

機関番号：82505

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20700176

研究課題名（和文） 光沢分布に適応的な文書類の偏角分光画像計測に関する研究

研究課題名（英文） Gonio spectral imaging of document materials adaptive to spatial gloss distributions

研究代表者

赤尾 佳則（AKAO YOSHINORI）

科学警察研究所・法科学第四部・主任研究官

研究者番号：30356159

研究成果の概要（和文）：文書類の色や質感と密接な関係にある偏角分光画像を、光沢度に応じた露光条件設定により、高ダイナミックレンジで取得する方法を研究した。鏡面反射近傍領域の輝度情報の利用により、ダイナミックレンジを約6倍に向上させる手法を提案し、画像撮影実験で提案手法の有効性を確認した。また測定ジオメトリの最適化を行い、鏡面反射近傍では、ピークの形状の半値全幅以下でのサンプリングが必要であることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：A high dynamic range gonio-spectral imaging method was proposed by setting exposure conditions adaptive to the glossiness of samples. The dynamic range of intensity measurement was improved by six times by using the information of neighborhood of specular reflection region. The effectiveness of proposed method was confirmed by an image acquisition experiment. The optimization of measurement geometries provided a criterion that sampling intervals should be shorter than the FWHM of specular peak profile.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	0	1,600,000
2009年度	800,000	0	800,000
2010年度	800,000	0	800,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	0	3,200,000

研究分野：光学・画像処理

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：文書、偏角反射特性、画像計測、光沢、センサプランニング

1. 研究開始当初の背景

近年のIT（情報技術）の発展により、多様な情報ネットワークから必要な情報をいつでもどこでも簡単に取り出せるユビキタス情報化社会の到来が近づいている。ネットワークを介した画像情報の伝達は、電子商取引、電子美術館、遠隔地の専門家による画像診断をはじめとする多く

の分野で必要であり、ユビキタス情報化によってその必要性はますます高まるものと考えられる。

画像情報によって物体の姿を正確に伝えるためには、色や形が正確に表示されることに加えて、物体の質感が正確に再現されることが重要である。電子商取引を例にあげると、顧客が商品画像を見ることによ

って、実物の商品を見たときと同じように質感を知覚できる必要がある。

従来研究では、その一手法として、偏角分光イメージング法が提案されてきた[1]。この方法は、照明光源や撮影機器の特性に依存性しない物体固有の色情報である分光反射率情報を取得するとともに、照明方向や観察方向の違いによる見え方の変化（偏角反射特性）を記録するものである。偏角反射特性は質感と密接な関係にある。我々が物体の質感を知覚するとき、光沢、表面形状によって引き起こされる陰影、テクスチャだけでなく、照明方向、観察方向にともなうこれらの変化を手がかりとしていることから、偏角反射特性の重要性を理解することができる。

ところで、画像情報のコンテンツとして、紙や文書は、われわれの生活に身近なものであり、多種多様な紙の質感を記録再現することは、製紙・出版・印刷業界における電子商取引をはじめ、古文書、巻物、美術品などの文化財資料のデジタルアーカイブ分野において、きわめて重要な課題である。また、犯罪鑑識の一分野である文書鑑定においても、紙の質感は、紙幣や有価証券類の真偽識別及び作成方法の推定等に重要な役割を果たしており、遠隔地の文書鑑定の専門家がネットワークを介して文書鑑定資料の質感情報を含めた高次元な画像情報を共有できる文書鑑定資料のデジタルアーカイブシステムの開発が求められている。すなわち、紙の質感情報を記録する画像センシング技術及びそれを再現する画像表現技術を統合した「紙の質感記録再現システム」の開発が求められている。

しかしながら、実世界の紙及び文書には、光沢がきわめて高いものから、光を散乱して光沢が認められないものまで幅広く存在しており、光沢紙、西洋の古文書などの文頭に用いられるデカール（金文字）、有価証券類の偽造防止技術として用いられるエンボスホログラムをはじめとする高光沢の物体を、拡散的な反射特性を示す紙や顔料インク等と同時に画像撮影することが困難であった。すなわち従来法では、さまざまな光沢の度合いをもつ物体の反射光を、限られたダイナミックレンジの画像入力装置でデジタル化するため、部分的な光量の飽和及び不足が生じる問題があった。

そこで上記の問題を解決するため、撮影シーン中の各点の光沢度に対して適応的に露光量を設定できる画像センシング技術を開発する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、紙や文書の質感と密接な関

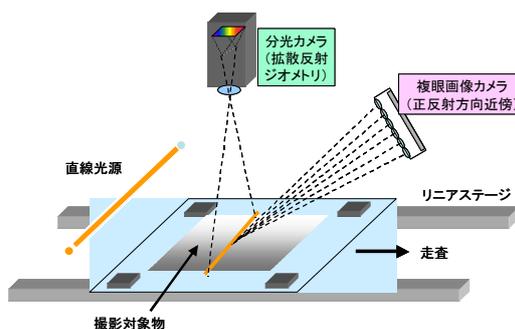


図1 想定する画像入力システム

係にある偏角分光反射特性を、図1に示すようなフラットベッドスキャナ型の画像入力装置で測定することを想定し、直線照明光源、分光カメラ及び複眼光学系を用い、光沢度の異なるさまざまな紙に対して露光条件を空間的に適応的に設定することにより、高ダイナミックレンジな画像を撮影する方法について研究する。そのために以下の課題に取り組む。

(1) 測定ジオメトリの最適化

画像入力システムに配置する直線照明光源、分光カメラ及び複眼光学系の配置を決定し、さまざまな紙に対して良好な画像撮影結果が得られる測定ジオメトリについて検討する。

図1において、分光カメラは、拡散反射ジオメトリの分光画像を撮影し、測定試料の色情報を正確に取得する。正反射方向近傍に配置した複眼画像カメラは、複眼光学系と光検出器を組み合わせたものであり、試料の光沢情報を取得する。上記二種類のカメラは、それぞれ測定試料上の一次元的領域を計測するものであり、リニアステージによる副走査を組み合わせることで試料上の二次元的な偏角分光反射特性を取得することを想定する。

(2) 高ダイナミックレンジ輝度情報の推定

昆虫の眼のような複眼光学系を用いて、高ダイナミックレンジ画像を取得するための測定方法及び輝度推定アルゴリズムについて検討する。

図1に示す光学系で高光沢の物体を撮影した場合、正反射方向に位置する個眼では、反射光強度が最大となり、それから離れるにつれて強度が低下した画像が得られる。これらの複眼画像を、擬似的に露光量を変化させた画像として扱うことにより、高ダイナミックレンジの輝度情報を推定する方法について検討する。

(3) 光沢度の異なる試料の同時撮影実験

提案する手法に基づき、光沢の度合いが異なる部分が混在する試料について、正反射方向近傍での偏角輝度情報を取得する実験をおこなう。

3. 研究の方法

(1) 測定ジオメトリの最適化

光沢度の異なるさまざまな紙の偏角分光反射特性を解析し、開発する画像入力システムの光源、画像撮影装置の配置を最適化した。

8種類の印刷用紙及び和紙の284ジオメトリでの偏角放射輝度率から少数ジオメトリのデータを抽出してBRDF(双方向反射率分布関数: Bi-directional Reflectance Distribution Function)モデルのパラメータを推定し、ジオメトリの抽出と推定精度との関係を調査した。

BRDFモデルには、先行研究で紙の偏角反射モデルとして有効性が確認されたTorrance-Sparrowモデル[2]とLambertモデル[3]の線形結合によるモデルを用いた(著者発表論文[雑誌論文]①)。

(2) 高ダイナミックレンジ輝度情報の推定

正反射方向近傍の輝度情報群から、正反射方向の輝度情報を推定する方法を提案した。

ポイントとなるアイデアは、正反射近傍の偏角画像群を、露光量の異なる画像群として取り扱うことである。高光沢物体は、正反射方向できわめて強い鏡面反射光を生じ、その偏角反射特性は、ほぼガウス型のプロファイルとして記述することができる。そこで、このプロファイルから、正反射方向からの角度と露光量との換算式を求めた。その換算式により、正反射方向近傍のジオメトリでの放射輝度率から正反射方向の放射輝度率を推定した。

換算式では、正反射方向からの角度を δ とすると、そのジオメトリでの表面反射成分の輝度が、正反射方向のおよそ $\exp(-\delta^2/8\sigma^2)$ 倍となることを利用する。ここで σ は、Torrance-Sparrowモデルにおける粗さパラメータである。

(3) 光沢度の異なる試料の同時撮影実験

光沢の異なる部分が混在する試料について、正反射方向近傍での偏角輝度情報を取得する実験をおこなった。

実験装置の模式図を図2に示す。平凸シリンドリカルレンズは、複眼光学系に相当

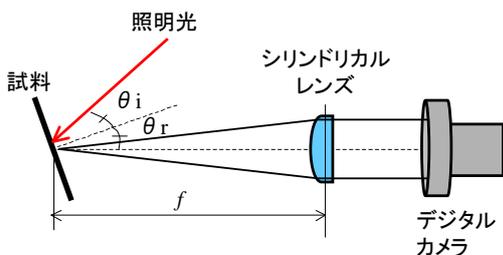


図2 正反射近傍の鏡面反射光撮影実験

する部分であり、正反射方向近傍の約 6° の範囲の反射光を連続的に捉えるために用いた。試料は、ガラス基板上の一部がクロム蒸着された試料(1951 USAF テストターゲット)であり、試料からの鏡面反射光を、試料から焦点距離に位置する平凸シリンドリカルレンズ($f=100\text{mm}$ 、サイズ $10\text{mm} \times 20\text{mm}$)で平行光化し、単焦点レンズ($f=105\text{mm}$)を取り付けたデジタルカメラ(Nikon, D700)で画像撮影した。入射角度 θ_i と観察角度 θ_r は、いずれも 16° に設定した。ハロゲンファイバ照明装置からの光は、光源を試料から約3m離して配置することにより、ほぼ平行光となるようにした。

4. 研究成果

(1) 測定ジオメトリの最適化

少数ジオメトリからBRDFモデルパラメータを推定した結果、表面が粗く、光沢の少ない紙(普通コピー紙、マット紙、和紙)では、12ジオメトリでのデータから284ジオメトリの場合と同等の精度が得られた。光沢の高い紙では、鏡面反射ピークの形状を適切に取得する必要があると、少なくともその半値全幅以下のサンプリング間隔が必要であることが分かった。しかしながら、密なサンプリング領域を鏡面反射方向近傍に限定しても推定精度が変わらないため、測定点数を大幅に減少できることが分かった。

図3は、光沢の高い2種類の紙(G:プリンタ用光沢紙、SG:プリンタ用半光沢紙)について、鏡面反射方向の測定ジオメトリ間隔 δ とBRDFモデルパラメータ σ の推定結果との関係を表したものである。 δ がピーク形状の半値全幅 σ_1 以下の場合、 σ が正しく推定された。今回調査した試料のうち、最も光沢の高い試料Gの場合、正反射方向近傍で約 3° の間隔で輝度情報を取得する必要がある。分光カメラの配置

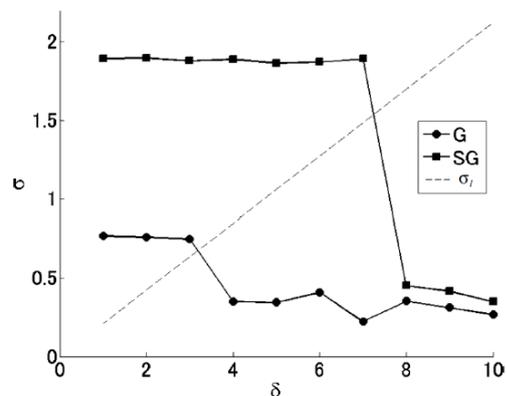


図3 測定ジオメトリ間隔とパラメータ推定結果の関係

を一般的な測色のジオメトリである 45/0 とする場合、正反射方向は 45/45 となり、それを中心として複眼光学系を 3° の間隔で配置する必要がある。

(2) 高ダイナミックレンジ輝度情報の推定

提案した換算式を用いて、正反射近傍での反射光強度から正反射光のピーク強度を推定した結果を図 4 に示す。算出されたピーク強度の誤差率は、図に示す領域、すなわち正反射ピークの半値全幅の 2 倍の範囲 (G (光沢紙): $\pm 3^\circ$ 、SG (半光沢紙) $\pm 7^\circ$) においては、光沢紙では 7.8%、半光沢紙では 0.4% であった。同領域の末端での強度は、ピーク強度の約 1/6 であることを考えると、測定可能な光強度の約 6 倍のピーク強度を推定したこととなることから、擬似的にダイナミックレンジが約 6 倍に向上したと考えることができる。

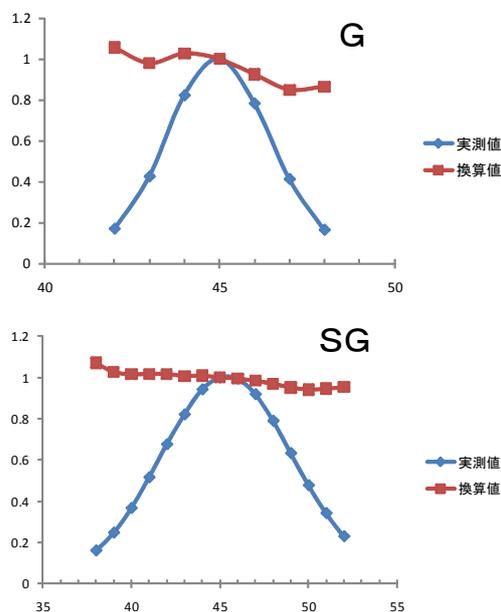


図 4 換算式によるピーク強度の推定結果

(3) 光沢度の異なる試料の同時撮影実験

シリンドリカルレンズの短軸方向が反射角度変化に相当する画像が得られ、試料面の一次元方向における正反射方向近傍の約 6° の偏角反射特性が連続的に得られた。クロム蒸着部分とガラス部分の間には偏角特性の差異が認められ、光沢の度合いが異なる部位が混在する試料に対する提案手法の有効性を確認した。

なお今後、論文等で研究成果を発表する予定があるため、本報告書での図表掲載を見合わせた。

(4) 参考文献

[1] H. Haneishi, T. Iwanami, T. Honma, N. Tsumura and Y. Miyake, Goniospectral imaging of three-dimensional objects,

J. Imaging Sci. Technol. 45, 451-483 (2001).

[2] K. E. Torrance and E. M. Sparrow, "Theory for off-specular reflection from roughened surfaces", J. Opt. Soc. Am. 57, 1105 (1967).

[3] J. Lambert, Photometria Sive de Mensure de Gratibus Luminis, Colorum Umbrae (Eberhard Klett, Augsburg, Germany, 1760) (In Latin).

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

① Y. Akao, N. Tsumura, T. Nakaguchi and Y. Miyake, Characterization of white paper sheets by BRDF model parameters estimated in the specular reflection plane, Journal of Imaging Science and Technology, 査読有、54 巻、2010、060503-1-060503-11

② Y. Akao, R. Shogenji, N. Tsumura, M. Yamaguchi and J. Tanida, Efficient gonio-imaging of optically variable devices by compound-eye image-capturing system, Optics Express, 査読有、19 巻、2011、3353-3362

③ 赤尾佳則、文書鑑定における外観検査、光技術コンタクト、査読無、46 巻、2008、107-111

④ 赤尾佳則、文書鑑定における光技術、オプトロニクス、査読無、10 巻、2009、104-108

[学会発表] (計 10 件)

① 赤尾佳則 他、有価証券類に用いられる 2D ホログラムの刻線数の調査、日本法科学技術学会第 14 回学術講演会、2008 年 11 月 7 日、ホテルフロラシオン青山 (東京都)

② 赤尾佳則 他、有価証券類 2D ホログラムの測定ジオメトリの最適化、日本法科学技術学会第 15 回学術集会、2009 年 11 月 13 日、ホテルフロラシオン青山 (東京都)

③ 赤尾佳則、複眼光学系を用いたハンドヘルド型 OVD 偏角撮像システム、第 57 回応用物理学関係連合講演会、2010 年 3 月 17 日、東海大学 (神奈川県)

④ 赤尾佳則、複眼光学系を用いた OVD 偏角撮像システムにおける個眼像位置合わせ、第 4 回新画像システム・情報フォトリクス研究討論会、2010 年 6 月 29 日、大阪大学 (大阪府)

⑤ 赤尾佳則 他、複眼光学系を用いた OVD

- D偏角撮像システムにおける個眼像位置合わせ精度、日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2010、2010年11月9日、中央大学（東京都）
- ⑥ 赤尾佳則 他、複眼OVD偏角撮像システムによる2Dホログラムの撮影、日本法科学技術学会第16回学術集会、2010年11月12日、ホテルフロラシオン青山（東京都）
 - ⑦ 赤尾佳則、複眼光学系による偏角画像計測の文書鑑定への応用、第56回応用物理学関係連合講演会、2009年3月30日、筑波大学（茨城県）〈招待講演〉
 - ⑧ 赤尾佳則、文書鑑定における偽造防止デバイスの検査、高分子学会 09-2印刷・情報・表示研究会、2009年10月14日、東京大学（東京都）〈招待講演〉
 - ⑨ 赤尾佳則、文書鑑定における光学的変化素子の検査、平成22年第1回ホログラフィック・ディスプレイ研究会、2010年3月5日、宇都宮大学（栃木県）〈招待講演〉
 - ⑩ 赤尾佳則、文書鑑定における光学的特性解析、大阪科学技術センター第1回光情報技術研究会、2010年7月2日、大阪科学技術センター（大阪府）〈招待講演〉

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤尾 佳則 (AKAO YOSHINORI)
科学警察研究所・法科学第四部・主任研究官
研究者番号：30356159

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし