

氏名	キノシタ ユウマ 木下 裕磨
所属	システムデザイン研究科 システムデザイン専攻
学位の種類	博士（情報科学）
学位記番号	シス博 第130号
学位授与の日付	令和2年3月25日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	広輝度ダイナミックレンジ画像の生成法に関する研究
論文審査委員	主査 教授 貴家 仁志 委員 教授 小野 順貴 委員 准教授 藤吉 正明 委員 教授 村松 正吾（新潟大学大学院）

### 【論文の内容の要旨】

撮像センサが扱うことができる輝度のダイナミックレンジは、現実シーンにおけるダイナミックレンジよりもはるかに狭い。そのため、現在のデジタルカメラで撮影された画像では、人間が知覚している輝度のダイナミックレンジを忠実に表現するには至っていない。本論文は、一般の画像、すなわち、低ダイナミックレンジ（Low dynamic range, LDR）画像の持つこの課題の解決を目的とし、より広い輝度のダイナミックレンジを記録した画像である広輝度ダイナミックレンジ（Wide luminance dynamic range, WDR）画像を生成する手法を提案している。

WDR 画像は、現実シーンにおける広い輝度のレンジの情報を持つ画像であり、現実シーンの放射輝度と正比例する画素値を持つ U-WDR 画像や、従来の LDR ディスプレイへの表示を目的とする L-WDR 画像など、目的に応じたいくつかの種類がある。WDR 画像は、写真撮影、コンピュータグラフィックス、監視カメラ、自動運転、医用画像など多くの分野への利用が期待されている。一方、撮像センサにおけるダイナミックレンジの制限により、従来のカメラを用いた WDR 画像の直接的な撮影は困難な状況にある。このような理由から、WDR 画像の生成法として、(1)専用に設計された特殊なカメラを用いた撮影、(2)同一シーンを異なる露出条件で撮影した複数枚の LDR 画像（多重露出画像）の合成、(3)単一 LDR 画像を用いた WDR 画像の推定という 3 つの方法が研究されている。(1)の方法では高価なカメラを必要とするため、本論文では、従来のカメラを用いて実現可能な(2)の多重露出画像に基づく方法、および(3)の単一 LDR 画像に基づく方法に着目する。この研究を通して得られた知見は、複数センサを用い多重露出画像を一度に撮影する(1)の方法の性能向上にも貢献できる。

多重露出画像を用いて高品質な WDR 画像を生成するためには、2つの条件を満たす必要がある。第一の条件は撮影時に複数回シャッターを切ることによる被写体の位置ずれがないことであり、第二の条件は多重露出画像がシーンのダイナミックレンジを明瞭に記録していることである。このような背景から、第一の条件を満たさない場合に適用可能な手法として、多重露出画像間の被写体のずれを補正する手法が数多く研究されている。しかしながら、第二の条件を満たさない場合、すなわち不明瞭な多重露出画像が入力として与えられた場合を想定した研究はこれまでにほとんど行われていない。WDR 画像生成に適した多重露出画像撮影時の露出値や枚数を決定する方法が未だ明らかとなっていない。さらに、もし適切な露出値を決定できた場合でも、画像撮影時における時間的制約から十分な枚数の多重露出画像を撮影することは一般に困難である。

単一 LDR 画像からの WDR 画像推定は一般に不良設定問題であり、カメラ特性などの事前情報が利用できない場合には、特定の逆トーンマッピングオペレータを用いて高品質な WDR 画像を推定することは困難である。そのため、深層学習の利用による、単一 LDR 画像に基づく WDR 画像推定の性能向上が期待されている。しかし、教師画像として WDR 画像を直接利用した深層学習モデルの学習は、LDR 画像と WDR 画像における画素値の分布の違いなどの理由から、困難であることが先行研究により指摘されている。

本論文では、以上の状況を鑑み、不明瞭な多重露出画像が入力として与えられた場合における高品質な WDR 画像生成、および単一 LDR 画像に基づく WDR 画像推定法の性能向上を目的とする。提案する手法を用いることで、適切な多重露出画像の撮影が難しい状況や、そもそも多重露出画像が取得できない状況においても、より高い品質の WDR 画像を生成できる。

本論文は、以下の 7 章で構成されている。

第 1 章では、本研究分野の背景と課題を述べ、本研究の目的や本論文の構成を述べる。

第 2 章では、デジタル撮影と輝度のダイナミックレンジ、および WDR 画像技術について説明し、WDR 画像生成法の概要とその課題について述べる。

第 3 章では、シーンのダイナミックレンジを明瞭に記録していない多重露出画像および明瞭な多重露出画像の両方を入力として想定し、高品質な L-WDR 画像を生成する手法を提案する。提案法は、多重露出画像の輝度補正によって明瞭な多重露出画像を生成できる。それら多重露出画像を従来の L-WDR 画像生成法によって合成することで、高品質な L-WDR 画像が得られる。明瞭な多重露出画像の生成は、輝度に関してシーンを領域分割し、分割によって得られる各領域をよく表現する画像をそれぞれ生成することにより行われる。既存の L-WDR 画像生成法を用いた実験により、提案法の利用が、不明瞭な多重露出画像から生成される L-WDR 画像の品質を向上させることが示される。

第 4 章では、第 3 章で提案する手法を拡張し、単一 LDR 画像から L-WDR 画像を推定する手法を提案する。本章では、第 3 章で提案するシーン領域分割を単一 LDR 画像に対して適用できるよう拡張し、単一 LDR 画像から多重露出画像を擬似的に生成可能とする。これ

ら擬似的に生成された多重露出画像の合成により, シーン全体を明瞭に表す L-WDR 画像が得られる. 単一画像に基づく WDR 画像推定法との比較により, 主観的および客観的品質の観点から提案法の有効性を確認する.

第 5 章では, 高速に実行可能な逆トーンマッピングオペレータを提案する. 提案法は, Reinhard らにより提案されたトーンマッピングオペレータの逆関数に基づき, 単一 LDR 画像から U-WDR 画像を推定する. 提案法において用いられるパラメータは閉形式で高速に計算可能でき, 結果として, 逆トーンマッピングオペレータの高速化が実現される. 従来逆トーンマッピングオペレータとの比較実験により, 提案法は, 従来法と同等の品質を持つ U-WDR 画像を, より高速に計算できることが示される.

第 6 章では, 第 5 章で提案する逆トーンマッピングオペレータと深層学習を組み合わせた, 逆トーンマッピングのための深層学習ネットワークを提案する. 第 5 章の逆トーンマッピングオペレータは, 入力 LDR 画像が Reinhard のトーンマッピングオペレータにより生成された場合に極めて高い性能を持つ. 提案法は, その条件を満たすよう, 入力 LDR 画像を深層ニューラルネットワークにより変換した後, 得られる画像に対して第 5 章で提案する逆トーンマッピングを実行する. これにより, 従来法を上回る性能を持つ逆トーンマッピング法を実現できることが示される.

第 7 章では, 本論文の総括を行い, 各章で提案した手法で得られる利点や効果についてまとめを示している.