

平成 21 年 5 月 17 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18760305

研究課題名（和文） 反射型時系列画像に対する輝度勾配ベクトル場モデルの検討

研究課題名（英文） A Study about characteristics of intensity gradient vector field model for reflective sequential images.

研究代表者

吉永 幸靖 (YOSHINAGA YUKIYASU)

九州大学・大学院芸術工学研究院・助教

研究者番号：60304854

研究成果の概要：

本研究では、透過型画像に対して研究されてきた輝度・コントラスト・幅に依存せずに高感度・高ノイズ耐性を持つ線検出フィルタである線集中度フィルタを反射型時系列画像に適用し、より広範な非制御環境における画像を利用した様々な計測をより高精度に行うことを目的とする。非常に微弱なコントラストを持つ反射型画像の実応用例として眼底分光像を用い、実験から線集中度フィルタが反射型画像についても有効であることを示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,500,000	0	1,500,000
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	270,000	3,870,000

研究分野：電気電子工学

科研費の分科・細目：計測工学

キーワード：輝度勾配ベクトル，線集中度，線検出，時系列画像，コントラスト非依存，反射型画像，透過型画像，オブジェクト空間表現

## 1. 研究開始当初の背景

画像の線構造による理解は画像理解の重要な基本的テーマである。また、マルチスライス CT をはじめとする画像計測機器の発達により、さまざまな分野において、高精度な時系列画像が得られつつあり、これらの時系列画像への画像理解の応用も重要度が増してきている。加えて、計算機能力の急速な向上により、計算量に起因する障壁が取り除かれたことにより、画像理解の実用的な応用範囲は、静止画像・時系列画像を問わずに、急速に拡大してきている。その一方で、計算量そのものよりも、むしろ画像理解の原理的な限界が障壁となる対象が浮き彫りになり、それらについては未だ研究レベルでの検討に

とどまっている現状がある。

申請者はこのように複雑でノイズが多い画像から、コントラストの影響を受けずに高精度に線構造を検出する手法として、輝度勾配ベクトルの向きの分布に着目した線集中度フィルタとオブジェクト空間表現に基づく処理手法を開発した。しかし、反射型画像は透過型画像とは画像の生成原理の異なるため、輝度勾配ベクトル場がどの程度有効であるかは不明である。また、2次元静止画像に関しての検証は行われているものの、時系列画像に対して時間を積極的に用いた検証も行われていない。

輝度勾配ベクトル場モデルに基づく線集中度フィルタは輝度・コントラスト・幅の影

響を受けず、線状領域を極めて感度良く、かつ雑音に影響されずに検出するフィルタである。このフィルタの透過型の静止画像に対する有効性はこれまで示してきたが、反射型画像や動画像に対する処理を確立することにより、より広範な非制御環境において、画像を利用した様々な計測をより高精度に行うことができる。

## 2. 研究の目的

輝度勾配ベクトル場に基づく画像理解の更なる解析を進め、より広範な対象に関するコントラスト非依存型画像処理の可能性を模索するため、以下の問題の解決を図る。

- (1) 反射型画像に対するモデルの有効性を検証
- (2) 時系列画像に対するモデル適用のため、時間の性質を考慮した時空間でのモデルの検討
- (3) 動きの計測に対する輝度勾配ベクトル場に基づく数値化の検討

## 3. 研究の方法

従来、透過像を画像生成過程としてモデルの有効性を確認してきた輝度勾配ベクトル場モデルが、反射型画像においてどのような性質を持つか検討し、透過型と同等の精度を得るために必要な画像処理について検討する。具体的には以下の課題について検討する。

- (1) 透過型画像では対象となる3次元物体の厚みが濃度値として得られるため、輝度勾配ベクトル場は、線集中ベクトル場をはじめとする集中ベクトル場を形成することがわかっている。そこで反射型画像における様々な形に対する輝度勾配ベクトル場を調査し、基本的性質を把握する。
- (2) 調査した反射型画像の輝度勾配ベクトル場における基本的性質をもとに、集中ベクトル場に基づく手法の有効性を検討する。また、反射型画像の生成過程に基づき、形と対応付けられる特徴量に対するベクトル場の定義の可能性と、その特徴ベクトル場に対する集中ベクトル場フィルタの可能性を検討する。
- (3) これまで透過型画像で検討してきたオブジェクト空間表現に基づく画像処理など、輝度勾配ベクトル場モデルに基づくコントラスト非依存型フィルタに適応した画像理解処理を反射型画像に適用し、その有効性を検証する。

## 4. 研究成果

従来、透過像を画像生成過程としてモデルの有効性を確認してきた輝度勾配ベクトル場モデルが、反射型画像においてどのような性質を持つか検討し、透過型と同等の精度を得るために必要な画像処理について検討した。

透過型画像では対象となる3次元物体の厚みが濃度値として得られるため、輝度勾配

ベクトル場は、線集中ベクトル場をはじめとする集中ベクトル場を形成することがわかっている。一方、反射型画像では前景は背景の影響を受けないため、人工的に生成した黒地に白線では、前景と背景の境界のみに輝度勾配ベクトルが生じるため、集中度が低くなる傾向にある。しかし、実画像に対する実験から、反射型の実画像では意外に良好に線が検出できることがわかった。これは、画像の生成過程において次の2つの現象が原因と思われる。

- (1) 撮像系に生じるボケによりエッジが鈍り、比較的広い勾配ベクトル場が生じた。
- (2) 実画像における線は、影や物体の湾曲による反射光量の変化によって生じるため、そもそも理想的な線が形成されにくく、むしろ線集中ベクトル場が形成されるような線の発生が一般的である。

このため、透過型画像とほぼ同様の手法を利用できることがわかった。ただし、線の交差については、線の発生源となる物体が完全に隠蔽されることから、透過型画像ほどは良好に分離抽出できない。ただし、追跡などの処理におけるオブジェクト空間表現の有用性については、候補数の軽減など一定の効果が見られる。

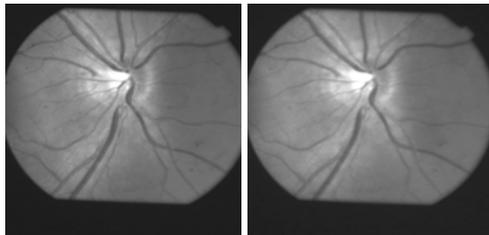
そこで、輝度勾配ベクトル場モデルを様々な実環境時系列画像に適用し、その制す角検討とロバスト性の検証を行った。微弱な信号を持つ対象例として眼底を対象とし、白色光源のビデオ画像に加えて、複数の単色光による分光画像についても線集中度フィルタの有効性を検証した。一般に反射型の画像では物体表面の形状や色が画像情報として得られるが、眼底など非常に微細な構造を持つ組織の場合、光が表面組織を通過し、深層組織で反射した像が得られる。この結果、反射型画像でありながら透過型画像に近い性質を持ち、微細構造に対する線集中ベクトル場モデルの適用は原理的にも非常に有効であることがわかった。また、単色光源でも同様に作用し、分光分析技術への線集中ベクトル場モデルの適用が可能であることもわかった。また、コントラストの影響が少ないことから、比較的弱い光源でも眼底画像処理がある程度可能であり、動画像に対する処理も可能であることがわかった。そこで、酸素飽和度を計測するための分光分析システムに線集中度フィルタを適用し、血管内の酸素飽和度を計測するアルゴリズムを考案した。

血中酸素飽和度は吸光度の異なる2波長の光学密度比(ODR)に比例するため、分光イメージング装置で得られた画像から血管部の反射強度を測定し、各波長での光学密度(OD)から算出できる。しかし、眼球という生体での計測では光路上の組織や眼球表面の曲面形状の影響を容易に計測出来ないうえ、

眼底のメラニン色素なども反射強度に寄与することから、これらの影響を除去しなければ血管内部のヘモグロビンによる反射強度を得ることが出来ない。そこで次の仮定を考える。

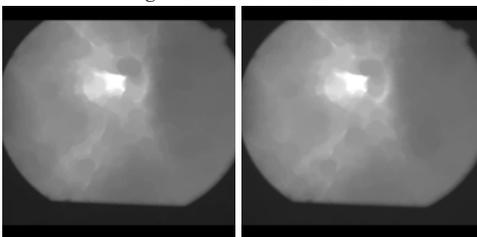
- ・眼底の表面形状による入射光強度の変化は、血管より十分に大きなスケールである。
- ・眼底のメラニン色素はほぼ一様で、変動は血管よりも十分に大きなスケールである。
- ・眼底表面の血管の反射光強度は、入射光のメラニン色素による減衰とヘモグロビンによる減衰の積に比例する。

この仮定では、血中ヘモグロビンによる光学密度はメラニン色素により減衰された光を入射光と仮定し、これと反射光との比率と考えることが出来る。メラニン色素および表面形状の影響は血管よりも十分に大きいとの仮定から、血管上の仮定される入射光は、周囲の血管外の反射光とほぼ等しいと考えることが出来る。そこで分光画像からモフォロジーによる closing 演算の結果を入射光強度と仮定し、光学密度比を計算した。Fig. 2



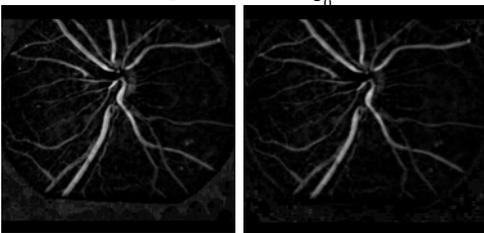
545nm 560nm

Fig.1 各波長での眼底写真



545nm 560nm

Fig.2 各波長での  $I_0$



545nm 560nm

Fig.3 各波長での OD

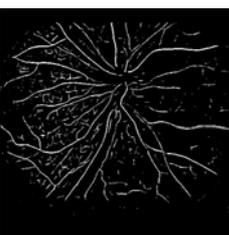


Fig.4 光学密度比

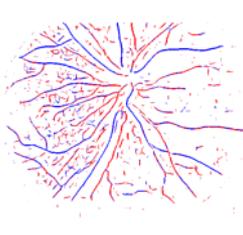


Fig.5 動静脈分類

に closing 演算で得られたそれぞれの波長のを、Fig. 3 に OD、Fig. 4 に線集中度フィルタで検出した血管上の ODR、Fig. 5 に閾値を 0.77 とした場合の動静脈の分類結果を示す。赤が動脈、青が静脈と分類されている。この結果をさまざまな手法を用いて臨床的な見地から検討したところ、従来用いられている被験者に侵襲与える診断機器から得られる検査結果とほぼ一致するだけではなく、さらなる新しい知見も得られることが分かった。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 中村 大輔, 吉永 幸靖, 江内田 寛, 岡田 龍雄, 石橋 達朗, “多波長分光画像による眼底酸素飽和度の計測”, 光アライアンス, vol. 3, 6-9 (2009. 3)
- ② D. Nakamura, S. Sueda, N. Matsuoka, Y. Yoshinaga, H. Enaida, T. Okada, T. Ishibashi, “Automated Spectroscopic Imaging of Oxygen Saturation in Human Retinal Vessels”, SPIE 7163, 7163-59 (2009. 1) (査読あり)
- ③ 吉永幸靖, 山根大, 末田聡, 松岡昇, 中村大輔, 岡田龍雄, 館眞利, 江内田寛, 石橋達朗, “背景成分推定法を用いた網膜血管酸素飽和度計測”, 第 7 回情報科学フォーラム論文集 2, 35 (2008. 9) (査読あり)

[学会発表] (計 16 件)

- ① 中村 大輔, 松岡 昇, 末田 聡, 岡田 龍雄, 吉永 幸靖, 江内田 寛, 石橋 達朗, “2波長分光イメージングによる眼底血中酸素飽和度の可視化”, 春季第56回応用物理学関係連合講演会 (2009. 4)
- ② 松岡 昇, 末田 聡, 尾形 学, 中村 大輔, 岡田 龍雄, 吉永 幸靖, 江内田 寛, 石橋 達朗, “分光イメージングによる眼底の血中酸素飽和度計測における誤差改善の検討”, 平成 21 年電気学会全国大会 (2009. 3)
- ③ 中村 大輔, 末田 聡, 松岡 昇, 岡田 龍雄, 吉永 幸靖, 江内田 寛, 石橋 達朗, “2波長分光技術を用いた眼底酸素飽和度イメージング”, 九大眼科研究会 (2009. 2)
- ④ 中村 大輔, 末田 聡, 松岡 昇, 岡田 龍雄, 吉永 幸靖, 江内田 寛, 石橋 達朗, “2波

- 長分光イメージングを用いた眼底酸素飽和度の可視化計測”，レーザー学会専門委員会「医療・バイオデバイス応用レーザー」（2009. 2）
- ⑤ 中村 大輔, 末田 聡, 松岡 昇, 岡田 龍雄, 吉永 幸靖, 江内田 寛, 石橋 達朗, “2波長分光イメージングによる眼底血中酸素飽和度モニタリングシステムの開発”, レーザー学会学術講演会 (2009. 1)
- ⑥ 松岡昇, 末田聡, 尾形学, 中村大輔, 吉永幸靖, 江内田寛, 岡田龍雄, 石橋達朗, “分光イメージングによる眼底の血中酸素飽和度計測における誤差要因の検討”, 平成20年度応用物理学会九州支部学術講演会 (2008. 11)
- ⑦ 中村大輔, 末田聡, 吉永幸靖, 江内田寛, 岡田龍雄, 石橋達朗, “2波長分光イメージングによる眼底酸素飽和度マッピング”, レーザー学会研究会 (2008. 9)
- ⑧ 中村大輔, 末田聡, 吉永幸靖, 江内田寛, 岡田龍雄, 石橋達朗, “2波長分光イメージングによる眼底血中酸素飽和度の測定” 秋季第69回応用物理学会学術講演会 (2008. 9)
- ⑨ 末田聡, 松岡昇, 中村大輔, 岡田龍雄, 吉永幸靖, 江内田寛, 石橋達朗, “分光イメージングによる眼底の血中酸素飽和度計測のための画像処理に関する検討”, 第61回電気関係学会九州支部連合大会 (2008. 9)
- ⑩ 吉永幸靖, 山根大, 末田聡, 松岡昇, 中村大輔, 岡田龍雄, 館眞利, 江内田寛, 石橋達朗, ” トップハット変換を用いた網膜血管酸素飽和度計測”, 平成20年度電気関係学会九州支部連合大会 (2008. 9)
- ⑪ 吉永幸靖, 山根大, 末田聡, 松岡昇, 中村大輔, 岡田龍雄, 館眞利, 江内田寛, 石橋達朗, ” 分光分析を用いた網膜血管の酸素飽和度の計測”, 第27回日本医用画像工学会大会 (2008. 8)
- ⑫ 松岡昇, 末田聡, 尾形学, 中村大輔, 吉永幸靖, 江内田寛, 岡田龍雄, 石橋達朗, ” 分光イメージングによる眼底の血中酸素飽和度測定”, 応用物理学会春季学術講演会, 船橋(3月, 2008).
- ⑬ 中村大輔, 末田聡, 吉永幸靖, 江内田寛, 岡田龍雄, 石橋達朗, ” 眼底血中酸素飽和度イメージング用緑色フッ化物ファイバーレーザーの開発”, レーザー学会学術講演会, 名古屋(1月, 2008).
- ⑭ 中村大輔, 末田聡, 吉永幸靖, 他, ” 眼底血中酸素濃度測定のためのフッ化物ファイバーレーザーの開発”, 応用物理学会九州支部学術講演会, 北九州(11月, 2007).
- ⑮ 末田聡, 松岡昇, 中村大輔, 岡田龍雄, 吉永幸靖, 江内田寛, 石橋達朗, ” コントラスト非依存な線検出フィルタを用いた画像の位置あわせ方法の検討”, 電気関係学会九州支部第60回連合大会, 沖縄(9月, 2007)
- ⑯ D. Nakamura, S. Sueda, N. Matsuoka, Y. Yoshinaga, 他, “Development of Er-doped Fluoride Fibre Laser for Measurement of Oxygen Saturation in Retinal Blood”, Technical Digest of Conference on Laser and Electro-Optics Pacific Rim, Seoul, (Aug. 2007).
- [産業財産権]  
○出願状況 (計2件)  
名称: 異方性ノイズを除去するためのプログラムと異方性ノイズ除去方法  
発明者: 石橋達朗, 岡田龍雄, 竹田 仰, 源田悦夫, 吉永幸靖, 江内田寛, 館眞利  
権利者: 九州大学  
種類: 特許出願  
番号: 2006-332706  
出願年月日: 2006年12月  
国内外の別: 国内  
名称: 血管情報分析装置及び生活習慣病因子検査方法  
発明者: 石橋達朗, 岡田龍雄, 竹田 仰, 源田悦夫, 吉永幸靖, 江内田寛, 館眞利  
権利者: 九州大学  
種類: 特許出願  
番号: 2006-332705  
出願年月日: 2006年12月  
国内外の別: 国内
6. 研究組織  
(1) 研究代表者  
吉永 幸靖(YOSHINAGA YUKIYA)  
九州大学・大学院芸術工学研究院・助教  
研究者番号: 60304854