

別紙 1

厚生労働科学研究費補助金
政策科学総合研究事業（臨床研究等 ICT 基盤構築研究事業）

ロボット型内視鏡操作支援システムの AI による高度化と
各種医療機器統合インターフェースとしての展開に関する研究

平成 29 年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 江口 晋

平成 30（2018）年 5 月

目 次

I. 総括研究報告

ロボット型内視鏡操作支援システムのAIによる高度化と各種医療機器統合インターフェース
としての展開に関する研究 ----- 1
江口 晋（長崎大学大学院 医歯薬学総合研究科 移植・消化器外科 教授）

II. 分担研究報告

1. ロボット型内視鏡操作支援システムのAIによる高度化と各種医療機器統合インターフェース
としての展開に関する研究 ----- 6
小坂 太一郎（長崎大学病院 移植・消化器外科 助教）
伊藤 信一郎（長崎大学病院 移植・消化器外科 講師）
足立 智彦（長崎大学病院 移植・消化器外科 助教）

4. ロボット型内視鏡操作支援システムのAIによる高度化と各種医療機器統合インターフェース
としての展開に関する研究に関する研究 ----- 10
喜安 千弥（長崎大学大学院 工学研究科 電気情報科学部門 教授）
菌田 光太郎（長崎大学大学院 工学研究科 電気情報科学部門 助教）

5. ロボット型内視鏡操作支援システムのAIによる高度化と各種医療機器統合インターフェース
としての展開に関する研究 ----- 12
柴田 裕一郎（長崎大学大学院 工学研究科 電気情報科学部門 准教授）

7. ロボット型内視鏡操作支援システムのAIによる高度化と各種医療機器統合インターフェース
としての展開（内視鏡操作ロボットの開発）に関する研究 ----- 15
諸麥 俊司（中央大学 理工学部 准教授）

III. 研究成果の刊行に関する一覧表 ----- 17

厚生労働科学研究費補助金
政策科学総合研究事業（臨床研究等 ICT 基盤構築・人工知能実装研究事業）
総括研究報告書

ロボット型内視鏡操作支援システムの AI による高度化と
各種医療機器統合インターフェースとしての展開に関する研究

研究代表者 江口 晋
長崎大学大学院 医歯薬総合研究科 移植・消化器外科 教授

研究要旨

ロボット型内視鏡操作支援システムに AI を組み込むことで、術中に外科医を適切にサポートするシステムとして発展させ、同時に、各種術中のデータを体系的に統合・収集できるインターフェースとしても機能させることを目的とする。

本年度は AI システムの構築として、AI システムに対する学習用の手術時動画、静止画を用いたデータベースの構築に取り組んだ。

今回の対象手術を胆嚢摘出術と定め、まず、過去の該当症例の手術動画を匿名化し各症例で 30-50 程度の動画を作成。これに対し、胆嚢をはじめとする各臓器にデジタルマーキングを行い、蓄積。これを AI 用データベースとすべく随時症例解析を進行中である。

分担研究者

伊藤信一郎（長崎大学病院 移植・消化器外科 講師）
足立 智彦（長崎大学病院 移植・消化器外科 助教）
小坂太一郎（長崎大学病院 移植・消化器外科 助教）
喜安 千弥（長崎大学大学院 工学研究科 電気情報科学部門 教授）
柴田裕一郎（長崎大学大学院 工学研究科 電気情報科学部門 准教授）
藺田光太郎（長崎大学大学院 工学研究科 電気情報科学部門 助教）
諸麥 俊司（中央大学 理工学部 准教授）

A. 研究目的

当研究グループは、これまで内視鏡担当医に代わって腹腔鏡を支持し、術者の操作信号に沿って腹腔鏡の操作を行うロボット型内視鏡操作支援システムの開発に取り組み、外科医 1 名による腹腔鏡手術を可能とするシステムを高安全性、高コスト性のもとに実現した。本研究課題では開発したロボット型内視鏡操作支援システムを他の手術関連機器と接続し、また AI を組み込むことで術者らとコミュニケーション

を取りながら、術中に外科医を適切にサポートするシステムとして発展させる。本システムは、外科医の負担軽減と精度の高い判断を支援すると同時に、各種術中のデータを体系的に統合・収集できるインターフェースとしても機能する。具体的には本研究は次の二つの研究目的を有する。

(1) 上記内視鏡操作支援システムに AI を組み込み、事前に熟練外科医の内視鏡操作を学習させることで、熟練の内視鏡担当医のような腹腔鏡操作を可能

とし、より確実にスムーズな一人手術を実現する。

(2) AI によるナビゲーション機能の実装とそのためデータベースの構築方法および標準化の方法を検討する。

開発するシステムは、一人手術の実現に加えて、若手外科医の執刀時に、あたかも熟練外科医が内視鏡担当として立会い、内視鏡操作を行うと同時にアドバイス提供を行うような高度な外科手術サポート機能を実現する。

B. 研究方法

■実施課題

ロボット型内視鏡操作支援システムのAIによる高度化に向けて本研究で計画している実施課題は次の7つである。

課題1) 操作支援、(自動操作)、ナビゲーションシステムのためのデータベースの構築(データベース共通化・標準化の検討含む)

内視鏡の操作支援(自動操作)及びナビゲーションシステムの構築を目的として、AIに与える術前、手術情報のデータベースを構築する。術前のカンファレンスで使用した術前画像データ、電子カルテの患者情報(年齢、性別、身長、体重、炎症マーカーなど)手術前工程表データ、執刀データなどを用いる。執刀データは具体的には手術動画解析、モーショントラッキングによるカメラワーク、内視鏡画像データから抽出される鉗子操作とともに、外科医が判別しマーキングを行った手術作用メルクマール画像(静止画)とカメラ焦点、中心との位置関係等が含まれる。手術作用メルクマールの対象臓器は手術で摘出対象となる胆嚢(周囲ライン)、切離対象となる胆嚢

管、胆嚢動脈(点線などで図示)、損傷を回避すべき総胆管(領域図示)とし、手術症例の動画より静止画を約30枚程度抽出、画像上に手術作用メルクマール(胆嚢、胆嚢管、胆嚢動脈、総胆管)にデジタルペンでマーキングしたものをメルクマール画像とする。

本研究施設及び研究協力施設で、過去に施行された手術症例(胆嚢摘出術)(n=100)に関して、前述データを収集し、これを解析、データベースを構築する。

その後、AIシステムを構築する。アプリケーションはGoogle社の無償提供システムである「テンサー・フロー」を使用する予定である。

(江口、伊藤、足立、小坂、(収集情報の決定、収集方法の検討担当)喜安、柴田(情報収集技術担当))

課題2) AI知能化とその評価を目的としたロボット型内視鏡操作システムの製作

すでに構築したロボット型内視鏡操作支援器具は、ブタを用いた動物モデルを用いた安全性の確認を施行しており、更なる操作性および実用性向上のためのハードウェア構成に関して以下の改良に取り組んでいる。

(1) 内視鏡支持部品のディスプレイ化

これまでの生体ブタによる実験を通して、術中に内視鏡の着脱が必要となった際に血液等により装置が汚れ、衛生管理上の対策の必要性が認識されていた。装置本体は他の手術ロボットと同様にビニール製カバーで覆うことで保護可能であるが、内視鏡を支持あるいはロックするための部品はビニールカバーでは十分な保護が困難である。そこで、内視鏡と触

れる部分は全てディスプレイ化し、手術毎に交換できるよう設計を見直す。

(2) 装置本体からモータや回路など電気的設備の分離

現在の内視鏡操作支援ロボットは本体にモータやモータドライバなどの電気系統を内蔵している。これらを本体から切り離し、ワイヤー駆動方式とすることで、本体をまるごと清掃、滅菌可能とすることを検討する。本体の詳細設計および製作は自動車用ドア窓の駆動ユニットの最大手で多数のワイヤ駆動ユニットの製品群を有する株式会社ハイレックスコーポレーションに依頼する予定であり、現在協力して設計を進めている。自動車用の駆動ユニットの採用で駆動系の信頼性向上および装置本体の大幅なスリム化も期待される。

改良型装置の完成後に引き続き、安全性の確認を行うべく、PMDA への相談実施準備を行っている。PMDA から指摘を受けた評価項目に沿って、ブタを用いた更なる安全性の評価を行う (n=3~5)。(現在、想定している評価項目としては、手術時間、出血量、操作鉗子の移動距離、カメラヘッドの移動距離などを予定している。) 安全性を確認の後、同装置に AI 実装を行う。

(諸麥、柴田、喜安)

課題 3) 手術ナビゲーション機能の実装

データベースを学習した AI の判断したメルクマールを元に、リアルタイムに画面上に切除ラインや切除対象部位など線や色調変化として臓器上に重ねて表示する。画面上の適切な位置に適切なタイミングで執刀医の安全・確実な施術に役立つ情報をリアルタイムで提示する技術確立する。

(喜安、柴田、諸麥)

課題 4) 手術ナビゲーション機能の評価

同システムを用いて、3 名の研修医を施行者とし、ブタを用いた生体試験を施行し、そのシステムの有用性を、手術時間、出血量、内視鏡技術認定医による審査、内視鏡および鉗子に取り付けた 3 次元位置センシング、カメラワークと施術の正確さ、やりやすさ、作業時間などから評価する。

(江口、伊藤、足立、小坂)

課題 5) 内視鏡操作支援機能の実装

課題 1) で構築した術前取得情報のデータベースから随時判断して術者による内視鏡操作をアシストする機能を実装する。特にデータベース内の過去の術式データ (施術内容 (胆嚢管周囲剥離、胆嚢動脈同定・切離、胆嚢管切離、胆嚢床剥離) とスコピストあるいはロボット型内視鏡操作支援システムによるカメラワークデータから最適なカメラ操作および適切でないカメラ操作を判断。適切でないカメラ操作を自動的に修正するとともに、最適な操作に近づける補助的制御機能を実現する。具体的にはカメラの先端移動時の移動不足、行き過ぎの補正、②適切でない視野で鉗子操作がなされた際の警告と視野の補正③鉗子操作中の操作野のセンタリング (視野の中心に操作部位を置く) の安定化時補助 (鉗子操作の追尾など) を行う。

(喜安、柴田、諸麥)

課題 6) 内視鏡自動操作機能の実装

課題 2) と同様にデータベースと術中取得データから随時判断して常時最適視野を確保するための自動的内視鏡操作の機能を実装する。ただし、微調整を人的操作 (ヘッドセット) で可能とする。

(喜安、柴田、諸麥)

課題7) 操作支援機能、自動操作機能の評価

同システムを用いて、3名の内視鏡手術技術認定医を施行者とし、胆嚢摘出術を施行(各術者 n=3)。そのカメラワークと施術の進行具合、やりやすさ、作業時間などから評価する。

(江口、伊藤、足立、小坂)

C. 研究結果

1) データベース構築のための手術データ作成

AIによる腹腔鏡操作支援およびナビゲーション機能の実現のためのデータベース構築に向けて手術データの作成に取り組んだ。キックオフミーティング、長崎大学内医工連携ミーティングにおいて、手術データの作成は以下の要領で行なうことを決定した。

内視鏡映像データの収集

・対象の術式は腹腔鏡下胆嚢摘出術とする。

・長崎大学病院移植・消化器外科並びに関連病院における過去及び今後の手術症例100例以上の内視鏡映像データを収集する。

・内視鏡操作や手術ナビゲーションの観点から腹腔鏡下胆嚢摘出術を以下のステージに分割し、各ステージの学習を可能とする。

- ① ポート挿入、腸管の受動操作、肝下面への癒着剥離、視野展開
- ② 胆嚢の牽引、Calot's triangle 操作のための視野展開操作
- ③ Calot's triangle での胆嚢管剥離(前面操作、背面操作)
- ④ 胆嚢動脈の同定、クリッピング

グ、切離操作

- ⑤ 胆嚢管の同定、クリッピング、切離操作
- ⑥ 胆嚢底部剥離(0-6時剥離、反時計回り)
- ⑦ 胆嚢底部剥離(6-12時剥離、時計回り)
- ⑧ 胆嚢底部剥離(0時(頂点)剥離、カウンターをかけて)
- ⑨ 胆嚢剥離(胆嚢を腹側にめくりあげて剥離)

内視鏡操作ロボットの操作学習用データの作成

内視鏡操作の学習用データの作成にあたり、上記内視鏡映像データに対し、内視鏡操作の熟練度に応じた選り分けと、上記ステージごとの映像データの分類を行なう。

手術ナビゲーション機能用手術データの作成

各手術症例において代表的画像約30-50枚を抽出し、画像上に胆嚢、胆嚢管および胆嚢動脈走行部位、総胆管走行部位等にデジタルペンでマーキングする。

上記内容に準じて、当研究グループにおいて過去施行され、匿名化された腹腔鏡下胆嚢摘出術映像データを100例選別し、動画より無作為に30から50枚の静止画を作成。この画像に対して、胆嚢、胆嚢管、総胆管を、画像ソフトを用いてマーキングし、手術ナビゲーション機能用のAIシステム学習データとした。

D. 考察

研究成果の意義

1) データベース構築のための手術データ作成

手術ナビゲーション機能、内視鏡操作支援機能の実装にあたり、胆嚢組織と胆嚢管

の同定、また、損傷を起こすと重篤な合併症につながる総胆管の位置の同定は非常に重要であると考えます。また対象手術の工程を内視鏡操作やナビゲーションを意識して分割することで、データの解析が容易となった。また手術データの容易な加工や情報追加を可能とするソフトウェアの開発は、データベースの効率的な構築に寄与すると考えられる。

2) ロボット型内視鏡操作支援器具の改良

提案システムの有効性検証に用いる改良型ロボット型内視鏡操作器具の設計を企業と連携して開始し、装置の基本仕様が定まった。計画通りの事業推進に向けて次年度8月の完成を目処に開発を進めている。

E. 結論

本年度で、AIシステムのための学習データの収集・作成を実施した。現時点では更なるデータの収集・作成を実施し、AIの判断の精度向上に努めるとともに、動画データの解析に関しても着手する予定である。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

なし

厚生労働科学研究費補助金
政策科学総合研究事業（臨床研究等 ICT 基盤構築・人工知能実装研究事業）
分担研究報告書

ロボット型内視鏡操作支援システムの AI による高度化と
各種医療機器統合インターフェースとしての展開に関する研究

研究分担者 小坂太一郎 長崎大学病院 移植・消化器外科 助教
伊藤信一郎 長崎大学病院 移植・消化器外科 講師
足立 智彦 長崎大学病院 移植・消化器外科 助教

研究要旨

ロボット型内視鏡操作支援システムに AI を組み込むことで、術中に外科医を適切にサポートするシステムとして発展させ、同時に、各種術中のデータを体系的に統合・収集できるインターフェースとしても機能させることを目的とする。

本年度は AI システムの構築として、AI システムに対する学習用の手術時動画、静止画を用いたデータベースの構築に取り組んだ。

当該手術 100 例に関する手術画像データを解析し、各症例で 30-50 程度の動画を作成。これに対し、胆嚢をはじめとする各臓器にデジタルマーキングを行い、蓄積。データベースを作成中である。

A. 研究目的

当研究グループは、離島医療など外科医数が少ない環境下でも腹腔鏡手術が施行できる新規デバイスを目指し、内視鏡担当医に代わって腹腔鏡を支持し、術者の操作信号に沿って腹腔鏡の操作を行うロボット型内視鏡操作支援システムの開発に取り組んでいる。本研究課題では現在開発を進めているロボット型内視鏡操作支援システムに AI を組み込むことで、術中に外科医を適切にサポートするシステムとして発展させることを目的としている。本システムは、外科医の負担軽減と精度の高い判断を支援すると同時に、各種術中のデータを体系的に統合・収集できるインターフェースとしても機能する。具体的には本研究は次の二つの研究目的を有する。

(1) 上記内視鏡操作支援システムに AI を組み込み、事前に熟練外科医の内視鏡操作を学習させることで、熟練の内視鏡担当医のような腹腔鏡操作を可能とし、より確実にスムーズな一人手術を実現する。

(2) AI によるナビゲーション機能の実装とそのためのデータベースの構築方法および標準化の方法を検討する。

開発するシステムは、一人手術の実現に加えて、若手外科医の執刀時に、あたかも熟練外科医が内視鏡担当として立会い、内視鏡操作を行うと同時にアドバイス提供を行うような高度な外科手術サポート機能を実現する。

B. 研究方法

本年度は以下の課題に取り組んだ。

課題1) 操作支援、(自動操作)、ナビゲーションシステムのためのデータベースの構築(データベース共通化・標準化の検討含む)

内視鏡操作支援(自動操作)及びナビゲーションシステムの構築のため、AIの学習用術前、手術情報のデータベースを構築する。執刀データは具体的には手術動画解析、モーショントラッキングによるカメラワーク、内視鏡静止画像データから抽出される鉗子操作とともに、外科医が判別しマーキングを行った手術操作メルクマール画像(静止画)とカメラ焦点、中心との位置関係等が含まれる。手術操作メルクマールの対象臓器は手術で摘出対象となる胆嚢、切離対象となる胆嚢管、胆嚢動脈、損傷を回避すべき総胆管とし、手術症例の動画より静止画を約30-50枚程度抽出、画像上に手術操作メルクマール(胆嚢、胆嚢管、胆嚢動脈、総胆管)にデジタルペンでマーキングしたものをメルクマール画像とする。

本研究施設(及び研究協力施設)で、過去に施行された手術症例(胆嚢摘出術)(n=100)に関して、前述データを収集し、これを解析、データベースを構築する。

その後、AIシステムを構築し、作成した学習データを学習させる。アプリケーションはGoogle社の無償提供システムである「テンサー・フロー」を使用する予定である。

(江口、伊藤、足立、小坂、(収集情報の決定、収集方法の検討担当)喜安、柴田(情報収集技術担当))

課題2) AI 知能化とその評価を目的としたロボット型内視鏡操作システムの製作

すでに構築したロボット型内視鏡操作支援器具は、ブタを用いた動物モデルを用いた安全性の確認を施行しており、更なる操作性および実用性向上のためのハードウェア構成に関して以下の改良に取り組んでいる。

(1) 内視鏡支持部品のディスプレイ化

これまでの生体ブタによる実験を通して、術中に内視鏡の着脱が必要となった際に血液等により装置が汚れ、衛生管理上の対策の必要性が認識されていた。装置本体は他の手術ロボットと同様にビニール製カバーで覆うことで保護可能であるが、内視鏡を支持あるいはロックするための部品はビニールカバーでは十分な保護が困難である。そこで、内視鏡と触れる部分は全てディスプレイ化し、手術毎に交換できるように設計を見直す。

(2) 装置本体からモータや回路など電気的設備の分離

現在の内視鏡操作支援ロボットは本体にモータやモータドライバなどの電気システムを内蔵している。これらを本体から切り離し、ワイヤー駆動方式とすることで、本体をまるごと清掃、滅菌可能とすることを検討する。本体の詳細設計および製作は自動車用ドア窓の駆動ユニットの最大手で多数のワイヤー駆動ユニットの製品群を有する株式会社ハイレックスコーポレーションに依頼する予定であり、現在協力して設計を進めている。自動車用の駆動ユニットの採用で駆動系の信頼性向上および装置本体の大幅なスリム化も期待される。

改良型装置の完成後に引き続き、安全性の確認を行うべく、PMDAへの相談実施準備を行っている。PMDAから指摘を受け

た評価項目に沿って、ブタを用いた更なる安全性の評価を行う (n=3~5)。(現在、想定している評価項目としては、手術時間、出血量、操作鉗子の移動距離、カメラヘッドの移動距離などを予定している。)安全性を確認の後、同装置に AI 実装を行う。

(諸麥、柴田、喜安)

C. 研究結果

1) データベース構築のための手術データ作成

AI による腹腔鏡操作支援およびナビゲーション機能の実現のためのデータベース構築に向けて手術データの作成に取り組んだ。キックオフミーティング、長崎大学内医工連携ミーティングにおいて、手術データの作成は以下の要領で行なうことを決定した。

内視鏡映像データの収集

・対象の術式は腹腔鏡下胆嚢摘出術とする。

・長崎大学病院移植・消化器外科並びに関連病院における過去及び今後の手術症例 100 例以上の内視鏡映像データを収集する。

・内視鏡操作や手術ナビゲーションの観点から腹腔鏡下胆嚢摘出術を以下のステージに分割し、各ステージの学習を可能とする。

- ① ポート挿入、腸管の受動操作、肝下面への癒着剥離、視野展開
- ② 胆嚢の牽引、Calot's triangle 操作のための視野展開操作
- ③ Calot's triangle での胆嚢管剥離 (前面操作、背面操作)
- ④ 胆嚢動脈の同定、クリッピング

グ、切離操作

- ⑤ 胆嚢管の同定、クリッピング、切離操作
- ⑥ 胆嚢底部剥離 (0-6 時剥離、反時計回り)
- ⑦ 胆嚢底部剥離 (6-12 時剥離、時計回り)
- ⑧ 胆嚢底部剥離 (0 時 (頂点) 剥離、カウンターをかけて)
- ⑨ 胆嚢剥離 (胆嚢を腹側にめくりあげて剥離)

内視鏡操作ロボットの操作学習用データの作成

内視鏡操作の学習用データの作成にあたり、上記内視鏡映像データに対し、内視鏡操作の熟練度に応じた選り分けと、上記ステージごとの映像データの分類を行なう。

手術ナビゲーション機能用手術データの作成

各手術症例において代表的画像約 30-50 枚を抽出し、画像上に胆嚢、胆嚢管および胆嚢動脈走行部位、総胆管走行部位等にデジタルペンでマーキングする。

上記内容に準じて、当研究グループにおいて過去施行され、匿名化された腹腔鏡下胆嚢摘出術映像データを 100 例選別し、動画より無作為に 30 から 50 枚の静止画を作成。この画像に対して、胆嚢、胆嚢管、総胆管を、画像ソフトを用いてマーキングし、手術ナビゲーション機能用の AI システム学習データとした。

D. 考察

以下に本研究の成果と思われる項目を挙げる。

1) データベース構築のための手術データ作

成

手術ナビゲーション機能、内視鏡操作支援機能の実装にあたり、胆嚢組織と胆嚢管の同定、また、損傷を起こすと重篤な合併症につながる総胆管の位置の同定は非常に重要であると考えます。また対象手術の工程を内視鏡操作やナビゲーションを意識して分割することで、データの解析が容易となった。また手術データの容易な加工や情報追加を可能とするソフトウェアの開発は、データベースの効率的な構築に寄与すると考えられる。

E. 結論

本年度で、AI システムのための学習データの収集・作成を実施した。現時点では更なるデータの収集・作成を実施し、AI の判断の精度向上に努めるとともに、動画データの解析に関しても着手する予定である。

F. 健康危険情報

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

なし

厚生労働科学研究費補助金
政策科学総合研究事業（臨床研究等 ICT 基盤構築・人工知能実装研究事業）

分担研究報告書

ロボット型内視鏡操作支援システムの AI による高度化と
各種医療機器統合インターフェースとしての展開に関する研究

研究分担者 喜安 千弥 長崎大学大学院工学研究科 教授
 藺田 光太郎 長崎大学大学院工学研究科 助教

研究要旨 本研究課題ではロボット型内視鏡操作支援システムに AI を搭載し、内視鏡の自動操作機能と術者支援機能を追加することを目指している。パターン認識およびその技術を応用した画像解析は、AI を構成する重要な技術として発展しているが、十分な学習データを用意する必要がある。しかし内視鏡画像では、大量の学習データが準備できない場合も想定されるため、限られた学習データで適切に動作するシステムが望まれる。ここでは、学習データが限られている場合を想定して、顕微鏡下で取得された医用画像を対象として実験を行った。あらかじめ特徴パラメータを抽出する方式で識別実験を行い、医用画像に対する認識の可能性を検討した。

A. 研究目的

本研究課題の目的である“ロボット型内視鏡操作支援システムの AI による高度化”を達成するためには、内視鏡から得られる画像を適切に処理し、そこから得られる情報を内視鏡操作の支援に有効に利用する必要がある。この目的を達成するために、本年度は、パターン認識および画像解析技術を医用画像に適用するノウハウの蓄積を目指し、限られた学習データを用いた場合の医用画像の識別の可能性について研究を行った。

B. 研究方法

パターン認識およびその技術を応用した画像解析は、AI を構成する重要な技術として発展している。しかしそれを内視鏡画像に適用するためには、十分な学習データを用意するとともに、それを有効に活用して目的とする情報を抽出する方法を開発する必要がある。しかし、適用対象とする内視鏡で取得した学習データを大量に用意する

ことが困難である場合も想定されるため、その場合には、限られた学習データで適切に動作する必要がある。

限られた学習データでも動作する処理方式としては、あらかじめ設定した特徴パラメータを画像から抽出し、その特徴パラメータを用いて目的部分とそれ以外を識別する従来型の処理も有効である。ここでは、顕微鏡下で取得された医用画像を対象として、特徴抽出と識別の実験を行った。

（倫理面への配慮）

長崎大学の倫理審査の承認を受けるとともに、人体組織を対象として取得される画像データを研究に用いる場合には、個人情報が含まれないことに注意して実験を行った。

C. 研究結果

肺組織の病理画像を実験対象として、限られた画像データを用いた学習と識別を行った。染色された肺組織の画像中からリンパ濾胞の抽出を目標とし、色および形状の

特徴パラメータを抽出して用いた。

実験には染色状態が異なる 2 枚の画像を用いた。同じ画像中から学習データとテストデータを抽出した場合には 80%程度の識別率が得られた。異なる画像を学習データとテストデータに用いた場合には、識別率が 40%以下まで大幅に低下したが、色と明るさを正規化して 2 画像間の条件をそろえることで、同等の識別率まで改善することができた。

D. 考察

学習によって特徴パラメータを自動設定するアルゴリズムには、膨大な学習データを必要とする。今回の実験に用いた学習データ数は数十サンプル程度であり、Deep Learning のような学習アルゴリズムを利用するにはデータ数が大幅に不足すると予想される。今回の実験に用いたような、特徴パラメータをあらかじめ設定して処理を行う方法は、学習データが限られている場合でも有効に機能する可能性がある。

E. 結論

内視鏡画像に対する AI 手法の適用にあたっては、利用できる学習データの状況によって適切な方法を適用することが望まれる。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

Liang Jun, Takuma Honda, Tomoya Goto, Kotaro Sonoda, Junya Fukuoka, Senya Kiyasu, “Extraction of Lymphoid Follicles from Digital Pathology Images”, 電気・情報関係学会九州支部第 70 回連合大会論文集, p.81 (2017)

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

厚生労働科学研究費補助金
政策科学総合研究事業（臨床研究等 ICT 基盤構築・人工知能実装研究事業）
分担研究報告書

ロボット型内視鏡操作支援システムの AI による高度化と
各種医療機器統合インターフェースとしての展開に関する研究

研究分担者 柴田 裕一郎 長崎大学大学院工学研究科 准教授

研究目的：ハードウェア構造を柔軟にプログラム可能な FPGA (Field Programmable Gate Array) に専用回路を構成することでこの問題を解決することを目指し、パーティクルフィルタの処理を効率的よく実現可能なハードウェア構成を明らかにする。
方法：FO リサンプリング法を導入し、処理速度やハードウェア量を評価した。
研究成果：ルックアップテーブル数で約 80,000 個、フリップフロップ数で約 106,000 個、DSP (Digital Signal Processing) ブロックで約 200 個のハードウェア資源があれば、毎秒 60 フレームの要求性能を満たしたリアルタイム処理が可能であることが示された。
結語：リサンプリング処理に近似を用いることにより、パーティクルフィルタによる物体追跡処理から高い並列性を引き出し、非蓄積型のハードウェア構成で実現する手法を提案した。様々な構成を電力性能比の観点から比較した結果、1W 未満の消費電力で解像度 640×480 ピクセルの動画像を毎秒 60 フレーム処理できることが明らかになった。

共同研究者

Theint Theint Thu, 田原あかね（長崎大学）

A. 研究目的

本研究課題「ロボット型内視鏡操作支援システムの AI による高度化と各種医療機器統合インターフェースとしての展開」の目的を達成するためには、内視鏡から得られる画像データをリアルタイムに画像処理することによって、対象物を追跡する工学的技術の確立が必要となる。このような処理には、追跡対象物の運動モデルを確率的に利用するパーティクルフィルタと呼ばれるアルゴリズムが有効であることが知られている。しかし、パーティクルフィルタのアルゴリズムは多大な計算量を要することから、ロボットなどに用いられる小型で低消費電力の計算ハードウェアではリアルタイム性の実現が難しいという技術的課題があった。そこで、本年度はハードウェア構造を柔軟にプログラム可能な FPGA (Field Programmable Gate Array) に専用回路を

構成することでこの問題を解決することを目指し、パーティクルフィルタの処理を効率的よく実現可能なハードウェア構成を明らかにすることを研究目的とした。

B. 研究方法

パーティクルフィルタによる物体追跡処理をハードウェア化する際の問題として、アルゴリズム中のリサンプリングと呼ばれる処理には、全てのパーティクル間でのデータの移動が必要となり並列ができないことがあげられる。そこで FO リサンプリング法と呼ばれる一種の近似処理を導入することとした。また、カメラデバイスは常に有効画素を出力するのではなく、画素情報は出力せずに同期信号だけを出力する区間もあることに着目し、それぞれの区間でどのような演算を行うかを変更しながら、処理速度やハードウェア量を評価した。また、

空間的にハードウェアを展開することによって並列処理度を増やすことにより、低速なクロック周波数で動作させた場合と、高速なクロック周波数を用いて共通のハードウェア資源を時間多重的に利用することで全体を小規模化する場合とをそれぞれ実装することにより、性能や消費電力の観点から比較を行った。ハードウェアの設計にはレジスタトランスファレベルの Verilog HDL を用いた。要求性能は1フレームの解像度 640×480 ピクセルの画像に対し毎秒 60 フレームとした。

(倫理面への配慮)

倫理上の問題が生じないように、提案システムの評価には研究機関によって公開されている物体追跡用ベンチマーク動画等を用いた。

C. 研究結果

同期区間に適切に処理を割り当てることにより、ルックアップテーブル数で約 80,000 個、フリップフロップ数で約 106,000 個、DSP (Digital Signal Processing) ブロックで約 200 個のハードウェア資源があれば、毎秒 60 フレームの要求性能を満たしたリアルタイム処理が可能であることが示された。また、物体追跡用のベンチマーク動画像による評価の結果、最大追跡誤差は 0.5 ピクセル、平均二乗誤差は 0.001 ピクセルとなった。クロック周波数をカメラデバイスと同じ周波数に設定した設計と、その 5 倍の周波数を用いてハードウェアを時間多重により小規模化した設計の消費電力を比較した場合、前者は約 0.9 W となり、後者に比べて約 2.5 倍低消費電力であった。

D. 考察

ベンチマーク動画を用いた物体追跡の誤差評価結果によれば、最大でも 1 ピクセル未満の誤差におさまっており、パーティクルフィルタアルゴリズムにおけるリサンプリングへの近似処理の導入が追跡精度に与える影響は実用上問題の無い程度であることが伺える。また、FPGA に専用回路を構築することにより、画像の入力処理と演算

処理を並列に行うことが可能になり、外部メモリを用いる必要も無くなった。この結果、チップで消費する電力は 1W 未満でありながら、毎秒 60 フレームのリアルタイム処理を実現できることが示され、医療支援機器としても実用的な高い電力性能比が達成できることが示された。また、高いクロック周波数による時間多重を用いてハードウェア規模を圧縮するよりも、空間的に展開した並列ハードウェア機構を低いクロック周波数で動作させる方が、より電力効率の点で有利であるという興味深い知見も得られた。今回確立したハードウェア画像処理技術の枠組みは、ニューラルネットワークを用いた動画像処理にも応用が可能であり、今後、ロボット型内視鏡操作支援システムへの搭載に向けて検討を続けていく予定である。

E. 結論

リサンプリング処理に近似を用いることにより、パーティクルフィルタによる物体追跡処理から高い並列性を引き出し、非蓄積型のハードウェア構成で実現する手法を提案した。様々な構成を電力性能比の観点から比較した結果、1W 未満の消費電力で解像度 640×480 ピクセルの動画像を毎秒 60 フレーム処理できることが明らかになった。また、近似処理の導入が追跡精度に与える影響は、実用上問題のない範囲であることが明らかになった。

F. 健康危険情報

G. 研究発表

1. 論文発表

T. T. Thu, Y. Hayashida, A. Tahara, Y. Shibata, K. Oguri, Deep-pipelined FPGA Implementation of Real-time Object Tracking using a Particle Filter, International Journal of Networking and Computing, 7(2), pp.372-386 (2017)

A. Tahara, Y. Hayashida, T. T. Thu,

Y. Shibata, K. Oguri, Power Performance Analysis of FPGA-Based Particle Filtering for Real-time Object Tracking, Systems, Advances in Intelligent Systems and Computing, **611**, pp.451-462 (2017)

2. 学会発表

田原あかね, 林田与志樹, Theint Thu, 柴田裕一郎, 小栗清, FPGAによる物体追跡用パーティクルフィルタの高効率実装, 電子情報通信学会リコンフィギャラブルシステム研究会, 登別市 (2017)

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む。)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

厚生労働科学研究費補助金
政策科学総合研究事業（臨床研究等 ICT 基盤構築・人工知能実装研究事業）
分担研究報告書
ロボット型内視鏡操作支援システムの AI による高度化と
各種医療機器統合インターフェースとしての展開（内視鏡操作ロボットの開発）
に関する研究

研究分担者 諸麥 俊司 中央大学 理工学部 准教授

研究要旨 本研究課題ではこれまで開発に取り組んできたロボット型内視鏡操作支援システムに AI を搭載し、内視鏡の自動操作機能と術者支援機能を追加するとともに、各種医療機器統合のインターフェースとしての展開について検討する。具体的には、まず AI に熟練外科医の内視鏡操作を学習させ、手術中に適宜内視鏡操作のアシストや自動操作を行う機能を実装する。次に、内視鏡操作だけでなく AI によるナビゲーション機能を実現し、内視鏡手術を総合的に支援するシステムを構築すると同時に、そのためのデータベースの構築方法および標準化の方法を検討する。本年度は主に内視鏡ロボットの設計に取り組んだ。

A. 研究目的

これまで開発してきた内視鏡操作支援ロボットに AI を搭載し、内視鏡操作支援に加え、手術ナビゲーションの機能を実装し、内視鏡手術を総合的に支援するシステムへと展開を図る。その中でも特にロボットの製作と制御を担当する。

B. 研究方法

これまでの内視鏡操作支援ロボットの研究で得た経験を踏まえ、本研究課題で実現する手術支援システムに適した内視鏡操作ロボットの開発に取り組む。今年度は内視鏡操作ロボットの設計にあたった。

本研究課題で開発に取り組むロボットはデータ収集や評価のために手術室での実験が頻繁に行われると想定されるため、これまで以上に手術室の環境に適応し、操作や運用に負担の少ない仕様とすることとした。このため、生体と触れる部分はディスプレイ化し、また電気モータはロボット本体ではなく、附属する制御ユニットに配置することとし、ケーブル駆動式の自動車用

スライドウインドウシステムを採用して大幅なスリム化・軽量化を図った。

（倫理面への配慮）

内視鏡ロボットの開発において中央大学でヒトを対象とする評価実験を実施するにあたって中央大学の倫理審査の承認を受けて実施する。動物実験については長崎大学にて、同大学の倫理委員会の承認を得て行い、動物実験倫理に準じて施行する。

C. 研究結果

手術器具も手がける自動車部品メーカー 1 社の協力を仰ぎ、現在詳細設計を行っている。6 月中旬に設計を終え、8 月に装置完成を予定している。

D. 考察

従来タイプよりも、セッティングや調整を含め、現場でより使いやすく、より実用的なロボットが実現できる見込みである。

E. 結論

8月の完成を目指し、企業と協力して本研究課題に適した内視鏡操作ロボットの開発を進めている。

F. 健康危険情報

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

塚本 稜司、江連 諒、金 香紀、安藤 凜太郎、本田 拓海、諸麥 俊司、足立 智彦、黒木 保、大野 慎一郎、北里 周、頭部運動と嚙み締めを操作信号とするロボット型内視鏡操作支援器具の操作性改善の検討、計測自動制御学会第18回システムインテグレーション部門講演会(SI2017)論文集、pp.1599-1601、2017.

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む。）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

別紙 4

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の 編集者名	書 籍 名	出版社名	出版地	出版年	ページ

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
塚本 稜司、江連 諒、金 香紀、安藤 凜太郎、本田 拓 海、諸麥 俊司、足 立 智彦、黒木 保、 大野 慎一郎、北里 周	頭部運動と噛み締めを 操作信号とするロボッ ト型内視鏡操作支援器 具の操作性改善の検討	計測自動制御学会 第18回システムイ ンテグレーション 部 門 講 演 会 (SI2017) 論文集		pp. 1599-1601	2017
T. T. Thu, Y. Hayashida, A. Tahara, <u>Y.</u> Shibata, K. Oguri	Deep-pipelined FPGA Implementation of Real-time Object Tracking using a Particle Filter	International Journal of Networking and Computing	7(2)	372-386	2017
A. Tahara, Y. Hayashida, T. T. Thu, <u>Y. Shibata</u> , K. Oguri	Power Performance Analysis of FPGA-Based Particle Filtering for Realtime Object Tracking	Advances in Intelligent Systems and Computing	611	463-474	2017
Liang Jun, Takuma Honda, Tomoya Goto, <u>Kotaro Sonoda</u> , Junya Fukuoka, <u>Senya Kiyasu</u>	Extraction of Lymphoid Follicles from Digital Pathology Imagep	電気・情報関係学 会九州支部第70回 連合大会論文集		p. 81	2017