly and proposes an interpolation method using “committee machine”. Committee machine consists of the odd number of linear machines, which recognize linear patterns, and recognizes non-linear patterns. The machine enlarges target images by deciding appropriate interpolated values for each pixel. Parameters for each linear machine are adjusted using original and ideal images for learning. Numerical and subjective experiments were conducted for evaluating the effectiveness of the proposed method. Numerical evaluation uses Mean Squared Error, precision, recall and F value. Subjective evaluation is for 24 people of undergraduate and graduate students to give a five-stage grade for each enlarged images. The results show that images enlarged by the proposed method are more clearly than ones enlarged by conventional method.

キーワード: 多数決機械・画像拡大・2値画像

Keywords: Committee Machine, Image Enlargement, Binary Format Image

1. はじめに

デジタル画像において、濃淡がなく画素の色が白と黒しかない図形・画像は、2値画像と呼ばれる。2値画像処理はコンピュータ画像処理の中でも特異な位置を占めており、実用的な画像処理システムの中で最も熱心に用いられている[1][2][3]。2値画像処理において重要な処理の1つに画像の拡大処理がある。拡大画像を生成するために、拡大前の画像にはない画素情報の補間処理を行う必要がある。代表的な補間処理法として、最近隣補間法、線形補間法、3次畳込み補間法などがある。以上の補間処理法では、2値画像においてはエッジ部がなまることで画像が不鮮明になるという問題点がある。

本論文では、2値画像の鮮明な拡大を目的として、多数決機械に基づく拡大手法を提案する。多数決機械とは、線形パターンの識別が可能な奇数個の線形機械から構成

されるシステムである。各線形機械の出力の多数決により非線形パターンを認識する。

提案手法における多数決機械は、画像拡大にあたって補間が必要な画素の近傍画素値を入力として受け取り、奇数個の線形機械の多数決により補間値を出力する。各線形機械が持つパラメータは、元画像と理想画像の組を用いた学習により決定される。

数値的、および主観的な評価により、提案手法と従来手法で拡大された画像を比較する。数値的評価には、4つの評価指標を用いる。主観的評価では、大学生・大学院生を被験者として、各手法によって拡大された画像を提示し、評価をさせる。

2. 多数決機械

2-1. 既存研究

多数決機械を用いた既存研究として、雑音重畳画像の

本研究の一部は、電気情報通信学会の2011年度『回路とシステムワークショップ』において発表した。

強調[4]やインパルス性雑音の検出[5]などがある。雑音重畳画像の強調の研究では、画像の各画素をエッジ部と雑音部に分別するマップ情報を生成する手法を提案している。雑音重畳画像の局所窓内の画素を入力値とし、当該画素がエッジ部であるか雑音部であるかを出力値とする。また、インパルス性雑音の検出の研究では、画像信号に重畳したインパルス性雑音を多数決機械によって検出する手法を提案している。処理点と近傍領域との差分値を入力値とし、インパルス性雑音の有無を判断する。

2-2. 多数決機械によるパターン認識

多数決機械は線形パターンの識別が可能な M 個の線形機械から構成される。ここで線形機械の数 M は奇数とする。各線形機械により入力パターンを 2 クラスに分別し、より多くの線形機械の出力となったクラスを多数決機械の出力とする。線形機械 $L_k(k=1, 2, \dots, M)$ が N 次元の荷重ベクトル $\mathbf{w}_k=(w_{k,1}, w_{k,2}, \dots, w_{k,N})$ と基準値 s_k を保有するとする。このとき、線形機械の出力となる 2 クラスは、 N 次元空間を超平面 $w_{k,1} \cdot x_1 + w_{k,2} \cdot x_2 + \dots + w_{k,N} \cdot x_N - s_k = 0$ によって分けたそれぞれの空間領域に相当する。 N 次元の入力パターン \mathbf{x} が属するクラスは、荷重ベクトル \mathbf{w}_k との内積 p_k と基準値 s_k の大小関係で決まる。入力パターン \mathbf{x} のクラスを示す線形機械 L_k の出力 l_k は式 1, 2 のように定義される。

$$p_k = \sum_{n=1}^N x_n \cdot w_{k,n} \quad (1)$$

$$l_k = \begin{cases} +1 & : p_k \geq s_k \\ -1 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

すべての線形機械について l_k を算出し、過半数の線形機械の出力が $+1$ のときには 1 、 -1 のときには 0 を多数決機械の入力パターン \mathbf{x} に対する出力 m とする。出力 m の定義を式 3 に示す。

$$m = \begin{cases} 1 & : \sum_{k=1}^M l_k > 0 \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

2-3. 多数決機械のパラメータの学習

I 組の入力パターンと出力の組を訓練事例として、多数決機械のパラメータを学習する。学習の手順を以下に示す。

- ① $M \leftarrow 3$
- ② $i \leftarrow 0$
- ③ 各々の線形機械 L_k に対して、入力パターン $\mathbf{x}(i)$ に対する出力 $l_k(i)$ を出し、多数決機械の出力 $m(i)$ を求め理想値 $y(i)$ と比較し、値が等しければ正答、等しくなければ誤答とする。
- ④ $i \leftarrow i+1$
- ⑤ $i \geq I$ となるまで③~④を繰り返す。
- ⑥ パラメータを修正する。
- ⑦ ②~⑥を繰り返す。(R 回)
- ⑧ $M \leftarrow M+2$
- ⑨ $M > M_{max}$ となるまで②~⑧を繰り返す。

パラメータの修正は、 $m(i) \neq y_i$ となった入力パターン $\mathbf{x}(i)$ に関して、識別を誤った線形機械のみ行う。 $w_{k,n}$ および s_k の修正式を式 4, 5 に示す。

$$w_{k,n} \leftarrow w_{k,n} - c \cdot l_k(i) \cdot x_{i,n} \quad (4)$$

$$s_k \leftarrow s_k + c \cdot l_k(i) \quad (5)$$

$$\begin{cases} m(i) \neq y_i \\ 0 \leq l_k(i) + y_i \leq 1 \\ 1 \leq n \leq N \end{cases}$$

式 4, 5 の定数 c はパラメータ修正の重み定数であり、すべての線形機械に対して c の値を同じにすると、パラメータ修正を繰り返してもすべての線形機械が同一になる。多数決による相互補完が可能な線形機械を生成するため、識別を誤った線形機械のうち $|p_k(i) - s_k|$ の値が最大であるものとそれ以外の線形機械に対して異なる c の値を設定する。

3. 多数決機械の画像拡大処理への適用

3-1. 入力パターン

入力画像において補間するべき各画素を図 1 のように A, B, C の 3 種類のポジションに分類する。図 1 は画像を 3 倍に拡大した場合の例である。黒塗りの画素は、補間する必要のない画素を示す。3 種類のポジションの分類条件は表 1 の通りである。パラメータ学習の際や、実際に画像を拡大する際の入力パターンを \mathbf{x} として、対象の画素のポジションの種類に応じて図 2 の黒塗りの画素に対する原画像や入力画像の画素値を設定する。ポジション A, B, C の画素に対して、例として 2×3 , 3×2 , 2×2 のサイズの局所情報を表しているが、局所情報のサイズは変更可能である。また、必要な入力画素値が画像の枠外になる場合は、デフォルト値 (255 : 白) で代替する。補間すべき画素の座標とポジションから、必要な周辺の画素を決定して一次元ベクトルの入力パターンとして用いる。また、3 種類のポジションごとに入力パターンが異なるため、本論文では各々のポジションごとに 3 つの多数決機械を割り当て、計 3 つの多数決機械を用いている。多数決機械のパラメータ学習もポジションごとに行う。

表 1 ポジションの分類条件

位置	条件
A	同じ行に補間する必要のない画素がある
B	同じ列に補間する必要のない画素がある
C	同じ行と列に補間する必要のない画素がない

3-2. パラメータ学習

拡大前の原画像と拡大後の理想画像を用いて、各線形機械のパラメータを学習する。原画像の補間が必要な画素の近傍画素値を入力パターン $\mathbf{x}(i)$ とする。理想画像の当該画素値 $y(i)$ が白である場合に多数決機械の出力 $m(i)$ が 1、黒である場合には出力 0 となるよう、ポジション A, B, C それぞれの多数決機械の、 M 個の線形機械の荷

重ベクトル w_k と基準値 s_k を調整する. 使用する線形機械数を 3 個から M_{max} 個まで 2 個ずつ増やしていき, $m(i) = y(i)$ である画素が最多となった多数決機械のパラメータを採用する.

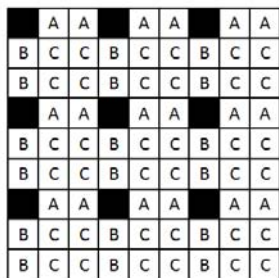


図1 ポジションの分類

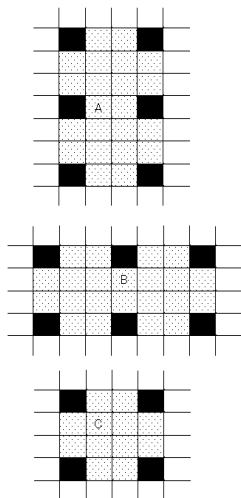


図2 ポジションごとの局所情報位置

4. 数値的評価

従来手法として, 最近隣補間法とフィルタ付き線形補間法を用いて, 提案手法と比較した. フィルタ付き線形補間法とは, 白画素値と黒画素値の中間値をしきい値として, 線形補間を行った画素を白画素値か黒画素値に設定する方法である.

4-1. 評価方法

評価における各種条件を表2に示す. 拡大画像においては, 画像サイズが 256×256 である四角形, 三角形, 丸, sin 波の画像と画像サイズが 512×512 である Mix の画像を原画像として用いる. 評価指標として, 平均二乗誤差 (MSE), 適合率, 再現率, F 値の 4 つを用いる.

表2 数値的評価における各種条件

局所窓サイズ	16×16
重み定数 c	(0.000001, 0.000001)
試行回数 R	1500
線形機械の最大数 M_{max}	11

4-2. 評価結果

評価結果のグラフを図3, 4, 5, 6に示す. 提案手法は sin 波の画像において MSE, 適合率, 再現率, F 値のすべての値がフィルタ付き線形補間法に劣る結果となった. sin 波の画像における提案手法と最近隣補間法の比較や, 他の画像においては, すべての指標値が従来手法よりも提案手法が上回る結果を確認できた.

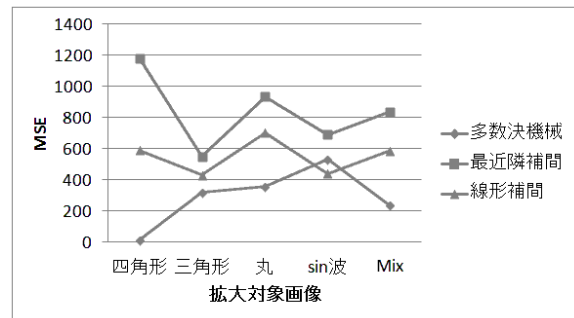


図3 拡大対象画像評価のMSE

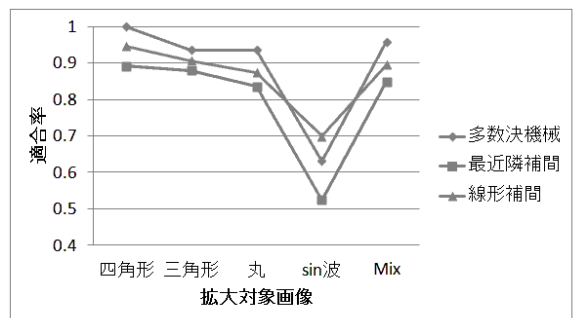


図4 拡大対象画像評価の適合率

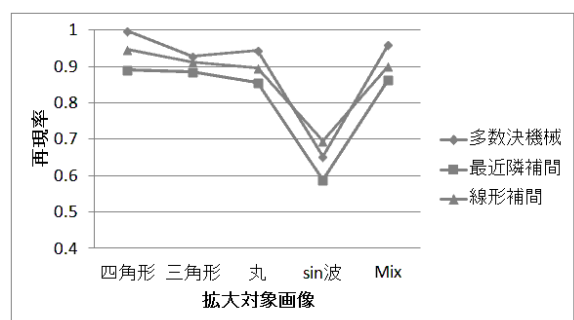


図5 拡大対象画像評価の再現率

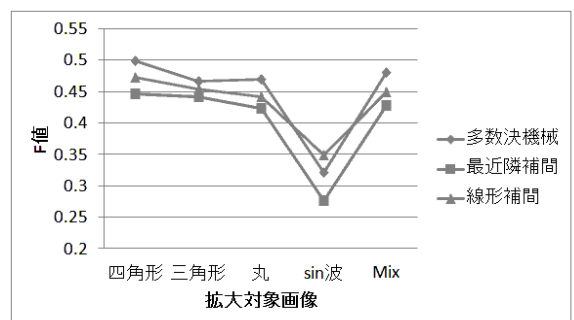


図6 拡大対象画像評価のF値

5. 主観的評価

5-1. 評価方法

大学生・大学院生 24 名を対象としてインターネットを介したウェブブラウザ上での主観的評価を行う。評価対象画像として、拡大対象画像評価において各手法により生成された 15 の画像を用いる。各画像に用いられた拡大手法は被験者に伏せた状態で、各手法における四角形、三角形、丸、sin 波、Mix の画像をそれぞれ 3 つずつブラウザ上に表示する。提案手法における拡大画像を基準にして、他の 2 つの画像を「非常に良い」、「少し良い」、「同じくらい」、「少し悪い」、「非常に悪い」の 5 段階で評価を行わせる。

5-2. 評価結果

表 3 に各画像に対する被験者 24 名の平均点と標準偏差を示す。四角形の画像に関しては、多数決機械よりも高い評価点となっている。標準偏差の値が小さくなっていることから、被験者個々人の嗜好に依らない精度の高い補間処理結果となったことがわかる。sin 波、Mix の画像に関しては、多数決機械による拡大画像は最近隣補間法による拡大画像と同等の評価点となり、フィルタ付き線形補間法よりも優れた評価点となった。sin 波に関しては、5 つの対象画像中もっとも標準偏差が大きくなった。sin 波の複雑な曲線部に対する被験者の嗜好が表れたためと考えられる。丸、三角形の画像に関しても、多数決機械は従来手法の両方の補間処理よりも優れた評価点となった。従来手法の補間処理は拡大画像の斜線部や曲線部に粗い凹凸が目立つため、被験者からの評価点が低い傾向となったと考えられる。

表 3 主観的評価結果

		四	三	丸	sin	Mix
最	平均	4.75	2.42	1.92	3.04	3.33
	標準偏差	0.52	1.08	0.81	1.27	1.14
線	平均	4.58	2.29	1.96	2.17	2.88
	標準偏差	0.70	1.14	0.89	1.21	0.97

6. 考察

提案手法で生成した拡大画像に粗い箇所があった。特に画像内の図形の隅の領域において画素の粗い箇所が確認できた。画素の粗い箇所とは、本来は黒の画素となるべき部分が白として補間処理されている箇所である。隅の領域は局所窓内に含まれる白の画素情報が多いため、正確に補間処理を行うことができなかったと考えられる。

数値的評価より、提案手法は細い線を含む画像の拡大処理において、精度が悪いことが確認できた。sin 波の画像では、曲線部が細かいため、局所窓内に含まれる黒色の画素数が少なくなることで、パラメータ学習の精度が落ちたと考えられる。したがって、フィルタ付き線形補間法による拡大画像よりも数値結果が悪かったといえる。

主観的評価より、四角形の画像において、提案手法は

従来手法より悪い結果となった。四角形の画像は、垂直・水平の形状しかもたない単純な画像のため凹凸がなく、画像の粗い領域がある提案手法よりも従来手法の方が良い結果になったと考えられる。

三角形と丸の画像において、提案手法は従来手法よりも良い結果となった。従来手法は、斜線・曲線部が含まれる画像において評価点が低いことが確認できた。従来手法は、斜線・曲線部を補間処理すると凹凸が目立つため、被験者には画像の粗い領域が含まれる画像よりも鮮明さが劣ると判断されたと考えられる。

従来手法の最近隣補間法とフィルタ付き線形補間法を比較すると、数値的評価と主観的評価で結果が異なることがわかった。数値的評価では、フィルタ付き線形補間法の方が良い結果となったが、主観的評価では最近隣補間法の方が良い結果となった。拡大処理結果の画像において、最近隣補間法は凹凸が目立つが、フィルタ付き線形補間法は線が細いという特徴が確認できた。したがって、被験者は凹凸が目立つ画像よりも、線が細い画像の方が不鮮明であると判断する結果が得られた。

7. おわりに

本論文では、2 値の人工画像に対する拡大手法として多数決機械を用いた補間法を提案し、従来手法の最近隣補間法・フィルタ付き線形補間法と比較した。数値的評価では、sin 波の画像におけるフィルタ付き線形補間法に劣る結果となったが、sin 波の画像における最近隣補間法や他の拡大対象画像においては従来手法よりも鮮明な画像を生成できた。主観的評価では、垂直・水平の形状しかもたない単純な画像において課題が残ったが、斜線・曲線部においては従来手法よりも有効な手法であることが明らかとなった。

今後の課題として、粗い画素領域を改善するためのパラメータ学習や局所窓内に含まれる画素値の位置に対する重み付け手法の提案などが挙げられる。

参考文献

- [1] 加藤祐二, 出口大輔, 高橋友和, 井出一郎, 村瀬洋, 「2 値パターン拘束と超解像を組み合わせた低解像度 QR コード認識」, 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 110, no. 188, pp. 63-68, 2010.
- [2] 彌富仁, 尾川浩一, 「劣化の少ない 2 値画像回転手法」, 電子情報通信学会論文誌, vol. J92-D, no. 9, pp. 1682-1685, 2009.
- [3] 加治佐清光, 「誤差拡散法による 2 値画像への画質劣化の少ない情報埋め込み方式」, 画像電子学会誌, vol. 35, no. 5, pp. 443-452, 2006.
- [4] 大谷紀子, 木村誠聡, 志村正道, 「多数決機械を用いた雑音重畳画像の強調」, 電子情報通信学会論文誌, vol. J87-A, no. 10, pp. 1351-1357, 2004.
- [5] 木村誠聡, 大谷紀子, 田口亮, 「多数決機械を用いたインパルス性雑音の検出法」, 電子情報通信学会論文誌, vol. J91-A, no. 9, pp. 929-933, 2008.