

令和 6 年 4 月 25 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K18075

研究課題名（和文）医師の試行差と個人差を考慮した手術支援ロボットの制御手法の構築

研究課題名（英文）Development of control method for surgical robot considering surgeon's trial and individual difference

研究代表者

三浦 智 (Miura, Satoshi)

東京工業大学・工学院・准教授

研究者番号：70724566

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：手術支援ロボットは、人間の身体とは構造や形態が異なる場合が多いため、直感的に操作可能な制御手法が必要である。しかし、医師の体格や勘と経験などの違いによって、試行毎・個人毎のパラツキが生じるため、制御設計の最適解は定まりにくい。本研究では、手術精度や、医師の関節エネルギー（身体的負担）、脳活動（認知的負担）における試行毎・個人毎のパラツキを合理的に考慮して、ロボットの制御設計を最適化した。本研究では、(A)確率分布モデルの導出、(B)応答曲面による寄与度解明、(C)満足化トレードオフ法の三つを重点的に実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的独自性は、各人の動きやスキルの個性に適したテーラーメイド設計や、標準的・共通的な部分を抽出し万人に適したユニバーサルデザイン手法を確立する点にある。創造性は、多様な試行や人、構造のロボットに関わらず、操作者の能力を最大限かつ持続的に発揮しやすいロボットの制御設計を合理的に決定可能な点にあり、高い波及効果を有する。

研究成果の概要（英文）：Since surgical support robots often differ in structure and form from the human body, intuitive control methods are necessary. However, it is difficult to determine the optimal solution for control design because of variations from trial to trial and from individual to individual due to differences in physicians' physique, intuition, and experience. In this study, the control design of the robot was optimized by rationally considering the variation in surgical accuracy, the doctor's joint energy (physical burden), and brain activity (cognitive burden) from trial to trial and from individual to individual. This study focused on three main areas: (A) derivation of a probability distribution model, (B) contribution elucidation by response surfaces, and (C) a satisfying trade-off method.

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

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のため、国内外で広く普及している。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。ロボットは医師の目と手の代わりに機能しているが、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・構造による性質は「身体性の違い」と呼ばれる。例として、術具の軌道が冗長または窮屈になったり、可動域限界で身体に余計な力が生じたりして、手術の正確性や医師の身体的・認知的負担に影響する。「身体性の違い」は、ロボットの各関節の剛性やポートの位置によって大きく変化する。そのため、身体と異なる構造であっても、直感的に操作できるようにロボットを制御する必要がある。

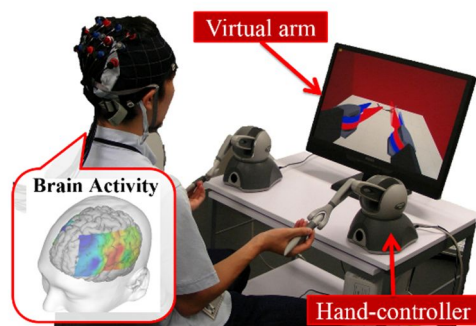


図1 脳計測による評価

申請者はこれまで医師のモーションや脳活動などを解析して、直感的に操作可能な手術支援ロボットを研究してきた(科研費若手、スタート支援、学振 DC、図1)。その結果、操作者の体格差や勤と経験などのスキルの違いによって、手術精度や医師の関節エネルギー(身体的負担)、脳活動(認知的負担)などが大きく変化した。従来研究でも、医師の関節エネルギーや手術精度のバラツキは報告されているが(Guang-Zhong Yang, 2012、Koreeda 2014)、それらのバラツキに適したロボットの制御手法は確立されていない。人間の生体情報には試行毎・個人毎にバラツキが生じるため、誰の身体性にどのように合わせてロボットの制御を最適化すれば良いのかが定まりにくいという核心的な問題がある。

申請者はこれまで医師のモーションや脳活動などを解析して、直感的に操作可能な手術支援ロボットを研究してきた(科研費若手、スタート支援、学振 DC、図1)。その結果、操作者の体格差や勤と経験などのスキルの違いによって、手術精度や医師の関節エネルギー(身体的負担)、脳活動(認知的負担)などが大きく変化した。従来研究でも、医師の関節エネルギーや手術精度のバラツキは報告されているが(Guang-Zhong Yang, 2012、Koreeda 2014)、それらのバラツキに適したロボットの制御手法は確立されていない。人間の生体情報には試行毎・個人毎にバラツキが生じるため、誰の身体性にどのように合わせてロボットの制御を最適化すれば良いのかが定まりにくいという核心的な問題がある。

2. 研究の目的

本研究では、手術精度や医師の関節エネルギー、脳活動における試行毎・個人毎のバラツキを合理的に考慮して、ロボットの制御設計を最適化する。制御変数は、マニピュレータの各関節の弾性係数や減衰係数、ポート位置などである。

3. 研究の方法

次の(A)~(C)を実施した。

(A) VR 環境内で多様な構造や制御系のロボットを複数人・複数回操作し、そのバラツキに最も合う確率分布モデルを明らかにした。

(B) 明らかにした確率分布モデルを基に信頼性設計理論を用いて、関節エネルギーや手術精度に対する各制御変数の影響のしやすさを明らかにした。

(C) 満足化トレードオフ法を用いて、手術精度と関節エネルギー、脳活動のバランスを合理的に決定した最適解を導出し、VR の再現実験で検証した。

4. 研究成果

本研究は、多様な試行や人、構造が人間の身体とは異なるロボットに関わらず、操作者の能力を最大限かつ持続的に

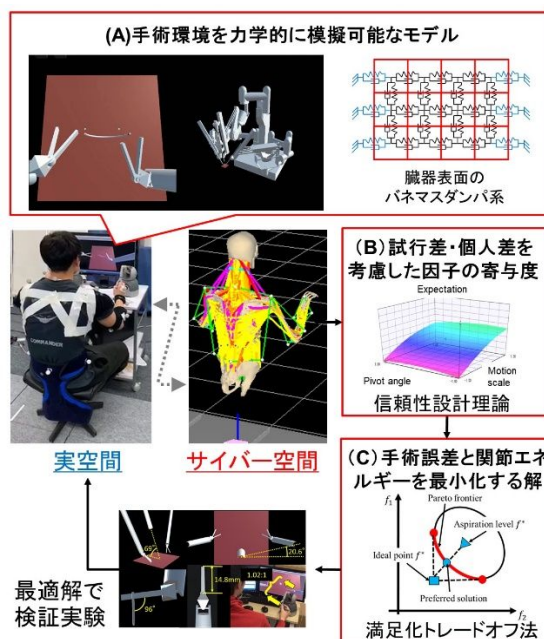


図2 提案手法

發揮しやすいロボットの制御設計を合理的に決定可能となった。本研究から、人の試行毎・個人毎のバラツキに AI を用いて、各人の動きやスキルの個性に適したテーラーメイド設計や、標準的・共通的な部分を抽出し万人に適したユニバーサルデザイン手法を確立できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Sekine Ryo, Miura Satoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of Surgical Simulator Providing Force Feedback from Organs	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the IFToMM World Congress 2023	6. 最初と最後の頁 93~102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-45705-0_10	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Memida Shoko, Miura Satoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Identification of surgical forceps using YOLACT++ in different lighted environments	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC'23)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/EMBC40787.2023.10341025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sekine Ryo, Miura Satoshi	4. 巻 -
2. 論文標題 Combination design of drive mechanism considering delay of surgical robot	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 45th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMCB'23)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/embc40787.2023.10341109	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Memida Shoko, Miura Satoshi	4. 巻 134
2. 論文標題 Identification of surgical forceps using YOLACT++ in different lighted environments	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of I4SDGs Workshop, Mechanisms and Machine Science	6. 最初と最後の頁 127-135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/embc40787.2023.10341025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miura Satoshi, Seki Masaki, Koreeda Yuta, Cao Yang, Kawamura Kazuya, Kobayashi Yo, Fujie Masakatsu G., Miyashita Tomoyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Virtual Shadow Drawing System Using Augmented Reality for Laparoscopic Surgery	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 87 ~ 97
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14326/abe.11.87	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miura Satoshi, Kaneko Taisei, Kawamura Kazuya, Kobayashi Yo, Fujie Masakatsu G.	4. 巻 18
2. 論文標題 Brain activation measurement for motion gain decision of surgical endoscope manipulation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery	6. 最初と最後の頁 1 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/rcs.2371	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miura Satoshi, Takazawa Junichi, Kobayashi Yo, Fujie Masakatsu G.	4. 巻 26
2. 論文標題 Brain?Machine Interface Using Functional Electrical Stimulation and Motion-Related Cortical Potentials Identified by a Support Vector Machine	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE/ASME Transactions on Mechatronics	6. 最初と最後の頁 1013 ~ 1021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMECH.2020.3015207	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miura Satoshi, Takahashi Souhei, Parque Victor, Miyashita Tomoyuki	4. 巻 68
2. 論文標題 Small-Scale Human Impact Anthropomorphic Test Device Using the Similarity Rule	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Industrial Electronics	6. 最初と最後の頁 7188 ~ 7198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIE.2020.3003590	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miura Satoshi, Saito Kazuki, Torisaka Ayako, Parque Victor, Miyashita Tomoyuki	4. 巻 67
2. 論文標題 Shape optimization of a three-dimensional membrane-structured solar sail using an angular momentum unloading strategy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Space Research	6. 最初と最後の頁 2706 ~ 2715
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.asr.2020.12.036	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miura Satoshi, Ohta Ryutarō, Cao Yang, Kawamura Kazuya, Kobayashi Yo, Fujie Masakatsu G.	4. 巻 51
2. 論文標題 Using Operator Gaze Tracking to Design Wrist Mechanism for Surgical Robots	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Human-Machine Systems	6. 最初と最後の頁 376 ~ 383
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/THMS.2021.3076038	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 目見田晶子、三浦智
2. 発表標題 異なる照明環境下におけるYOLACT++を用いた手術用鉗子の識別
3. 学会等名 第32回日本コンピュータ外科学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 目見田晶子、三浦智
2. 発表標題 YOLACT++を用いた手術用鉗子の識別
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2023 (ROBOMECH2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三浦智、Victor Parque、張博、川村和也、藤江正克、宮下朋之、菅野重樹
2. 発表標題 ロボット操作者の身体性に協調するインタフェースの開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加来裕貴、三浦智、宮下朋之
2. 発表標題 手首周りの身体性を取り入れたインタフェースの操作のためのニューラルネットワークの活用に関する研究
3. 学会等名 第22回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関根諒、三浦智
2. 発表標題 手術支援ロボットの機械遅れを考慮した駆動機構の組み合わせの導出
3. 学会等名 LIFE2022
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京工業大学三浦研究室
<https://www.miuralab.org/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------