

令和 7 年 6 月 18 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2022～2024

課題番号：22K04123

研究課題名（和文）画像中のパタンノイズ分離法と周波数スペクトルを用いたパタン成分の特徴づけ法の開発

研究課題名（英文）Development of a method for separating pattern noise in images and characterizing pattern components using frequency spectrum

研究代表者

白井 啓一郎（Shirai, Keiichiro）

信州大学・学術研究院工学系・准教授

研究者番号：00447723

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：本来得たい画像に対して、不要な模様が繰り返し現れたパタン画像が映り込んだ際に、パタン成分を取り除く方法の開発を目的とし、その性能改善に必要となる「パタンの周期」を推定する方法を開発し、パタン成分除去法に対して組み込み、その成果を国内研究会において発表した。パタン成分の特徴づけには、フーリエ変換領域におけるスペクトルを用いるため、パタンの周期を推定できると、変換用のデータ長が適切となり、特徴づけが強まり、パタン成分を分離しやすくなる。処理結果においては、本提案法を組み込む以前においては、画像端にパタン成分が残ることが多々あったが、組み込み後においては、画像端のパタン成分を大幅に低減できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

パタンノイズの除去にも利用できるが、信号処理やパタン認識などの分野で何らかの信号列の周期を推定しようとする試みにも利用できる可能性がある。今回の手法では、自己相関の利用による「ピーク値の間隔を推定する問題」への変換、及び、「ピーク値に接する接線の傾きを推定する問題」への変換という2つの提案を行った。「ピーク値の間隔を推定する」という問題は、信号処理やパタン認識の分野でも度々扱われるが、ピーク位置の検出、及び、クラスタリングが関係し、人間には簡単に知覚できるが、計算によって算出することが難しい問題である。今回の数値計算においては、この難しさを念頭において、問題を単純化できるように設計している。

研究成果の概要（英文）：This study aims to develop a method for removing a pattern component when an unnecessary repetitive pattern image appears in the desired image. To improve its performance, we developed a method to estimate the “pattern size”, and incorporated the method into our pattern removal method, and presented the results at domestic research workshops.

In the pattern removal method, the spectrum in the Fourier transformed domain is used to characterize the pattern component. Estimating the pattern size allows for an appropriate selection of the data length for Fourier transformation, which enhances the spectral characteristics and facilitates the separation of pattern components. In the previous version of the pattern removal method, pattern components frequently remained around the image edges. On the other hand, after the integration of the proposed method, these pattern components were substantially reduced.

研究分野：画像処理

キーワード：自己相関 ピーク解析 パタン解析 スペクトル解析

## 1. 研究開始当初の背景

画像処理は、2000年以降の数理最適化の普及や、2010年以降の深層学習の普及により、その性能が飛躍的に向上してきた。「平滑化」や「画像合成」がその代表例である。一方、現在も十分な処理精度を確立できていない未解決な処理として、「手ブレ除去・ボケ除去」(画像の部分ごとにブレ方やボケ方が異なる)や「成分分離」(影の分離、反射光の分離、ガラスや金属面の映り込みの分離)などがある。

本研究では成分分離の中でも、「パタンノイズ」または「パタン画像」の分離を扱う。ここで、「パタンノイズ」であるが、真に観察したい画像に重なるように、ある特定のパタンが繰り返し現れて映り込み、観察を阻害するものである。

申請者らはパタン分離の方法をこれまでに提案しており [1]、計算時におけるパタン成分の特徴づけのために、画像を離散フーリエ変換した際の振幅スペクトルの大きさを利用する。すなわち、画像に対してパタンノイズが加わると、値の大きなスペクトルがまばら(スパース)に現れるため、この値を数値計算時に用いる。しかし、フーリエ変換を用いる際の問題として、変換に用いるデータ長がパタン長の整数倍とならない場合、スペクトルのスパース性が低減してパタンを分離できず、特に画像端に残る問題があった。

## 2. 研究の目的

パタンノイズが混入した画像から、パタンノイズを除去することが大きな目的であるが、以下の3つが段階的に開発・実験を試すものである。

- パタン長の推定：  
あるパタン画像を繰り返し並べて作成した長いパタンの画像から、最小のパタンサイズを推定する。繰り返し回数が整数倍ではなく、小数倍となるときにも対応できるものが望ましい。
- 画像の部分的な処理：  
フーリエ変換を行うデータ長は、パタン長の整数倍が望ましいが、データ長は画像サイズとは一致しないため、部分的に処理を行う必要がある。この場合、処理結果を合成する必要がある(音声処理のような短時間フーリエ変換の処理の際に用いるような重み付きの重畳)。処理結果が自然に見えることが望ましい。
- パタン除去法への組み込み：  
パタン除去を行う際は、「パタン成分の分離」と「パタン長の推定」を交互に繰り返す必要がある。パタン長を推定するには、パタン成分がある程度分離できている必要がある。また、より良い分離結果を得るためには、パタン長を適切に推定する必要がある。どのような画像であればパタン成分の分離に成功するのか、処理結果は自然に見えるのかなどを把握する必要がある。

## 3. 研究の方法

本研究の課題では、令和4年、令和5年、令和6年の3年間の研究を以下のように進めた。

### 【令和4年度】

「画像サイズに対して扱えるパタンサイズの調査」を行った。画像サイズがパタンサイズに対して十分に広くない場合、パタン成分の特徴づけに用いるスペクトルが、観察画像のスペクトルに紛れ、分離しにくくなると考えられる。どの程度のサイズ比率のときに、どのような分離結果が得られるかを調査した。

### 【令和5年度】

「パタンサイズの検出」を行った。パタンの大きさ、もしくは、画像端付近での巡回位置を検出し、処理する領域を切り出す。なお、1年目の結果によっては、この検出方法が可能かどうか分かり、画像サイズを調整せずともスペクトルを用いてパタンの特徴づけができるのであれば、そちらのほうが望ましいため、この調査を通して手法を変更する可能性もあった。

### 【令和6年度】

「画像の部分的な領域の処理」を行った。モアレパタンなどでは、画像内の場所ごとに縞模様の現れ方が変わるが、パタンの似た領域ごとに処理を行えば、パタン成分のスペクトルが鮮明となり、性能が向上する可能性がある。また、領域ごとに並列計算ができれば、処理速度の改善が期待できる。

## 4. 研究成果

### 4.1 パタンの周期の検出

令和4年度から令和5年度中盤までの成果として発表した文献 [2] の内容を述べる。

#### 4.1.1 パタンの周期と自己相関信号に現れる特徴

図 1(a) に示すパタン画像が繰り返されて (b) に示す画像となった場合、その見た目以外に現れる数値的な特徴は二つある。

一つ目は、申請者らのパタン分離法 [1] でも用いていたフーリエ変換時のスペクトルであり、繰り返された回数分、元々のスペクトルの間にゼロ値が挿入され、スペクトルの間隔が離れていく。ただし、この特徴は、繰り返しが整数回の場合のみ鮮明に現れ、小数回の場合には不鮮明となるため、特徴として用いることは難しい。図 2(a) にスペクトルを示す。図 1(b) での繰り返し回数が 3 回と画像半分 (3.5 回) であるため、スペクトルには 3 画素～4 画素間隔で縞模様が現れ、整数回の場合は明瞭な縞模様となるが、小数回の場合には不鮮明となる。

二つ目は、画像信号の自己相関を計算した際に見られる高い値を伴うピークの現れ方であり、図 2(b) に示すように、ピークは最小パタンサイズの間隔で現れる。今回は横方向にのみ繰り返しているため、この図の上端 (もしくは下端) での数値変化が繰り返しに関係し、これをプロットしたものが (c) である。パタン画像の繰り返しが整数回の場合には、全てのピーク値は同一となり、繰り返しが小数回の場合には、図中の橙色の実線で示すように、傾きを伴う直線に接するように一定の値で減衰する。小数回の繰り返しも、特徴は鮮明に現れるため、特徴として用いやすい。なお、鏡に写したようにダミーのピークも現れるため (図中の破線に接するピーク)、区別する必要がある。

#### 4.1.2 直線に接するピーク値検出の容易化

あるパタン (ここでは等間隔) で現れるピーク値を自動検出しようとする場合、一般的には、何らかのパタン認識手法が必要となり、知覚的認識の容易さに反して煩雑となる。一方、本手法では「ピーク値が、画像の半分サイズまでにおいて、ピーク値の上側から接する接線上に現れる」という特徴を利用して、その検出を容易化する方法を提案する。

まず、図 3(a) の自己相関信号において、水平方向の左端を基準位置  $x_0 = 0$  とし、右側に向けて、画像の半分のサイズまで、一定間隔  $d$  で値をサンプリングすることを考える。 $i$  番目の位置は  $x_i = i \times d$  となり、得られる信号値を  $y_i$  とする。なお、最も左側で得られる  $y_0$  は常に最大値となる。

次に、基準座標  $(x_0, y_0)$  を通過しつつ、座標群  $\{(x_i, y_i)\}_i$  の付近を通過する直線を考え、特にその傾き  $\alpha_d$  を考える。例えば、以下のように最小二乗法の方程式を立て、解として求める。

$$\alpha_d = \arg \min_{\alpha_d} \sum_i ((\alpha_d x_i + y_0) - y_i)^2 = \frac{\sum_i x_i (y_i - y_0)}{\sum_i x_i^2} \quad (1)$$

$d$  が最小パタンサイズの整数倍と一致するとき、座標は直線上に並び、傾きは最小値をとる。それ以外の場合は、傾きは必ず大きくなる。

図 3(a) はサンプリング間隔の違いによる求まった直線の傾きの違いを表しており、間隔 200 のものが破線の直線、間隔 256 のものが実線の直線であり、パタンサイズと一致する 256 の間隔の場合に、直線の傾きが最も小さくなる。同図



図 1: 最小パタン画像 (a) と繰り返しパタン画像 (b). (b) での繰り返し回数は 3.5 回 (3 回と画像半分)

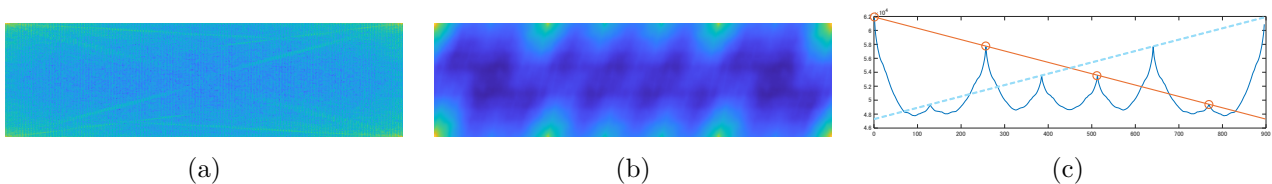


図 2: 繰り返しに関連する特徴量. (a) フーリエ変換領域での振幅スペクトルと (b) 自己相関を画像領域で示したもの. (c) は (b) の上端 (もしくは下端) での数値変化をプロットしたもの

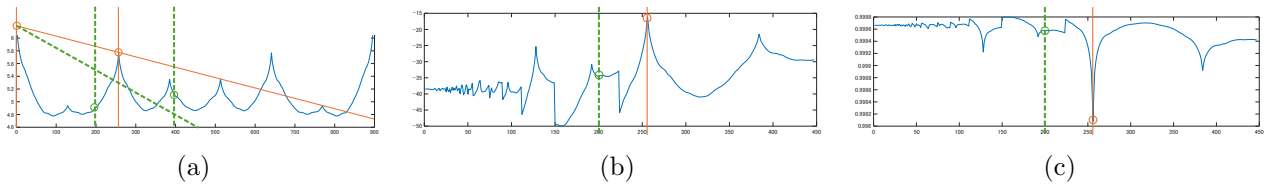


図 3: 最小パターンサイズの検出. (a) サンプル間隔とサンプル点の最寄りを通る直線. (b) サンプル間隔 (横軸) と直線の傾き (縦軸) の関係. (c) 傾きベクトル (単位ベクトル) と縦軸のベクトルとの内積値として表したもの

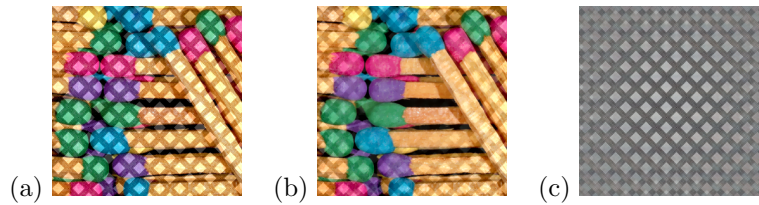


図 4: パタン分離法 [1] の分離結果. (a) 入力画像, (b) パタンが除かれた画像, (c) 分離されたパタン画像

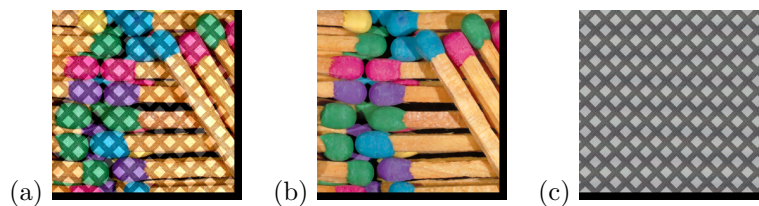


図 5: 手法 [2] を加えた分離結果. (a) 入力画像, (b) パタンが除かれた画像, (c) 分離されたパタン画像

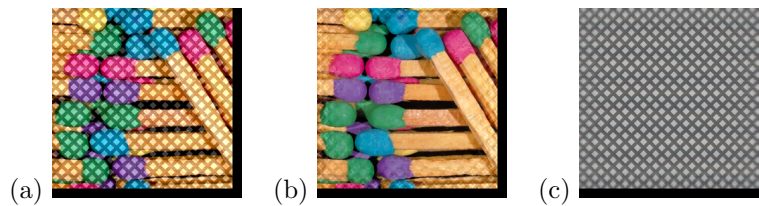


図 6: 最小のパターンサイズが小数単位で表される場合の結果. (a) 入力画像, (b) パタンが除かれた画像, (c) 分離されたパタン画像

(b) は、横軸にサンプルの間隔、縦軸に傾きを表したものであり、256 のときに最も値が高くなることが分かる。同図 (c) は、よりピークが目立つように横軸との時計回り方向の角度に関する値で表したものである (傾きを表すベクトル  $[1, \alpha_d]$  を単位ベクトルに正規化した後、縦方向の単位ベクトル  $[0, -1]$  との内積を計算した)。256 のときに最も値が小さくなるのが分かる。

これらの変換により、最小パターンサイズに対応するピークは、最小の値を持つピーク値として検出できる。パターンが明瞭に現れない場合には、その整数倍の位置にも同程度の値を持つピーク値が現れる。仮にそれらを誤って検出したとしても、パターン分離時の処理時間は増加するものの、分離精度は変化しない。

## 4.2 パタン分離法への組み込み

令和 5 年度から令和 6 年度中盤までの成果として発表した文献 [3] の内容を述べる。申請者らのパターン分離法 [1] に組み込むことで、その性能が向上したことを示す。

### 4.2.1 画像全体に一様なパターンが生じている場合

パターンノイズ分離法 [3] を用いて初期の分離を行った後、分離されたパターン画像を用いてパターンサイズを検出し、画像サイズがパターンサイズの整数倍となるように画像端を切り取り、再度 [3] を用いて分離を行う。

図 4 が初期の分離結果を表す。(a) が入力画像、(b) がパターンが除かれた画像、(c) が分離されたパターン画像である。(b) では画像端にパターンが残っていることが分かる。次に、(c) のパターン画像を用いて、パターンサイズを検出し、次の分離



図 7: パターンが徐々に変化する場合のパターン分離結果. (a) 入力画像, (b) 画像全体を用いての分離結果, (c) ブロックごとに処理を行った結果

を行った結果を図 5 に示す. (a) の入力画像における画像端の黒色部分は, 切り取りを行った箇所で, フーリエ変換には用いない. (b) と (c) が分離結果であり, (b) の画像端のパターンが大幅に低減したことが分かる.

より通常の撮影時に生じるパターンノイズに近づけるため, パターンサイズを縮小させてパターンサイズが小数となる場合の結果を示したものが図 6 である. パターンサイズは整数として求め, 画像端においてはパターンの巡回に数画素のズレが生じている (a). 分離結果は (b) と (c) となり, (b) においては画像端でのパターンが目立つようになった.

#### 4.2.2 パターンが徐々に変化する場合

画像サイズよりも小さなブロックごとに処理を行う. 同様の処理は音声処理で用いられることが多く, 短時間フーリエ変換を用いた音声処理と同様の処理となる. あるブロックで処理を行った後, ブロックの  $1/4$  のサイズ分スライドさせ, 処理ブロックが重なるようにし, 処理結果を重みを付けて重畳し, 合成していく. 以下に示す実験結果では, ブロックサイズの初期値は  $64 \times 64$  とした. このサイズより大きくなるようにパターンサイズを整数倍してブロックサイズとした.

図 7 に処理結果を示す. (a) が入力画像であり, 中央に近づくときパターンの目が細くなる. (b) が画像全体を用いて処理を行った結果であり, (c) がブロックごとに処理を行った結果である. (b) と (c) とともに, 中央付近にはパターンが残るが, ブロックごとに処理を行った (c) のほうが, パターンの残っている範囲が少ないことが分かる ((c) の画像端にパターンが残っているのは, 画像端処理を行っていないためである). なお, 合成に用いた重みについては, 単純にデータの端での値が 0 に近づくように, ガウス関数を用いて生成した重みとした. 縦と横の各方向に関する標準偏差は, ブロックサイズの  $1/8$  とした (ブロックの半径が標準偏差の 4 倍となるように設定).

#### 4.3 情報の公開方法

本手法で開発したアルゴリズムの詳細については, 申請者のホームページ (下記 URL 参照) で公開している修士論文 [4] に記載しており, 自己相関のピークが一定の傾きを持つことについても, 数式として解析した結果を記載している.  
[http://wwell.cs.shinshu-u.ac.jp/~keiichi/projects/RmPattern/index\\_j.html](http://wwell.cs.shinshu-u.ac.jp/~keiichi/projects/RmPattern/index_j.html)

#### 引用文献

- [1] Keiichiro Shirai, Shunsuke Ono, and Masahiro Okuda, “Frequency spectrum regularization for pattern noise removal based on image decomposition,” in Proc. Euro. Signal Process. Conf. (EUSIPCO), 1–5, 2017.
- [2] 中川諒太郎, 白井啓一郎, “画像からのパターンノイズ分離のための最小パターンサイズの検出方法,” 電子情報通信学会信越支部大会, pp. 1–1, 2023.
- [3] 中川諒太郎, 白井啓一郎, “パターンノイズ分離法への画像パターンサイズ検出法の組み込み,” 電子情報通信学会信越支部大会, pp. 1–1, 2024.
- [4] 中川諒太郎, 白井啓一郎, “同じパターンが繰り返し現れるパターンノイズ分離のための最小パターンサイズ検出法の組み込みとその応用,” 信州大学大学院 総合理工学研究科 修士論文, pp. 1–110, 2024.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中川 諒太郎, 白井 啓一郎
2. 発表標題 画像からのパタンノイズ分離のための最小パタンサイズの検出方法
3. 学会等名 電子情報通信学会 信越支部大会
4. 発表年 2023年 ~ 2024年

1. 発表者名 中川 諒太郎, 白井 啓一郎
2. 発表標題 パタンノイズ分離法への画像パタンサイズ検出法の組み込み
3. 学会等名 電子情報通信学会 信越支部大会
4. 発表年 2024年 ~ 2025年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------