

欠損領域周辺の情報を用いた固有空間 BPLP による画像復元

陳国躍¹, 名久井一孝¹, 猿田和樹¹, 寺田裕樹¹, 張興国¹¹ 秋田県立大学システム科学技術学部電子情報システム学科

画像に破損や汚損、加工などにより欠損が生じてしまった場合、画像を完全に復元することは困難である。画像の欠損部分を復元する手法の1つに、天野と佐藤（2002）による固有空間法を用いた BPLP による画像補間がある。この手法は欠損を含まない複数の局所領域から固有ベクトルを求め、固有空間上の逆射影と一次結合によって欠損領域を推定することで画像復元を行う手法である。しかし、復元画像には欠損領域の周辺と比べて若干の色の相違があり、十分に復元できていない結果となっている。そこで復元精度を向上させるため、欠損領域周辺の特徴を調べ、非欠損領域の中から特徴が類似する学習サンプルを選択して画像復元を行う固有空間法を用いた BPLP による画像補間の改善手法を提案した。欠損領域周辺と特徴が類似する学習サンプルを選択して固有空間を生成することにより、それぞれの欠損領域の特徴に応じた画像復元を行うことができ、欠損領域と学習サンプルの自己相関性が高くなったことにより、従来手法よりも復元精度が向上することを確認できた。

キーワード：固有空間法, BPLP, 画像復元, ヒストグラム

画像に破損や汚損、加工などにより欠損が生じてしまった場合、画像を完全に復元することは困難である。しかし画像の残された部分を用いることで欠損箇所を復元することができる手法がある。画像を復元する手法の1つに天野と佐藤（2002）による固有空間法を用いた BPLP による画像補間がある。この手法は、まず欠損を含まない複数の局所領域からブロックを切り出して学習サンプルを作成する。次に主成分分析により固有ベクトルを求め、固有空間上の逆射影と一次結合によって欠損領域を推定することで画像復元を行うという手法である。しかし復元後の画像には、欠損領域の周辺と比べて完全に復元できておらず、若干の違和感が残る復元結果となっている。

天野と佐藤（2003）によるカーネル関数を用いた kBPLP 法や、松本と大石（2009）によるウェーブレット変換を用いた手法、古谷と大石（2012）によるテクスチャを用いた手法によって復元精度を向上した手法があるが、十分に復元できておらず、違和感

を減らすことができたとはいえない。これらの手法を検討した結果、復元画像に違和感が残る原因として、これらの手法が画像全体の特徴を反映させる手法であり、固有空間生成に用いた学習サンプルには欠損領域と自己相関性が低い画像が含まれているためではないかと考えられる。そのため色相の変化が大きい画像では、すべての欠損領域に対して強い自己相関性を持つ学習サンプルを用いることができず、十分な復元精度が得られない結果となる可能性がある。

そこで本研究では、欠損領域周辺のヒストグラムが類似する学習サンプルを選ぶことで、相関性の強い学習サンプルのみに絞り、固有空間 BPLP を用いた画像復元を行う手法を提案する。欠損領域と特徴が類似する学習サンプルを用いて固有空間を生成することにより、それぞれの欠損領域の特徴に応じた画像復元を行うことができ、復元画像に違和感が少なくなることを示す。さらに、評価実験により従来手法と提案手法の復元結果を比較し、提案手法の有

用性を示す.

固有空間法を用いた BPLP による画像補間

画像サイズより十分小さいウィンドウサイズで画像の欠損を含まない局所領域を学習サンプルとして R 個を切り出し, 画像ベクトル \mathbf{X} を得る.

$$\mathbf{X} = [\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_R], \mathbf{x}_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i(w \cdot h)}]^T \quad (1)$$

この画像ベクトル列 \mathbf{X} に対して主成分分析により固有ベクトル列 \mathbf{E} を生成する

$$\mathbf{E} = [\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \dots, \mathbf{e}_D], \mathbf{e}_i = [e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{i(w \cdot h)}]^T \quad (2)$$

ただし D は固有空間の次元 ($D \ll R$) である.

次に得られた固有ベクトル列を用いて画像復元を行う. 欠損を含む画像ベクトル \mathbf{x} を固有空間へ投影すれば, 投影点 $\hat{\mathbf{p}}$ は原画像の投影点 \mathbf{p} とは異なる点へ投影されることになる. しかし一次結合によりこれらの投影点の対応関係を

$$\hat{\mathbf{p}}_i \cong E^T \Sigma E \mathbf{p}_i = T \mathbf{p}_i \quad (3)$$

で求めることができる. このとき Σ は欠損画素の有無を示す行列である. この逆射影と一次結合を組み合わせることにより, 欠損を含まない画像ベクトル \mathbf{x}_i^* は

$$\mathbf{x}_i^* \cong E T^{-1} E^T \hat{\mathbf{x}}_i \quad (4)$$

で欠損した領域の画像を近似的に復元できる.

欠損領域周辺の情報を用いた画像復元

固有空間 BPLP 補間法では, 欠損を含まない全ての局所領域を用いて学習サンプルを生成し, 1 つの固有空間を生成して画像復元を行っていた. しかし, 様々な色相を持つ画像や多くの特徴を持つ画像もあり, 全領域に対して高い相関性を持たせることは難しい. この問題から各欠損領域に合った固有空間を個別に生成することが必要であると考えられる. そこで欠損領域に類似する特徴を持つ学習サンプルを

選択して復元を行うことを考える.

まず学習サンプルを得る際にそれぞれの学習サンプルの R, G, B それぞれの画素値のヒストグラムを求め, どのような特徴を持つか調べる. 次に欠損を含むブロックの非欠損領域から R, G, B それぞれの画素値のヒストグラムを求める. 欠損領域周辺のヒストグラムと学習サンプルのヒストグラムを比較し, 欠損領域周辺のヒストグラムと類似したヒストグラムを持つ学習サンプルを選択して固有空間を生成する. その後, 固有空間 BPLP 補間法と同様に欠損領域の画像の推定を行う. 図 1 に提案手法のヒストグラムの比較についてのイメージ図を示す.

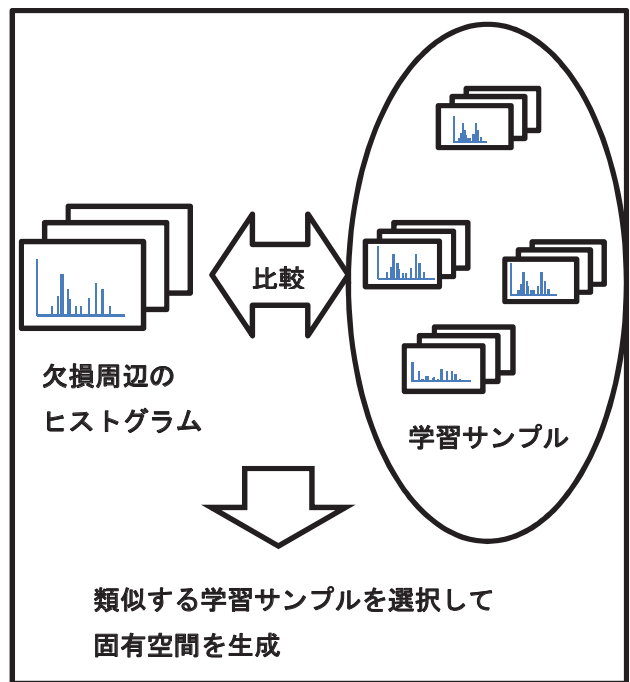


図 1 ヒストグラムの比較

実験

実験条件

提案手法の有効性を検証するために, 図 2 の田園風景の 400×800 画素のカラー画像を用い, 実験を行う. この画像には任意の欠損 (文字「sample」) を加えた図 3 の欠損画像を用意する. この欠損画素数は 30338 画素である. 学習の際のウィンドウサイズは入力画像の大きさの $1/10$ のウィンドウ (40×80 画素) とし, ステップ幅は入力画像の大きさの $1/20$ のウィンドウ (20×40 画素) とする.



図2 田園風景画像



図4 従来手法による復元画像



図3 欠損画像



図5 提案手法による復元画像

評価方法

従来手法と提案手法で復元した画像の評価には、平均2乗誤差(MSE)とピーク信号対雑音比(PSNR)を用いて評価を行う。MSE, PSNRは以下の式によって求める。(ただし $X(i,j)$ は原画像、 $X'(i,j)$ は復元画像、 N は欠損画素数を示す)

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W |X(i,j) - X'(i,j)|^2 \quad (5)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) [dB] \quad (6)$$

実験結果

従来手法による復元結果を図4に、提案手法による復元結果を図5に示す。このとき固有空間の次元数は50、欠損領域周辺の特徴に類似するヒストグラムは120個用いた。

図4には欠損が残っており、色の相違が含まれている画素が見られ、周辺との違和感が残っていた。図5は欠損の形状がわかりにくく、空と雲などの境目では色の相違があるが、大きな違いは見られなかった。

次に図4, 5をMSE, PSNRにより評価した結果を表1に示す。

表1 従来手法と提案手法の評価値

RGB	MSE		PSNR [dB]	
	従来手法	提案手法	従来手法	提案手法
R	40.50	33.65	32.06	32.86
G	44.93	47.04	31.61	31.41
B	189.65	53.06	25.35	30.88
RGB平均	91.66	44.62	28.51	31.64

表1より評価値はG以外の項目で従来手法よりも提案手法のほうが良くなっていることがわかる。Gの項目では評価値に大きな差がないことから、提案手法の復元結果が従来手法の結果よりも定量的観点から改善していると考えられる。

考察

図4, 5の画像の復元結果から、従来手法による復元画像には色の相違が見られ、欠損位置が見て分かる結果となったが、提案手法による復元画像には空と山の境目ではきれいに復元することはできていないが、ほかの部分では欠損があったのかどうかわかりにくい復元結果となった。よって従来手法より提案手法のほうが、復元精度が良い結果となったと考えられる。欠損領域と類似する特徴を持つ学習サンプルを選択することで相関性の高い学習サンプルに絞ることができ、それぞれの欠損領域ごとに固有空間を個別に作成することで、精度良く復元することができたのだと考えられる。しかし画像内に似た特徴が少ない場合や特徴の異なる部分の境目を復元する場合ではうまく復元されておらず、欠損ごとの特徴の選択方法やパラメータの改善が必要だと考えられる。

表1よりG以外の項目において従来手法よりも提案手法の方が、MSE値が小さく、PSNR値が高くなったため、評価値は良くなった。図3, 4より見た目も改善しているため、従来手法よりも精度の良い復元ができ、定量的にも改善できたといえる。しかし、Gの項目ではほかの項目とは異なり評価値が悪くなってしまった。この原因として、提案手法の復元画像では、空と山の境目が精度良く復元できていなかったことが考えられる。また、提案手法では復元画像における違和感の削減に重視した手法のために、復元結果が本来の画素値とは異なった場合でも、周辺と大きく変化していない場合、人の感覚では間違いだと感じないことが原因だと考えられる。

結論

本研究では、固有空間 BPLP による画像補間の改

善手法として、欠損領域周辺の情報を用いて欠損領域の特徴別に固有空間を生成して画像復元を行う手法を提案した。提案手法の有効性を確かめるために、田園風景画像に対して欠損領域の復元精度の検証を行った。欠損領域の特徴別に画像復元を行うことにより、従来手法よりも復元精度の良い結果を得ることができ、以前より改善されたことが確認できた。

また欠損領域の特徴に類似する学習サンプルをいくつ用いるか復元画像から決定しており、より欠損領域の特徴に合わせた復元を行うためには、最適なパラメータの決定が必要である。最適なパラメータの決定手法は今後の課題とする。

文献

- 天野敏之, 佐藤幸男(2002). 「固有空間法を用いた BPLP による画像補間」『電子情報通信学科論文誌』J85-D-II (3), 457-465.
- 天野敏之, 佐藤幸男(2003). 「kBPLP 法を用いた高次元非線形射影による画像補間」『電子情報通信学科論文誌』J86-D-II (4), 525-534.
- 松本真一, 大石邦夫(2010). 「ウェーブレット変換と固有空間 BPLP 法を用いた欠損画像復元法とその評価」『電子情報通信学会技術研究報告』109 (435), 159-164.
- 古谷陽平, 大石邦夫(2012). 「テクスチャ領域分割を用いた固有空間 BPLP 法による画像復元」『電子情報通信学会技術研究報告』111 (403), 91-96.
- 河合紀彦, 佐藤智和, 横谷直和(2007). 「画像修復における低成績・定量的評価法に関する考察」『情報科学技術レターズ』, (6), 245-248.

〔平成 28 年 7 月 20 日受付〕
〔平成 28 年 7 月 31 日受理〕

Image restoration by eigenspace-BPLP using the information around missing region

Guoyue Chen¹, Kazutaka Nakui¹, Kazuki Saruta¹, Yuki Terata¹, Xingguo Zhang¹

¹ *Department of Electronics and Information Systems, Faculty of Systems Science and Technology, Akita Prefectural University*

A damaged or defaced image is difficult to completely restore. The method of back projection for lost pixels (BPLP) image interpolation using an eigenspace is commonly used to restore the missing parts of a damaged image. This technique obtains the eigenvectors of a plurality of local regions and includes a method of restoring an image by estimating the missing regions via inverse projection and linear combination of the eigenspace. However, some color differences are observed compared to the restored image, resulting in the image not being restored. To improve the restoration precision, we examined the characteristics of the peripheral-deficient region and used the method of BPLP image interpolation using an eigenspace for refining features by selecting learning samples similar to the restored image from a non-defective region. By generating the eigenspace, the feature selects the learning samples that are similar; the image restoration is then performed in accordance with the characteristics of each defect region. Subsequently, we compared the results with those obtained using the conventional technique to confirm the restoration precision.

Keywords: Eigenspace method, BPLP, Image restoration, Histograms