

スタイラスの物理的制約を利用した入力手法

A General Input Method based on Physical Movements of Stylus

三浦 元喜 國藤 進

Summary.

Portable hand-held devices essentially involve problems in input methods due to their compact size. Various approaches have been proposed by attaching new sensors such as position, orientation, tilt and pressure to improve the usability of these devices. These approaches are promising, but the cost and the size of these sensors still obstruct the popularization in commerce.

We propose a novel and casual input technique for hand-held devices by using a stylus. A stylus is ordinarily utilized as a tool for tapping and stroking on a touch-sensitive screen. We employ physical movement of stylus as input. Both rotation and slide movement of stylus where the inside of the stylus holder can be used to adjust parameters. We have realized the prototype system with an inexpensive image sensor, and have tested the usability by experimental applications.

1 はじめに

PDA(Personal Digital Assistant) に代表される小型の携帯情報端末においては、携帯性を高めるためキーボードやマウスといった入力装置の代わりにタッチパネルを搭載し、スタイラスやペンを用いた画面への入力操作によるインタラクションが主に用いられている。一般にユーザは画面へのタップやホールド、ドラッグ操作によって画面に表示されるアイコンやオブジェクトを操作する。しかし、PDA の画面は解像度も分解能もそれほど高くなく、またタップやホールド、ドラッグ操作には汎用性はあるものの物理的な操作感は得られにくいという問題がある。

PDA における入力手法の制限を解決するものとして、これまで特殊なデバイスを付加したり周辺の環境にセンサを配置したりすることにより入力を拡張する試みが行なわれてきている。Fitzmaurice ら [1] や Rekimoto [2] 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 [3] 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。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 [4] や矢谷らの研究 [5] がある。また、Behind Touch [6] では携帯電話などの小型端末の背面に接触と押し込みを検知するセンサを取り付け、メニュー選択や文字入力に利用することを提案している。

これらの研究は実世界のメタファに関連付けた直感的な操作を実現するという点で有効性が高いが、加速度センサや感圧センサといった新しいデバイス

を備えた小型端末が登場し普及するには、センサの小型化や低価格化といった問題を解決する必要があるため時間がかかることが予想される。そこで我々は、従来の PDA が標準的に搭載されているスタイラスに着目し、従来とは異なる実世界メタファに関連付けることによる新しい入力方式 RodDirect を提案する。また、その応用と可能性について議論する。

2 RodDirect

RodDirect は、スタイラスの位置や動きなどを利用したインタラクション手法である。一般に、スタイラスは PDA を使用しないときや PDA を持ち運ぶときには本体内のスタイラス格納場所に差し込まれていることが多い。RodDirect では、このスタイラス格納場所に差し込まれている状態におけるスタイラスの動作量を PDA の操作に利用する。

格納場所に差し込まれている状態においては、スタイラスの動作自由度はスタイラス自体の形状ならびに格納場所の形状の物理的制約を受ける。断面が円形のスタイラスの場合、図 2 に示すように回転と平行移動(抜き差し)という 2 つの動作が可能である。これにより、回転量と平行移動量という 2 つのパラメータを変化させることができるため、「巻き取り」「押し込み」といったメタファに関連付けることが可能となる。平行移動量についてはスタイラスの長さの制約によって得られる値の範囲は限定されるが、回転量については物理的な制約がないので値の範囲が限定されることはない。

図 1 は提案する方式に基づくスタイラスの操作を行っている様子を示したものである。親指と人差指または中指でスタイラスを保持し、回転動作ならびに平行移動動作により操作する。格納場所との摩擦



図 1. RodDirect による入力操作イメージ

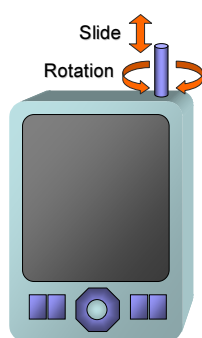


図 2. 格納時のスタイラス動作

によりスタイラスの位置が保存される場合はスタイラスから手を離しても入力状態を保つことができる。図 1 では、左手を使って PDA 本体を保持し、右手を使ってスタイラスの操作を行っているが、クレードルに PDA 本体が固定されているといった状況であれば片手での操作も行える。また、スタイラスの回転・平行移動動作は、利き手以外の手で操作することも比較的容易である。たとえば左手で操作を行う場合、図 1 における画面の向きとスタイラス回転の入力値をプログラムの設定で反転させることになる。

通常のスタイラス動作との比較 スタイラスを用いて画面へのタップ動作を行う場合、通常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。この場合、スタイラスと PDA の間には物理的な制約がないためユーザは自由に動かすことができる反面、正確なタップ動作を行うためには画面とスタイラス双方の相対位置を合わせる必要がある。このため電車の中など不安定な場所においてタップ動作を

行う際にはユーザは脇を締めたり、利き手を PDA に添えるなど、位置を安定させるための動作を必要としていた。RodDirect は両手を使用してスタイラスと PDA を保持しなければならない点は通常のタップ操作と同様であるが、物理的な制約が働いているため相対位置を保ちやすく、また一時的に操作を行わない間はスタイラスを保持せずに済むという利点がある。また、操作によっては、スタイラスを全部抜いてからタップする操作に比べて、スタイラスを少しだけ抜いて動かす RodDirect のほうが、負荷を軽減できると考えられる。

手法についての考察 RodDirect は、スタイラスを本来の「ペン」としてではなく「つまみ」として利用するものであるが、一般に「つまんで引き上げたり、回したりする」動作は、腕時計の「りゅうず」による時刻合わせなどに利用されており、小型の機器に適したインタフェースであるといえる。また「回転動作」はオーディオ機器のボリュームやバランス調整にも利用されていることから、RodDirect は調整を行う場面に向いていると考えられる。従来タッチパネルを用いて微調整を行う場面では、スクロールバーや値を増減させるボタンを操作するため、ユーザはタップ動作やドラッグ動作を継続的に行う必要があった。

RodDirect は、スタイラスを物理的に利用するが、タッチパネルは利用しないため、タッチパネル操作と同時にすることができる。たとえば、予定を別の日に移動する場合に、オブジェクトを指や爪でタップ&ホールドしながら RodDirect でスタイラスを回転させ、日付を変更するといった操作が可能である。同様に、傾きや感圧を利用したインタラクション手法とも併用することが可能である。

3 プロトタイプシステムの実装

RodDirect の操作性について調べるため、プロトタイプシステムの実装を行った。スタイラスの回転量および平行移動量を詳細に取得するため、MouseField [7] で利用されている光学式マウスのイメージセンサを利用する方式を採用した。図 3 に、光学式マウスを使ったスタイラスの動きを検出する試作装置を示す。PDA には PocketPC (hp iPAQ h1930) を利用し、スタイラスが露出している部分に光学式マウス (ELECOM M-BG2URLBU, 分解能: 800 カウント/inch) の基板を固定した。将来的には DigiTrack [8] で利用しているような小型のイメージセンサを用いることにより、PDA 内部に収納することを想定している。スタイラスの平行移動動作をなるべく長く取得するには、イメージセンサを差し込み口に近い位置に取り付けることが望ましい。



図 3. 実装したプロトタイプシステム。スタイラスの動作を取得するためイメージセンサを PDA に取り付けた。

イメージセンサの情報 (マウスの移動量) を PDA に送信する方法として、プロトタイプシステムでは PC を介した TCP/IP 通信を用いた。マウスを Windows XP が動作する PC に接続し、PC には、接続された複数のマウスの動作量を個別に取得・送信する機能を持つプログラムをサーバとして実行しておく。PDA 側のアプリケーションは起動時にサーバに接続し、イメージセンサの情報を利用した処理を行うことができる。ちなみに、この方式におけるシス

テムの操作分解能は、光学マウスの操作分解能に依存するが、今回作成したプロトタイプではスタイラス 1 回転で約 420 カウント、平行動作で約 1600 カウントの変化が得られた。

3.1 アプリケーション

RodDirect を用いたアプリケーション例を示す。これらのアプリケーションは、Microsoft eMbedded Visual C++ 3.0 を用いて開発を行なった。

画像ビューア 図 4 に示す回転による「巻き取り・巻き戻し」メタファと平行移動による「押し込み・引き戻し」メタファにより、スクロール操作を行う画像ビューア (図 5) を作成した。平行移動の物理的限界があるためスクロール可能な画像サイズに制約があるが、パラメータを調整することにより相当サイズの画像も表示できるようになると考えられる。

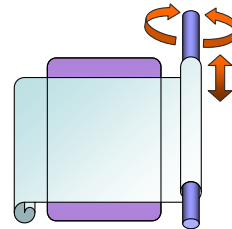


図 4. スクロール操作のメタファ



図 5. 画像ビューア

ブロック崩しゲーム スタイラスの動作によりパッドを操作してボールを跳ね返すブロック崩しゲーム (図 6) を作成した。パッドの位置を平行移動操作により左右に変化させたり、回転動作によってボールを跳ね返すときの反発係数を変化させたりすること

により操作を行う．本アプリケーションの実装においては，PocketPC において高速な画面描画を実現するライブラリ GapiDraw [9] を使用した．

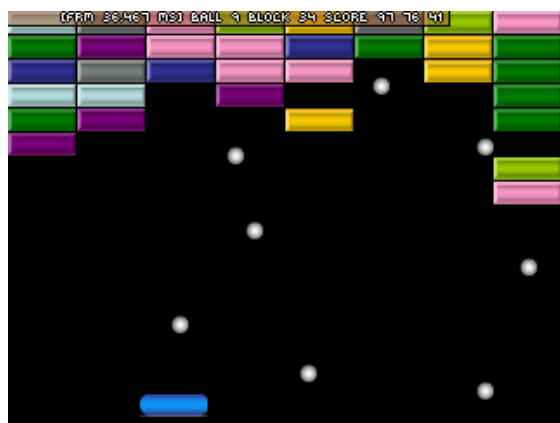


図 6. ブロック崩しゲーム

その他 ユーティリティ的な使い方として，スタイラスが抜かれたことを検知してモードを切り替える（たとえば，文字入力用のパネルが起動する）といった応用や，予定表/連絡先/メール等の画面をスタイラスの回転により次々に切り替えるといった利用が考えられる．

また，微調整を行いやすい点を活用し，ボリューム調整や，ポータブルな楽器 [10] における演奏インタフェースとしての利用も考えられる．

4 関連研究

DualTouch [11] は複数の指を使った PDA 向けの入力技法である．タッチセンサの特徴を利用し特殊なハードウェアを使用せずに複数指位置の認識を実現している．しかし入力は画面およびタッチセンサの分解能に束縛されている．また RodDirect が提供するような物理的な操作感を得ることはできない．

Waterscape [12] は，ボタンを押し物理的な傾きと「振る」というジェスチャ操作のみによって 3次元空間上に配置した泡やそれに関連付けられたコンテンツを操作する受動型モバイル情報端末である．[1, 2, 3] と同様に傾きや加速度を取得するセンサを利用している．本研究では一般的に普及している PDA を対象としたスタイラスの新しい利用方法を提案している．

EdgeWrite [13] は PDA 向けの文字入力技法である．Palm の画面に被せたプラスチックプレートに沿いながら単一ストロークを入力することにより，Graffiti よりも正確に文字入力を行うことができる．物理的な制約を利用しているという点では RodDirect と類似しているが，RodDirect は汎用の入力や調整を対象としている．

SONY が製造している PDA (CLIE) にはジョグダイヤルが搭載されている機種がある．回転と押し込み動作による操作という点では類似しており，RodDirect では比較的難しい片手での操作が簡単に行えるという利点がある．RodDirect では回転に加えて平行移動を操作にマッピングすることができる．またジョグダイヤルは主にメニュー選択・決定などに利用されているが，RodDirect では軸の物理的な回転量や移動量に基づく細かな調整が行いやすいという点で異なる．

5 プロトタイプシステムによる評価実験

RodDirect による入力の特性，ならびに有効性を調べるため，プロトタイプシステムを利用した評価実験を行った．実験を円滑に行うため，評価実験用システム (図 7) を構築した．

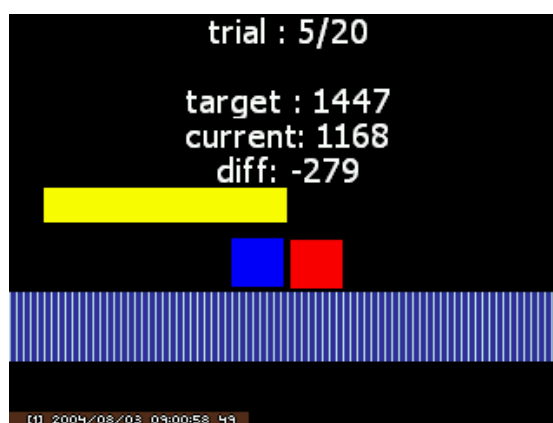


図 7. 評価実験用システム

実験 1 パラメータを指定された数値に調整しボタンを押して決定する，という作業をタスクとして設定した．実験システムは RodDirect による入力と，スタイラスによりタッチパネルをドラッグ操作して行う入力の 2 種類を受け付ける．RodDirect による入力については，スタイラスの回転操作を数値調整にマッピングするよう設定し，タッチパネルによる入力については，画面下部の領域をドラッグ操作することにより入力を行うようにした．ドラッグ操作の利便性を考慮し，PDA は右に 90 度回転した状態で使用した．ドラッグ操作，RodDirect とともに入力値の補正は行っていない．すなわちタッチパネルの左端でタップ&ホールドし，右端までドラッグ操作を行ったときの入力値は約 +320 であり，RodDirect にてスタイラスを右方向に 1 回転させたときの入力値は約 +420 である．

実験 1 においては，被験者の調整目標となる要求値 (図 7 の画面内 target:) は乱数により生成した．実験における要求移動量 (タスク開始前の値から，要



図 8. 実験の様子

求値を引いた数の絶対値)の平均は 589, 最小 197, 最大 999, 標準偏差 232 であった。画面内には被験者に、要求値に現在値を近づけるために正負どちらに調整を行えばよいかを示すための棒グラフを表示した。要求値と現在値の差が ± 5 以下になったとき棒グラフの代わりに“OK”という文字が表示される。このとき、被験者が PDA のボタンを押すと、要求値が更新され次のタスク計測が開始される。タッチパネルのデバイスの特性として、 ± 1 程度の微小な調整を行うことが困難であることと、タスクの難易度を低くするという目的で、 ± 5 以下の誤差を許容することとした。

22 歳から 32 歳の大学院生の男性 7 名を被験者とし、パラメータを調整するタスクを、RodDirect とドラッグ操作のそれぞれについて行ってもらった。実験の様子を図 8 に示す。連続した調整タスク 20 回をそれぞれ 3 セットずつ行い、タスク完了に要した時間を記録した。

実験 1 の結果 実験 1 の結果を表 1 に示す。t 検定 (有意水準 5%) の結果、平均作業時間に関しては、ドラッグ操作のほうが RodDirect よりも有意に早い ($t=1.02$) という結果を得た。RodDirect による作業に時間がよりかかった理由として、通信における遅延時間が影響していると考えられる。RodDirect のプロトタイプシステムでは、光学式マウスの数値を TCP/IP 通信により PDA に転送している。光学式マウスのサンプリングレートが約 100 ~ 120Hz であるのに対し、PDA に転送された後は約 10 ~ 12Hz に下落していた。これにより、スタイラス回転動作のフィードバックが遅れ、細かなパラメータ調整を必要とする場面において反応時間に差が現れた可能性がある。

表 1. 実験 1 の結果

作業時間 (sec)	平均	最小	最大	標準偏差
RodDirect	3.62	1.25	8.38	1.27
ドラッグ操作	3.27	1.25	8.84	1.18

実験 2 細かな調整における作業時間を排除するため、実験 1 で利用した評価実験用システムを修正し、0 と 1000 の要求値をタスク毎に交互に提示するようにした。現在値が要求値を越えて変化したら (要求移動量が 1000 を越えたら) 音を出して被験者に合図したのち次のタスク計測を開始するようにした。その他の条件については実験 1 と同様である。

実験 2 の結果 実験 2 の結果を表 2 に示す。t 検定 (有意水準 5%) の結果、平均作業時間に関しては、RodDirect のほうがドラッグ操作よりも有意に早い ($t=18.0$) という結果を得た。ドラッグ操作の場合、スタイラスを往復させて数値を調整しなければならないため、時間が余計にかかっている。

表 2. 実験 2 の結果

作業時間 (sec)	平均	最小	最大	標準偏差
RodDirect	1.41	0.68	2.72	0.30
ドラッグ操作	2.08	1.18	3.22	0.36

考察 実験 1,2 の結果をまとめると、以下のようになる。

- プロトタイプシステムにおける RodDirect よ

りも、ドラッグ操作のほうが調整操作を短時間で完了させることができる。

- RodDirect におけるスタイラスの回転操作は、ドラッグ操作と比較して、パラメータを大幅に変更させる作業を行いやすい。

ドラッグ操作においても、単位ドラッグ距離当たりの変化値を画面の場所によって変更するなど、インタフェース上の工夫を行うことにより、大幅なパラメータ変化タスクに適応することは可能ではある。しかし、RodDirect は単一のモードによって大幅な変化にも小幅な変化にも適応できるため、入力可能な操作の幅が広く調整に適しているといえる。

現在のプロトタイプシステムにおける通信遅延時間を抑えることができれば、RodDirect 方式による細かな調整作業もドラッグ操作と同等の時間でできる可能性がある。ちなみに、 ± 1 程度の微細な調整については、ドラッグ操作よりも RodDirect のほうが若干操作しやすいと感じている。

実験後、被験者に使用感を聞いたところ、細かな調整作業については「タッチパネルによるドラッグ操作のほうが収束させやすい」という意見が多かったが、RodDirect は「最初は戸惑うが、慣れると使いやすい」「ドラッグ操作の往復運動が不要なので疲れない」という意見が得られた。また実験ではドラッグ操作を行いやすくするため PDA を横向きで使用しガイド用棒グラフも横方向に伸縮する設定としたが、スタイラスの回転は縦方向であったため「どちらに回すと値が増えるのか直感的に分かりにくかった」という意見が得られた。実際、実験では最初しばらく逆方向に回してしまい、あとで修正するといった様子がしばしば見られた。

6 まとめと今後の課題

本稿では、スタイラスの格納時における物理的制約を利用したインタフェース RodDirect を提案し、光学式マウスのイメージセンサを利用したプロトタイプシステムとそれを利用したアプリケーションの実現について述べた。また、評価実験を行うことによりプロトタイプシステムの特性について調査を行った。

今回実装したプロトタイプシステムでは、通信に関する遅延時間が発生した。この遅延は特にリアルタイム性を要求されるゲームや実験において直感的な操作の妨げとなるため、PDA に直接接続するなど遅延時間を減らす方法を検討し、さらにスタイラスの平行移動操作に関する評価を含めた有効性を確認することが今後の課題である。

参考文献

- [1] George W. Fitzmaurice, Shumin Zhai, and Mark H. Chignell. Virtual reality for palmtop comput-

ers. ACM Transactions on Information Systems, Vol. 11, No. 3, pp. 197–218, July 1993.

- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 綾塚祐二, 松下伸行, 曆本純一. HyperPalette: PDA を利用する複合計算機環境. インタラクティブシステムとソフトウェア VII: 日本ソフトウェア科学会 WISS'99, pp. 109–118. 近代科学社, December 1999.
- [5] 矢谷浩司, 岸村俊哉, 田村晃一, 杉本雅則, 橋爪宏達. モバイルデバイスを用いた「振る」ことによる情報の移動を実現するインタフェース. インタラクティブシステム 2004 論文集, pp. 229–230, March 2004.
- [6] 平岡茂夫, 宮本一伸, 富松潔. Behind Touch: 携帯電話のための背面・触覚操作インタフェースによる文字入力. インタラクティブシステム 2003 論文集, pp. 131–138, February 2003.
- [7] 塚田浩二, 増井俊之. MouseField: 「置いて、動かす」イディオムを用いた日用品の拡張. インタラクティブシステム 2004, pp. 45–46, March 2004.
- [8] 峰健三, 大淵竜太郎. 携帯情報機器のための入力デバイス DigiTrack. インタラクティブシステムとソフトウェア IX: 日本ソフトウェア科学会 WISS2001, pp. 125–130, December 2001.
- [9] Devalant.com - cross-platform tools for mobile game development for palm, symbian and windows mobile. <http://www.gapidraw.com/>.
- [10] 寺田努, 塚本昌彦, 西尾章治郎. 2 つの PDA を用いた携帯型エレキベースのためのインタフェース. インタラクティブシステムとソフトウェア IX: 日本ソフトウェア科学会 WISS2001, pp. 185–190, December 2001.
- [11] 松下伸行, 綾塚祐二, 曆本純一. Dual Touch: ペン型 PDA のための新しい操作手法. インタラクティブシステムとソフトウェア VII: 日本ソフトウェア科学会 WISS'99, pp. 23–32. 近代科学社, December 1999.
- [12] 丸山幸伸, 堀井洋一, 星野剛史, 中島一州. Water-scape: ジェスチャー入力による受動型モバイル情報端末. インタラクティブシステムとソフトウェア VII: 日本ソフトウェア科学会 WISS2001, pp. 107–112. 近代科学社, December 2001.
- [13] Jacob O. Wobbrock, Brad A. Myers, and John A. Kembel. EdgeWrite: A Stylus-Based Text Entry Method Designed for High Accuracy and Stability of Motion. In Proceedings of the 16th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST 2003), pp. 61–70, November 2003.