

閾値パラメータ制御を導入したBV-G非線形画像分解 BV-G nonlinear image decomposition with a control of threshold parameters

山中 潤[†] 坂東優介[†] 小松 隆[†] 齊藤 隆弘[†]
Jun YAMANAKA[†] Yusuke BANDO[†] Takashi KOMATSU[†] and Takahiro SAITO[†]

1. まえがき

筆者らは、これまで、カラー画像をエッジ等の幾何学的変動成分（以下、骨格成分あるいは BV 成分という）とテクスチャに対応した振動的な変動成分（以下、テクスチャ成分あるいは G 成分という）の和に分解する手法として、色間相関を考慮した BV-G 非線形画像分解問題について検討を加えてきた^{[1], [2]}。とくに、BV-G 非線形画像分解問題において、BV (Bounded Variation) 空間における TV セミノルムを Wavelet 領域の Besov セミノルムで近似的に置換し、さらに Wavelet 領域における Soft Color-Shrinkage の解法として射影勾配法を導入することで、その近似解法の分解性能の向上を図った^[2]。本稿では、さらに、分解の反復更新プロセスにおいて、反復回数に応じて Shrinkage の閾値パラメータを次第に減少させる閾値パラメータ制御を導入することで、分解能力をさらに改善し、とくにテクスチャ成分の分離性能の改善効果を実験的に明らかにしている。

2. BV-G 非線形画像分解の近似解法

各原色信号を独立に BV-G 非線形画像分解すると、骨格成分のエッジ周辺で色ずれを生じることがある。このような色歪を抑制するには、色間の相互相関を考慮する必要がある。そこで、筆者らは、先に、色差と色和の TV セミノルムを BV-G 非線形画像分解モデルに導入することで、色歪の発生を抑制した。色差と色和の TV セミノルムを導入した BV-G 非線形画像分解問題は、次式の変分問題として定式化される。

$$\inf_{\substack{u_r, u_g, u_b \\ v_r, v_g, v_b}} \{ J(u_r) + J(u_g) + J(u_b) + \alpha J(u_r - u_g) + \beta J(u_r + u_g) \\ + \alpha J(u_g - u_b) + \beta J(u_g + u_b) + \alpha J(u_b - u_r) + \beta J(u_b + u_r) \\ + \frac{\lambda}{2} \|f_r - u_r - v_r\|_2^2 + \frac{\lambda}{2} \|f_g - u_g - v_g\|_2^2 + \frac{\lambda}{2} \|f_b - u_b - v_b\|_2^2 \} \quad (1)$$

, subject to $v_r, v_g, v_b \in G_\mu$; $\mu > 0, \lambda > 0, \alpha > \beta \geq 0$,

f_r, f_g, f_b : RGB three primary color signals,

u_r, u_g, u_b : BV-comp. for RGB, v_r, v_g, v_b : G-comp. for RGB

ここで、 J は BV 成分 u の TV セミノルム、 G_μ はその G ノルムが μ 以下となる振動関数 v (テクスチャ成分) の空間である。実際の画像分解法では、TV セミノルムを Wavelet 領域の Besov セミノルムで近似的に置換することで、この変分問題を以下のアルゴリズムにて近似的に解く^{[1], [2]}。

[近似解法: 雑音除去型の交互反復アルゴリズム]

1) 初期化: $v_r^0 = v_g^0 = v_b^0 = 0$; $n \leftarrow 0$

2) 反復更新

2-1) 画像分解 1: $f_r - v_r^n, f_g - v_g^n, f_b - v_b^n$ を入力カラー画像

と見なし、Soft Color-Shrinkage を用いた Wavelet Color 縮退法にて画像処理し、その三原色出力を u_r^n, u_g^n, u_b^n とする。

2-2) 画像分解 2: $f_r - u_r^n, f_g - u_g^n, f_b - u_b^n$ を入力カラー画像と見なし、各原色信号を閾値パラメータ μ/λ の Soft Shrinkage を用いた Wavelet 縮退法にて独立に画像処理し、その三原色出力を w_r^n, w_g^n, w_b^n とする。また w_r^n, w_g^n, w_b^n から $v_r^{n+1} = f_r - u_r^n - w_r^n, v_g^{n+1} = f_g - u_g^n - w_g^n, v_b^{n+1} = f_b - u_b^n - w_b^n$ と算出する。

2-3) 停止テスト: 収束条件を満足するならば、反復更新を停止する。さもなければ、 $n \leftarrow n+1$ とし、2-1)へ戻る。

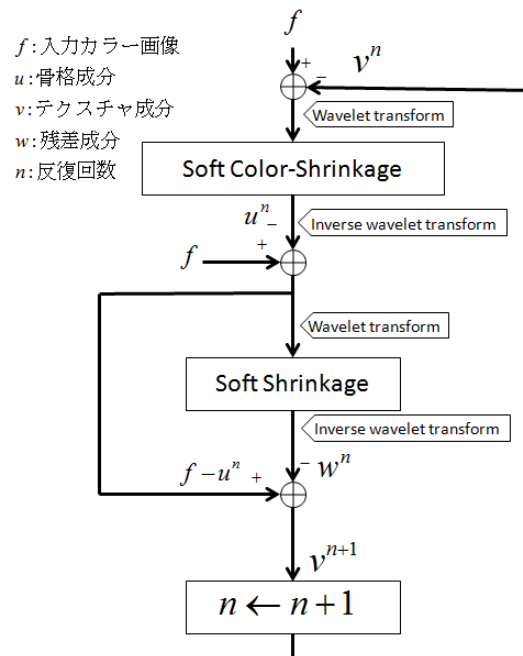


図1 BV-G 非線形画像分解の近似解法

3. Soft Color-Shrinkage 最適化問題

三原色信号間の相互依存性を Shrinkage に直に活用するため、筆者らは先に、三原色信号の Wavelet 係数の色差の l_1 ノルムと色和の l_1 ノルムを導入し、三原色出力を一括して最適化する Soft Color-Shrinkage 最適化問題を定式化した。すなわち、入力係数の三原色カラーベクトルを $\mathbf{c}_0 = (r_0, g_0, b_0)^T$ と表記し、出力係数の三原色カラーベクトルを $\mathbf{c} = (r, g, b)^T$ と表記し、 \mathbf{c} に関する最適化問題を次式で定式化した。

$$\mathbf{c}^* = \arg \min_{\mathbf{c}} E(\mathbf{c}) := |r| + |g| + |b| + \alpha \cdot |r - g| + \beta \cdot |r + g| \\ + \alpha \cdot |g - b| + \beta \cdot |g + b| + \alpha \cdot |b - r| + \beta \cdot |b + r| \\ + \lambda_r \cdot (r - r_0)^2 / 2 + \lambda_g \cdot (g - g_0)^2 / 2 + \lambda_b \cdot (b - b_0)^2 / 2 \quad (2)$$

$\alpha > 0, \beta \geq 0, \lambda_p > 0 (p = R, G, B)$.

なお、上式で、強制的に $\alpha = \beta = 0$ と設定すると、その最適解として従来の Soft Shrinkage 法が導出される。また、関数 E は、狭義の凸な連続関数で、かつ強圧的な関数なので、式(2)

[†] 神奈川大学, Kanagawa University

の Soft Color-Shrinkage 最適化問題には必ず唯一の大域的最適解が存在する. この解法として射影勾配解法を採用した^[3].

4. パラメータ制御

BV-G 非線形画像分解問題の近似解法において, これまでは, 反復更新を行う際 Soft Color-Shrinkage の Shrinkage パラメータ λ (その逆数が閾値パラメータに相当) 及び Soft Shrinkage の閾値パラメータ Th をそれぞれ固定して反復処理を行っていた. 本稿では, 反復回数に応じて閾値パラメータを次第に減少させる閾値パラメータ制御を導入する. すなわち, 最大反復回数を N_{max} とし, 最後の反復更新回 $n = N_{max} - 1$ における最終的な二つの閾値パラメータ値 c_1, c_2 を設定し, 反復更新回 n ($n = 0, 1, \dots, N_{max}$) における Soft Shrinkage の閾値パラメータ Th と Soft Color-Shrinkage の Shrinkage パラメータ λ を次式にて設定する.

$$Th^{(n)} = \delta_1 - n \times c_1, \quad \delta_1 = c_1 \times N_{max} \quad (3)$$

$$\lambda^{(n)} = \frac{1}{\delta_2 - n \times c_2}, \quad \delta_2 = c_2 \times N_{max} \quad (4)$$

これまでの閾値パラメータ制御を行わない場合の閾値パラメータは次式に相当する.

$$Th = c_1 \times N_{max} \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{1}{c_2 \times N_{max}} \quad (6)$$

5. シミュレーション結果

閾値パラメータ制御を行わない従来法と, 閾値パラメータ制御を導入した本手法を比較するため, 画像分解処理の反復更新における閾値パラメータの初期値が一致するようにパラメータ設定し, 図2の2種類のカラー画像に適用し, 分解性能を比較した. 図3の骨格成分を比較すると, 本手法では, テーブルの木目のテクスチャが従来法よりも巧く除去されている. 図4のテクスチャ成分を比較すると, 本手法では, 従来法と比較し, 帽子の影の領域でもテクスチャがより明確に分離されている. また, 図5, 6では, 本手法では, 地面の細かなテクスチャがより明確にテクスチャ成分として分離されている.

6. むすび

BV-G 非線形画像分解問題の近似解法に, Shrinkage の閾値パラメータの反復回数に応じた適応制御を導入することで, テクスチャ成分の分離能力が向上することを実験的に確認した. 今後は, 本分解アルゴリズムの雑音耐性及び画像処理への応用について検討を行う予定である.

7. 文献

- [1] 齊藤隆弘, 相澤陽哉, 小松隆, “色間相関を考慮した非線形画像分解法”, 電子情報通信学会論文誌, vol.J92-D, no.10, pp.1733-1736, 2009年10月.
- [2] 坂東優介, 山中潤, 小松隆, 齊藤隆弘, “Soft Color-Shrinkage を用いた非線形カラー画像分解法の実験的検討,” 第9回情報科学技術フォーラム(FIT2010), I-014, 2010年9月.
- [3] 齊藤隆弘, 上田康隆, 小松隆, “Soft Color-Shrinkage 法の最適化のための射影勾配解法”, 2010年映像情報メディア学会

年次大会, 7-6, 2010年8月.



図2 画像分解に用いたテストカラー画像



(a) 従来法 (b) 本手法

図3 分離された骨格成分 (BV成分)



(a) 従来法 (b) 本手法

図4 分離されたテクスチャ成分(G成分)



(a) 従来法 (b) 本手法

図5 分離された骨格成分 (BV成分)



(a) 従来法 (b) 本手法

図6 分離されたテクスチャ成分(G成分)