視覚の時間応答特性を基にした画像強調手法における画像品質の改善

Image Quality Improvement of Image Enhancement Method using a Time Response Model of Human Vision

正会員 大高 洸輝^{†1},

長 篤志^{†2},

長 峯 祐子^{†3},

西 川 潤^{†4},

坂井田 功^{†4}

Koki Otaka^{†1}, Atsushi Osa^{†2}, Yuko Nagamine^{†3}, Jun Nishikawa^{†4} and Isao Sakaida^{†4}

あらまし これまでにわれわれの研究グループは、ヒトの視覚におけるモーションシャープニング現象を模擬した画像強調手法を開発した。この手法では、モーションシャープニングを説明する視覚の時間応答特性における抑制性と興奮性の応答の時間差を導入し、対象動画像のコントラスト向上とS/N比改善の効果が得られる。一方で、フレーム間の移動量が大きい物体を強調したとき、物体境界において擬似的な輪郭線が現れるという欠点があった。本研究では、この擬似輪郭を低減し、なおかつ計算コストを効率化する手法を提案する。そして、シミュレーション動画像、内視鏡動画像などの動画像を対象にその効果を確認した。

キーワード：時間応答特性，モーションシャープニング，視覚特性，動画像処理

1. ま え が き

視覚の特性や機能を理解し、それらを模擬して映像情報伝達技術へ応用することで、比較的簡便に、映像の画質改善において効果があることが示されている¹⁾²⁾。

われわれの研究グループは、これまでに視覚におけるモーションシャープニング現象を模擬した動画像鮮鋭化手法を開発した³⁾。モーションシャープニングとは、注目している対象が静止した状態を観察するより、移動している状態を連続的に観察した方が対象物体を鮮明に知覚することがあるという現象をさす。この現象を説明する視覚の時間応答特性モデルを基に、それを簡略化した動画像処理アルゴリズムとして実現した³⁾。この動画像処理手法によって、動画においては視覚特性によって鮮鋭化されて観察されていた対象が、静止画においても不明瞭になることを防ぎ、モーションシャープニングを再現することが可能になった。また、内視鏡画像を対象に、カラー画像処理化手法の提案ならびにその効果について検討し、粘膜の毛細血管構造の鮮鋭化に成功した⁴⁾。さらに、視覚の時間応答特性における抑制性と興奮性の応答の時間差を導入すること

で、より大きなコントラスト向上効果およびS/N比改善効果が得られることを示した⁵⁾。なお、われわれの開発した動画像鮮鋭化手法^{3)~5)}では、動画像において動きのある対象の鮮鋭感が向上するという特徴があるため、移動物体が強調される。そのため、本研究では、このような鮮鋭化手法やその効果について表現する際、強調処理や画像強調と表記する。

急速に移動する物体の場合、フレーム間の移動距離が大きくなり、そのため、われわれが開発したこれらの手法では強調処理によって擬似輪郭が出現するという欠点が報告されている³⁾。時間応答特性モデルにおける興奮性応答と抑制性応答の時間差を導入した場合、より大きな鮮鋭化効果が得られる分、この擬似的な像もより強調された。

本稿では、従来法の欠点であった強調画像に生じる擬似輪郭を低減し、画質を改善する手法を提案する。その際、強調処理を効率的に行うために、計算コストをより低減した手法として提案する。

2. 視覚の時間応答特性を簡略化した画像強調手法

2.1 従来手法

われわれの研究グループでは、これまでに、Päakkönenらによる視覚の時間応答特性モデルを基に、画像鮮鋭化アルゴリズムを開発した³⁾。Päakkönenらのモデルでは、視覚における時間応答特性が抑制性応答と興奮性応答を重ね合わせたかたちになっており、この時間応答特性によってモーションシャープニングが説明しうることが表されてい

2018年11月14日受付，2019年9月25日再受付，2019年11月19日採録

^{†1} 広島商船高等専門学校

(〒725-0231 豊田郡大崎上島町東野4272-1, TEL 0846-67-3151)

^{†2} 山口大学 大学院創成科学研究科

(〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1)

^{†3} 宇部工業高等専門学校

(〒755-8555 宇部市常盤台2-14-1)

^{†4} 山口大学 大学院医学系研究科

(〒755-8505 宇部市南小串1-1-1)

図1 従来法の概略および提案法の概形
(一部Pääkkönenら⁶⁾より引用)

る⁶⁾。図1の黒い実線はPääkkönenらの示した時間応答特性である。このモデルは、モーションシャープニングの実験結果をすべて説明できるわけではない⁷⁾ものの、比較的単純であり、画像処理アルゴリズムとして実現しやすい。

さらには、われわれの研究グループは、視覚の時間応答特性における抑制性応答と興奮性応答の時間的なずれによって、より大きなコントラスト向上効果およびS/N比改善効果が得られることを見いだした⁵⁾。この手法を「Vision Impulse Response filter (以下VIR)」と呼ぶ。

VIRでは、興奮性と抑制性の応答にそれぞれ対応する、図1の赤い実線で示された正のガウス分布と青い実線で示された負のガウス分布を重ね合わせた曲線を近似特性として、以下のように計算を行っている。

画像関数を $f(x, y, t)$ とする。まず、(1)式により、注目する時刻 t から遡って局所的な時間窓 $\delta T+1$ の間の平均値を算出する。これを $f_{tAV1}(x, y, t)$ とする。次に、(2)式によってフィルタリング後の画像 $f_{enh1}(x, y, t)$ を求める。ここで、 α は強調の度合いを表すパラメータである。

$$f_{tAV1}(x, y, t) = \frac{1}{\delta T + 1} \sum_{j=-\delta T}^0 f(x, y, t + j) \quad (1)$$

$$f_{enh1}(x, y, t) = (1 + \alpha)f(x, y, t) - \alpha f_{tAV1}(x, y, t) \quad (2)$$

式(2)の右辺第1項が興奮性の応答を簡略化した処理であり、第2項が抑制性の応答を簡略化した処理であり、 δT は抑制性応答の特性を操作するパラメータである(図1右上)。

2.2 強調処理の効率化手法 (提案手法1)

VIRでは、処理対象とする現在フレームの他に、強調処理対象となるフレームから遡った δT で指定する枚数の過去フレームを用いて時間平均画像を算出する。この処理自体は各ピクセルで独立であり大幅な計算コストを必要とするものではないが、次節で提案する強調画像の安定化手法では、過去フレームほど空間的に平滑化された画像情報を要求するため、平滑化処理に計算コストの大幅な増加がおこ

る。そこで、提案手法1では、現在フレームと平均画像フレームの2枚のみを使用して、VIRに類似した結果を得ることを試みる。これにより計算コストの削減ができ、さらには計算に使用するメモリーも削減することが可能である。処理手順を以下に示す。

- ① 開始時においては、強調処理対象のフレーム $f(x, y, t)$ の1フレーム前の $f(x, y, t-1)$ を、そのまま平均画像フレーム $f_{tAV2}(x, y, t)$ に格納する。
- ② (3)式により強調画像 $f_{enh2}(x, y, t)$ を求める。

$$f_{enh2}(x, y, t) = (1 + \alpha)f(x, y, t) - \alpha f_{tAV2}(x, y, t) \quad (3)$$

- ③ (4)式により次の処理で用いる平均画像フレーム $f_{tAV2}(x, y, t+1)$ を求める。

$$f_{tAV2}(x, y, t + 1) = \frac{wf(x, y, t) + f_{tAV2}(x, y, t)}{w + 1} \quad (4)$$

- ④ 強調処理対象時刻を1フレーム後に移す。そして処理②～④を繰り返す。

式(3)の右辺第1項が興奮性の応答を簡略化した処理であり、第2項が抑制性の応答を簡略化した処理である(図1右下)。ただし、抑制性の応答として十分な効果を発揮するには、処理開始後に十分な平均を取る必要がある。

ここで重み w は、VIRにおいて、抑制性応答の特性を操作するパラメータ δT に類似する働きをもつ。あるフレームの画像データは、(5)式により n フレーム後の平均画像フレームにおける寄与率が求まる。

$$\frac{w}{w + 1} \left(\frac{1}{w + 1} \right)^{n-1} \quad (5)$$

すなわち、 w が大きいほど n の増加に対する情報の減少が大きいくことを意味する。これは平均化する過去が短い δT が小さい場合に相当する。逆に、 w を小さくすると δT が大きい場合に相当する。

例えば、 w が2のとき、 $n=4$ の平均画像フレームにおい

図2 従来法の不具合

て、あるフレームにおける情報の寄与率は約2%になる。一方、 w を0.2にすると、あるフレームにおける情報の寄与率が2%まで低下するには $n=12$ が必要となる。

本研究では、この手法を「VIR2」と呼ぶことにする。

2.3 強調画像の安定化手法 (提案手法2)

VIRでは、被写体の移動速度が大きくフレーム間の同一位置における明度の時間変化が大きい場合、その位置での強調画像が不自然に見えることがある。例えば、明度差が大きい物体同士がオクルージョンの関係を持っており、それらが速い速度で見え隠れした場合に擬似輪郭が発生する。

図2は、内視鏡画像を対象としたときの、VIRによる不自然な強調の例である。内視鏡が移動した際に、手前にある明るく照らされた胃壁が、奥の暗い胃壁の前を急激に横切ったあるフレームを示している。VIRの適用により、明るい部位はより明るく、暗い部位はより暗くなり、画像の鮮鋭化効果が期待できる。しかしながら、図2(b)では、強調によって暗くなった部位に擬似輪郭が発生させており、観察者に鮮鋭化された本来の輪郭とは別の位置に、黒い模様を認識させてしまう可能性がある。逆に、明るい物体の上を、暗い物体が通過した場合には、1フレームあたりの移動が大きいと、より明るい擬似輪郭が現れるため、観察者に明るい模様を認識させてしまうかもしれない。

Pääkkönenらによるモーションシャープニングのモデルでは、この不自然さを緩和させる方法について何も説明できない。一方で、網膜から始まる視覚情報処理において、視細胞で得られた情報は受容野として空間的に束ねる処理が階層性を持って行われていることがわかっている⁸⁾。そこで、視覚にそのような機構が備わっていることを示す証拠はないが、過去の情報ほど空間的な視覚情報が拡散する(ぼやける)という処理を、視覚の時間応答モデルに処理を付与することを考える。つまり、過去の画像データほど空間的平滑化がおこっているという処理を、VIR2に追加した手法を提案する。

処理手順を以下に示す。

- ① 開始時においては、強調処理対象のフレーム $f(x, y, t)$ の1フレーム前の $f(x, y, t-1)$ を、平均画像フレーム $f_{stAV3}(x, y, t)$ に格納する。
- ② (6)式により強調画像 $f_{enh3}(x, y, t)$ を求める。

$$f_{enh3}(x, y, t) = (1 + \alpha)f(x, y, t) - \alpha f_{stAV3}(x, y, t) \quad (6)$$

- ③ (7)式により次の処理で用いる平均画像フレーム

$f_{stAV3}(x, y, t+1)$ を求める。

$$f_{stAV3}(x, y, t+1) = \frac{wf(x, y, t) + f_{stAV3}(x, y, t)}{w+1} \quad (7)$$

- ④ $f_{stAV3}(x, y, t+1)$ に対して、空間的な平滑化処理をかける。空間的平滑化処理として、例えば空間的に平均フィルタを重畳する。
- ⑤ 強調処理対象時刻を1フレーム後に移し、②～⑤を繰り返す。

平均画像フレームに空間的平滑化処理を入れるので、対象画像が平滑化されるわけではない。強調画像における擬似輪郭は、過去情報を納めた平均画像フレームにおける明度境界で起こりうる。VIR2における過去の情報をもつ平均画像フレームを空間的平滑化することによって、この境界をばかすことを意図している。この処理によって、画像の鮮鋭化効果と、急速な移動物体の強調部分に生じる擬似輪郭を低減する効果の両立が期待できる。

空間的な平滑化処理は、計算ステップの度に平均画像フレームへ行われるため、平均画像フレームに含まれるより過去の画像データはより多くの回数にわたって平滑化処理を受けることを意味する。すなわち、過去の画像情報ほど平滑化されるということを意味する。過去ほど強い平滑化を施すという処理をVIRに適用するには、過去フレームを格納するすべてのバッファに対して平滑化処理をする必要があるため、時間平均の長さ δT に合わせて増加していく。一方、本手法の方は、VIR2を元に行っているため、 w の値による計算コストの増加はない。例えば、提案手法における平均画像フレームの算出コストを1とし、過去平滑化処理には 3×3 pixelsの空間平均フィルタを用いる場合、過去の情報が3フレーム程度のときVIRより1/4程度計算コストが削減され、過去の情報が10フレーム程度まで増えると1/130程度計算コストが削減される。

本研究では、この手法を「VIR2+過去平滑化」と表す。

3. シミュレーション画像への適用

3.1 強調処理の効率化効果

シミュレーション画像(図3(a))を用いて、コントラストの向上効果について従来法(VIR)とVIR2を比較した。シミュレーション画像では、 640×360 pixelsの8 bitsモノクロ画像において、濃淡値150で描画された矩形を、濃淡値100の背景の中、図中の矢印方向へ平行移動させた(図3(a))。矩形の大きさは 50×50 pixelsとした。このとき、矩形の移動スピードは1 pixel/frameであった。移動前のフレームにおける画像の中心線となるピクセル行に着目し(図3(a)) x 軸方向の濃淡値変化をプロットすると、ステップ状の変化となっていた(図3(b))。図3では、原画像の濃淡値プロット結果を赤線で示している。

この画像を対象に、VIRを適用した結果を図3(c)に、VIR2を適用した結果を図3(d)に示した。強調画像の濃淡

図3 シミュレーション画像の強調結果

値プロット結果は青線で示している。強調度合いを表すパラメータ α はどれも1とし、VIRでは δT が2, 10, 30の場合を、VIR2においては、 w が10, 0.5, 0.05の場合を示した。

VIRおよびVIR2ともに、図3のように、動画像中で動いている物体の境界部において、その物体境界の両側（本シミュレーション画像における進行方向の前後）で非対称な強調効果が現れた。また、濃淡値の最大値と最小値の差も、両手法とも同等であった。VIRでは、 δT が大きいほどより過去の情報も使用するため、強調範囲が広くなる。同様にVIR2では、 w が小さくなるほど過去の情報を使用し、強調範囲が広がっていることが確認できた。

各手法におけるマイケルソンコントラストを比較した。濃淡値の最大値 I_{max} および濃淡値の最小値 I_{min} を用いて式(8)より求めた。

$$C = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \times 100 \quad (8)$$

図3において、VIRのコントラストは56.0%で、VIR2のコントラストは60.0%であった。VIRでは各 δT におけるコントラスト値を、VIR2においては、各 w におけるコントラスト値を表1に示す。VIRでは δT によってコントラスト値が変化するが、VIR2は w によらずコントラスト値は同じであった。また、VIRとVIR2の各パラメータにおけるコントラスト値に大きな差はなく、VIR2はVIRと同等の鮮鋭感が得られることがわかった。

表1 各パラメータにおけるコントラスト値

VIR		VIR2	
局所時間窓 δT [フレーム]	コントラスト [%]	パラメータ w [-]	コントラスト [%]
2	46.4	0.05	57.5
10	56.0	0.5	60.0
30	58.4	10	60.0

3.2 強調画像の安定化効果

フレーム間における物体の移動速度が大きい場合のシミュレーション例として、図3(a)のシミュレーション画像における矩形の移動速度を20 pixels / frameとした画像を用いて、強調処理による濃淡値の変化を調べた。

VIRおよびVIR2による強調画像の濃淡値プロット結果を図4(a)、図4(b)に示した。また、図4(c)、図4(d)には、VIR2+過去平滑化を適用した結果を示した。ここで、図中の赤線および青線は、図3と同様である。強調度合いを表すパラメータ α はどれも1とし、VIRでは δT が10の場合を、VIR2およびVIR2+過去平滑化においては、 w が0.2の場合を示した。また、平均画像フレーム平滑化処理として、空間的に平均フィルタを重畳した。図4(c)、(d)では、平均フィルタのサイズをそれぞれ 7×7 pixelsと 15×15 pixelsにした。

VIRとVIR2を適用した場合、矩形の移動方向の後部において、強調によって明度値が矩形波様に明るくなったり暗くなったりしているのがわかる。このステップのギャップが大きい場合、擬似輪郭として知覚される可能性が高くなる(図4(a), (b))。一方、VIR2+過去平滑化による強調では、矩形波様のギャップが低減された。また、平均フィルタのサイズが大きいほどなめらかになった。このように、VIR2+過去平滑化によって、移動している矩形の輪郭がなめらかになることはなく、強調効果のみをなめらかにする効果を確認できた。

図4 シミュレーション画像(高速)の強調結果

4. 実画像への適用

4.1 内視鏡画像

内視鏡画像を用いて、各手法の鮮鋭化効果およびVIR2+過去平滑化による、擬似輪郭線の低減効果を比較した。使用した内視鏡画像は、胃内部の粘膜の様子を撮影した動画画像である。医師は内視鏡画像の病変部位を診断する際、粘膜の異常な凹凸や色の変化、表層部の毛細血管構造などを詳しく観察する。その際、病変と疑われる部位については静止画像を撮影してより詳細な観察を行う。静止画による観察において、動画画像による観察時の鮮鋭感が損なわれる場合があるため、本手法の適用が有効であると考えられる。その観察の様子が撮影された動画画像のうち、胃内部の粘膜において、病変が疑われる凹凸部位を観察しているシーンを80フレーム抽出し、処理対象とした。このとき、 720×480 pixelsの24 bitsカラー画像から8 bitsモノクロ画像へ変換し、濃淡値画像として効果を比較した(図5(a))。

この動画画像に対して、VIRおよびVIR2を適用した結果のうち、図5(a)と同一フレームの結果を図5(b)、図5(c)に示す。VIRでは、 δT を10とした。これは、2~30の整数値で変化させた際、胃粘膜の毛細血管構造および凹凸の視認性が最も高かった値として採用した。VIR2では、 w を0.2とした。この値は、0.05~10.0の実数値で変化させた場合における、毛細血管構造、凹凸の視認性が高かった値として採用した。また、VIR2+過去平滑化による強調画像を図5(d)に示す。他の手法と同様の理由で w を0.2とし、空間的平滑化処理として、 15×15 pixelsの大きさの空間平均フィルタを重畳した。強調効果を比較しやすくするために、すべての手法において α は2とした。

図5より、VIRおよびVIR2とも原画像に比べ、粘膜のコントラストが向上し、毛細血管構造および凹凸の視認性が向上した。また、VIRとVIR2の鮮鋭化効果はほぼ同等であった。シミュレーション画像で確認したように、VIRとVIR2で同程度の鮮鋭感が得られることを内視鏡画像においても確認した。一方、2.3で述べたように、動画において胃壁の急激な移動が生じたため、VIR(図5(b))およびVIR2(図5(c))による強調画像には、急激な明るさの変化がおこったその境界に、強調処理によって黒い不自然な像を生じた。強調部分には擬似輪郭線が発生し、画像の不自然さが強調された。対してVIR2+過去平滑化を適用した結果(図5(d))では、他の手法において強調部分に発生した擬似輪郭線が低減された。VIR2+過去平滑化によって、VIRやVIR2による強調処理で発生する不具合を緩和できることを確認した。

4.2 飛行する鳥のトラッキング画像

海上を飛ぶカモメの群れに並走する船から撮影された動画画像を使用して、各手法の効果を比較した。このとき、 640×360 pixelsの24 bitsカラー画像から8 bitsモノクロ画像へ変換し、濃淡値画像として効果を比較した(図6(a))。

図5 内視鏡画像の強調結果(動画)

動画はJ-Stageの電子付録として閲覧可能である。

図6 飛行する鳥の群れ画像の強調結果(動画)

動画はJ-Stageの電子付録として閲覧可能である。

この動画に対して、VIRおよびVIR2を適用した結果を図6(b)、図6(c)に示す。また、VIR2+過去平滑化による強調画像を図6(d)に示す。VIRでは δT を10とした。VIR2およびVIR2+過去平滑化では、 w を0.2とした。これらの値は、4.1節で述べたのと同様な理由で採用した。VIR2+過去平滑化における空間的平滑化処理として、 15×15 pixelsの大きさの空間平均フィルタを重畳した。フィルタリングにおける画像周辺部の計算不可領域は処理後の画像から切り取った。すべての手法において α は1とした。

図6より、VIRおよびVIR2では、原画像に比べコントラストが向上し、カモメの群れや海面の波の様子などが鮮鋭化された。両手法の鮮鋭化効果はシミュレーション画像で確認したように、ほぼ同等であった。一方、カモメの羽ばたきによって、翼部では急激な濃淡変化が起こっており、VIRおよびVIR2による強調画像では、カモメの翼部周辺に強調処理によって白い不自然な像を生じた。対して、VIR2+過去平滑化による強調画像では、他の2手法による強調処理で発生した不自然な像が低減された(図6枠線部BおよびC)。また、VIRおよびVIR2では、画面左上のロゴ

(a) 原画像

(b) VIR2+過去平滑 ($w = 20$)
3×3空間平均フィルタ使用

(c) VIR2+過去平滑 ($w = 0.2$)
3×3空間平均フィルタ使用

図7 動きのない部分に対する鮮鋭化効果

表2 鮮鋭感に対する一対比較の結果

	A	B	C	D	E
	原画像	VIR : δT 10	VIR2 : w 0.2	VIR2 : w 2	VIR2 : w 50
A	原画像		0.5	0	0
B	VIR : δT 10	12.5		9.5	11
C	VIR2 : w 0.2	12.5	8.5		11.5
D	VIR2 : w 2	13	3.5	4	
E	VIR2 : w 50	13	2	1.5	4.5

マークや雲のようにほとんど動きのない対象(図6枠線部A)には鮮鋭化効果は表れないが、VIR2+過去平滑化では、動いている物体だけでなく、これらの部分も鮮鋭化されていた。これは、VIRおよびVIR2は、濃淡値の時間変化を増幅するため、動画において動いている物体のみ鮮鋭化されるが、VIR2+過去平滑化は、過去の画像データに空間的平滑化処理をかけることによって、時空間的な濃淡値の増幅が起こっているためである。また、パラメータ w を小さくし、より過去の情報を使用するほど、過去平滑化量は増えるため動きのない部分に対する鮮鋭化効果は大きくなる(図7)。VIR2+過去平滑化によって、飛行する鳥の羽ばたきのように急激な濃淡変化が頻繁に発生する場合においても、鮮鋭感を残しつつ、VIRやVIR2による強調処理の不具合を緩和できること、ロゴマークや雲のようにほとんど動かない対象にも鮮鋭化効果を得られることがわかった。

4.3 主観評価実験

従来法(VIR)と効率化手法(VIR2)における強調画像の鮮鋭感が同等であること、パラメータ w と鮮鋭感の関係について検討するため、Thurstoneの一対比較法⁹⁾による主観評価実験を行った。

実験参加者は学生13名(17～24歳、男性：5名、女性：8名)であった。動画の提示にはLCDモニタ(EIZO FlexScan EV2451, 23.8型)を使用した。モニタの解像度は1920×1080 pixelsとし、sRGBモードに設定した。実験参加者は、モニタから93 cm(画面高の3倍)離れた位置に設置された顎台によって顔を固定した状態で動画を観察した。本実験では、評価用の動画像として、4.2節で用いたカモメの群れが撮影された動画像を使用した。高速で移動する対象(カモメなど)から比較的ゆっくりと移動する対象(背景の雲、波など)まで含まれていたため評価用画像に選

定した。動画像の解像度は640×360 pixelsであり、dot by dotでモニタに提示した。提示する動画像は、原画像、VIRにおけるパラメータ δT が10の強調画像、VIR2のパラメータ w を0.2, 2, 50とした強調画像の5種類とした。なお、すべての手法において α は1とした。

実験中、参加者は、モニタの左右に表示された2枚の動画像を比較し、「鮮鋭感の高いほう」を選択した。なお、鮮鋭感については、観察前に教示し、練習を行ったうえで評価を開始した。また、カモメの翼部に生じる不自然な像は無視して評価するよう教示した。なお、参加者は、動画像5種類すべての組み合わせと、それらの左右を入れ替えたものの計20回評価を行った。

一対比較の結果を表2に示す。表中の数値は、例えば行列[A,B]に注目すると、「原画像がVIRの強調画像よりも鮮鋭感が高い」と答えた参加者の数を表す。ここで、値が実数となっているのは、各動画の組み合わせに対して、左右を入れ替えた場合の評価も行ったためである。表2より、VIRおよびVIR2は原画像より明らかに鮮鋭感が高いとわかった。この結果から鮮鋭感の心理尺度値を求めたものを図8に示す。ここでは、VIRおよびVIR2による強調画像は、原画像より鮮鋭感が高いことが明らかであるため、原画像を除外して心理尺度値を示している。図8より、VIR(δT 10)とVIR2(w 0.2)はどちらも鮮鋭感が高く、同等な強調効果を得られることがわかった。また、VIR2のパラメータ w の値が小さくなるにつれ、鮮鋭感が高くなることがわかった。評価実験時、判断に迷った場合、比較的ゆっくりと動いている波の強調具合を重視して選択したと報告する参加者が多かったことから、パラメータ w の値が小さくなるほどより過去の情報を使用し、波の揺らぎのようなゆっくりとした動きの対象にも強調効果がおよぶと考えられる。これは、

図8 鮮鋭感の心理尺度

3.1節のシミュレーション結果に則しており，過去の情報を
使うほど強調範囲が広くなることが確認できた。

5. む す び

本研究では，視覚における時間応答特性を模した画像強
調手法をより効率的に行う方法を提案した。また，強調処
理によって生じる擬似輪郭の発生を低減する手法を提案し
た。そして，提案手法の効果をシミュレーション画像およ
び内視鏡画像，飛行する鳥の画像において確認した。その
結果，提案手法により，従来法と比較して計算コストを低
減できること，強調処理に伴う不自然な像を緩和できるこ
とを確認した。

〔文 献〕

- 1) 富永昌治：“トーンマネジメント:人間の視覚に適応した階調特性の制
御”，映情学誌，62，10，pp.1534-1541（2008）
- 2) 田口亮：“視覚システムとその特性に基づく画像処理”，Journal of
Signal Processing, 19, 1, pp.3-14（2015）
- 3) K. Ohtaka, A. Osa, A. Sugimura, H. Miike, Y. Ikemoto, M. Fukuda, Y.
Koshiyama: "Motion sharpening and its stabilization using optic flow
fields", International Workshop on Advanced Image Technology
2011, submission 44（2011）
- 4) 大高洗輝，長篤志，三池秀敏，杉村敦彦，西川潤，坂井田功：“動き
情報を基にした鮮鋭化処理における安定化とカラー画像処理への拡
張”，Proc. The 13th IEEE Hiroshima Student Symposium, pp.326-
329（2011）
- 5) 大高洗輝，長篤志，長峯祐子，三池秀敏：“視覚の時間応答特性を基
にした画像強調手法～抑制性応答と興奮性応答の時間差がもたらす効
果～”，映情学誌，71，4，pp.J144-J150（2017）
- 6) A.K. Pääkkönen, M.J. Morgan: "Linear mechanisms can produce
motion sharpening", Vision Research, 41, pp.2771-2777（2001）
- 7) M.A. Georgeson, S.T. Hammett: "Seeing blur: 'motion sharpening'
without motion", Proceedings of Biological Science, 269, 1499,
pp.1429-1434（2002）

- 8) 篠森敬三編：“視覚Ⅰ－視覚系の構造と初期機能－”，朝倉書店，
pp.27-28（2007）
- 9) 大山正，今井省吾，和気典二編：“感覚・知覚心理学ハンドブック”，
誠信書房，pp.46-49（2007）

大高 洗輝 2010年，山口大学工学部感性デザイン
工学学科卒業。2011年，同大学院博士前期課程修了。
2014年，同大学大学院理工学研究科博士後期課程単位取
得退学。現在，広島商船高等専門学校助教。動画像処理，
視覚心理学に関する研究に従事。修士（工学）。正会員。

長 篤志 1995年，山口大学工学部電気電子工学
科卒業。1997年，同大学院博士前期課程修了。同年，
同大学工学部感性デザイン工学学科助手。現在，同大学
大学院創成科学研究科准教授。動画像処理，コンピュ
ータグラフィックス，デザイン工学，視覚心理学に関する研
究に従事。博士（工学）。

長峯 祐子 1995年，東京大学工学部物理工学科卒業。2000年，東京
大学大学院工学系研究科物理学専攻博士課程修了。同年，（独）理化学研
究所研究員。現在，宇部工業高等専門学校准教授。非線形現象，振動現象
に関する研究に従事。博士（工学）。

西川 潤 1993年，大分医科大学医学科卒業。
1999年，山口大学大学院博士課程修了。2004年，山口大
学医学部第一内科助手。2014年，山口大学医学部附属病
院光学医療診療部准教授。現在，山口大学大学院医学系
研究科基礎検査学教授。胃癌の発癌研究，新規内視鏡の
開発に従事。医学博士。

坂井田 功 1984年，山口大学医学部医学科卒業。
1989年，同大学院博士課程修了。1993年，山口大学医
学部第一内科助手。現在，山口大学大学院医学系研究科
消化器病態内科学教授。骨髄細胞を利用した肝再生療法
（再生医療）に従事。医学博士。