

# マルチディスプレイ環境のための タブレットの向きに連動するポインティング法

## A Pointing Method with Orientation of a Tablet for Multiple Display Environments

小俣 昌樹†      小坂 真裕‡      今宮 淳美†  
Masaki Omata      Masahiro Kosaka      Atsumi Imamiya

### 1. はじめに

マルチディスプレイは、1台のコンピュータに複数のディスプレイを接続してデスクトップ作業領域を広げる方法である。この方法は、DTPやCADなど、同時に多くのウィンドウを表示する必要がある場合や、細部の作業をしながら全体を見渡す必要がある場合に、効率が良く有効な方法である[1]。

しかしながら、マルチディスプレイ環境に従来の1台のディスプレイ用の操作系をそのまま適用すると、「カーソル消失問題」や「末端情報へのアクセス問題」が生じる[2]。カーソル消失問題とは、ユーザの視野に対する表示面積が増えたため、カーソルを見失ってしまう問題である。一方、末端情報へのアクセス問題とは、全体の画素数が増えたため、画面の端までのポインティングに多くの時間が必要となってしまう問題である。

このような問題を解決するために、さまざまな手法が研究されている。カーソル消失問題を解決する方法として、カーソルの残像を残す High-density cursor や、カーソル周辺にアニメーションを表示する Auto-locator cursor が提案されている[2]。また、末端情報へのアクセス問題を解決する方法として、カーソル移動に慣性を取り入れた Missile Mouse や、デスクトップの壁紙をドラッグして動かし、遠くのアイコンを操作しやすい領域に近づける Tablecloth などが提案されている[2]。そして、マウス以外のデバイスを使用する方法として、PDAをマウスのように動かしてポインティングするハイブリッド型カーソル移動方式が提案されている[3]。

しかし、これらの手法は、従来のマウス操作の延長であり、長い距離のカーソル移動や異なるディスプレイ間での操作オブジェクトの移動などでは、デバイスを動かして移動距離を入力する必要があることには変わらないため、十分な効果が得られない。

本研究では、マルチディスプレイ環境において、タブレットの向き情報で1台のディスプレイを指定し、そのディスプレイ領域でペンを操作するポインティング法を提案する。この方法では、1つのディスプレイ領域とタブレット領域とを対応付けてペンを操作するためカーソルを消失することがなく、かつ、タブレットの回転でディスプレイを指定するため、中央へも末端へもほぼ同じくらいの操作プロセスでアクセスすることができる。本稿では、関連研究を紹介し、本提案手法およびその評価実験について述べる。

### 2. 関連研究

本節では、マルチディスプレイでのカーソル消失問題および末端情報へのアクセス問題を解決する研究を紹介する。

Robertsonらは、ユーザがカーソルを見失ってしまうという「カーソル消失問題」を解決するために、High-density cursor と Auto-locator cursor を提案した[2]。High-density cursor は、マウスカーソルが一定量移動するごとに、カーソルの残像を残すことで、カーソルの動きをわかりやすくするシステムである。通常の一定時間ごとにカーソルの残像を残すシステムでは、素早くカーソルを移動するとカーソルの軌跡がわかりにくくなり、ユーザがカーソルを見失ってしまう。しかし、High-density cursor であれば、残像を高密度に表示するので、ユーザはカーソルを見失うことはない。一方、Auto-locator cursor は、ユーザがCtrlキーを押すと、カーソルの現在位置から波紋のようなアニメーションが広がって、静止しているカーソルの位置を提示するシステムである。

また、Robertsonらは、離れた情報へのアクセスが時間的にも距離的にも困難になってしまうという「抹消部アクセス問題」を解決するために、Missile Muse、と Tablecloth を提案した[2]。Missile Muse は、ユーザがカーソルをある速度以上で移動させると、カーソルがその方向に向かって自動的にミサイルのように移動していき、ユーザがもう一度マウスを動かすことでカーソルが止まる方法である。また、Tablecloth は、テーブルクロスを手前に引いて手の届かないテーブルクロス上の物を近づけるように、デスクトップの壁紙をドラッグして動かし、遠くのアイコンを操作しやすい領域に近づける方法である。

一方、美原らは、PDAをマウスのように使用するハイブリッド型カーソル移動方式を提案した[3]。使用方法は2種類あり、ひとつは、PDAのタッチ画面をタップしてディスプレイ全体の中の特定の領域を指定し、その後、PDAをマウスのように動かして細部を指定する方法である。もうひとつは、PDAをマウスのように動かして大まかな領域を指定してから、タッチ画面で細部を指定する方法である。

Robertsonらのシステムは、従来のマウス操作の延長であり、従来のマウス操作と比べれば、マウスの移動量は減ってはいる。しかし、アイコン操作のための手法であり、DTPやCADのような、全体を把握しながらさまざまな箇所の細部を操作する作業には向かない。一方、美原らの手法は、入力デバイス側からの改善であり、大まかな部分を指定してから細部を指定することで、移動距離や時間を短縮している。しかし、ユーザは画面とPDAの両方を見ながらフィードバックを確認する必要があるため、従来の操作とは異なる負荷が増えてしまうことが考えられる。

† 山梨大学大学院医学工学総合研究部,  
University of Yamanashi

‡ 山梨大学工学部コンピュータ・メディア工学科,  
University of Yamanashi



図1 タブレットの回転によるディスプレイの指定と輝度の差による視覚的フィードバック

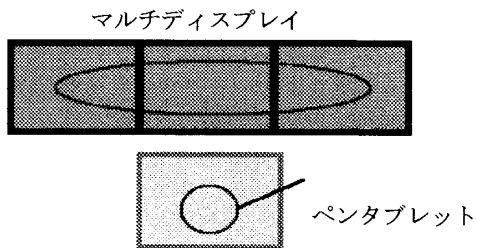


図2 マルチディスプレイと従来のタブレットとの対応

### 3. 向き情報に連動するポインティング法

2節で述べた従来研究の問題点を解決するために、本研究では、入力デバイスの向いている方向を利用してディスプレイを指定するポインティング法を提案する。具体的には、図1に示すように、タブレットを目的のディスプレイに向けて、そのディスプレイの範囲をペンで操作する方法である。

#### 3.1 設計：マルチディスプレイ環境における絶対座標を用いたポインティング

従来のペンタブレットの操作系でマルチディスプレイをポインティングする場合、図2のように、表示領域全体とタブレットのポインティング領域のアスペクト比が異なるため、精度の高いポインティングをおこなうことは困難である。

そこで本研究では、図3のように、マルチディスプレイの中の1つのディスプレイ領域とタブレットのポインティング領域とを対応付けることでこの問題を解決する。しかし、このままでは、ディスプレイを切り替えるための別の機構が必要となってしまう、ユーザに操作負担がかかってしまう。そこで、図3のように、タブレットを回転して、その向きでディスプレイを指定する方法を設計した。

タブレットの向きでディスプレイを指定する方法は、Wigdorらの実験における、ユーザはディスプレイの位置にあわせてタブレットの向きを変更するという結果に基づいている[4]。この結果では、ほとんどの被験者が、タブレットをディスプレイへ向けて操作していた。つまり、本研究の提案のように、ディスプレイの方向へタブレットを向けることは、自然で直感的な動作のひとつと考えられ、ユーザへの負担が大きくなることはないと考えられる。また、マルチディスプレイの場合には、必ずしも全てのディスプレイがユーザの正面に正対して設置されているわけではないので、正対からずれているディスプレイでのポインティ

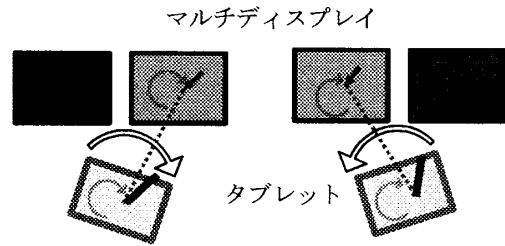


図3 タブレットの回転によるディスプレイの指定



図4 向き情報付加タブレットの操作の様子

ングを考えると、ディスプレイの垂直・水平方向とタブレットの垂直・水平方向とを一致させるほうが操作しやすいことは明らかである。つまり、本提案は、この一致させるというユーザの動作をディスプレイの指定操作として取り入れた機構である。

#### 3.2 実装：タブレットの向き情報の利用

図4は、本システムの概観および使用しているときの様子を示す。このように、本システムでは、回転台をタブレット(WACOM社、ArtPad II)の下に設置して、回転できるようにした。図1のように、この回転角度でマルチディスプレイの中の1台を指定して、その後、指定したディスプレイの中をペンでポインティングする。ペンでのポインティングは、従来のペンタブレット操作と同じである。

ディスプレイを指定するためのタブレットの回転角度は、操作前にユーザが登録する。これは、Wigdorらの実験における、タブレットを向ける角度には被験者の好みがあるという結果に基づいている[4]。したがって、本システムにおいても、ユーザの好みを反映できるように、ユーザは、使用する前に、それぞれのディスプレイを指定するためのタブレットの回転角度を登録する。システム側では、この登録された角度に基づいて、それぞれのディスプレイを同定するしきい値を計算する。

タブレットの向き情報を取得するために、図4の通り、回転台の左側にクランクを取り付け、回転運動を往復運動に変換する。この往復運動の位置を計測するために、PhidgetsのSlider Sensorを使用した[5]。このSlider Sensorのデータ(0から1000までのデジタル信号)は、USBを経由して、マルチディスプレイの接続されているコンピュータに送信される。

ユーザがタブレットを回転させてディスプレイを選択したときのフィードバックは、ディスプレイの輝度の差を調整して視覚的に提示する。図1は、左から2番目のディス

プレイが選択されている様子を示す。このように、選択されていないディスプレイの輝度を下げることによってどこが選ばれているかを判断しやすくする。

### 3.3 操作方法：タブレットの回転とペン操作

基本的な操作として、ユーザは、タブレットの回転で1つのディスプレイを指定したあと、その指定されたディスプレイ内をペンでポインティングする。このとき、指定されたディスプレイの表示領域とタブレットのポインティング領域とが一一対応になるので、アスペクト比が一致し、従来のペンタブレットの操作と同じようにポインティングすることができる。

描画ツールにおける複数のディスプレイを横切るような線分の描画操作や、複数のディスプレイに渡ってのファイルアイコンのドラッグ・アンド・ドロップ操作などの場合には、ペンでポインティングしたままタブレットを回転させればよい。たとえば、図1の環境で、一番右のディスプレイから一番左のディスプレイにファイルアイコンを移動させる場合、一番右のディスプレイにおいてそのアイコンをペンでドラッグし、ペンを押し付けたままタブレットを左に回転させて一番左のディスプレイを指定すれば、一番左のディスプレイまでドラッグすることができる。その後、ペンをタブレットから放せば、ドロップ操作になり、目的のファイルアイコンの移動が実行される。

## 4. 向き情報付加タブレットの評価実験

提案システムを評価するために、マルチディスプレイにおけるポインティング操作について、本提案システム、マウス、および従来のタブレット(図2参照)の、3種類を比較する実験をおこなった。その結果、本提案システムは、マウス操作と同等の操作効率と精度であり、さらに、従来のタブレット操作よりも操作効率が良く精度が高いことがわかった。以降この実験について詳説する。

### 4.1 実験環境

本実験では、図5の通り、マルチディスプレイ環境を2種類用意した。マルチディスプレイ環境においては、ディスプレイ間に隙間がなく連続して設置されている場合と、ユーザの周辺に点在させる場合とが考えられるためである。図5(a)は、4台のディスプレイを隙間なく円周上に設置した環境である(以降、連続型とよぶ)。また、図5(b)は、2台のディスプレイをユーザの真横に設置し、他の2台をユーザの前面に等間隔になるよう設置した環境である(以降、点在型とよぶ)。いずれのディスプレイも、ユーザの座る椅子から70cm離れた場所に設置し、ユーザの椅子から画面への直線が、画面に対して垂直になる向きに設置し

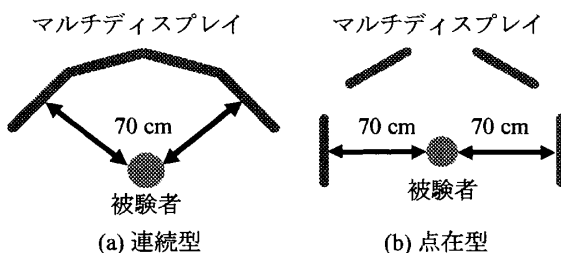


図5 評価実験におけるディスプレイと被験者の配置位置(俯瞰図)

た。なお、使用したディスプレイは全て同型で、表示面積が約340×270mm、画素数が1024×768ピクセルの17インチTFTカラー液晶ディスプレイである。

比較のために使用したマウスは、Microsoft社のIntelliMouse 1.3Aである。また、使用したタブレットは、提案システムにおいても、また、比較のための従来手法においても、WACOM社のArtPad IIである。

### 4.2 実験タスクおよび実験手続き

実験タスクは、画面に出現する正方形のターゲットにカーソルを重畳してクリックする操作である。ターゲット上にカーソルが重畳すると色に変化し、クリックするとつぎのターゲットが出現する。ターゲットの出現場所は、4つのディスプレイで構成する画面を1つの画面とした四隅である。つまり、一番左のディスプレイと一番右のディスプレイの画面の隅に出現する。

連続して9個のターゲットをクリックする操作を1試行とする。ターゲットをクリックする順番は固定とし、画面を対角線上に横断する経路と、4つのディスプレイを横断する経路で構成する。

ターゲットのサイズは、3種類で、大きなものから順に、1辺が72ピクセル(L)、48ピクセル(M)、24ピクセル(S)である。1試行の中では、この中の1種類の大きさに固定される。

このタスクについて、それぞれの被験者がそれぞれの条件で6試行実施する。したがって、2種類のディスプレイ環境、3種類の使用デバイス、3種類のターゲットの条件から、ひとりの被験者が108試行実施することになる。なお、実施するディスプレイ環境の順序は、連続型のあと点状型の順である。また、その中で使用するデバイスの順序は、被験者ごとに無作為とした。そして、デバイスごとのターゲットサイズも無作為とした。18試行の中で3種類のサイズが必ず6回ずつ出現するように統制した。なお、デバイスを切り替えるときには、10分間以上、実験タスクを使った練習時間を設けた。

計測したデータは、タスク遂行時間とエラー回数である。タスク遂行時間は、最初のターゲットをクリックしてから最後(9個目)のターゲットをクリックするまでの時間である。また、エラー回数は、1試行における、最初のターゲットのクリックをのぞいた、他のターゲット(全8個)以外の箇所をクリックした回数である。

### 4.3 実験結果および分析結果

被験者は、20代の男性6名である。この内、ペンタブレットを使ったことがない被験者が2名、使ったことはあるが日常的には使用していない被験者が3名、日常的に使用している被験者が1名である。

図6は、連続型環境における3種類のターゲットサイズごとの3種類のデバイスの平均タスク遂行時間を示す。また、図7は、点状型環境における3種類のターゲットサイズごとの3種類のデバイスの平均タスク遂行時間を示す。それぞれのディスプレイ環境での遂行時間について、2要因の分散分析をおこなった結果( $p < 0.01$ )、連続型環境において、本システムのほうが従来タブレットよりも有意に早くタスクを終了できることがわかった。一方、点状型環境においては、デバイス要因とターゲットサイズ要因との間に交互作用があった( $p < 0.01$ )。したがって、単純主効果に関して多重比較をおこなった結果( $p < 0.01$ )、

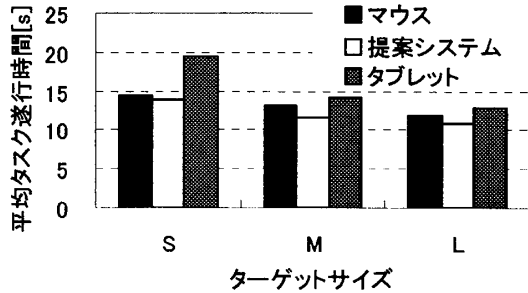


図6 連続型環境における平均タスク遂行時間

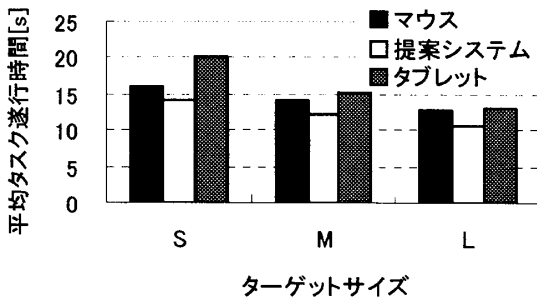


図7 点在型環境における平均タスク遂行時間

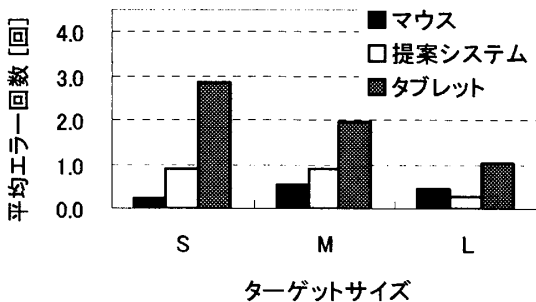


図8 連続型環境における平均エラー回数

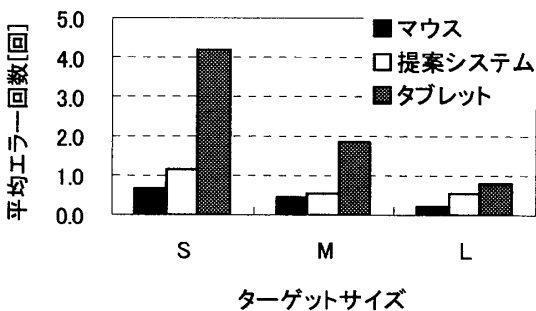


図9 点在型環境における平均エラー回数

ターゲットサイズが S のとき、本システムのほうが従来タブレットよりも有意に早くタスクを終了できることがわかった。また、ディスプレイ環境に関わらず、マウスのほうが従来タブレットよりも有意に早くタスクを終了できるこ

とがわかった。なお、どちらのディスプレイ環境においても、提案システムとマウスとの間には、有意差は見られなかった。

図8および図9は、それぞれのディスプレイ環境におけるターゲットサイズごとの3種類のデバイスでの平均エラー回数を示す。それぞれのディスプレイ環境について、2要因の分散分析をおこなった結果 ( $p < 0.01$ )、連続型環境においてデバイス要因に主効果があり、多重比較により ( $p < 0.01$ )、本システムのほうが従来タブレットよりも有意にエラーが少ないことがわかった。また、本システムとマウスとの間には、有意差は見られなかった。一方、点在型環境では、ターゲットサイズ要因とデバイス要因との間に交互作用があったので ( $p < 0.01$ )、単純主効果を分析した結果 ( $p < 0.01$ )、ターゲット S のときに、本システムのほうが従来タブレットよりも有意にエラーが少ないことがわかった。また、本システムとマウスとの間には、有意差は見られなかった。

### 5. おわりに

本研究では、マルチディスプレイ環境において、タブレットの回転による向き情報を使ってディスプレイを指定し、そのディスプレイの範囲をペンで操作するポインティングシステムを提案した。このシステムは、マルチディスプレイ環境における、ユーザの視野に対する表示面積が増えたためにカーソルを見失ってしまう問題や、全体の画素数が増えたために画面の端までのポインティングに多くの時間がかかってしまうという問題を解決する。

本提案システムと、マウス操作および従来のタブレット操作とを比較したところ、本システムは、従来のタブレット操作よりも効率が高くかつ精度が高いことがわかった。また、マウスとは同等の効率と精度であることがわかった。これは、被験者のマウスへの慣れと本システムへの慣れとの差を考えると、今後の慣れにおける効率と精度の向上が期待されると考えられる。

今後は、本システムを、部屋に点在するさまざまな分散デバイスを操作するためのシステムに拡張する。

### 参考文献

- [1] Czerwinski, M., Smith, G., Regan T., Meyers B., G. Robertson, G., Starkweather, G.: "Toward Characterizing the Productivity Benefits of Very Large Displays," Proc. INTERACT 2003, IOS Press, pp. 9-16, 2003.
- [2] Robertson, G., Czerwinski, M., Baudisch, P., Meyers, B., Robbins, D., Smith G., and Tan, D.: "The Large Display User Experience," IEEE Computer Graphics and Applications. 25 (4), pp. 44-51, 2005.
- [3] 美原義行, 田中利治, 柴山悦哉, 佐藤周平: "マルチディスプレイ環境のためのハイブリッド型カーソル移動方式," インタラクション 2006 予稿集, pp. 65-66, 2006.
- [4] Wigdor, D., Shen, C., Forlines, C. and Balakrishnan, R.: "Effects of Display Position and Control Space Orientation on User Preference and Performance," Proc. CHI 2006, pp. 309-318, 2006.
- [5] Phidgets, Phidgets INC., <http://www.phidgets.com/> (最終閲覧日: 2007年4月20日).