

スタイラスの動きを利用したモバイル端末向け 入力インタフェース RodDirect

三浦 元喜 國藤 進

北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科

RodDirect: An Input Device Utilizing Movement of Stylus

Motoki Miura and Susumu Kunifuji

School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

1 はじめに

携帯電話やスマートフォン, PDA に代表されるモバイル端末は, 可搬性を高めるため小型・軽量化が求められている。しかし, 小型・軽量化を重視すると, キーボードのような入力デバイスを強化・拡張することが難しい。小型デバイスの入力を強化するため, PDA の多くはタッチスクリーンを搭載しており, ペン(スタイラス)による直感的なポインティングや筆記を可能としている。しかし, 作業前にスタイラスを抜いて持ち替えたり, 作業後スタイラスホルダに差し戻したりする動作は煩雑であり, 移動を伴いながら頻繁に On と Off を切り替える状況には適していない。一方, モバイル端末では, カレンダーで予定を確認したり, 地図や文書を閲覧したりといった短時間の確認・閲覧作業を断続的に行うことが多く, スタイラスを抜き差しする動作の回数が多くなりがちである。

我々は, モバイル端末の使用形態に則し, スタイラスを完全に抜き取ることなく端末を操作する入力手法 RodDirect を提案している [1]。本稿では, RodDirect の概要とモバイル利用における適用例を, 関連研究を交えながら説明する。また画面スクロール作業を対象とした他の入力手法との比較について述べる。

2 RodDirect

RodDirect は, スタイラスがスタイラスホルダに格納されている時点での位置や動作量を利用した入力インタフェースである [1]。一般に, スタイラスはタッチパネルを詳細に操作する必要があるときにホルダから取り出されて使用されるものであるが, 画面タップを行わないときや PDA を持ち運ぶときには本体内のホルダに格納されていることが多い。RodDirect では, 図 1 (左) に示すように, スタイラスが格納されている状態での回転量とスライド量という 2 種類の動作量をデバイスへの入力として利用する。スタイラスとホルダの物理的な制約のため, スライド量についてはスタイラス長の制約によって値の範囲は限定されるが, 回転に関しては限定されない。

2.1 他の操作手法との比較

通常, RodDirect を利用して操作を行う場合, ユーザはスタイラスを利き手で持ち, PDA をもう一方の手で保持する(図 1 右参照)。これは両手を使用するという点では, 従来の画面へのタップ動作を行う場合と同様である。しかし, RodDirect は画面



図 1: (左) ホルダに格納している間のスタイラス動作
(右) RodDirect による操作イメージ

タップ動作と比較して, スタイラスを完全に取り出し, 持ち替え, またホルダに戻すといった一連の手順が軽減できるという利点がある。

PDA にはボタンや十字キー, ジョグダイヤルを備えるものがあり, アプリケーション起動や画面切り替え, スクロール, メニュー選択といった操作に利用されている。しかし, スクロールやパラメータを調整する作業など, 細かな操作を遂行する作業において十分な操作手段を提供しているとは言い難い。

このことから, RodDirect は以下のような状況・作業に適していると考えられる。

- 頻繁に操作状態と非操作状態が切り替わるような状況
- 画面タップほど複雑な操作は必要ないが, ボタンやジョグダイヤルによる操作では遂行に難がある作業

3 関連研究

人間にとってより自然なインタラクションを提供することを目的として, センサを利用し小型デバイスの操作性を高める研究が行われている。Fitzmaurice ら [2] や Rekimoto [3] は姿勢と位置を検出するセンサを付加することにより, 直感的なナビゲーションやメニュー操作を行う手法を提案している。Harrison ら [4] は姿勢を用いたナビゲーションや感圧センサを用いたページ送りメタファを提案している。Hinckley ら [5] は傾きセンサやタッチセンサなどによりユーザがデバイスを扱っている状況を検知し音声メモの起動や画面方向の切替えなどを自然に行うことを提案している。また, 姿勢や位置を環境や機器間の情報の転送や連携に利用した研究として HyperPalette [6] や Toss-it [7] がある。これらの研究の多くは小型デバイスの可搬性を活かし,

実世界のメタファに関連付けた直感的な操作を実現し、拡張現実感 (Augmented Reality) を小型デバイスの操作に適用した点で有効性が高い。反面、加速度や位置などを取得するセンサにより姿勢やジェスチャを検出する上での認識精度の問題や、周囲の環境に依存するといった問題が実際の小型デバイスに適用する上での障害となっている。

RodDirect に関連した操作手法・技術として、Scroll Display[8] や ScrollPad[9] がある。これらは背面にマウスと同等のセンサを付加し、実空間上での平面上の移動距離に合わせて画面をスクロールしたりメニューを選択したりするものであるが、モバイル環境では近くに適切な面がない場合も考えられる。Peephole Display[10] では平面がない場合でも利用可能とするため、3次元位置トラッカを使用して仮想平面の移動やズームを直感的に行う手法を提案している。しかし、環境を選ぶという点では本来のモバイル用途にはあまり適していない。その点、RodDirect は PDA に付属するスタイラスを利用するため、環境に依存しないため、モバイル利用に適しているといえる。また、デバイスの外面に機構を露出する必要がないためデバイス筐体のデザインに与える制約も少ない。

3.1 インタラクション手法

RodDirect を利用したインタラクション手法は、以下の4つに大別できる。

(1) スクロールのメタファ 図2左に示すように、スタイラスに仮想画面が巻き付いており、回転とスライド操作によって仮想画面が移動するメタファである。スライド可能な量の制限については、ボタンや画面を押している間仮想画面をロックする「クラッチ機能」により、ある程度は緩和できる。

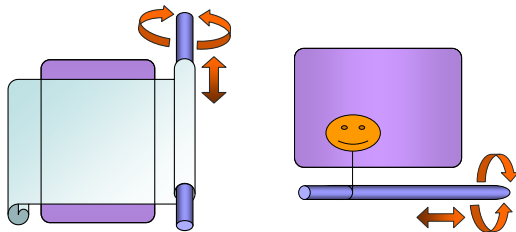


図2: (左) スクロールのメタファ
(右) オブジェクト移動のメタファ

(2) オブジェクト移動のメタファ 図2右に示すように、スタイラスの動きに合わせてキャラクタやオブジェクトを平行/上下移動するメタファであり、ゲームなどに容易に応用できる。スライド操作に関しては、タップ操作と同等の高速かつ直感的な操作が行える。

(3) パラメータ調整 仮想画面スクロールやオブジェクト移動以外に、操作と画面が直接対応しないパラメータを変化させるために連続的な回転・スライド動作量に対応付けることができる。具体的には、ボリューム調整やズーム率変更など、連続的で細かな調整が必要な場面に適用できる。

(4) ジェスチャコマンドの利用 スタイラスを動かす量や速度がある閾値を越えた時や、登録したジェスチャが実行された時に、対応したコマンドを実行することが可能となる。これにより、離散的な画面切り替えやモード切替えといった操作が可能となる。

3.2 サンプルアプリケーション

上記のインタラクション手法を適用したサンプルアプリケーションについて述べる。これらのアプリケーションは GapiDraw [11] を利用し、Microsoft eMbedded Visual C++ 3.0 により構築している。

ベースシステム ベースシステムを実装する PDA として PocketPC を利用した。スタイラスの回転とスライド動作を検出するための簡易的な手段として、USB 接続光学式マウス (ELECOM M-BG2URLBU) のイメージセンサを利用した。MouseField [12] と同様の方式を用い、スタイラスの回転とスライドの動きを相対座標として取得する。取得した座標情報は PC を経由し PDA 上で動作するアプリケーションに送信する。以後 PDA 上に実装したアプリケーションについて述べる。

スケジューラ スクロール利用アプリケーションとして、スケジューラ (図3参照) を構築した。ユーザはスタイラスを回転・スライドさせながらカレンダーをスクロールし予定を確認することができる。また、画面タップを併用できる点を活かし、予定を指でホールドしながらスタイラス操作を行い予定を移動するといった機能を実現している。



図3: スケジューラ

地図ビューア PDA で地図を閲覧するビューアを作成した (図4)。スケジューラと同様、スタイラス動作はスクロール操作に対応しており、ユーザは見たい位置に素早く移動できる。また、ボタンを押しながらスタイラスを回転させることによりズーム率を容易かつ直感的に変更できる。



図4: 地図ビューア

戸口案内板 ジェスチャを利用した例として、アプリケーション切替えを回転操作に割り当てたデモプログラムを作成した。スタイラスがホルダから抜かれたことを検知し、画面を確定するという効果にも応用できる。また、同様の切替え操作をオフィスにおけるプレゼンス切替えに適用した戸口案内版システムを

作成した(図5)。この戸口案内版システムは、スタイラスの回転操作により部屋の住人がプレゼンス状態を切り替えたり、抜き差し操作により予定から戻るまでの予想時間を入力したりすることができる。RodDirectを用いると、このような比較的複雑な設定操作であっても、スタイラスの物理的操作により直感的かつ手軽に変更できるため、継続的に使用する場合の負担も軽減できる。



図5: 戸口案内版 (スタイラスの回転で状態が切り替わる)

4 評価実験

RodDirectの有効性を調査するため、ユーザ実験を行なった。ユーザ実験では、スタイラスの回転およびスライド動作を同時に要求するタスクとして画面スクロールを選択した。スクロールタスクの内容は、仮想画面(横1280ピクセル、縦1200ピクセル)内に表示されるターゲット(図6)を、画面中央のマークに重なるようにスクロールして移動し、ボタンを押すというものである。9名の大学院生を被験者とし、以下に示す4種類の入力手法それぞれについてタスクを行なってもらった。

- *Drag*: 画面を掴んでドラッグする手法 ([13])
- *Walk*: タップ開始位置からドラッグしている距離と方向により、移動速度ベクトルを決定する手法 ([14])
- *Rod*: 提案手法(スクロールメタファ)
- *Tilt*: 傾き方向にスクロールする手法(加速度センサとして PhidgetAccelerometer 付属の ADXL320 を使用)

ターゲットサイズは直径50ピクセルで開始し、10回の試行毎に20ピクセルまで10ピクセルずつ減少させる(50,40,30,20)。ターゲット出現位置はランダムであるが、各試行において徐々に遠い位置に出現するようにした。(出現距離の初期位置100,増分80ピクセル)。また、各サイズにおける最初の2試行は画面内にターゲットが出現する可能性があるため実験データから除いた。実験では、PDAを横向きにし、スタイラスはPDAの右側面下部から右側に伸縮するようにして使用した。この状況において、PDAのディスプレイの解像度は横320ピクセル、縦240ピクセルである。画面タップやドラッグにおける解像度はディスプレイの解像度と同等である。PDAには、標準添付のスタイラス(長さ94mm)の代わりに、特注のスタイラス(長さ110mm)を使用した。スタイラス1回転の解像度は約420であり、スライド動作片道の解像度は約1880である。仮想画面の可動幅は960ピクセルであるため、実験中スタイラスのスライド可動領域が不足することはそれほどないが、必要な場面で使用できるようにするため十字下ボタンによるクラッチ機能は有効とした。

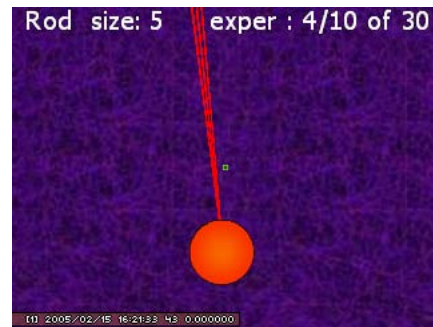


図6: 実験システムと直径50ピクセルのターゲット

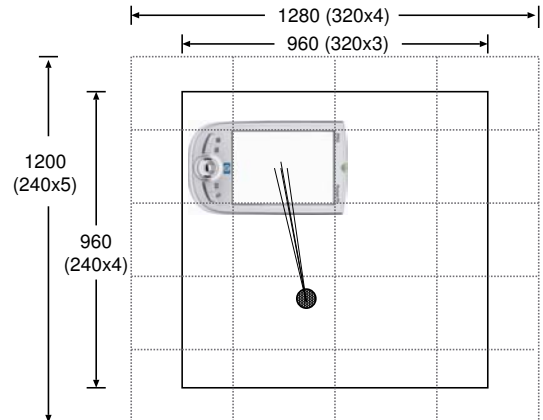


図7: 仮想画面とターゲット出現領域

表1: 推定周辺平均(ターゲット選択時間, 単位: sec)

手法	平均	標準誤差	95% 信頼区間	
			下限	上限
Rod	2.555	.061	2.430	2.681
Drag	2.620	.042	2.534	2.706
Walk	2.967	.079	2.856	3.130
Tilt	3.811	.070	3.667	3.954

実験結果 ターゲットの距離が遠くなるにつれてタスク遂行に時間を要する。本実験は2つの被験者内条件(4種の入力手法, 8種類のターゲット距離)を含んでいるため、我々は繰り返しのある分散分析を用いて解析を行なった。分散分析の結果、入力手法において有意差があることが示された($F(3, 81) = 195.9, p < .001$)。Bonferroniの方法による多重比較を行った結果、*Rod*は*Walk*や*Tilt*に比べ操作時間を有意に減少させることが明らかになった。しかし、*Drag*と*Rod*には有意差は生じなかった。表1に推定周辺平均を示す。

表2: MacKenzieらによる推定式に基づく係数

手法	a (msec)	b (msec/bit)
Rod	-1196.4	547.1
Drag	-2655.0	769.1
Walk	-2843.4	844.2
Tilt	-1790.8	785.2

今回の実験は画面スクロール作業を対象としているが、ターゲットを選択するポインティング作業という見方も可能である。そこで、Fittsの法則を2次元空間作業に拡張したMacKenzieら

の推定式 [15] $MT = a + b \log_2(A/W + 1)$ を利用して、操作手法の検討を行なった。ここで、 A は初期位置からターゲット中心までの距離、 W はターゲットの直径である。各試行の結果を基に計算した回帰直線の係数を表 2 に、グラフを図 8 に示す。操作手法の特性によって決まる回帰直線の係数 (a, b) を見ると、Rod の傾き (b) が他の入力手法と比べて緩やかであることがわかる。実際、Drag を用いた場合、ターゲット距離が増加するとドラッグで手繰り寄せる回数も増えることから、効率が下がる。このことから、RodDirect は特にターゲット距離が遠く困難度 (ID) が高い場合に効果があるといえる。ちなみに、実験後のアンケートからは、Tilt 操作に関しては面白いが、部屋や外部の照明が画面に反射することが多く見づらいため操作しにくかったという意見が得られた。

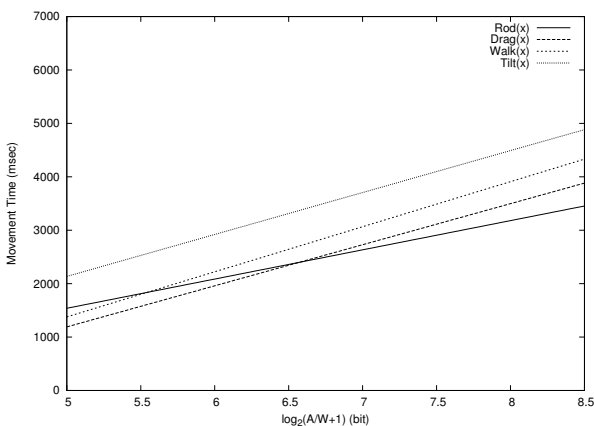


図 8: 4 種類の入力手法比較。横軸：タスク困難度 (bit)
縦軸：操作時間 (msec)

5 まとめと今後の課題

本報告では、スタイラスの動作を利用したモバイル端末向け入力手法 RodDirect とその応用例および評価実験について述べた。ある程度狭い領域を対象としたスクロールタスクにおいては、ドラッグでスクロールする手法と同等の効果が得られることを実験によって確認した。

今回の実験では、スクロールバーとの比較を実施しなかった。その理由として、スクロールバーは縦または横方向への移動のみであり、今回の実験で対象とした斜め方向への移動は直接対応していないためである。しかし、今後 RodDirect の有効性について他の手法 (スクロールバー、トラックボール、チルトホイールなど) を含めた比較を行っていく必要がある。

謝辞

本研究の一部は文部科学省知的クラスター創成事業石川ハイテク・センシング・クラスターにおける「アウェアホーム実現のためのアウェア技術の開発研究」プロジェクトの一環として行われたものである。

参考文献

[1] Motoki Miura and Susumu Kunifuji. Roddirect: Two-dimensional input with stylus knob. In *8th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services (MobileHCI 2006)*, September 2006. (to appear).

[2] George W. Fitzmaurice, Shumin Zhai, and Mark H. Chignell. Virtual Reality for Palmtop Computers. *ACM Transactions on Information Systems*, Vol. 11, No. 3, pp. 197–218, July 1993.

[3] Jun Rekimoto. Tiling Operations for Small Screen Interfaces. In *Proceedings of the 9th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST'96)*, pp. 167–168, November 1996.

[4] Beverly L. Harrison, Kenneth P. Fishkin, Anuj Gujar, Carlos Mochon, and Roy Want. Squeeze Me, Hold Me, Tilt Me! An Exploration of Manipulative User Interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI'98)*, pp. 17–24, April 1998.

[5] Ken Hinckley, Jeff Pierce, Mike Sinclair, and Eric Horvitz. Sensing Techniques for Mobile Interaction. In *Proceedings of the 13th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST'00)*, pp. 91–100, November 2000.

[6] Yuji Ayatsuka, Nobuyuki Matsushita, and Jun Rekimoto. HyperPalette: a Hybrid Computing Environment for Small Computing Devices. In *(Interactive Poster) in CHI 2000 Extended Abstracts*, pp. 133–134, April 2000.

[7] Koji Yatani, Koiti Tamura, Masanori Sugimoto, and Hiromichi Hashizume. Information Transfer Techniques for Mobile Devices by Toss and Swing Actions. In *Sixth IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMSCA 2004)*, pp. 144–151, December 2004.

[8] Itiro Siio. Scroll Display: Pointing Device for Palmtop Computers. In *Proceedings of Asia Pacific Computer Human Interaction (APCHI'98)*, pp. 243–248. IEEE Computing Society, 1998.

[9] Daniel Fällman, Andreas Lund, and Mikael Wiberg. ScrollPad: Tangible Scrolling With Mobile Devices. In *Proceedings of Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS '37)*, January 2004.

[10] Ka-Ping Yee. Peephole Displays: Pen Interaction on Spatially Aware Handheld Computers. In *Proceedings of CHI 2003*, pp. 1–8, April 2003.

[11] Develant.com - Cross-platform Tools for Mobile Game Development for Palm, Symbian and Windows Mobile. <http://www.gapidraw.com/>.

[12] Toshiyuki Masui, Koji Tsukada, and Itiro Siio. MouseField: A Simple and Versatile Input Device for Ubiquitous Computing. In *UbiComp 2004 Adjunct Proceedings (Demos)*, September 2004. <http://ubicomp.org/ubicomp2004/adjunct/demos/>.

[13] Jeff A. Johnson. A Comparison of User Interfaces for Panning on a Touch-Controlled Display. In *Proceedings of CHI '95*, pp. 218–225, May 1995.

[14] Bonnie MacKay, David Dearman, Kori Inkpen, and Carolyn Watters. Walk 'n Scroll: A Comparison of Software-based Navigation Techniques for Different Levels of Mobility. In *Proceedings of MobileHCI '05*, pp. 183–190, September 2005.

[15] I. Scott MacKenzie and William Buxton. Extending Fitts' law to two-dimensional tasks. In *Proceedings of CHI '92*, p. 1992, May 219–226.