

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 29 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01331

研究課題名(和文)循環器OCTの臨床診断支援用画像解析システム

研究課題名(英文)Image analysis system for clinical diagnosis support of circulatory organ OCT

研究代表者

呉 海元 (Wu, Haiyuan)

和歌山大学・学内共同利用施設等・理事

研究者番号：70283695

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：循環器領域における光干渉断層法(OCT)は波長1300nmの近赤外線と最新の光ファイバー技術を用いた血管内高解像度画像診断装置である。得られた顕微鏡レベルの循環器OCT画像を用いて詳細な解剖学的評価が可能となり、既に臨床研究用ツールから日常臨床応用ツールに普及しつつある。本研究では、これまでコンピュータビジョンにおいて培われた画像を認識・理解する手法を循環器OCT画像に適用することで、医療現場から期待されている、代表的な組織性状の領域分割、自動検出、種類識別、血管の3次元再構築など、臨床診断に有用な解析用ソフトウェアや循環器OCT独特の画像表現方法の開発を行った。

研究成果の概要(英文)：The optical coherence tomography (OCT) in a new medical equipment can take high resolution images of inner wall, using 1300nm near-infrared light and the latest optical fiber technology. The obtained images can provide microscope level details so that can be used in anatomy analysis, and has begun to be spread to be used as a daily life clinical application tool from laboratory research. In this study, we applied computer vision technologies including image understanding and pattern recognition to recognizing OCT images of blood vessels. We developed software that can detect the regions of different organs, tell the kind of each, and build 3D models of the blood vessels for 3D visualization. This kind of software are expected to make the clinical diagnosis of blood vessels easier and more precisely.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：循環器OCT画像処理 スtent検出・認識 新生内膜被覆度の評価・可視化 脂質性プラークの検出

1. 研究開始当初の背景

本研究では、「循環器 OCT の臨床診断支援用画像解析システム」を構築する。

近年、OCT のデバイス関連の技術進歩は目覚ましい。特に、眼科 OCT の画像解析が進み、一般的に臨床診断に応用されている。

海外：1991 年 MIT の Fujimoto 教授らがアメリカ特許を出願し、MIT 内の画像処理グループや、リンカーンラボのアイセンター (Eye Center) の医学者らと連携プロジェクトを組み、1993 年に世界で初めての眼底網膜断層の観察例を発表し、ハンフリー社の資金援助を受けて 1996 年眼底網膜断層撮影装置の製品化を成功した。また、カリフォルニア大学 Irvine 校、MGH (Massachusetts General Hospital) もそれぞれ医学部と工学部が一体となった医工連携の研究開発を盛んに行っている。

日本：1990 年山形大学丹野教授が日本特許を出願し、2004 年に日本初の眼底検査装置の製品化を達成し、発売が開始された。また、筑波大学の谷田貝豊彦教授はトプコン (株) と技術連携し、次世代高速眼底検査装置の製品化を推進した。京都大学病院眼科は企業と連携し、第三世代の眼底検査装置を研究開発している。大阪大学春名正光教授らは波長 1300nm、1500nm の OCT 技術を研究開発している。

和歌山県立医科大学の赤阪隆史教授が OCT を日本の循環器における臨床診断に導入し、久保隆史准教授と一緒に臨床研究を行っている。

眼科 OCT と比較し、歴史の浅い循環器 OCT の画像解析における研究はまだ不十分である。

平成 26 年度より、研究代表者は和歌山県立医科大学の赤阪隆史教授と久保隆史准教授の両医師と医工連携で、循環器 OCT の画像解析に関わる研究をスタートしている。

OCT カテーテルは、回転しながら牽引することで螺旋状にスキャンし、短軸断面画像を生成している。このような OCT 画像を極座標系で表現し、研究代表者のグループでこれまで培われた円パターンを利用したカメラキャリブレーションのノーハウや、物体検出、領域分割などの画像認識・理解するアルゴリズムを適用することで、新規性・実用性のある循環器 OCT 画像解析システムを構築することが期待できる。

2. 研究の目的

心疾患は日本人の第 2 の死因となり、狭心症や心筋梗塞といった動脈硬化による虚血性心疾患が心疾患の約 8 割を占め、急性な症状になる前の早期発見が求められている。また、高齢化社会が加速している現在、医療費の肥大化が大きな社会問題となっており、医療費削減のため、診断における詳細な情報を取得することで個々の患者に合わせた効率的な治療を行うことが求められている。

循環器領域における光干渉断層法 (Optical Coherence Tomography: OCT) は波長 1300nm の近赤外線と最新の光ファイバー技術を用いた血管内高解像度画像診断装置である。循環器 OCT の特徴は生体内で顕微鏡レベルの画像を得られることで、詳細な解剖学的評価が可能となる。近年循環器 OCT 技術は目覚ましく進歩し続け、既に臨床研究用ツールから日常臨床用ツールに普及しつつある。

循環器 OCT によって得られる高解像度で明瞭な冠動脈断面画像は多くの情報をもたらしてくれるが、その判読は検者に委ねられている。本研究の遂行により、「循環器 OCT の臨床研究・診断」と「コンピュータビジョン分野の画像解析手法」のような医工連携が進み、医療現場から期待されている、循環器 OCT 画像からコンピュータによる、代表的な組織性状の領域分割、自動検出、種類識別を行い、血管の 3 次元再構築など、臨床診断に有用な解析用ソフトウェアや循環器 OCT 独特の画像表現方法の開発を行う。

循環器 OCT 画像からコンピュータによる自動判読を行い、得られた情報を視覚的に表現することで、検者間の読影誤差の解消、患者とのコミュニケーションの円滑化に寄与するものと期待される。また、現在まで検者が手作業で行っているステント留置後の新生内膜被覆度の評価などを自動的に行えるようになれば、検者の負担は大幅に軽減され、循環器 OCT 画像を用いた臨床診断の利便性・正確性をさらに向上させることが期待される。さらに、これら自動的に収集された情報を組み合わせ、これまでにない画像表現方法を開発することで、病変部位や冠動脈の構造をより直感的に理解できるようになり、新しい知見をもたらしてくれることが期待される。

3. 研究の方法

研究分担者 (陳) と協力者たちは研究代表者と同じ大学の同じ研究グループに所属し、週一回以上の打合せをしていた。研究分担者 (赤阪と久保) は研究代表者と同じ和歌山市内なので、電子メールでのやり取りが主だったが、定期的に和歌山県立医科大学へ報告と打合せを行った。

久保医師から代表的な組織の判読基準を教授され、患者さんの個人情報削除した循環器 OCT 画像を提供した。作成された学習データセットと、提案したアルゴリズムを用いたテストデータへの認識結果はそれぞれを久保医師に確認した。赤阪医師と久保医師の意見とアドバイスに従って、臨床診断に有用な解析用の複数種類のアルゴリズムを開発・改良し続けた。

4. 研究成果

ステントの検出について

循環器 OCT 画像の中では、1) ステント

の画素は輝度値が高い。2) 光学中心を原点とする極座標系で、ステント画素位置(rs)の動径外側($r>rs$)は扇型形状で輝度値が極端に低い。これらの特徴に注目し、自動的にステント位置の扇型領域を検出し、ステントを識別する方法を提案した。循環器 OCT 画像では、扇型領域の境界直線線に対応する両サイドの輝度値はステップ変化ではないので、デジタルカメラで撮影された画像に対する微分処理では鮮明なエッジを検出できず、伝統的なハフ変換で直線を検出する手法を適用できない。本研究では、OCT 独特の画像表現方法を生かすために、極座標系で、偏角ごとに、両サイドの輝度情報に対して統計処理を行える分離度フィルタを設計し、ステントを含む扇型領域の境界線を安定に検出する方法を提案した。また、高速にコーナーを検出できる FAST (Features from Accelerated Segment Test) というアルゴリズムを循環器 OCT 画像専用(OCT-FAST)に改良した。検出されたステントを含む扇型領域範囲内に OCT-FAST を適応することによって、ステントの候補点群を検出している。更に、ステントを識別するために、ステント点の周辺特徴を有効に表現できる円形の 9 次元局所特徴量記述法と、扇型の 6 次元局所特徴量記述法をそれぞれ提案した。これらの特徴量は極座標系の中で、回転不変の局所特徴量になっている。識別方法として、SVM、Nearest Mean、K 近傍法の順で精度が高いことを確認できた。最終年度に提案した扇型の 6 次元局所特徴量記述法と当初予定した円形の 9 次元局所特徴量記述法との比較実験を行い、新生内膜のある場合、ほぼ同じ識別率を得られ、扇型の方はより高速で検出できるようになったと同時に、円形でほとんど対応できなかった新生内膜のない場合も扇型の方は 94%以上の識別率が得られることを確認した。

最終年度、予定通りに、Deep Learning(深層学習)を利用して、新生内膜のある・なしのステント領域、ステントではない領域を含む 3 種類の教師データを収集して学習に用いることによって、畳み込みニューラルネットワークにおけるステント検出モデルを構築した。伝統的なコンピュータビジョン・パターン認識の手法に基づいて提案したアルゴリズムを用いても自動的にステント画素の外側の扇型領域を検出できない場合、ステントを識別できない問題を解決できた。テスト OCT 画像を用いた実験結果より、誤識別率は 0.7%以下になることを確認した。今後も大量な循環器 OCT 画像を用いた Deep Learning を利用した研究・開発を継続予定である。

さらに、光学の中心を原点とする極座標系における動径上と偏角上、それぞれの輝度値の統計データを基にしたステントシード点の検出と、ステント画素群の領域分割に関するアルゴリズムを提案した。

ステントの 3 次元再構築と新生内膜被覆度の評価・可視化について

各患者の循環器 OCT 画像データセットから検出されたステントの三次元自動再構築のアプリを実装した。また、一枚の循環器 OCT 画像から検出されたステント点群を利用して、最小二乗法を用いた楕円フィティングによってステント新生内膜被覆度の可視化を実現できた。

脂質性プラークの検出について

循環器 OCT 画像の中では、血管内壁から外側への特徴として、1) 周囲との境界が不明瞭で漸変のある低輝度領域として現れる。2) 脂質コアの背側は OCT シグナルが減衰するため、高輝度の画素数に比べると一般的に狭い。これらの特徴を注目し、極座標系上、大津の判別分析法を利用して、偏角ごと、血管壁部における特徴領域分割を行った。また、血管内壁の法線上、脂質性プラークを識別する有効な 3 つの特徴量を考案し、SVM による機械学習より識別器を構築した。偏角ごとより血管内壁の法線上の方が脂質性プラークの識別率が高いことを確認した。

誤識別率を下げるために、Random Forest を用いた循環器 OCT 画像内における中膜の検出も行った。

以上の研究成果は和歌山県立医科大学の赤阪隆史教授と久保隆史准教授の両医師と連名で 2016 年 5 月電子情報通信学会医用画像研究会(MI)、2017 年 5 月の情報処理学会関西支部大会、2018 年 3 月の情報処理学会研究会、2018 年 2 月の 24th International Workshop on Frontiers of Computer Vision にそれぞれ発表した。

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.Lang, H.Wu, T.Amano, Q.Chen, 3D Single/Multiple Ground Planes Detection with Camera Angle Estimation, The Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan, Vol.5, No.1, pp.44-51, 2017.

[2] T.Kubo, T.Akasaka, G.Guagliumi. Suboptimal agreement between optical coherence tomography and near-infrared spectroscopy for identification of lipid-laden plaque. EuroIntervention, Vol.13, pp.263-264, 2017.

[3] T. Kubo, (問 15 人) T. Akasaka, Reduction of in-stent thrombus immediately after percutaneous coronary intervention by pretreatment with prasugrel compared with clopidogrel: An optical coherence tomography study. J Cardiol. Vol.69, 436-441, 2017.

[4] Y. Ino, T. Kubo, (問 18 人) T. Akasaka. Optical coherence tomography predictors for edge restenosis after everolimus-eluting stent implantation. Circ Cardiovasc Interv, Vol.9, pii:e004231, 2016.

〔国際学会発表〕(計 12 件)

- [1] X.Ren, Q.Chen, H.Wu, T.Kubo, T.Akasaka, A Novel Automatic Stent Detection Method in Intravascular OCT Images Based on Local Maximum of Standard Deviation, 24th International Workshop on Frontiers of Computer Vision, 5 pages, 2018
- [2] S.Ishikawa, H.Wu, Y.Lang, A Novel Method For Designing Compressed Sensing Matrix, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), 2018
- [3] Q.Chen, K.Masumoto, H.Wu, S.Lao, Probability based voting for vanishing point detection, The 4th Asian Conference on Pattern Recognition (ACPR), 2017
- [4] Y. Lang, H.Wu, Q.Chen, A rotation invariant 3D indoor scene labeling approach based on conditional random fields, IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pp.600-604, 2017.
- [5] Q.Chen, H.Wu, Recovering projected centers of circle-pairs with common tangents, IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), pp.1775-1780, 2017
- [6] N.Mizokami, H.Wu, Q.Chen, K.Suzuki, R.Sakamoto, Detection of co-planar circle pair of same radius from a single image, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), pp. 1111-1116, 2016
- [7] Q.Chen, H.Wu, S.Higashino, R.Sakamoto, Camera calibration by recovering projected centers of circle pairs, ACM SIGGRAPH, 2 pages, 2016
- [8] Y.Lang, H.Wu, Q.Chen, Spatial Distribution Feature for 3D Indoor Scene Labelling, The 3rd IAPR Asian Conference on Pattern Recognition (ACPR), PS1-03, 5 pages, 2015
- [9] P.Li, H.Wu, Q.Chen, C.Bi, Person Re-Identification Using Color Enhancing Feature, The 3rd IAPR Asian Conference on Pattern Recognition (ACPR), PS1-09, 5 pages, 2015
- [10] Y.Shimamoto, Q.Chen, H.Wu, X.Ruan, H.Matsumot, Efficient Cepstrum Analysis based UNLM PSF Estimation in Single Blurred Image, The 3rd IAPR Asian Conference on Pattern Recognition (ACPR), OS4-01, 5 pages, 2015
- [11] P.Li, H.Wu, Q.Chen, Color Distinctiveness Feature for Person Identification without Face Information, Proc. of 19th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES), Procedia Computer Science (Open Access Journal) Vol.66, pp.1809-1816, 2015
- [12] Y.Lang, H.Wu, T.Amano, Q.Chen, An iterative convergence algorithm for single/multi ground plane detection and angle estimation with RGB-D camera, IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pp.2895-2899, 2015

〔国内学会発表〕(計 11 件)

- [1] 森本宜樹, 呉海元, 赤坂隆史, 久保隆史, 畳み込みニューラルネットワークを用いた OCT 画像内におけるステント領域の検出, 情報処理学会研究会報告, Vol.2018-AVM-100, No7, 6 pages, 2018
- [2] 和田晃生, 呉海元, 鈴木一正, 赤坂隆史, 久保隆史, 循環器 OCT 画像上におけるステント検出と三次元再構築, 情報処理学会研究会報告, Vol.2018-AVM-100, No8, 6 pages, 2018
- [2] 小南貴也, 呉海元, 久保隆史, 循環器 OCT 画像における血管内の脂質性プラークの検出, 情報処理学会関西支部大会, ISSN 1884-197X, G12, 5pages, 2017.
- [3] 奥剛一, 呉海元, 瞰視 RGB-D カメラによる床のモデリングと身長推定, 情報処理学会関西支部大会, ISSN 1884-197X, B06, 5pages, 2017.
- [4] 和田晃生, 鈴木一正, 呉海元, 赤坂隆史, 久保隆史, 循環器 OCT 画像のステント識別, 電子情報通信学会医用画像研究会(MI), 信学技報 Vol.116, ISSUE 38, pp.31-36, 2016.
- [5] 石川翔大, 呉海元, 圧縮センシングに用いる行列の検討, 情報処理学会コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究発表会, Vol. 2016-CG-165, No.2, pp1-8, 2016
- [6] 嶋本裕太, 呉海元, 阮翔, 複素ケプストラム解析を用いた唯一ブレカーネル推定の検討, 情報処理学会コンピュータグラフィックスとビジュアル情報学研究発表会, Vol. 2016, Issue.3, pp1-7, 2016
- [7] 溝上尚輝, 呉海元, 陳謙, 鈴木一正, 一枚の画像から半径が同一である2つの実円物体の検出, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM)研究発表会, Vol. 2016, Issue.16, pp1-8, 2016
- [8] 森本宜樹, 呉海元, 鈴木一正, クリエイトを用いた環境認識, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM)研究発表会, Vol. 2016, Issue.17, pp1-8, 2016
- [9] 津田嶺雪, 呉海元, OCT 画像からのステントの自動検出, 信学技報, PRMU2014-165, pp.35-40, 2015.
- [10] 粉川豊, 呉海元, 鈴木一正, 循環器 OCT 画像の角度基準領域分割, 信学技報, PRMU2014-172, pp.77-82, 2015.
- [11] 鈴木一正, 粉川豊, 津田嶺雪, 呉海元, 赤坂隆史, 久保隆史, 循環器 OCT 画像の解析と3次元再構築, 情報処理学会, 第77回全国大会, IS-02, pp.355-356, 2015

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: システム、画像認識方法、及び計算機発明者: 戚意強、呉海元、陳謙

権利者：日立ソリューションズと和歌山大学
共同
種類：ソフト
番号：特願 2018-3548
出願年月日：平成 30 年 1 月 12 日
国内外の別： 国内

取得状況（計 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等
個人ページ

<http://www.wakayama-u.ac.jp/~wuhy/>

和歌山大学 研究者総覧

http://wakarid.center.wakayama-u.ac.jp/ProfileRefMain_2286.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

呉 海元 (Wu, Haiyuan)

和歌山大学・学内共同利用施設等・理事

研究者番号：70283695

(2) 研究分担者

久保 隆史 (Kubo, Takashi)

和歌山県立医科大学・医学部・准教授

研究者番号：30316096

陳 謙 (Chen, Qian)

和歌山大学・システム工学部・准教授

研究者番号：70263233

赤坂 隆史 (Akasaka, Takashi)

和歌山県立医科大学・医学部・教授

研究者番号：70322584

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

鈴木 一正 (Suzuki, Kazumasa)

任 鑫博 (Ren, Xingbo)

津田 嶺雪 (Tsuda, Mineyuki)

粉川 豊 (Kokawa, Yutaka)

和田 晃生 (Wada, Koki)

森本 宜樹 (Morimoto, Yoshiki)

小南 貴也 (Kominami, Takaya)