

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

足立 隆将*1 小浦 誠矢*1 柴田 史久*1 木村 朝子*1

Interaction techniques for use of the forearm on tabletop displays

Takamasa Adachi*1, Seiya Koura*1, Fumihisa Shibata*1 and Asako Kimura*1

Abstract - In this study, we propose interaction techniques for use of the forearm on direct input surfaces such as tabletop displays. We define the forearm as the part of the arm between the elbow and the hand. On direct input surfaces, operations are usually performed with only the user's hands and fingers. We here focus on the use of the forearm in this activity and describe techniques by which users can thereby manipulate objects on the desktop. Our study offers new possibilities for use of the forearm in operating tabletop displays.

Keywords: forearm, interaction techniques, tabletop display, data storage, and menu device

1. はじめに

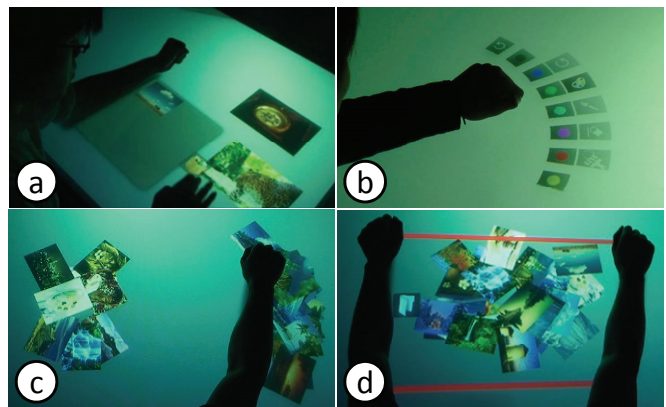
テーブルトップ型ディスプレイに対するインタラクション手法は、これまでに数多く提案されているが[1]-[14], その多くは手や指によるタッチジェスチャを用いたものと、ペンやノブ、ボタンのような対話デバイスを用いたものに大別することができる。これらのタッチジェスチャ、対話デバイスによる操作は共に、操作対象に対する動作や利用する道具に着目し、それらの特徴を電子作業へ応用したインタラクション手法である。

これに対して本研究では、全く新しい観点から、普段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する(図1)。なお、本稿では腕の肘から手首までの部分を前腕とする。

本稿では、まず2章で関連研究に対する本研究の位置づけを行い、3章で前腕を活用するインタラクションを設計するために、卓上での作業で前腕がどのように置かれているか、また利用されているか観察実験を行う。そして、実験結果から4つの活用方法を提案する。4章では、テーブルトップ型ディスプレイ上でユーザが無理なく前腕を活用できる作業領域を検証するための実験について述べる。5章、6章では、4章で提案したインタラクション手法を実装し、運用を行う。

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、Wら[7]は実世界における手の動作に着目し、テーブルト



(a) 前腕をストレージのように扱い、データの格納・取り出しに利用, (b) 卓上に前腕を置くことで手の周りにメニューを表示, (c) 実世界において卓上の物体を前腕で動かすように、前腕にぶつかったデータを移動, (d) 両前腕を活用して範囲を指定し、範囲内にあるデータを整理

図1 前腕を活用したインタラクション

Fig.1 Examples of proposed interactions for use of the forearm.

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では、実世界で実物に触れる感覚で情報やデータを操作することができるタンジブルな対話デバイスとして、UlmerらのmetaDESK[9]は、実際に手で掴める実物体をテーブル上に配置し、それを利用することで電子的な情報を操作でき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

*1: 立命館大学大学院 情報理工学研究所

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

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。Hinckley らの Pen + Touch[11]では、ペン型の対話デバイスを導入し、ペンを把持していない方の手の動作をジェスチャ操作として取り入れ、ペン型の対話デバイスとジェスチャ操作を組み合わせたインタラクションを提案している。

一方、前腕に着目したインタラクションもいくつか提案されている。Brandl らの Occlusion-Aware Menu[12]は、卓上面に接触したペンの先端と把持する手を検出することで、前腕とペンの向きを推測し、扇形のメニューを手や前腕によって隠れない位置に提示することで、視認性と操作性に優れたメニューを実現している。Vogel ら[13]はペン型デバイスを把持している前腕によって隠蔽される領域をモデル化し、前腕によって隠蔽されたデータを適切な位置に再提示する手法を提案している。また、提案するモデルを利用し、ユーザに応じてオクルージョンの領域のサイズなどを調整することも可能である。

しかし、これらの研究は、前腕によってテーブルトップ型ディスプレイに表示されたデータが隠蔽されるといったオクルージョンを考慮した情報の提示手法の提案である。

本研究では、見せたいデータを隠蔽してしまう、手指のジェスチャ認識時に誤操作を招くといった、これまでマイナスの存在として扱われてきた前腕を、インタラクションに積極活用する点に新規性がある。

前腕によって生じるオクルージョン領域そのものをインタラクションに利用する研究も提案されている。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領域を影として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。これらの研究では、インタラクションにおいて前腕によるオクルージョンをユーザからの入力として利用しているが、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。

また、テーブルトップ型ディスプレイを対象とした研究以外でも、前腕を活用した研究がいくつか行われている。Harrison らの Skinput[15]では、皮膚（前腕）を入力面として使用し、腕の肘付近に装着した振動を計測するデバイスによって、皮膚をタップした際の腕を通して伝わる振動を解析することにより、前腕上の指による大まかなタップの位置を検出する技術を提案した。身体に装着した小型のプロジェクタによってメニューを前腕上に投影し、前腕上における入力操作といったインタラクションを実現している。また Olberding ら[16]は、1.5inch の小型ディスプレイを複数連結させたデバイスを前腕に装着することで、情報提示領域として前腕の活用方法を提案している。しかし、これらの研究成果をそのままテーブルトップ型ディスプレイのインタラクションとして活

用することは難しい。

そこで本稿では、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へのインタラクションとして積極的に活用する方法を提案、実装する。

3. 前腕を活用したインタラクションの提案

テーブルトップ型ディスプレイにおいて、前腕に適したインタラクションを提案・設計する上で、実世界での卓上作業における前腕の特徴を観察し、その結果にもとづいてテーブルトップ型ディスプレイにおける前腕を活用するインタラクションを提案する。

3.1 内容

書類の閲覧、道具の利用といった実世界での卓上作業を行う際の動作を観察し、この動作から卓上作業における前腕の特徴について観察した。特に、次の点について注目した。

- ・前腕を卓上に置く動作がどの程度見られるか
- ・どのような状況・目的で前腕を卓上に置くのか

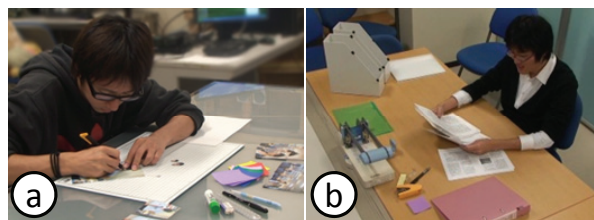
異なる作業・被験者においても、前腕の特徴に関して同様の傾向が見られるかを確認するため、2種類の作業を実施させた（図2）。なお、各実験の被験者数は作業1が7名、作業2が4名の計11名である。それぞれの作業内容は以下の通りである。

- ・作業1：ペンやはさみなどの道具を用いて写真を加工し、フォトアルバムを作成（図2(a)）
- ・作業2：複数の資料を読み、実験者に指定された条件に該当する書類を分類（図2(b)）

3.2 観察結果

(1) 作業中、被験者が作業の進め方を考えている際に卓上に前腕を置くことが観察された。また、実験を開始する前に実験者が被験者に対して実験内容を説明している際に被験者が前腕を卓上に置きながら説明を聞くことが見られた。この時点では、被験者は特に作業を行っておらず、無意識的に前腕を置いていた。

(2) 特に道具を利用して作業する際に、全ての被験者が卓上に前腕を置くという傾向が見られた。これは、道具を持ち替えるため、また、前腕を置くことでより安定した



(a) フォトアルバムを作成する作業（作業1）
(b) 書類を読み分類する作業（作業2）

図2 作業風景

Fig.2 Design study using forearms.

状態で作業を行うためと考えられる。

(3) 卓上にある物体を前腕で払い退けるといった動作が見られた。これは、作業で不要になっている物体が複数ある場合に、それらをひとつひとつ手で把持して移動させるのではなく、一度に全てを移動させるために広い接触面を持つ前腕を使ったと考えられる。

(4) 全ての被験者において資料を読む、作業対象を眺める際に両前腕で囲まれた領域を注視することが観察された。観察によって、卓上での作業中に前腕を頻繁に置くという結果が得られた。よって、前腕を卓上に置くという動作は自然な動作であるという結論に至った。

3.3 前腕を活用したインタラクションの提案

以上の観察結果から、我々は前腕を活用するインタラクション方法として、以下の4つを提案する。

結果 (1) より、前腕は卓上においてユーザがアクセスのしやすい場所に置かれていると考えられる。そこで、卓上に置いた前腕を、データを格納することができる「ストレージ」として利用する (図 3 (a))。

結果 (2) より、卓上作業における道具の持ち替えが既存コンピュータにおけるメニューを用いた機能の切り替えに相当すると考え、前腕を活用したインタラクションとして「メニュー」を提案する (図 3 (b))。

結果 (3) より、前腕とディスプレイに表示されたデータとの衝突を考え、前腕をほうき、または障壁のように利用する。例えば、前腕で払うようにデータを移動、移動しているデータを前腕に衝突させることで静止、ストレージに格納できる (図 3 (c), 図 3 (d), 図 3 (e))。

結果 (4) より、意図的にある領域を両前腕で囲むことで範囲の指定を行い、指定範囲内にあるデータを操作 (例

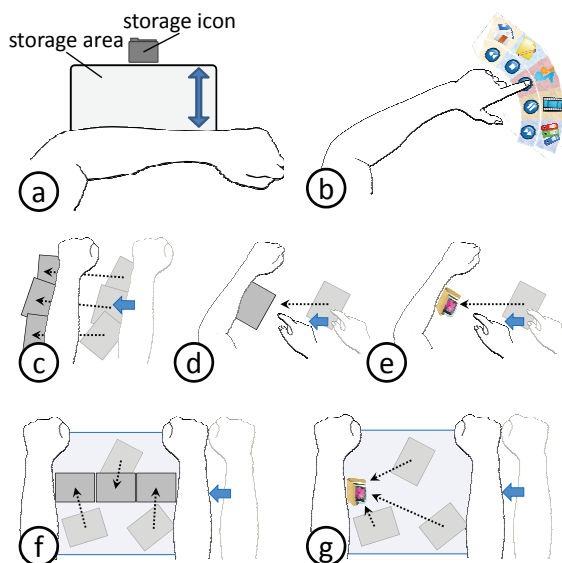


図 3 前腕を活用したインタラクションの提案
Fig.3 Proposed interaction techniques using the forearms.

えば、データの整理) の対象とするインタラクションを提案する (図 3 (f), 図 3 (g))。

4. 実験

4.1 内容・目的

次に、テーブルトップ型ディスプレイは広い作業領域を有しているが、その中でもユーザが無理なく前腕をインタラクションに活用できる、前腕を活用したインタラクションに適した作業領域を検証する。実験項目は次の通りである。

- (A) 前腕の届く範囲の確認
- (B) 特定の場所へ前腕を置くのにかかった時間
- (C) 特定の場所に前腕を置いた際の疲労感

被験者はテーブルトップ型ディスプレイの中心前方に配置した固定式の椅子に座った状態で実験を行う。実験内容は、テーブルトップ型ディスプレイにランダムに表示される黒点に対し、被験者が前腕の任意の位置でその点に触れるというものである (図 4)。表示する黒点は、テーブルトップ型ディスプレイを 10cm 毎の格子状に分割し、その格子点の中から左右の前腕のどちらかを用いても明らかに届かないと思われる点を除いた 83 箇所ランダムに表示する。実験の被験者数は、右利きが 7 名、左利きが 3 名の計 10 名である。表 1 に、本実験の被験者の身長、座高、右前腕の長さ (右手首から右肘までの部分)、左前腕の長さ (左手首から左肘までの部分) の平均値、最大値、最小値を示す。実験は、「右前腕を使用」「左前腕を使用」「各試行に対して両前腕から片方を自由に選択して使用」の 3 条件で行う。実験手順は以下の通り

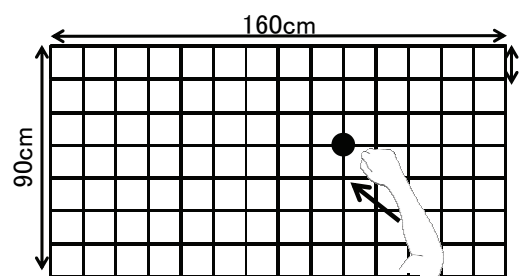


図 4 実験内容
Fig.4 The task of the experiment.

表 1 被験者身体情報
Table 1 Participants data.

	身長	右前腕の長さ	左前腕の長さ
最小値	165cm	24.5cm	24cm
最大値	183cm	29cm	28cm
平均値	173.5cm	26.4cm	26.3cm

である。

- (1) テーブルトップ型ディスプレイの前に座り、前腕を膝の上に置く
- (2) 黒点がランダムに1点表示されるので、表示された黒点を前腕の任意の位置で触る。もし黒点に前腕が届かない場合は「届かない」と回答する
- (3) 前腕を再度膝の上に置く
- (4) 手順(2)～(3)を249試行(83点×3試行)繰り返す
- (5) 図5の各領域に対して、前腕の疲労感について評価させる

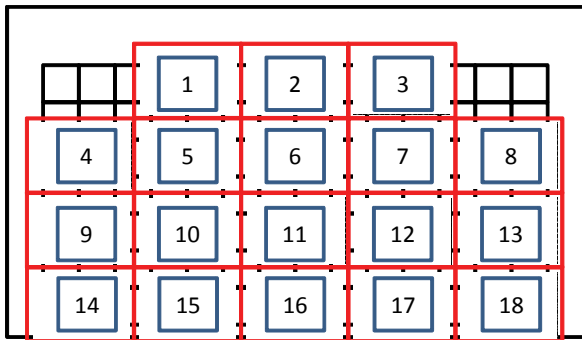


図5 疲労感の評価領域

Fig.5 Regions evaluated tiredness.

- (6) 手順(1)～(5)を「右前腕を使用」「左前腕を使用」「各試行に対して両前腕から片方を自由に選択して使用する」の3条件について行う

前腕の位置は、5.1節で述べるシステムを利用して前腕の位置を自動抽出し、記録する。前腕の疲労感の評価は、テーブルトップ型ディスプレイの領域を18箇所に分け、領域ごとに評価させた。また、領域ごとの疲労感の評価が使用した前腕により異なるのか調べた(図5)。疲労感の評価は、アンケート方式で7段階評価(疲労感がほとんどないという場合は1を、疲労感が最も大きい場合は7を選択)により行う。

4.2 結果

実験結果を図6、図7、図8に示す。これらのバブルグラフは図4に示すテーブルトップ型ディスプレイを視覚的に表現している。横軸は、テーブルトップ型ディスプレイの横幅を表現し、中心位置を0としている。縦軸は、テーブルトップ型ディスプレイの奥行きを表している。被験者は、これらの図の座標(0,0)の前に座っている。

以下、実験項目(A)～(C)に分けて結果を説明する。

【実験項目(A)】

前腕の接触可能領域は、各点における前腕の接触回数により評価する。図6は被験者10名の各点における接触

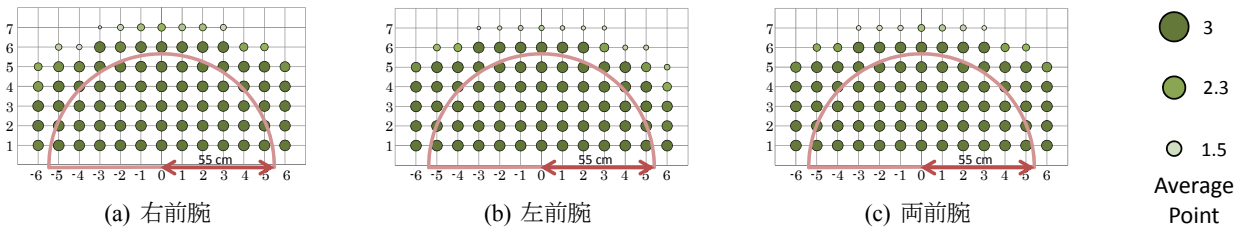


図6 被験者10名の平均接触領域

Fig.6 Average of each participant in reachable regions.

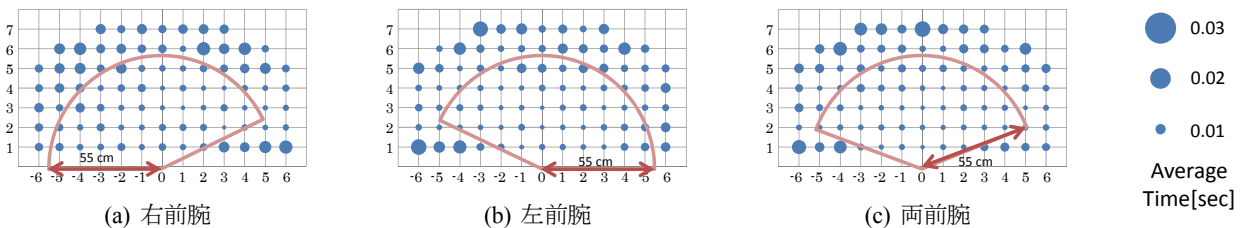


図7 被験者10名の平均配置時間

Fig.7 Average time of each participant for reaching each dot.

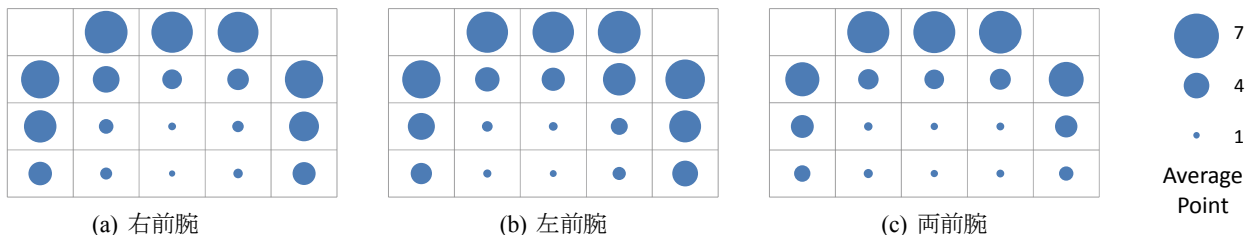


図8 被験者10名の作業領域における疲労感

Fig.8 Average of each participant's tiredness.

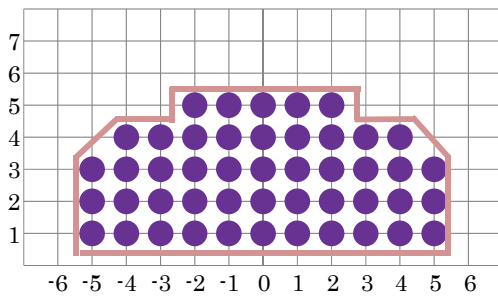


図9 両前腕に適した作業領域

Fig.9 The area that allows users to use their forearms consciously without load.

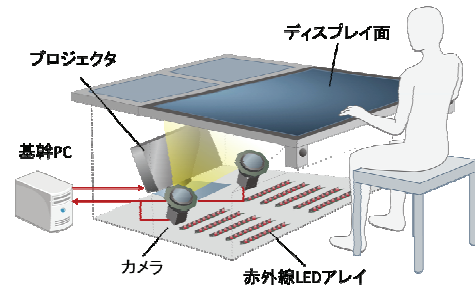


図10 システム構成

Fig.10 System configuration.

回数の平均値を接触可能領域として表している。また、バブルの大きさで接触回数を表現している。接触回数が多くなるにつれバブルのサイズは大きくなり、接触回数が少なくなるにつれバブルのサイズは小さくなる。バブルの大きさは、最大値 3、最小値 0 で表現されている。被験者間で傾向に差はほとんどなかった。図 6 から以下のことがわかる。

- ・前腕とテーブルトップ型ディスプレイとの接触は、被験者から前腕の配置領域が離れるほど接触割合が低下する。前腕の接触可能領域は、距離55~65cmを境に接触割合が下がる傾向がみられる

【実験項目 (B)】

図 7 は被験者 10 名の各点における接触までの時間の長さの平均値をバブルグラフで表している。バブルの大きさと黒点に前腕を接触させるのにかかった時間を表現している。バブルが大きいほど、配置に時間がかかっていることを示している。図 7 から以下のことがわかる。

- ・被験者から黒点が離れるほど前腕の平均配置時間が長くなるが、距離55cmを境に前腕の配置時間が特に長くなる傾向がみられる
- ・被験者から見て最も手前の領域で、使用した前腕と同じ側の黒点に対する前腕の配置時間が長くなる傾向がみられる

【実験項目 (C)】

図 8 は、被験者 10 名の各領域における疲労感の評価値平均をバブルグラフで表している。バブルの大きさが疲労感の高さに対応しており、バブルが大きいほど疲労感が高いことを示している。図 8 より以下のことがわかる。

- ・各領域における疲労感の平均値は、前腕の配置領域が被験者の着座位置から離れるほど高くなり、特に領域1~4、8~9、13でこれが顕著に表れている
- ・中央の領域である5~7、10~12、15~17では疲労感が少ない
- ・近距離であるがテーブルの角の領域である14や18の領域では、他の近距離領域よりも疲労感が増す

4.3 前腕でのインタラクションに適した領域

以上の結果から、前腕を活用したインタラクションに

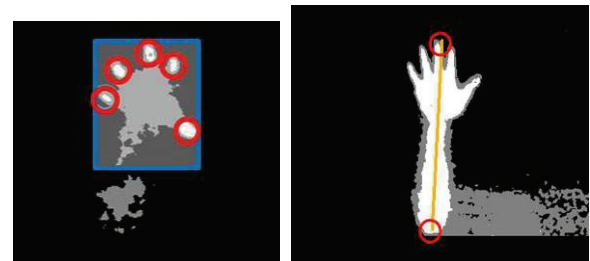


図11 指先(左)と前腕(右)の検出

Fig.11 Detection of finger-tip and forearm.

適した作業領域は以下のようになった。まず、実験項目 (A) (B) の結果より、全ての被験者が1度も触れられなかった点は作業領域から除外した。実験項目 (C) の結果より、疲労感の平均が4を超える領域も作業領域から除外した。これらを総合すると、図9に示す領域であれば、前腕を活用したインタラクションを有用に用いることができると考えられる。

5. 実装

5.1 システム構成

図 10 にシステム構成を示す。テーブル内部は、映像を投影するプロジェクタ(日立製作所製 CP-A100J)と卓上面に接触する物体を撮影するための複数の赤外線LEDを組合せたアレイ、赤外線透過フィルタが装着された2台のカメラ(SONY製 XC-E150)で構成される。椅子に着座した際にテーブルの下に足を入れて操作できるよう、赤外線LEDとカメラは卓上面に対して斜めに設置している。卓上面に手や腕が接触すると、接触点で赤外光が反射し白い影としてカメラに写る(図11)。2台のカメラから得られる画像を統合し、処理することで、テーブル全体から指の領域、腕の領域を検出している。

5.2 ストレージ

4.3 節の結果を踏まえ、3.3 節で提案したインタラクションの実装を行った。以下、各インタラクションについて説明する。

【ストレージ】

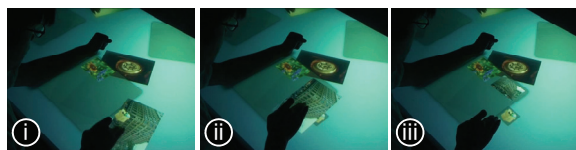
ストレージは、写真や書類といったデータを、ストレージを介して前腕に格納することができるインタラクションである。図12にストレージ機能の操作を示す。



(a) ストレージ表示 (横方向)



(b) ストレージ表示 (縦方向)



(c) データ格納

図 12 ストレージインタラクション

Fig.12 Interaction with data storage in the forearm.

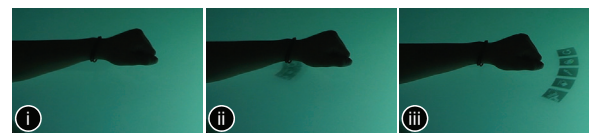
前腕を卓上に置くことで前腕に沿ってストレージ上のアイコンが表示される。アイコンをタップすることで前腕内からストレージが引き出される。この際、前腕の置く向きに応じてストレージが表示される。アイコンを再度タップするとストレージを前腕へ戻すことができる。

ストレージへのデータの格納方法はストレージの状態によって異なる。ストレージが引き出されている状態であれば、データをストレージ内にドラッグアンドドロップすることで格納することができる。ストレージが引き出されていないときは、アイコンを2秒間長押しすることでストレージがアクティブ状態となり、データをアイコン上にドラッグアンドドロップすることで、データをストレージに格納することができる。アイコンを再度タップすることで、アクティブ状態は解除される。

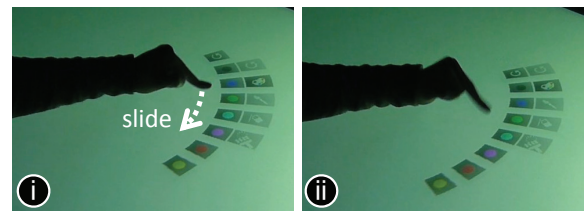
【メニュー】

前腕を卓上に置くことでメニューを表示することができるインタラクションである。図 13 にメニュー機能の操作を示す。メニューの外観としてパイメニューを使用した。これは、卓上に置いた前腕の稼働領域（肘を中心点として前腕の長さを半径とする円弧）内にメニュー項目を配置することで、どのメニュー項目に対しても容易にアクセスが可能で操作しやすいメニューを実現するためである。

メニューは、前腕を卓上に置くことで、置いた前腕の位置を基準に前腕に格納されていたパイメニューが表示される。前腕を卓上から離すことでパイメニューが前腕に格納される。メニュー項目はタップによって選択する。前述の通り、卓上面に置かれた前腕と表示メニュー間の領域をジェスチャ領域とし、その領域で指先をスライドさせることで、スライドさせた向きにメニューをスライドすることができる。この機能は、メニュー項目が多い



(a) メニュー表示



(b) メニュー項目のスライド

図 13 メニューインタラクション

Fig.13 Interaction with a menu appearing from the forearm.

場合に利用する。

【衝突】

前腕をほうき、または障壁になぞらえて、テーブルトップ型ディスプレイに表示されたデータを操作するインタラクションである。このインタラクションは、前腕でデータを払うように移動させ、移動しているデータは前腕に衝突することで静止する。

図 14 (a) は、卓上に散乱している複数のデータに対して前腕を用いることで一度に移動している様子である。このインタラクションは作業領域に不要なデータが複数散乱している際に、それらを一掃することに利用できる。

図 14 (b) では、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。

図 14 (c)、図 14 (d) はデータを前腕に格納するためのインタラクションである。本研究では、2つのデータ格納方法を実装した。1つ目は、卓上にある格納したいデータを掻き集めるように前腕を動かすことで、前腕と重なった全てのデータをアクティブ状態にしたストレージへ格納する方法 (図 14 (c))、2つ目は前腕に向けてデータをフリックして、前腕と衝突したデータをアクティブ状態にしたストレージへ格納する方法である。このインタラクションを利用すると、ストレージから離れた場所に表示されているデータをドラッグ&ドロップすることなく、単にフリックを行うだけで簡単に格納することができる (図 14 (d))。なお、卓上に置いた前腕に沿って表示されるストレージアイコンに対して一定時間以上の長押しを行うことで、そのストレージをアクティブ状態にすることができる。また、アイコンをもう一度タップすることでアクティブ状態を解除することができる。

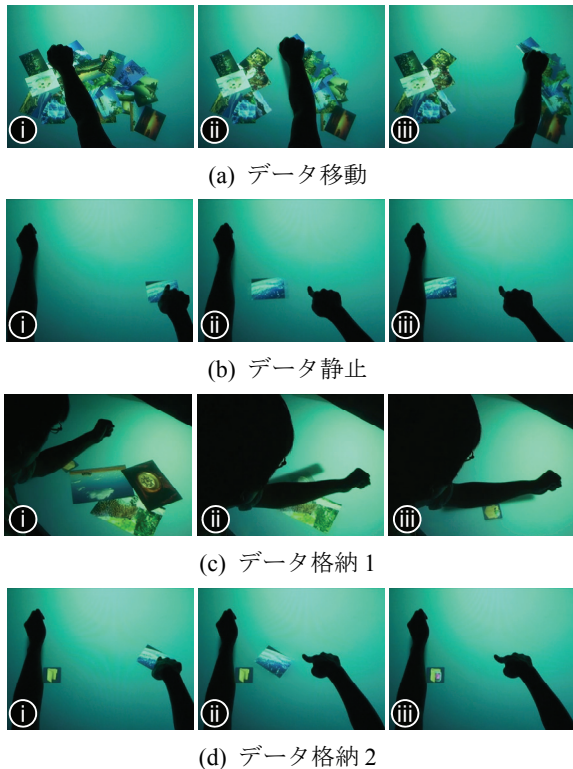


図 14 衝突によるインタラクション

Fig.12 Controlling Object Movement Using Forearm.

【範囲指定】

これは、両前腕で囲まれた領域を指定範囲とし、この範囲内のデータに対して操作を行うインタラクションである。例えば、図 15 (a) のようにデータが複数散乱している際に、それらを囲むように両前腕で範囲を指定することで、選択範囲内に存在するデータの大きさ・向きを整え、整列させることができる。

範囲指定を行うジェスチャには、卓上に両前腕を置き、先に置いた前腕に向かって、後に置いた前腕を一定距離近づけるといった一連の動作を採用している。このような 2 段階のジェスチャを採用した理由は、両前腕を卓上に置くという動作は、卓上作業において自然に行われる動作であるため、単に両前腕を置いた場合と、範囲指定を行いたい場合を明確に区別し、両前腕を卓上に置いただけでは範囲指定のジェスチャと誤判別しないようにする必要があったと考えたためである。操作時には、両前腕をテーブルに置くとまず両腕で囲まれた範囲が赤線で表示され、両前腕を近づけるにつれ、線の色を徐々に青色に変え、最終的に指定された範囲を青線となることで、範囲指定が行われたことを示している。

このジェスチャを使って、ストレージがアクティブな状態で、卓上にある格納したいデータを囲むように両前腕で囲み、範囲指定ジェスチャを行うと、指定範囲内に存在する全てのデータを前腕のストレージへ格納することができる (図 15 (b))。

これらのインタラクションを組み合わせることで、例

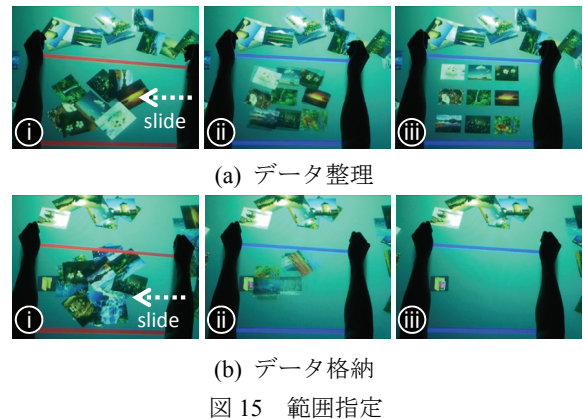


図 15 範囲指定

Fig.13 Area Specification Interaction Using Both Forearms.

えば、テーブルトップ型ディスプレイ上にデータが散乱している際に、データの分類作業の補助として利用できると考えている。

6. 運用

実装したインタラクションについて、あらかじめ実験者がデモンストレーションを行った上で体験者に自由に体験させた。使用中、体験者の振る舞いをビデオ撮影し、インタラクションに関して体験者から意見を聴取した。なお、ストレージとメニューに関しては体験者 5 名、衝突と範囲指定に関しては上記とは別の体験者 5 名で運用を行った。なお、全ての体験者は右利きで、体験の制限時間は設けない。

【ストレージ】

全ての体験者からストレージ操作について自然であるという意見を得た。これは、前腕を卓上に置くだけでアクセス可能な位置にストレージが表示されるので、スムーズにデータの格納・取り出しを行うことができたためであると考えられる。また、体験の際、全ての被験者が左前腕を卓上に置き、データ選択やアイコンのタップなどの操作を全て右手で行っていた。これは、全ての体験者が右利きであり、無意識のうちにデータ選択やアイコンのタップなどの主要な操作を利き手で行っていたためと考えられる。

【メニュー】

全ての体験者から前腕を卓上に置くことでメニューを表示し、前腕を卓上から離すことでメニューを非表示にするインタラクションを自然に行うことができたとの意見を得た。また、メニューを利用した機能の切り替えに関して、前腕を卓上に置くだけで、指先ですぐにアクセス可能な位置にメニュー項目が表示されるので、スムーズに機能の切り替えを行うことができたとの意見も得た。

また、ストレージの体験時と同じように、全ての体験者が左前腕を卓上に置き、メニュー操作以外の全ての操作を右手で行っていた。このことから、卓上に置かれた

前腕が左右のどちらであるかを識別し、異なる機能を左右の前腕に割り当てることで、より前腕を効果的に活用することができると考えられる。

【衝突】

多くの被験者から、前腕をほうきや壁のように使用してデータを移動・静止させるインタラクションに関して、実世界での卓上と同じようにデータを移動・静止させることができるので便利という意見が得られた。また、これを利用したデータの格納に関して、ドラッグアンドドロップで格納する方法と比べて、ドラッグでデータをストレージまで移動させずに済むので、手順が少なくてすみ良いといった意見が得られた。

【範囲指定】

両前腕を用いて範囲指定を行うことに関して、両腕を置くだけで範囲指定を行うことができるので便利という意見が得られた。また、このジェスチャを利用して複数のデータを整列・格納するインタラクションに関しても、簡単なジェスチャを行うだけで、複数のデータを一度に整列・格納することができるので便利といった好意的な意見が多数得られた。

7. 結論

本稿では、テーブルトップ型ディスプレイにおいて前腕を積極的に活用したインタラクション手法を提案した。

提案したインタラクションは以下の通りである。

- ・ストレージ：卓上に置いた前腕に沿ってストレージが表示され、データの格納・取り出しなどを行うインタラクション
- ・メニュー：卓上に前腕を置くと手の周囲にメニュー項目が配置され、タッチジェスチャによってメニュー選択、切り替えるインタラクション
- ・衝突：前腕をほうきや障壁のように利用してディスプレイに表示されているデータを移動・静止させるインタラクション
- ・範囲指定：意図的にある領域を両前腕で囲むことで範囲の指定を行い、両腕に囲まれた領域内にあるデータを操作の対象とするインタラクション

本論文では、これらのインタラクションの実装、運用結果について述べた。多くの体験者から提案手法によって自然に操作を行うことができたとの意見を得た。この結果から、提案手法はテーブルトップ型ディスプレイにおいて新たなインタラクションの可能性を提示することができたと考えている。

今後の展望として、複数のユーザの前腕を識別することによって個人の識別を行うことが挙げられる。これにより、異なるユーザの前腕を活用し、ユーザ間でデータの共有や受け渡しといったインタラクションを行うこと

ができると考えられる。

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., 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., 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., 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., 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] Harrison, C., et al.: Skinput: Appropriating the Body as an Input Surface; CHI 2010, pp.453-462 (2010).
- [16] Olberding, S., et al.: AugmentedForearm: Exploring the Design Space of a Display-enhanced Forearm; AH 2013, pp.9-12 (2013).
- [17] Bailly, G., et al.: MultiTouch Menu (MTM); IHM 2008, pp.165-168 (2008).