

トレース・セレクト

前田 篤彦^{1,†1,a)} 小林 稔¹

概要: スマートテレビでは、従来のテレビと比べ、リモコンによるメニュー選択などの操作が頻繁に要求される。画面上のターゲットを直接タッチして選択したり、マウスを使って選択したりすることはテレビの視聴場所からして困難である。このような状況でのターゲット操作を容易にするため、個々のターゲットにジェスチャーガイドを割り当てて選択できるようにする方法が提案されてきたが、元のターゲットの一部がジェスチャーガイドで隠れてしまうことがあるため、ガイドの表示/非表示を切り替えて使用せざるを得なかった。この結果、操作の手間が増えるだけでなく、ジェスチャーガイドの読み取りにかかる時間を大幅に増加させてしまう要因となっていた。そこで本論文では、トレース・セレクトという新しい手法を提案する。提案手法は、ターゲットとなる文字列の象形をもとにジェスチャーガイドを生成する。このジェスチャーガイドは、元のターゲットを隠さないため、ターゲットを選ぶ間、常に表示しておくことが可能である。英字ターゲットを用いた実験の結果、カーソルベースの選択手法やジェスチャーガイドの表示/非表示を切り替える手法の選択速度を大きく凌駕することが明らかになった。

Trace Select

MAEDA ATSUSHIKO^{1,†1,a)} KOBAYASHI MINORU¹

Abstract: When selecting targets in a Smart TV service, the user is frequently required to select remote targets such as menu items; the user is unable to touch the targets directly or use a mouse. Solutions include gesture-based rapid selection techniques. However, such techniques have problems in that they hide the original information. Therefore, these techniques generally require turning the gesture representations on/off, which increases the number of wasteful operations, cognitive load for gesture identification, and selection time. We propose Trace Select, a novel technique for selecting remote targets; it generates gesture guides from the targets' characters. The guides don't conceal the original targets. An experiment shows that Trace Select outperforms cursor-based pointing and activation-required gestural selection.

1. はじめに

スマートテレビのようにインターネットを通じてリッチコンテンツにアクセスできるテレビ向けプラットフォームでは、従来のテレビと比べ、リモコンによるメニュー選択や画面遷移のような操作が頻繁に要求される。このような問題に対する取り組みの一つとして、タッチパッドを使ったりリモコンを採用する動きがテレビメーカーなどに見られる [1], [2], [3]。タッチパッドをリモコンで使うことの従

来から知られている利点は、メニューなどを選択するために利用できるだけでなく、可変速スクロール機能をタッチパッドの周縁付近に割り当てることができたり、特定の機能をいつでも起動できるようにするためのジェスチャー入力にも対応させることができたりする [4], [5] 点である。しかしながら、このような新しいリモコンを使った操作性改善の試みは始まったばかりであり、更なる発展が望まれている。そこで本論文では、タッチパッドを使ったりリモコンを使用する前提下で、テレビ画面上のターゲットをより簡単に選択できるようにする手法の開発に焦点をあてる。

タッチパッドベースのリモコンなどでジェスチャー入力できるショートカット用のサイン(ジェスチャーガイド)を、テレビ画面上のメニューやボタンに割り当てることにより選

¹ 日本電信電話株式会社
NTT Corporation, Yokosuka, Kanagawa 239-0847, Japan

^{†1} 現在、株式会社 NTT ドコモ
Presently with NTT DOCOMO, Inc.

^{a)} atsuhiko.maeda@gmail.com

択可能にする手法は、マウスが使いにくいリピングのような環境では効果的な手段の一つである [4], [5], [6], [7], [8], [9] . このようなジェスチャーガイドは、どのターゲットに割り当てられているかをユーザに明示するため、ターゲットの近傍がそれらに重ねて表示される。しかし、ジェスチャーガイドを常に画面に表示しておく、特にテキストのような表示面積の小さなターゲットでは元の情報の一部が視認できなくなってしまうことがある [6], [7], [8], [9] . このため、ジェスチャーガイドは、その表示 / 非表示を切り替えて利用されるのが一般的であり、その結果、操作の手間が増え、さらには、本論文の実験で明らかにするが、ジェスチャーガイドを読み取るのにかかる時間が大幅に増加する要因となっていた。

この問題を解決するため、テキスト（本論文では英字を対象とする）のターゲットを容易に選択できるようにするための新しい手法としてトレース・セレクトを提案する。この手法ではターゲットとなる文字列の象形をもとにジェスチャーガイドを生成する（図 1 参照）。このジェスチャーガイドは元のターゲットを隠さないため、ターゲットを選ぶ間、常に表示しておくことが可能である。この結果、ユーザは所望のターゲットのジェスチャーをすぐに認識し、入力することが可能になる。

2. 関連研究

2.1 カーソル制御方法の改善

タッチパッドによる選択操作のパフォーマンス向上に応用できる様々な手法が既に提案されており、1) カーソル制御方法の改善による手法、2) 代理ターゲットを使う手法、3) ジェスチャー入力を使う手法の 3 つに大別できる。カーソルベースの手法としては、カーソル・アクセラレーション [10] が代表的であり、多くのオペレーティング・システムで採用されている。この手法では、カーソルの動作速度に基づき、Control-Display ゲイン（CD ゲイン：指の移動量に対する画面上のカーソル移動量）が動的に調整される。具体的には、指を速く動かした時に CD ゲインが大きくなるよう調整され、特に広い画面上でのカーソル移動効率を向上させる。ただし、アクセラレーションのかけ過ぎは、オーバーシュート（ターゲット選択時にターゲットを通り越してしまうような誤動作）の原因になるため CD ゲインを適度に調整する必要がある [11] . とはいえ、代表的な手法であるため、本論文の評価実験では提案手法の比較対象の 1 つとして扱う。

RubberEdge[12] は、タッチパッドの中心付近を使用するときには通常のタッチパッドのようにカーソルをコントロールでき、タッチパッド周縁に取り付けられたラバーに指を接して使用するときにはカーソルを高速に等速移動できるデバイスとして使用できる。しかし、周縁のラバー部分にすぐに指が届くようにするためにはタッチパッド自体

を小さく設計しなければならず、そのことで操作性が低下する可能性がある。その上、一般には普及していないハードウェアが必要であり、導入コストが高い。

ARC-Pad[13] は、絶対座標と相対座標によるカーソル操作を切り替えて利用できる手法である。実験の結果、ターゲットまでの距離が 1250 ピクセルに達するとカーソル・アクセラレーションの選択速度を凌駕したと報告されている。これに対し、ターゲットまでの距離がより短い場合であっても、リモコン上のタッチパッドで使用する場合、提案手法はカーソル・アクセラレーションのパフォーマンスを凌駕することを実験で明らかにする。

2.2 代理ターゲットによる選択

Drag-and-Pick[14] は、画面上の空白個所をドラッグすることにより、ドラッグした方向の先の決められた範囲にあるターゲットの代理ターゲットをカーソルの近傍に作成し、カーソル移動の手間を軽減する手法である。Push-and-Pop[15] は、範囲に関係なく、選択される可能性があるターゲットすべての代理ターゲットをカーソルの近傍に作成する。The Vacuum[16] は、引き寄せる範囲を指定でき、なおかつ引き寄せるターゲットを縮小することによりターゲットの増加に対応できるようにした手法である。

いずれの手法も、広いデスクトップ画面上にまばらに配置されたアイコンを選択する場合の有効性は示されているが、本研究で対象とするテレビ向けサービスでは、画面いっぱい複数のターゲットが配置されることが多い。そのため、引き寄せた代理ターゲットがカーソル付近に最初から存在するターゲットと重なってしまう可能性があり、これらの手法はテレビ向けサービスには不向きであると考えられる。

2.3 ジェスチャー入力による選択

画面上のターゲットにジェスチャーガイドを割り当てて選択できるようにする手法である Escape[17] は、本来スマートフォンの画面で小さなターゲットの選択を容易にするために考案されたものである。しかし、このようなジェスチャー入力による選択手法は、テレビ画面上のターゲット選択のように遠隔から選択するような場合にも有効である [4], [5], [9] . このようなアプローチでは、なるべく多くのターゲットに対応できるようにするため、ジェスチャーの種類を増やすための工夫などが検討されている [4], [5], [9] . また、方向キーで入力することを想定したショートカットサインをターゲットに付与する方法も提案されているが [6], [7], [8] , この手法もジェスチャーベースの手法のバリエーションと見なすことができる。これらの手法は、数字キーで選択する手法 [18] と異なり、テレビ画面に目を向けたまま、ターゲットを選択できるというメリットある。Gesture Select[9] は、ジェスチャーガイドを表示する際、



図 1 トレース・セレクト利用時の画面。ジェスチャーガイド(文字の象形に沿った水色のマーク)は元の表示情報を覆わないため、常に表示しておくことができる。この結果、ユーザは所望のターゲットのジェスチャーをすぐに認識し、入力することが可能になる。

Fig. 1 Gesture representations (fill-in with blue along glyphs) can be always displayed because they do not hide the original information, and users can identify and draw the gesture of the desired target immediately.

ガイドを付与する範囲を方向を伴ったドラッグ操作で指定することで、ターゲットの増加に対応できる手法である。評価実験の結果、先述の The Vacuum よりも操作性に優れることが明らかにされている。

しかしながら、これまで提案されてきたジェスチャーベースの選択手法では、ジェスチャーガイドを常に画面に表示しておくこと、元の表示情報の一部が視認できなくなってしまうことがあった [6], [7], [8], [9]。ターゲットが大きな面積を持つ画像であるなら、ジェスチャーガイドを画像の端に配置する [9] ことは可能ではあるが、テキストのターゲットが密集している場合と同じアプローチはとりにくい。ジェスチャーガイドを「吹き出し」に入れ、ターゲットの位置からずらしたところに表示したとしても [9], [17], ターゲット周辺の表示情報を隠してしまう可能性が残る。このため、ジェスチャーガイドを利用する手法では、その表示 / 非表示を切り替えて利用するのが一般的である [6], [7], [8], [9]。本論文の評価実験では、ガイドの表示 / 非表示を切り替える必要があるジェスチャーベースの手法を提案手法の 2 つめの比較対象とする。そして、このような手法では、切り替え操作の手間が生じるだけでなく、ユーザがジェスチャーガイドを読み取るのにかかる時間が増加し、ターゲット選択時間に大きく影響することを明らかにする。

3. トレース・セレクト

3.1 基本アイデア

提案手法は、ジェスチャーベースの選択手法であるが、

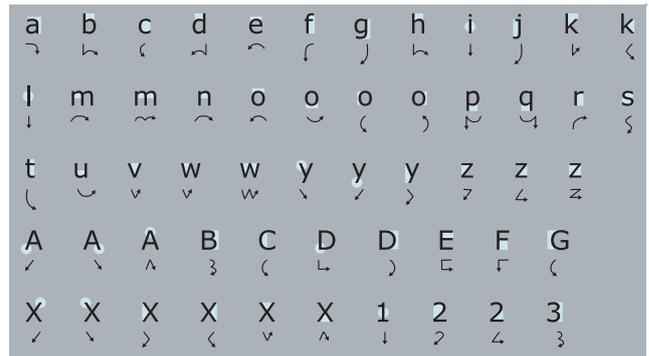


図 2 トレース・セレクトにおけるジェスチャーガイドの例。それぞれの文字は、1 つ以上のジェスチャー候補を持つ。ストロークは基本的には上から下、あるいは筆記体のストロークに従う。ガイドのデザインとしては、文字の一部を色付けしたり、かつ太さを変えたりしたバリエーションも作成したが、評価実験はすべて上記デザインで実施した。

Fig. 2 Sample gesture representations in Trace Select. One character has one or more gesture candidates. The dominant stroke directions are straight down and cursive gestures.

これまでの手法と異なり、元の表示情報を隠さず、従って常に表示しておくジェスチャーガイドを使用する。そのため、ジェスチャーガイドの表示 / 非表示を切り替える操作の手間がなくなり、さらには、以降の実験で明らかにするが、ジェスチャーガイドを読み取るのにかかる時間を大幅に減少させることができる。

提案手法のアイデアは、Palm OS 用の手書き文字入力システムである Graffiti [19] から着想を得ている。Graffiti では、個々の文字に対し、一筆書きジェスチャーが 1 つだけ割り当てられている。一方、トレース・セレクトでは、たとえ複数の文字に対して同一のジェスチャーの候補が抽出されることがあっても、1 つの文字に対してできるだけ多くのジェスチャーの候補を準備するようにしている。この理由は、どのような文字列からなるターゲットが同時に出現しても、そのすべてに柔軟にジェスチャーガイドが割り当てられるようにするためである。個々のジェスチャーは Graffiti 以上に簡単に素早く入力できるようデザインした (いずれも 0.3 秒程度で入力できる)。図 2 に例を示すが、小文字、大文字、数字に対して 114 種類のジェスチャーガイドが存在し、そのうち 48 種類がジェスチャーとしてユニークなものとなっている。

3.2 ジェスチャー付与アルゴリズム

画面上に同時に出現するターゲットすべてにジェスチャーガイドを付与するため、ジェスチャー付与アルゴリズムは、ジェスチャーの候補が少ないターゲットのジェスチャーを優先的に選出するものになっている。詳細は以下の通りである。

- (1) 予め個々の文字で利用可能なすべてのジェスチャーを

データベースに登録しておく。

- (2) ジェスチャーを割り当てる際には、初めに画面上のすべてのテキスト・ターゲットが抽出される。個々のターゲットに対し、それらが含む文字列に関連付けられたジェスチャーの候補すべてがデータベースから抽出され、関連づけられる。
- (3) 前記抽出されたターゲットのリストはジェスチャー候補が少ない順にソートされ、最も少ない候補を持つターゲットがリストから取り出される。
- (4) 取り出されたターゲットのジェスチャー候補のなかからジェスチャーがランダムに決定され、この候補は残りのターゲットのジェスチャー候補からは除外される。
- (5) すべてのターゲットのジェスチャーが決定されるまで、ステップ3から繰り返される。

3.3 利用上の制約とその解決方法

ジェスチャーを一度に割り当てられるターゲットの個数には限りがある。著者らのシミュレーションでは、同時に表示される任意の複数洋画タイトルすべてに対しジェスチャーを割り当てられる確率は、洋画タイトルの同時表示数が36個に達したとき、95%に低下した(10000回試行の平均)。しかし、テレビ画面に出現する平均ターゲット数は、文献[7]によれば27.7である。たとえば、ターゲットの数が36個を超えたとしても、ターゲットとなる文字列の隣接する2文字の組み合わせからジェスチャーを生成することで、多くのターゲットに同時にジェスチャーを割り当てることが可能である(ただし、ビデオストリーミングサービスを模した本論文の評価実験では、このオプションが必要となる状況は出現しなかった)。

画像のみからなるターゲットに対しては、Gesture Selectのように通常の矢印表記によるジェスチャーガイドを割り当てることを想定している。トレース・セレクトがテキスト・ターゲットに割り当てられるジェスチャーの多くは、上から下に描くものであり、その逆方向に入力するジェスチャーが画像のみのターゲットに有効活用できる(ただし、映像コンテンツなどを表す画像の場合には通常キャプションがついているため、このようなターゲットは少ないと考えている)。

4. 評価実験

4.1 実験の目的

評価実験では、以下の項目を明らかにする。

- (1) ターゲットの距離と(文字)サイズが及ぼす影響: トレース・セレクトはFittsの法則に従う従来のポインティングベースのアプローチとは異なるため、ターゲットの距離(直前の選択ターゲットからの距離)とサイズに対してどのような影響を受けるのかを明らかにする必要がある。特に、ターゲットの文字サイズが

小さい時に、ユーザがどの程度迅速にジェスチャーガイドを認識できるかを明らかにする。

- (2) ガイドを常時表示しておくことによる効果: トレース・セレクトの利点は、ターゲットを隠さずジェスチャーガイドを常に視認できる状態にして利用できることである。これによる効果を詳しく検証するため、オリジナルのトレース・セレクトをベースに2つのバリエーション、TS-Show-ActとTS-Entry-Actを作成した。TS-Show-Actは、初期状態ではジェスチャーガイドを表示しない。ガイドを表示し、ジェスチャー入力を可能にするためには、タッチパッドを一度タップしてアクティベートする必要がある。一方、TS-Entry-Actは、初期状態からジェスチャーガイドを表示はするが、ジェスチャー入力をアクティベートするために、タッチパッドを一度タップする必要がある。つまり、両バリエーションは、ジェスチャーガイドを初めから表示しているかどうかの違いはあるが、必要となる操作数は同一である。これらを比較対象に加えることにより、アクティベーション操作の手間が増えるためというよりも、急に表示されるジェスチャーガイドの認識に時間がかかるために、ジェスチャーガイドの表示/非表示を切り替える必要がある手法では選択時間が増加し、常時表示しておく提案手法では短くなることを明らかにする。
- (3) 従来の選択手法に対する優位性: 最初の比較対象は、カーソルベースの選択手法である。本実験では、マイクロソフトWindows7のカーソル・アクセラレーションを有効にして比較を行った(速度設定は先行研究[12],[13]にならい、デフォルト(中間)値とした)。もう1つの比較対象は、ジェスチャーガイドの表示/非表示を切り替える必要があるジェスチャーベースの選択手法である。このタイプとしてはGesture Selectが代表的であるが、被験者がテストする選択手法が多くなるため、上記TS-Show-Actとの比較により、本観点からの検証を行うこととする。

4.2 タスク

最初のタスクは、2次元座標上での単体ターゲット選択タスクである。このタスクでは、テレビ画面に最初のターゲット(映画タイトル)が単体で特定の座標に特定の文字サイズで表示される。ターゲットを選択すると、次のターゲット(別映画タイトル)が、別の座標に別の文字サイズで表示される。被験者は、規定回数分、繰り返しターゲットを選択し続けることを要求される。

二つ目のタスクは、ビデオストリーミングサービスのメニュー画面を模した選択タスクである。現在主流のビデオストリーミングサービスであるApple TVやROKUを模して本タスクの画面レイアウトを作成した。具体的には、

図 3 に示すように、カーソル選択では有利に働く広い面積のターゲットが配置されている選択画面 (Grid 5 × 1 及び 5 × 2) を含む 6 種類のレイアウトを準備した。このタスクでは、最初、被験者にターゲットとなる映画タイトルを覚えてもらうために、その映画タイトルが画面上方に 3 秒間表示される。その後、実際のターゲットとなる映画タイトルを含むいくつかの映画タイトルが上記 6 種の画面レイアウトのいずれかを用いて表示される。被験者はそれらの映画タイトルのなかからターゲットを見つけ、選択することを要求される。選択後、ターゲットとなる映画タイトルと画面レイアウトは変更される。被験者は、規定回数分、反復することを要求される。

なお、TS-Show-Act と TS-Entry-Act の使用時には、ターゲットの出現直後、それを視認する前にタップ操作を行い、ジェスチャーガイドを表示させたりジェスチャー入力を可能にしたりしておく、ターゲットがジェスチャーガイドで隠れないせいもあり、オリジナルのトレース・セレクトと同じ使い勝手が得られてしまう。そのため、これらを利用する際には、どちらのタスクにおいてもターゲットを見つけてからモードを切り替えるよう被験者に指示した。

4.3 実験装置

実験には、クロック周波数 2GHz、Core2Duo CPU 搭載の Windows7 PC を用いた。PC に接続した液晶ディスプレイ (テレビ) は 42 インチ、解像度は 1360 × 768 であった。実験中、被験者は椅子に座っており、ディスプレイから椅子の中心までの距離は 2m にセットされた。なお、この距離で、どの被験者も実験で用いた最小サイズの文字 (12 ポイント) を読みとれることを確認した。入力デバイスには、エバーグリーン製 5 インチ USB タッチパッド DN-HCP112 を用いた。上記デバイスでは、通常の相対座標入力だけでなく、ジェスチャー入力に使用できる絶対座標入力を行う機能がついていた。

実験用ソフトウェアは、フルスクリーンモードの Google Chrome ウェブブラウザ上で動作する、HTML5 と Javascript ベースのプログラムとして作成した。タッチパッドから入力された入力イベントは、1 ミリ秒単位ですべて記録された。表示フォントには Verdana を用いた。フォントカラーは黒、背景はライトグレー、ジェスチャーガイドは水色とした。ターゲットには、実際の洋画タイトル 600 種類を用いた。

4.4 被験者と実験計画

被験者は 18 人 (女性 10 人、男性 8 人) であった。年齢は 19 歳から 30 歳であり、1 人が左利き、残りは右利きであった。どの被験者も、タッチパッドによるカーソル操作をノート PC などで 3 年以上利用してきた経験はあったが、ジェスチャー入力を経験したことは一度もなかった。

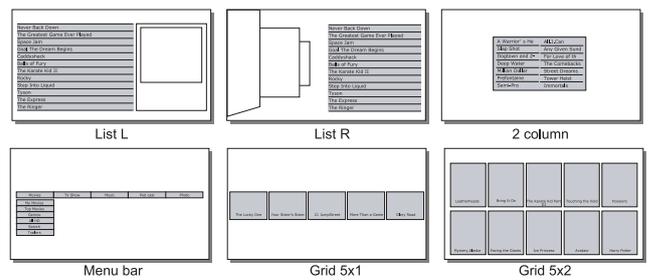


図 3 商用ビデオストリーミングサービスに基づいた画面レイアウト
Fig. 3 Screen layouts based on commercial video streaming services.

単体ターゲット選択タスクでは、4 × 3 × 4 × 3 の被験者内計画を用いた。要因と水準は以下のとおりである。

- 選択手法：カーソル (アクセラレーション付き)、トレース・セレクト、TS-Show-Act、TS-Entry-Act
- ターゲット距離：Near (90 ~ 419 px)、Mid (420 ~ 749 px)、Far (750 ~ 1079 px)
- 文字サイズ：12、18、24、36 ポイント
- 試行ブロック：1 回目、2 回目、3 回目

全試行回数は、18 被験者 × 4 選択手法 × 3 種のターゲット距離 × 4 種の文字サイズ × 6 試行ブロック (うち前半 3 回がトレーニング、後半 3 回が本番) の 5184 回であった。

ビデオストリーミングサービス型選択タスクでは、4 × 6 × 3 の被験者内計画を用いた。要因と水準は以下のとおりである。

- 選択手法：カーソル (アクセラレーション付き)、トレース・セレクト、TS-Show-Act、TS-Entry-Act
- 画面レイアウト：List L、List R、2 columns、Grid 5 × 1、Grid 5 × 2、Menu bar
- 試行ブロック：1 回目、2 回目、3 回目

全試行回数は、18 被験者 × 4 選択手法 × 6 画面レイアウト × 6 試行ブロック (うち前半 3 回がトレーニング、後半 3 回が本番) の 2592 回であった。選択手法の利用順序は被験者ごとにランダム化され、1 試行ブロックが終了するごとに選択手法を変更した。どの被験者においても単体ターゲット選択タスクが最初に実施された。

5. 結果

5.1 単体ターゲット選択タスク

図 4 に、各選択手法におけるターゲット距離、文字サイズごとの選択時間を示す。反復測定分散分析を行ったところ、有意な主効果が、選択手法 ($F_{3,51} = 101.35, p < 0.001$)、ターゲット距離 ($F_{2,34} = 17.46, p < 0.001$)、文字サイズ ($F_{3,51} = 41.52, p < 0.001$)、試行ブロック ($F_{2,34} = 35.63, p < 0.001$)、選択手法とターゲット距離の交互作用 ($F_{6,102} = 4.04, p < 0.01$)、選択手法と文字サイズの交互作用 ($F_{9,153} = 3.97, p < 0.001$)、選択手法と試行ブロックの交互作用 ($F_{6,102} = 15.14, p < 0.001$) で確認された。さ

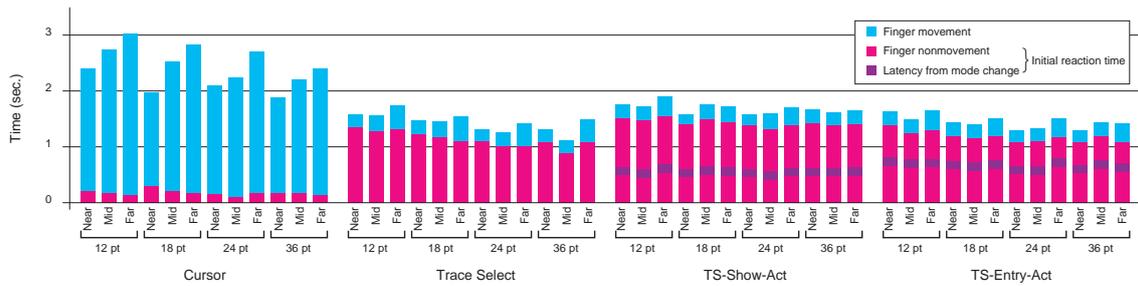


図 4 単体ターゲット選択タスクにおける選択時間。

Fig. 4 Selection time in 2-D reciprocal selection task.

	Initial reaction time				Finger movement time			
	Cursor	Trace Select	TS-Show-Act	TS-Entry-Act	Cursor	Trace Select	TS-Show-Act	TS-Entry-Act
Distance	Near - Mid - Far	n.s.	n.s.	n.s.	Near < Mid < Far	Near < Mid < Far	Near - Mid < Far	Near - Mid < Far
Font Size (pt)	12 - 18 > 24 - 36	12 - 18 > 24 - 36	12 - 18 > 24 - 36	12 - 18 > 24 - 36	12 > 18 - 24 > 36	n.s.	n.s.	n.s.

図 5 単体ターゲット選択タスクにおける多重比較の結果 (“<” / “>” は左辺が右辺より $p < 0.01$ で有意に速く / 遅く, “-” と “n.s.” は有意差が観察されなかったことを示す)。

Fig. 5 The result of multiple comparison in 2D reciprocal selection task. (“<” and “>” mean being significantly faster than and slower than at $p < 0.01$ level, respectively. “-” and “n.s.” mean no significant difference.)

らに多重比較を行ったところ (本実験の多重比較はすべてボンフェローニの手法による), トレース・セレクトはカーソル ($t_{17} = 11.53, p < 0.00001$), TS-Show-Act ($t_{17} = 4.93, p < 0.0003$) よりも有意に速く, TS-Entry-Act は TS-Show-Act ($t_{17} = 5.46, p < 0.0001$) よりも有意に速いことが確認された。トレース・セレクトと TS-Entry-Act 間では有意な差は確認されなかった ($t_{17} = 0.2, p = 0.85$)。試行ブロック間では, 1 回目は 2 回目 ($t_{17} = 3.98, p < 0.01$) および 3 回目 ($t_{17} = 4.8907, p < 0.001$) より有意に遅く, 2 回目と 3 回目間では有意差は観察されなかった ($t_{17} = 1.46, p = 0.16$)。

選択時間の内訳は, カーソルベースの手法では, ターゲットの位置を把握するまでにかかる時間と, ターゲットの位置へカーソル移動を開始しタップして選択が完了するまでにかかる時間に分けることができる。ジェスチャーベースの手法でも同様に, ターゲットを見つけてジェスチャーも認識するまでの時間 (TS-Show-Act などではジェスチャーガイドを表示するためにタップ操作する時間と, ジェスチャー入力モードへの切り替えをシステムが完了するまでのレイテンシを含む) と, ジェスチャー入力を開始し完了するまでにかかる時間に分けることが可能である。前者を Initial reaction time, 後者を Finger movement time として選択時間の内訳を分析した。

図 5 に, Initial reaction time 及び Finger movement time に対するターゲットの距離と文字サイズの影響をまとめた結果を示す。多重比較の結果, トレース・セレクトとそのバリエーションの Initial reaction time に関しては, ター

ゲット距離の主効果は観察されなかったが, 文字サイズの主効果が有意であった。また, Finger movement time に関しては, 文字サイズの主効果は観察されなかったが, ターゲット距離の主効果が有意であった (これらの詳細とカーソルの結果は同図を参照)。

5.2 ビデオストリーミングサービス型選択タスク

図 6 に, 各選択手法における画面レイアウトごとの選択時間を示す。反復測定分散分析の結果, 有意な主効果が, 選択手法 ($F_{3,51} = 60.19, p < 0.001$), 試行ブロック ($F_{2,34} = 3.97, p < 0.05$), 画面レイアウト ($F_{5,85} = 27.43, p < 0.001$), 試行ブロックと画面レイアウトの交互作用 ($F_{10,170} = 2.13, p < 0.05$), 選択手法と試行ブロックと画面レイアウトの交互作用 ($F_{30,510} = 1.47, p = 0.0527$) で確認された。さらに多重比較の結果, トレース・セレクトはカーソル ($t_{17} = 14.0, p < 0.00001$), TS-Show-Act ($t_{17} = 5.44, p < 0.0001$), TS-Entry-Act ($t_{17} = 3.86, p < 0.0025$) よりも有意に速いことが観察された。TS-Show-Act もカーソルより有意に速く ($t_{17} = 5.46, p < 0.0001$), TS-Entry-Act もカーソルより有意に速いことが観察された ($t_{17} = 12.51, p < 0.00001$)。試行ブロック間では, 1 回目は 3 回目より有意に遅いことが観察された ($t_{17} = 2.79, p < 0.05$)。1 回目と 2 回目間 ($t_{17} = 1.34, p = 0.2$), 2 回目と 3 回目間 ($t_{17} = 1.57, p = 0.14$) では有意差は観察されなかった。

Initial reaction time に関して, トレース・セレクトとそのバリエーション間で多重比較を行ったところ, トレース・セレクトは TS-Show-Act ($t_{17} = 5.90, p < 0.0001$),

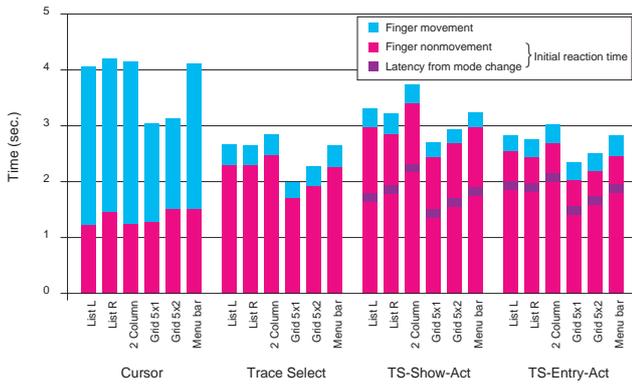


図 6 ビデオストリーミングサービス型選択タスクにおける選択時間。トレース・セレクトはカーソル, TS-Show-Act, TS-Entry-Act より有意に速い。

Fig. 6 Selection time in Video streaming service-like selection task. Trace Select was significantly faster than Cursor and the other Trace Select variations.

TS-Entry-Act ($t_{17} = 4.52, p < 0.0003$) より有意に速く, TS-Entry-Act も TS-Show-Act より有意に速いことが観察された ($t_{17} = 3.85, p < 0.0013$)。Finger movement 時間に関しては, ジェスチャーベースの手法間による有意な差は観察されなかった ($F_{2,34} = 1.73, p = 0.19$)。

5.3 総合エラー率, 主観評価など

両タスクを通しての総合エラー率は, カーソルで平均 0.41%, トレース・セレクトと TS-Show-Act で 1.85%, TS-Entry-Act で 1.96%であった。分散分析の結果, 有意差は観察されなかった ($F_{3,51} = 2.03, p = 0.1212$)。

図 7 に, ISO9241-9[20] 記載の評価項目を用いてカーソルとトレース・セレクトに対する被験者らの主観評価を求めた結果を示す。項目ごとに Wilcoxon の順位和検定を実施したところ, 13 項目中 9 項目で有意差が確認され, すべてトレース・セレクトのほうが優れるという評価であった。トレース・セレクトとそのバリエーションのなかではどれが使いやすいかも尋ねたが, トレース・セレクトが使いやすいと答えた被験者が 11 人, TS-Show-Act と答えた被験者が 2 人, 違いを感じないと答えた被験者が 5 人であった。

両タスクを通じて, TS-Show-Act のモード切り替えにかかるシステムのレイテンシは平均 0.146 秒, TS-Entry-Act では平均 0.148 秒であり, 有意差は観察されなかった ($t_{1941.81} = 0.57, p = 0.57$)。

6. 考察

6.1 従来の選択手法に対する優位性

トレース・セレクトは, 両タスクにおいてアクセラレーションを用いたカーソルベースの手法より有意に速かった (平均して 37% 高速化した)。また, 主観評価では 13 項目中 9 項目で優れる結果となり, 特に 13 番目の項目では 18

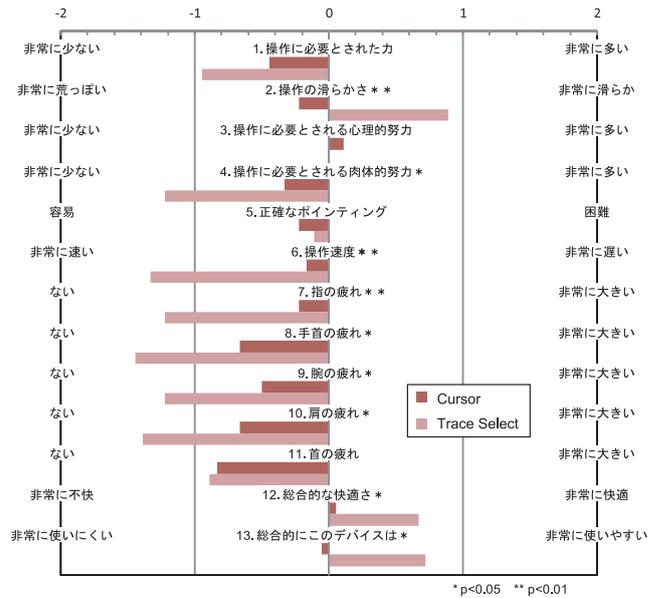


図 7 主観評価の結果。13 項目中 9 項目で有意差が観察され, すべてトレース・セレクトのほうが優れる評価。

Fig. 7 Subjective Judgments. Trace Select was significantly better than cursor-based selection in 9 of 13 items.

人中 16 人がカーソルより使いやすいという評価を与えた。加えて, ジェスチャーガイドの表示をアクティベートする必要がある TS-Show-Act よりも有意に速いことが確認された。以上の結果から, タッチパッドを使ったりリモコンで利用する際には, トレース・セレクトはカーソルベースの手法やアクティベーションを要求するジェスチャーベースの手法より操作性に優れることが示唆される。

ただし, エラー率に関しては, 有意差は観察されなかったものの, トレース・セレクトはカーソルより劣る結果となった。そこで, トレースセレクトとそのバリエーションについて, エラーとなった全ジェスチャーに対して単盲検試験を実施したところ, 全体の 71% ものエラーが, 人間が判定すれば, 所望のターゲットを選択するための正しいジェスチャーとして認識できるエラーであること, つまり, ジェスチャー認識ソフトウェアの不完全性によって引き起こされた偽陰性 (false negative) のエラーであることが判明した。しかしながら, 偽陰性エラー全体の 55% は, S, W といった文字をそのとおりに描くジェスチャーであり, これらのジェスチャーは比較的複雑ではあるが, 特徴的な形状を持っている。そのため, 認識ソフトウェアをすぐに調整して性能向上させ, エラーを減少させることは可能と考えられる。

6.2 ターゲットの距離とサイズが及ぼす影響

トレース・セレクトとそのバリエーションに関しては, 文字サイズが小さくなるにつれ, Initial reaction time が有意に増加した。具体的には, 12 ポイント時と 36 ポイント時の差は平均 0.13 秒であった。ちなみに, 18 人中 12 人の

被験者が「実験を通じて個々の文字に対するジェスチャーガイドを覚えてしまったため、それらを注意深く視認せずともターゲットを選択することができた」という趣旨のコメントを残している。以上の結果から、文字サイズが小さくなるにつれ操作性は悪化するものの、実際の選択時間に対する影響は比較的小さく、長期利用によりその影響はより減少するものと考えられる。

トレース・セレクトとそのパリエーションの Finger movement time に関しては、興味深いことに、ターゲットまでの距離が増加するにつれ、有意に増加した。Near と Far との差は平均 0.133 秒と小さいものの、この理由は今のところ不明であり、今後、解明することとしたい。

6.3 ジェスチャーガイドを常時表示しておくことの効果

トレース・セレクトと TS-Entry-Act での選択時間を比較すると、後者はジェスチャー入力をアクティベートするために操作数が増えていたにもかかわらず、単体ターゲット選択タスクでは、有意な差は観察されなかった。ビデオストリーミングサービス型選択タスクでは、トレース・セレクトは有意に速かったものの、TS-Entry-Act におけるシステムのレイテンシを除くと、その差はわずか 0.083 秒であった。結局のところ、切り替え操作の手間自体は大きな影響を及ぼさないとと言える。

一方、TS-Show-Act と TS-Entry-Act の選択時間を比較すると、どちらもジェスチャーを入力する前に一度タップしなければならないため操作数は同じであり、アクティベーション時のレイテンシもほぼ同じであるにもかかわらず、その差は 0.467 秒であった。以上の結果から、切り替え操作自体よりも、急に表示されるジェスチャーガイドの認識に時間がかかることが明らかになった。同時に、提案手法はこの認知負荷を軽減することで選択速度を向上させていることも明らかになった。

7. 結論

本論文では、タッチパッドを使ったりリモコン向けのターゲット選択手法としてトレース・セレクトを提案した。評価実験では、従来のカーソルベースの手法やジェスチャーガイドの表示 / 非表示を切り替える必要がある手法の選択速度を凌駕すること、ターゲットの距離とサイズが提案手法の操作性に及ぼす影響、提案手法のようにジェスチャーガイドを常に表示しておくことの具体的な効果について明らかにした。今後は、英字以外の文字への適用方法を中心に検討する予定である。ただし、漢字の場合には、画数が多いため文字が小さく表示されるとジェスチャーガイドが視認できず、文字数も膨大であるため覚えて入力することも困難になることが予想される。加えて、文字数の多さからジェスチャーガイドの開発工数も膨大になるため、どのような工夫を施して応用するかが課題である。

参考文献

- [1] <http://www.sharp.co.jp/i-aquos/products/ax120s/remocon.html>
- [2] <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20120111/203449/>
- [3] <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20120110/203410/>
- [4] Aoki, R., Ihara, M., Maeda, A., Kobayashi, M., Kagami, S.: Unicursal gesture interface for TV remote with touch screens, *Proc. ICCE '11*, pp.99–100, (2011).
- [5] Aoki, R.; Ihara, M.; Maeda, A.; Kobayashi, M.; Kagami, S.: Expanding kinds of gestures for hierarchical menu selection by unicursal gesture interface, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.57, No.2, pp.731–737 (2011).
- [6] 前田, 稲垣, 阿部: 矢印タグを利用したテレビ用ウェブブラウザ選択手法の開発, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 基礎・境界, p.264, (2008).
- [7] Maeda, A., Inagaki, H., Abe, M.: Arrow Tag: A Direction-Key-Based Technique for Rapidly Selecting Hyperlinks While Gazing at a Screen, *Proc. CHI 2009*, pp.1025–1028 (2009).
- [8] 前田, 稲垣, 小林, 阿部: “矢印タグ”を利用したテレビ用ウェブブラウザ・リンク選択方式, 情報処理学会論文誌, Vol.51, No.2, pp.346–355 (2010).
- [9] Bragdon, A., Ko, H.: Gesture Select: Acquiring Remote Targets on Large Displays without Pointing, *Proc. CHI '11*, pp.189–196 (2011).
- [10] Pointerballistics for Windows XP, www.microsoft.com/whdc/archive/pointer-bal.msp
- [11] Casiez, G., Vogel, D., Balakrishnan, R. and Cockburn, A.: The impact of control-display gain on user performance in pointing tasks, *Human-Computer Interaction 2008*, Vol.23, pp.215–250 (2008).
- [12] Casiez, G., Vogel, D., Pan, Q., Chaillou, C.: RubberEdge: reducing clutching by combining position and rate control with elastic feedback, *Proc. UIST '07*, pp.129–138, (2007).
- [13] McCallum, D., Irani, P.: ARC-Pad: absolute+relative cursor positioning for large displays with a mobile touchscreen, *UIST '09*, pp.153–156, (2009).
- [14] Baudisch, P., et al.: Drag-and-Pop and Drag-and-Pick: techniques for accessing remote screen content on touch-and-pen operated systems, *Proc. INTERACT'03*, pp.57–64, (2003).
- [15] Collomb, M., Hascoet, M., Baudisch, P., and Lee, B.: Improving drag-and-drop on wall-size displays, *Proc. GI'05*, pp.25–32 (2005).
- [16] Bezerianos, A., Balakrishnan, R.: The vacuum: facilitating the manipulation of distant objects, *Proc. CHI'05*, pp.361–370 (2005).
- [17] Yatani, K., Partridge, K., et al.: Escape: a target selection technique using visually-cued gestures, *Proc. CHI'08*, pp.285–294 (2008).
- [18] Paek, T., et al.: Toward universal mobile interaction for shared displays, *In Proc. CSCW '04*, pp.266–269 (2004).
- [19] Graffiti, http://en.wikipedia.org/wiki/Graffiti_%28Palm_OS%29
- [20] ISO9241-9: Ergonomic design for office work with visual display terminals (VDTs). Part 9: Requirements for non-keyboard input devices, International Standardization Organization (2000).