Vol.2012-CVIM-182 No.21
2012/5/23

地理情報を用いた悪天候劣化画像の復元

内田 裕[†1,a)]　杉本 麻樹[†1]　ドゥソルビエ フランソワ[†1]　斎藤 英雄[†1,b)]

概要：屋外にて風景などの写真を撮影するとき，画像がかすんでしまい本来得たい画像よりもコントラストが落ち全体的に白みがかった劣化画像が撮影されてしまうことがある．この原因は空気中の粒子による影響であり，撮影地点と撮影対象との間の距離に応じて劣化が大きくなるということがわかっているため，距離を求めるもしくは推定する必要がある．従来の研究では，距離を求めるために複数画像や偏光板などの特殊機材を利用している．本研究では距離を地理情報から推定し，復元を行う方法を提案する．本手法では，撮影された画像中からいくつかのランドマークを選び，それらの地理情報を利用して撮影画像に対応する距離マップを生成する．ランドマークと地理情報を対応付けする際に，衛星画像も併用し，半自動的処理を行う．提案手法の有効性を検証するために，実際に撮影した劣化画像に地理情報を利用して距離情報の関連付けを行い，距離画像を合成することによって劣化画像の復元を成功した．

キーワード：Dehazing，地理情報, 衛星画像

Dehazing Using Geographical Information

Yu Uchida[†1,a)]　Maki Sugimoto[†1]　Francois De Sorbier[†1]　Hideo Saito[†1,b)]

Abstract: Images of outdoor scenes often have low contrast or fading color. This is because absorbing and scattering by particles in the atmosphere, and the degradation increase with the increasing distance from the source to the observer. Existing literature has relied on multiple images or some equipments, but these methods are impractical because multiple images or some equipments are not always available. Accordingly, in this paper we propose the method for removing haze from a single image using geographical information. Each pixel is linked with satellite image's pixel, and we can compute distance to source, and restore image using their distance. In this paper, we propose the result of our method using distance information.

Keywords: Dehazing, Geographical information, Satellite image

1. はじめに

近年ではデジタルカメラが一般に普及し，誰でも容易に写真撮影を行うことができるようになった．その用途は屋外での風景の撮影，屋内での人の撮影などさまざまである．

しかし，特に屋外で写真撮影を行う時，画像が霞んでしまい本来得たい画像よりもコントラストが落ち，全体的に白みがかった画像が撮影されてしまう場合がある．その原因は主に空気中の水蒸気などの粒子や雨粒などにあることが一般に知られており，そのため特に悪天候の時や湿度が高い場合においては顕著に画像の劣化が起こってしまう．もちろんそのような劣化してしまう条件を避けて写真撮影が行えることが最も望ましいが，旅行に出かけた先の写真撮影などその場で写真を撮る機会が少ない状況を考えると，写真の悪天候による劣化は避けられないものとなってしまう．

このような背景から，白みがかった劣化画像を復元するDehazing と呼ばれる処理に関する研究が近年盛んに行われている．この Dehazing を行うことでいかに撮影対象の本来の色を取り戻し画像をきれいにできるか，ということに注目が置かれている．

[†1] 現在，慶應義塾大学
Presently with Keio Uniersity
[a)] yu@hvrl.ics.keio.ac.jp
[b)] saito@hvrl.ics.keio.ac.jp

© 2012 Information Processing Society of Japan

ここで，悪天候時に撮影された画像で起こっている現象について簡単に原理を説明し，復元における目標について定義する．

写真撮影の基本原理は，撮影対象に光があたりそこから反射された光がカメラまで届き，カメラのレンズを介してカメラ内のフィルムもしくはセンサにて受光する，という流れである．この流れにおいて悪天候であり視界が悪い場合，撮影対象からの光がカメラに届くまでに空気中の水蒸気をはじめとする粒子や雨粒などにより影響を受けるため，受光される光に変化が生じてしまう．その影響は大きく 2 つに分けられる．

一つ目は，撮影対象の光そのものが空気中の粒子によって散乱されてカメラに届くまでに本来得たい明度値よりも小さなものになってしまう現象である．この現象によって撮影対象の本来の色や表面のテクスチャなどの情報が正しく得られなくなってしまう．二つ目は，太陽光をはじめとする外部の光がカメラまでの経路の途中で空気中の粒子に同様に散乱され，その一部がカメラまで届いてしまう現象である．この現象によって画像は全体的に白みがかってしまい，またその影響で画像全体がエッジの弱くコントラストが低くなったような画像が撮影されてしまう．

以上のこの 2 つの現象はカメラと撮影対象の距離が大きいほど影響が大きくなり画像の劣化として表れてしまうため，それをいかにして復元するかということが目標となる．

そこで本研究では，地理情報と撮影画像中のいくつかのランドマークを対応付けることにより，撮影画像に対応する距離画像を合成し，これを利用して劣化を復元する手法を提案する．

2. 関連研究

悪天候画像の復元を行う際，距離情報もしくはどの程度劣化の影響を受けているかの推定が必要となる．本節では今までに行われているいくつかの研究について述べる．

複数画像からの復元

単独の画像からでは距離情報などは得られないため，複数画像を用いることで距離，もしくは劣化度合いを推定し復元を試みる研究が行われている．

偏光板を用いた手法 [1], [2], [3] では外部光から散乱された成分が一定の偏光を持つ特性を利用し，散乱成分と分散成分を分離することで復元を行っている．

霧の濃度の違う複数画像を利用している手法 [4] では，距離に応じて劣化度合いが異なることを利用し，霧の濃い状態のときにより劣化が激しい部分を遠距離とみなし，距離情報を取得する．その得られた距離情報をもとに復元を実行している．

いずれの手法も特殊な機材や複数画像を利用しているため，利便性にかけ，単独の画像しか手元にない場合を考えると復元を行うことはできない．

単画像からの劣化による影響の推定による復元

短画像からの復元を試みている手法 [5] では，画像中の色情報から劣化の度合いをどの程度受けているかを推定し復元を行っている．しかしこの手法での復元では，本来の色が白やグレーに近い領域が多く存在してしまうと復元結果として間違った色へ復元されてしまうなどと一部正しく処理できない場合がある．

距離情報が既知の場合の復元

先述した手法とは違い，距離情報が既にわかっている場合での復元の研究もおこなわれている [6]．この手法では，距離が長くなることに応じて指数関数的に画像劣化が大きくなることを利用し，あらかじめ既知の距離情報を用いての復元を行っている．

3. 提案手法

本論文では，悪天候画像の復元のために必要となる距離画像を地理情報から生成するために，以下の 2 つの状況を考える．

- 劣化画像に写っている遠距離にある建物に対して，画像中の建物の範囲を指定し距離を入力することで建物の色を復元する．
- 高所から撮影した俯瞰する形の劣化画像に対して，衛星画像との Homography を計算し地理情報に対応付けすることで撮影画像中の各点の距離を算出し，その距離をもとに画像全体を復元する．

一つ目の状況においては，劣化画像中の遠景にある建物の距離をあらかじめ地理情報から求めておき，実際に距離に基づいた復元を行う．

二つ目の状況においては，撮影された劣化画像と衛星画像を対応付けることで画像全体の距離を計算によって算出し，距離に基づいた復元を行う．

本章では，この 2 つの状況において共通で考えられる距離に基づいた復元方法について先に述べた上で，後に 2 つの状況それぞれについての処理方法について詳しく述べる．

3.1 距離に基づいた復元処理

まず本節において距離情報に基づいた復元処理について述べる．

画像の劣化は距離の長さに対して指数関数的に大きくなることがわかっている [6] ．このことは式に表すと以下のようになる．

$$E = Re^{-\beta d} + E_{\infty}\left(1 - e^{-\beta d}\right) \tag{1}$$

ここで，E は撮影画像を示し，R は求めたい撮影対象の明度値を示している．また，d は撮影場所から撮影対象ま

© 2012 Information Processing Society of Japan

図 1 ドラッグ指定

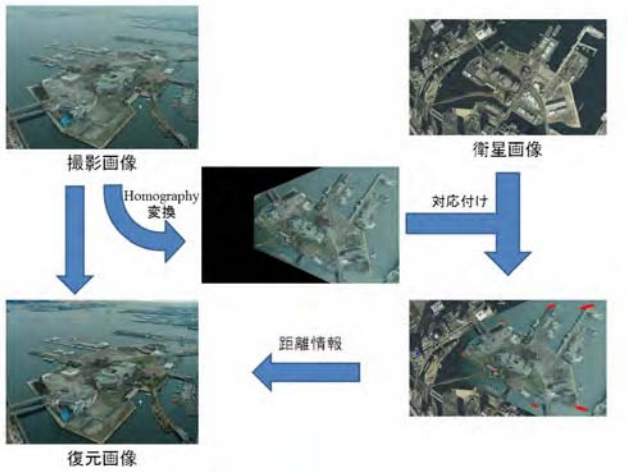

図 2 フローチャート

での距離である．

ここで不明なパラメータが 2 つ（E_∞，d）存在しているが，本手法においては以下の方法で求めることとする．

3.1.1 E_∞ の獲得

E_∞ は空気中の粒子によって散乱された外部光によって決定する値だが，これは距離が無限遠の場所の明度値をそのまま利用する．その理由は，1 式において $d \to \infty$ のとき，$e^{-\beta d} \to 0$ なので $E = E_\infty$ となるからである．

ここでは空の明度値が無限遠の明度値であるとし，マウスのドラッグ操作によって取得し（図 1），枠内の明度値の平均をとることで E_∞ とし，計算に利用することとする．

3.1.2 β の設定

β は天候条件およびカメラの内部パラメータによって変わる係数である．β の数値が小さすぎると十分な復元が行われず，大きすぎると過度に復元が行われてしまう．そのため，適切な β の値を選択する必要がある．

本システムにおいては，画像の出力結果を見ながら適切な β を選択できるよう，トラックバーによって設定を行う．

3.2 俯瞰画像における画像全体の復元

高所から見下ろすように撮影された画像においては，撮影画像を地理情報に関連付けさせることで距離を算出し，求めた距離に応じて復元を実行する．本節ではその詳細について述べる．

3.2.1 撮影画像と衛星画像の Homography 算出

撮影地点から撮影画像中の各点の距離を得るために衛星画像との間の Homography の算出を行う．Homography を算出するために 4 点以上の対応点が必要となるが，距離をより正確に求めるには正しい対応点を選択することが必要となる．人間の手によるクリックでの指定方法が手段の一つとして考えられるが，一般に人間の手による選択では正確な対応点は取れずずれてしまう．一方，撮影画像と航空画像を直接計算機上で自動的に対応点を求める方法も考えられるがその実現は困難である．その理由としては，航空画像が地面に対して鉛直上から撮影したものに対し，撮影した画像は一般に角度が地面に対して鋭角であり航空画像とは大きく異なっていることが挙げられる．また，撮影画像は劣化を前提としているので色合いの違いも関わり，自動での対応点検出は困難となる．

そのため本手法においてはその 2 つを組み合わせて，

(1) クリック指定により手動で対応点を取得し，撮影画像を航空画像に対して大まかに Homography 変換する．
(2) 変換された撮影画像と航空画像を SURF [7] による特徴点マッチングを行い，計算機上で正確な位置合わせを行う．

という 2 段階を経ることで正確な Homography を算出する．

本節ではその細かい内容について述べる．

クリック指定による手動での対応点の取得

撮影画像と航空画像に対して，クリックで画像中の対応点を指定する．ここで指定する対応点は鉛直上からの視点の衛星画像への視点変換を行う上で，原則的に同じ高さの点でなければならない．一般に Homography を算出する場合，対応点の数が多いほど正確な Homography を得られるが，ここでは後に再計算を行うので必ずしも多くとる必要はない．

SURF による正確な対応点の取得

衛星画像と同視点に平面射影変換させた撮影画像と衛星画像の 2 つに対し SURF を用いて特徴点マッチングを行い，正確な対応点を求める．

しかし，単純に各画像の全範囲に対してマッチング処理を行うとほとんどが誤検出としてマッチングされてしまう（図 3）．その理由は，撮影画像の劣化による色の違い，遠景部分の平面射影変換による画像の伸長などが考えられる．この誤検出を解決するために，各画像の xy 座標の近い位置に範囲を限定し，その範囲内で近い特徴ベクトルを探すことでより正確な対応点を求めることができる（図 4）．

© 2012 Information Processing Society of Japan

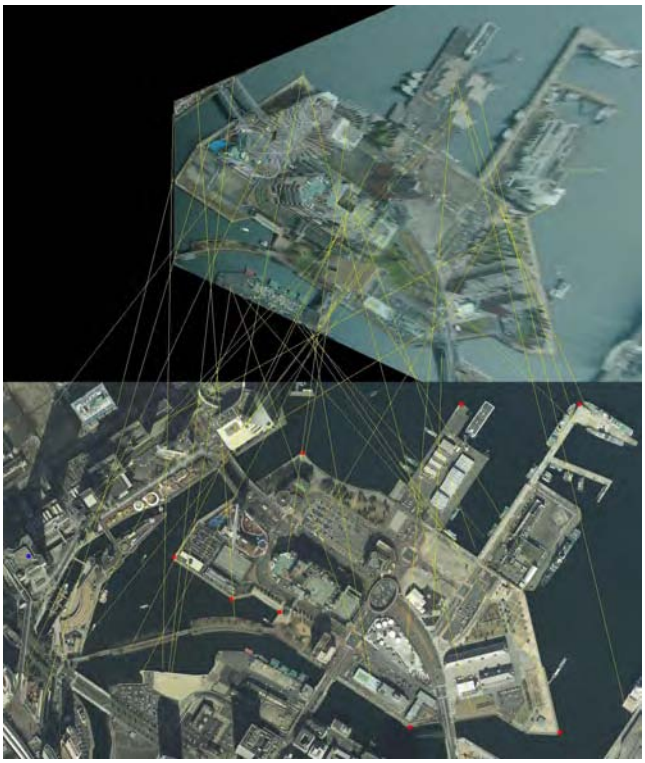

図 3 SURF マッチング誤検出の例

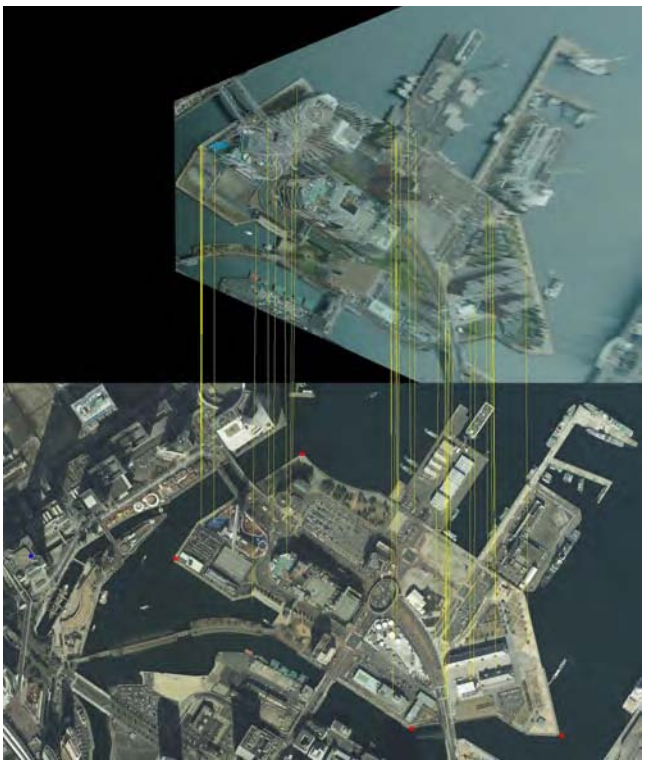

図 4 範囲を限定して SURF マッチングを行った様子

3.2.2 衛星画像上での距離の算出

求めた Homography を用いて撮影画像の各点を衛星画像上の座標に対応付けを行うことで距離を算出する．ここで，衛星画像中であらかじめ撮影地点を指定しておき，そこからの衛星画像上の距離を求め画像の縮尺を考慮に入れたうえで実際の距離を算出する．また，ここでは高所からの撮影を行っている前提なので撮影場所の高さも考慮に入れた上でより正確な距離を算出し復元に利用する．

以上の処理により画像中の全画素に対して距離を算出することができるので，画像全体に対して式 1 を適用することで画像全体の復元を行う．

4. 実験と考察

本手法の有効性を確かめるため，実際に撮影した画像を用いて復元実験を行った．実験は以下の 2 つを行った．

- 実験 1：画像中の遠景にある建物に対しての色の復元
- 実験 2：俯瞰画像における画像全体の復元

それぞれの実験においては，2 枚の画像に対して行い復元結果を比較，考察した．

また，本論文内の実験で利用した衛星画像は全て Google Map（http://maps.google.co.jp/）から取得した．

4.1 遠景の建物の色の復元

画像の遠景にあり悪天候による影響を大きく受けている建物に対し復元を行う．ここでは，画像の撮影場所から撮影対象の建物までの距離はあらかじめ地図などを利用し求めてある．また，画像中の処理を行う対象の建物の領域も手動で取得しておく．なお，ここで建物は遠景であることを仮定しているため建物の高さに関わらず距離は一定であるとする．指定した画像中の建物領域内において式 1 に距離を代入しパラメータを指定することで復元を行う．

4.2 実験 1：遠景の建物の色の復元

ここでは画像の劣化度合いの違う 2 枚の画像を用意し，それぞれについて実験を行い考察する．

1-1：視界が少し悪い画像での実験

撮影画像は図 5(a) を利用し，入力画像サイズは 800 × 600 で行った．この画像中において遠景にある建物に対してあらかじめ処理対象範囲を決定しておき，かつ Google Map 上で距離を算出しておく．

この画像に対し $\beta = 2.6 \times 10^{-4}$ にて設定し空領域をドラッグし（図内赤枠）E_∞ を算出したうえで復元を行った結果が図 5(c) となった．

1-2：視界がかなり悪い画像での実験

図 5(a) に比べさらに視界が悪い画像を入力画像とし（図 5(d)）同様に実験を行った．この入力画像もサイズは同じく 800 × 600 で行った．$\beta = 3.5 \times 10^{-4}$ にて設定，図内赤枠で指定した領域から E_∞ を算出したうえで復元を行った結果が図 5(f) となった．

4.2.1 実験 1 の考察

本節では，図 6 に晴天時の同じ風景の撮影画像を示し，この画像と比較検討を述べる．

図 5(c) の建物の色を図 6 のものと比較してみると，ある

© 2012 Information Processing Society of Japan

(a) 撮影画像（実験 1）　(b) 処理範囲の指定（実験 1）　(c) 復元画像（実験 1）

(d) 撮影画像（実験 2）　(e) 処理範囲の指定（実験 2）　(f) 復元画像（実験 2）

図 5　遠景の建物色の復元実験

図 6　晴天時の画像

程度復元できていることがわかる．特に中央付近の赤色のビルについて注目してみると赤色が劣化せずに復元できていることがわかる．また，それぞれの建物について表面のテクスチャもそのままにコントラストが上がった画像へと復元ができていることが見られる．

一方で図 5(f) を見てみると，復元したい建物の色や表面のテクスチャ情報はほとんど復元できていないのが明らかにわかる．その原因としては，悪天候による劣化が激しく，建物の明度値がカメラに届くまでに大きく失われてしまっていることが考えられる．このことから，劣化の激しい画像に対しては距離が明らかであっても復元は困難になるということがいえる．

4.3　実験 2：俯瞰画像における画像全体の復元

ここでは撮影画像を見下ろし角度が大きい画像と小さい画像の 2 枚用意し，それぞれについて実験を行い考察する．なお，本実験では撮影画像は 2800 × 2100 のサイズで撮影した．

2-1：見下ろし角度が大きい画像での実験

入力画像として図 7(a) と図 7(b) の 2 つを利用し，クリックによる手動での対応点指定の様子は赤点で示す．なお，対応点はここでは 8 点指定しており，この衛星画像のサイズは 1500 × 885 である．そして，ここで同時に衛星画像中で撮影場所を指定している（青点）．また，実際に復元を行った結果は図 7(c) に示す．

2-2：見下ろし角度が小さい画像での実験

入力画像として図 8 の 2 つを利用し，クリックによる手動での対応点指定の様子を赤点で示す．なお，ここで指定した対応点の数は 7 点であり，同時に衛星画像中で撮影場所を指定している（青点）．また，この衛星画像のサイズは 1100 × 800 である．また，実際に復元を行った結果は図 8(c) に示す．

4.3.1　実験 2 の考察

実験 2 では，2-1 と 2-2 ともに見やすい画像を生成することができた．しかし，2-1 に比べ 2-2 は見下ろしの角度が浅いために遠距離及び空の領域が多く写っているため，画像にノイズが多く入ってしまっている．また，画像間の Homography を得る際にも遠距離部は画像の伸びが大きくなるので SURF によるマッチングが難しくなってしまうという難点がある．

© 2012 Information Processing Society of Japan

(a) 撮影画像と対応点（赤点）

(b) 衛星画像と対応点（赤点）及び撮影点（青点）

(c) 復元結果

図 7 実験 2-1 の入力画像と復元結果

また，本実験に用いた画像中では影響は大きくなかったが，画像中に写っている建物の高さが無視できない範囲になると実験 1 で行ったことをさらに組み合わせるなどの考慮が必要となってくる．

5. 結論

本研究では，悪天候時に屋外で撮影された単独の画像から復元を行うシステムを提案した．撮影された画像に対して地理情報との関連付けを行うことで画像中に写りこんでいる撮影対象との距離を獲得し，得られた距離情報をもとに劣化された画像を復元することができた．一つ目の実験では，遠距離にある劣化して写り込んだ建物を距離情報をもとに見やすい画像に復元できた．二つ目の実験では，撮影された画像に対応する衛星画像を用意し，撮影画像との対応点を取ることで Homography を算出し衛星画像上に対応付けをすることができた．その後に衛星画像上での距離を算出しそれを利用することで復元処理を実行できた．

今後の課題として，本システムで手動で行っていること（衛星画像の取得，Homography の 1 段階目の手動対応点取得，パラメータ取得など）を自動化していくことがあげられる．このうち衛星画像の取得及び対応点の取得は，スマートフォン上で実装しスマートフォンに搭載される GPS 機能や電子コンパス，傾き検出器などの利用により解決が見込まれる．パラメータ取得の自動化は画像中の明度値を利用し関連研究で行っている手法を取り入れたうえで，実験を繰り返し行いデータを集めることで定量的に決定するなどが考えられる．

参考文献

[1] Schechner, Yoav Y. and Narasimhan, Srinivasa G. and Nayar, Shree K, *Polarization-based vision through haze*, Applied Optics, Special issue, Vol.42, No.3, pp.511-525, 2003.

[2] Schechner, Y.Y. and Narasimhan, S.G. and Nayar, S.K., *Instant dehazing of images using polarization*, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Vol.I, pp.325-332, 2001.

[3] Treibitz, T. and Schechner, Y.Y., *Active Polarization Descattering*, Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, Vol.31, No.3, pp.385-399, 2009.

[4] Narasimhan, S.G. and Nayar, S.K., *Contrast restoration of weather degraded images*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.25, No.6, pp.713-724, 2003.

© 2012 Information Processing Society of Japan

(a) 撮影画像と対応点（赤点）

(b) 衛星画像と対応点（赤点）及び撮影点（青点）

(c) 復元結果

図 8 実験 2-2 の入力画像と復元結果

[5] He, K. and Sun, J. and Tang, X., *Single image haze removal using dark channel prior*, Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009. IEEE Conference on, pp.1-8, 2009.

[6] Narasimhan, S.G. and Nayar, S.K., *Interactive (De)weathering of an image using physical models*, ICCV Workshop on Color and Photometric Methods in Computer Vision (CPMCV), pp.1-8, 2003.

[7] Bay, H. and Tuytelaars, T. and Van Gool, L., *SURF: Speeded Up Robust Features*, Computer Vision–ECCV 2006, Part I, LNCS 3951, pp.404-417, 2006.

[8] Narasimhan, S. and Wang, C. and Nayar, S., *All the images of an outdoor scene*, Computer Vision—ECCV 2002, Vol.III, pp.148-162, 2002.

[9] Ancuti, C.O. and Ancuti, C. and Bekaert, P., *Effective single image dehazing by fusion*, Image Processing (ICIP), 2010 17th IEEE International Conference on, pp.3541-3544, 2010.

[10] Matlin, E. and Milanfar, P., *Removal of haze and noise from a single image*, Proceedings of SPIE, Vol.8296, pp.1-12, 2012.

© 2012 Information Processing Society of Japan