

平成 21年 6月 1日現在

研究種目： 基盤研究（C）  
 研究期間： 2007年度～2008年度  
 課題番号： 19500140  
 研究課題名（和文） 露光変調方式による高S/N・高精細・広ダイナミックレンジカメラシステムの開発  
 研究課題名（英文） Development of high S/N, high definition and wide dynamic range camera system by exposure modulation  
 研究代表者  
 西 一樹（Nishi Kazuki）  
 電気通信大学・電気通信学部・准教授  
 研究者番号： 00208125

研究成果の概要： 意図的にブレを生じさせつつ露光過程で変調を加えることにより、任意の空間周波数帯域での画像強調・高解像化を可能にする方法を提案し有効性を検証するとともに、「手ブレの振る舞い」および「高解像化の一手段である手ブレ補正の性能水準」を調べる必要性から、手ブレやカメラ自体の振動を測定し手ブレ補正の効果を定量的に評価するシステムを開発した。

## 交付額

（金額単位：円）

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2007年度 | 2,400,000 | 720,000 | 3,120,000 |
| 2008年度 | 700,000   | 210,000 | 910,000   |
| 年度     |           |         |           |
| 年度     |           |         |           |
| 年度     |           |         |           |
| 総計     | 3,100,000 | 930,000 | 4,030,000 |

研究分野： 総合領域

科研費の分科・細目： 情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード： 画像情報処理、高解像化、手ブレ

## 1. 研究開始当初の背景

現在のカメラシステムでは、被写体像を劣化なく結像するための光学系、高S/N・高精細な画像データを得るための撮像デバイス、ボケや歪みの補正、ノイズの除去を行うための画像処理部で構成され、各段階において像情報を歪みなく処理することを中心に設計されている。これに対し研究レベルでは、撮像時において被写体に忠実な画像データを得るかわりに、光学演算により符号化された像情報を得た後、デジタル画像処理により復号化することで、撮像プロセスで生じる劣化や歪

みに対して耐性をもつカメラシステムの実現が注目されている。

この考え方に基づく撮影方式の一つとして、我々は「露光変調方式」を提案している。そこでは、露光時に被写体の輝度を時間的に広帯域変調させたものを撮影した後、デジタル画像データに対してPC上で復調処理することにより、被写体の動きや手ブレにより生じた画像劣化の修復を可能にしている。通常の撮影によるブレ画像では、高周波情報が欠落しているため修復が原理上困難であるが、露光変調をかけることより被写体の画像

周波数情報を広帯域に記録できるため、たとえばブレが生じても精細な画像情報は失われることがないというのがこのアイデアのみぞである。変調のかけ方に自由度があることに着目すれば、単にブレ補正の目的だけでなく、高S/N化や高解像化などのカメラ性能の向上にも露光変調方式が生かせる。この着想に至ったのが本課題である。

## 2. 研究の目的

本研究の最大の目的は、露光変調方式の導入によってカメラの高S/N・高解像化が可能なることを示すことである。それを裏付けるための具体的アイデアおよび実験内容は以下のとおりである。

一つは、「画像周波数の選択強調による高S/N化」である。通常のカメラ撮影では、被写体情報が低域に集中するのに対して、撮像デバイスでの光電変換時に重畳する雑音は低域から高域まで一様に分布するため、S/Nとしては相対的に高域側で低くなる。画像データ解析では、高域のもつ細部情報が重要となるためこのことが特に問題となる。そこで、露光変調により相対的に高域を強調し（プリエンファシス）、撮像後のデジタル画像データに対して高域減衰の補正処理（デエンファシス）を行うことにより、プリエンファシスにより画像が高域強調される一方で、雑音成分は画像周波数で一様な分布をもつため、相対的に高域側のS/Nが向上することになる。このことを実験的に示すのがここのテーマである。

二つ目は、「画像周波数分割・合成による超解像の実現」である。撮像デバイスの画素間隔以上の低周波帯域のみを通して撮影された通常の画像データと、逆に画素間隔以下の高周波帯域のみを通して撮影された画像データの両者を合成することで、画素間隔以下（サブピクセル）の解像度をもつ画像が得られる。前者は高周波側、後者は低周波側の画像成分をそれぞれ抑圧しているため、撮像時のサンプリングにおいてエイリアシングを生じることなく両画像を記録できるため、これらをPC上で再合成すればカメラ取得画像に対して2倍の解像度をもつ被写体像が得られる。これは超解像の新しい考え方を提案するものであり、その一般化としてサンプリング周波数の整数倍への高解像化が可能なることを示し、その効果をカメラ実験により検証するのがここのテーマである。

以上の過程において、「手ブレの振る舞い」および「高解像化の一手段である手ブレ補正の性能水準」を調べておくことも不可欠である。そこで上記に加え、手ブレやカメラ自体の振動を測定し手ブレ補正の効果を定量的に評価する方法についても検討する。

## 3. 研究の方法

### (1) 画像周波数の選択強調による高S/N化

高域強調の一般化としてS/Nを向上したい画像周波数帯域にあわせて選択的に画像強調を行う方法について検証する。

元画像に対して一旦露光変調によるブレ画像を得た後、デジタル画像処理によりブレ補正を行うことで、元画像のうち（水平方向に対する）高域成分が選択強調されていることが確認する。まだ現時点ではフィルタ設計が不完全なためブレ補正が十分ではないので、その解決策を検討する。

本手法においてわかっている問題点としては、露光変調方式がインコヒーレント演算を前提としていることの本質的な制約により、変調操作が原理上正値しか取りえず、そのため強調したい画像周波数成分以外にもDCを中心とした低域成分が常に取り込まれてしまうことがあげられる。これを軽減するには、多重露光によるブレ幅を大きくとることが有効であるが、画像上を大きく占有する被写体については画像の中央付近でしか正しく働かない可能性がある。このことが画質劣化にどの程度影響を及ぼすかについてや、低域成分の残留が問題にならないレベルに抑えるには最小でどの程度のブレ幅を確保する必要があるかなどについて、実験を通して明らかにする。

### (2) 画像周波数分割・合成による超解像の実現

ナイキスト周波数以下の低域側とそれを超える高域側についてそれぞれ露光変調により画像を分割撮影し、それをデジタル画像データ上で合成することにより、撮像デバイスの画素間隔で決まるナイキスト周波数以上の解像度（超解像）を実現する方法について検証する。

被写体として、撮像デバイスの画素間隔より狭い周期の縦縞模様が印刷されたものを普通に撮影しても、ナイキスト周波数を基準として高域側の周波数成分が低域側に折り返される、いわゆるエイリアシングが生じるため、模様がつぶれ本来の正しい間隔で縦縞を観測することはできない。これに対して、露光変調の手段を用いて高域側の周波数成分のみを分離して撮影すると、たとえエイリアシングが生じても周波数がシフトするだけで、対応する画像情報を歪みなく記録できる。ただし、ここでもDCを中心とした低域成分が残留することは避けられないため、前記と同様にその軽減対策について検討を行う。同様の理由により現時点ではまた実現できていないが、低域部と高域部を分けて撮影し合成することで2倍の解像度を実現する方法についても検討する。

具体的には、被写体を移動させながら一定時間間隔で点滅するフラッシュ照明により反復露光撮影するというものである。これに

より得られた画像のスペクトル分布は櫛形構造をとり(図1(a)) 撮像時のサンプリング演算を通してスペクトルの折り返しが生じる(同図(b))。通常はエイリアシング歪みにより重なった周波数成分の分離は困難であるが、櫛形構造をとる低域成分と高域成分の両者が互い違いになるように選んで撮影すれば、画像フィルタ処理により両者を分離することが可能になる。

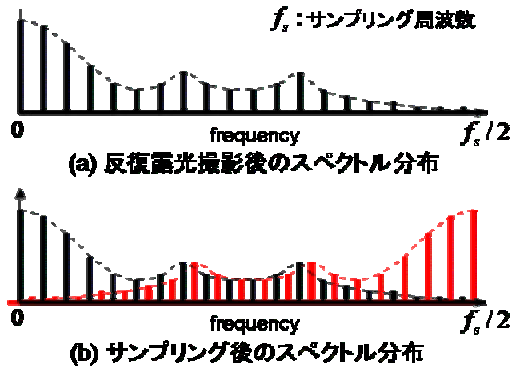


図1 反復露光撮影方式の原理

(3) 手ブレ計測・補正評価法の開発

「手ブレの振る舞い」および「高解像化の一手段である手ブレ補正の性能水準」を調べる必要性から、手ブレやカメラ自体の振動を測定し手ブレ補正の効果を定量的に評価するシステムを開発する。

原理は、本研究の「露光変調」の考え方からヒントを得たものである。従来はカメラ評価に静止画テストチャートを用いていたのに対して、「動画テストパターン」を撮影することを特徴としている。シャッター開口期間中に生じた手ブレの痕跡が各フレームの位置変位として画像に記録されることを利用し、それをパターンマッチングにより撮影画像から検出するというものである。これにより撮影時の手ブレの挙動を3次元軌跡と

動画テストパターン:

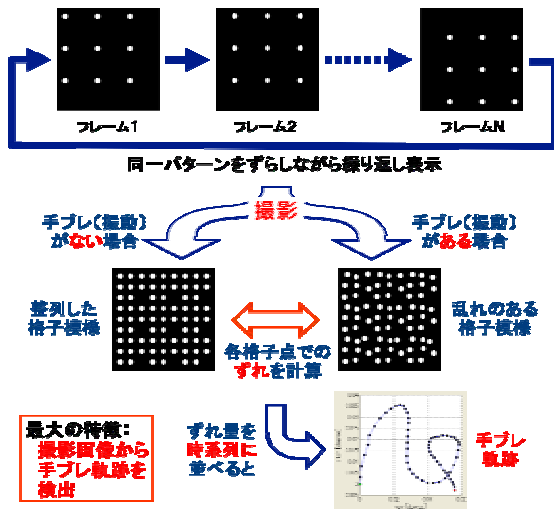


図2 手ブレ計測の原理

して検出し、手ブレ補正装置の効果を定量的に評価できる。

4. 研究成果

(1) 画像周波数の選択強調による高S/N化

図3は得られた結果の一例である。被写体として、撮像デバイスの画素間隔より狭い周期の縦縞模様が印刷されたものを用いている。これを普通に撮影しても、ナイキスト周波数を基準として高域側の周波数成分が低域側に折り返される、いわゆるエイリアシングが生じ、S/Nも低いため正しく縞模様を観測することはできない(同図(a))。これに対して、露光変調によりナイキスト周波数を越える高域成分のみを分離撮影し補正処理を行うと、本来の縞模様が再生でき(同図(c))、通常の撮影に比べてS/Nが約5dB向上する(同図(b),(d))。超解像の実現という点でも興味深い結果である。

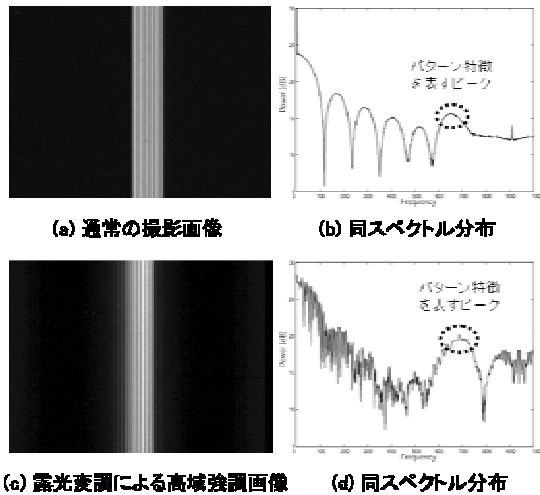


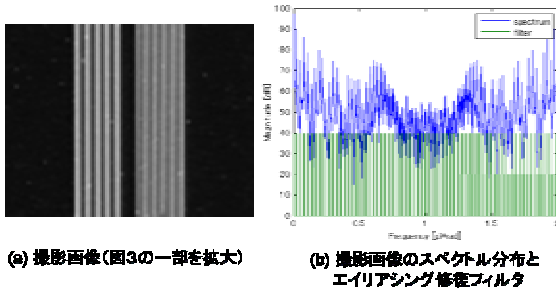
図3 高域強調の一例

(2) 画像周波数分割・合成による超解像の実現

図4は反復露光による撮影画像の一例であり、図4は上記によるエイリアシング修復処理前後の様子を表している。画像中左側の縦縞は画素間隔より広い縞間隔をもつものに対して、右側は画素間隔より狭い縞間隔を有している。そのため撮影画像のままではエイリアシングにより正しい縞間隔を反映していないが(図5(a))、フィルタ処理後の修復画像では画素間隔より狭い縞模様の再生(超解像)に成功している(図4(c))。同時にコントラストも向上しているのは、反復露光撮影により被写体情報が空間的に分散記録され、フィルタ処理によりそれらが集積・再構成されたことによる。S/Nとしては約8dBの改善がみられた。

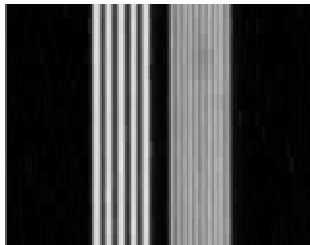


図4 反復露光撮影画像の一例



(a) 撮影画像(図3の一部を拡大)

(b) 撮影画像のスペクトル分布とエイリアシング修正フィルタ



(c) フィルタ処理後の再生画像

図5 反復露光撮影方式による超解像再生の一例

### (3) 手ブレ計測・補正評価法の開発

測定装置としての性能は、動画テストパターンの提示に液晶ディスプレイを用いた場合で、時間分解能で60frame/sec、空間分解能で0.6画素を実現している。現在は、専用LEDディスプレイの導入により測定性能の大幅向上を目指し、本成果をさらに発展すべく継続して研究を進めている。図6は手ブレ検出結果の一例である。

当初の研究実施計画からは外れた内容となったが、その着想は本来のテーマから派生したものであり、本テーマの活用対象であるカメラ・光学機器関連メーカーのニーズに合致した内容であることから、本成果は現在大いに有効活用されるに至っている。

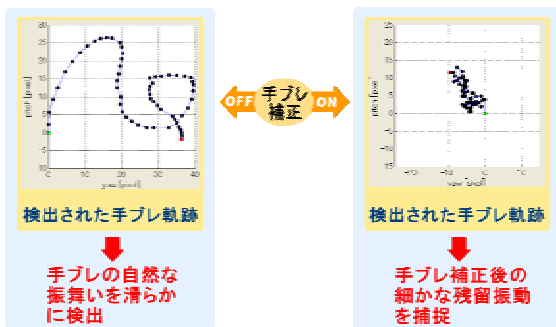


図6 LEDディスプレイ用いた手ブレ測定の場合

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

[1]西 一樹: “手ブレ計測・補正評価システム”, 画像ラボ, Vol.19, No.10, pp.22-27, 2008. (査読無)

[2]西 一樹: “光学式手ブレ補正はどこまで可能か?: 手ブレ計測と撮影画像の高解像度化”, 映像情報メディア学会誌, Vol.62, No.4, pp.500-506, 2008. (査読無)

[3]西 一樹: “手ブレ補正向け測定技術を開発: 効果を定量的に評価”, 日経エレクトロニクス, No.963, pp.131-139, 2007. (査読無)

〔学会発表〕(計5件)

[1]R.Ogino, T.Suzuki, K.Nishi: “Camera-Shake Detection and Evaluation of Image Stabilizers,” Proc. SICE Annual Conference, 1A21-4 (4 pages), Tokyo, 2008.8.20. (査読有)

[2]K.Nishi, R.Ogino: “3D Trajectory Detection and Analysis of Camera-Shake,” Optical 3-D Measurement Techniques VIII, Vol.1, pp.149-154, Zurich, 2007.7.9. (査読有)

[3]藤原, 松原, 西, 荻野龍一: “多重露光撮影による超解像イメージング”, 第32回光学シンポジウム, 日本光学会, 東京, 2007.7.5. (査読無)

[4]K.Nishi, R.Ogino: “3D Camera-Shake Measurement and Analysis,” Proc. IEEE Int. Conf. on Multimedia & Expo (ICME), pp.1271-1274, Beijing, 2007.7.4. (査読有)

[5]西 一樹, 荻野龍一: “3D手ブレ計測システム”, 第13回画像センシングシンポジウム, IN3-09 (6 pages), 横浜, 2007.6.8. (査読有)

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

特願 2006-345239: “ブレ測定システム及びブレ測定方法”, 発明者: 西 一樹他、出願人: 電気通信大学他、同国際出願 (WO/2008/078537)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

西 一樹 (Nishi Kazuki)

電気通信大学・電気通信学部・准教授

研究者番号: 00208125

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし