

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25560243

研究課題名(和文)脳活動計測によるマスタスレイブ型手術支援ロボットの最適化設計

研究課題名(英文)Optimization of Master-slave Surgical Robot by Brain Activity Measurement

研究代表者

藤江 正克 (Fujie, Masakatsu)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：20339716

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：マスタ・スレーブ式のロボットを操作する際の操作者の脳活動を計測し、操作者の感じる直感性を客観的・定量的に数値化してロボットを評価し、その値に基づいて手術支援ロボットを最適化設計するシステムの構築を行う。直感的な操作が可能なロボット手術を実現すべく、手術支援ロボットの各パラメータを変化させた際の脳活動への影響と関連性を解明した。そして、直感的に操作可能なロボットの構造設計案を検討した。

研究成果の概要(英文)：We proposed a novel optimization system for intuitive master-slave surgical robot. We measured the surgeon's brain activation to evaluate the intuitive operability when the surgeon uses the surgical robot. We clarified the relationship between the mechanism of surgical robot and the surgeon's brain activation.

研究分野：医用システム

キーワード：ロボット手術 脳活動解析 マスタ・スレーブ

1. 研究開始当初の背景

国民の五人に一人が 65 歳以上の高齢者である超高齢社会に投入した我が国では、全ての高齢者に等しく質の高い医療を供給すべく、2012 年 4 月から前立腺がん摘出手術でロボット手術の公的医療保険の認可が下り、その普及が進んでいる。例えば、内視鏡下手術支援システム「da Vinci: Intuitive Surgical 社」は欧米を中心に約 2000 台稼働し、前立腺癌摘出手術の約 70%において利用され、2010 年には 278,000 件以上の症例で実施されている。申請者らも、

-脳外科手術分野で世界初の臨床試用に成功した手術ロボット (2000 年日経 BP 技術賞)

-MRI 対応小型手術支援ロボット (「今年のロボット大賞 2007」審査委員特別賞優秀賞) 等の革新的なロボット開発を行い、分野発展へ多大な貢献をしてきた。

ロボット手術では、医師がモニタを見ながら患者体内に挿入されたロボットを間接的に操作して手術するため、視野角の狭さや手の感覚が直接返ってこないなど、人間とロボットとの身体的な違いによって、ロボットの直感的な操作に困難を来す。人間とロボットにおいて高い親和性を実現すべく、人間と同じように三次元で視野情報を取得できる 3D 内視鏡や、人間と同じ手首の自由度を有する 7 自由度のロボットなどが開発されてきた。しかし、それらの技術は操作者の作業成績やアンケートなどの主観的または定性的な指標によってのみ評価されており、操作者がどのように感じているかを直接評価することはできなかった。そのため、直感的に操作できるロボットの開発を目指しているにも関わらず、操作者である医師が感じる直感性を無視した設計が進んできた。この問題を根本的に解決すべく、医師が感じる直感性を定量的・客観的に計測し、ロボットを設計するシステムの開発が必要であるとの着想に至った。

2. 研究の目的

医師が感じる直感性を評価するためには認知学的側面からのアプローチが望ましい。そこで、脳活動計測を用いて認知科学的側面から操作者の直感性を客観的・定量的に数値化し、その値に基づいて手術支援ロボットを最適化設計するシステムを開発する。

3. 研究の方法

本研究で提案する最適化システムの方法論は次である。ロボット操作者の脳活動を計測し、その計測結果をロボットの設計案に組み込むシステムである。

(1) 操作者は仮想空間内でロボットを操作する。

(2) ロボット操作時の操作者の脳活動を計測し、操作中のロボットの機構を評価する。

(3) 評価されたロボットが最適化されるよ

うに設計し直す。

(4) 設計し直されたロボットの機構を仮想空間で再度表現する。

(1) ~ (4) をリアルタイムに繰り返し、操作するほど操作者に適合した手術支援ロボットの設計案を導出する。

4. 研究成果

(1) 平成 25 年度

手術支援ロボットと脳活動の関係性を導出した。手術支援ロボットは実機で計測した場合はバックドライバビリティや伝達関数の遅延などの問題が生じるため、VR 環境による検証を実施した。検証項目としては、手術支援ロボットの内視鏡に対する鉗子のポート位置の設定である。

実験では、ハンドルコントローラを用いて VR 内の仮想アームを操作している際の操作者の脳機能を計測した。脳機能計測装置はロボットに磁気的な影響を及ぼすことのない fNIRS を使用した。実験条件は上記の通り内視鏡に対する仮想アームの取り付け位置 (ポート位置) を変化させた。実験タスクはまずは簡単のために 3 DOF の仮想アームのターゲットに触れるタッチングを選定した。

計測の結果、特定のポート位置で有意に脳活動が賦活することがわかった。有意に脳活動が賦活したポート位置では、人間の眼と手の位置関係と、手術支援ロボットの内視鏡と鉗子のポート位置との関係性が近いことが示唆された。

これらの実験成果から、脳機能計測による直感性評価には、「道具の身体化」と呼ばれる「使用している道具を自身の手足のように知覚し、使いこなす」認知機能が関連していることが考えられる。

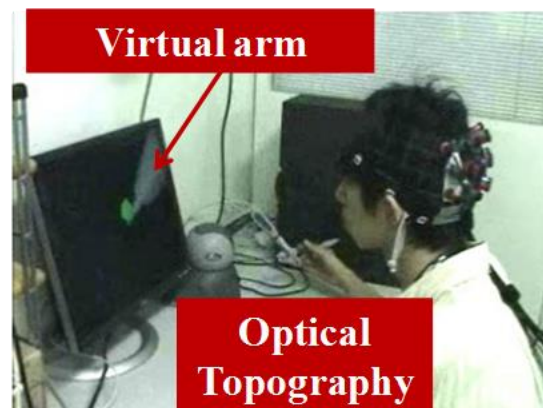


図 1 直感性評価実験

(2) 平成 26 年度

平成 25 年度はタッチングによる簡単な検証を実施した。そこで平成 26 年度はより臨床的なロボット手術への活用を目指し、手術支援ロボットの針掛けを対象とした実験に着手した。タスクを針掛けに選定した理由として、医師からのヒアリングにより針掛けが最も実施困難であるためである。また、

Intuitive Surgical 社の da Vinci が手首の捻りを意識して開発されているように、針掛時における手首の捻りや巧緻性が手術の難度を高めているためである。

実験では、25年度と同じく、ハンドルコントローラを操作している際の VR 環境内のロボットマニピュレータを操作した。脳機能の計測は同じく fNIRS を使用した。実験条件として、25年度の結果から眼と手の位置関係が重要であることが考えられているため、内視鏡の見下ろす俯角を変化させた。鉗子のポート位置は作業平面に対して固定した。

実験の結果、特定の内視鏡の俯角から見下ろして針掛けを実施した際に、脳活動は有意に賦活した。脳活動が有意に賦活した俯角では、奥行き感の認識および手首の捻り易さが関与しているものと思われる。内視鏡の俯角が大きい場合、上から見下ろす形となり奥行き感の認識しにくい。一方、内視鏡の俯角が小さい場合、手首ではなく構造的に肘ごと捻る必要が出てくる。これらの結果から、奥行き感の認識と手首の捻り易さのトレードオフの間で、バランスの保てた条件にて直感的に操作が可能となり、脳活動が賦活したと思われる。

これらの実験成果から、内視鏡に対する鉗子のポート位置、および内視鏡の見下ろす俯角を導出した。ロボットの設計案は、hand-eye coordination の観点から人間の眼と手の位置関係に強く影響した。脳活動が直感的な操作性に応じて変化することを検証した。

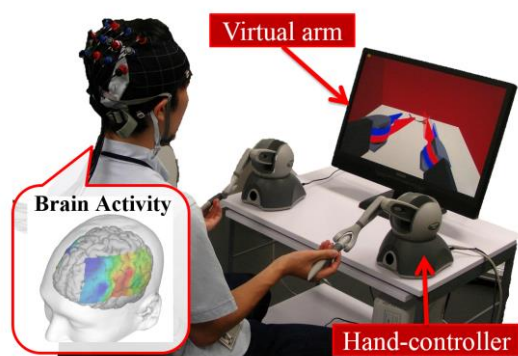


図2 VR内の針掛け実験

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 1 件)

- ① Satoshi Miura, Yo Kobayashi, Kazuya Kawamura, Masatoshi Seki, Yasutaka Nakashima, Takehiko Noguchi, Masahiro Kasuya, Yuki Yokoo, Masakatsu G. Fujie, "Intuitive Operability Evaluation of Robotic Surgery Using Brain Activity Measurement

to Clarify Immersive Reality", Journal of Robotics and Mechatronics (JRM), Vol.25, No.1, pp.162-171, 2013 (査読有)

[学会発表] (計 7 件)

- ① 三浦智, 小林洋, 川村和也, 中島康貴, 藤江正克, "手術支援ロボットの操作性評価を目指した脳内の身体化モデルの構築", 日本機械学会 2014 年度年次大会, J1620301, 東京電機大学, 北千住, Sep.7-10, 2014 (査読無)
- ② 三浦智, 小林洋, 川村和也, 中島康貴, 藤江正克, "直感的な手術支援ロボットの開発を目指した脳内における身体化モデルの構築", Motor Control 研究会, 筑波, Aug. 7-9, 2014 (査読無)
- ③ 三浦智, 小林洋, 川村和也, 中島康貴, 藤江正克, "脳内の身体化モデルに基づいた手術支援ロボットの操作性評価", 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH 2014), 3A1-D01, 富山, May 25-29, 2014 (査読無)
- ④ 曹暘, 三浦智, 劉銓權, 西尾祐也, 是枝祐太, 小林洋, 川村和也, 藤江正克, "単孔式手術支援ロボット操作者の瞳孔位置に基づいた内視鏡マニピュレータ操作システムの開発", 第 14 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 SI2013, 3F2, 神戸, Dec. 20, 2013 (査読無)
- ⑤ Satoshi Miura, Yo Kobayashi, Kazuya Kawamura, Masatoshi Seki, Yasutaka Nakashima, Takehiko Noguchi, Yuki Yokoo, Masakatsu G. Fujie, "Distance between Slave and Endoscope for a Surgical Robot Using Brain Activity Measurement to Evaluate the User's Feeling", The 9th Asian Conference on Computer Aided Surgery (ACCAS13), 80-81, Tokyo, Japan, Sep. 16-18, 2013 (査読無)
- ⑥ 是枝祐太, 三浦智, 西尾祐也, 小林洋, 川村和也, 家入里志, 富川盛雅, 橋爪 誠, 藤江正克, "画像処理を用いた視点変更技術による手術支援ロボットの hand-eye coordination の向上", 第 22 回日本コンピュータ外科学会大会, 東京大学工学部 2 号館 2F-221, 東京, Sep.14-16, 2013 (査読無)
- ⑦ Satoshi Miura, Yo Kobayashi, Kazuya Kawamura, Masatoshi Seki, Yasutaka

Nakashima, Takehiko Noguchi, Yuki Yokoo,
Masakatsu G. Fujie, "Brain Activity
Measurement to Evaluate Hand-Eye
Coordination for Slave and Endoscope in a
Surgical Robot", Proceeding of 2013 IEEE
International Conference on Robotics and
Automation (ICRA'13), pp.4341-4347,
Kongresszentrum, Karlsruhe, Karlsruhe,
Germany, May 6-10, 2013 (Acceptance rate
40%) (査読有)

[その他]

ホームページ等

早大 藤江研

<http://www.fujie.mech.waseda.ac.jp/>

千葉大 川村研

<http://www.tms.chiba-u.jp/~kawamura/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤江 正克 (FUJIE Masakatsu)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：20339716

(2) 研究分担者

小林 洋 (KOBAYASHI Yo)

早稲田大学・理工学術院・准教授

研究者番号：50424817

川村 和也 (KAWAMURA Kazuya)

千葉大学・フロンティア医工学センター・

助教

研究者番号：50449336