

画像ハーフトニングのためのブルーノイズマスクを 用いた誤差拡散フィルタの設計と視覚忠実度

黄 正 顕*

Design and Visual Fidelity of Error Diffusion Filters Using Blue Noise Masks for Image Halftoning

by Junghyeun HWANG

デジタルハーフトニングは、印刷ハードコピーの画質あるいはディスプレイ上の表示画質を支配する。理想的な表示デバイスと所与の画像プロセスに対して、人間の視覚モデルに基づいてハーフトンを反復的に最適化するハーフトニング方法は、非常に高品質のハーフトンを生成することができる。このハーフトーン画像は、人間の視覚システム（HVS）の低域フィルタの特性のため、離れて見ると原グレースケール画像に酷似して見える。様々なハーフトニング技法の中でも誤差拡散アルゴリズムは、明部と暗部において均質なドット分布を実現するために提案されている。誤差拡散アルゴリズムは高性能のハーフトニング方法であり、各画素における量子化誤差が、誤差フィルタによって現在の量子化される画素の周囲の未処理画素に拡散される。このプロセスでは、人間の視覚モデルが最も鈍感な高周波帯域に量子化雑音電力を整形することに目的がある。この雑音整形が連続階調画像の高品質ハーフトンの生成をもたらす。

本論文ではハーフトニングのための最適誤差拡散フィルタ、およびハーフトーン画像のテクスチャ（構造とトーン）保持手法を提案する。誤差拡散のための最適誤差拡散フィルタは、グレースケール画像の2値ハーフトニングを目的として提案する。

また、設計された誤差拡散フィルタによって生成される2値ハーフトンの視覚忠実度を点検する。誤差拡散フィルタは、それぞれ1つの階調レベルに対する理想的なブルーノイズマスク（BNM）によって最適化される。そのため、最適フィルタ数は階調レベル数と同一である。各階調レベルにおいて、BNMはバイナリパターンを有しており、BNMのパワースペクトルは人間の視覚システム（HVS）が記述される周波数領域においてブルーノイズ特性を具備する。フィルタ係数は、誤差拡散フィルタのフーリエスペクトルとBNMのフーリエスペクトルの2乗誤差ノルムを最小化することによって、最適化される。そして最適化過程で、2値パターンパワースペクトル操作法（BIPPSMA）を適用する。この最適化アルゴリズムによって、高周波数帯域のアーチファクト（帯紋、条紋など）を減らすことができる。

最適化誤差拡散フィルタによって生成されたハーフトーン画像は、空間的微細構造と階調類似性を維持する最適化アルゴリズムに供される。空間構造と階調類似性は、それぞれ、構造類似性平均尺度（mean structural similarity measure, MSSIM）と平均2乗誤差によって計測する。構造および階調パラメータに関する目的関数を最適化することによって、ハーフトーン画像は局所的階調を保持しつつ、

*新潟大学大学院自然科学研究科 情報理工学専攻
〔新潟大学博士（工学）平成22年9月授与〕

視覚的に敏感な詳細テクスチャを維持することができる。このアルゴリズムでは視覚特性を満足するだけで、微弱エッジの検出や詳細部の強調などが可能であり、高品質なハーフトーンに改善することができる。

この2つのアルゴリズムの結果として、テクスチャ（構造と階調）保持と最適誤差拡散ハーフトーン化が達成され、従前の方法よりも視覚品質が向上した。また、帯紋、条紋などのアーチファクトを抑制することができた。エッジ強調法と現時点で最良とされる Ostromoukhov の誤差拡散法との比較により性能評価を行った。その結果、全てのテスト画像に関して、提案手法はエッジ強調法および Ostromoukhov の誤差拡散法よりも空間的微細構造を保存することが確認された。エッジ強調法では、エッジ強調が過度であり、原画像との類似性が低下した。

エッジ強調法ではエッジが閾値によって検出されるため、微弱エッジやぼけ領域でのテクスチャ保存に失敗することが理由である。

誤差拡散ハーフトーン画像に関する視覚忠実度を視覚特性加重 SN 比 (WSNR) によって評価した。誤差拡散ハーフトーンにおけるアーチファクトは、フーリエパワースペクトルと動径平均パワースペクトル (radially averaged power spectrum, RAPS) によって計測し、提案手法によって抑制効果が確認された。以上のとおり、本論文では、グレイスケール画像に関して十分満足できるバイレベルハーフトーンを生成することができた。

提案手法の計算時間短縮が今後の課題である。

終わりに、ご指導を頂いた菊池久和教授に謝意を表します。