

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：32689

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H07265

研究課題名(和文) 操作者の筋活動量解析による身体性を考慮した手術支援ロボットの開発

研究課題名(英文) Development of surgical robot with consideration of embodiment by operator's muscle activity analysis

研究代表者

三浦 智 (Miura, Satoshi)

早稲田大学・理工学術院・助手

研究者番号：70724566

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、操作者の筋活動に最も負担が低い手術支援ロボットの構造を設計した。手術支援ロボットは人間の身体とは異なる構造・形態をしているため、「身体性の違い」により、運動軌道が冗長になったり、可動域限界で余計な力が生じたりする。そのような問題を解決するために、仮想環境で再現した手術支援ロボットを動かしている操作者の動作をモーションキャプチャで計測し、筋活動モデルと照合して、どの筋肉にどの程度負荷がかっているのかを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this study, we designed the structure of the surgical robot, which has the least burden on the operator's muscle activity. Since the surgical robot has a physical different structure from the human body, there is a "different embodiment". the trajectory becomes redundant and unnecessary force occurs at the movement range limit. To solve these problems, while the participant controlled the virtual surgical simulator, we measured the 3D position by motion capture system. We compared these data to human muscle activity model and clarify the loaded muscle point.

研究分野：医用システム

キーワード：ロボット手術

1. 研究開始当初の背景

マスタ・スレーブ型手術支援ロボットは、低侵襲性に優れ患者の早期回復が可能という利点があるため、国内外で広く普及している。例として内視鏡外科手術支援ロボットシステム「da Vinci: Intuitive Surgical 社」は世界で 300 万件以上の症例に用いられ、我が国でもロボット手術の公的医療保険の認可が下りている。

ロボット手術は、主に患者体内に挿入したロボット（スレーブ）を医師が内視鏡の映像を見ながら手元のコントローラ（マスタ）で操作して手術するマスタ・スレーブ方式で行われる。医師は手の体性感覚によるマスタの動きと視覚で確認したスレーブの動きを整合させて直感的に操作する必要がある。この視覚と体性感覚の整合性は hand-eye coordination と呼ばれ、眼と手の代わりである内視鏡と鉗子の位置決定や構造設計などで重要視される。高い hand-eye coordination を発揮する手術支援ロボットを開発するため、医師の感じる直感的な操作性を定量的かつ客観的に評価する手法が必要である。

2. 研究の目的

これまで申請者は、手術支援ロボット操作者の脳活動を計測し、直感的な操作性を評価する手法を提案してきた（特別研究員奨励費「操作者の脳活動情報に基づいたマスタ・スレーブ型手術支援ロボットの開発」、三浦智，14J07261，2014-2015）。これまでの研究成果から、ロボットの構造が人間の身体に近いほど直感的に操作可能であることがわかった。しかし、手術では体内の内部構造が事前にわかりにくく、複雑でロボットの動きに制限があるため、ロボットの構造は人間の身体と異なる場合が多い。このような人間の身体とは異なる形態・構造による性質を「身体性の違い」と呼ばれる。「身体性の違い」によって、困難な姿勢を

回避するために術具の運動軌道が冗長になったり、可動域限界でやむを得ず操作するために身体に余計な力が生じたりする場合がある。このようなロボットと操作者の身体性の違いを評価する方法は確立されていない。従来研究では、筋電位を用いた評価等があるが、複数の筋を一括して計測するため、どこの筋肉に負荷がかかっているのかを明らかにすることは困難である(Grace, 2013)。また、モーションキャプチャによる上肢もしくは術具の移動距離や作業の所要時間を指標とする評価手法があるが、間接的に筋の負担を評価している(Mason, 2013)。この両者の長所を活かすため、モーションキャプチャで取得した操作者の動作データに筋骨格モデルを用いて、どこの筋肉にどの程度の負荷がかかっているのかを評価する手法を着想した。

3. 研究の方法

本研究では、操作者の動作データに筋骨格モデルを用いて身体性の違いを評価し、直感的な手術支援ロボットを設計するシステムを構築した。

4. 研究成果

(A) 筋活動量の解析手法の構築

仮想空間内でロボット手術中の動作を光学式モーションキャプチャで取得し、筋骨格モデルによる逆運動学計算から筋活動量を算出した。上肢の動作に関する 26 種類の筋肉は、最大筋張力が異なるなど筋肉の性質がそれぞれ異なるため、本課題では、異なる筋肉の性質を考慮して各筋肉の発揮量を評価する手法を明らかにした。

(B) ロボットの構造変化と筋活動量の関係性導出

多様な構造のロボットを操作した際の動作を計測する。検討する構造は、操作時の運動学に強く影響を及ぼす、内視鏡とマニ

ピュレータの配置位置およびマニピュレータ先端部の手首構造である。様々な構造のロボットを操作するため、仮想環境上で再現したロボット手術シミュレーションを使用した。本課題では、ロボットの構造が変化した際に、手術中においてどこの筋肉がどれくらい活動しているのかを明らかにした。

(C) ロボットの構造の最適化設計アルゴリズムの構築

取得したロボット手術時の筋活動量を基に、直感的に操作可能な手術支援ロボットの構造を自動で最適化計算するアルゴリズムを開発する。ロボット手術中において、術具の把持や刺入、縫合など、手術の各フェーズにおいて使用する筋肉が異なるため、各フェーズで最適な手術支援ロボットの構造は異なると思われるため、それらを総合的に評価するアルゴリズムを構築した。本課題では、各筋肉への負荷を最小限に抑え、操作者の身体と最もフィットしている手術支援ロボットの構造を明らかにした。

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15件)

1. Victor Parque, Satoshi Miura, Tomoyuki Miyashita, "Route bundling in polygonal domains using Differential Evolution", Robotics and Biomimetics Journal, Vol.4, No.22, 2017, 査読有
2. Satoshi Miura, Junichi Takazawa, Yo Kobayashi, Masakatsu Fujie, "Accuracy to Detection Timing for Assisting Repetitive Facilitation Exercise System Using MRCP and SVM", Robotics and Biomimetics Journal, Vol.4, No.12, 2017, 査読有
3. Yang Cao, Satoshi Miura, Quanquan Liu, Yo Kobayashi, Shigeki Sugano and Masakatsu G. Fujie, "Probabilistic neural network applied to eye tracking control to alter the direction of an endoscopic manipulator", Mechanical Engineering Journal, Vol.4, No.4, 2017, 査読有
4. Yang Cao, Liu Li, Satoshi Miura, Masaki Seki, Yo Kobayashi, Kazuya Kawamura, Masakatsu G. Fujie, "Development of angle information system to facilitate the adjustment of needle-holding posture", International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery (IJCARS), Vol.12, No.11, 2017, 査読有 (**Impact Factor 1.827**)
5. 三浦賢, 鈴木智裕, 小林洋, 藤江正克, "タイピング支援装置の開発のための動作速度と筋疲労度の最適化問題", 日本機械学会論文集, Vol.83, No.850, 2017, 査読有
6. Takahiro Ishii, Victor Parque, Satoshi Miura, Tomoyuki Miyashita, "Definition and Support of Differentiation and Integration in Mechanical Structure Using S-curve Theory and Wavelet Transform", Proceedings of the 21st International Conference on Engineering Design 2017 (ICED17), Vancouver, Canada, Aug. 21-25, 2017, 査読有 (**Acceptance rate 80%**)
7. Victor Parque, Satoshi Miura, Tomoyuki Miyashita, "Computing Path Bundles in Bipartite Networks", Proceedings of the 7th International Conference on Simulation and Modelling Methodologies, Technologies and Applications (SIMULTECH'17), pp. 422 – 427, Madrid, July, 2017, 査読有
8. Satoshi Miura, Junichi Takazawa, Yo Kobayashi, Masakatsu G. Fujie, "Motor Command Detection for a Repetitive Facilitation Exercise Assistance System",

- Proceedings of the IEEE International Conference on Real-time Computing and Robotics (RCAR'17), Okinawa, July 14-18, 2017 , 査読有
9. Victor Parque, **Satoshi Miura**, Tomoyuki Miyashita, "Optimization of Route Bundling via Differential Evolution with a Convex Representation", Proceedings of the IEEE International Conference on Real-time Computing and Robotics (RCAR'17), Okinawa, July 14-18, 2017 , 査読有
 10. Yang Cao, **Satoshi Miura**, Quanquan Liu, Yo Kobayashi, Kazuya Kawamura, Shigeki Sugano and Masakatsu G Fujie, "An image processing method for changing endoscope direction based on pupil movement", ROBOMECH Journal, Vol.3, No.3, 2016 , 査読有
 11. Yang Cao, **Satoshi Miura**, Yo Kobayashi, Kazuya Kawamura, Shigeki Sugano, Masakatsu G. Fujie, "Pupil Variation Applied to the Eye Tracking Control of an Endoscopic Manipulator", The IEEE Robotics and Automation Letters (RA-L), Vol.1, No.1, pp.531-538, 2016 , 査読有
 12. Tomohiro Suzuki, **Satoshi Miura**, Yo Kobayashi, Masakatsu Fujie, "A method for using one finger to press three separate keys on a three-dimensional keyboard designed to be mounted on a mouse", ROBOMECH Journal, Vol.3, No.2, 2016 , 査読有
 13. Yang CAO, Yo Kobayashi, **Satoshi Miura**, Kazuya Kawamura, Masakatsu G. Fujie, Shigeki Sugano, "Pupil Variation for Use in Zoom Control", Proceedings of 2016 IEEE Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO'16), Qingdao, China, pp.479-484, Dec. 3-7, 2016 , 査読有 (**Finalist of T.J. Tarn Best Paper in Robotic Award**)
 14. **Satoshi Miura**, Junichi Takazawa, Kazuya Kawamura, Yo Kobayashi, Tomoyuki Miyashita, Masakatsu G. Fujie, "Brain Wave Measurement while Touching Task of a Virtual Arm for Intuitive Robotic Surgery", Proceedings of 2016 World Automation Congress (WAC'16) - ISORA 2016, Wyndham Grand Rio Mar Beach Resort & Spa, Puerto Rico, July 31 - August 4, 2016 , 査読有
 15. Yang Cao, **Satoshi Miura**, Yo Kobayashi, Kazuya Kawamura, Shigeki Sugano, Masakatsu G. Fujie, "Pupil Variation Applied to the Control of an Endoscope", Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA'16), pp.531-538, Stockholm, Sweden, May 16-21, 2016 , 査読有
- [学会発表](計8件)
1. 新宅裕太, **三浦智**, 石内秀和, Parque Victor, 宮下朋之, "病変部の力学情報の相違による患部位置同定に関する研究", 第26回日本コンピュータ外科学会大会(JSCAS), 名古屋, Oct. 28-30, 2017
 2. 津田直弥, **三浦智**, 千葉恵太, 新宅裕太, Victor Parque, 白石康之, 山家智之, 宮下朋之, "応答曲面法を用いた螺旋折綫創膏の最適化", 第26回日本コンピュータ外科学会大会(JSCAS), 名古屋, Oct. 28-30, 2017
 3. 杉原壮一郎, **三浦智**, 宮下朋之, "痙縮の発症した片麻痺患者用の円筒型タイピング支援装置の開発", 生活生命支援工学系学会連合大会(LIFE2017), お茶の水女子大学, Sep. 15-17, 2017

4. 上原瑠哉, **三浦智**, 川村和也, 藤江正克, 菅野重樹, 宮下朋之, ”配管点検ロボットの直感的なインターフェースの開発”, 日本ロボット学会第 35 回学術講演会 (RSJ2017), 川越, Sep. 11-14, 2017
5. **Satoshi Miura**, Taisei Kaneko, Kazuya Kawamura, Yo Kobayashi, Masakatsu G. Fujie, "Gain tuning method by brain activity measurement for surgical endoscopic control", Computer Assisted Radiology and Surgery 2017 International Congress and Exhibition (CARS 2017), Barcelona, June 20-24, 2017
6. 菊池宏太郎, **三浦智**, Victor Parque, 宮下朋之, ”前腕義手の上腕カフにおけるコンプライアントメカニズムの最適化設計”, 第 56 回日本生体医工学会大会, 東北大学, 仙台, May 3-5, 2017
7. **三浦智**, 川村和也, 小林洋, 藤江正克, ”操作者の脳活動解析を用いた遠隔操作ロボットの最適化設計”, Motor Control 研究会 2016, B35, 慶応, 横浜, Sep. 1-3, 2016
8. **三浦智**, 川村和也, 小林洋, 宮下朋之, 藤江正克, ”脳活動計測を用いたマスタ・スレーブの先端姿勢誤差に関する検討”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2016), 1A1-03a5, 横浜, Jun. 8-11, 2016

〔図書〕(計 1 件)

1. **Satoshi Miura**, Yo Kobayashi, Kazuya Kawamura, Yasutaka Nakashima, Masakatsu G. Fujie, "Brain Activity Analysis for the Configurational Determination of Surgical Manipulation and Endoscope", Computer Aided Surgery, Masakatsu G. Fujie (Ed.), pp.3-15, Springer, 2016

〔その他〕
 ホームページ等
<https://sites.google.com/view/satoshi-miura>

6. 研究組織
 (1) 研究代表者
 三浦 智 (MIURA, Satoshi)
 早稲田大学・理工学術院・助手
 研究者番号: 70724566