

家庭内のディスプレイに用いる指差しポインタとマウスの比較評価

Evaluation of Finger Pointer with Mouse for Domestic Display

湯山 一郎† 滝浦 重輝‡ 沼田 康昌‡
Ichiro Yuyama, Shigeki Takiura, and Yasumasa Numata

1. まえがき

2003年に放送が開始されたデジタル放送やデジカメの普及により使われるようになった電子アルバムなど、インタラクティブな家電に対するユーザーフレンドリーなポインティングデバイスが必要となってきた。しかし、どのような機器が家庭用のポインティングデバイスとして望ましいかについての研究が充分に行われているとはいえない。

事務作業で最も一般的に使われているマウスは、マウスとディスプレイが同一の机にあって比較的コンパクトな作業空間を形成する場合、非常に有効である。しかし、デジタルハイビジョンのように比較的遠い距離に設置されるディスプレイに対しては、映像の空間とそれを制御するマウスの空間が心理的に分断され、違和感を生じる可能性がある。

これに対し、指差し動作は、近距離よりは比較的遠くの物体を指し示す動作として、人類共通に用いられている動作である。指差し動作そのものをディスプレイに対するポインティングとして用いることができれば利点が多い。

福本ら[1]は、視聴者が何らかの点を原点とし、その点と指先を結んだ直線がディスプレイと交差する点をポインティング点と考え、その原点を Virtual Projection Origin (VPO)とする指差しポインタを開発した。佐藤ら[2]は、実空間で物体を指し示す指差しポインタを Interactive Hand Pointer と名づけて開発した。金次らはテレビジョン番組中の特定のオブジェクトを選択する目的で、指差しポインタに対する一連の研究[3]、[4]を行っている。金次の研究では眉間を原点とし、眉間と指先を結んだ直線がディスプレイと交わる点を指差しの目標点としている。これらの研究では、精度を向上させるため腕を伸ばした状態で指差し動作を行っている。一方、Hungら[5]は講演壇上でのプレゼンテーションに使用する目的で肘を自由な状態にしたまま使用できる指差しポインタを開発した。その研究では、指差しポインタとして目を原点とすることが好ましいとしているが定量的なデータの報告はない。

従って、本稿では、まず指差しポインタとして、視聴者の体側に原点が存在するかどうかの検討を行う。次に指差しポインタとマウスのポインティング動作の性能について、ISO9241-9 [6] に準拠してその性能評価を行い、スループットから、ポインタとしての性能を判断する。また、被験者の主観評価から、指差しポインタが、総合的に、快適かつ容易に使えるという評価を得る。さらに、電子アルバムを例として、マウスと指差しポインタの作業速度の比較実験を行う。これらの検討を総合し、家庭用のポインティングデバイスとして、指差しポインタが有望であることを報告する。

2. 実験に用いた指差しポインタ

本節では、まず実験に用いたプラットフォームの構成と指先の検出方法について述べる。さらに、ポインタとして、体の一部を原点にとり、その点と指先を結んだ直線がディスプレイに交わる点を目標点とする方式では、所要の精度を得ることができる原点が存在しないことを示す。

2.1 実験用プラットフォームの構成

ディスプレイの近傍に設置したステレオカメラを用いてディスプレイに対する指先と視聴者の体の三次元位置データを取得し、このデータから指差し位置を計算する。電子アルバムでは、これらのデータをもとにユーザーの意図に従ってデータベースから所要の情報を三次元提示する。なお、この実験用プラットフォームでは、ディスプレイ上のポインタマーカ表示の有無を選択できる。

今回の研究の目的は、指位置の検出方法の提案ではなく、指差しポインタを全体としてのどのように設計することが適当であるか、そのポインタとしての性能の確認にある。そのため検出方法として、図1に示したように、便宜的に青色のマークを人差し指に装着させ、また体の各部には青色の色布を貼り付けた。青色を用いた理由は、肌色と補色関係にあり、誤検出を避けるためである。取得された立体カメラ画像はRGB画像であるが、照明条件の変動を避けるため、RGB画像からHSV表色系に変換し、青色領域を検出した。青色領域の中心座標を推定するため、HSV表色系画像で固有の領域設定を行い、2値画像とした後、画像の膨張、縮小処理を行ってノイズの影響を除去し、得られた画像の重心位置を指位置及び眉間位置と推定した。

この得られた左右のカメラのデータを用いて、三角測量法によりディスプレイを基準とする三次元空間上での指位置及び各部位置を求めた。

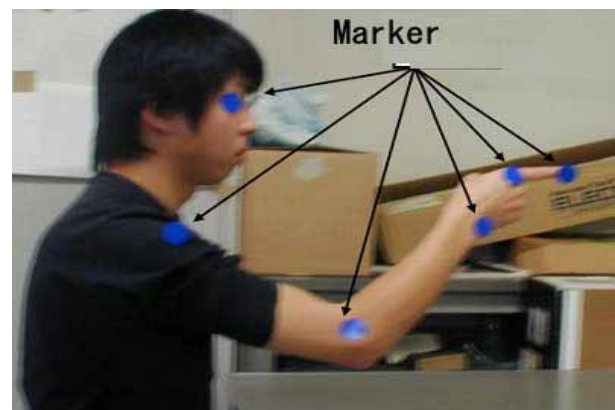


図1 想定した体側原点につけた計測用マーカの位置

† 宇都宮大学・工学部・情報工学科

‡ 元 宇都宮大学・工学部 現 (株)日本総合研究所

2.2 指先に対する体側原点の有無

文献[3]では、眉間を体側原点とし、眉間と指先を結んだ直線がディスプレイと交差する位置を指差しポイントとしている。一方文献[5]では、体側原点を右目としている。そこで、今回は肘を曲げることを許容した状態で、被験者の心理的な指差しポイントと物理的な人体の特徴点の関係を調査した。ターゲットとして、被験者からの距離 135cm、アスペクトレシオ 16:9、画面サイズ 50 インチ相当のディスプレイ上に、上下左右にそれぞれ 10cm 離して 11 列 7 行の+印を表示し、ポイントマークは表示しない状態で右手人差し指でポインティングさせ、指先位置と体側の各点の位置を計測し、ディスプレイ上の目標点との差を計算した。この目標点の間隔は、現在放送されているデジタルハイビジョンの EPG(Electronic Program Guide)の配置を参考に定めた。

図 2 は、各想定した原点ごとの水平、垂直方向のポインティング誤差の平均であり、眉間を体側原点とした場合が最も誤差が少ないことが示された。

図 3 は、画面の左端の目標点から右端の目標点に目標が遷移する場合のポインティング誤差を示しており、左端の目標点ほど誤差が大きい。このことは、この方式によるポインティング動作では、被験者の想定する心理的なディスプレイ面が実際のディスプレイとは並行でないことを意味する。さらに、誤差の絶対値が目標点間の距離に匹敵するほど大きいことから、この方式では目的とする精度を確保できる固定した体側原点は存在しないと考えられた。それゆえ、以後の実験では、ディスプレイ上にポイントマークを表示するフィードバック方式を用いた。

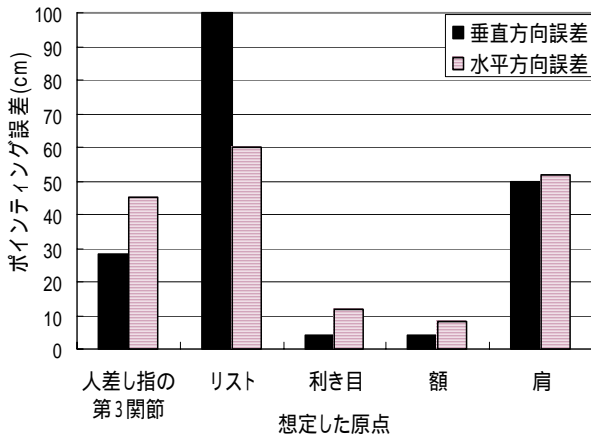


図 2 想定した原点に対するポインティング誤差 (被験者 12 名による、11 列 7 行の各目標点に対する誤差の平均を示す。)

3. 指差しポインタの性能評価

3.1 ISO9241 に準拠したポインタの性能評価

ポインタの性能評価に関しては、ISO9241-9 に規定があり、これは事務所で VDT 作業に対する、キーボード以外のデバイスへの要求条件の規定であるが、家庭用のディスプレイにも準用可能とした。その中から水平方向へのタッピング操作を標準的な操作として選定し、性能検証に用いた。表示したターゲットの形状を、図 4 に示す。ターゲットの形状について、ISO9241-9 の規定では、高さは変え

ずに、幅を変化させているが、今回の実験では各種のサイズに縮小化した画像を選択することを次節のタスクとしたため、縦横比を保った矩形をターゲットとして用いた。

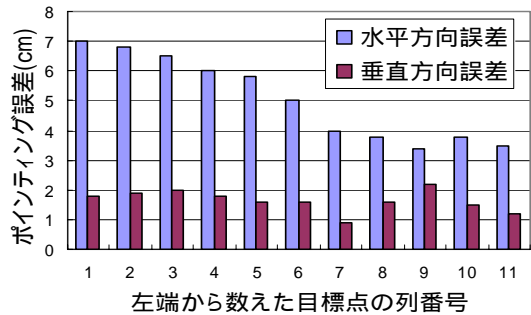


図 3 目標点の水平位置によるポインティング誤差の違い

実験に使用したディスプレイは、NEC 社製 PX-50XMI で、画面輝度は白ピークで 46.2cd/m²、黒部分で 2.38cd/m² であり、ディスプレイの背面照度は 155lx であった。実験での絶対視距離は 135cm であり、50 インチディスプレイに対しては、ハイビジョンの標準視距離である 3H より視距離が短い。これは、今回の検討が画質の調査ではなく、指差しポインタの操作性を調査するため、測定精度を重視したためである。

実験では、被験者に右手でタッピング動作を行なわせた。タッピング動作を開始する開始ブロックのサイズは 120x160pel であり、ディスプレイ上の左側固定位置に常時表示されている。目標ブロックのサイズは、30x40pel、60x80pel、120x160pel の 3 つのサイズ、移動距離 D は 300pel、600pel、900pel、1200pel の 4 種類であり、画面解像度は 1920x1080pel である。従って、目標ブロックは、計 12 の異なる刺激として、ランダムにディスプレイ上に表示される。被験者は、この 12 刺激に対してポインティング動作を各 3 回試行した。被験者には開始ブロックをポインティングし、ポインティングが完了した時点で、左手でキーボードの任意のキーを打鍵するよう指示した。

被験者は開始ブロックでの打鍵終了後、直ちにターゲットブロックのポインティング動作を行い、ターゲットブロックを捕獲できたと思った時点で再度キーボードの任意のキーを打鍵した。PC 内部のシステムタイマーを用いて、この二つの打鍵時間の差を計測し、移動時間(MT)とした。また、マウスについても同様な実験を行い比較対象とした。マウスでの実験では、打鍵の代わりにクリックを用いた。

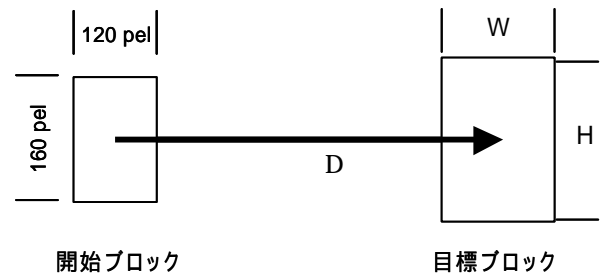


図 4 ポインティング性能測定用の開始ブロックと目標ブロック

実験結果を、フィッツの法則[7]及びスループット(TP)を用いて解析した。スループットはポインティング機器の効率を示す指標の一つであり、操作における速度と正確さを一度の測定から得ることができ、ISOにより推奨されている。フィッツの法則は、人間の動作のひとつのモデルであり、起点から目標点までマウスを早く移動させる場合に必要となる操作時間を予測している。

この法則は、モニター上で指や手を使用したポインティングにもマウスによるポインティングにも有効とされている。フィッツの法則では、ポイントの始点から目標までの距離(D)、目標の幅(W)とした時、目標にポイントを移動させるのに要する時間(MT)と操作の困難さ(ID)およびスループット(TP)を、

$$MT = a + b \log_2(2D/W), \quad (1)$$

$$ID = \log_2(D/W + 1), \quad (2)$$

$$TP = ID/MT \quad (\text{bit/sec}) \quad (3)$$

と定義している。

図5に、実験結果を示す。図中の直線は、データを回帰解析した結果であり、その結果、フィッツの法則が成立していると考えられる。今回の実験では、フィッツの法則が成立しているので、スループットにより、指差しポインタの性能を評価した。

指差しポインタのスループットは 1.15bit/sec であり、一方、マウスのスループットは 3.14bit/sec である。しかし、被験者がマウスの操作に熟練した学生であることを考えると、指差しポインタは将来性があるといえる。

ISO9241-9 Annex C では、操作、疲労、快適さ、全体としての使用のしやすさの観点から主観評価を 5 段階評価で行うよう求めている。今回の実験でも、ISO の評価法に準拠して調査を行った。図6はその結果であり、評価項目と 5 段階評価値は ISO の規定に準拠した。この結果から、被験者は指差しポインタに対して、否定的な評価をしておらず、総合的に、快適かつ容易に使えるという評価をしていると判断できる。

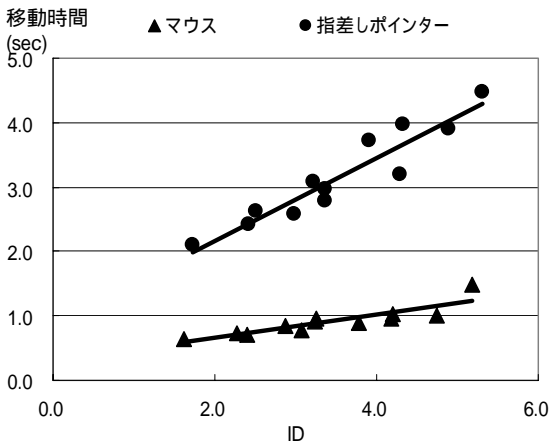


図5 ターゲット間を移動する時間(MT)と操作の困難さ(ID)の関係

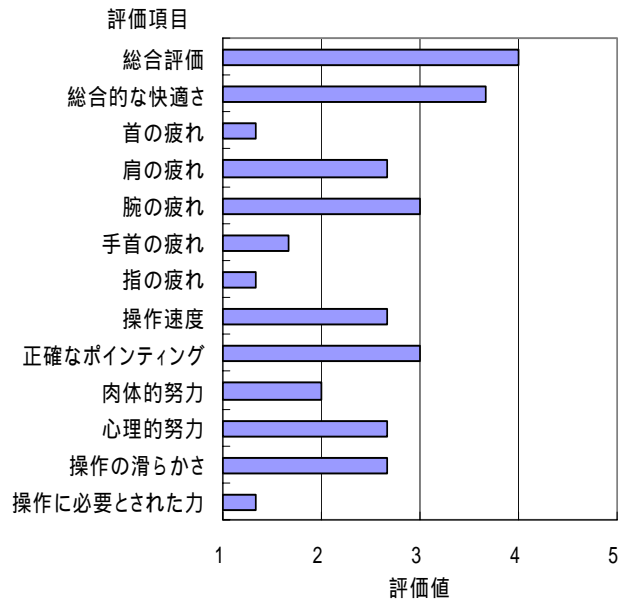


図6 ISOの規定による指差しポインタの主観評価結果(評価項目「操作に必要とされた力」、首など各部の「疲れ」では評価値1の方が少なく、その他の項目は評価値5の方が好ましいという評価である。)

3.2 電子アルバムを用いたマウスとの比較

実際の家電アプリケーションを用いて、指差しポインタとマウスの性能比較を行った。電子アルバムを大型ディスプレイで鑑賞することは今後家庭内で充分想定されるアプリケーションである。そのため、図7に示した撮影日時、撮影場所とキーワードをメタデータとして付加したフィッシュアイタイプ[8]の電子アルバムを用い、タスクとして、5枚の写真の探索を行なわせた。

各タスクの1回の探索操作にかかる各被験者の所要時間の平均を図8に示す。5枚の写真の平均探索時間は、マウスを用いた場合38秒、指差しポインタを用いた場合22秒である。この数値から直ちに、指差しポインタの方がマウスより操作の速度が速いとは結論できないが、マウスと同程度以上の操作性を有することが推定できた。



図7 探索時間の比較実験に用いた電子アルバムの画面例

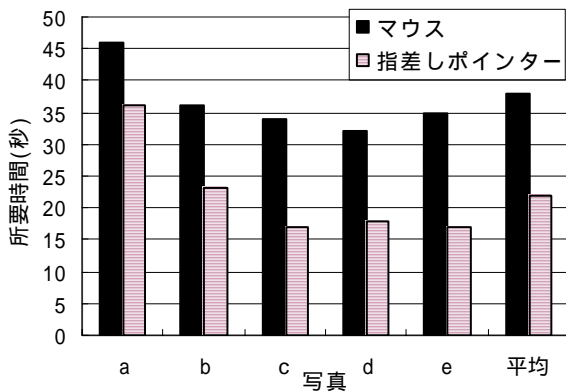


図8 電子アルバムにおける写真探索時間の比較

4. 結論および将来の研究

本研究では、家庭内のディスプレイを制御する指差しポインタの可能性について検討を行った。まず、ポイントマーカの表示がなく、通常の肘を曲げた状態でのポインティング検出法としては、体側に固定した点を原点として設定することは難しいことがわかった。そのため、ディスプレイ面にマーカを表示する指差しポインタを試作し、ISO9241-9 に準拠してその性能評価を行った。その結果、ポインティングに要する時間、スループットの結果から見ると、マウスの性能には達していないが、試作段階としては、ある程度の性能が確保できた。また、被験者の主観評価からは、総合的に、この指差しポインタが、快適かつ容易に使えるという評価を受けた。三次元情報表示法として、電子アルバムを用い、この指差しポインタにより探索実験を行った結果からは、マウスと遜色ない評価を得ることができた。

これらのことから、指差しポインタは、今後その性能向上の研究を行うことで、家庭用ディスプレイのポインタとして有望であると結論づけた。

この報告では、指差しポインタとしての基礎的な性能を確認した段階であり、実用化に向けて各種の課題がある。今回の実験ではポイントマーカを提示したが、番組を視聴する上ではマーカを提示しない方式が望ましい。また、マウスでのクリックなどに相当するポインティング動作以外の機器を制御する手段を検討する必要がある。また実験で、被験者にディスプレイ上の直線を指差しポインタで追従させるタスクを課したところ、直線に対して直交する変動成分が見られた。これに対し、ローパスフィルタによる低減を試みたが操作に対する時間遅れが生じるため、快適な操作とならなかった。この問題に対し、今後フィードフォワード型の処理を検討する。

参考文献

- [1] M. Fukumoto, Y. Suenaga, and K. Mase, "Finger-Pointer: Pointing interface by image processing", *Computer & Graphics*, Vol. 18, No. 5, pp. 633-642, 1994.
- [2] 佐藤信, 坂根茂幸: 実空間にマークを投影するインタラクティブハンドポインタの構成, *電気学会論文誌*, Vol.121-C, No.9, pp.1464-1470, 2001
- [3] 金次 保明, 長島 聖子, 山田 光穂, 清水 俊宏: 指差しポインタにおけるカーソル位置の特定法, *電子情報通信学会技術研究報告 IE2001-181*, Vol.101, No.626 pp. 55-60 (2002 . 01).
- [4] Y. Kanatsugu, T. Misu, M. Takahashi, and S. Gohshi, "The Development of an Object-linked Broadcasting System," *Proc. Int. on Advanced Image Technology 2004*, pp. 401-405, 2004.
- [5] Y.-P. Hung, Y.-S. Yang, Y.-S. Chen, I.-B. Hsieh, and C.-S. Fuh, "Free-hand pointer by use of an active stereo vision system", *Proc. 14th Int. Conference on Pattern Recognition*, Vol. 2, pp. 1244 - 1246, Aug 1998.
- [6] ISO9241-9 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTS) part9: Requirements for non keyboard input devices.
- [7] P. M. Fitts, "The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement," *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 47, No. 6, pp. 381-391, June 1954. Reprinted in *Journal of Experimental Psychology: General*, 121(3):262--269, 1992.
- [8] M. Sarkar, and M. Brown, "Graphical fisheye views of graphs," *ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 83-91, 1992.