

文鎮メタファを利用したペンインタフェース

Pen Interface Using Paperweight Metaphor

椎尾 一郎 辻田 眸 岩淵 絵里子*

Summary. Conventional scrolling methods for small sized display in PDAs, mobile phones or small pen computers are difficult to use when frequent switching of scrolling and editing operations are required, for example, browsing and operating large sized WWW pages. In this paper, we propose a new user-interface method to provide seamless switching between scrolling and other operations such as editing, based on “Paperweight Metaphor”. A sheet of paper that has been placed on a slippery table is difficult to draw on. Therefore, in order to write or draw something on the sheet of paper, a person must secure the paper with his/her palm to avoid the paper from moving. This will be a good metaphor to design switching operation of scroll and editing modes. We have made prototype systems by placing a touch sensor under each PDA and pen computer display where user’s palm will be hit. We also have developed application programs to browse maps, WWW pages and photographs, which switch scrolling and other operation mode by the sensor output, and have evaluated them.

1 はじめに

従来のペンインタフェースでは、筆圧やペンの傾きで線種を変更したり、ペンの他端を使うことで色を変えたり消しゴム機能を提供するなど、実際の筆記具の操作をメタファーとして利用することで、様々な機能が実現されてきた。しかしながら、筆記具を持つ人の手の動きに注目したインタフェースの提案や実用化はあまり行われてこなかった。

一方、ペンを利用した PDA (Personal Digital Assistant)、携帯電話、小型タブレット PC (Ultra-Mobile PC) などが普及しつつあるが、これらの小型ペンコンピュータは、小型であるために操作性や表示の一覧性に課題を抱えている。その一つとして、表示画面が小さいために、サイズの大きなコンテンツを一度に表示することが困難であることがあげられる。

大きなサイズのコンテンツを表示するために、一般には、コンテンツの一部のみを表示して、スクロールバー操作や、コンテンツ部分のドラッグ操作等により、残りの部分をスクロール表示する手法がとられる。コンテンツ操作とスクロール操作の切替えには、スクロールバーの場合は、スクロールバーまで指示装置を移動する必要があり、コンテンツ部分のドラッグでスクロールする場合は、スクロールモードへの切替えが必要となる。この操作が頻繁に必要になり煩雑になることが、小画面表示デバイスを操作する際の問題点となっていた。さらに、スクロー

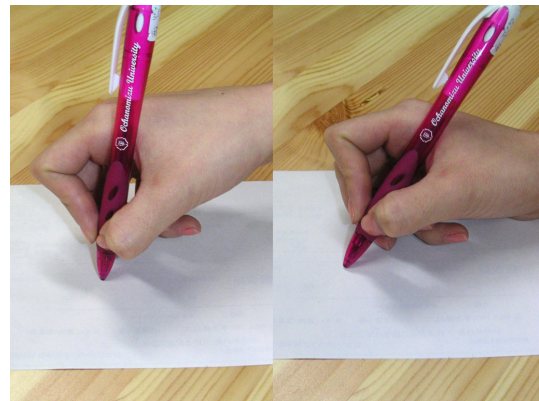


図 1. 文鎮メタファの説明。机上の紙片は筆記具を動かすと移動してしまう(左)ので、書き込むには手で押さえないといけない(右)。

ルバーやモード切替えボタンの表示のために、小画面の貴重なスペースを消費してしまう問題点もある。

このため、ディスプレイが小さい小型ペンコンピュータのために、スクロール操作、ズーム操作、編集操作を、シームレスに実現するユーザインタフェース手法の実現が望まれていた。

2 文鎮メタファ

本研究では、表示コンテンツの編集操作とスクロール操作を直感的に切替える手段として、文鎮メタファにもとづくインタフェース手法を提案する。図 1 のように、平滑な机の上に紙片を置き、片手で紙片に文字を書き込もうとする場合、筆記具の先だけを紙の上に置いて動かすと、文字を書くことがで

Copyright is held by the author(s).

* Itiro Sio, お茶の水女子大学理学部情報科学科, Hitomi Tsujita, お茶の水女子大学大学院人間文化研究科 and Eriko Iwabuchi, お茶の水女子大学理学部情報科学科



図 2. 文鎮メタファーのためのセンサを実装した 3 種類の試作機．丸印で示したタッチセンサ電極を, (1)(3) は画面下部中央に設置し, (2) は右下部に設置した．

きず紙が滑ってしまうことがある (図 1 左)．このような状況では, 人は, 手のひらを使って, 紙を押さえて固定して文字を書こうとする (図 1 右)．

このように, 手を使って文鎮のように紙を押さえるという, ユーザが慣れ親しんでいる動作をメタファとして利用すれば, スクロールと編集操作をスムーズに直感的に切替えるインタフェースが実現可能である．たとえば, 机の上の紙をスライドさせる動作は, 表示内容をスクロールさせる操作として利用することができるし, 紙を押さえて文字を書く動作は, 表示内容を編集する操作として利用できる．

文鎮メタファは, 編集以外の他の操作, たとえば表示内容の回転やズーム操作にも利用できる．平滑な机の上に置かれた紙を手のひらで弱く押さえつつ, 筆記具を紙に当てて左から右に動かすと, 手のひらで固定した部分を中心として, 紙が時計方向に回転することがある．この動作は, 表示内容の回転操作として利用できる．また, もし机の上に置かれた物が, 薄いゴムシートのように伸縮し易い素材であった場合, 手のひらで押さえつつ筆記具を当てて手前から向こうへ動かすと, ゴムシートは引き延ばされるし, 逆に動かせばゴムシートは収縮するであろう．この動作は, 表示内容の拡大, 縮小操作として利用できる．

3 応用例と実装

文鎮メタファーによるインタフェースを実現するために, タッチパネル式ペンコンピュータ¹のペン

¹ SHARP 社: Zaurus SL-C720 (Linux OS), Hewlett Packard 社: iPAQ h2210 (Windows Mobile 2003) および PBJ 社: Smart Caddie (Windows XP).



図 3. 上はセンサ (円内) に触れずにドラッグすることでスクロールしているところ, 下はセンサに触れることで手書きメモ入力しているところ．

を持つ手のひらが当たる場所に, タッチセンサ²の電極を取り付けた 3 種類の試作機を作製した．これらを図 2 に示す．タッチセンサの出力値は, PDA に有線で入力されている．この信号をプログラムで読み取ることにより, 人の手が触れているかどうかによって, 表示内容の操作モードを切替えるインタフェースが実装可能になる．

文鎮メタファーが, さまざまなアプリケーションに適用できて有用であることを示す目的で, 地図ブラウザ, WWW ブラウザ, および写真ブラウザの 3 種類のアプリケーション³を開発した．これらのアプリケーションでは, センサの出力を利用して, スクロールモードと他の操作モード, すなわちメモ書き, WWW 操作, ズームと回転とのスムーズな切替えを実現している．

3.1 スクロールと編集モード

手のひらで押さえるもしくは押さえない動作により, たとえば, ワードプロセッサの編集モードとスク

² Quantum Research Group 社: QTouch.

³ Java (Zaurus) および C# (iPAQ, Smart Caddie) で開発．



図 4. 文鎮メタファーによるスクロールモード切替えを実装した WWW ブラウザ。

ロールモードを切替えることができる。大きなキャンバスに描画するグラフィクスエディタなどでも、このような直感的なスクロール操作が有効である。さらに、大きな画面の PC 向けに用意された WWW ページを閲覧する PDA や携帯電話用 WWW ブラウザにも有効である。文鎮メタファーを用いたスクロールと編集モードの切替えは、これ以外の様々な産業向け小型ペンコンピュータアプリケーション、たとえば、医療現場で患者のカルテを閲覧しメモ書きするシステム、現場での棚卸し支援アプリケーションなどにも応用できるであろう。

3.1.1 地図ブラウザ

文鎮メタファーを使ったスクロールモード切替えの有用性を確認するために、図 3 に示す地図ブラウザを試作した。ユーザがタッチセンサに手のひらを当てない状態で画面をドラッグすると、表示された地図はペンの動きにあわせてスクロールする。一方、タッチセンサに手のひらを当てながらドラッグすると、地図はスクロールせず、その上に手書きメモを書き込むことができる。

3.1.2 WWW ブラウザ

次に、文鎮メタファーによるスクロールモード切替えが WWW ページの閲覧操作にも有効であることを示すために、図 4 に示す WWW ブラウザを試作した。地図ブラウザと同様に、ユーザがタッチセンサに手のひらを当てないでドラッグすると、表示されている WWW ページがペンの動きに合わせてスクロールする。一方、センサに手のひらを当てた状態で画面を操作すると、従来の WWW ブラウザと同様の操作、たとえば、リンク部分をクリックする、ボタンを押す、ソフトウェアキーボードや手書き文字認識ボックスを使って入力ボックスにテキストを入力するなどの操作が可能になる。これにより、大きな画面の PC 向けに用意された WWW ページ

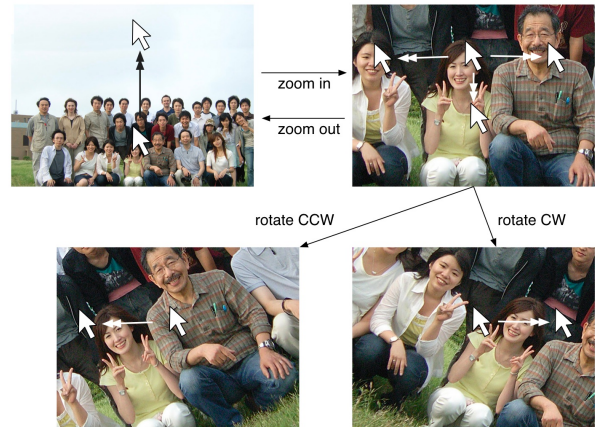


図 5. 文鎮メタファーにもとづくスクロール、ズーム、回転操作を実現した写真ブラウザ。

も、直感的なスクロールモードへの切替えを実現することで、容易に閲覧しスムーズに操作できる。

3.2 スクロールと回転拡大縮小モード

3.2.1 写真ブラウザ

次に、文鎮メタファーによる操作を採用して試作した写真ブラウザの機能を、図 5 で説明する。このアプリケーションでも、手のひらをセンサに当てないで画面をドラッグすると、ペンの方向に写真がスクロールする。一方、手のひらを当てながら、ペンで画面をドラッグした場合は、写真の拡大縮小と回転の操作を行うことができる。これは前節で述べた、紙が不完全に固定された状態の動作にもとづいている。すなわち、ペンを左右にドラッグすると、ペンの動く方向に写真が回転する。また、薄いゴムシートのような素材を手のひらとペンで伸縮させる動作にもとづいて、ペンを画面上方にドラッグすると写真が拡大し、下方にドラッグすると写真が縮小する。試作した写真ブラウザでは文鎮メタファーに基づいた動作をリアルに表現するために、ペンを上下に動かすと、ペンと画面下部端との中点を中心に拡大縮小し、ペンを左右に動かすと、画面下部端中央を中心に回転する。このような条件で、画像をスムーズに拡大縮小回転させることで、文鎮メタファーに基づいた動きをリアルに提示することができた。以上のシームレスな操作の組み合わせにより、直感的な操作で写真を拡大、縮小、回転、スクロールし、閲覧することが可能になる。

3.3 ウェアラブルへの応用

文鎮メタファーにもとづくユーザインタフェースの実現は、従来コンピュータの入力に利用されなかった手のひらの接触というユーザ動作を活用しようとする試みである。これは、インタフェースに利用で



図 6. 腕装着型ウェアラブルコンピュータへの応用．文鎮メタファーは片手操作が必須の状況で効果的である．

きる人の動作が制約されるコンピュータ利用形態，たとえばウェアラブルコンピューティングにおいて，インタフェース手法の選択肢を広げる手段として利用できるであろう．ウェアラブルコンピューティングにおいて，ユーザは，コンピュータの操作に加えて，しばしば実世界のタスクを実行する必要がある．このため，ハンズフリーなコンピュータ操作が重要になる．両手をすばやく解放させる操作形態として，片手操作が可能な腕装着型のデバイスが数多く開発されている⁴．このようなデバイスで，入力領域の周囲にタッチセンサを配置して，手のひらの接触を利用してモードを切替える本手法は，片手で操作できる機能の数を増やすことができ有効である(図6)．

3.4 その他のモード切替えへの応用

携帯電話，PDA，ペンコンピュータなどへの手のひらの接触は，文鎮メタファーにもとづく操作以外に，素早く操作できるモード切替え手段として利用できる．たとえば以下のような利用が考えられる．

小型ペンコンピュータは公共の場に携帯されて利用されることも多い．そのため，住所や電話番号など個人情報を記入したり，パスワードを入力するなど，他の人に画面を見られたくない場合もある．そこでプライベートな情報を入力(手がタッチ)している時に，バックライトの照度を下げる等の仕組みを機能させ，のぞき防止用の画面とすることが可能である．

ディスプレイ一体型タブレットを間に置いて対向する対向する2名のユーザが，両方向から同時に操作する利用環境において，接触センサをそれぞれのユーザの手のひらの当たる場所に設置すれば，どちらのユーザが画面の操作をしているのかを検出することができる．これにより，どちらのユーザの書き

込みであるかを判定して記録するアプリケーション等が実現できる．

本論文ではペンを利用した操作を実装したが，文鎮メタファーの説明で紹介した滑り易い机上の紙は，ペンの代わりに人差し指を使っても同様な動きをする．そのため，指を使うタッチパネルデバイスでも，手のひらの接触でスクロールモードを切り替える文鎮メタファーは利用できるであろう．たとえば，ノートPCなどで利用されている，指先の接触位置を検出するタッチパッドの手前に接触センサを取り付ければ，通常はマウスのような相対座標入力装置として機能し，手のひらが当たっている場合には，ペンタブレットのような絶対座標入力装置として機能させることができる．これにより，例えば，手のひらを触れた状態で，タッチパッドに文字を書くことで，文字認識を行い文字入力を行うなどの機能を実装することが可能になる．

4 ユーザ評価

試作機のうち，文鎮メタファーの有用性が特に高いと考えられる小型画面をもつPDA型コンピュータ2機種(図2の(1)(2))を使い，試作したアプリケーションや評価用のプログラムを実際に使用してもらい，ユーザ評価を行った．なお，以下のすべての評価では，ユーザは試作機を片手で保持し，もう一方の手でペンを操作した．また，使用に先立って，文鎮メタファーの説明をして，動作モデルを理解してもらった．

4.1 タッチセンサ位置の検討

タッチセンサの感知部分の適切な位置を決めるために，図2の(1)(2)に示す試作機により，ユーザ評価を行った．まず図2の(1)に示す，表示部下部の中央に左右対称な大きな電極を配置した試作機を評価した．これは利き手が左右どちらの人でも使える配置である．被験者は年齢22歳前後の7人の学部学生で，コンピュータ利用者ではあるものの，日常的なPDA利用者ではない．このうち2名が左利きであった．前節で紹介した地図ブラウザを利用して，所属大学の周辺地図を表示し，被験者らに，最寄り駅から大学正門までの道順をペンで描いてもらうタスクを依頼した．地図は面積比で画面の5.3倍の大きさであったため，このタスクを実行するためには，タッチセンサを使った画面スクロールと書き込みのモード切替えを頻りに繰り返す必要がある．

操作する様子を観察したところ，被験者らはタッチセンサ電極の中央部分ではなく，左右いずれかの利き手の側の部分を使って操作していることが判明した．右利きの被験者のすべてが，図2の(2)に示すような，センサ部分が表示部分の右下に設置されるデザインが望ましいと述べた．これらのフィードバックから，タッチセンサは表示下部の利き手側に

⁴ たとえば Symbol Technologies 社: WSS1000 や，
<http://www.orang-otang.com/>

設置するのが良いと結論した。センサーの場所、大きさ、形に関しては、今後、個人差や、機器の大きさや形に合わせたさらに細かい調整と設計検討が必要と思われる。たとえば、図2の(3)に示すようなPDAより大きいペンコンピュータでは、手のひらを当てる場所が広い範囲にわたるので、図のように画面下部の広い範囲にセンサを設置すべきである。

4.2 デモにおけるコメント

このユーザ評価にもとづき、表示画面の右下の角にタッチセンサーをとりつけた試作機(図2の(2))を制作し、合計50人以上のユーザを対象に国内外でデモを行った[9][8]。試用したほとんどの人々がスクロールと編集モードをスムーズに切替えることができた感想を述べた。また、文鎮メタファーにもとづくモード切替操作は、直感的で使いやすく覚え易いとの評価を得た。一方で、タッチセンサが反応しているかどうかかわからなく不安に感じることがあるとの感想も得た。この問題に対応するためには、表示もしくは音などを用いて、モード切替の状態をわかり易く提示する必要があると考えている。

本システムを試用した一部の人々から、ディスプレイ右下に表示された内容を編集する作業が困難であるという指摘を受けた。この部分はタッチセンサに近い部分であるので、右手部分のひらで覆われる部分である。本方式ではスムーズなスクロール手法を提供しており、これにより操作対象を容易に画面中央に移動させることができるので、慣れるに従い、作業が困難な場所に置かれた内容进行操作しようとする試みが、次第に少なくなるのではと考えている。一部の試用者から、手のひらで覆われる部分の編集を行うために、PDAを支えている非利き手の親指で操作する追加のタッチセンサーが欲しいという要望もあった。Liらは、非利き手で操作するスイッチにより、さまざまなモード切替を行うことで、操作効率が改善される指摘している[4]。非利き手親指で操作するモード切替スイッチとの比較は次節で述べる。

小型ペンコンピュータを、歩行中や乗り物の中のような動揺する環境で使用する場合、手のひらを当てて手を支えることで安定した入力が可能になる。実際に一部のPDA⁵では、下部の角を丸くデザインして、手のひらを快適に当てられるよう考慮されている。手を機器に当てて小型ペンコンピュータを操作することは日常的に行われており、これを前提とした本方式はユーザに受け入れられると考えている。また、細かい作業が必要で動揺を嫌う編集作業を、手のひらを当てて行い、全体を閲覧するようなおおまかなスクロール作業を、手のひらを浮かして行う本方式は、合理的な割当であると言える。



図7. 利き手(右手)の手のひらが当たる部分(左円内)と、非利き手(左手)の親指があたる部分(左円内)にタッチセンサをつけた試作機。評価実験用プログラムが動作している。

4.3 評価実験

提案システムの有効性を定量的に検証するために、表示内容のスクロールと操作を行う作業の効率を測定し比較する実験を行った。20代から50代の被験者5人(男2人、女3人)に対し、ペンを持つ右手の手のひらの接触でスクロールモードを切替える本手法(以下文鎮方式)と、機器を支える左手の親指でモードを切替える手法(以下親指方式)と、スクロールバーにより内容をスクロールする従来の方式(以下バー方式)の比較を行った。このために、図7に示すように、機器を支持する手の親指があたる部分にもタッチセンサをつけた試作機を制作した。この画面の240x268画素の表示領域に、60x70画素の赤と白の四角形を10x10個、合計100個並べた画像を表示した。画像(600x700画素)は表示領域より大きいので、図7に示すように一部しか表示されない。この四角形は、ペンのクリックにより、白赤の色が入れ替わる。被験者には、この画像をスクロールしながら赤色の四角形をクリックしてもらい、100個の四角形をすべて赤色にするタスクを依頼して、その所要時間とエラー回数(初期状態で赤い四角形をクリックした回数)を測定した。測定はそれぞれの方式に対して2回、順番を入替えて行った。それぞれの回の被験者全員の平均値を表1に示す。

表1. タスクの所要時間(秒)(括弧内はエラー回数)

	文鎮方式	親指方式	バー方式
1回目	38.2 (1.2)	46.6 (1.4)	70.3 (6.0)
2回目	38.6 (1.2)	35.2 (1.4)	55.0 (3.8)

本方式と比べて、バー方式はタスク達成に時間を要し、エラー回数も多いことがわかる。これにより、

⁵ たとえばHP社:iPAQ rx1950など

本方式は従来のスクロールバーを使った方式より優れていることが確認できた。一方、文鎮方式と親指方式では、時間、エラー回数に大きな違いはなかった。親指方式、バー方式は1回目より2回目のほうが時間が短くなっているのに対して、文鎮方式はあまり差が無いことがわかる。本方式がわかり易く、学習の必要性が少ないことを示していると考えられる。被験者に感想を述べてもらったところ、文鎮方式と親指方式を比較した場合、「文鎮方式は親指方式より操作しやすい」「親指方式はボタンを押しているのか離しているのかわからなくなる」「親指に神経を集中しなければならぬので疲れる」と本方式を支持する意見が多い一方で、「右下のセンサ付近は操作しにくい」と、センサに当てた手で覆われる部分の操作のし難さを指摘する声もやはりあった。一方、バー方式に対しては、「スクロールバーが小さくて操作しにくい」と指示の難しさを指摘する意見が多かった。

5 関連研究

ノートPCのタッチパッドにユーザの指が接触することを利用して、キーボードの機能を切替える手法が提案されている[7]。本研究は、小型スクリーンを備えたペンコンピュータを対象としている。また、小型ペンコンピュータの画面の周囲に指先接触位置センサを配置して、この操作によりページめくりなどを実現する手法が提案されている[3]。また、傾きセンサを用いて地図やメニューを操作する手法[6][1]、圧力センサや傾きセンサを用いて文書などをスクロールする手法Harrison[2]などが提案されている。またRodDirect[5]では、小型ペンコンピュータに半分格納したペンを、回転したり抜き差しする動作を利用したコンピュータ操作を実現している。本研究では、単純なタッチセンサの追加により、文鎮メタファを提案したスムーズなモード切替えの実現を目的としている。

6 まとめ

文鎮メタファを適用して、手のひらがタッチセンサに触れている間は文字入力等のコンテンツ操作が可能であり、手のひらが離れている時にはドラッグによりスクロールするインタフェースを考案した。これにより、直感的で自然な操作で、モードを感じさせることなく、コンテンツのスクロールとコンテンツの操作・編集を切替えて操作することが可能になった。さらに、このインタフェースを実装し、地図、WWWページ、写真を閲覧するアプリケーションを試作し評価した。これらのアプリケーションを50人以上のユーザに試してもらい、評価とコメントを得た。また、従来方式であるスクロールバーを使った方式と、機器を支持する手の操作を使ったモード

切換え方式との比較実験を行い、本方式が有用であることを示した。

今後は、ペンコンピュータのみならず、ノートPCのタッチパッド、ウェアラブルコンピュータなどに、タッチセンサによるインタフェースを実装し、人の自然な行動による人体の接触を利用したインタフェースの提案と評価を行いたい。

謝辞

本件研究は、科学研究費補助金(基盤研究B)の支援を受けた。

参考文献

- [1] G. W. Fitzmaurice. Situated information spaces and spatially aware palmtop computers. *Commun. ACM*, 36(7):39–49, 1993.
- [2] B. L. Harrison, K. P. Fishkin, A. Gujar, C. Mochon, and R. Want. Squeeze me, hold me, tilt me! An exploration of manipulative user interfaces. In *CHI '98: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 17–24, New York, NY, USA, 1998. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- [3] K. Hinckley, J. Pierce, M. Sinclair, and E. Horvitz. Sensing techniques for mobile interaction. In *UIST '00: Proceedings of the 13th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 91–100, New York, NY, USA, 2000. ACM Press.
- [4] Y. Li, K. Hinckley, Z. Guan, and J. A. Landay. Experimental analysis of mode switching techniques in pen-based user interfaces. In *CHI '05: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp. 461–470, New York, NY, USA, 2005. ACM Press.
- [5] M. Miura and S. Kunifuji. Using Stylus as a Peripheral Input Device. In *ACM UIST2005 Companion (Demo)*, pp. 45–46, 2005.
- [6] J. Rekimoto. Tilting operations for small screen interfaces. In *UIST '96: Proceedings of the 9th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp. 167–168, New York, NY, USA, 1996. ACM Press.
- [7] J. Rekimoto. ThumbSense: automatic input mode sensing for touchpad-based interactions. In *CHI '03: CHI '03 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp. 852–853, New York, NY, USA, 2003. ACM Press.
- [8] I. Siio and H. Tsujita. Finding Objects in "Mobile Interaction Using Paperweight Metaphor". In *CHI '06 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp. 1325–1330. ACM Press, 2006.
- [9] 辻田 眸, 椎尾 一郎. 文鎮メタファを利用した小型情報機器向けインタフェース. 情報処理学会シンポジウムシリーズ, インタラクシオン 2006 論文集, 2006(4):203–204, Mar. 2–3 2006.