

欠損画像の復元処理

Restoraion of Images with Missing Parts

高橋 健一

石井 直宏

Kenichi TAKAHASHI

Naohiro ISHII

名古屋工業大学 工学部 電気情報工学科

Faculty of Engineering, Nagoya Institute of Technology

あらかし 撮像機器の故障や伝送路エラーなどにより画像内の一部の画素がまとまって欠落した場合や、景観設計において風景写真内の一部を動かしたために空白部分ができる場合に、これらを自然に見えるように復元するための処理方式を提案する。本方式は、欠損部におけるエッジの連結処理とそれに続く濃度値推定処理の2つのステップからなる。エッジ連結ステップでは、エッジ連結の妥当性を表す評価関数に基づき、欠損部によって途切れているエッジを接続する。濃度値推定ステップでは、連結されたエッジによって分割されている各領域内の各欠落画素間で偽輪郭が生じないように濃度値を補間する。さらに、復元部に自然な感じを出すため、人為的にガウス雑音を重畳させることを検討する。本方式の有効性を確かめるため、計算機シミュレーションを行った。

Abstract A restoration scheme for images with missing parts is presented. This scheme is useful when a part of an image is lost by transmission errors, and when removing an object in an image and interpolating that part with its background are needed for a design purpose. The scheme is composed of two steps: an edge linking step and an estimation step. First, the edge linking step detects edges around missing parts and connects them on the basis of smoothness. Second, the estimation step determines gray levels of missing pels. Computer simulations show that quality of restored parts is acceptable.

1. まえがき

画像のコントラストを強調したり、雑音や画素の欠損により劣化を受けた画像を回復したりして、視覚的に情報の得易い画像を得る画像強調・回復処理方式が広く研究されてきた⁽¹⁾⁻⁽⁶⁾。これらの回復処理方式の多くは、なんらかの形で現在注目している画素の近傍画素が利用できる場合を対象としており、このような場合にはかなりの有効性を示している。さらに、近傍画素が余り利用できなくてよりマクロな情報を利用しなくてはならない場合に画像が回復できると便利である。そのような例として、例えば、撮像機器の故障や伝送路エラーなどにより画像内の画素の一部がまと

まって欠落した場合にこれを復元すること、ある物体の一部が他の物体を覆っている場合に対象とする物体全体を再生すること、景観図などの作成段階において画像内のある物体、例えば家、電柱などを移動させてできた空白部を補間することなどが上げられる。このような観点から、規則的なパターン内の一部の欠損に対する修復処理方式⁽⁷⁾、自然画像に対する修復方式⁽⁸⁾が考案されている。前者は、フーリエ変換を利用して画像内のテクスチャの欠損を修復する方式である。後者は、欠損部の外周から次第に内部に向かって、欠損画素毎に逐次エッジの延長方向の推定および濃度値の推定を行いながら修復する方式である。しかし、こ

の方式は欠損画素毎にエッジの方向を推定するため、互いに交わる角度が鋭角であるようなエッジがうまく接続されない。また、この方式においてはパラメータ間での相互の影響があり、自然な修復画像を得るためのパラメータの設定がむずかしかった。

そこで本論文では、欠損部を持った自然画像を対象としてこれらの欠点を改善した修復処理方式を検討する。本方式では、エッジの連結処理とそれに続く濃度値の推定処理との2つのステップにより画像の修復を行う。エッジの連結ステップでは、まず、Sobelオペレータにより欠損部周辺のエッジを検出し、最小2乗法によりそれらのエッジの方向を推定する。次に、推定された各エッジ方向およびエッジの強度を用いた評価関数に基づき、欠損部内で互いに連結すべきエッジを選び出す。つながるべき相手側のエッジが見つからない場合、エッジの方向を変化させて探索を試みる。そして、連結が妥当であると判断されたエッジ同士を連結する。この連結処理を欠損部周辺のすべてのエッジについて行う。エッジ連結ステップが終了すると、濃度値の推定ステップに移り、欠損部内のエッジで区切られた各領域の濃度値の推定を行う。このステップでは、まず、各領域を各エッジとそのエッジからの距離とに関連付けられた小領域に分割する。異なるエッジに関連付けられた小領域同士が接触するところでは、その濃度差を少なくするよう接触点の濃度値を定め、各小領域内においては線形補間により各欠損画素における濃度値を求める。さらに、この濃度値に人為的にガウス雑音を重畳させて濃度値を変動させることにより、視覚的な自然さを保つことを検討する。本方式の有効性を確かめるために、計算機シミュレーションを行った。シミュレーションでは、SIDBA標準画像のGIRLに5箇所欠損部を作成し、本方式による復元を試みた。

2. では本方式におけるエッジ連結ステップと濃度値の推定ステップについて述べ、3. で自然画像に対する復元処理結果を示す。4. で本方式による処理結果をまとめ、問題点について考察する。

2. 復元処理

本章では、欠損部の復元処理における2つのステップ(エッジ連結ステップ、濃度値推定ステップ)について述べる。図1に本方式のブロック図を示す。なお、欠損部はすでに検出されてものと仮定している。これは、撮像機器の故障などによる欠損の場合、欠損部の

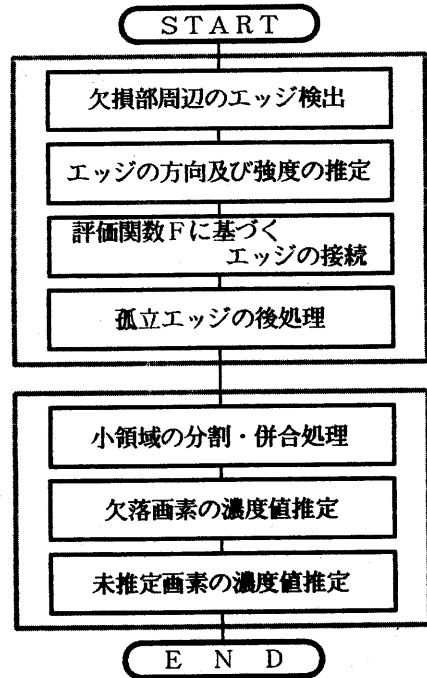


図1 修復処理のブロック図

濃度値は最低値または最大値で一定になると思われ、また、景観設計などの場合、人により移動させる物体が指示されることになり、欠損部がわかることが多いと思われるためである。また、本論文では、円形の欠損部をモデルとして取り上げたが、そうでない場合、例えば、伝送路エラーにより数行にわたり画素が欠損したような場合にも適用できると思われる。

2.1 エッジ連結ステップ

このステップでは、まず欠損部周辺のエッジを検出し、その方向を最小2乗法により求める。次に、ある評価関数のもとでエッジを接続する。接続できないエッジが残った場合には、後処理を行う。以下に、処理の概要を述べる。

エッジの抽出

P1) Sobelオペレータ⁽⁵⁾を用いて、エッジを抽出する。なお、図2(a)に示すような画素配置のとき、現在注目している画素XにおけるSobelオペレータの出力Dおよび θ は、次式で与えられる。

$$\Delta x = (g + 2h + a) - (c + 2d + e) \quad (1)$$

$$\Delta y = (a + 2b + c) - (e + 2f + g) \quad (2)$$

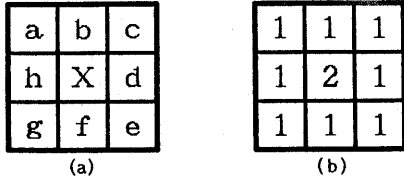


図2 (a) 画素の配置
(b) 重み行列

$$D = |\Delta x| + |\Delta y| \quad (3)$$

$$\theta = \arctan(\Delta y / \Delta x) \quad (4)$$

(3)式で得られたDの値がある閾値Thより小さいときDを0にする。

P2) Eberleinオペレータ⁽⁹⁾に基づく細線化処理を行う。まず、エッジの方向を表す θ を、 0° 、 45° 、 90° 、 135° の4方向に量子化する。次に、その量子化されたエッジの方向において、隣接する2つの画素(例えば、エッジの方向が 0° 、すなわち水平のときには左右の隣接画素)のSobelオペレータ出力Dと現画素のSobelオペレータ出力Dとを比較し、現画素のDが最も大きいときエッジ点として残し、そうでないときはDを0にする。

以上の処理が終わった結果の欠損部周辺を、参照のため図3に示す。

P3) 欠損部外周の各画素に対して、その画素を中心とする 5×5 のウィンドウを考え、そのウィンドウ内でエッジの端点(Dが0でない画素)を探す。端点が見つかった場合、その端点を中心として $w \times w$ のサイズのウィンドウ内で、この端点と8連結している、Dが0でない画素を追跡し、これらの画素を用いて最小2乗法によりエッジの方向を推定する。

エッジの接続

P4) まず、次に示すクラス判定⁽¹⁰⁾を行う。いま、ウィンドウ内の非欠損画素の総数をN、平均濃度値を μ 、分散を σ^2 とする。濃度値がある値j以下である画素の数を N_1 、平均を μ_1 とし、jより大きい画素の数を N_2 、平均を μ_2 とする。このとき、次式で定義される判定基準 η を最大にする濃度値jを最適閾値とする。

$$\eta \triangleq \frac{\sigma_B^2}{\sigma^2} \quad (5)$$

$$\text{ただし、} \sigma_B^2 = \omega_1 \omega_2 (\mu_1 - \mu_2)^2 \quad (6)$$

$$\omega_1 = N_1 / N \quad (7)$$

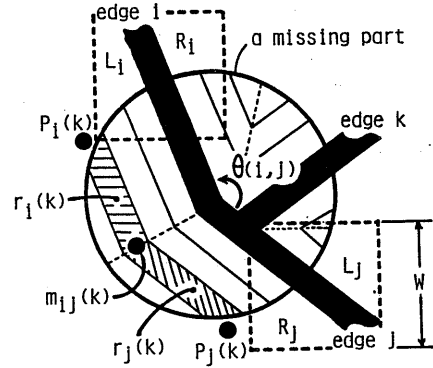


図3 欠損部周辺図

$$\omega_2 = N_2 / N \quad (8)$$

この閾値を用いて、エッジの両側のウィンドウ内の各画素の濃度平均値を求める。以下、エッジiに対する左側、右側のこの濃度平均値を L_i 、 R_i で表すことにする。

P5) $|L_i - R_i|$ の最も大きいエッジiを選び、このエッジに対して次式の評価関数の値を最小にするエッジjを探す。

$$F(i, j) = A \{ \pi - \theta(i, j) \} + B \cdot \frac{|L_i - R_j|}{L_i} \cdot \frac{|R_i - L_j|}{R_i} + C \left\{ \left| \frac{L_i - R_j}{L_i} - \frac{R_j - L_j}{R_j} \right| \right\} \quad (9)$$

ここで、 $\theta(i, j)$ はエッジiとjの成す角度[rad]であり、A、B、Cは重み付けのパラメータである。

P6) 得られた評価関数の最小値がある閾値Tvより大きいとき、エッジiとjの接続は不適当として、接続処理を行わない。そうでないとき、エッジiとjとが互いに交わるか、すでに接続されている他のエッジにぶつかるまで延長する。

P7) 接続されたエッジを取り除いて、残りのエッジの中で互いに接続できるエッジがなくなるまで同様にP5)、P6)を行い、接続を試みる。

後処理

P8) 上記の接続処理を行った結果、エッジの方向の推定誤りなどにより接続されず孤立したエッジが残る場合がある。この孤立エッジの接続を試みる。まず、すでに接続されているエッジにおいて、それを交点からさらに延長すると、ある孤立エッジの延長と交わる

ものを探し、見つければ互いに交わるまで延長する。見つからない場合、現在注目している孤立エッジの方向を $\pm \alpha$ (rad) の範囲で変更して、他の孤立エッジの中に接続可能なエッジが存在するかどうか、また、既に連結処理されたエッジと交わるかどうかを検査する。もし、そのようなエッジがあれば、互いに延長して接続する。

それでも接続できないときはそのままにしておく。

2. 2 濃度値推定ステップ

本ステップでは、連結したエッジに基づき、欠損画素の濃度値を推定し、最終的な修復画像を得る。以下に、処理の概要を述べる。

小領域分割

P1) まず、エッジにより分割されている各領域をさらにエッジからの距離により小領域に分ける。すなわち、各欠損画素に対して、最も近いエッジからの8連結距離を計算する。最も近いエッジが i で、エッジ i からの距離が k の欠損画素の集まりを小領域 $r_i(k)$ と呼ぶことにする。なお、エッジ上の点は距離0で、 $r_i(0)$ である。この小領域を単位として濃度値推定を行う。ところが、エッジの接続状況によっては、あるエッジに属する小領域内の画素すべてが非欠損画素と接触していない場合が生じることがある。このようなときには、この小領域をその小領域の属するエッジとの交わり角の大きい方のエッジに属する隣接小領域に併合する。この例を図4(a)に示す。この場合、領域 Q は領域 S に併合される。

濃度値推定

P2) $r_i(k)$ と $r_j(k)$ が互いに接触するとき、その接触点を $m_{ij}(k)$ とする。このとき、小領域 $r_i(k)$ 、 $r_j(k)$ と連結している非欠損画素 $P_i(k)$ 、 $P_j(k)$ (図3参照)を中心とする 3×3 のウィンドウにおける重み付け平均値を計算し、それぞれ $\overline{P_i(k)}$ 、 $\overline{P_j(k)}$ と表す。重み付けのマスクは図2(b)に示すものを用いた。接触点 $m_{ij}(k)$ の濃度値として、 $\overline{P_i(k)}$ 、 $\overline{P_j(k)}$ の濃度平均値を用いて次式により求めた値を用いることにする。

$$m_{ij}(k) = \frac{n_i \overline{P_i(k)} + n_j \overline{P_j(k)}}{n_i + n_j} \quad (10)$$

ただし、 n_i は小領域 i 内の画素数である。そして、小領域 $r_i(k)$ 、 $r_j(k)$ 内においては、 $P_i(k)$ から $m_{ij}(k)$ まで、 $P_j(k)$ から $m_{ij}(k)$ までを線形補間する。

後処理

P3) 上記の補間処理を行った結果でも、濃度値の推

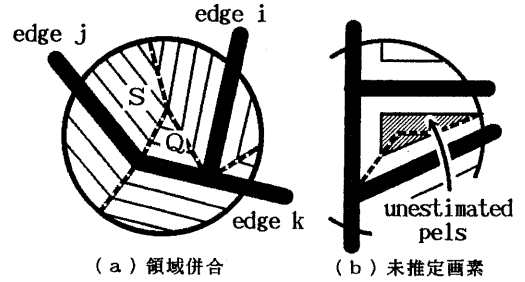


図4 後処理の必要な状態

定されない画素が残ることがある。このようなことが起こる例を図4(b)に示す。そこで、この残った未推定画素については次のように処理する。その未推定画素が $r_i(k)$ に属する場合、 $r_i(k-1)$ に属しこの画素に隣接する画素の平均値を、推定値とすることにする。

3. 計算機

シミュレーション

上記の修復処理方式の有効性を確かめるために計算機シミュレーションを行った。シミュレーションに用いた画像は、SIDBAに含まれる 256×256 画素、256階調を持つ画像GIRLである。また、このGIRLに対しそれぞれ340画素の欠損部を5箇所所持欠損画像を作成し、修復を試みた。図5(a)、(b)にそれぞれ原画像、欠損画像を示す。

まず、エッジ連結処理について検討する。図6(a) - (e)に5箇所の各欠損部周辺のエッジ検出結果を、図6(f) - (j)にそれぞれの箇所に対応したエッジ連結結果を示す。なお、図6(a) - (e)はそれぞれ図5(b)における頭部、頬、首、右肩、左肩に対応する。用いたパラメータは、Sobelオペレータ出力に対する閾値 $Th = 100$ 、エッジ探索ウィンドウ幅 $w = 17$ 、評価関数の重み $A = B = C = 1.0$ 、評価関数の値に対する閾値 $Tv = 3.0$ 、推定されたエッジ方向の変化範囲 $\alpha = 0.4$ [rad]であった。図6(e)からわかるように、左肩部のエッジ連結では、本来XとYが連結されるべきであるところ、内部のエッジと連結されるという、連結誤りが生じている。しかし、他の欠損部のエッジ連結結果では、各エッジがほぼ自然な感じで接続されており、本エッジ連結ステップの有効性が確かめられる。



図5 シミュレーションで用いた画像



図7 修復画像例1



図8 修復画像例2



図9 ガウス雑音を加えた修復画像例

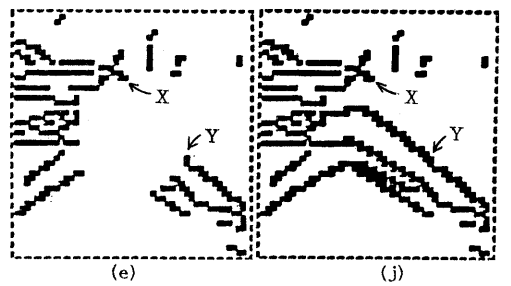
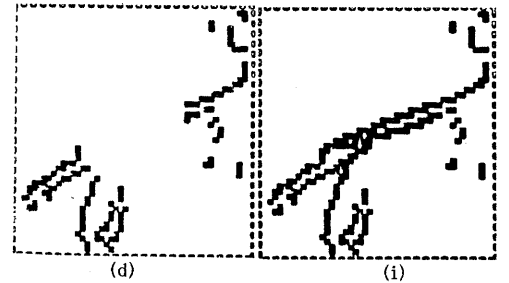
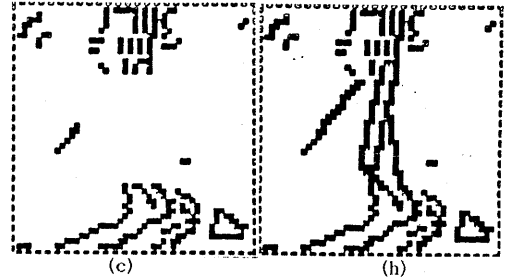
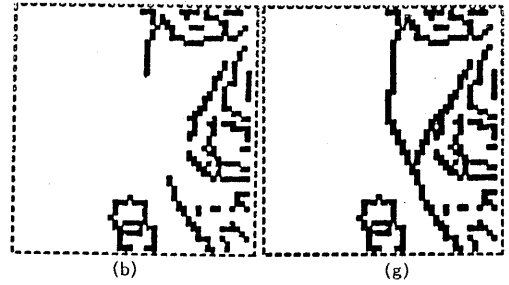
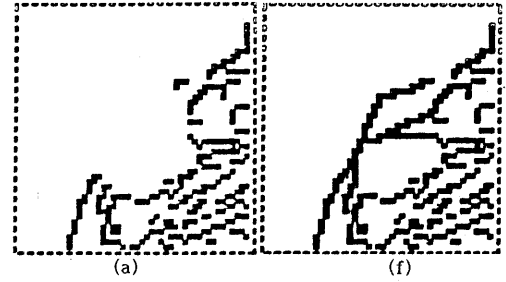


図6 欠損部周辺エッジと連結結果

次に、濃度値の推定・補間を行った結果について検討する。図7(a)に修復画像の一例を、(b)に類を中心にして2倍に拡大した画像を示す。また、図8(a)、(b)に、図7と同様であるが、濃度推定処理におけるパラメータを変えた場合の処理結果を示す。図7との違いは、濃度値推定ステップにおいて、 $m_{ij}(k)$ の濃度値の計算において近傍平均値 $\overline{P_i(k)}$ 、 $\overline{P_j(k)}$ でなく、 $P_i(k)$ 、 $P_j(k)$ そのものの値を用いていること、およびおのおのの小領域に属する画素の連結性を8連結でなく、4連結としていることである。図8と図9ではほぼ同じ結果が得られている。若干、4連結を用いた画像の方がシャープに、8連結を用いた図9の方がソフトな感じで修復されている。これらの図から、濃度値の推定処理がほぼうまくいっていることが確かめられる。ただ、左肩の復元部は脊が浮いているようになっている。これは最初のエッジ連結ステップでうまくエッジの連結がなされなかったためである。さらに、頬の部分に注目すると、図7(b)、図8(b)のように拡大するとよくわかるが、各小領域で画素濃度値がほぼ一様に変化するため、縞が見え易くなり、不自然な感じを与えている。そこで、この欠点をなくすため、濃度値推定ステップのP2)を次のように変更することにする。

ランダム化

P2')まず、各小領域に接する非欠落画素とその4近傍の画素を用いて、推定分散値 σ^2 を求める。次に、前述P2)の方法により各画素の濃度値を求める。このとき、分散 σ^2 を持ち平均値0のガウス雑音を人為的に加えることにする。

図8(b)に対して、上記の補正処理を行った結果を図9に示す。ガウス雑音を重畳させることにより、背景の部分が一様でなくなり、より自然な感じになっていることが両図の比較によりわかる。このことによりガウス雑音を加えることの有効性が確かめられる。

4. むすび

本論文では、欠落した画素のある画像の修復や設計などのため物体を動かした後の空白を埋める処理方式について述べた。本方式は、エッジの連結、濃度値の推定の2つのステップからなっている。

SIDBAに含まれる人物画像を用いて、修復シミュレーションを行った結果、自然な感じの画像が得られ、本方式の有効性が確かめられた。

しかし、エッジの連結誤りが起きると、濃度値推定

ステップでは回復できないため、その部分が不自然になる。この場合、より精度良くエッジの方向を推定する方式の開発が望まれる。また、今後の課題として、エッジを直線で延長しているが、これを曲線で延長することにより、より自然な復元が可能となると思われる。

謝辞 本研究に関し、御討論頂いた本学太田正光学長、田坂修二助教授、大日本電線(株)の関係者各位に感謝致します。また、在学中シミュレーションによるデータ収集を行ってくれた前田、奥村両氏に感謝致します。

文 献

- (1) A. Rosenfeld and A. C. Kak : "Digital Picture Processing", Academic Press, New York (1976).
- (2) H. C. Andrews and B. R. Hunt : "Digital image restoration", Prentice-Hall, New Jersey (1977).
- (3) R. C. Gonzalez and P. Wints : "Digital image processing", Addison-Wesley, Massachusetts (1977).
- (4) E. L. Hall : "Computer image processing and recognition", Academic Press, New York (1979).
- (5) W.K. Pratt : "Digital Image Processing", Wiley-Interscience, New York (1978).
- (6) 立花 康夫 : "欠損データに対するディジタルフィルタ", 信学論(A), J66-A, 9, pp.844-851 (昭58-09).
- (7) 鈴木, 東海林 : "欠損部のあるテクスチャ画像の修復", 昭61信学総全大, 1218.
- (8) 前田, 高橋, 太田 : "欠損画像の修復処理の一方式", 信学論(D), J69-D, 1, pp.91-97 (昭61-01).
- (9) R. B. Eberlein : "An iterative gradient edge detection algorithm", Computer Graphics & Image Processing, 5, pp.245-253 (1976).
- (10) 大津展之 : "判別および最小2乗基準に基づく自動閾値選定法", 信学論(D), J63-D, 4, pp.349-356 (昭55-04).