HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study of Noise Robust Bit-Depth Expansion for High Dynamic Range Imaging [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	水野, 暁
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12188号
Issue Date	2016-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/61710
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Akira_Mizuno_review.pdf, 審査の要旨



Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　氏名　水野　暁

審査担当者　主　査　准教授　池辺 将之
副　査　特任教授　福井 孝志
副　査　教　授　本村 真人
副　査　教　授　本久 順一

学位論文題名

Study of Noise Robust Bit-Depth Expansion for High Dynamic Range Imaging
（高ダイナミックレンジ画像処理のためのノイズにロバストなビット長拡張に関する研究）

本学位論文における研究目的は, 雑音を含む一般画像における階調の自在制御を確立したことである. 画像処理技術全般に応用可能であり, 画像処理分野全体の品質向上に寄与する超階調技術を構築することができる. デジタル画像の量子化ビット数は, 色・明るさの振幅レベル数 (階調数) を決定する重要な要素である. 近年, デジタル画像データにおける量子化ビット数不足が叫ばれている. 仮に画像の量子化ビット数が不十分であれば, 本来連続的に遷移するはずの色や明るさが場所によって不連続であるように知覚される. これは疑似輪郭と呼ばれる特徴的な模様となって現れる. 疑似輪郭は以下のような場面で発生することが多い.「画像補正処理」フォトレタッチアプリケーション等で頻繁に利用されるコントラスト強調処理で, 信号が振幅方向に引き伸ばされることにより, 量子化誤差が拡大される.「Web 動画コンテンツ」ストリーミング配信サービス等では, 厳しい帯域制限により量子化ビット数を削減する措置が取られる.「高階調ディスプレイでの表示」高い階調数を表現可能なディスプレイに対し, 画像データの持つ階調数が不足する. 疑似輪郭模様は主に, 色が緩やかに変化する画像のグラデーション領域に現れる. グラデーションは画像中の広い範囲を占めることが多いので, 画質に多大な影響をもたらす. 疑似輪郭による画質低下を防ぐには, 人間の眼で認識できない高い階調数でグラデーションを表現する必要がある. これらのことをふまえて, 量子化されたデータから失われた中間階調を補間し, 高階調画像として扱えるようにする超階調技術を一般画像へ展開し確立するための研究を行った.

(1) ポアソン方程式による滑らかな階調復元

本論文は従来手法で生じていた問題点を踏まえ, 画像を各行・列の 1 次元配列に分割して問題を簡略化することとした. 分割した 1 次元配列を互いに独立に処理 (線形近似法) したあと,1 枚の画像として統合する. さらに本論文は「画像が滑らかなグラデーションを持つ」とは,「画像関数が滑らかな曲面となる」ことと定義し, 偏微分方程式 (ポアソン方程式) による最適化問題としてモデル化した. 線形近似された各 1 次元配列を代入して式を解くと, 統合された画像関数 I (x; y) が得られる. 申請者は本手法の考案から実証まで全てを担当し, 従来手法に比べより高精度かつより滑らかなグラデーションが得られることを定量的に示した.

(2) 確率的なノイズの付加を考慮したビット深度拡張による超階調処理

ビット深度拡張技術は量子化された信号値 y から元のアナログ値 x を推定する逆量子 (Dequantization) 問題である. 信号の量子化プロセスは, 量子化を表す関数を用いてモデル化される. 従来の研究は全てこの式を基にしている. しかし現実にカメラを用いて写真を撮る場合, 必ずイメージセンサ等のノイズの影響を受ける. 元の信号にノイズが付加された後に量子化が行われると考え, 量子化モデルを改良した. ここではノイズを含まない仮想的な真の原信号, 確率分布を持つ微小なノイズを用いて表現した. このモデルの逆問題では仮想的な原信を推定することになる. 本論文では PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio) などの指標を用いた定量的な画質評価が難しい. これらの指標では原画像 (正解画像) と出力画像の差を何らかの方法で数値化するのが一般的だが, 原画像として用意できるデータは写真を撮影した時点で既にノイズが乗っており, 本当の意味での正解画像とは呼べないためである. そこで本論文は複数人の人間による主観的な評価を集めることで, 画質を比較することとした. 比較にはグレースケール画像を量子化ビット数 4 ビットから 8 ビットへ拡張した結果を用いた. 被験者には提案手法と従来手法による出力画像を提示し, 写真として最も高品質であると感じるものを選択させた. 原画像や入力画像は提示せず, 提示画像と各手法の対応も知らされない. 被験者数は 31 人である. 結果として, 少なくとも半数以上の被験者が提案手法を最も高画質であると支持した.

(3) リアルタイム処理に向けた高速化

ディスプレイ装置に動画像を表示する段階では, 超階調の精度よりも処理のリアルタイム性が重要になってくる. 現時点の超階調処理は大規模な行列演算による反復処理を含むため, リアルタイムな処理には向かない. そこで, ハードウェア実装までを見据えた軽量な近似手法を開発を行った. 本手法をを縦横方向の 1 次元処理に帰着させ, 窓関数が可変する移動平均フィルタにより高速化を実現した.

以上を要するに, 本論文は雑音を含む一般画像において, 逆量子化 (Dequantization) 問題を解くことで源信号の階調を復元する手法を提案した. そして, 主観評価により本手法が従来手法より優れていることを実証した. 同時に, リアルタイム処理のための高速化手法を実現した. よって, 本論文は, 画像工学分野に大きく貢献するところであり, 著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める.