

# 博 士 論 文 概 要

## 適応マスクを用いたトランケート 劣化画像のブラインド回復と応用

Blind Image Recovery of Truncated Degraded Images  
Using Adaptive Mask and Its Applications

申 請 者

石原	信人
Nobuhito	Ishihara

物理学及応用物理学専攻 光物理工学研究

2007 年 11 月

近年携帯電話付属の CCD カメラやカプセル型内視鏡に見られるように撮像素子の小型化・高性能化の技術の向上が望まれている。それらは同時に高度な画像処理技術を必要とすることが多い。しかしながら、光学系と画像処理系を同時に改善していく事は困難な問題であり、現在盛んに研究が行われている分野であるが、画像処理系は光学系に依存性が高く、デバイスごとに違った画像処理系が必要となることが少なくない。一般的に劣化画像は物体と劣化関数 (PSF) のコンボリューションで近似され、系の劣化過程を知ることの出来る画像処理に関しては様々な研究成果が発表されており、デコンボリューションを基にした画像処理は身近なところでも多く用いられている。デコンボリューションは劣化関数、すなわち系に依存した劣化の情報がある程度必要になる。しかしながら、事前に系の情報がわかる状況というのは日常においてそれほど多く起こりうる状況ではなく、また状況に合わせた画像処理系では様々な状況下において、柔軟に対応することが困難である。そこで注目されているのがブラインド・デコンボリューション法である。ブラインド・デコンボリューション法は劣化画像からアприオリな情報のみを用いて物体と劣化関数に分離する手法である。この手法の利点は、一般的なデコンボリューションに比べてインパルス応答に対するロバスト性が高く、広い分野で応用の可能性があるという点である。

本論文では、ブラインド・デコンボリューションを基にし、従来提案されている手法より様々な状況において応用が可能である手法を述べるとともに、その有用性を実証する。従来のブラインド・デコンボリューション法では回復が困難であった、トランケートされた劣化画像に対する手法を基にしているため、分割された画像や実際に撮影された画像の劣化回復も行うことが可能である。本研究では、実際に携帯電話付属のカメラ、一眼レフデジタルカメラ、および実験系に組み込まれた CCD カメラによって撮影された劣化画像の回復とその評価・考察を行った。

第 1 章では、序論及び本研究の目的を述べる。

第 2 章では、画像の様々な基本的な表現手法とデコンボリューション法について述べる。また、ブラインド・デコンボリューション法についても詳しく記述し、一般的な画像処理手法であるいくつかのフィルタリング処理とブラインド・デコンボリューション法の違いを中心にブラインド・デコンボリューション法を使う必要性を述べると同時に、ブラインド・デコンボリューション法の解の一意性について述べる。

第 3 章では、最適化法の例を挙げる。また、その中から本研究において画像回復の最適化法として中心的に用いているブラインド・デコンボリューション法の二種類の最適化法、すなわちフーリエ反復法とシミュレーテッドアニーリング法について詳しく述べ、それらのアルゴリズムの利点・有効性を基に実際に画像回復を行う。

第4章では、実際に回復させた画像を基にブラインド・デコンボリューション法の問題点の改善を検討する。一般的に撮影された画像というものは、周囲からの光の写り込みが存在する。過去のブラインド・デコンボリューション法についての研究は、そのほとんどが天体画像や顕微鏡画像、暗い実験室内で取られた画像などのように、周りからの光の写り込みをほとんど無視出来る状況において行われている研究である。劣化画像を切り取り回復している研究もあるが、その画像回復精度は高いものではない。そこで本研究ではまずシミュレーションとして、劣化画像から切り出されたセグメントの画像回復を行った。切り取られた劣化画像は縁の部分に周りからの光の写り込みが非常に強いものとなっているため、写り込みの影響を無視することが不可能である。信号処理の手法に窓関数を用いて矩形に切り取ったときに切り取られた両端付近においての信号の情報を補正する手法がある。ハミング窓やハニング窓と呼ばれるものがその代表例である。劣化画像から切り取られた切片に対し、ハニング窓などの窓処理を施すことにより周囲からの写り込みの情報を減少させることが出来るが、一方でこれらの基本的な窓処理では、切片内の情報をも同時にかなり減少させてしまう、すなわち周波数分解能をかなり低めてしまうため、ブラインド・デコンボリューション法にそのまま用いる事は不可能である。本研究ではこれらの窓関数の考え方を応用し、適応なマスクを作成することにより注目している切片周囲から光の写り込みを減少させることによりブラインド・デコンボリューションの作業を行えるようにしている。各繰り返し計算の中で、その時点で推定されている劣化関数を基に、周辺からの光の写り込みも同じ劣化関数に従うものと仮定して、ダミー物体と劣化関数の推定の畳み込み積分により適応マスクの作成を行い、シミュレーションによって作成された劣化画像から切り出された切片に対して適応マスクを用いてブラインド・デコンボリューション法を実際に行うことにより適応マスク法の有効性を示す。また、実際に一眼レフデジタルカメラで撮影されたテストチャートの劣化画像について回復を行う。

以上第4章で記述したことが本論文の中心となる手法である。適応マスクを用いることにより切り出された画像や、実際に撮影された画像の回復を行うことが第4章で実証された。そこで、本手法を用いた応用技術を二つ、続く章で挙げ、それらの技術の有用性を示す。まず第5章では、切り出された画像を回復出来る、という利点を用いて、物体の位置により劣化関数が変化してしまうような系、いわゆるシフトバリエーション劣化を持つ光学系で撮影された画像の回復を試みる。まず、シフトバリエーション劣化画像を回復する手法として、連続分割法という手法を紹介する。連続分割法とは、位置に依存する劣化関数が、近い位置同士ではそれほど変化していないという仮定の下行われる手法であり、画像を徐々に小さく切り刻んで行くことにより、各々の位置での劣化関数を少しずつ正確なものにしていく手法である。この手法の有効性をシミュレーションによって示す。また、

連続分割法を用いると同時に適応マスクを用いることにより，実際に携帯電話付属のカメラ，及び一眼レフデジタルカメラで撮影された画像について回復を行った．劣化画像は，カメラモジュールより 1m 及び 3m のところに別々に置かれた物体を同時に撮影することにより位置による劣化関数の違いを出している．これらの劣化画像は，フーリエ変換を用いるために，まず  $2^N \times 2^{N+1}$  に切り出され，適応マスクを用いたブラインド・デコンボリューション法を用いて回復を行う．続いて劣化画像を半分に分割し，両方の切片に対して同様にデコンボリューションを行う．その後は領域を  $1/4$  に分割しつつデコンボリューションを行う．最終的には手前の物体と後方の物体を同時に回復することはもちろん，境界部分についても回復出来ている．ただし，携帯電話での実験については，携帯電話付属の CCD・CMOS モジュールを直接用いたわけではなく，携帯電話に一度取り込んでから，PC に送信して回復を行ったものであるのもので，携帯電話の機能により JPEG 化されているものであるのもので，ブロックノイズが所々見られる．

適応マスクを用いることにより，切り出された画像がデコンボリューションによって回復出来るということは前の章までで実証している．第 6 章においては，別の観点から適応マスクを用いた手法による応用例を示す．切り出された画像は元の劣化画像よりはもちろんサイズが小さくなる，すなわち同じデコンボリューション処理を行っても少ない時間で回復が出来ると同時に大きいサイズの画像のままでは扱う事が困難であった処理も切片化することにより行うことが可能となる．本論文では，この利点を用いる応用技術として，動画の回復を試みた．CCD カメラを用いてテストチャートの画像を撮影する．物体に焦点を合わせた CCD カメラをその位置から，物体と垂直方向および水平方向に動かし，ピント外れの劣化動画を撮影する．動画は一秒に 60 フレームの精度で撮影される．撮影された動画は，フレームごとに分けられ，一部が切り出される．切り出された切片に対して適応マスクを用いてデコンボリューションを適用することにより，劣化関数を推定する．推定された劣化関数によりフレーム画像を回復した後，次のフレームに移り，同じ位置にある切片画像から，フレーム画像の劣化関数を推定する．劣化関数を推定する際には前フレームの劣化関数を初期予想劣化関数とすることにより，大幅なコストの削減に繋がっている．

第 7 章では，第 4 章以降の研究で得られた結果の総括と将来の展望を述べる．適応マスクを用いたブラインド・デコンボリューション法は，劣化画像から抜き出された切片画像を回復することが可能であり，適応マスクの技術を用いることにより，時間的・計算的コストの削減をすることが出来る．また，従来では実時間では困難であった動画や高解像度の画像に対しても，劣化画像のみからの回復が可能となり，応用分野としては，現在注目されているカプセル型内視鏡に用いることにより，現在よりも小型であり，かつ実時間で画像が得られる内視鏡や，また，より高精度な顕微鏡画像などを得る可能性が広がった．

## 早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏 名 石原信人 印

(2007年 10月 現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
論文	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <u>Nobuhito Ishihara</u> and Shinichi Komatsu, “Dynamic masking of image deconvolution for moving pictures,” Jpn. J. Appl. Phys. PT.1, Vol. 46, No. 12 (2007) (掲載決定)</li> <li>○ <u>Nobuhito Ishihara</u> and Shinichi Komatsu, “Dynamic Masking of Truncated Image Segments for Blind Recovery of Blurred Images Based on Simulated Annealing,” Opt. Eng., vol. 43, no. 5, 1177-1182 (2004)</li> </ul>
国際会議論文	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>Nobuhito Ishihara</u> and Shinichi Komatsu, “A novel method of blind de-blurring for consecutive frames of a motion picture,” Technical Digest FIO’ 07 (San Jose, USA, Sep. 2007), JSuA21.pdf (2007)</li> <li>・ <u>Nobuhito Ishihara</u> and Shinichi Komatsu, “Dynamic Masking of Image Deconvolution for Micro Order Moving Pictures,” Technical Digest MOC’ 06(Seoul, Korea, Sep. 2006), 138-139 (2006)</li> <li>・ <u>Nobuhito Ishihara</u> and Shinichi Komatsu, “Blind recovery of Blurred Image Using Adaptive Masking Method: Experimental Results,” Proc. MOC’ 04 (10th Microoptics Conference, Jena, Germany, Sep. 2004), L_59.pdf (2004)</li> <li>・ <u>Nobuhito Ishihara</u> and Shinichi Komatsu, “Blind Recovery for Degraded Image Blurred with Shift Variant PSF: Series Segmenting Method,” Technical Digest ICO’ 04 (Tokyo, Japan, Jul. 2004), 445-446 (2004)</li> <li>・ <u>Nobuhito Ishihara</u> and Shinichi Komatsu, “Blind Recovery of Truncated Blurred Image Using Adaptive Masking Method,” Proc. WISICT 2004 (Cancun, Mexico, Jan. 2004), 268-272 (2004)</li> </ul>
総説	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>石原信人</u>, 小松進一, “ニューラルネットワークモデルを用いた劣化像のブラインド回復法,” O p l u s E, 28 巻 3 号, 258-262 (2006)</li> </ul>
講演	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ <u>石原信人</u>, 小松進一, “動画のための連続分割画像回復法,” Optics &amp; Photonics Japan 2006 (日本光学会年次学術講演会・日本分光学会秋期講演会) 予稿集, 394-395 (2006)</li> <li>・ 山口昌一郎, <u>石原信人</u>, 小松進一, “免疫アルゴリズムを用いたブラインド・デコンボリューション,” Optics &amp; Photonics Japan 2006 (日本光学会年次学術講演会・日本分光学会秋期講演会) 予稿集, 392-393 (2006)</li> <li>・ <u>石原信人</u>, 小松進一, “ニューラルネットワークモデルを用いた連続分割法によるシフトバリエーション劣化像のブラインド回復,” Optics Japan 2005 (日本光学会年次学術講演会) 予稿集, 136-137 (2005)</li> <li>・ <u>石原信人</u>, 小松進一, “連続分割法を用いたシフトバリエーション劣化像のブラインド回復ー実験的検証ー,” Optics Japan 2004 (日本光学会年次学術講演会) 予稿集, 160-161 (2004)</li> </ul>

## 早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 松澤重信，<u>石原信人</u>，小松進一，“ブラインド・デコンボリューションのための自己組織的アルゴリズム，” Optics Japan 2004（日本光学会年次学術講演会）予稿集，162-163（2004）</li><li>・ <u>石原信人</u>，小松進一，“適応型マスク法を用いたブラインドデコンボリューションによる像回復，” 第 64 回応用物理学会学術講演会講演予稿集， No. 3， 905（2003）</li><li>・ 松浦大和，<u>石原信人</u>，田島由理，小松進一，“SA法に基づくシフトバリエーション劣化画像のブラインド回復，” 第 64 回応用物理学会学術講演会講演予稿集， No. 3， 905（2003）</li><li>・ <u>石原信人</u>，小松進一，“遺伝アルゴリズムを用いたブラインドデコンボリューション，” 第 61 回応用物理学会学術講演会講演予稿集， No. 3， 880（2000）</li></ul>