



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Real-time Contrast Management in Digital Images using Local Histogram Equalization Filter [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Prasoon, Ambalathankandy
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14283号
Issue Date	2020-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/79743
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Prasoon_Ambalathankandy_review.pdf, 審査の要旨



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 Prasoon Ambalathankandy

審査担当者 主 査 教 授 浅井 哲也
副 査 教 授 葛西 誠也
副 査 教 授 末岡 和久
副 査 准教授 松元 慎吾

学位論文題名

Real-time Contrast Management in Digital Images using Local Histogram Equalization Filter
(デジタル画像における局所ヒストグラム平均化を用いたリアルタイムコントラスト調節手法)

本学位論文における研究目的は、雑音の強調を抑制しながら一般画像における輝度情報の自在制御を確立したことである。画像処理技術全般に应用可能であり、画像処理分野全体の品質向上に寄与する特徴量の正規化技術を構築することができる。高品質かつ高解像度のディスプレイに対する需要の高まりは、画像処理の需要を継続的に牽引してきた。高ダイナミックレンジ技術の進歩と、これらのアルゴリズムを実行するのに適したハードウェアの利用可能性は、仮想現実、ゲーム、医療、セキュリティ、および多くの他のコンピュータビジョン関連分野での応用が期待されている。そこでは、画像を画素単位で制御すること（ローカルトーン処理）と画像全体の特徴を扱うこと（グローバルトーン処理）が重要である。グローバル・ローカルトーン制御を同時に扱うアルゴリズムはいくつか存在するが、統合的な制御が難しいことが知られている。これらのことをふまえて、本研究では、局所ヒストグラム平均化 (LHE:Local Histogram Equalization) 法に基づいた大域的かつ局所適応的なトーンマッピング手法を提案し、リアルタイムかつ統合的な画像強調可能とした。このアルゴリズムは人間の視覚システム (HVS:Human Visual System) の特性に基づいており、ダイナミックレンジと知覚のミスマッチにおけるよく知られた可視化問題を考慮している。

(1)ML 法と LHE 法の融合。

ML 法は、小信号に対して適切な強調を行えるが、大信号は飽和してしまう。LHE 法では、小信号を最大出力振幅まで増幅するが、大信号は適応的に出力する。本論文では、ローカルトーン制御関数として、シグモイド関数を階級数の少ないヒストグラムに適用することで、小信号・大信号に適応的な変換関数を直接生成することに成功した。階級数を減らすことは精度劣化に繋がるが、ヒストグラムの各階級において内部平均値を算出することで、精度劣化を抑制した。また、ローカルトーン制御に局所画像のグラデーション領域とテクスチャ領域の存在比率を考慮することで、グラデーション領域内のノイズ強調の抑制を行った。

(2)直感的なコントラスト強調のインターフェース

本論文のローカルトーン制御関数は、低周波成分をカットし、高周波成分のみを能動的に強調する効果を持つ。その中で、関数の不動点がローカル平均値に沿うことで、その不動点の軌跡が同時にグローバルな特徴量に結びつくことを発見した。その知見から、制御関数の形状（ローカル補正に相当）と不動点の再配置（グローバル補正に相当）を、輝度空間の変形で統一制御する新奇の画像補正技術を開発した。そこでは、3本のトーンカーブとして、空間の上限・下限カーブ、不動点の軌跡を制御するのみで統一制御が可能である。

(3)自然な画像強調と錯覚を活用した特徴解析

視覚・知覚への影響について詳細に解析した結果、ML 法では主観的に選択された少数のフィルタを使用しているため、不自然な画像が生成されていること、最新のエッジ保存フィルタを使用しても処理画像には処理不可能なマッハ効果が発生している。またカーネルサイズが異なる場合、ML 法では特定の信号周波数しか扱えないことと大サイズのカーネルでは画像が破たんすることもあった。しかし、LHE 法ベースの手法は画像のエッジ形状を乱すことなく全ての周波数成分を均等に強調できる。主観的評価によっても LHE 法が優れていることが示された。また、X 線画像に開発手法を適用したところ、主観評価により、医用画像処理ツールとしての有用性を実証した。

(4)FPGA への実装と 1920×1080 解像度、60 フレーム毎秒処理の実証

少ない階級数で高速化された LHE 法を基に本アルゴリズムの FPGA 実装を行った。動画の局所類似性から、1 フレーム前の情報を活用し、制御関数生成用のフレームサイズを 240×135 ピクセルにダウンスケールして動作する。それにより、最小限のデータアクセスとメモリの削減を可能とした。相対的な局所領域サイズは 248×248 まで扱うことができる。FPGA(TB-7K-325TIMG,Xilinx Kintex-7) に実装した場合、使用可能な FPGA リソースの約 25% の使用率となった。リアルタイム映像処理のデモを YouTube 上に提示した。

以上を要するに、本論文は雑音を含む一般画像において、ローカル適応処理とグローバル処理の統合制御を提案した。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証した。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。