

非周期的不随意運動を有する方のための描画支援システム

Drawing Assist System for User with Nonperiodic Involuntary Movement

○中尾智幸 (三重大学 (現 今仙技術研究所)) 坂本良太 (三重大学医学部附属病院) 矢野賢一 (三重大学)

窪田直樹 (岐阜県生活技術研究所) 宮川成門 (岐阜県生活技術研究所)

Tomoyuki NAKAO, Mie University(Now, Imasen Engineering Corporation)

Ryota SAKAMOTO, Mie University Hospital

Ken'ichi YANO, Mie University

Naoki KUBOTA, Gifu Pref. Research Institute for Human Life Technology

Naruto MIYAGAWA, Gifu Pref. Research Institute for Human Life Technology

Abstract: Some individuals with disabilities cannot satisfactorily enjoy activities, such as painting and music, due to involuntary movement. In this study, we developed a drawing assist system for user with nonperiodic involuntary movements that has position correction filter adaptively varying attenuation in change of state of involuntary movement in real-time and error drawing prevention with force control. Our system actually enabled the user to separately express dot and line in user's own sense.

Key Words: Human-machine interface, Pointing device, Cerebral palsy, IIR filter, Force control

1. 緒言

身体障がいを持つ方々の中には、残存機能を活かしながら自己表現の手段や生きがいとして絵画に取り組む方が多い。しかしながら、不随意運動が伴う場合は意志通りに身体をコントロールできず、緻密な作業や力加減の調節が困難となり、絵画表現が制限される。この問題に対しコンピュータを活用して絵を描く際に不随意運動の影響を除去するシステムとして、IBM 社の 1 次のローパスフィルタで不随意運動の周波数を遮断する Assistive Mouse Adapter⁽¹⁾ や、森本らが提案した移動平均法を応用した切り替え補正法⁽²⁾ がある。しかし、強い不随意運動を伴う使用者に対しては、入力デバイスの平面保持の困難さや非周期性、不規則性、強弱の変化といった特徴を考慮に入れる必要がある。著者らは 3 次元入力装置での入力において、移動平均法を応用し合成速度を用いることにより不随意運動の強さに応じて減衰性能を変化させる可変型フィルタを提案し、不随意運動を伴う使用者が点表現の絵を描くことを実現した⁽³⁾。移動平均法に基づく手法の場合、十分な減衰性能を得るために移動平均時間を長く設計する必要がある。しかしながら、長い移動平均時間は、操作性の悪化や絵画表現の制限という問題を招く。また、不随意運動を伴う操作において、意図しない描画である誤描画が発生し、不随意運動の顕著化や表現への悪影響に繋がる。

そこで本研究では、非周期的で複雑な不随意運動を伴う使用者を対象とし、不随意運動の影響を減衰する位置補正フィルタと過剰な操作動作を抑制する誤描画防止制御を提案し、不随意運動を伴いながらも意図的な線と点の表現を可能とする描画支援システムの開発を目的とする。

2. 不随意運動の特徴

不随意運動は律動性があるか否かで分類される。律動性のある不随意運動として代表的な振戦は、その種類と誘発原因によって周波数が明らかである。また、律動性のない不随意運動の代表例にアテトーゼがあり、随意運動を行おうとすると運動量をコントロールできず過剰な運動が起こる⁽⁴⁾。中井は脳性麻痺児の把持運動と手関節運動の分析を行い、アテトーゼの特徴として伸筋群の過緊張状態が強いことや動きと力が瞬間的であること、力加減のコント

ロールが難しいことを示した⁽⁵⁾。菅原らは EMG による上肢運動機能評価を行い、脳性麻痺者の上肢機能の不円滑さは伸筋群と屈筋群のバランスが悪さが原因であることを明らかにした⁽⁶⁾。協働筋や拮抗筋の働きについて、反応の遅れによる行き過ぎや、筋肉の収縮時間の延長により逆方向への跳ね返りや反復といった反復拮抗運動の障害がある⁽⁴⁾。このようにアテトーゼの特徴に主動筋と協働筋、拮抗筋のバランスの悪さがある。

3. 描画支援システム実験環境

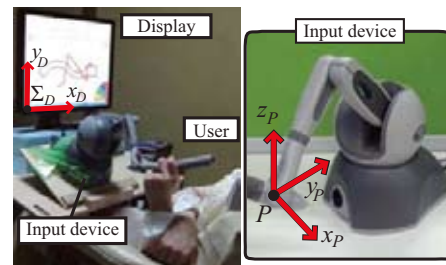


Fig. 1 Experimental setup for drawing assist system

不随意運動による平面保持と持続的把持の困難さを考慮し、再把持の容易さと抵抗力発揮可能な利点から、入力デバイスに Fig. 1 右に示す PHANToM Omni⁽⁷⁾ を用いた。ペン状の操作部が接続された 3 自由度のジンバルの回転中心点 $P(x_P, y_P, z_P)$ を入力点とした。操作部を左右 (x_P) 方向に動かすとカーソルは左右 (x_D) 方向に動き、操作部を前後 (y_P) 方向に動かすとカーソルは上下 (y_D) 方向に動く。操作部の上下 (z_P) 方向は描画判定に活用される。現在と任意秒前との z 座標差を用い、描画開始条件は式 (1) で表すように操作部の振り下ろし時に実行し、描画終了条件は式 (2) で表すように操作部の振り上げ時に実行するように設定した。ペイントツールに Art Rage を用いた⁽⁸⁾。

$$\Delta z = z_P(t) - z_P(t - 0.5) \leq -0.05 \quad [\text{m}] \quad (1)$$

$$\Delta z = z_P(t) - z_P(t - 0.19) \geq 0.03 \quad [\text{m}] \quad (2)$$

4. 適応不随意挙動減衰フィルタによる位置補正制御

我々は不随意運動の影響で運動量をコントロールできない場合でも行き過ぎを防止し、速度変化に応じて不随意運

動の影響を減衰する適応不随意挙動減衰フィルタを提案してきた⁽⁹⁾。サンプル*i*における補正点座標 $G(i)$ は、式(3)に示すように、1サンプル前の補正点座標 $G(i-1)$ と現在の入力点座標 $P(i)$ の計測値、減衰重み係数 $w(i)$ を用いて更新される。 $w(i)$ は式(4)と設計され、不随意運動が強くなり合成速度 $V_s = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$ が高くなるほど低い値となり、減衰効果が高くなる。

$$G(i) = (1 - w(i))G(i-1) + w(i)P(i) \quad (3)$$

$$w(i) = \alpha_{ul} \beta(i) D_{th}^{\frac{V_s(i)}{v_{th}^{v_{th}}}} \quad (4)$$

α_{ul} 、 $\beta(i)$ 、 D_{th} はそれぞれ0より高く1以下の値をとる。 α_{ul} は弱い不随意運動時や操作動作の速度が低い時の減衰度を設計する上限係数である。 $\beta(i)$ は描画判定の振り下ろし時と振り上げ時に減衰度を高めるための係数である。 D_{th} は合成速度 V_s が遷移速度 v_{th} のときの減衰重み係数の値を設計する遷移減衰度である。本システムの利用者であるアトーゼ型脳性麻痺者1名の動作解析より、強い不随意運動は $V_s \geq 0.20$ [m/s]として表れたため $\alpha_{ul}=0.0030$ 、 $v_{th}=0.20$ [m/s]、 $D_{th}=0.11$ と設計し適用した。

5. 過剰動作による誤描画を防止する抵抗力制御

実際の絵のような線と点が複合する表現の全てのユーザーテストにおいて、線を表現しようとしたときに意図せず点になってしまう誤描画(以下「点化誤描画」)が多く発生した。点化誤描画は主動筋と協働筋、拮抗筋のアンバランスが原因であると考えられ、第二章で記載した特徴を実際に使用者の操作動作においても確認でき、過剰な振り降ろしにより振り上げ動作と描画終了判定が誘発されていた。

点化誤描画を防止するために、入力デバイス発揮力を制御することにより描画開始における過剰な振り下ろし動作と意図しない振り上げ動作そのものを抑制する手法を提案する。発揮力は、入力点座標 $P(i)$ に関するマス・ダンパ・バネ系に基づく抵抗力コントローラで制御され、各軸の抵抗力 $\mathbf{F}(i)=(F_x(i), F_y(i), F_z(i))$ を式(5)~(7)に示す。

$$\mathbf{F}(i) = \mathbf{E}_{fc}(i)(\mathbf{M}\dot{\mathbf{q}}(i) + \mathbf{D}\dot{\mathbf{q}}(i) + \mathbf{K}\mathbf{P}_{\mathbf{K}}(\mathbf{q}(i))) \quad (5)$$

$$\mathbf{P}_{\mathbf{K}}(i) = \begin{bmatrix} x_{ds}(k) - x_p(i) \\ y_{ds}(k) - y_p(i) \\ z_{ds}(k) - d_z - z_p(i) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{E}_{fc}(i) = \text{diag}(E_{fc_{xy}}(i), E_{fc_{xy}}(i), E_{fc_z}(i)) \quad (7)$$

ここで $\mathbf{q}(i) = (x_p(i), y_p(i), z_p(i))^T$ 、 $\mathbf{K}=\text{diag}(K_x, K_y, K_z)$ 、 $\mathbf{D}=\text{diag}(D_x, D_y, D_z)$ 、 $\mathbf{M}=\text{diag}(0, 0, M_z)$ である。描画開始座標 $P_{ds}(k) = (x_{ds}(k), y_{ds}(k), z_{ds}(k))$ は*k*回目の描画開始判定が実行された瞬間の座標である。各値は、 $K_x=K_y=40$ 、 $K_z=-20$ 、 $D_x=D_y=D_z=4.0$ 、 $M_z=0.10$ 、 $d_z=-0.15$ [m]と設計した。また、表現中に必要以上の負荷が意図的な点表現と線表現を阻害することを防止するために、式(7)に示される効果時間関数 $E_{fc_{xy}}(i)$ 、 $E_{fc_z}(i)$ により $E_{fc_z}(i)$ は描画開始から0.60秒間、 $E_{fc_{xy}}(i)$ は描画開始から1.5秒間と一定時間とした。

点化誤描画への防止効果を評価するS字をなぞるの実験を行った。1セット3なぞりを3セットの条件において、点化誤描画が発生した回数は抵抗力なしの結果Fig.2について(A)22回、(B)10回、(C)3回であり、抵抗力なしの結果Fig.3について全て0回であった。抵抗力について、 F_z は描画開始から0.60[s]まで動作とは逆方向に発揮され、過

剰な振り降ろし動作と振り上げ始めに対するブレーキ力を発揮した。また、抵抗力ありの場合でも意図的な点表現が可能かを評価する点打ち実験を行なった。一つの円につき点は一つ、点を打つ円の順番は自由という条件において、結果のFig.4に示すように使用者は円形枠内にて描画開始および描画終了が行うことができ、点打ちを達成した。

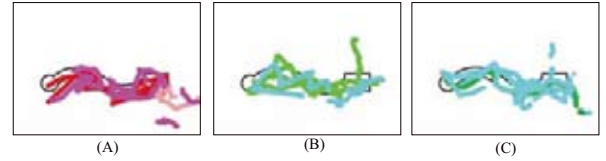


Fig. 2 Ogee tracing results without force control

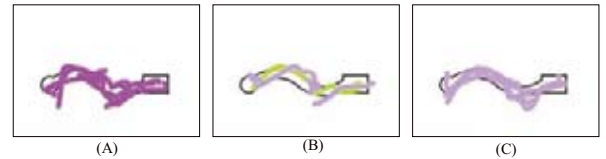


Fig. 3 Ogee tracing results with force control

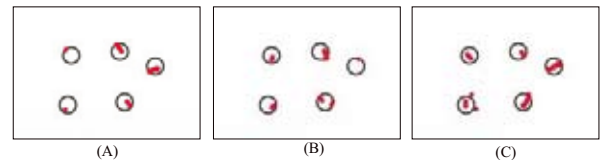


Fig. 4 Pointing results within five circles with force control

6. 結言

本研究では、適応不随意挙動減衰フィルタと抵抗力コントローラによる誤描画防止制御を統合した描画支援システムを開発した。本システムの支援により、不随意運動により線表現が点表現となる誤描画を防止し、使用者が意図的に線と点を表現し分けることを実現した。

参考文献

- (1) J. L. Levine, M. A. Schappert, A mouse adapter for people with hand tremor, IBM SYSTEMS JOURNAL, pp. 623-624, 2005.
- (2) 森本大資, 縄手雅彦, 渡辺哲也, 福間慎治, 運動障害を持つ人のための手ぶれ補正機能つきペイントツール, 電子情報通信学会 信学技報, pp. 59-64, 2004.
- (3) 中尾智幸, 青山寛明, 矢野賢一, 宮川成門, 窪田直樹, 堀畑聡, 緊張性アトーゼ型脳性麻痺の一患者を対象とした描画支援システムの開発, 日本機械学会論文集 C編, vol. 77, no. 780, pp. 3047-3057, 2011.
- (4) 梶龍兒, 不随意運動の診断と治療, p. 72, 診断と治療社, 2006.
- (5) 中井滋, 脳性まひ児の把握運動と手関節屈伸運動に関する分析的研究, 特殊教育学研究, vol22, no. 1, pp. 7-15, 1984.
- (6) 菅原正信, 高浜正人, 脳性麻痺上肢の運動分析, 総合リハビリテーション, vol.7, no. 3, pp. 193-200, 1979.
- (7) PHANTOM Omni Haptic Device, <http://www.sensable.com/haptic-phantom-omni.htm>
- (8) Art Rage, <http://graphic.e-frontier.co.jp/artrage/>
- (9) T.Nakao, H.Matsui, K.Yano, N.Kubota, N.Miyagawa and S.Horihata, Drawing Assist System for Reducing Effects of Involuntary Movements, Journal of Biomechanical Science and Engineering, vol. 6, no. 5, pp. 362-377, 2011.