

# スタイラスを利用した小型携帯端末向け入力インタ フェース RodDirect の評価

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  
〒 923-1292 石川県能美市旭台 1-1  
{miuramo, kuni}@jaist.ac.jp

## 概要

小型携帯端末の入力インタフェースを自然に拡張するものとして、加速度センサや位置センサを利用する手法が提案されているが、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。我々は、従来の小型デバイスが備えている機構を最大限利用しつつ、新しいモダリティを提供する“スタイラスを利用した入力手法 RodDirect”を提案し、プロトタイプシステムを実装している。本報告では、RodDirect の概要と適用例について説明した後、画面スクロール作業を対象とした評価実験について述べる。比較的狭い仮想画面を対象としたスクロール作業において、提案手法は画面タップによる手法に比べて作業時間を減少させることが実験により確認された。

## Evaluation of “RodDirect” : An Input Method with Movements of Stylus

Motoki Miura                      Susumu Kunifuji

School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology  
1-1 Asanidai, Nomi, Ishikawa, 923-1292 JAPAN  
{miuramo, kuni}@jaist.ac.jp

## Abstract

Portable handheld devices inherently involve difficulties in input methods due to their compact size. Various approaches that involve the attachment of new sensors such as position, orientation, tilt, and pressure have been proposed in order to enhance the interface of these devices. These approaches are intuitive and effective; however, the employed sensors are still plagued by data instability. Further, the size and cost of these sensors continue to hamper their commercial popularity. We propose a novel and simple input technique for handheld devices by using a stylus. A stylus is ordinarily utilized as a tool for tapping and stroking a touch-sensitive screen. We employ the physical movement of a stylus on a touch-sensitive screen as input. Both rotation and slide movement of stylus where the inside of the stylus holder can be used to adjust parameters simultaneously. We have implemented a prototype system with an inexpensive image sensor. A result of ANOVA test shows significance of our approach in efficiency of scrolling task.

## 1 はじめに

PDA をはじめとする小型携帯端末はサイズと重さの制約があるため、入力インタフェースを強

化・拡張することが難しい。PDA の多くはボタンやタッチパネルを搭載しているが、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 [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。Hinckley ら [4] 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態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 [5] や Toss-it [6] 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。

我々は、従来の小型デバイスが備えている機構を最大限利用しつつ、新しいモダリティを提供する「スタイラスを利用した入力手法 RodDirect」を提案している [7]。本報告では、RodDirect の概要と特徴、適用例について説明した後、スクロール作業を対象とした評価実験について述べる。

## 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。一般に、スタイラスは PDA における文字入力など、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り、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 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。従来の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り変化し得る値の範囲は限定されるが、回転に関しては限定されない。

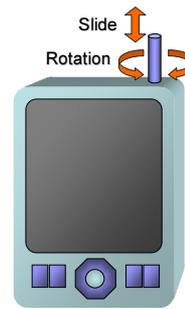


図 1: ホルダに格納している間のスタイラス動作



図 2: RodDirect による操作イメージ

### 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 2 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

関連した操作手法として、Scroll Display[8]がある。Scroll Display では、小画面表示装置によって巨大な仮想画面を効率よく閲覧するため、背面にマウスを設置し、本体の移動に従って画面をスクロールしたりメニューを選択する直感的な仕組みを構築している。Scroll Display では、主にデバイスを机や壁などの面に押しあてながら操作することを想定しているが、モバイル環境においては近くに適切な面がない場合も考えられる。RodDirect はPDA に付属するスタイラスを利用するため、使用する環境を選ばない。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。

## 2.2 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として、大別して(1)スクロールのメタファ、(2)オブジェクト移動のメタファ、(3)パラメータ調整、(4)ジェスチャコマンド、の4つが考えられる。

スクロールのメタファ スクロールのメタファとは、図3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。スライド可能な量に制限がある問題については、ボタンや画面を押している間画面をロックする「クラッチ機能」や、高速なスライド操作をキャンセルする「スリッブ機能」により緩和できると考えられる。

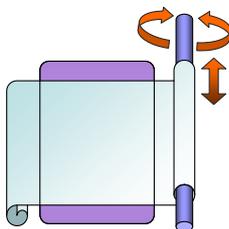


図3: スクロールのメタファ

オブジェクト移動のメタファ 図4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。

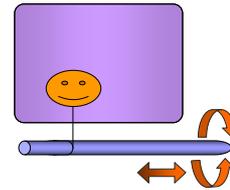


図4: オブジェクト移動のメタファ

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合に適用できる。

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。

## 2.3 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 [9] を利用し、Microsoft eMbedded Visual C++ 3.0 により構築している。

スケジューラ スクロールを利用したアプリケーションとして、スケジューラ(図5参照)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、画面タップを併用したインタラクションを可能としており、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う機能を実現している。

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6)。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

を押下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変更できる。



図 5: スケジューラ



図 6: 地図ビューア

ゲーム 我々は、ブロック崩しゲームやインベーダゲーム(図 7)に「オブジェクト移動メタファ」を適用した。キャラクタの素早い左右位置調整は十字キーの左右ボタンでは困難である。画面タップによる直接位置指定や、ドラッグ操作を用いれば素早いキャラクタ移動は実現できるが、直接指定できてしまうためゲーム性(ゲームとしての面白み)が減少すると考えられる。インベーダゲームでは、回転動作をレーザービームの発射コマンドならびにレーザービームの発射速度の調整に利用している。

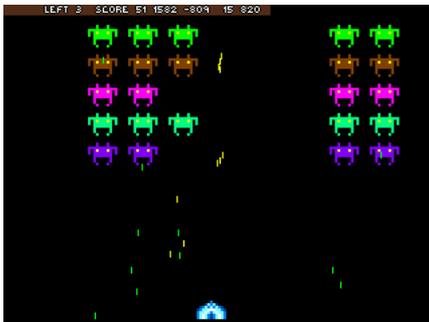


図 7: インベーダゲーム

ユーティリティ ユーティリティ的な応用として、回転によりアプリケーションを切り替える模擬ツール(図 8)を作成した。ユーザはスタイラスの回転により画面を切り替えることができる。また、スタイラスが抜かれたことを方向と速度から判別し、現在表示中のモードを確定するという効果も実装している。



図 8: スタイラスが抜かれたイベントの検知

## 2.4 プロトタイプ実装

提案入力手法を実現するプロトタイプは PocketPC (hp iPAQ h1930) を利用して構築した。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 接続を備える光学式マウス (ELECOM M-BG2URLBU) が備えているイメージセンサを利用した。検出原理はマウスパッドの代わりにスタイラスを近接させ動きを取得するものであり、MouseField [10] と類似している。USB マウスを直接 PocketPC に接続して認識させることが困難<sup>1</sup>であったため、PC を中継して接続するよう実装した。PC 側には光学マウスの座標を通知するサーバを実装し、PocketPC 側のアプリケーションからサーバに接続し、最新の座標値を定期的に取得することにより、スタイラスの動きを取得している。

## 3 評価実験

スタイラス動作を利用した入力手法 RodDirect の有効性を調査するため、実験を行なった。

実験では、スタイラスの回転動作およびスライド動作を同時に必要とするタスクとして、画面スクロールを対象とし、実験システムを構築した。図 9 に、構築した実験システムの画面を示す。各

<sup>1</sup>PocketPC は USB マウスと同様、PC の周辺機器として設計されているため

試行では、ターゲット(火球)が仮想画面(横 960 ピクセル, 縦 1200 ピクセル)中のランダムな位置に提示される。被験者が仮想画面をスクロールさせ、ターゲットを画面中央の点に接触させるとターゲットが消滅し、効果音とともに次のターゲットが提示される。ターゲットが提示される位置は、必ず現在表示している画面領域の外(中心間の距離が 300 ピクセル以上)となるように設定している。また、移動前の画面中心からターゲットに向けて彗星の尾のようなターゲットに近づくにつれて細くなる線を表示する。この線を見ることにより、被験者はターゲットが画面内に表示されていなくても、ターゲットの方向とおおよその距離を理解することができる。また、仮想画面のテクスチャにより、被験者はターゲットや線が表示されていない場合でもスクロールの方向については知覚可能である。被験者は、3 段階のターゲットのサイズ(それぞれ直径は 50/30/10 ピクセル)について 10 回ずつ、計 30 回の試行を連続して行った。ターゲットのサイズが変更(縮小)されるタイミングについてはターゲット提示時の効果音とは別の通知音を発することにより被験者に通知した。

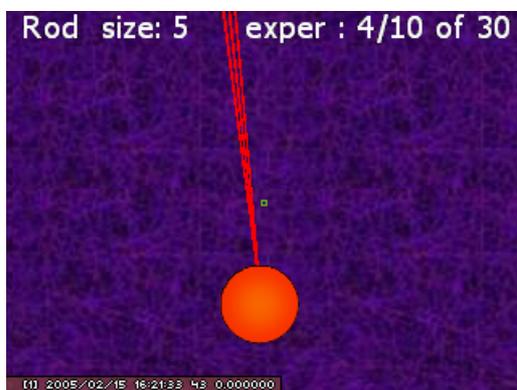


図 9: 実験システム(直径 50 ピクセルのターゲット)

スクロールタスクを遂行するための入力手法として、[Drag] [Walk] [RodDirect] の 3 種類を準備した。[Drag] は、仮想画面をタップによりホールドし、そのままドラッグすることによって仮想画面を引きずって動かす手法である。[Walk] は、タップ位置からドラッグした方向に、ドラッグした距離に応じて仮想画面を連続的にスクロールさせる手法である。[RodDirect] は図 3 に示したスクロールのメタファに基づき、スタイラスの回転動作を上下方向、スライド操作を左右方向のスクロール

に対応させる手法である。

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。RodDirect のスタイラス 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 1200 である。仮想画面の幅は 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ないが、必要な場面で使用できるようにするためクラッチ機能を実装してある。

また、ターゲットを出現させる位置として、(160,120)-(800,1080) の領域内に完全にランダムに配置する方式(自由配置)と、ターゲットを提示する位置の  $x$  座標を現在の画面中央に固定し、縦方向のみのスクロールでタスクを遂行できる方式(縦方向のみ)の 2 種類を準備した。ただし、ターゲットの提示位置が「縦方向のみ」の場合でも、画面スクロールの横位置は固定していないため、横方向の微調整が必要となる。

22 歳 ~ 31 歳の大学院生 10 名を被験者とし、3 種類の入力手法と 2 種類のターゲット提示について、それぞれ順序を入れかえながら実験を行った。実験の前に、各入力手法について 10 分程度の練習時間を設けた。各試行におけるタスク遂行時間と距離を記録した。

実験結果 ターゲットサイズが小さくなるにつれて正確な操作が要求されるため、タスク遂行に時間を要する。本実験では 3 つの被験者内条件(3 種類の入力手法, 2 種のターゲット提示方法, 3 種類のターゲットサイズ)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。

入力手法に関してはタスク遂行時間に対して有意な差が生じ、 $F(1.64, 162.7) = 26.3, p < 0.01$  という結果が得られた。図 10 と図 11 にそれぞれ「自由配置」と「縦方向のみ」におけるタスク遂行時間をプロットしたグラフを示す。円の中心は平均を示し、縦線は標準偏差を表している。また、表 2 に推定周辺平均を示す。Bonferroni の方法による多重比較を行った結果(表 1)、スクロール作業において [RodDirect] は [Drag] や [Walk] に比べ

表 1: 多重比較結果 (作業時間 : sec)

手法	平均値の差	標準誤差	有意確率	差の 95% 信頼区間	
				下限	上限
Rod - Drag	-.195*	.045	.000	-.304	-.086
Rod - Walk	-.435*	.063	.000	-.589	-.282
Drag - Walk	-.240*	.070	.002	-.410	-.071

\* は.05 水準で有意

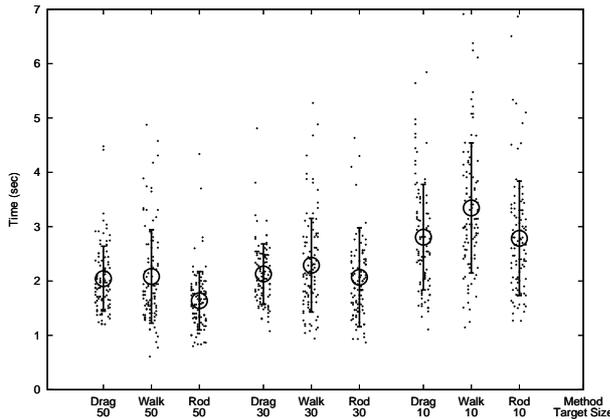


図 10: 「自由配置」の結果

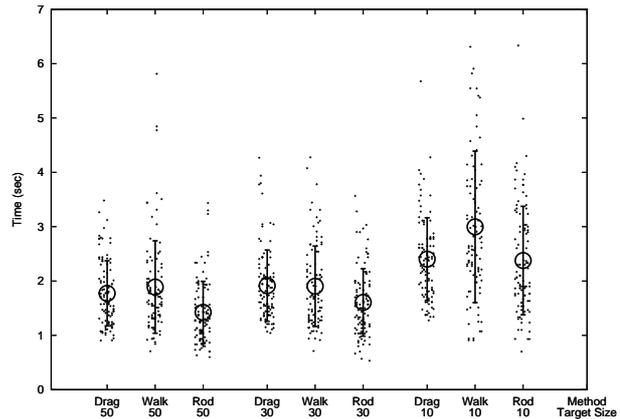


図 11: 「縦方向のみ」の結果

てタスク遂行時間を減少させることが示された。

表 2: 推定周辺平均 (作業時間 : sec)

手法	平均値	標準誤差	95% 信頼区間	
			下限	上限
Drag	2.178	.042	2.094	2.261
Walk	2.418	.053	2.312	2.523
Rod	1.983	.034	1.915	2.051

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 [11]  $MT = a + b \log_2(A/W + 1)$  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。「自由配置」における各試行の結果と、それを基に計算した回帰直線 (Drag, Walk, RodDirect) をプロットしたグラフをそれぞれ図 12, 図 13, 図 14 に参考として示す。操作手法の特性によって決まる係数 ( $a, b$ ) (表 3) を見ると、傾き ( $b$ ) はほぼ同程度であるが、[RodDirect] の切

片 ( $a$ ) が他の手法に比べて小さい。このことから、RodDirect は特に困難度 (ID) が小さい作業を短時間で終わることができる可能性がある。その理由として、スタイラスを回転・スライドさせる操作のほうが画面をタップ・ドラッグして行う操作に比べて少ない手の動きで済むため、作業を始めるまでの時間を減らすことができると推測される。ただし、寄与率が小さいため、今後適合度を下げの要因を排除していく必要がある。

表 3: MacKenzie らによる推定式における係数

手法	$a$ (msec)	$b$ (msec/bit)	$R^2$
Drag	272.8	461.6	0.36
Walk	205.2	522.1	0.22
RodDirect	-9.744	480.3	0.24

考察と議論 実験の結果から、ある程度狭い領域を対象としたスクロール操作に関して、提案手法 [RodDirect] は [Drag] や [Walk] に比べ、提案手法は有意にタスク遂行時間を減少させることが明らかとなった。実験後被験者に聞き取り調査を行ったところ、多くの被験者は [Drag] が最も使いやすい

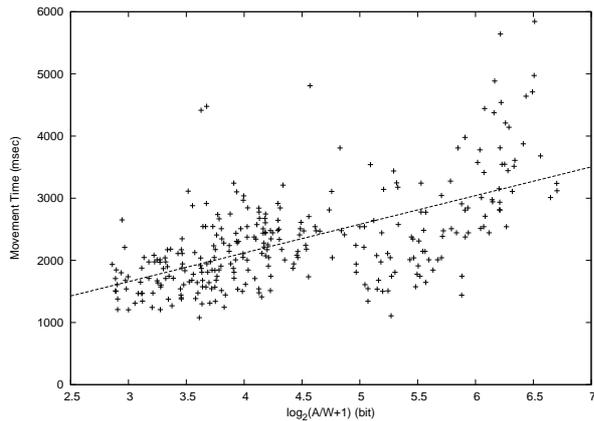


図 12: 困難度 (ID) と操作時間 (Drag)

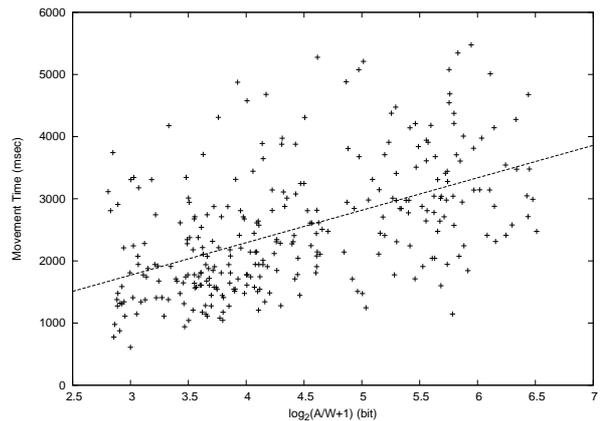


図 13: 困難度 (ID) と操作時間 (Walk)

いと答えた。その理由として、操作に慣れていることに加え、正確な位置決めが行いやすいことを挙げている。しかし、[Drag] では繰り返しドラッグを行ってスクロールする必要があり、労力軽減という観点では [Walk] や [RodDirect] を好んだ被験者が多かった。[RodDirect] の性能を高めるためには、スタイラスを工夫する必要があるという意見も得られた。スタイラスをホルダから取り出すときに必要な突起が、回転のときの邪魔になるという意見や、スタイラスがもう少し長ければスライド・回転操作がしやすいといった意見が得られた。

スタイラスの抜き差しの操作には労力と時間を要する。そのため、既にスタイラスを抜いて画面タップ操作を行っている場合にあえて RodDirect を用いるためスタイラスを差し戻すことは現実的ではない。しかし、PDA の特性として、電車の時刻を調べたり予定やメモを閲覧するために一時的に操作し、また電源を切るといった散発的な利用は比較的良好に行われる。このような場面において、画面タップと同等のスクロール操作が少ない労力で利用できる点は RodDirect の長所であると考えられる。

#### 4 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小型携帯端末向け入力手法 RodDirect とその評価について述べた。ある程度狭い領域を対象としたスクロール操作に関しては、画面タップ・ドラッグを

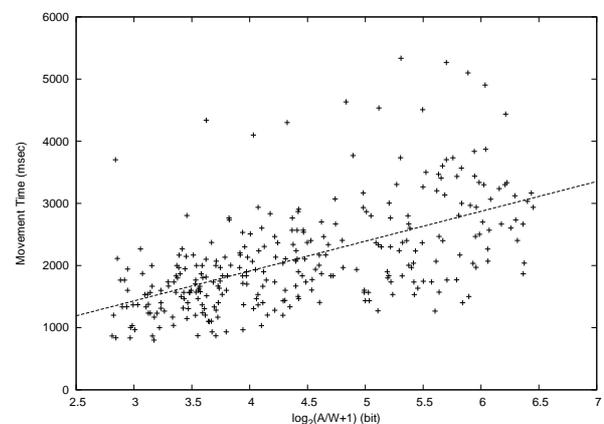


図 14: 困難度 (ID) と操作時間 (RodDirect)

用いた手法と比較して操作時間を軽減することを実験により確認した。

今回の実験では、スクロールバーとの比較を実施していない。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、傾き、トラックボール、チルトホイールなど)や、仮想画面の大きさによる効果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] George W. Fitzmaurice, Shumin Zhai, and Mark H. Chignell. Virtual Reality for Palm-top Computers. *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] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 三浦元喜, 國藤進. スタイラスの物理的制約を利用した入力手法. 第12回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS 2004), pp. 83–88, December 2004.
- [8] 椎尾一郎. Scroll Display: 超小型情報機器のための指示装置. 情報処理学会論文誌, Vol. 39, No. 5, pp. 1448–1454, May 1998.
- [9] Develant.com - Cross-platform Tools for Mobile Game Development for Palm, Symbian and Windows Mobile. <http://www.gapidraw.com/>.
- [10] Toshiyuki Masui, Koji Tsukada, and Itiro Sii. MouseField: A Simple and Versatile Input Device for Ubiquitous Computing. In *Ubicomp 2004 Adjunct Proceedings (Demos)*, September 2004. <http://ubicomp.org/ubicomp2004/adjunct/demos/>.
- [11] I. Scott MacKenzie and William Buxton. Extending Fitts' law to two-dimensional tasks. In *Proceedings of CHI '92*, p. 1992, May 219–226.