

学位論文要旨 (Summary of the Doctoral Dissertation)	
学位論文題目 (Dissertation Title)	低照度／不鮮明なカラー画像に対する RGB 色空間の等色相平面における画像強調法に関する研究 (A Study on Image Enhancement on Equi-hue Plane in RGB Color Space for Low-light/Unclear Color Image)
氏名(Name)	向田 眞志保
<p>近年, スマートフォンやタブレットといった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. これに伴い, カラー画像の画質向上に関する様々な手法が開発されている. カラー画像では色によって情報が表現される. 色は, 「色相」「彩度」「明度」の三つの属性から構成される. 色相は色味の性質, 彩度は鮮やかさ, 明度は明るさを表す. これらの三属性は多くの人にとって理解しやすい色の物差しである. 一方, 工学的な面では, 加法混色の三原色である赤(Red), 緑(Green), 青(Blue)を三属性とした RGB 色空間が広く使用されている. そのため, デジタル画像処理は RGB 色空間で行われることが望ましい. しかし, RGB 成分の値を変化させて色調をコントロールすることは容易ではない. 例えば, もっと鮮やかにしたい場合, RGB 色空間の三成分のうち, どの成分をどれだけ変化させたらよいかは感覚的にはわからない. そのため, 色相, 彩度, 明度の三成分から構成される色空間に一度変換し, そのいずれかを変更し, 再び RGB 色空間に変換することが行われている. しかし, 場合によっては変換後の色が RGB 色空間の表示可能領域(色域)から逸脱する「色域問題」が発生することがある. RGB 色空間のみで処理を完結することができれば, この不都合を解消することができる. これに対し, RGB 色空間上で色域を保証しつつ, 色相を変えることなく, 明度コントラストおよび彩度を同時に強調する手法がいくつか提案されている. 従来の方法は適度な光量の下で撮影された画像に対しては, 効果的な強調結果を得ることができるが, 暗い環境下で撮影された低照度画像に対しては効果が限定的であった. この他, RGB 色空間上の色域内での処理を保証しつつ, 色相を保ちながら詳細部を強調する手法もいくつか提案されてきた. しかし, これらの手法はコントラストや彩度を強調することができるが, 詳細部の強調効果が弱いという問題があった. そのため, 不鮮明な画像に対しては効果が限定的であった.</p> <p>本論文では, RGB 色空間上で色域を保証しつつ, 色合いを変えることなく低照度／不鮮明な画像を効果的に強調する手法について述べる. 第1章は序論である. 第2章では, 色空間とその色域について概説する. まず, 色相, 彩度, 明度の三成分から構成される色空間について説明する. 次に, RGB 色空間について述べる. ここで, 本提案手法で用いる RGB 色空間における等色相平面についても説明する. 第3章では, 低照度画像に対して色域を保証した色相保存型の画像強調手法について述べる. 低照度画像を対象とした従来の強調法においては, 色域問題の発生や色相が保存されないことによって, 明るい領域で詳細部が消失することや不自然な色合いになるという問題があった. 本論文では, これらの問題を解決する. 提案手法では, 白, 黒, 純色によって構成される RGB 色空間の等色相平面上で処理が実現される. 入力画素は白, 黒, 純色の凸結合によって表され, その結合係数に対し, 暗い画素のみを明るくする修正ガンマ変換が適用される. 修正ガンマ変換では, 暗い画素のみ明るくなるため, 明るい領域の詳細部の消失が抑えられる. 一方で, 修正ガンマ変換は凸結合の係数の分布がシフトするだけであるため, コントラストが改善しない. この問題に対し, 黒の係数のヒストグラムを平滑化することで, 画像のコントラストを改善する. 具体的には, ガンマ分布の関数に従うフィルタ係数を持つフィルタによって黒のヒストグラムを平滑化し, 平滑化したヒストグラムを目標としたヒストグラム指定法によってコントラストを改善する. 種々の画像を用いた実験により, 提案手法の有効性を検証する. 第4章では, 不鮮明な画像に対する RGB 色空間の等色相アンシャープマスキング法について述べる. 不鮮明な画像の強調には, 従来, アンシャープマスキングが用いられてきた. アンシャープマスキングは効果的に画像の詳細部を強調することができるが, RGB 各成分に処理を適用するため, 入力画像の色相を保存できないという問題があった. 本論文では色域を保証し, 色相を保存した上で, アンシャープマスキングによる詳細部強調の効果を保持した手法について述べる. 提案手法では RGB 各成分にアンシャープマスキングを適用し, これを RGB 色空間における等色相条件を満たす線形変換式で近似する. 次に, RGB 色空間の色域から逸脱した画素を RGB 色空間における等色相平面に収める処理を行う. 具体的には, 色域から逸脱した画素と入力画素を結ぶ直線と RGB 色空間における等色相平面を構成する辺との交点に画素を修正する. 種々の画像を用いた実験により, 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.</p>	

## 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	向 田 眞 志 保
審 査 委 員	主 査： 末 竹 規 哲
	副 査： 浦 上 直 人
	副 査： 川 村 正 樹
	副 査： 新 沼 浩 太 郎
	副 査： 野 崎 隆 之
論 文 題 目	低照度／不鮮明なカラー画像に対する RGB 色空間の等色相平面における画像強調法に関する研究 (A Study on Image Enhancement on Equi-hue Plane in RGB Color Space for Low-light/Unclear Color Image)
<p>【論文審査の結果及び最終試験の結果】</p> <p>近年、スマートフォンやタブレットといった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。これに伴い、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。これらの手法では、デジタル撮像・表示機器と親和性の高い RGB 色空間上で処理が実現されることが望ましい。しかし、RGB 成分の値を変化させて色合いを制御することは容易ではない。例えば、ある画素を鮮やかにしたい場合、RGB の三成分のうち、どの成分をどれだけ変化させたらよいかは感覚的にはわからない。そのため、画素値を HSI 色空間等の色相、彩度、明度の三成分から構成される色空間に一度変換し、そのいずれかの成分を変更し、再び RGB 色空間に変換するといったことが行われる。しかし、場合によっては変換後の色が RGB 色空間の表示可能領域（色域）から外れるという問題が発生することがある。RGB 色空間のみで処理を完結することができれば、この不都合を解消することができる。これまでに、RGB 色空間上で色域を保証しつつ色合いを制御し、画像を強調する手法がいくつか提案されている。しかし、従来の方法は適度な光量の下で撮影された画像に対しては効果的な強調結果を得ることができるが、暗い環境下で撮影された低照度画像に対しては効果が限定的であった。この他、RGB 色空間上の色域内での処理を保証しつつ、色相を保ちながら画像の詳細部を強調する手法もいくつか提案されている。しかし、これらの手法はコントラストや彩度の強調には優れるが、鮮明化効果が弱いという問題があった。そのため、不鮮明な画像に対しては効果が限定的であった。</p> <p>本論文では、RGB 色空間上で色域を保証しつつ、画素の色味を変えることなく低照度／不鮮明な画像を効果的に強調する手法について述べたものである。</p> <p>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、色空間とその色域、及び RGB 色空間上での等色相の条件について述べている。第 3 章では、低照度画像を明るく視認性の高い画像にすることのできる色相保存型の画像強</p>	

(様式第9号)

調手法を提案している。提案手法では、入力画素を白、黒、純色の凸結合によって表現し、その結合係数に対し、暗い画素のみを明るくする修正ガンマ変換を適用する。その後、黒の係数ヒストグラムを平滑化し、平滑化されたヒストグラムを目標としたヒストグラム指定法によって出力画像を得る。提案手法を低照度下で撮影されたカラー画像に適用し、目視による定性評価、及び色相差やコントラスト、画像の自然さ等に関する評価指標を用いた定量評価を行い、その有効性を検証している。

第4章では、不鮮明な画像を効果的に鮮明にすることのできる色相保存型の画像強調法を提案している。提案手法では、RGB各成分にアンシャープマスキングを適用し、これをRGB色空間における等色相条件を満たす線形変換式で近似する。その後、RGB色空間の色域から外れた画素があれば、その画素をRGB色空間における色域内の等色相平面上に再配置する処理を行う。提案手法を種々のカラー画像に適用し、目視による定性評価、及び色相差や画像の鮮明さに関する評価指標を用いた定量評価を行い、その有効性を検証している。

第5章は結論である。

公聴会においては、①低照度画像の強調法で利用されている修正ガンマ変換は一般的な明度修正にも使えるのか。②低照度画像の強調法はGPUで実行すると効果的に処理の高速化がはかれるか。③低照度画像の強調法において、画像に雑音为重畳している場合、どのくらい影響がでてくるのか。また、色相をあえてずらすとどのくらい見た目に影響がでるのか。④画像の強調法と鮮明化法の2つの方法を提案しているが、今後2つの方法をどう発展させるのか。2つの方法を組み合わせていくのか、それとも独立して発展させていくのか。⑤鮮明化法において画像全体ではなく部分的に鮮明化したい場合があると思うが、その場合はどのようにすればよいか。⑥提案の鮮明化法では、処理の適用後、どのくらいの画素が色域から出るのか。また、色域外の画素を色域内に修正する場合、同じ色に修正される画素がたくさん発生するのではないか。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2編)

- 1) Mashiho Mukaida and Noriaki Suetake, "Approximated Unsharp Masking on Equi-hue Plane in RGB Color Space," *Optical Review*, Vol.30, No.5, pp.516-525, 2023.
- 2) Mashiho Mukaida, Yoshiaki Ueda, and Noriaki Suetake, "Low-Light Image Enhancement Method Using a Modified Gamma Transform and Gamma Filtering-based Histogram Specification for Convex Combination Coefficients," *IEICE Trans. on Fundamentals*, Vol.E106-A, No.11, pp.1385-1394, 2023.