

ハイパーメディア・ブラウジングに適した新しい入力デバイス

河内谷 清久仁 石川 浩
日本アイ・ビー・エム（株） 東京基礎研究所

携帯情報機器の操作では、画面が小さい、画面を注視できない、片手しか使えない場合もあるなどの様々な制約がある。そのため、このような環境でハイパーメディア・ブラウジングを快適に行なうためには、入力デバイスも含めた操作方式に対する工夫が必要となる。本稿ではまず従来の操作方式について述べ、携帯環境への適用可能性について比較検討を行なう。次に、これらを考慮した新しい入力デバイスである「ScrollPoint」を紹介する。このデバイスにより、文書の任意速度の「スクロール」とハイパーリンクの素早く的確な「指示選択」という2種類の基本操作が指一本で可能となる。本稿ではさらに、試作したプロトタイプの構造と、それをを用いた評価実験の結果についても報告する。

キーワード: 入力デバイス, ハイパーメディア・ブラウジング, ユーザインタフェース, 携帯情報機器, モバイルコンピューティング

A Useful Input Device for Hypermedia Browsing

Kiyokuni KAWACHIYA and Hiroshi ISHIKAWA

IBM Research, Tokyo Research Laboratory
1623-14, Shimotsuruma, Yamato, Kanagawa 242, Japan
<{kawachiya,ishikawa}@trl.ibm.co.jp>

A mobile computing environment imposes various restrictions on users, and some new operation method must be developed for comfortable hypermedia browsing. Several existing methods are first introduced and compared from the viewpoint of their applicability in a mobile environment. A new input device for such an environment, named ScrollPoint, is then introduced. With just one finger, a user can "scroll" a document in an arbitrary direction at an arbitrary speed, and can quickly and accurately "point" to a clickable point. The paper also shows the structure of a prototype and gives the results of an evaluation of the prototype.

Keywords: input device, hypermedia browsing, user interface, PDA, mobile computing

1 はじめに

小型化技術の進展と、近年の無線通信インフラの整備などにより、携帯情報機器を使い、移動中でもネットワークにアクセスし情報を得ることが可能になってきている。典型的な利用例として、WWWに代表されるハイパーメディア情報へのアクセスがあげられる。しかし、携帯環境では様々な操作上の制約があり、ハイパーメディア・ブラウジングを快適に行なうためには、入力デバイスも含めた操作方式に対する工夫が必要となる。たとえばマウスは机のない環境では使用が困難であるし、ペンは文字入力には必須だが単なるブラウジングのためにも両手が必要になってしまうなどの問題点がある。

本稿ではまず、ハイパーメディア・ブラウジングの従来の操作方式について述べ、携帯環境への適用可能性について比較検討を行なう。次に、それらを考慮した新しい入力デバイスである「ScrollPoint」を紹介する。このデバイスにより、文書の任意速度の「スクロール」とハイパーリンクの素早かつ確かな「指示選択」という2種類の基本操作が指一本で可能となる。本稿ではさらに、試作したプロトタイプの構造と、それをを用いた評価実験の結果についても報告する。

2 携帯環境でのハイパーメディア・ブラウジング

PDAのような片手で持てる携帯情報機器の利用形態として、各種の情報を移動中にブラウズするという用途が考えられる [1]。ブラウズする情報として一般的なものの一つに、選択可能（クリックブル）な項目を含み、それにより他の情報とリンクされている「ハイパーメディア情報」があげられる。図1は、そのような「ハイパーメディア・ブラウジング」の例を示したもので、地図の一部をブラウズしている。画面中にはいくつかの選択可能項目が存在しており、これを指示選択することで、対応する新しい情報にアクセスすることができる。

WWWの普及などにより、ハイパーメディア・ブラウジングはデスクトップ環境では一般的なことになりつつある。しかし携帯環境の場合、画面が小さい、画面を注視できない、片手しか使えない場合もあるなどの様々な制約があり、快適なハイパーメディア・ブラウジングのためには、入力デバイスも含めた操作方式に対する工夫が必要となる¹。

2.1 従来の操作方式

ハイパーメディア・ブラウジングにおいて必要な操作は「スクロール」と「指示選択」の2つである [2]。スクロール操作は画面に入りきらなかった部分の情報を表示するため、指示選択操作は画面中の選択可能項目の一つを選ぶために必要となる。一般的なハイパーメディア・ブラウジングでは、

1. 「スクロール」操作をきつ、情報を見る。

¹もちろん、低いネットワークバンド幅や記憶容量をどう効率良く扱うかといったシステム面での問題もあるが、本稿では扱わない。

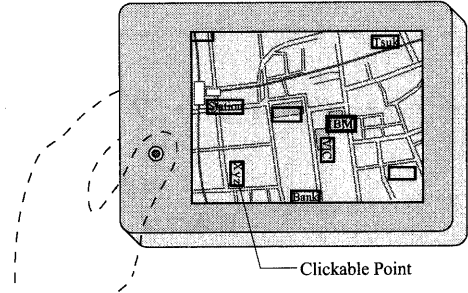


図1: ハイパーメディア・ブラウジングの例

2. 選択可能項目の一つを「指示選択」し、次の情報を表示する。

という操作が繰り返されることになる。

この2つの基本操作について、従来から広く使われている操作方式をまとめてみると以下のようになる²。

方式 a (マウス) デスクトップ環境で最も標準的な操作方式である。画面中には、矢印型をしたポインタ（マウスカーソル）が表示されている。スクロールは、画面脇のスクロールバーをポインタで「つまんで」ドラッグすることで行なう。指示選択は、ポインタを選択可能項目まで移動してクリックする。

方式 a' (トラックボール) ノート型PCなどで一般的な操作方式である。スクロールおよび指示選択の方式は a と同様であるが、デバイスとしてマウスのかわりにトラックボール（と併設されたボタン）を用いる。トラックボールのかわりに、キーボード中央に設けられたアナログ入力スティックを用いるものもある。

方式 b (ペン) PDA で多く用いられている操作方式である。スクロールは、画面中の文書をペン先で「つまんで」ドラッグすることで行なう。指示選択は、画面中の選択可能項目を直接ペンで指示（タップ）して行なう。

方式 c (カーソルキー) ペンを持たないPDAなどで多く用いられている操作方式である。画面中の選択可能項目のうち、一つがハイライト表示されている。指示選択は、上下左右のキーを用いてハイライト表示を目的の項目に移動し、実行キーを押すことで行なう。スクロールは、ハイライト表示の移動に応じて暗黙のうちに行なわれる、もしくは、スクロール専用のモードかキーを用いて行なう。

次節では、携帯環境でのハイパーメディア・ブラウジングという観点からこれらの方式を比較検討する

2.2 携帯環境への適用

デスクトップ環境に比べて、携帯環境には様々な操作上の制約が存在する。そのため、快適なハイパーメディア・ブラウジングのためには、より携帯環境に対応した

²ここであげた4つの操作方式は、典型的な例として示したものであり、実際にはこれらを組み合わせた方式や、これら以外の方式も存在する。

表 1: 従来の操作方式の比較

方式	要件	1. 任意速度スクロール	2. 素早い指示選択	3. 携帯片手操作
a. マウス		△	×	×
a'. トラックボール		△	×	△
b. ペン		△	○	×
c. カーソルキー		×	○	△

操作方式が必要となる。対応すべき要件としては、以下のようなものがあげられる。

要件 1. 任意速度スクロール スクロール操作は、画面サイズが小さい携帯環境では特に重要である。快適な操作のためには、360度任意の向きに任意の速さで行なえることがのぞましい。

要件 2. 素早い指示選択 携帯環境では画面を注視できないこともある。そのため、指示選択操作は選択可能項目に直接移動し選択できるものであることがのぞましい。

要件 3. 携帯しての片手操作 さらに、電車やバスの中で立ったまま、もしくは歩きながらの操作が可能であるように、上記の2種類の操作が片手で行なえることがのぞまれる。

これらの要件について、前節であげた4つの操作方式を評価してみる。

方式 a (マウス)、a' (トラックボール) ではポインタ自体は360度任意の向きに移動可能であるが、スクロールバーを用いるため、斜め方向にスクロールすることはできない。また、画面中にポインタを表示する方式は、選択したい項目に移動するのに画面からの連続したフィードバックが必要で、画面を注視できない状況では非常に使いづらい。そもそも、マウスは通常空中では使えないため携帯環境での入力デバイスとしては問題がある。トラックボールは携帯環境でも使用可能であるが、スイッチ部分が独立していることなどから、機器を保持しながらの片手操作にはやや難がある。

方式 b (ペン) の、画面をつまんでドラッグするスクロール方式は、360度任意の向きへのスクロールが可能であるが、一回の操作で最大一画面分しかスクロールできないという問題がある。指示選択に関しては、画面中の項目を直接選択できるという利点があるが、携帯環境での使用には必ず両手が必要になるという問題点がある。

方式 c (カーソルキー) ではそもそもスクロールが暗黙的に行なわれるため、快適なスクロールは難しい。専用のモードを用意したとしても、固定速度で8方向程度のスクロールがせいぜいである。一方、ハイライトが必ず選択可能項目の一つを指しているため、指示選択は素早くて正確に行なうことができる。ただし、複数のキーを扱う必要があるため、工夫しないと片手操作は難しい。

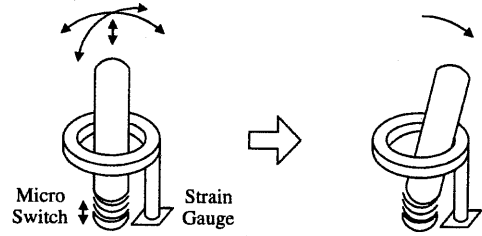


図 2: ScrollPoint の基本構造 (概念図)

このように、従来の操作方式はいずれも携帯環境でのハイパーメディア・ブラウジングの3つの要件を完全に満たしていないといえる。表1は、これらの比較をまとめたもので、○ > △ > ×の順によく対応できていることを示している。

3 新しい入力デバイス ScrollPoint

以上のような要件と問題点をふまえた上で、我々は携帯情報機器でのハイパーメディア・ブラウジングを片手で快適に行なうことを可能にする、新しい入力デバイスを開発した [3]。本章でこれから示すとおり、ハイパーメディア・ブラウジングのための2種類の基本操作である「スクロール」と「指示選択 (ポインティング)」が、このデバイス一つで統合的に可能になることから、「ScrollPoint」という名前をつけている。

3.1 基本構造

ScrollPointの基礎となっているのは、IBM ThinkPadなどのキーボード部分に装備されているアナログ入力デバイス「TrackPoint [4]」である。これはマウスの代替として使用できるデバイスで、ひずみを検知して2次元アナログ入力を行なうスティック部分 (キーボードの中央に配置され物理的には動かない) と、マウスのボタンに対応するいくつかのスイッチから構成されている。

前章でも述べたとおり、片手操作のためには、スティックとスイッチは統合されていることがのぞましい。しかし、単にスティックの下部にスイッチをつけるだけでは、押し込んだ時の「ぶれ」が問題になる。そこで ScrollPoint では、スティックのまわりに「物理的不感地帯」を設け、ポインタがぶれることなくスティックを押し込む操作 (クリック入力) を可能としている。

図2に、構造の概念図を示す。ScrollPointはマイクロスイッチ付きスティックと、そのまわりのリング状ひずみ検知部から構成される (図2左)。スティック部分はある程度強い力を加えることで押し込むことができるほか、リング内で前後左右 (360度任意の向き) に倒すことができる。スティックがリングに触れると、その押し入れ具合 (向きと力) がひずみとして検知される。ひずみ検知部は TrackPoint と同様のハードウェアである。

図2右は、スティックを倒した状態である。リング部分は物理的には動かないので、スティックが周囲のリングに触れると、ユーザには「接触感」の物理的フィード

表 2: ScrollPoint の定性的評価

方式	要件	1. 任意速度スクロール	2. 素早い指示選択	3. 携帯片手操作
d. Scroll Point		○	○	◎ (指一本)

バックが与えられる。同時にひずみが検知され、この状態ですぐスティックを離す(戻す)と、その方向に対してデジタル的に入力が行なわれた(たとえばカーソルキーを1回押した)のと同様の処理が行なわれる(デジタル入力)。一方、スティックを戻さず倒し続けるか、強く押すことでひずみを大きくすると、TrackPointと同様のアナログ入力の処理が行なわれる。

3.2 ハイパーメディア・ブラウジング

ScrollPointをハイパーメディア・ブラウジングに用いる場合、上記の

- 「アナログ入力」で、スクロール
- 「デジタル入力」で、ハイライト項目の変更
- 「クリック入力」で、ハイライト項目の選択

を行なうようにすればよい。この場合の典型的な使用例は、以下ようになる。

1. 特定の方向にスティックを強く倒すか倒し続けると、その向きと強さに応じて画面表示がスクロールする³。
2. スティックをリングに触れるまで(接触感があるまで)倒して戻すという操作で、ハイライト表示がその方向の選択可能項目に移動する。
3. スティックを押し込むことで、ハイライト表示されている項目が選択される。

表2は、前章で述べた要件に関して ScrollPoint を定性的に評価したものである。この結果から、ScrollPointは、携帯環境でのハイパーメディア・ブラウジングに適したデバイスであるといえる。特に要件3に関しては、「指一本」で操作可能であるという特長がある。

4 プロトタイプの作成

第一レベルの評価用として、TrackPointの部品を利用したプロトタイプを試作した。図3が、その構成である。図2で示した基本構造を実現するハードウェア部分と、3種類の入力操作をとり出すためのソフトウェア部分からなる。

4.1 ハードウェア

今回のプロトタイプは、操作の容易性などを検証することを目的としているものなので、小型化や携帯機器への組み込みなどは考慮せず、デバイス部分だけを独立して作成している。図4がその内部(図3のハードウェア部分を左から見たもの)である。プロトタイプは、中央のスティックとそれを中立位置に戻すバネ機構、中央スティックの根本に置かれたクリックのためのマイクロス

³前章の方式c(カーソルキー)と同様、選択可能項目のうち一つがハイライト表示されている。スクロールによってハイライトされた項目が画面外に出てしまうと、自動的にハイライト表示が画面中の最も近い項目に移動する。

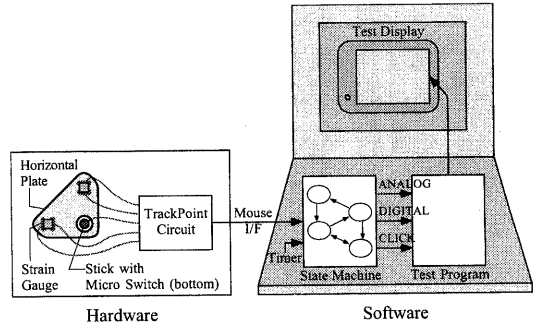


図 3: ScrollPoint プロトタイプ構成

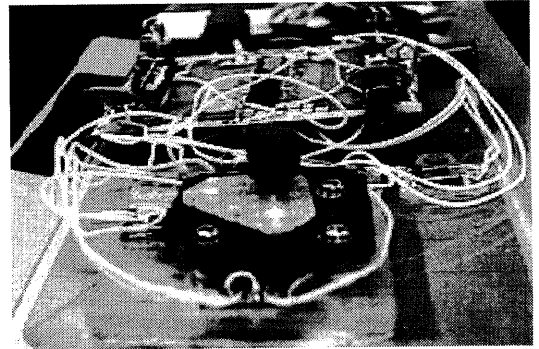


図 4: プロトタイプ・ハードウェア(2代目)

イッチ、および中央スティックに加えられた水平面内の2次元の力を検出する機構から構成される。このうち水平面内の力の検出のために TrackPoint を流用している。

TrackPointは、スティック(柱)の根本に、柱に加えられた2次元の力を検出するためのひずみゲージが貼られている。このひずみを適宜増幅し、A/D変換後専用の処理回路によって移動速度情報に変換して、マウスの標準インタフェース信号として出力している。

プロトタイプでは、この TrackPoint の柱2本と処理回路1個を使用した。水平面内において中央スティックを中心にL字型をなすように2本の TrackPoint の柱を配し、中央スティックに貫通された水平プレートによりこの2本の柱の上部を固定している。中央スティックを倒して水平プレートが動かされると、その力が柱に伝わる。2本の柱はそれぞれ水平面内の直交する2軸のうちの1軸にかかる力の検出を行なう。中央スティックがX方向に倒されると、X方向の力検出用の柱の根本には曲げモーメントがかかり、Y方向の力検出用の柱の根本には軸中心にねじりモーメントが発生するが、本プロトタイプでは曲げモーメントを検出するようにしている。

力検出用の水平プレートの、中央スティックとの結合部は非常に緩いはめ合いになっており、大きな遊びがある。これによりスティックの中立位置付近に力の不感帯ができ、クリック時に不要な力の検出がなされないように

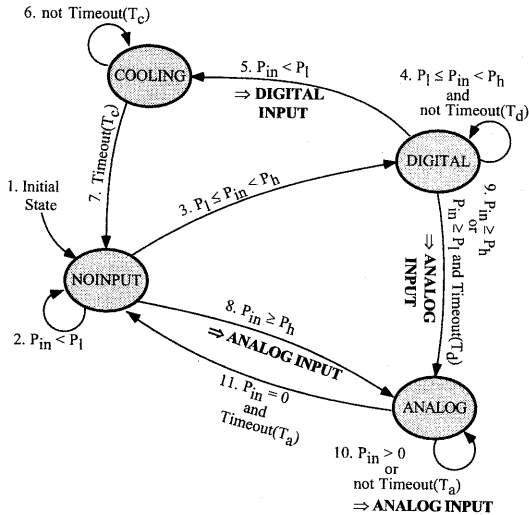


図 5: ソフトウェアのステート遷移図

なっている。またこの遊びは、中央スティックが中立位置から動かされ水平プレートに触れる時に、接触感をユーザに提供する役割も果たしている。

4.2 ソフトウェア

プロトタイプでは、上記ハードウェアでマウス信号に変換された入力を元に、ソフトウェア的にデジタル入力とアナログ入力の判別を行なっている。このソフトウェアは、「マウスの移動量 (P_{in})」と、タイムアウト処理のための時間情報を入力とする状態マシンとして構成されており、以下の4つのステートを持つ。

NOINPUT … 初期状態、入力が無い状態

DIGITAL … 「デジタル入力」の処理中

ANALOG … 「アナログ入力」の処理中

COOLING … チャタリング防止のための遷移状態

各ステートは、入力に応じて図5のように遷移する。図中、 P_l, P_h, T_d, T_c, T_a は状態制御のための定数パラメータである。この図で矢印に沿って書かれているものが遷移のための条件、「⇒」の後に書かれているものが処理される入力（デジタル入力もしくはアナログ入力）である。なお、クリック入力には、マイクロスイッチの入力（マウス信号の左ボタンに対応）をそのまま使っている。このソフトウェア部分、および次章で述べる評価実験用のプログラムは現在、Visual Basicを用いて作成されている。

5 評価実験

ScrollPointによるハイパーメディア・ブラウジングの容易性を検証するため、前章で述べたプロトタイプを用いた比較評価実験を行なった。スクロールと指示選択の2つの基本操作を用いる例で、従来の操作方式との比較を行なっている。

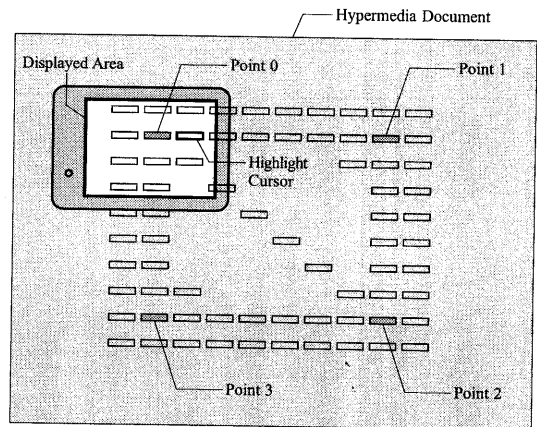


図 6: 評価実験用のハイパーメディア文書

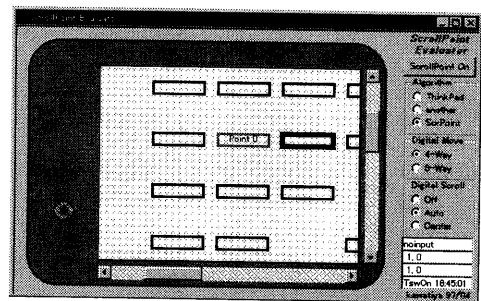


図 7: 実験用プログラムの画面

5.1 実験方法

実験方法は以下のとおりである。図6に示すようなハイパーメディア文書をブラウズする状況を仮定する。文書中にある四角は、選択可能項目（ハイパーリンク）である。文書は画面サイズよりも大きく（16画面分）、全体を一度に見ることはできない。このような状況で、
実験1 ポイント0選択 → スクロール → ポイント1選択
実験2 ポイント0選択 → スクロール → ポイント2選択
 という操作を、マウスと ScrollPoint でそれぞれ何度か繰り返してもらい、要した時間を測定した⁴。

マウスの場合のスクロールは、スクロールバーのスライダーをポインタでドラッグして行なう。スクロールバーでは斜め方向のスクロールは行なえないので、実験2では2つのスクロールバーを順に操作することになる。ScrollPointの場合は、アナログ入力によるスクロールで目的の項目近くまで移動し、デジタル入力でハイライトを目的の項目に合わせる。

被験者はマウス操作に習熟しているコンピュータ使用経験者7名。ScrollPointについては、あらかじめ操作を説明し10~20分程度練習してもらった。なお、ScrollPoint

⁴本実験ではスクロールと指示選択の性能を測定することが主目的であるため、ポイントを選択しても音がするだけでリンク先の文書へ飛ぶという処理は行なわれない。

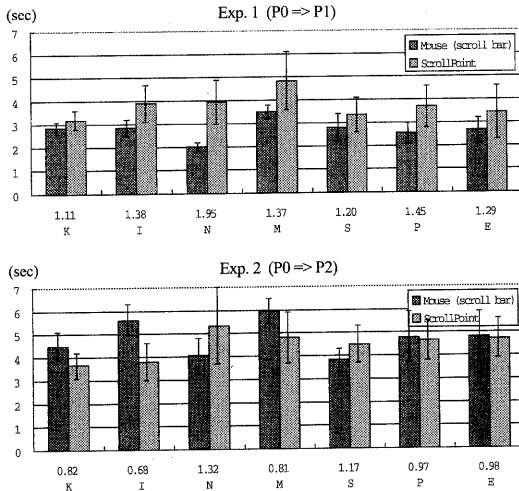


図 8: 実験結果 (マウスと ScrollPoint の所要時間比較)

プロトタイプは両手で保持してもらい、左手親指一本で操作してもらっている。

実験に用いた機種は、IBM ThinkPad 755C (9545-L, IntelDX4-75MHz), OS は Windows95 でマウスのスピードは中間に設定している。実験用プログラムは、Visual Basic を用いて作成されている。その画面を図 7 に示す。携帯機器を模した部分の画面サイズは 320 × 240 ドット (実寸で 105 × 79mm)、各選択可能項目の大きさは 64 × 16 ドット (実寸で 21 × 5mm) である。

5.2 実験結果と考察

実験結果を図 8 に示す。このグラフは、7 人の被験者それぞれについて、マウスと ScrollPoint で要した時間を表したものである。棒グラフが 10 回測定した平均値、付記されている線が平均値 ± 標準偏差の範囲を示している。各被験者のイニシャルの上の数字は、マウスを 1 とした場合の ScrollPoint の所要時間比率を示している。

実験 1 の結果から、マウス使用の場合に比べて 10~50% 程度のオーバーヘッドで ScrollPoint の操作が行なえていることがわかる⁵。これは、ScrollPoint の持つ携帯環境での優位性を考えると、十分実用的な範囲の差だといえるだろう。ただし、ScrollPoint ではマウスに比べて所要時間の偏差が大きくなる傾向がみられる。原因としては、

- デジタル入力による微調整移動を何回行なったかによって、所要時間が変化する。
- デジタル入力とアナログ入力の誤入力により予期せぬ動作を起こしてしまい、所要時間が延びる。

などが考えられるが、ScrollPoint に十分習熟している被験者 (K) の場合、この差はほとんど見られないので、後者の影響が大きいと思われる。この点については、今後デバイスや各種パラメータの調整も含め、より確実な操

⁵被験者 N のみ、オーバーヘッドが 95% になっているが、これはこの被験者のマウス操作が大変熟達しているためと考えられる。

作が行なえるように改良していく予定である。

実験 2 では、多くの被験者で ScrollPoint の方がよい結果を示している。これは、360 度任意の向きにスクロール可能という ScrollPoint の特長によるものである。この結果からも、ScrollPoint は画面の小さい携帯環境でハイパーメディア情報を自在にスクロールしつつブラウザするのに向いているといえることができる。

6 まとめと課題

本稿では、PDA などの携帯情報機器においてハイパーメディア・ブラウジングを快適に行なうための新しい入力デバイス ScrollPoint について報告した。このデバイスにより、文書の任意速度の「スクロール」とハイパーリンクの素早くて確実な「指示選択」という 2 種類の基本操作が指一本で可能となる。試作したプロトタイプを用いた実験により、ScrollPoint でも従来の操作方式に比べて遜色ないブラウジングが行なえることがわかった。

本稿ではふれなかったが、ScrollPoint は他にも、防水化が容易、手探り操作が可能などの携帯環境に適した利点を持っている [3]。ただし、ScrollPoint は、情報ブラウジングに特化した入力デバイスであり、文字などの情報入力には向いていない。そのため、実際の携帯情報機器の構成にあたってはペンなどと組み合わせる必要がある。

今後の課題としては、さらなる評価実験とその結果をもとにした改良、メニューなどの扱いも含めた情報ブラウジング向けの操作体系の提案などがあげられる。また、ScrollPoint の指一本操作を実現するソフトウェア部分 (図 5) を、TrackPoint などの従来ハードウェアに適用することも考えている。これらについては、稿をあらためて発表していく予定である。

最近、ハイパーメディア・ブラウジングにおけるスクロール操作の重要性が着目されており、スクロール用の部品を追加したマウス [2, 5] や、携帯情報機器における新しいスクロール方式の提案 [6] なども行なわれている。これらの操作方式との比較評価も今後の課題である。

参考文献

- [1] 河内谷, 椎尾: “モバイル情報キャッシュのためのフレームワーク,” 第 53 回情処全大論文集, 1B-9, pp. 1-17-1-18 (1996).
- [2] S. Zhai, B. A. Smith, and T. Selker: “Improving Browsing Performance: A study of four input devices for scrolling and pointing tasks,” IBM Research Report RJ10058, IBM (1996).
- [3] 河内谷, 石川: “超小型機器の「指一本操作」のための入力機構,” 第 54 回情処全大論文集, 4R-3, pp. 4-111-4-112 (1997).
- [4] J. D. Rutledge and E. J. Selker: “Force-to-Motion Functions for Pointing,” Proc. INTERACT90: The IFIP Conf. on Human Computer Interaction, pp. 701-705 (1990).
- [5] Microsoft Corp.: “Microsoft IntelliMouse Home Page,” URL: <http://www.microsoft.com/products/hardware/intellimouse/intmouse.htm>.
- [6] 椎尾: “Scroll Display: 超小型情報機器のための指示装置,” 情処研報, Vol. 97, No. 24 (97-HI-71), pp. 91-98 (1997).