

機関番号：12501

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20300060

研究課題名 (和文) マルチバンドイメージングシステムの開発とビジョン応用

研究課題名 (英文) Development of Multi-band Imaging Systems and Its Application to Vision

研究代表者

富永 昌二 (SHOJI TOMINAGA)

千葉大学大学院・融合科学研究科・教授

研究者番号：10103342

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、多機能のマルチバンドイメージング技術を開発した。計測系としては、全方位のシーンを分光 HDR 画像として獲得したり、美術絵画のような精緻な表面の性質を計測したりするシステムを構築した。画像解析としては、分光関数の推定、3次元反射のモデル化、物体識別法を開発した。画像生成としては、色順応の予測に取り組み、リアルな画像レンダリング技法を開発した。これらの成果を、具体的な応用問題に適用した。

研究成果の概要 (英文)：

In this study, multifunctional multiband imaging technology was developed. The measurement systems were constructed for acquiring omnidirectional scene as spectral HDR images, and measuring the properties of exquisite surfaces like the art paintings. In the image analysis, methods for estimating the spectral functions, modeling 3D reflection, and recognizing objects were developed. In the image generation, techniques for rendering realistic images including chromatic adaptation effect were developed. These methods and techniques were applied to vision problems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
年度			
総計	11,300,000	3,390,000	14,690,000

研究分野：総合領域

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：ビジョンシステム, マルチバンド, 分光画像, カラー, 物体認識, 反射モデル

1. 研究開始当初の背景

報告者らは可視域でのマルチバンドカメラや分光カメラシステムを試作して、分光情報の推定を試み、さらに物体認識の問題解決に検討を重ねてきた。これまでに以下の点が

明らかになった。

(1) 分光画像からハイライトや陰影に依存しない物体認識への有効性がわかった。しかし安定した分光情報の獲得と物体表面の同定・識別のアルゴリズム開発が必要である。

(2) 照明光源の分光分布の推定は分光カメラを用いて概ね可能であるが、蛍光灯のような鋭いスパイクピークを含むような環境光に対して、より狭帯域のセンシングが必要となる。

(3) 屋外シーンや陰影・ハイライトを含むシーンでは、明暗のレンジが極めて大きく、従来のレンジの狭い LDR 系では、信頼できる分光画像を獲得できない。

(4) 従来研究では光源は単一で、空間分布は一樣と仮定された。しかし、自然環境下での光源は単一ではなく全方位に存在しており、これらの光源情報を一度に獲得する必要がある。

(5) 3次元物体の認識および画像表現には表面分光反射率データのみならず、形状情報を獲得する必要がある。

(6) 物体の映像を表示デバイス上にリアルに生成するには、人間の視感効果を考慮した画像レンダリング技法が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、高度なマルチバンドイメージング技術を開発し、獲得した分光画像を解析して、各種のビジョン応用へ展開していくことを目的としている。具体的には、様々な環境における実シーンのビジョン問題に適したマルチバンドイメージングシステムを構築して、分光画像を獲得する。そして照明光および物体表面特性を推測するアルゴリズムを開発して、シーンを記述したり、対象物体を識別したりする。さらに任意の視環境の下で、人間の視感効果を考慮したシーンのリアルな画像をレンダリングする研究を進める。

(1) 【画像獲得】適用環境に応じたマルチバンドイメージング系として、①魚眼カラーカメラにフィルタを装着する方式、②カラー（干渉）フィルタとモノクロカメラを組み合わせる方式、③液晶フィルタとモノクロカメラを組み合わせる方式、④可動式マルチバンド光源とモノクロカメラを使う方式、を採用する。①は全方位シーンの照明光分布計測用に、②はシーン認識のための高精細 HDR 画像獲得用に、③は蛍光を含むシーン用に、④は美術絵画といった固定シーンを獲得するシステムとして、それぞれ構築する。

(2) 【画像解析】分光画像から照明光分布と表面反射率といった分光関数、さらに物体形状や反射特性の情報を推定する。これらに基づいて、各種物体の識別アルゴリズムを開発する。具体的には、①全方位光源分布、表面分光反射率の推定、②蛍光物体・蛍光照明の推定、③物体表面の3次元反射モデル推定、④物体形状情報の推定、⑤物体の識別、⑥分光データの圧縮・符号化の各アルゴリズムを開発し、実験によって信頼性を検証する。

(3) 【画像レンダリング】各種推定データと解析結果に基づいて、任意の照明環境・視環境における質感溢れるシーン映像をディスプレイおよびプロジェクタ上で生成する。このために①分光的レンダリングアルゴリズム、②質感表現技法、③人間の色順応を予測するモデルと推定法、④カラーマネージメントアルゴリズム、⑤HDR 画像の生成法、の各要素技術を開発する。

(4) 【応用】開発したビジョンシステムの応用として、①人物・物体の効率的な識別、②回路基板の材質識別、③絵画のデジタルアーカイブ、④全方位シーンの解析とレンダリング、⑤蛍光物体の同定、⑥人間の肌の光学特性と評価、⑦ユニバーサルビジュアルコミュニケーションといった具体的問題に取り組む。

3. 研究の方法

(1) マルチバンド画像獲得部の構築

4種類のマルチバンド系（①魚眼カメラ＋フィルタ方式、②カラーフィルタ＋モノクロカメラ方式、③液晶フィルタ＋モノクロカメラ方式、④マルチ光源＋モノクロカメラ方式）を構築する。

(2) 効率的な分光系の決定

分光系のチャンネル数は、可視域[400-700nm]において6から61チャンネルまで可変とする。チャンネル数・選択波長帯と分光情報の推定精度の関係を理論と実験によって考察し、各種分光画像解析に対して最も効率的なセンサ数とその波長帯を決定する。評価指標としては、分光反射率の推定誤差および知覚的な CIELAB の色差を採用する。特徴抽出の精度も評価する。

(3) 3次元反射モデルと分光レンダリング

各種物体の光反射を解析して、モデル化及びそのパラメータを推定する手法を開発する。これまで変角分光光度計とカメラによる計測データに対して Torrance-Sparrow モデルを適用した。しかし最近、このモデルに適合しないものが数多く存在することがわかった。光沢のない粗い表面の物体に多く、これらを記述する数学モデルを検討する。可視光域でレイトレーシングに基づいた分光レンダリングアルゴリズムを開発する。

(4) 全方位光源分布の計測と解析

自然環境下における光源の全方位分光エネルギー分布をカメラから推定する。本研究では魚眼レンズとカラーフィルタを組み合わせ、全方位観測系を構築する。直接的な投影方式とマルチバンド化によって、全周囲分光情報の高精細推定を目指す。

(5) 色順応効果の予測

本研究では色温度を用いる簡便な不完全順応色予測の方法を検討する。色味の異なる絵画や印刷物等で順応実験を行い、色順応を

予測する方法を開発する。この結果を画像レンダリングに組み込む。

(6) 絵画のデジタルアーカイブ

本研究で構築した分光撮像と可変照明系によって、面法線と分光反射率、さらに反射モデルパラメータを推定する。分光データの圧縮問題を解決し、さらに色順応効化とHDR画像再現の研究結果を組み込む。これにより照明と観測条件を任意に設定できるレンダリングシステムを開発する。絵画としては、キャンバス上の油彩画及び画用紙上の水彩画を主とするが、これに限らず多くの絵画を収集して実験する。さらに大型の絵画については可搬型のシステムを検討する。

(7) 分光関数の推定アルゴリズムとデータ圧縮・符号化

カメラ系の雑音を考慮した最適な分光推定アルゴリズムを開発する。また照明光や反射率といった分光関数は、可視域で5nmサンプルを基準とし、これに蛍光波長を加えた多次元データとして記録する。このため全方位画像や複数光源画像では、膨大な記憶容量を必要とする。そこで分光分布・分光反射率の特徴を解析することによって、分光関数の効率的な表現方法を検討する。また画像品質を損なわずに、情報記録とレンダリングを可能とする符号化法を検討する。

(8) 蛍光灯照明下でのシーンの解析

本研究では、蛍光スペクトルの特徴抽出を行い、液晶カメラ系からの分光画像の輝線の波長に基づいて、蛍光灯の種類を同定し、蛍光スペクトルとその他の連続スペクトルに分離する方法を開発する。これにより蛍光灯と昼光といった一般光源を複合したシーンでの認識を可能にする。

(9) 物体の識別アルゴリズムの開発

シーン中の各種物体について、分光反射率や表面粗さといった表面特性から物体を識別する具体的なアルゴリズムを開発する。まずマルチバンド画像データから、ハイライトや陰影に依存しない領域分割のアルゴリズムを開発する。本研究では、分光反射率のみならず、表面粗さ、鏡面強度、屈折率などの物体表面の総合特性に基づいた物体認識を検討する。

(10) 回路基板の要素識別

基板には金属線、レジスト、ハンダといった要素があり、基板の検査は目視に頼っている。各要素は異なった材質であるが、似た色領域が存在し、しかも反射特性は複雑である。狭帯域カメラ系に接写レンズ系と照明系を工夫して、専用のビジョンシステムを構築する。分光反射情報を利用して、領域処理と材料同定を可能とする。

(11) 肌の解析とレンダリング

本研究では素肌に限定せず、ファンデーション塗布肌も対象とする。このときツヤ、テ

カリ、マット感といった質感と光反射の関係性を調べる。光学的評価手法のみならず主観評価実験も行う。ファンデーション顔料との関係性にも踏み込む。これにより様々な肌について分光反射率と反射モデルを予測する手法を確立し、人間の肌を映像化する総合的なアルゴリズムを開発する。

(12) HDR画像の表示手法の開発

HDR画像を正確な色再現でリアルな画像として表示デバイスで再現するシステムとアルゴリズムを開発する。特に、人間の視覚特性を考慮した手法を開発する。画像のレンダリング手法として、最良のモデルとアルゴリズムを検討する。

(13) 高輝材シボ板の計測とレンダリング

本研究では、光輝材とシボを含む物体の光反射モデルを検討し、3次元画像レンダリングアルゴリズムを開発する。

(14) シーンにおける蛍光物体の同定

本研究では、分光画像から蛍光特性と分光反射率を推定する方法を開発する。すなわち蛍光物質を同定し、さらに分光反射率を推定する。この成果を物体認識に生かす。

(15) ユニバーサルビジュアルコミュニケーション

国や地域を問わず、健常者や障害者、高齢者を問わず全ての人々が、臨場感溢れる映像を利用できるユニバーサルカラーデザインを検討する。

4. 研究成果

(1) マルチバンド画像獲得部の構築

当初の計画通り、4種類のマルチバンドイメージング系(①魚眼カメラ+フィルタ方式、②カラーフィルタ+モノクロカメラ方式、③液晶フィルタ+モノクロカメラ方式、④マルチ光源+モノクロカメラ方式)を構築し、稼働させた。

(2) 効率的な分光系の決定

①と②のシステムについては、分光反射率の推定誤差およびCIELAB色差に基づいて決定した。③と④のシステムは、多チャンネルで狭帯域であるため、適用問題ごとに可変として検討した。グローバルな最適化問題として解くことは困難であることがわかった。

(3) 3次元反射モデルと分光レンダリング

ファンデーション塗布肌や水彩画を対象として、主成分分析に基いた反射モデルを提案したり、Oren-Nayarモデルの利用を検討した。可視光域でレイトレーシングに基づいた分光レンダリングを行い、提案手法の有効性の検証を行った。

(4) 全方位光源分布の計測と解析

魚眼レンズとカラーフィルタを組み合わせることで全方位観測系を構築した。直接的な投影方式とマルチバンド化によって、全方位分光画像の高分解能、高精度推定の見通しが得ら

れた。屋外自然シーンのマルチバンド画像計測を実施し、全方位スペクトル分布の特徴について解析を行った。



全方位マルチバンドイメージングシステム

(5) 色順応効果の予測

色温度を用いる簡便な不完全順応色予測の方法を検討した。色味の異なる絵画や印刷物、パッチなどを用いて基礎的な実験の積み重ねを行った。特に、視環境を再構築し、順応効果が十分得られる実験環境において順応実験を行い、順応モデルとの比較を行った。詳細の解析は、現在遂行中である。

(6) 絵画のデジタルアーカイブ

美術絵画の油彩画を対象として、②の方式で画像獲得、画像処理、画像レンダリングを実施するためのマルチバンドシステムを構築し、カメラデータから面法線と分光反射率、さらに反射モデルパラメータを推定した。形状推定において、低周波歪みの表現が十分でないことから、レーザ変位形による計測値を部分的に利用する方法を提案した。絵画としては、キャンバス上の油彩画に加えて、画用紙上の水彩画も対象とした。

(7) 分光関数の推定とデータ圧縮・符号化
ファンデーションなどを対象として、分光分布・分光反射率の特徴を解析することによって、分光関数の効率的な表現方法を検討し、画像品質を損なわずに情報記録とレンダリングを可能とする主成分分析に基づいた符号化法を提案した。

(8) 蛍光灯の分光分布推定

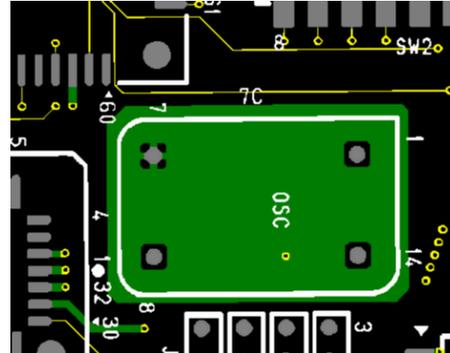
液晶カメラ系で獲得した分光画像から、LED照明や蛍光灯、シーンの分光分布を推定するアルゴリズムを提案した。物体に生じるハイライト部分に着目し、これを抽出して、分光分布を推定する方法を複数検討した。

(9) 物体の識別アルゴリズムの開発

分光反射率と偏光情報を用いた材質識別のアルゴリズムの検討を継続中である。また、マルチバンド画像データから、ハイライトや陰影に依存しない領域分割のアルゴリズムを提案した。

(10) 回路基板の要素識別

基板上的の異なる材質の金属線、レジスト、ハンダといった要素を識別するため③の方式で専用システムを構築した。分光反射率による識別アルゴリズムについて、教師なしと教師ありの2種類のアプローチを提案した。さらに、(9)で検討した照明光源に対して不変なアルゴリズムを利用して、安定した識別の検討も行った。



回路基板の識別例

(11) 肌の解析とレンダリング

人間の素肌、およびファンデーション塗布肌を対象として、ツヤ、テカリ、マット感といった質感と光反射の関係を調べた。人間の肌を映像化する総合的なアルゴリズムを開発中である。

(12) HDR画像の表示手法の開発

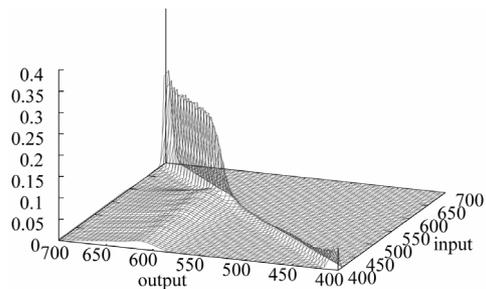
視覚特性に基づいたHDR画像のレンダリング手法を開発した。種々のHDRシーンを用いて、詳細な視感評価実験を行い、提案手法の有効性を検証した。また、レンダリング結果の評価方法を検討し、実シーンなし、メモリマッチング、実シーンとの比較の3種類の方法について、測色値との関係を調べた。

(13) 高輝材シボ板の計測とレンダリング

光輝材を含むシボの光反射モデルを検討した。特に、光機材の分布や反射方向に関する新しいモデルを検討し、3次元画像レンダリングによって検証を行った。

(14) シーンにおける蛍光物体の同定

分光画像から蛍光特性と分光反射率を推定する方法を開発した。これまで、蛍光反射成分の推定には、モノクロメータやブラックライトなどによる紫外光照射が必要であったが、2種類の可視光源の照射による推定アルゴリズムを提案し、実験的に検証を行った。



蛍光物体の行列表示

(15) ユニバーサルビジュアル視覚系
視覚障害者の見えを補償する新しいカメラシステムの検討を始めた。現在、システム構築中である。

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 57 件)

- ① A.Ibrahim, S.Tominaga and T.Horiuchi, A Spectral Invariant Representation of Spectral Reflectance, Optical Review, 査読有, Vol.18, No.2, 2011, pp.231-236.
- ② S.Tominaga, A.Matsuura and T.Horiuchi, Spectral Analysis of Omnidirectional Illumination in a Natural Scene, Journal of Imaging Science and Technology, 査読有, Vol.54, No.4, 2010, pp.040502-1-9.
- ③ T.Horiuchi and S.Tominaga, HDR Image Quality Enhancement Based on Spatially-Variant Retinal Response, EURASIP Journal on Image and Video Processing, Vol.2010, Article ID 438958, 11 pages, 2010.

[学会発表] (計 50 件)

- ① 富永昌治, 光と色の計測と表現—コンピュータビジョンの観点から—, コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, 2010年5月28日, 名古屋工業大学.
- ② 富永昌治, 堀内隆彦, 柿沼弘員, プログラムブル光源を用いた分光イメージング, 日本色彩学会視覚情報基礎研究会, 2009年10月10日, 工学院大学.
- ③ 松浦篤, 富永昌治, 堀内隆彦, 全方位マルチバンド画像計測と光源解析, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2009), 2009年7月21日, くにびきメッセ.

[その他]

ホームページ等

<http://dippix.tp.chiba-u.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

富永 昌二 (SHOJI TOMINAGA)

千葉大学大学院・融合科学研究科・教授

研究者番号：10103342

(2) 研究分担者

堀内 隆彦 (TAKAHIKO HORIUCHI)

千葉大学大学院・融合科学研究科・准教授

研究者番号：30272181

(3) 連携研究者

羽石 秀昭 (HIDEAKI HANEISHI)

千葉大学・フロンティアメディカル工学研究開発センター・教授

研究者番号：20228521