

検診を対象とした眼底病変の自動検出システムの開発

Development of automated detection system for retinal lesions on mass screening

2001012



研究代表者

滋賀県立大学 工学部
電子システム工学科

准教授

畑 中 裕 司

[研究の目的]

人間ドックにおいて眼底検査は選択的検査から必須検査に移行している。また、平成20年度より施行された特定健康診査・保健指導において、眼底検査は選択的検査となった。このような医療の背景により、今後は眼底検査の実施件数が飛躍的に増加することが予想されるが、眼科医の人数が検査件数の増加率ほどに増えることはない。特定健診では、眼底検査を眼底撮影による画像読影で実施することが多く、さらに眼科医以外の医師が読影することが多い。したがって、眼科医ほどの高い診断精度を期待できない。そこで、眼底画像をコンピュータで定量的に解析し、その情報を医師に提供することによって、読影精度を高水準に安定させることを採取的な研究の目的として、筆者は眼底画像から病変を自動検出するシステムの開発を進めている。

眼底画像の読影により、高血圧性網膜症や糖尿病網膜症などの診断が可能である。この他、緑内障の診断も可能であるが、緑内障は眼部に限定された疾患であるため、本研究では全身に影響する疾患を対象とした。ただし、上記の二つの疾患の全ての診断所見は多数存在し、全てを自動検出することは現時点では困難である。そこで、本研究では高血圧性網膜症と糖尿病網膜症の主な診断所見である細動脈狭窄と出血を自動検出するシステムの構築

を試みた。

[研究の内容、成果]

1. 細動脈狭窄の自動検出

研究期間内に細動脈狭窄を診断した画像データベースを構築することが困難であったため、本研究ではその要素技術の確立を目指した。

細動脈狭窄は、眼底を並走する動脈(Artery)と静脈(Vein)の口径比(A/V比)で診断されており、A/V比が小さくなるほどに細動脈狭窄が進行していると考えられている。したがって、最初に主要な血管を、筆者らがこれまでに開発したブラクトップハット変換と二重リングフィルタを組み合わせた手法で自動抽出した。

次に、自動抽出した血管領域から分岐点と交差点を自動検出し、分岐点と交差点を除去することによって、血管を枝セグメントに分割した。ここで、分岐点は血管がY字型、交差点は十文字型になることから、自動抽出した血管を細線化処理によって骨組みの構造にして、Y字型の部位と十文字型の部位をパターンマッチングによって検出した。

そして、血管の枝セグメントを動脈と静脈に分類した。眼底画像上で静脈は動脈よりも濃く写ることから、本研究では画像の赤、青、緑の画素値、カラー画像の各成分におけるコントラスト、および血管の自動抽出に用いたブラック

トップハット変換と二重リングフィルタの出力値を特徴量として、線形判別分析を用いて判別関数を求め、動脈と静脈を分類した。

そして、視神経乳頭を自動抽出して、視神経乳頭から周辺方向に血管を追跡して、動脈と静脈を認識した。ここで、視神経乳頭は血管やその他の視神経層よりも明るく写ることから、p タイル法による閾値処理を用いた。

最後に、筆者らがこれまでに開発した手法を用いて、血管の口径計測を行った。なお、A/V 比を計測する範囲は、本研究では乳頭縁より1乳頭径の範囲とて、並走する動脈と静脈の枝セグメントの各々の口径の平均値を求め、平均値の比を A/V 比として定義した。

研究開発した手法を、Web で公開されている眼底画像データベースである DRIVE を用いて評価した。DRIVE の画像の大きさは、584×565 画素である。DRIVE には学習用と評価用の画像が各々 20 枚あるが、本研究では評価用の 20 枚を用いた。

最初に、動静脈の認識性能を評価したとき、本手法では 85% の動静脈を正しく認識できた。図 1 に認識結果の例を示す。

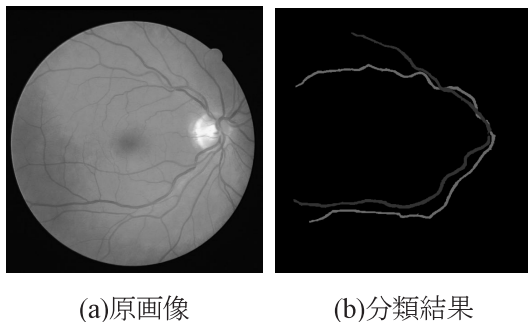


図 1 動脈と静脈の自動認識

次に、DRIVE の画像から手動で A/V 比を計測し、本手法による計測結果との誤差を調べた。そのときの平均誤差（画素）と標準偏差は 0.07 ± 0.06 (SD) であったことより、大凡の A/V 比を測定できたといえる。

2. 出血の自動検出

出血の検出については筆者らが以前より研究開発してきたが、誤検出の多い問題点が残っていたため、本研究ではその改善を行った。誤検出領域のことを偽陽性候補という。

出血は血管と同じく、眼底画像上では茶褐色に写るため、血管と同じ二重リングフィルタによって一次検出した。この段階で、p タイル法を用いて視神経乳頭を検出しておく。そして、二重リングフィルタによって検出された領域で、かつ視神経乳頭と接する領域は血管である可能性が高いので、除去した。そして、出血の大きさの範囲を定義しておき、その範囲に当てはまらない領域を除去することによって、出血の候補領域を絞り込んだ。

次に、問題となっている偽陽性候補の削除を行う。本研究では統計的特徴量を用いた多変量解析によって偽陽性候補を削除した。解析に用いた特徴量は、extrema、同時生起行列から求められる 14 種類、差分統計量から求められる 4 種類、ランレングス行列から求められる 5 種類を縦方向と横方向を別々に求めた計 10 種類、正規化濃度ヒストグラムのテクスチャ特徴から求められる 3 種類の合計 32 種類の特徴量を、カラー画像の赤と緑成分の画素値に対して求めた。すなわち、求める特徴量は 64 種類である。青成分の画素値を用いなかった理由は、青成分では出血と背景のコントラストが小さいため、特徴量を算出しても、偽陽性候補の削除に寄与しないからである。特徴量の算出時には、出血候補を囲む最小の矩形領域を求め、矩形内の画素値を用いた。これらの 64 種類の特徴量を用いて、出血と偽陽性候補を分類することによって、偽陽性候補の削除を行うが、最初にルールベース法を用いて 64 種類の各特徴量の外れ値を分類処理から除外した。残った出血候補と偽陽性候補を、多変量解析の分野で知られる手法で分類した。検討した分類手法は、マハラノビス距離による判別法、ニューラルネットワーク、そしてサポートベクタマシンである。多変量解

析では、特徴量が多くなりすぎると判別性能が低下してしまうヒューズの現象があるため、実際の眼底画像を用いて実験を行いながら、最適な特徴量を選択した。その結果、マハラノビス距離による判別器とニューラルネットワークによる判別器では30種類の特徴量を選択したときが最適であり、サポートベクタマシンでは21種類の特徴量を選択したときが最適であった。

以上に述べた手法を用いて、71枚の眼底画像を用いて出血の検出実験を行った。その結果、出血を含む眼底画像の83%を正しく出血を含むと認識し（感度83%）、正常の画像の67%を正しく正常であると認識した（特異度67%）。

3. 全体のシステム構成

本節では1と2で開発したアルゴリズムを含めて開発したシステムについて述べる。本システムは眼底カメラ内の画像を一時保管する領域を監視し、眼底撮影されると開発したシステムが起動するようにした。眼底撮影によって画像が生成されると、図2のようなその画像の患者情報を入力するウィンドウを起動する。患者情報を入力し終わると自動的に画像解析を開始し、図3のように解析結果を表示する。既に解析済みの画像を閲覧する場合は、図4のような患者検索ウィンドウを起動して、目的とする患者を検索することが可能である。



図2 患者情報入力ウィンドウ

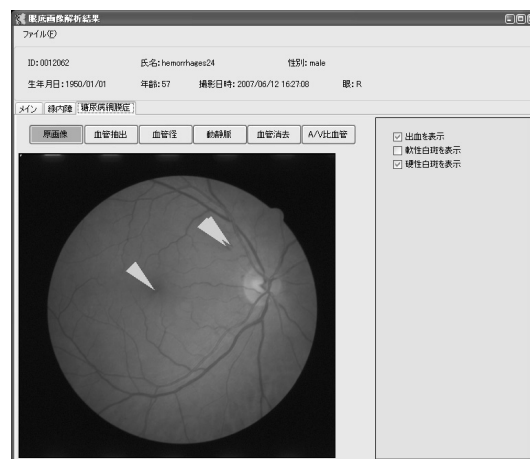


図3 解析結果の表示（出血の検出結果）



図4 患者検索ウィンドウ

【今後の研究の方向、課題】

本研究では、細動脈狭窄の自動検出のためのA/V比の自動計測手法と、出血の自動検出アルゴリズムを開発した。そして、図2、図3および図3のようなグラフィカル・ユーザ・インタフェース（GUI）を並行して開発することによる眼底画像を読影支援するソフトウェアの試作までを実施した。しかしながら、同一施設で撮影した高血圧性網膜症と糖尿病網膜症の症例を収集できておらず、臨床現場での評価実験を実施するに至っていない。今後は研究協力して頂ける医療施設を探し、臨床評価を行う予定で

ある。また、本研究で開発した GUI は緑内障にも対応しており、緑内障のための画像解析アルゴリズムも搭載させる予定である。

【成果の発表，論文等】

- 1) 石田隆行，桂川茂彦，藤田広志（監修）：医用画像ハンドブック（第9編，第3章，眼底検査，畑中裕司・分担執筆），オーム社，pp.1343-1348（2010）
- 2) 畑中裕司，村松千左子，原武史，藤田広志：眼底画像における血管交叉部と交叉現象の検出，医用画像情報学会・平成22年度秋季（第158回）大会，講演日（2010.10.9）
- 3) 水上篤貴，村松千左子，畑中裕司，原武史，藤田

広志：眼底画像における細動脈狭窄評価のための主幹動静脈の自動検出および分類法，平成22年度日本生体医工学会東海支部大会講演論文集，p.56（2010）

- 4) Yuji Hatanaka, Chisako Muramatsu, Takeshi Hara, and Hiroshi Fujita: Automated detection of arteriovenous crossing phenomenon on retinal images, 2010 International Conference on Future Computer, Control and Communication, Vol. II, pp. 340-343（2010）
- 5) 水上篤貴，村松千左子，畑中裕司，原武史，藤田広志：眼底画像における主幹動静脈の自動選択法に関する研究，第30回日本医用画像工学会大会講演論文集（CD-ROM 掲載予定），発表予定（2011.8.5）