

テーブルトップ型ディスプレイにおける前腕を活用したインタラクションの評価

佐藤 健^{*1} 足立 隆将^{*1} 柴田 史久^{*1} 木村 朝子^{*1}

Evaluation of Interaction Techniques Utilizing Forearm on Tabletop Displays

Ken Sato^{*1}, Takamasa Adachi^{*1}, Fumihisa Shibata^{*1} and Asako Kimura^{*1}

Abstract - In previous work, we proposed interaction techniques using the forearm on a tabletop display. One of the interaction techniques that we proposed uses the forearm on a tabletop display to move data. In particular, we proposed three interaction techniques which utilize the forearm. In this paper, we focus on the interaction technique using forearms as broom and obstacle from them. The broom interaction allows the user to move all data that are contacted when sliding the forearm. The obstacle interaction allows the user to block moving data that was flicked, for instance, by the other hand. In this paper, we conducted an experiment to confirm the usability of these interaction techniques.

Keywords: forearm, interaction techniques, tabletop display, evaluation and experiment

1. はじめに

テーブルトップ型ディスプレイに対するインタラクション手法は、これまでに数多く提案されているが[1-14], その多くは手や指によるタッチジェスチャを用いたものと、ペンやノブ、ボタンのような対話デバイスを用いたものに大別することができる。これらのタッチジェスチャ、対話デバイスによる操作は共に、操作対象に対する動作や利用する道具に着目し、それらの特徴を電子作業へ応用したインタラクション手法である。これに対して我々は、普通の卓上での作業全般に見られる前腕を卓上に置く動作に着目し、これを積極的に活用したインタラクションを提案した[15] (図 1)。しかし、提案した前腕を活用したインタラクションに対して詳細な評価は行っておらず、有用性は確認できていない。そこで本研究では、インタラクションの利用状況を想定した実験を行うことで、前腕を活用したインタラクションを評価し、有用性を確認する。なお、本稿では腕の肘から手首までの部分を前腕と定義する。

本稿では、まず 2 章で関連研究に対する前腕を活用したインタラクションの位置づけを確認し、3 章で我々の提案する前腕を活用したインタラクションについて説明する。そして、4, 5 章でインタラクションを評価するための実験の内容と結果について述べる。

2. 関連研究

手や指を用いたインタラクションに関する研究として、Wu ら[7]は実世界における手の動作に着目し、テーブル



図 1 前腕を活用したインタラクション
Fig.1 Interaction for use of the forearm

トップ型ディスプレイにおいて複数の指先や手全体を用いたジェスチャ操作を実現している。Cao ら[8]は卓上面に接触している手や指先の形状をタッチ入力として認識し、データを操作するインタラクションを提案している。

対話デバイスを用いたインタラクションに関する研究として Ulmer らの metaDESK[9]は、実際に手で掴むことができる実物体をテーブル上に配置し、それを利用することでデータを操作するシステムを提案している。Weiss らの SLAP Widgets[10]では、シリコンやアクリルで作成されたスライダ、ノブ、スイッチなどを卓上に置き、メニューの切り替えや値の調整操作を行い、実世界で使用する道具を対話デバイスとして利用している。

一方で、前腕によって生じるオクルージョン領域を考慮した研究も提案されている。Vogel ら[13]は、手や前腕によって隠蔽される領域を分析し、手や前腕によってデータが隠蔽されない位置にデータを再提示する手法を提

*1: 立命館大学大学院 情報理工学研究科

*1: Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

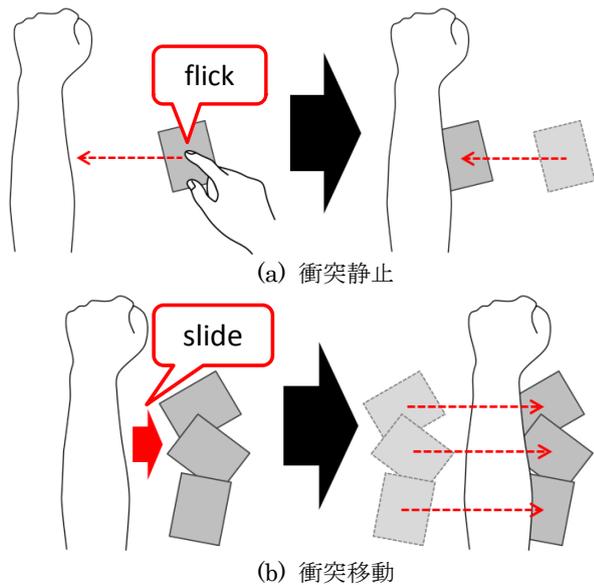


図2 前腕を活用した衝突によるインタラクション
Fig.2 Controlling object movement using forearm.

案した。この研究では、見せたいデータを隠蔽してしまうといったように、前腕をマイナスの存在と見なしているが、これとは対照的に、我々の提案するインタラクション方法は、前腕をインタラクションに積極的に活用している。Tang らの Three's Company[14]では、同一の作業領域を共有する複数台のテーブルトップ型ディスプレイによって構成される協調作業において前腕によるオクルージョンの影を互いの卓上面に表示し、作業を支援する手法を提案しているが、前腕をインタラクション自体に積極的に利用しているわけではない。

そこで我々は、普段の卓上で作業全般に見られる前腕を卓上に置く動作に着目し、これをテーブルトップ型ディスプレイにおけるインタラクションとして積極的に活用する方法を提案している。

3. 前腕を活用したインタラクション

我々は前腕を利用した3つのインタラクション方法(ストレージ、衝突、範囲指定)を提案している。その中で本稿では、前腕とデータの衝突を利用した衝突静止・衝突移動に関するインタラクションに注目する。図2に衝突静止・衝突移動のインタラクションの操作を示す。以下、これら2つのインタラクションについて説明する。

【衝突静止】

卓上に静止して置かれている前腕に、移動しているデータが衝突した場合に、その位置でデータが静止する。ユーザは離れた場所に表示されているデータをドラッグすることなく、単にフリックを行うだけで前腕が置かれている場所までそのデータを移動させることができる。

【衝突移動】

卓上に置いた前腕によって払う、またはかき集める動作を行い、前腕と接触しているデータを前腕の動きに応

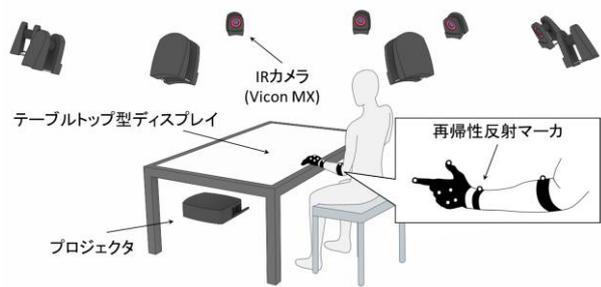


図3 システム構成
Fig.3 System configuration

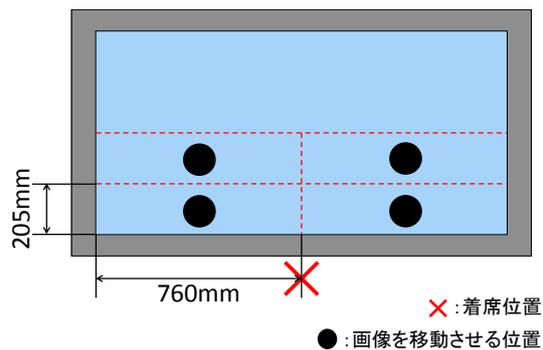


図4 テーブル分割と着席・画像を移動させる位置
Fig.4 The tabletop is divided into four area and location of seating and moving the images.

じて移動させることができる。ユーザはこのインタラクションを使用することにより複数のデータを1度に移動させることができる。

提案したインタラクションは、観察実験をもとに設計を行った。この観察実験では、前腕を卓上に置くタイミングや頻度など、実世界の作業において普段行っている前腕の動作の特徴について確認した。そして、この観察結果に基づいてインタラクションを設計・提案し、各インタラクションに対して運用を行った結果、好評を得た。しかし、有用性を確認するための詳細な実験は行っていなかった。そこで本稿では、提案したインタラクションの有用性を確認するための評価実験を行う。

4. 実験

4.1 目的

データを端によけて作業領域を確保したり、手元にデータを集めたりといった、データを移動させる状況を想定し、前腕とデータの衝突を利用した衝突移動、衝突静止のインタラクションの有用性を確認する。

4.2 システム構成

図3にシステム構成を示す。タッチ検出、前腕の位置検出は Vicon モーションキャプチャシステムによって行う。前腕・指に装着したマーカをカメラでトラッキングすることで、前腕・指の位置を推定する。また、左右の前腕の識別も認識可能である。卓上の表示は机に内蔵されたプロジェクタによってリアプロジェクションを行っている。表示領域の大きさは 1520x820 [mm] である。

4.3 内容

テーブルトップ型ディスプレイ上に画像（8cm×4cm）を10枚表示し、被験者に表示した画像を全て指定エリアに移動させる。提案したインタラクションは、ユーザがテーブルトップ型ディスプレイの前に座り、前腕の届く範囲にあるデータに対して行うことを想定している。そのため、被験者はテーブルトップ型ディスプレイの中心位置の前方に配置された可動式の椅子に座った状態で実験を行う。また、テーブルを手前から半分のエリアを幅760 [mm]、奥行き205 [mm] 毎に4つのエリアに分割し、画像を移動させる位置の目安として目印を表示する（図4）。なお、必要に応じて立って作業することも許可する。

被験者は、「ドラッグ」「手のひら」「衝突静止」「衝突移動」の4種類の移動方法を体験する。「ドラッグ」は、画像を指でタッチし、そのままの状態指を移動することでタッチした画像を移動させる方法である。また、「手のひら」は手のひらを卓上に置き、手のひらと接触している画像を手のひらの動きに応じて移動させる方法である。各移動方法に関して、以下の項目を評価する。なお、評価項目は、アンケート方式で1～5の5段階（1: 悪, 5: 良）で評価する。

【評価項目】

- ・ 正確性：画像を正確に移動できたか
- ・ 効率性：画像を効率的に移動できたか
- ・ 好感度：積極的に使いたいと感じたか
- ・ 疲労感：画像を移動する際、疲労を感じたか

4.4 実験手順

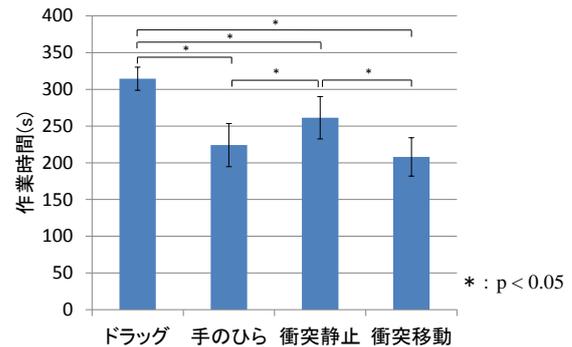
以下に実験の手順を示す。

- (1) テーブルトップ型ディスプレイ前方に配置した椅子に座らせる
- (2) 画像を1つのエリアに表示する
- (3) 実験者が画像を移動させるエリアを指定する
- (4) 被験者は、指定エリアまで画像を移動させる
- (5) 手順2～4を12試行（4エリア×3試行）繰り返す
- (6) 手順1～5を4つの移動方法に対してランダムな順番で実施する
- (7) 評価とコメントを聴取

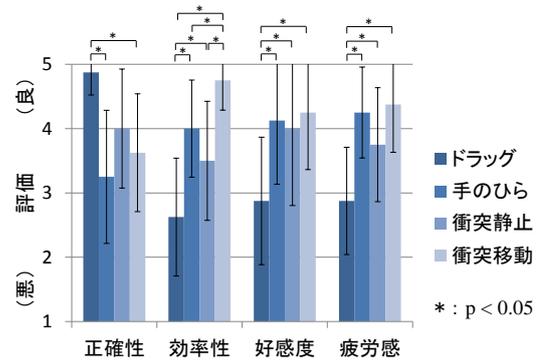
5. 結果と考察

実験結果を図5に示す。各移動方法について実験手順2～5でかかった作業時間の全被験者の平均と標準偏差を同図(a)に示す。縦軸は作業時間の平均を、横軸は選択方法を表している。また、主観評価の全被験者の平均と標準偏差を同図(b)に示す。縦軸は主観評価の平均を、横軸は各評価項目を表している。作業時間と主観評価の結果に対して、それぞれフリードマン検定とウィルコクソンの符号順位和検定を用いて、有意差検定を行った。

実験結果より、作業時間の短い移動方法が、評価が高



(a) 作業時間



(b) 5段階評価

図5 実験結果

Fig.5 Result of the experience

い傾向にあった。特に「衝突移動」は、効率性、疲労感、好感度の評価項目で高い評価を得る結果となり、「1回の動作で、多くの画像を移動できるため、便利である」との意見が多数の被験者から得られた。これは、1回の動作で複数の画像の移動が可能であるため、効率性が良く、疲労感が少なかったからであると考えられる。また効率性では、全ての移動方法に対して有意差が見られた。このことから、「衝突移動」が効率性の高い移動方法であることがわかる。一方、正確性については、指定エリアまで移動可能であるが、細かい位置に移動できないため、「衝突移動」は他の移動方法と比べて正確性に劣る結果となったと考えられる。しかし、手元の作業領域を確保するために大雑把に複数の画像を作業領域外に移動させるといった状況では、移動先の細かい位置などは考慮する必要がないため、このような状況においては、「衝突移動」を有効に活用することができると考えられる。また、「衝突移動」が高い好感度を得た理由として、他の移動方法と比べて正確性に劣るが、効率が良く、疲労が少ないため、被験者がこのインタラクションを使っていきたいと感じたからであると考えられる。

次に「衝突静止」に関しては、被験者によって意見が分かれる結果となった。正確性については、「画像を1枚ずつ操作するため、正確に移動ができた」という意見が得られた。これは、「ドラッグ」と比べて、移動する位置まで手を移動させないため正確性は劣るが、画像を1枚

ずつ操作するため、正確に移動できたと感じる被験者が多かったと考えられる。効率性については、「小さい動作で移動できるため効率が良い」などの肯定的な意見と「画像を1枚ずつしか操作できないため、効率が悪い」などの否定的な意見が得られた。また、疲労感についても同様に、「動作が小さいため疲労感が少ない」などの肯定的な意見と、「1枚ずつしか移動できないため、疲労感がある」などの否定的な意見の両方が得られた。これらは、被験者によって効率性や疲労感を感じる要因が違うため、意見が分かれたと考えられる。しかし、手元に必要な画像を1, 2枚だけ移動させるといった状況においては、「衝突静止」は有効に活用できると考えられる。これらの結果から、「衝突静止」は、少数の画像を移動させる場合や小さい動作で画像を移動させることを重視するユーザが利用する場合に好まれるインタラクションであると考えられる。

一方、「手のひら」は、接触領域が狭く、移動中に接触した画像が接触領域から漏れてしまう場合があったため、正確性の評価が低くなったと考えられる。しかし、「衝突移動」より一度に移動可能な画像枚数は少なくなるが、一度に複数の画像が移動可能であるため、効率性と疲労感の評価項目で高い評価を得たと考えられる。また、好感度については、「衝突移動」「衝突静止」との明確な差が出なかった。これは、正確性に劣るが、効率が良く、疲労が小さいため、被験者が使っていきたいと感じたからであると考えられる。また、手のひらは前腕よりデータとの接触領域は狭いが、日常生活において物体を移動させる際、前腕よりも手のひらを使用することが多く、使い慣れた操作であるため、「手のひら」はユーザにとって使いやすい移動方法であると考えられ、「衝突移動」と「衝突静止」との明確な差が出なかったと考えられる。以上の結果より、「衝突移動」「衝突静止」の2つのインタラクションは、データを移動する場合における1つの選択肢として、ユーザが状況によって使い分けることによって有効に利用可能であると考えられる。このことから、「衝突移動」「衝突静止」が有用であると確認できた。

6. むすび

本稿では、先行研究にて提案した前腕とデータの衝突を利用したインタラクションについて、利用状況を想定した評価実験を行うことで、有用性を確認した。その結果、「衝突移動」「衝突静止」共に、データを移動させる際の1つの選択肢として、ユーザが状況によって使い分けることで有効に利用できることがわかった。

今後の展望として、前腕を利用したストレージや範囲指定といったインタラクションの有用性を確認する評価実験を実施する。今回は、前腕とデータの衝突を利用したインタラクションの有用性を確認したが、前腕を利用し

たストレージや範囲指定といったインタラクションが有用であるのかは確認できていない。そのため、それぞれのインタラクションの利用状況を想定した実験を行うことで、前腕を利用したストレージと範囲指定のインタラクションの有用性を確認する。

7. 参考文献

- [1] Yoshikawa, T., et al.: HandyWidgets: Local Widgets Pulled-out from Hands; ITS 2012, pp. 197 - 200 (2012).
- [2] Banovic, N., et al.: Design of Unimanual Multi-Finger Pie Menu Interaction; ITS 2011, pp. 120 - 129 (2011).
- [3] Lopes, P., et al.: Augmenting Touch Interaction Through Acoustic Sensing; ITS 2011, pp. 53 - 56 (2011).
- [4] Leitner, J., and Haller, M.: Geckos: Combining Magnets and Pressure Images to Enable New Tangible-object Design and Interaction; CHI 2011, pp. 2985 - 2994 (2011).
- [5] Marquardt, N., et al.: Designing user-, hand-, and handpart-aware tabletop interactions with the TouchID toolkit; ITS 2011, pp. 21 - 30 (2011).
- [6] Hilliges, O., et al.: Interactions in the air: adding further depth to interactive tabletops; UIST 2009, pp. 139 - 148 (2009).
- [7] Wu, M., and Balakrishnan, R.: Multi-finger and whole hand gestural interaction techniques for multi-user tabletop displays; UIST 2003, pp. 193 - 202 (2003).
- [8] Cao, X., et al.: ShapeTouch: Leveraging Contact Shape on Interactive Surfaces; TABLETOP 2008, pp. 129 - 136 (2008).
- [9] Ullmer, B., and Ishii, H.: The metaDESK: Models and Prototypes for Tangible User Interfaces; UIST 1997, pp. 223 - 232 (1997).
- [10] Weiss, M., et al.: SLAP Widgets: Bridging the gap Between Virtual and Physical Controls on Tabletops; CHI 2009, pp. 481 - 490 (2009).
- [11] Hinckley, K., et al.: Pen + Touch = New Tools; UIST 2010, pp. 27 - 36 (2010).
- [12] Brandl, P., et al.: Occlusion-Aware Menu Design for Digital Tabletops; CHI 2009, pp. 3223 - 3228 (2009).
- [13] Vogel, D., and Balakrishnan, R.: Occlusion-Aware Interfaces; CHI 2010, pp. 263 - 272 (2010).
- [14] Tang, A., et al.: Three's Company: Understanding Communication Channels in Three-way Distributed Collaboration; CSCW 2010, pp. 271 - 280 (2010).
- [15] 足立他: テーブルトップ型ディスプレイにおける前腕を活用したインタラクションの評価; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2013 論文集, pp. 897 - 904 (2013).