

平成30年6月1日現在

機関番号：12501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K12920

研究課題名(和文)医療ニーズ・技術シーズの双方向分析に基づく術中動態対応型手術支援技術の開発と評価

研究課題名(英文) Development and Evaluation of Surgical Assentive Technology with realtime motion compensation by analyzing clinical needs and technical seeds

研究代表者

中村 亮一 (Ryoichi, Nakamura)

千葉大学・フロンティア医工学センター・准教授

研究者番号：30366356

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では現実的に実現可能な術中臓器動態対応型ナビゲーション医療機器を開発するための術中ミクロナビゲーション技術として、内視鏡下手術等の鏡視下手術の術野映像をセンサ情報として利用した医用画像ナビゲーションでは不可能な時空間的分解能の高いナビゲーション技術の開発を行った。ナビゲーション技術の実装と評価として拍動・揺動する臓器の運動を補償しつつ外科縫合用糸針を正確に運針する運動補償型縫合ロボットシステムの基礎開発を行い、高精度な縫合針位置の自動検出、運動補償により糸針刺入出位置決め誤差2mm以下、運針時の力負荷の60%低減などが達成できた。

研究成果の概要(英文)：We developed a navigation technique with high temporal and spatial resolution using endoscopic image processing as intraoperative micro navigation technology for establishing intraoperative dynamics navigation device. We developed basic motion-compensated suturing robot system that accurately moves the needle for surgical suture while compensating for the movement of the beating and swinging organs as an implementation and evaluation of navigation technology, and achieved an automatic detection of suture needle position with high precision, 2mm or less positioning error of needle insertion, and 60% reduction of force load during suturing.

研究分野：コンピュータ外科学

キーワード：手術ロボット 腹腔鏡下手術 ナビゲーション医療 医用画像処理 運動補償

1. 研究開始当初の背景

手術ナビゲーションやロボットなどナビゲーション医療分野の研究開発とその臨床応用・実用化における最大の課題は、軟性臓器の術中変形・動態への対応である。静止した剛体を対象とするならば可能である精密な作業誘導や制御が、肝臓や消化管など柔軟で呼吸・拍動および手術操作により容易に位置形状が変化してしまうものに対しては応用が極めて難しい。ナビゲーション医療技術を広く外科医療に応用するためには術中の臓器挙動への対応が求められる。

術中の臓器挙動への対応の研究は広く行われており、主として画像情報によるものと組織臓器の数値モデルによるシミュレーションによるものが中心である。しかし胸腹部の手術においてこれらの技術の具体的な応用実現性を考えると、現時点では現在の技術レベルと臨床の要求レベルとのマッチングは難しくコスト面でも現実性が低く、現実的な先端医療の実現には障壁が大きい。臨床ニーズと技術シーズの双方向および手術室への導入上の課題から検証し、現実的に実現可能な術中臓器動態対応型ナビゲーション医療機器を開発することが重要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は前述の観点から現在の手術室内での現実的な工学的応用可能技術と、その応用により大きな効用が期待できる新しい治療法の双方向からの検討により、術野内の臓器動態計測・追従による新しいナビゲーション治療技術を創成することである。具体的には、術中に取得可能な術野動態情報を基にした治療誘導技術が臨床上必要な精度を達成しているか（ニーズに基づくシーズの評価）、そしてこの技術による誘導により成果の得られる治療法が開発が可能であるか（シーズに基づくニーズの選定）の2つの観点から、内視鏡下手術における臓器運動補償型ナビゲーション技術開発と治療法提案を実施する。

3. 研究の方法

本研究では現実的に実現可能な術中臓器動態対応型ナビゲーション医療機器を開発するための術中マイクロナビゲーション技術として、内視鏡下手術等の鏡視下手術の術野映像をセンサ情報として利用した医用画像ナビゲーションでは不可能な時空間的分解能の高いナビゲーション技術の開発を行った。

① 組織変形追従のための局所特徴量抽出アルゴリズムの開発

近年、局所特徴量検出は非線形フィルタリングと偏微分方程式の演算速度向上によって、非線形スケールスペース特徴点に基づいた、物体の追従と検出への応用が実現可能となってきている。画像中に物体変形が生じた場合、非線

形スケールスペースの使用によって特徴点の一致と再現性を向上することが示されている。これまでに非線形スケールスペースを用いた物体の追従法は、医用内視鏡映像に適応されていない。そこで、医用内視鏡映像に適した非線形スケールスペースによる局所特徴量の検出アルゴリズムの開発を試みた。

② 臓器運動計測結果に基づく運動補償型自動縫合運針ロボットの開発

①で開発した手法のような、画像特徴量を元に臓器運動をリアルタイムに推定する手法を用いて術中の臓器運動を補償するマイクロナビゲーションの有用性を検証すべく、ロボットによる自動処置でのターゲット追跡・運動補償機能の検証を行った。本研究では外科手技において実行される頻度が比較的多く、術者の負担が大きい縫合を対象として設定する。縫合には大きく分けて①針を臓器に対し刺入する、②針及び糸を引張、③の結紮する、という工程に分かれている。この工程の内、針の刺入出が適切に行えるか否かはその後縫合の結果に大きく影響を与えるため、本研究においては縫合における針の刺入出の自動化をターゲットとし、縫合針の自動検出機能と3自由度ロボットによる縫合対象運動補償下自動運針を行った。本システムでは臓器運動データとロボットの運動を内視鏡映像上の運動に変換した2自由度の運動情報を基に2次元の運動を予測する。これらを基にロボットを駆動させ2次元での臓器運動に対する補償を行う。

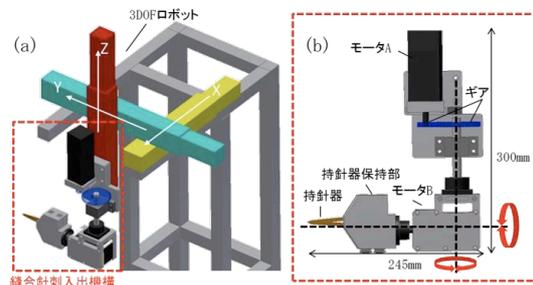


図1 3自由度縫合針刺入ロボット

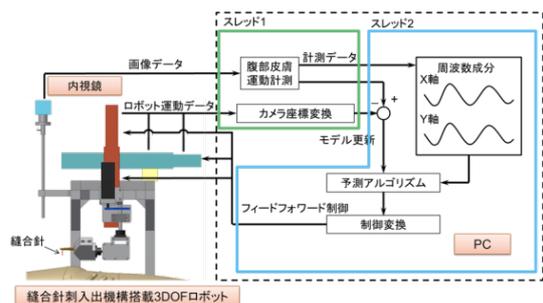


図2 運動補償ナビゲーションによるロボット制御

4. 研究成果

- ① 腹腔内で移動変形する臓器の形状・運動を計測する手法として、**Guided Filter**を用いた非線形スケールスペースによる腹腔内局所特徴量の検出アルゴリズムを提案し実装した。提案手法は **SIFT**, **SURF**, **KAZE**, **AKAZE** 等の局所特徴量検出器にくらべ計算速度・抽出フィーチャ数のバランスに優れ、臨床での応用可能性が期待された。
- ② 拍動・揺動する臓器の運動を補償しつつ外科縫合用糸針を正確に運針する運動補償型縫合ロボットシステムの基礎開発を行い、運動補償により糸針刺入出位置決め誤差 **2mm** 以下、運針時の力負荷の **60%** 低減などが達成できた。またこの運動補償型縫合ロボットシステムにおける縫合針自動検出・追従アルゴリズムの基礎開発を行い、動物実験において **99%** の映像フレームにおいて適切に針の中心位置を捉え、その計算時間は約 **17ms** 程度であった。

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 2 件)

- ① 中村亮一, 超音波診断画像を用いたナビゲーション誘導下低侵襲治療の現状と未来, 特集 超音波診断・治療支援システム開発の最先端, 超音波医学, 45(2):159-166, 2018
<http://doi.org/10.3179/jjmu.JJMU.R.92>
- ② 中村亮一, 術中画像処理, Medical Imaging Technology, Vol. 35 (2017) No. 1 p. 29-34
<http://doi.org/10.11409/mit.35.29>

[学会発表] (計 6 件)

- ① Ryoichi Nakamura, Intuitive Visualization and Optimization of Surgery based on Anatomy and Workflow information inside OR: New Strategy on Image-guided Surgery, International Conference on Intelligent Informatics and BioMedical Science 2017 (ICIIBMS2017), Okinawa, Japan, Nov. 24-26, 2017
- ② Mika Kontto, 中村亮一, 水中手術 (WaFLES) における組織変形追従のための局所特徴量抽出アルゴリズムの構築, 第 26 回日本コンピュータ外科学会大会, 名古屋, 10 月 28-30 日, 2017, 日本コンピュータ外科学会誌, 19(4):273, 2017
- ③ M. Takebayashi, Y. Yamamoto, R.

Nakamura, A Myocardium Sheet Transplantation Robot System with Cell Sheet Scooping Mechanism and Heart Surface Motion Synchronization based on the Image, The 30th International Congress on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS2016), Heidelberg, Germany, June 21-25, 2016, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 11(suppl):S235-6, June 2016

- ④ H. Nakata, R. Nakamura, Organ Motion Tracking System for Laser Surgical Robot System in Water-Filled Laparo-Endoscopic Surgery, The 30th International Congress on Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS2016), Heidelberg, Germany, June 21-25, 2016, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 11(suppl):S238-9, June 2016
- ⑤ Ryoichi Nakamura, Intuitive Visualization of Anatomy and Workflow inside OR: New Strategy on Image-guided Surgery, THE FIRST IU-CU WORKSHOP FOR COMPUTER SCIENCE AND BIOMEDICAL ENGINEERING, The INTERNATIONAL UNIVERSITY - HO CHI MINH NATIONAL UNIVERSITY, Ho Chi Minh City, Vietnam, June 14, 2016 (Keynote Lecture)
- ⑥ 中村亮一, Pham Duc Tai, 中田浩之,, 森崎桂太, 杉野貴明, 伊藤夏織, 吉村拓司, 林優希, 川平洋, 五十嵐辰男, 術中診断・映像の取得・分析・提示による新たな軟性臓器ナビゲーション手術 "i-WaFLES" の創成, 第 104 回日本泌尿器科学会総会 PP 企画 16 シンポジウム "画像診断が外科手術を変える", 仙台, 2016 年 4 月 25 日 (招待講演)

[図書] (計 2 件)

- ① 中村亮一, 5-4 手術支援ロボット (第 5 章 ロボット), テクノロジー・ロードマップ 2018-2027 全産業編, 日経 BP 社, 東京, 2017, pp204-207
- ② 中村亮一, 4-4 手術支援ロボット (第 4 章 ロボット), テクノロジー・ロードマップ 2017-2026 全産業編, 日経 BP 社, 東京, 2016, pp200-203

[その他]

ホームページ等

- ① 臓器運動補償型手術支援ロボット
http://www.cfme.chiba-u.jp/~nakamura/surg_dev2.html

6. 研究組織

(1)研究代表者

中村 亮一 (NAKAMURA, Ryoichi)
千葉大学・フロンティア医工学センター・
准教授
研究者番号：30366356