

学 位 論 文 要 旨

(Summary of the Doctoral Dissertation)

学位論文題目 (Dissertation Title)	色空間の形状を考慮したヒストグラム指定法に基づくコントラスト強調に関する研究 (A Study on Contrast Enhancement Based on Histogram Specification Taking Account of Color Space Shape)
氏 名 (Name)	植田 祥明

デジタル撮像システムは我々の生活に浸透しており、人物や風景の撮影のみならず、生産現場の自動化や防犯、医療診断支援など、その利用用途は多岐にわたる。とりわけ最近では、携帯電話やタブレット端末、車載カメラなどに小型のカメラが搭載されており、顔認証や運転支援などに用いられている。しかし、レンズやイメージセンサの小型化が望まれる携帯端末のカメラでは、ハードウェアの制約により手軽に高品質な画像を得ることが困難である。そこで、品質の良い画像を生成するために、コントラスト強調や彩度強調、雑音除去、鮮鋭化など、様々な画質改善手法の開発が望まれている。特に、画素分布を広げることで明暗差を強調するコントラスト強調処理は、その性能を定量的に評価することが困難である。そのため、様々なコントラスト強調処理が数多く提案されているものの、ユーザの経験と勘に基づく手動の処理が頻繁に用いられている。

これまでに提案されてきたコントラスト強調処理に関する手法は、(1)変換曲線に基づく手法、(2)ヒストグラム指定法に基づく手法、(3)Retinex 理論に基づく手法などに分類される。(1)変換曲線に基づく手法では、あらかじめ変換関数の形状が定められているため処理が簡単であるという利点がある。しかし、きめ細やかな明度調整を行うためには複雑な変換曲線を手動で指定する必要があるという欠点がある。(2)ヒストグラム指定法に基づく手法では、目標のヒストグラムを与えるだけで自動的に変換曲線が生成され、コントラスト強調処理が行われるという利点がある。一方、目標のヒストグラムを適切に指定しなければ不自然な画像が得られてしまうという欠点がある。(3)Retinex 理論に基づく手法では、光源の影響に左右されずにコントラスト強調処理が行われるという利点があるものの、設定すべきパラメータ数が多いことや、ハローなどのアーチファクトが発生するという欠点がある。本論文では、色空間の形状を考慮することで(2)の問題点を改善し、効果的なコントラスト強調を実現する方法について述べる。

第 1 章は序論である。

第 2 章では、従来のコントラスト強調法について述べる。ここでは、コントラスト強調の目的およびその枠組みについて述べる。ヒストグラム指定法に基づくコントラスト強調法の概要と位置付けについて説明し、主要な方法について述べる。はじめに、グレースケール画像を対象とした方法として、ヒストグラム均等化 (Histogram Equalization: HE)、および勾配ノルムに基づく HE について詳述する。勾配ノルムに基づく HE は、画像の勾配ノルムによって重み付けされたヒストグラムを用いることで過度な強調を抑制する方法である。次に、カラー画像を対象とした方法として、色空間の形状を考慮した HE について詳述する。色空間の形状を考慮した HE では、色空間の形状に基づいて理想的な明度分布を定義し、それを目標のヒストグラムとしてコントラスト強調が行われる。本章のまとめとして、従来手法の利点および欠点から得られる知見について述べる。

第 3 章では、HSV 色空間の形状を考慮した明度コントラスト強調法について述べる。提案手法では、過度な強調を抑制するために、HSV 色空間の形状と画像の勾配ノルムに基づく処理が行われる。ここでは、RGB 色空間から HSV 色空間への変換処理、およびその逆変換処理について述べ、HSV 色空間の彩度 (Saturation) や明度 (Value) の定義について詳述する。また、HSV 色空間の形状と明度 (Value) の定義に基づき、色空間の形状を考慮した明度分布を定義する。従来手法から得られた知見に基づき、過度な強調を抑制するために、明度成分の勾配ノルムによって重み付けされたヒストグラムに基づく処理についても述べる。また、原画像の平均明度に応じて強調度合いが自動で調節される機構について述べる。種々の画像を用いた実験を通して、提案手法の有効性を検証する。

第 4 章では、RGB 色空間の形状を考慮した明度コントラストおよび彩度の同時強調法について述べる。提案手法では、各画素を白、黒、純色の凸結合によって表現し、凸結合の係数空間上で画素分布が取り扱われる。ここでは、色相保存条件について概説し、RGB 色空間における等色相平面が白、黒、純色の 3 点を頂点とする三角形であることを述べる。また、各画素を白、黒、純色の凸結合によって表現する方法について詳述する。さらに、ヒストグラム指定法によって、凸結合の係数空間上で画素分布を広げる処理について述べる。具体的には、係数分布を広げるために、各係数の平滑化ヒストグラムを目標のヒストグラムとする。このとき、平滑化度合いに応じてコントラストの強調度合いを調節することが可能であることを示す。種々の画像を用いた実験を通して、提案手法の有効性を検証する。

第 5 章は結論である。本研究の成果を総括する。

(様式 9 号)

学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

山口大学大学院創成科学研究科

氏 名	植 田 祥 明
審 査 委 員	主 査： 末 竹 規 哲
	副 査： 内 野 英 治
	副 査： 菊 政 勲
	副 査： 野 崎 浩 二
	副 査： 韓 先 花
論 文 題 目	色空間の形状を考慮したヒストグラム指定法に基づくコントラスト強調に関する研究
【論文審査の結果及び最終試験の結果】 近年、デジタルカメラやカメラ付き端末の普及が進み、カラー画像を容易に取り扱うことが可能になった。これにともない、品質の良いカラー画像を得るための画像処理手法の開発が重要となっている。品質の良い画像を生成するために、コントラスト強調や彩度強調、雑音除去、鮮鋭化など、様々な画質改善手法の開発が望まれている。特に、画素分布を広げることで明暗差を強調するコントラスト強調処理は、その性能を定量的に評価することが困難である。そのため、様々なコントラスト強調処理が数多く提案されているものの、ユーザの経験と勘に基づく手動の処理が頻繁に用いられている。 本論文は、色空間の形状を考慮し、ヒストグラム指定法を利用することで、色域内での処理を保証し、色相を保存しながらカラー画像の明度、及び彩度のコントラストを効果的に強調することのできる新たな方法について述べたものである。本論文は5章から構成されている。 第1章は序論であり、本論文の背景と目的について述べ、論文の構成について記している。 第2章では、コントラスト強調処理の概要について述べている。また、いくつかの主要な従来方法について述べ、画像処理技術の観点からそれらの問題点を明らかにしている。 第3章では、HSV色空間においてカラー画像の明度コントラストを効果的に強調することのできる方法を提案している。提案方法では、HSV色空間の形状を考慮した理想的な明度ヒストグラムを定義し、それを用いて明度コントラストの強調を行っている。ヒストグラムには、自然な強調処理を実現するために、勾配ノルムによって重み付けされたものを用いている。さらに、原画像の平均明度を考慮した強調度合の調節機構を導入している。提案方法を種々のカラー画像に適用し、一対比較法による見た目の評価や平均明度差に基づいた数値評価を行い、良好な結果が得られることを確認している。 第4章では、RGB色空間において、色を白、黒、純色の凸結合で表現し、係数空間上でヒスト	

グラム指定法を用いて画素分布を広げることによって明度と彩度のコントラストを同時に、かつ効果的に強調することのできる方法を提案している。提案方法を種々のカラー画像に適用し、明度の標準偏差、カラフルネス、計算量といった複数の定量評価指標を用い、その有効性を示している。

第 5 章は結論である。

公聴会においては、①コントラスト強調法の中には画像全体ではなく局所的に処理を行う方法もある。今回提案した方法と局所コントラスト強調法の関連性、位置づけを教えてください。②カラー画像のコントラスト強調では、RGB 色空間内で一様分布にするのが理想的なのか。③従来手法から得られる知見として、色域内での処理を保証したほうが良いとあるが、第 3 章の手法では本当に色域が保証されているのか。④第 4 章で提案している方法には、パラメータが 3 つあるが、画像の種類等に応じた設定指針はあるのか。⑤結果画像の見た目と定量評価の良し悪しはどれくらい関係があるのか。⑥実験の際にどのような基準で実験画像を選んだのか、などの説明が求められたが、いずれも発表者からの的確な回答がなされた。

以上より本論文は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士（理学）の論文に十分に値するものと判断された。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記の通りである。（関連論文 計 3 編）

- 1) Yoshiaki Ueda, Takanori Koga, Hideaki Misawa, Noriaki Suetake, and Eiji Uchino, "Gradient Norm-based Histogram Equalization Taking Account of HSV Color Space Distribution," *Optical Review*, Vol. 24, Issue 3, pp. 406-415, 2017
- 2) 植田祥明, 三澤秀明, 古川翔大, 古賀崇了, 末竹規哲, 内野英治, "平滑化係数ヒストグラムを用いた RGB 色空間における色相保存かつ色域を保証したコントラスト強調法," *電子情報通信学会論文誌*, Vol. J102-A, Issue 4, 2019 (採録決定済み)