

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26280015

研究課題名(和文) 診察時リアルタイム診断支援のための消化管内視鏡画像診断ハードウェアシステムの開発

研究課題名(英文) Development of an endoscopic image diagnostic hardware system for gastrointestinal endoscopy for real-time diagnosis support at medical examination

研究代表者

小出 哲士 (KOIDE, TETSUSHI)

広島大学・ナノデバイス・バイオ融合科学研究所・准教授

研究者番号：30243596

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高解像度画像(Full HD: 1920×1080画素)の大腸NBI(Narrow Band Imaging)拡大内視鏡画像を、診察時にリアルタイムで患部の病理組織の状態を識別し、腫瘍を分類して、医師へ提示する診断支援CAD(Computer-Aided Diagnosis)システムのための基盤技術開発を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, the colorectal NBI (Narrow Band Imaging) enlarged endoscopic image of high resolution image (Full HD: 1920 × 1080 pixels) was identified at the time of examination at real time by classifying the condition of the pathological tissue of the patient, classifying the tumor, and presenting it to the doctor. We have developed the basic technologies for diagnostic support CAD (Computer-Aided Diagnosis) system.

研究分野：集積回路設計工学・情報システム工学

キーワード：計算機システム 画像認識 医療応用のための画像処理 ハードウェア・ソフトウェア協調設計 集積回路 FPGA 診断支援システムCAD 大腸内視鏡画像

1. 研究開始当初の背景

消化管内視鏡検査は広く多くの医師により施行されているが、その診断は観察者の感性や経験に左右されることがある。コンピュータ支援診断 (Computer-Aided Diagnosis: CAD) とは医用画像に対して、コンピュータで定量的に解析された結果を「second opinion」として利用するものである。CADは医師の経験の相違によるバラツキを減少させ、ある高いレベルに診断を維持するということが期待されており、病巣の良悪性鑑別のような判断を行う場合に、コンピュータによって分析された定量的な数値や処理画像を医師に提示することによって、医師の客観的な判断を可能にし、診断の正確度を向上させることが期待されている。

大腸がんにおいては費用対効果の高いがん予防に効果的な検査法、治療方法の確立が望まれており米国消化器内視鏡学会では診断・治療において、次の様な課題が打ち立てられている。「5mm 以下の大腸ポリープを、病理診断を行わずに切除して捨てるためには、内視鏡技術が病理診断結果と 90%以上一致すること」「5mm 以下の大腸過形成性ポリープの疑いのある病変を除去せずそのまま残すには内視鏡技術で腺腫を 90%以上否定できること」(Rex DK, et al. *Gastrointest Endosc.* 2011)。そのため、上記の効果的な検査法、治療方法のためのコンピュータ支援診断システム (CAD) の構築が重要な課題となっている。

2. 研究の目的

実際の内視鏡画像は、現在 640×480 画素 (VGA 画像) であり、実用化のためには、①処理スピードの高速化に加えて、内視鏡画像の中央 120×120 画素だけを処理するのではなく、②複数の病理組織が混在する場合や、③画面中央の認識領域外に腫瘍がある場合にも対応する必要がある。そのため、内視鏡画像の 1 画面全体に対して複数の処理領域 (Scan Window : SW) を用意して識別する必要がある。特に、内視鏡画像も診断精度を上げるために、高解像度画像 (Full HD : 1920×1080 画素) が一般的になってきている。もし、現在 SW を 10 画素間隔で 1 画面のスキャンを行うと、ソフトウェアベースのシステムでは 1 フレームあたりの処理時間は、 $(1 \text{ SW の処理時間}) \times (\text{SW 数}) = (1/14.7 \text{ fps}) \times (17,557 \text{ 個}) \approx 20 \text{ 分}$ になってしまう。そのため、リアルタイム診断支援の目標として必要な 1~5 fps (frame/sec) での処理を実現するためには、開発しているソフトウェアの定量的な識別精度を保ったままで、システムの計算コストが大きな部分をハードウェア化することで、リアルタイム処理の実現が求められている。この処理の高速化が実現すれば、診察時に医師の客観的判断のための診断支援ができるだけでなく、過去に診断し蓄積した膨大な内視鏡画像データをシステムの識別

精度の更なる向上のための学習データの拡充に用いることができる。更に、内視鏡診断のための医師の教育システムにも応用することが可能となる。

3. 研究の方法

診察時のリアルタイム処理を実現するハードウェア CAD システムを実現するためには、本研究において、以下に示す 4 つの課題について取り組んだ。

(A) ソフトウェア処理における計算コストが高い処理を判別し、その部分に対するハードウェア向けアルゴリズムを開発し、高速処理のための実装方法 (アーキテクチャ) を設計する。

(B) 既に立証している病理組織との関連性を示す定量的な値 (Type A: 非腫瘍性病変, Type B: 腺腫, Type C3: 浸潤癌 (粘膜下層浸潤癌 (+ 進行癌)) の識別確率) を、高速に計算するハードウェア向けアルゴリズムを開発し、そのアーキテクチャを設計する。

(C) Full HD の 1 画面中から、悪性度が高い部分の複雑な形状の領域を自動的に抽出する方法を提案し、ハードウェア向けアルゴリズムとして実現し、そのアーキテクチャを開発する。

(D) 診察時の Full HD 動画像をリアルタイムに処理するための、高認識 (90%以上)・高速 (1~5fps) なハードウェア向けアルゴリズムを開発し、システム全体のアーキテクチャを設計する。

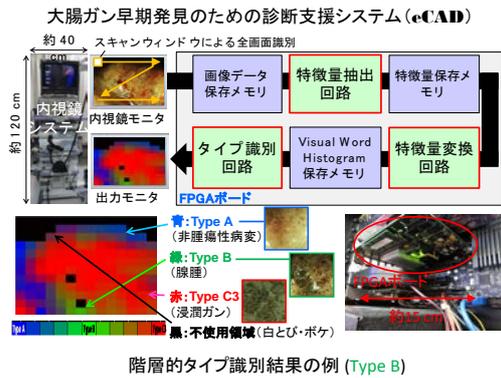
以上の課題をクリアし、これまでにない画期的な大腸 NBI 拡大内視鏡画像に対する CAD システムの基盤技術を開発する。

4. 研究成果

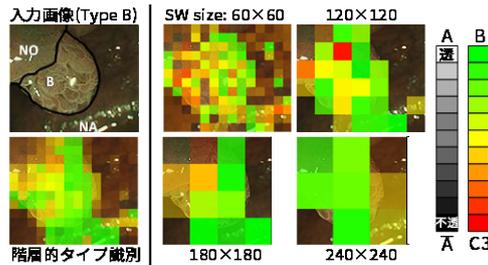
4. 1 ハードウェアによる内視鏡全画面認識結果の評価・検証

本研究課題では、システムをハードウェア実装することにより Full HD (1920×1080 pixel) 内視鏡画像に対するリアルタイム全画面タイプ識別の実現を行った。医療現場から要求されている、Full HD 画像の全画面識別に対するスループット、レイテンシがそれぞれ 1 fps (frame / sec.) 以上、1 sec. 以下の制約条件のもとで、最大のリアルタイム処理パフォーマンスを実現し、正診率 90%以上を満たすことが本課題の目標性能である。そこで大腸 NBI 拡大内視鏡画像診断支援システムの 3 つの処理: 特徴量抽出, 特徴量変換, タイプ識別部に関して、リアルタイム処理実現のためのハードウェアアルゴリズムの開発とその FPGA (Field Programmable Gate Array) 実装と性能評価を行った。

特徴量抽出では、Full-HD (1920×1080) に対してレイテンシ 20 msec @100 MHz でのリアルタイムを実現し、ソフトウェア実装と比較して約 1000 倍の高速化が可能となった。ハードウェアリソースの使用率 1%以下を実現することにより、コンパクトかつ並列処理



各階層の識別結果を統合(平均)することにより、腫瘍形状を捕捉できている



化(マルチブロック化)が可能であることを示した。また、誤識別の原因となるリフレクションの検出方法についてRGBの各チャネルの閾値処理により検出可能であることを確認した。

特微量変換のでは、正診率90%以上で、Full HD 全画面の特微量変換処理のレイテンシ60 msec, スループット16 fpsを達成し、システム全体においても医療現場からの要求性能を満たすことを確認した。また、より効果的な全画面識別のための階層的識別における特微量変換のための方法を提案し、診断精度において問題ないことを確認した。

SVM(Support Vector Machine) 識別関数計算部では、シミュレーションの結果、並列度を64とした場合に100 MHzでの動作周波数で処理時間を約61 msec, スループット16 fpsを実現できることが確認できた。また、大腸内視鏡画像の全画面識別において、腫瘍形状に対してロバストな診断支援を実現するための手法として提案している階層的タイプ識別手法についてその有効性を検証した。

4.2 診断支援システムによる評価・検証及び内視鏡画像解析による客観的指標の構築

大腸がんにおいては費用対効果の高いがん予防に効果的な検査法、治療方法の確立が望まれており米国消化器内視鏡学会では診断・治療において、次の様な課題(PIVI statement)が打ち立てられている。「5 mm以下の大腸ポリープを、病理診断を行わずに切除して捨てるためには、内視鏡技術が病理診断結果と90%以上一致すること」「5 mm以下の大腸過形成性ポリープの疑いのある病変を除去せずそのまま残すには内視鏡技術で腺腫を90%以上否定できること」。そのため、本研究では、上記の効果的な検査法、治療方法のためのコンピュータ支援診断システム(CAD)の有効性を評価した。

その結果リアルタイム画像認識システムの全病変での全正診率は94.9% (112/118)であった。また、内視鏡専門医と診断支援システムの一一致率は97.5% (115/118), kappa係数は0.95であった。5mm以下のポリープでの全正診率は93.2% (82/88) (sensitivity, 93.0%; specificity, 93.3%; PPV, 93.0%; NPV, 93.3%)であった。内視鏡専門医と診断支援システムの一一致率は96.6% (85/88); kappa係数は0.93であった。リアルタイム画像認識システムと病理診断で計算した検査間隔の一一致率は92.7% (38/41)であった。これらの結果よりリアルタイム画像認識システムはPIVI statementを満たす可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件: 全て査読有)

- ① 吉田成人, 小南陽子, 田中信治, 玉木徹, 小出哲士, 茶山一彰, “リアルタイム大腸NBI拡大内視鏡画像認識システムによる組織診断に関する検討”, *INTESTINE*, Vol. 21, No. 2, pp.182-184, March 2017(査読有).
- ② 小出哲士, 玉木徹, 吉田成人, “画像処理/学習, 医療アプリケーションへの応用 ~大腸 NBI 拡大内視鏡画像のリアルタイム診断支援システム~”, *電子情報通信学会誌*, Vol.100, No.2, pp. 92-97, Feb 2017(査読有).
- ③ Y. Kominami, S. Yoshida, S. Tanaka, Y. Sanomura, T. Hirakawa, B. Raytchev, T. Tamaki, T. Koide, K. Kaneda, K. Chayama, “Computer-aided diagnosis of colorectal polyp histology by using a real-time image recognition system and narrow-band imaging magnifying colonoscopy”, *Gastro-intest Endosc.* 83:643-9. 2016(査読有).
- ④ T. Hirakawa, T. Tamaki, B. Raytchev, K. Kaneda, T. Koide, S. Yoshida, Y. Kominami, S. Tanaka, “Defocus-aware Dirichlet particle filter for stable endoscopic video frame recognition,” *Artificial Intelligence in Medicine*, Vol. 68, pp. 1-16, March 2016(査読有).

[学会発表] (計35件)

- ① T. Hirakawa, T. Tamaki, T. Kurita, B. Raytchev, K. Kaneda, C. Wang, L. Najman, T. Koide, S. Yoshida, H. Mieno, S. Tanaka, “Discriminative subtree selection for NBI endoscopic image labeling”, *The ACCV2016 workshop on mathematical and computational methods in biomedical imaging and image analysis (MCBMIA2016)*, Taipei, Taiwan, 24th November 2016.
- ② T. Hirakawa, T. Tamaki, B. Raytchev, K. Kaneda, T. Koide, S. Yoshida, H. Mieno, S. Tanaka, “Discriminative Subtree Selection for NBI Endoscopic Image Labeling”, *Proc. of International Symposium on Biomedical*

Engineering, pp.170-171, Nov. 10-11, 2016, Tokyo, Japan.

- ③ T. Okamoto, T. Koide, A. T. Hoang, T. Shimizu, K. Sugi, T. Tamaki, B. Raytchev, K. Kaneda, S. Yoshida, H. Mieno, S. Tanaka, “An FPGA Implementation of SVM for Type Identification with Colorectal Endoscopic Images”, Proc. of The 20th Workshop on Synthesis And System Integration of Mixed Information technologies, pp. 81-86, Oct. 24-25, 2016, Kyoto, Japan (Outstanding Paper Award).
- ④ T. Koide, T. Okamoto, T. Shimizu, K. Sugi, A. T. Hoang, T. Tamaki, B. Raytchev, K. Kaneda, S. Yoshida, H. Mieno, S. Tanaka, “Compact and High-Speed Hardware Feature Extraction Accelerator for Dense Scale-Invariant Feature Transform”, The 31st International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2016), pp.596-599, July 10-13, 2016, Okinawa, Japan.
- ⑤ T. Koide, T. Okamoto, T. Shimizu, K. Sugi, A. T. Hoang, T. Tamaki, B. Raytchev, K. Kaneda, S. Yoshida, H. Mieno, S. Tanaka, “A Hardware Accelerator for Bag-of-Features based Visual Word Transformation in Computer Aided Diagnosis for Colorectal Endoscopic Images”, The 31st International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2016), pp.596-599, July 10-13, 2016, Okinawa, Japan.
- ⑥ T. Okamoto, T. Koide, A. T. Hoang, T. Shimizu, K. Sugi, H. Sato, T. Tamaki, B. Raytchev, K. Kaneda, S. Yoshida, H. Mieno, S. Tanaka, “Effective Diagnostic Image Segmentation with Pyramid Style Support Vector Machine for Colorectal Endoscopic Images,” The 30th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2015), pp.596-599, June 29-July 2, 2015, Grand Hilton, Seoul, Korea.
- ⑦ T. Okamoto, T. Koide, A. T. Hoang, T. Shimizu, K. Sugi, H. Sato, T. Tamaki, B. Raytchev, K. Kaneda, S. Yoshida, H. Mieno, S. Tanaka, “Image Segmentation of Pyramid Style Identifier based on Support Vector Machine for Colorectal Endoscopic Images,” The 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2015), pp.2997-3000, August 25-29, 2015, Mico-Milano Conference Center, Milan, Italy.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 3 件)

名称 : Endodcopic Image Diagnosis Support

System

発明者 : T. Koide, T. Mishima, S. Shigemi, K. Sugi, A. T. Hoang, T. Tamaki, T. Hirakawa, S. Yoshida, R. Miyaki

権利者 : 同上

種類 : 特許

番号 : 米国 US15/117194

出願年月日 : 2016/08/06

国内外の別 : 国外

名称 : Endodcopic Image Diagnosis Support System

発明者 : T. Koide, T. Mishima, S. Shigemi, K. Sugi, A. T. Hoang, T. Tamaki, T. Hirakawa, S. Yoshida, R. Miyaki

権利者 : 同上

種類 : 特許

番号 : 欧州 EP15746291.2

出願年月日 : 2016/08/06

国内外の別 : 国外

名称 : Endodcopic Image Diagnosis Support System

発明者 : T. Koide, T. Mishima, S. Shigemi, K. Sugi, A. T. Hoang, T. Tamaki, T. Hirakawa, S. Yoshida, R. Miyaki

権利者 : 同上

種類 : 特許

番号 : 中国 CN201580007579.7

出願年月日 : 2016/08/06

国内外の別 : 国外

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小出 哲士 (KOIDE, Tetsushi)

広島大学・ナノデバイス・バイオ融合科学
研究所・准教授

研究者番号 : 30243596

(2) 研究分担者

田中 信治 (TANAKA, Shinji)

広島大学・病院・教授

研究者番号 : 00260670

玉木 徹 (TAMAKI, Toru)

広島大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号 : 10333494

(4) 研究協力者

吉田 成人 (YOSHIDA, Shigeto)

JR 広島病院・消化器内科・救急センター・
第一部長