

Hyperspectral Imaging for the Digital Preservation of Stained Glass Windows

Name: Suzan Joseph Kessy

Laboratory's name: Optical Media Interface

Supervisor's name: Yasuhiro Mukaigawa

Abstract:

Digital imaging and analytical techniques have been used for decades to document Cultural Heritage (CH) artefacts. This documentation supports curators, scholars, conservators, archaeologists, and conservation scientists in gaining knowledge of artefacts and archaeological CH objects. Spectral imaging captures information beyond the visible spectrum by splitting light into many wavelengths, revealing details invisible to the human eye. It creates a "chemical map" of objects, useful for identifying material composition and uncovering hidden details in artworks and documents. One technology is hyperspectral whisk-broom imaging, which scans the scene sequentially, capturing a complete spectrum at each spatial coordinate pixel-by-pixel over time. However, whisk-broom imaging technology is still developing and faces challenges. One issue is the difficulty of conducting high-precision spectral imaging outdoors, largely due to temporal variations in ambient light. Another issue is the narrow Field-of-View (FoV) of the hyperspectral measurement. HSI's long scanning time implies a low spatial density or a narrow FoV.

To address these issues, this study aims to achieve multiple modality measurements for digitally preserving and analysing stained glass windows for restoration. We aim to achieve high-precision spectral imaging measurements under varying ambient light conditions and capture RGB images with a full view of the stained-glass windows. We propose two methods: an effective photometric compensation technique to compensate for temporal variations in ambient light and verification of its effectiveness through various experimental setups. Next, we propose a geometric compensation model to align the narrow field-of-view hyperspectral images to full-view RGB images. The interest is to locate hyperspectral measurements in an environment described by an equirectangular image. Our research provides a method to compensate for temporal variations in ambient light to achieve high-precision spectral imaging under varying environmental lighting conditions. Furthermore, the HIS/RGB alignment method facilitates cross-analysis and data exchange among conservation scientists, enhancing collaboration and collective knowledge in cultural heritage preservation.

(論文審査結果の要旨)

本論文では、ステンドグラスを対象として、2次元走査型の分光器を用いて分光画像を計測する際に問題となる測光学と幾何学に関する問題を解決する方法を述べている。分光画像には、各波長ごとの強度が記録されているため、文化遺産のデジタルアーカイブや、含有化学物質の解析などに有効である。1点計測の分光器と2軸の回転ミラーを組み合わせた2次元走査型の分光器は、分光情報の精度が高いという利点があるものの、計測に時間がかかるという欠点も併せ持つ。そのため、太陽光を光源とする屋外の計測においては、計測中に照明条件が変化してしまうという測光学の問題が生じる。一方、計測に時間がかかるため、一定の空間解像度を保つためには視野角が狭くなるという問題も生じる。

1つ目の照明条件の変化については、走査方向が直交する追加の分光計測を行うことで、照明変動を補償する手法を定式化した。これにより、一定の照明条件下での分光画像が得られることを示した。追加計測によって、さらに計測時間が長くなるため、追加計測をできるだけ削減する手法についても提案している。さらに、照明変動は時間的に滑らかに変化するという正則化の導入により、より安定に補償できることを示した。

2つ目の狭視野角の問題については、視野角の狭い分光画像と、360度の全周RGB画像を組み合わせる方法を述べている。異なる機器で計測された2種類の画像となるため、幾何学的な位置合わせが必要となる。両画像から抽出された特徴点に基づいて、単位球面上でのホモグラフィ変換によって幾何学的に位置合わせをした。

以上の2つの問題を、フランス・アミアンの大聖堂のステンドグラスを対象として評価実験を行い、その有効性を示した。本研究は、コンピュータビジョン分野において、特に分光画像の扱いにおいて学術面での貢献を認めることができる。両手法はそれぞれ国際会議で発表され、照明変動の補償法については査読付き学術論文に掲載された。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値ある物と認める。