

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：57403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500672

研究課題名(和文)手に震えのある振戦患者のペン運びをアシストする装置の開発

研究課題名(英文)Development of assistive interface device for patients with essential tremor

研究代表者

柴里 弘毅 (SHIBASATO, KOKI)

熊本高等専門学校・制御情報システム工学科・教授

研究者番号：60259968

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：振戦とは、筋肉の収縮と弛緩が不随意に繰り返されることにより生じるリズムカルなふるえである。本研究では、振戦患者のQOL向上を目的として、書字アシストシステムを提案する。提案システムは、不随意運動に由来する乱れた筆跡を補正してディスプレイに表示する提示部と、ふるえをペンに伝えないようにする振戦抑制機構で構成される。提示部については、振戦フィルタと描画補完より振戦の影響を軽減するアルゴリズムを提案した。抑制機構については、ペン操作時の運動のモデル化を行い、不随意運動のみを抑制することを目的とした外乱制御手法を考案した。

研究成果の概要(英文)：Tremor is an involuntary, rhythmic, oscillatory movement produced by alternating or synchronous contractions of opposing muscle groups driven by uncoordinated impulses from the central or peripheral nervous systems. The tremor impedes the activities of daily living, such as writing a letter. This study aims to propose an assistive system in order to enhance QOL by suppressing the tremor when patients write characters or draw pictures. The proposed system is composed by two units: a display unit shows a trajectory adjusted by the algorithm decreasing the disturbed handwriting from involuntary movements, a tremor suppression mechanism unit prevents a pen vibrating. Regarding the display unit, an algorithm is proposed which reduces the influence of tremors by compensation of drawing point and a tremor filter. In addition the model which describes suppression mechanism during pen operation had enabled a disturbance control that aims to suppress only the involuntary movements.

研究分野：福祉人間工学

キーワード：福祉用具 支援機器 振戦 QOL アシスティブテクノロジー

1. 研究開始当初の背景

原因不明の理由により筋肉の収縮、弛緩が繰り返される本態性振戦と呼ばれる症状がある。振戦は数種類に分類されるが、本態性振戦はふるえの振動数が 4~10Hz 程度で、発症者は 60 歳以上の高齢者も多いが、20 歳代も発症数が多く二峰性の分布を呈すると報告されている。上肢の症状が進むと書字が困難になるなど、日常生活に支障をきたすことが問題となっている。工学分野における手のふるえに関する研究としては、パーキンソン病における上肢運動機能の定量化などの評価研究がある。また、振戦を加速度センサで測定し、その時系列信号を用いて自己回帰モデルによって表現する数理モデル化などが試みられている。しかし、患者の日常生活支援を目的とする試みは少なく、また、そのための技術も確立されていない。患者の QOL 向上や自己肯定感を高めるために、残存能力を活かす支援が望まれている。

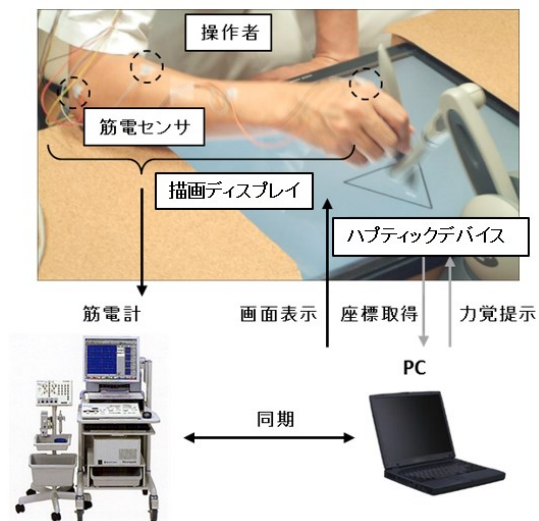
2. 研究の目的

このような状況に対し、振戦患者の筆跡のふるえを軽減する有効性の高い解決策として、申請者がこれまで行ってきた筆跡計測システムを発展させ、新たな描画アシストシステムの構築を行う。提案システムにおいて、描画筆跡からふるえを除去し、補正するためのアルゴリズムを構築する。ペンに力を加えることでふるえを抑制する書字支援システムを制御系設計のスキームに沿って設計し、操作者の随意運動を阻害することなく、振戦に由来する不随意運動のみを抑制する振戦抑制制御則の開発を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 筋電同期型筆跡計測システム

振戦に由来する不随意運動が運筆に与える影響を調査するため、運筆の様子を計測し、周波数解析、ヒストグラム解析を行う。今回構築する計測システムを図 1 に示す。計測システムは、PC、ディスプレイ、ハプティックデバイスによって構成される。ハプティックデバイスには、スタイラスペンが組み込まれており、ペンの先端の座標データを取得しつつディスプレイにリアルタイムで描画することが可能である。この提案システムと外部医療機関が有する筋電計の同期をとるためのインターフェースを付加し、筆跡と表面筋電位の同期計測を可能にした。表面筋電位については、運筆に使用される短母子屈筋、橈側手根伸筋、尺側手根伸筋の 3 ヶ所の計測を行う。短母子屈筋は、親指を屈曲する働きがあり、表面筋電図からペンを握る強さなど親指の筋活動を確認できると予想される。また、橈側手根伸筋と尺側手根伸筋は対照的な働きを持つため、2 つの筋肉の表面筋電図からは手首を動かす際の筋活動を調査できる。



(2) 手振れ補正アルゴリズムの構築

振戦による筆跡の乱れを抑制するにあたり、メモリ上に蓄積した筆跡の座標データをリアルタイムに周波数解析し、運筆とは異なる高周波成分の中から特に振戦に由来すると判断される周波数成分を取り除き、筆跡を再構築し描画することでふるえを抑制した筆跡を表示する。サンプリング周期を短くすることで高速化を図り、表示の遅れを緩和する。今回は、健常者の筆跡と、疑似的に手を振るさせた筆跡の周波数解析の結果を比較し、振戦由来のふるえの特徴抽出を行い、sinc 関数を用いフィルタ処理を行う。また、ヒストグラムを用いた特徴分析も行う。

(3) 疑似振戦発生装置の開発

アシストシステムの構築にあたっては、実行錯誤が不可欠となるが、その都度患者に協力を仰ぐのは難しいと予想される。そこで、振戦患者の特徴を再現する疑似振戦発生装置の開発を行う。モータの振動を手伝って振戦の再現を試みる。モデルの構成は、主振動系質量 M の上面にアクチュエータを取り付け、アクチュエータによりおもり m を加振する。アクチュエータの動作により、主振動系質量をおもりの反作用で揺らす(図 2)。おもりの変位を r 、主振動系質量の変位を x 、粘性減衰係数を d 、ばね定数を k 、状態変数に $z = [x \quad \dot{x}]^T$ 、入力に \tilde{u} を選ぶと、振動系の運動方程式は次式となる。

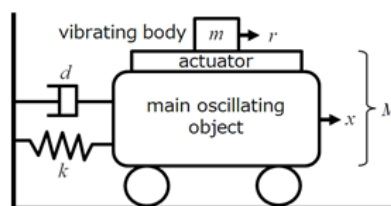


図 2 疑似振戦発生装置モデル

$$M\ddot{x} + d\dot{x} + kx = -m(\ddot{x} + \ddot{r}) \quad (1)$$

$$\begin{cases} \dot{z} = Az + b\ddot{r} \\ y = cz \end{cases} \quad (2)$$

(4) 振戦抑制アルゴリズム設計

書字アシストにあたっては、筆跡データをリアルタイムに処理することで振戦相当の周波数成分を減衰させる描画時の信号処理的アプローチと、スタイラスを経由し運筆を阻害することなく不随意運動を抑制する力制御を検討する。力を制御するための制御器の設計については、ハイパスフィルタを用いて振戦信号と逆位相の入力を印加する制御、振戦振動を外乱と見立て外乱推定オブザーバを用いて誤差を収束させる出力フィードバック制御、フィードバックゲインを切り換えることで状態軌道を切り換え超平面に拘束させつつ平衡点に収束させるスライディングモード制御、以上3手法について検討する(図3)。

4. 研究成果

(1) 表面筋電位と筆跡

構築した筋電同期型筆跡計測システムの評価にあたり、円、三角形、正方形の描画実験を行った。被験者は、開始の合図から10秒間ディスプレイに表示された図形をなぞり続ける。健常者による数字「1」を描くような上から下への運筆時には、短母子屈筋と尺側手根伸筋の活動が観測された。これは、

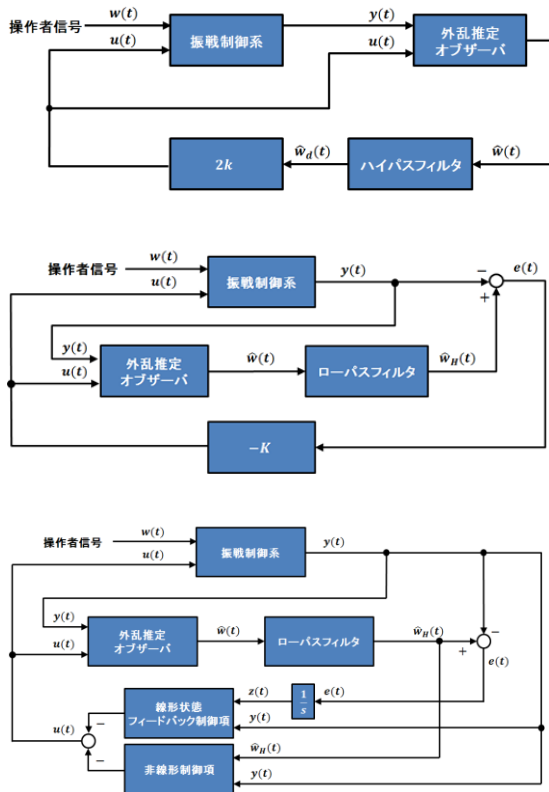


図3 制御手法(上より、逆位相入力制御出力フィードバック制御、スライディングモード制御)

親指に力が入り、手首を掌屈または尺屈する動きがあることを示している。また、漢数字「一」のように左から右への描画時には、短母子屈筋に活動が見られ、親指に力が加えられた様子が観測された。次に、振戦患者に見立て健常者が手を小刻みに震わせながら、同様の描画動作を行った。手を震わせたことで橈側手根伸筋と尺側手根伸筋に継続的に筋電の変化が観測された。ここで、描画面面の x 軸方向、 y 軸方向の速度変化と、橈側手根伸筋、尺側手根伸筋の比較を行った。その結果、尺側手根伸筋のピークの後に描画軌跡の x 軸方向、 y 軸方向の速度に負のピークが現れ、橈側手根伸筋のピークの後に x 軸方向、 y 軸方向の速度に正のピークが現れる様子が観測された。

(2) 信号処理による筆跡補正

健常者が振戦患者を模してペン操作を行い、筆跡の補正する実験を行った。スタイラスにより測定されるペン先の座標データを周波数解析により処理を行うと、低周波部と高周波部の2箇所ピークが観測された。ふるえのない筆跡の周波数解析結果との比較により高周波部のピークが振戦に模した挙動に由来すると判断された。そこで、2つ目のピーク周波数 f_0 を除去する特性を有するフィルタにより補正処理を行った。高周波部全体をカットしないのは、エッジなどの特徴が損なわれるのを防ぐためである。さらに、不要なサンプリング点の除去とベジェ補完によるスムージング処理を付加した。描画中に逐次処理されるため、ふるえによる影響は大幅に改善された。

(3) 疑似振戦発生装置の制御

図1に示される計測システムを用い、手をふるわせ図形描画を行い、周波数解析を行った。これにより、疑似的な振戦特徴が抽出される。得られた周波数情報を逆フーリエ変換することで任意の時間長の時系列データを生成する。これを参照信号とし、図2の主振動系質量が追従するように最適サーボ系設計を行った。シミュレーションの後、主振動系質量の変位を周波数解析した結果、疑似振戦の周波数特性が再現されることを確認した。これにより、振戦患者の筆跡を計測しデータベース化することで、同様のふるえを任意の時間長で再現する加振装置の制御が可能であることが示された(図4)。

(4) 振戦抑制シミュレーション

振戦抑制制御については、逆位相入力制御、出力フィードバック制御、スライディングモード制御の3つの制御則により設計を行った。半径3[cm]の円を描く際の不随意運動の抑制を目的とするシミュレーションでは、振戦による不随意運動を3種類の周波数を組み合わせることで表現し、最大振幅が随意運動の10[%]となるように設定した。書き始めから x

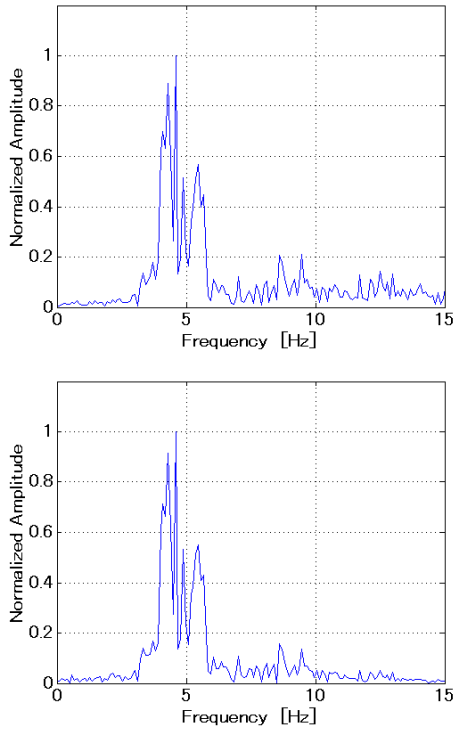


図4 参照信号(上)と再現振動(下)の周波数スペクトル

軸方向に1[cm]移動する間のy軸方向の peak to peak 比 (制御有/制御無) を振動率と定義すると、図5の結果が得られた。

逆位相入力制御では、振動率はパラメータの変化域で概ね40[%]となった。図に示されるように、バネ定数と振戦系質量を変化させると、バネ定数130[N/m]付近で振動率が上昇している。これより、逆位相入力制御は、不随意運動を抑制できるが、特定の状況下ではその効果が著しく損なわれることが分かる。出力フィードバック制御においては、振動率は主にバネ定数に依存し、200[N/m]付近で極小値を持つ。パラメータ変化域内においては、振動率は常に20[%]以下であり、ロバスト性があると判断される。スライディングモード制御では、バネ定数400[N/m]未満のパラメータ空間内において、振動率は15[%]程度であるが、ばね定数と振戦系質量の組み合わせ次第では振動率が極端に増加する。パラメータ変化のロバスト性を重視すると、出力フィードバックによる振戦抑制制御が適切と判断される。このシミュレーションにおける筆跡は図6に示され、振戦由来の外乱を抑制可能であることが示された。

本研究では、振戦研究では議論が未熟であったQOL向上に向けた支援技術を確認、振戦患者の筆跡のふるえを軽減する有効性の高い解決策として、申請者がこれまで行ってきた筆跡計測システムを発展させ、新たな描画アシストシステムの構築を行った。このシステムにおいて、計測実験を行い、周波数解析、速度ヒストグラム解析により、小脳変性症患者の筆跡、健常者、疑似的な振戦の特徴

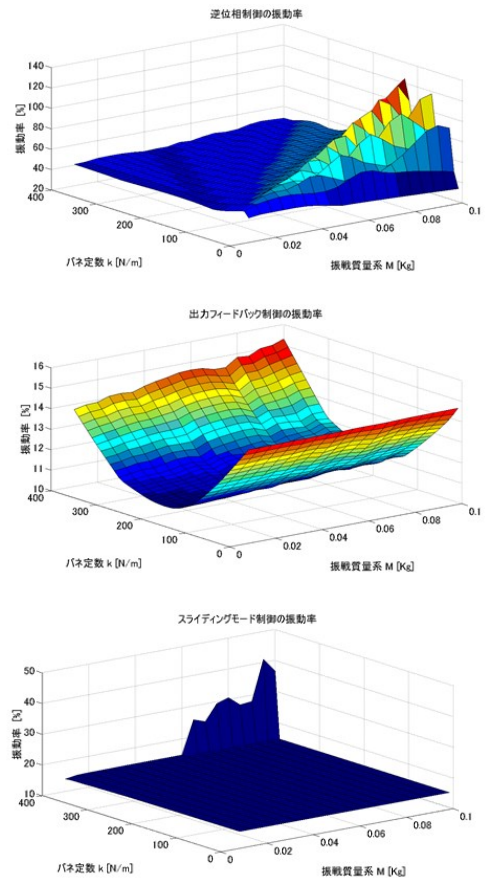


図5 振動率の比較

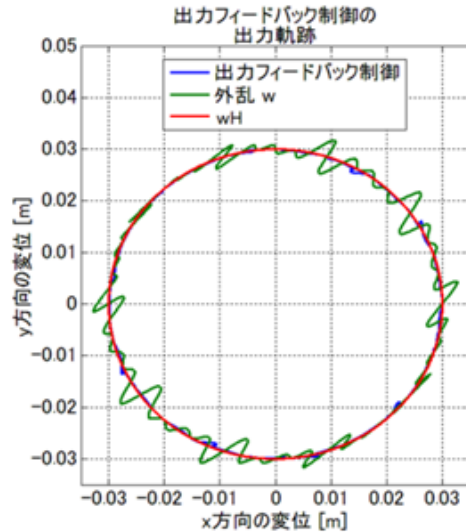


図6 振戦抑制シミュレーション

量の違いを示した [学会発表 ⑥、⑦]。次に、提案システムにおいて、描画筆跡からふるえを除去し、補正するためのアルゴリズムを構築した [学会発表 ⑩、⑫、⑬]。ペンに力を加えることでふるえを抑制する書字支援システムを制御系設計のスキームに沿って設計し、操作者の随意運動を阻害することなく、振戦に由来する不随意運動のみを抑制する振戦抑制系設計手法を提案しシミュレーションにより有効性を示した [学会発表 ⑤、

⑧、⑨、⑩]。さらに、実機開発時の患者の負担軽減のための疑似振戦発生のための装置と手法を提案し、最適サーボ系設計により有効性を示した【学会発表 ①、②、③、④】。この課題達成により、振戦患者の QOL 向上させる書字アシスト機器実現の可能性だけでなく、不随意運動が操作性に影響するテレオペレーションやマスタースレーブシステムでの操作性向上の発展に寄与できると期待される。

5. 主な発表論文等
〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 13 件)

- ① 佐藤 栄高, 楠田 衛, 柴里 弘毅, 大塚 弘文, ウェアラブル振戦発生装置の提案, 電気学会九州支部平成 26 年度高専研究講演会講演論文集, pp.35-36, 2015 年 3 月 7 日, 鹿児島高専(鹿児島県・霧島市)
- ② Mamoru KUSUDA, Koki SHIBASATO, Design of Pseudo Tremor Generator System, 4th International Symposium on Technology for Sustainability, Proceedings p.104, 2014 Nov. 19-21, National Taipei University of Technology (Taipei)
- ③ 楠田 衛, 柴里 弘毅, 振戦挙動の再現を目的とした疑似振戦発生システムの設計, 第 13 回電子情報系高専フォーラム講演論文集, pp.9-12, 2014 年 11 月 8 日, 熊本高専(熊本県・合志市)
- ④ 楠田 衛, 柴里 弘毅, 疑似振戦発生装置のモデル化とシステム設計, 日本人間工学会, 人間工学会九州・沖縄支部第 35 回大会講演集, pp.15-18, 2014 年 10 月 19 日, ユウベルホテル(熊本県・熊本市)
- ⑤ 楠田 衛, 柴里 弘毅, 大塚 弘文, 振戦抑制機構のモデル化と制御則の提案, 電気学会九州支部平成 25 年度高専卒業研究発表会講演論文集, pp.85-86, 2014 年 3 月 8 日, 熊本高専(熊本県・合志市)
- ⑥ 麻生 晋併, 柴里 弘毅, 大塚 弘文, 書字アシストシステムの開発-小脳疾患患者の書字計測と不随意運動の抑制-, 電気学会九州支部平成 25 年度高専卒業研究発表会講演論文集, pp.63-64, 2014 年 3 月 8 日, 熊本高専(熊本県・合志市)
- ⑦ 麻生 晋併, 柴里 弘毅, 中島 雪彦, 寺本 靖之, 西村康平, 筆跡同期型表面筋電位計測システムの構築-振戦患者の書字アシストに向けた計測-, 第 12 回電子情報系高専フォーラム講演論文集, pp.65-68, 2013 年 11 月 9 日, 熊本高専(熊本県・

合志市)

- ⑧ 柴里 弘毅, 大塚 弘文, 今井 勝, 楠田 衛, 1. 麻生 晋併, 振戦抑制のためのモデル化と手書きアシストへの応用, 日本人間工学会, 人間工学会九州・沖縄支部第 34 回大会講演集, pp.7-12, 2013 年 10 月 26 日, 霧島国際ホテル(鹿児島県・霧島市)
- ⑨ 楠田 衛, 大塚 弘文, 柴里 弘毅, 制戦抑制を目的とした制御系設計, 第 4 回福祉情報教育フォーラム, pp19-20, 2013 年 8 月 25 日, 沖縄国際大学(沖縄県・宜野湾市)
- ⑩ 麻生 晋併, 柴里 弘毅, 手振れ補正ペン入力システムの開発, 日本人間工学会, 人間工学会九州・沖縄支部第 33 回大会講演集, pp.22-23, 2012 年 11 月 17 日, 西日本工業大学(福岡県・北九州市)
- ⑪ 永木 雄也, 柴里 弘毅, 大塚 弘文, 外乱推定オブザーバを用いた振戦制御系の一設計手法, 第 11 回電子情報系高専フォーラム講演論文集, pp.139-142, 2012 年 11 月 10 日, 熊本高専(熊本県・合志市)
- ⑫ 麻生 晋併, 柴里 弘毅, 手振れ補正ペン入力に関する研究~信号処理による筆跡の乱れの軽減~, 第 11 回電子情報系高専フォーラム講演論文集, pp.7-10, 2012 年 11 月 10 日, 熊本高専(熊本県・合志市)
- ⑬ 柴里 弘毅, ペン運びアシスト装置の展望と展開, 第 3 回福祉情報教育フォーラム, pp.30-31, 2012 年 9 月 22 日, 釧路市交流プラザさいわい(北海道・釧路市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

- 出願状況(計 0 件)
- 取得状況(計 0 件)

〔その他〕

researchmap 公表論文リスト掲載
<http://researchmap.jp/read0182625/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柴里 弘毅 (SHIBASATO, Koki)
熊本高等専門学校・制御情報システム工学
科・教授
研究者番号: 60259968