
FieldMouseによる実世界指向インタフェース

椎尾一郎* 増井俊之** 福地健太郎***

1 はじめに

遍在するコンピュータ[18] 携帯する / 身につけるコンピュータにより, コンピュータは実世界で使用されるようになりつつある. ここでは, コンピュータの存在を透明にすることと[10], 日用品を使った直感的な操作を提供すること[6] が重要になる. このような, コンピュータにより強化された環境を実現するために, 従来の机[3,19]や紙[2,1]などの実世界の事物を使って情報を操作する実世界指向インタフェースシステムが多数試作されている.

実世界指向インタフェースシステムにおいて, 実世界情報とコンピュータ情報を変換することが重要な課題である. たとえば, 多くの拡張現実 (AR: Augmented Reality) システムでは, ユーザとシステムの位置を検出するために, ビデオカメラや3D位置トラッカーが使われている. これらのデバイスは通常, 重く大きく高価であり, 調整が面倒である[4]. 紙や平面上でのユーザ操作を入力するためにも, 通常タブレットやビデオカメラが使われる. 普通の紙や机の機能を強化するためにはこのような装置が不可欠であった.

筆者らは, FieldMouse と名づけた安価な入力装置を提案する. これにより特別なタブレットや位置検出装置を使わずに, 任意の紙や平面上での位置入力が可能になる. FieldMouse は, バーコードリーダのようなID認識装置と, マウスのような相対位置検出装置を組み合わせた

入力デバイスである. 最初にユーザは, 本装置で場所のわかっているIDを読み込む. つぎに本装置を動かすと, 相対位置検出部からの情報によりその場所の絶対位置を知ることができる.

FieldMouseにより, 平面にバーコードなどのIDを貼るだけで, 任意の紙や平面をタブレットのような絶対位置入力装置として利用することができる. またIDを読み込んだ後の移動量や方向を解析することで, 従来のコンピュータ画面でのGUI (Graphical User Interface)に基づく操作を, 紙や任意の平面の上で実現することができる.

2 FieldMouse

FieldMouseはID検出装置と相対位置検出装置の任意の組み合わせで構成される. 前者にはバーコード, 二次元コード, RFID (Radio Frequency Identification)リーダなどが, また後者にはマウス, ジャイロ, 加速度検出装置, 車輪の回転などが利用可能である.

典型的な組み合わせは, バーコードリーダとマウスの組み合わせである. バーコードリーダ¹¹に, 機械式ペン型マウス¹², 光学式マウス¹³を組み合わせた試作品を, それぞれ図1と図2に示す.

マウスは通常精密な位置入力装置として設計されていないので, 精度に問題があることが予想された. そこで一般的な再湿壁紙¹⁴の上での移動量に対するマウスのカ

Real World Oriented Interface using the *FieldMouse*

* Itiro Siio, 玉川大学工学部, Faculty of Engineering, Tamagawa University.

** Toshiyuki Masui, ソニーコンピュータサイエンス研究所, Sony Computer Science Laboratories, Inc..

*** Kentaro Fukuchi, 東京工業大学大学院情報理工学 研究科, Department of Mathematical and Computing Sciences, Tokyo Institute of Technology.



図1. FieldMouse の例. 機械式ペンマウスとバーコードリーダの組み合わせ.



図2. FieldMouseの例．光学式マウスの内部にバーコードリーダーを組み込んだ．

ウント値（マウスからコンピュータに送られる移動量データ）を測定して、再現性と直線性を調べた．試作品に採用した機械式マウス、光学式マウスのいずれも、80cmのx,y方向の往復において3%未満の誤差であった．カウント値の角度特性を調べたところ、光学式マウスは全方向に対して正確であったが、機械式マウスは斜め45度方向の移動では30%カウント値が減少した（図3）．しかし機械式マウスの角度特性は再現性があるため、移動方向角度に対してカウント値を補正することで全体の誤差を5%程度に押さえることができた（図4）．この程度の誤差が受容できる用途においては、機械式マウスを位置入力装置として利用できる．一方、光学式マウスは低速度での移動においては非常に正確であるものの、光学センサーの視野（約1mm四方）とサンプリングレート（1500Hz）の関係から、秒速1m程度的高速移動には追従できなかった．本のページ程度の平面での使用には適しているが、机や壁のような広い面積で使用には適していないと考えられる．また現在の光学式マウスは、小型の機械式ペン型マウスに比べてセンサや光学部品が大きく、

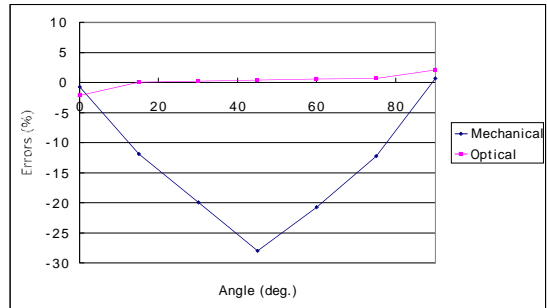


図3. 機械式マウスと光学式マウスの角度特性．を使用したFieldMouseの角度特性．機械式マウスは45度方向でカウント値が低下する．

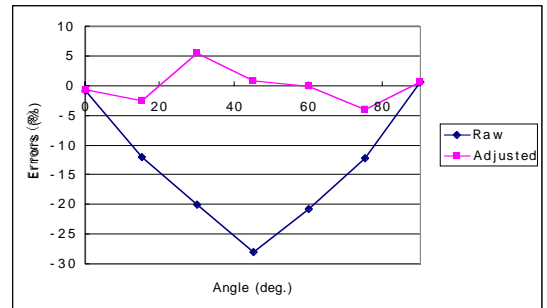


図4. 機械式マウスの角度特性はソフトウェアで補正した．

指示する対象を覆い隠してしまう欠点もある．さらに、光沢のある面や、規則的な線り返しのある面（一部の壁紙や畳）などで動作しない場合もある．そこで以下の応用では、機械式ペン型マウスを主に使用した．

マウス移動量の誤差は、原点のIDからの移動量と共に累積する．FieldMouseを原点に戻して移動し直すと、累積誤差は解消する．移動量が多く、かつ精度が要求される分野への応用分野では、IDを複数の場所に貼りつけ、補正の機会を増やして精度を改善する手法も考えられる．

FieldMouseの相対位置検出部には、固体ジャイロ素子を利用することもできる．図5に、ペン型のバーコードリーダーと回転運動を検出するジャイロ素子を内蔵したジャイロマウス^{†5}を組み合わせた実装例を示す．ジャイロ素子による相対位置検出精度は良くないものの、平面に押し当てることなく空中で使用することができるので、機械式、光学式マウスに比べてジェスチャー入力が容易である．

†1 AIMEX BR-530AV, <http://aimex.co.jp/>

†2 APPOINT Computer Crayon

†3 Microsoft IntelliEye, <http://www.microsoft.com/hardware/mouse/intelliye.htm>

†4 Tokyu Hands H-8701

†5 Gyration GyroPoint, <http://www.gyration.com/html/gyropoint.html>

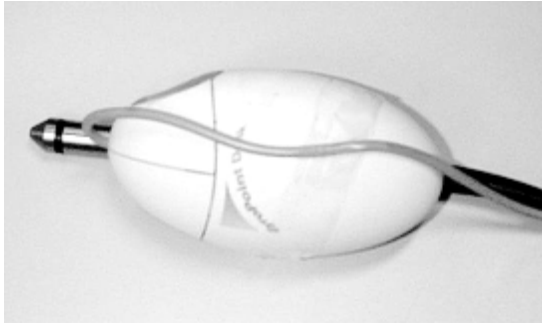


図5. ジャイロ式マウスを使ったFieldMouse .

また、図15に示すシステムでは、相対移動量検出にシステム全体を搭載するカートの車輪の動きを利用し、ID検出装置としてRFIDリーダを使用している。

以下では、実際に試作したシステムを交えて、FieldMouseの応用について述べる。

3 指示型アプリケーション

平面上の対象物を指示するデバイスとして用いることが、FieldMouseの最も単純な応用である。GUI画面におけるポイント+クリック操作が、FieldMouseのIDスキャン+ドラッグ+クリック操作で実現できる。これにより、任意の紙や平面の任意の点が指示可能になる。

例えばWWWページのハードコピーにバーコードが一つ印刷されていれば、ハードコピーの中の複数のリンク情報にアクセスすることが可能である。また、雑誌の全ページの余白にバーコードが印刷されていれば、雑誌の任意のページがタブレットのように利用できる。

3.1 ActiveBook

Active Bookは、ページの一部に貼りつけたバーコードを起点に、FieldMouseを動かすことで、紙の上に埋め込まれた情報にアクセスできる本である。図6は試作したActive Bookの例である。絵本のページの左上のバーコードを読み取った後、登場人物の上に移動してボタンをクリックすると、登場人物の台詞が音声で再生される。

この実験絵本は、Living Booksシリーズの製品[13]を元にして作られた。これはコンピュータ画面に絵本の画面を表示して、ユーザが画面の中のキャラクターをクリックすることで音やアニメーションを楽しむことができるインタラクティブ絵本の一つである。製品には、オリジ



図6. 試作したActiveBook .^{†6}



図7. ActiveBookのオーサリング .^{†6}

ナルの紙の絵本が付属している。

図6のActiveBookの各ページのリンク情報はHTMLで記述されている。Living Booksのソフトウェアで使われている音声データを抽出して、これへのリンクをHTMLのクリックマッピングに埋め込んだ。紙の絵本の各ページの隅に、このHTMLファイルの名前をエンコードしたバーコードラベルを貼りつけた。FieldMouseにより、ページの中のバーコードが走査されると、対応するHTMLファイルが読み込まれ、次に絵本の中のキャラクターの一つが選択されると、ここに埋め込まれた音声データが再生される。

^{†6} ©1994-1999 The Learning Company and Mark Schlichting ©1987, 1994 Marck Schlichting

HTMLを採用したことで、クリックマッピングをサポートしている数多くのHTMLエディター（たとえば図7）をオーサリング作業に利用できるメリットがある。さらに、サウンドデータ以外にもさまざまなデータをWWW経由で配布することができるメリットもある。また、作成したHTMLファイルをWWW上で公開する目的に流用することも可能である。

絵本のほか、(1) テレビ番組雑誌に適用して、赤外線リモコンインタフェース経由で録画予約を行ったり、チャンネルを切り替える、(2) 地図帳に適用して、ナビゲーションシステムに目的地や現在地を入力する手段として使う、(3) ビデオテープタイトルやカラオケ曲名のメニューブックに応用して、目的のコンテンツの再生を行なうなどの応用が可能である。

本のリンク領域すべてにバーコードを配置すれば、FieldMouseを使用しなくともActive Bookを実現できる。これに対してFieldMouseを使った手法は、ページ毎に1個のバーコードを貼りつけることで実現できるので、バーコードが本来の印刷情報の邪魔になりにくいという利点がある。

4 Real-World GUI

FieldMouseは、オブジェクトを指示する以外に、紙を使ったさらに複雑なGUIの手段としても使用できる。紙上のデバイスの位置、移動を検出できるので、紙の上にバーコードとGUI部品を印刷しておけば、従来のコンピュータ画面上でのGUI操作と同様の操作を紙の上で行う、Real-World GUIを実現できる。

Real-World GUIの手法により、従来のバーコードの応用分野が広がる。通常のバーコードは、GUIで言うところのボタンの役割を果たしており、アナログ量をコントロールすることはできない。また、通常のバーコードによるメニュー選択システムでは、一つのバーコードに対して一つの機能が割り当てられる。FieldMouseでバーコードを読み取れば、従来のバーコードにアナログ量をコントロールするスライダや、複数の選択項目のあるメニュー機能を加えることができる。

たとえば、図8はReal-World GUI部品を採用したTVリモコンである。ユーザがスライダの上のバーコードをFieldMouseで読み取った後、左右に動かすと、その移動

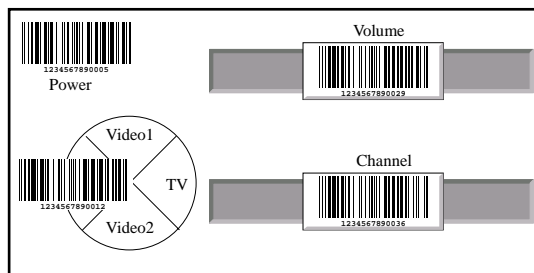


図8. 紙リモコン。

量が検出される。これによって、音量などのアナログ量のコントロールをおこなう。また、パイメニューのバーコードを読み取った後、さまざまな方向に移動させることで、パイメニューの項目にある入力ソースを切り替えることもできる。

図9は、VCRやTVなどのAV機器の切り替えを操作するためのReal-World GUIである。複数の機器がIEEE1394のような高速シリアルバスに接続されれば、簡単な配線でAV機器を集中管理できる。しかし明示的な入出力信号配線によってAV機器を区別することができなくなるので、現在のAV機器操作以上にユーザが混乱することが予想される。例えばそれぞれのAV機器に名前を付けて、「copy VCR1 to VCR2」という指示をコンソールやリモコンから送ることが考えられるが、機器の名前や入出力指定の順番を覚えておく必要があり、誤操作を招きやすい。FieldMouseを使ったReal-World GUIにより、AV機器の接続操作が簡単に行なえる。図9の紙にはVCRやTVの絵

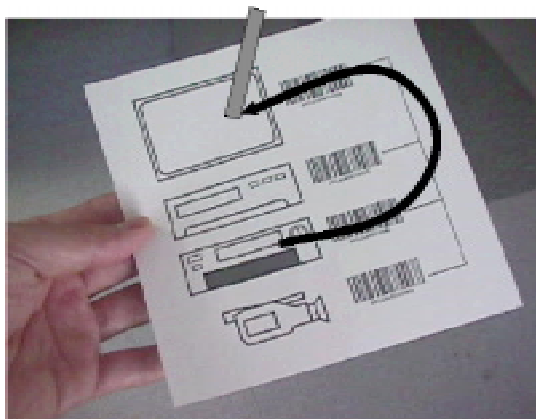


図9. 紙リモコン（AV機器の接続切り替え）。



図10. ActiveBookが再生する台詞の言語と音量を設定する Real-World GUI のページ .

がバーコードと一緒に描かれ、それぞれが線で結ばれている。映像信号の出力と入力を指示して接続するためには、ユーザは信号の流れに従って二つの機器を結ぶように紙の上をなぞるだけでよい。信号の流れとFieldMouseの移動が対応するので、直感的な操作が実現される。

Real-World GUI は、ActiveBook の試作システムでも利用されている。図10は、絵本で再生される台詞の言語を英語、日本語、スペイン語から選択するパイメニューと、再生音量を調整するスライダーが印刷されたページである。

図8、図9、図10のバーコード以外のグラフィカルな表現は、従来の画面GUIにおける3D表現されたボタンと同様、ユーザ操作の視覚的な手がかりとなる。Real-World GUI におけるFieldMouseの動きをユーザに的確にアフォードするように、グラフィカル表現部分をデザインすることが重要である。

5 簡易型 AR システム

FieldMouseを実世界の平面の位置検出装置として用い、コンピュータ情報を表示する携帯型ディスプレイと組み合わせることで、簡易型のARシステムを作ることできる。

5.1 Scroll Browser

図11は壁の中にある情報を閲覧するための装置、Scroll Browserである。これはFieldMouseと片手で持つ携帯型ディスプレイを組み合わせたシステムである。ユーザが



図 11. Scroll Browser で壁の中の配線を閲覧している様子 .

FieldMouseで壁の上をこすると、ディスプレイに表示された内容がスクロールして、指示した場所の壁の中の配線や柱の様子をのぞき見ているかのような幻想を得ることができる。

現在のほとんどのARシステムは3Dのモデルを採用しているが、2Dだけでも十分な応用分野は多い。たとえば、改築やメンテナンスのために、壁や地下の配線や配管の様子がわかると便利である。

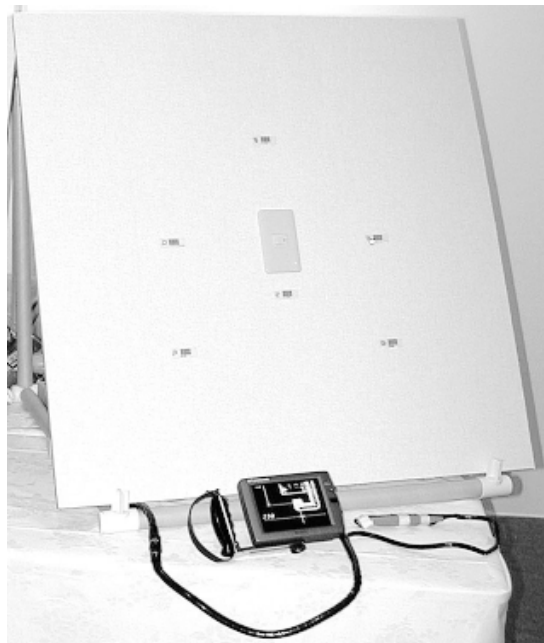


図 12. 試作した試験用の壁 .

このような応用で情報を表示するためには、平面の上の2Dの位置検出ができれば十分である。その有用性を確認するために、図12に示す90cm x 90cmの大きさの合板に壁紙を貼りダミーの壁を作り、この中の様子を表示するシステムを試作した。ダミーの壁の中央にはスイッチを埋め込み、背面には電気配線と柱を取りつけた(図13)。壁の表面には、アイコンや説明が添えられた複数のバーコードステッカーが貼りつけられている。ユーザが一つ

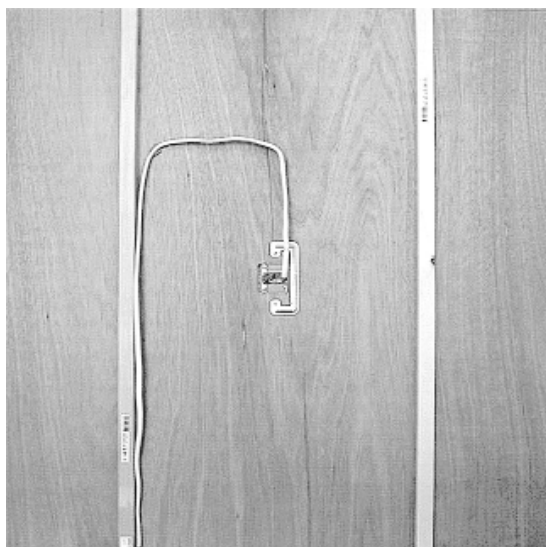


図13. 試験用壁裏側の写真。

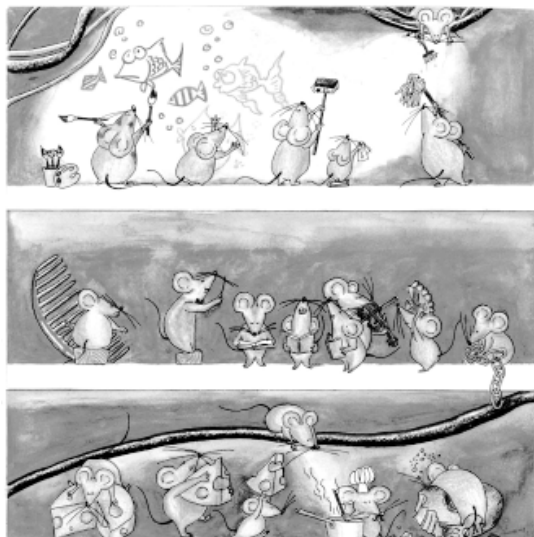


図14. ねずみのイラスト。

のバーコードをFieldMouseで読み取ると、それぞれに対応する画像がディスプレイに表示され、FieldMouseの移動に伴って反対方向に移動量だけスクロールする。図13は壁の裏を閲覧するときに表示される写真のうち一枚である。

このシステムは非常に大きな図面を直感的にスクロールしながら閲覧する目的でも利用できる。図14は壁の中で遊ぶねずみの大きなイラストであり、ユーザがこれを選択するとその一部を覗き見するような感覚で閲覧することができる。

5.2 Virtual Glassboat

Virtual Glassboatは、Scroll Browserの機構を、地面や床下の情報を閲覧する目的に展開した簡易型拡張現実システムである。図15に、Virtual Glassboatの試作装置を示す。カートの上に、コンピュータディスプレイを上向きに設置・搭載している。ディスプレイには、あらかじめ用意した地下や床下の構造を表す画像情報を表示する。車輪に回転センサーが取り付けられており、車輪の回転



図15. Virtual Glassboat. カートに搭載されたコンピュータ画面が、移動方向と逆にスクロールする。



図 16 カートの底面．後輪(左)の回転を測定する．また先頭部分(右)にはRFIDリーダが取り付けられ、床の上のID板を読みとる．



図 17 ID板．裏面(左下)に2個のRFIDタグが埋め込まれている．これを連続して読むことで、カートの絶対位置と方向を決定する．

から装置全体の移動量と回転を測定し、移動・回転方向と逆の方向にディスプレイの表示内容をスクロール表示する．この結果、ディスプレイ枠を通して、その場所の配管、配線、床下構造などの様子を覗き見るかのような拡張現実感を得ることができる．海洋公園などにある、船底がガラス張りになった遊覧船にちなんで、Virtual Glassboat と名づけた．

使用したカート(荷台面 555 x 393 mm)には、車輪が4個あり、うち前輪の2個が方向可変、後輪の2個は方向固定である．固定後輪の回転を測定することで、カートの位置と方向の変動を知ることができる．そこで図16に示すように、後輪2個の側面に32対の縞模様を放射状に印刷した反射板を取り付け、2個の反射型フォトインタラ

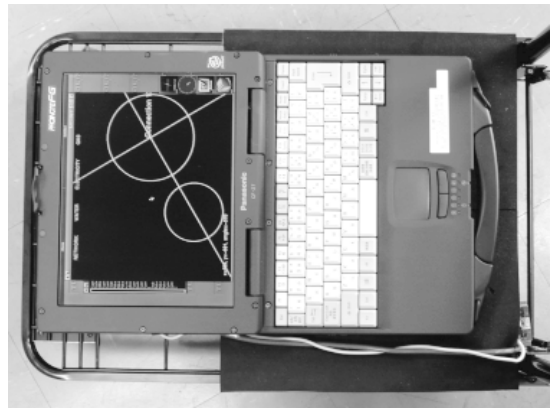


図 18 表示される画像例．

プタ^{†7}により、この反射板の縞模様を検出した．市販のマウスのコントローラ部を利用して、フォトインタラプタの信号を搭載ノートPCのマウスポートに入力した．これにより車輪の回転数と回転方向を測定できる．

カートの絶対位置と方向を知るために、RFID タグを2個埋め込んだID板を床や地面に設置し、カートの先頭に取り付けたRFIDリーダ^{†8}で読みとる(図17)．ID板に示された矢印方向(または逆方向)にカートを動かすと、2個のRFIDタグが連続して読み出され、カートの絶対位置と方向を決定できる．RFIDタグは床のカーペットの下などに設置することもできる．屋外でのアプリケーションにおいては、地下に埋設したタグを利用することも可能である．

搭載PC上で稼働する情報閲覧プログラムは、フォトインタラプタとRFIDリーダからの情報からカートの回転・移動を計算して、表示を回転・スクロールする．現在の試作プログラムは、地中配管の配置や接続を表現する目的で、線・円弧・文字を表示する機能がある(図18)．

試作した装置の移動に連動して、表示した図面データがスクロール/回転する．これを使って、道路や床下の配管、配線、構造などの図面を閲覧できるので、保守・工事作業などをサポートするアプリケーションが可能である．道路の埋設物を示すために杭などによるマーカーが一般に使われている．RFIDを埋め込んだマーカーも開発

†7 SHARP, GP2S22

†8 OMRON, V700-HMD11

されているので、本装置により、マーカー付近の埋設物の様子を直感的に閲覧することが可能である。また、床の上に海底の様子や展示物の説明などを表示することで、エンターテインメント分野や博物館展示などへの応用も可能である。

6 プログラミングとオーサリングへの応用

ARシステムの多くは、エンドユーザがコンピュータ情報を実世界に結びつける簡単な手段や、プログラムを書く手段を提供していなかった。FieldMouseのように実世界の任意の面を指示できる装置により、実世界指向プログラミング[8]やオーサリングを容易にすることができる。

例えば目的地に近づいたらスケジュール情報を表示する機能を、位置を知ることができるPDAに実現する場合を考える。既存のテキストベースのプログラミング言語を用いると、たとえば以下のようにPDAをプログラムすることになるであろう。

```
dest.longitude = 135.2358;
dest.latitude = 39.3871;
if(distance(curpos, dest) < 500.00) {
  show_schedule(); }
```

このプログラムでは、実行時に文字情報が使われないにもかかわらず、文字ベースのプログラミング言語を使用している。この場合、距離比較の式と目的地に近い状況の間に直感的な対応関係が無いため、現在地点が目的地に近い状況を表示するプログラムが面倒になっている。これはビジュアルなツールを使用せずにGUIプログラムを開発する状況に相当する。ビジュアルなGUIのプログラミングに、ビジュアルプログラミング環境を使うと、プログラムの表現と操作対象が近いために理解が容易になるように、実世界の対象を扱う実世界指向プログラミングでは、実世界の事物を使ってプログラムすることが適していると考えられる。

FieldMouseのようなデバイスを使用すれば、このプログラム作成は容易になる。例えば、上の例のようなプログラムは以下の手順で作成できる。

- ・PDAをマクロ定義モードに切り替える
- ・FieldMouseを紙の地図の上でドラッグして領域指定を行い、if文の条件の部分指定する
- ・PDAを操作してthen文の実行内容を指定する

- ・マクロ定義モードを終了する

ActiveBookで現在採用しているHTMLエディターによるオーサリング方法のかわりに、絵本の上のリンク領域をFieldMouseで囲むようにドラッグして直接指定するオーサリング方法も考えられる。同様に、任意の情報を、バーコードさえ貼ることができれば、簡単な直接操作で実世界平面に貼りつけることが可能である。

7 関連研究

さまざまなARシステムの研究に加えて、実世界とコンピュータ情報とのギャップを埋めるための試みが多数ある。

MEMO-PEN[9]システムは、圧力センサーと小型カメラを使用して、ペンストロークを記憶するシステムである。これをFieldMouseのID認識部として用いることもできる。

ActiveBookのように、実際の紙にコンピュータの情報を結びつけるさまざまな手法が研究されている[2,16,17]。またIBMのCrossPad[1]は、紙に手書きされたメモ書きをコンピュータ情報とリンクさせる製品が広く市場に受け入れられた最初の例であろう。

ActiveBookでは、開けられている本のページをバーコードで識別したPaperIcons[11]やEnhancedDesk [7]では二次元コードを、また、Ultra Magic Key[17]ではページに印刷された特殊な図形をビデオカメラで読み込み、画像処理によりページを識別している。ビデオカメラを使用すれば、指先などによる直接的な操作が実現できる。これに対してActiveBookはペン型デバイスを必要とするものの、ビデオカメラが不要で、安価で設置場所を選ばないという特徴がある。

Chameleon [5]やNaviCam [12]はScroll Browserと同様な携帯ディスプレイを使用して位置依存情報を提示する。Scroll Browserは、IDタグを貼るだけで安価に設置できる簡易版Chameleonといえる。NaviCamではビデオカメラで撮影した実世界の画像をコンピュータ情報と合成して表示している。Scroll Browserは平面上にデバイスを当てて使用するので、コンピュータ情報の帰属する場所が明白であると考え、実世界画像の合成を行っていない。

IconSticker [15]は、デスクトップメタファーのアイコン

を、アイコンイメージとバーコードが印刷されたステッカーとして実世界に取り出し利用するシステムである。FieldMouseをIconStickerと統合することで、コンピュータ情報を実世界に結びつける操作をさらに容易に実現できる。

Scroll Display [14]は、超小型ディスプレイで大きな情報をスクロールしながら閲覧する操作を容易にする目的で、小型携帯コンピュータの背面にマウス装置を組み込んだシステムである。携帯コンピュータを机上で移動すると、これに同期して表示内容がスクロールする。これにより、あたかも大きな文書の一部をディスプレイ枠を通して閲覧しているかのような操作感をユーザに提供する。Scroll Browserは、Scroll Displayを拡張してAR分野へ応用したシステムである。

8. 評価

試作したアプリケーションの内、図1に示した機械式マウスを使ったFieldMouseによるScroll BrowserとActiveBookのシステムを、デモンストレーション発表などで実演した。とくに、Scroll BrowserはDynamic Media Contest[®]に出品して3日間にわたりのべ374名の見学者にデモを行なった。

Scroll Browserは90cm x 90cmのダミー壁の全体で、電気配線やねずみのイラスト(図13および図14)などをスクロール表示するデモを行った。ActiveBookは、B5変形サイズの絵本のページに、3cm x 3cm程度以上の選択領域を複数設定して、サウンドファイルをアクセスした。いずれの用途においても、機械式マウスを使ったFieldMouseは十分を持っていたので、安価なデバイスにも関わらず快適な操作が実現できていることが評価された。

一方、ペン型マウスの平面に対する角度の許容範囲が狭かったため、ペン型マウスに慣れていない使用者は、特に垂直の平面を対象にしたScroll Browserシステムにおいて、角度を一定に保てずスクロールに失敗することがあった。接地角度が保たれるような形状(たとえば3点以上で接地する箱形)の検討が必要である。

また、ペン型のバーコードリーダーでバーコードを読みとるためには、ある程度一定な速度でバーコードリーダー

を動かさなければならない。初心者や子供などにはこの操作が難しく、読みとり失敗することが多かった。手動走査が不要な、1次元または2次元画像センサを使用したバーコードリーダーの採用も検討すべきである。

本装置では、マウスの傾きを計測していないので、正しい座標値を得るためには、マウスをまっすぐに持つ(マウスの水平・垂直軸を本や壁の水平・垂直軸に合わせる)必要がある。しかし、このことを操作上の注意として説明することで、試用したほとんどの見学者は、問題なく操作することができた。

長時間操作しているうちに、スクロール動作が不安定になる現象が現れた。これも、大きな平面を対象とするScroll Browserのデモで顕著であった。壁紙を対象にした場合の、機械式マウスのカウント値の変化を測定したところ、15m以上移動するとカウント値が3%程度低下することがわかった。マウスボールを洗浄すると正常に戻ることから、壁紙の汚れ(壁紙の繊維もしくは糊)をマウスボールが巻き込み、内部ローラーとの接触が不完全になっていると推測できる。本や書類のような清浄な平面でなく、壁や床を対象にして本装置を実用化する場合には、汚れにくいボール素材、クリーニング機構、光学式マウスのような非接触な移動検出方式などを検討する必要がある。

9. まとめと今後の予定

バーコードラベルなどを貼りつけた任意の平面の上での位置を入力できる新しい入力装置FieldMouseを提案した。また、これを使用したさまざまなアプリケーションについて、一部の実装例と共に紹介した。

今後もアプリケーションの検討、実装、有用性評価をすすめていくと同時に、現在使用している位置センサやIDリーダー以外の組み合わせや、CCDカメラのみによる実装を検討したい。

開発中のアプリケーションの一つに、顧客訪問作業支援のために住宅地図をActiveBook化し、顧客データベースを検索するシステムがある。ここでは、本研究の評価で明らかになった課題を考慮して、1次元もしくは2次元画像センサー式IDリーダーを検討している。また、地図の紙面での移動に限定すれば、本論文の冒頭で論じた光学マウスの移動速度、対象平面の制約も満たされると考

†8 <http://www-nishio.ise.eng.osaka-u.ac.jp/AMCP/>

え，塵埃の多い屋外でも安定動作が期待できる光学マウスを採用する計画である．

[謝辞]

本研究は，新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)「新規産業創造型提案公募事業」の支援を受けた．

Living Booksシリーズ「ハリー君とおばけやしき」の絵本，ソフトウェアプログラム内における画像，音声の使用許可をいただいたザ・ラーニングカンパニー（株）に感謝する．

筆者らの関連研究である Scroll Display を AR 分野に応用するアイデアは，University of South Australia の Bruce Thomas 氏とのディスカッションがきっかけとなった．

本論文で紹介したデバイスの名称である FieldMouse は，Richard Potter 氏の命名による．

[参考文献]

- [1] CrossPad. <http://www.cross-pcg.com/>.
- [2] Toshifumi Arai, Dietmar Aust, and Scott E. Huson. Paperlink: A technique for hyperlinking from real paper to electronic content. In Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'97), pages 327-334. Addison-Wesley, April 1997. <http://www1.acm.org:82/sigs/sigchi/chi97/proceedings/paper/seh.htm>.
- [3] Toshifumi Arai, Kimiyoshi Machii, Soshiro Kuzunuki, and Hiroshi Shojima. Interactive desk: a computer-augmented desk which responds to operations on real objects. In CHI'95 Conference Companion, pages 141-142. Addison-Wesley, May 1995.
- [4] Ronald T. Azuma. A survey of augmented reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6(4):355-385, August 1997. <http://www.cs.unc.edu/azuma/ARpresence.pdf>.
- [5] George W. Fitzmaurice. Situated information spaces and spatially aware palmtop computers. Communications of the ACM, 36(7):39-49, July 1993. <http://www.acm.org/pubs/citations/journals/cacm/1993-36-7/p39-fitzmaurice/>.
- [6] Hiroshi Ishii and Brygg Ullmer. Tangible bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'97), pages 234-241. Addison-Wesley, April 1997. <http://www.acm.org/sigchi/chi97/proceedings/paper/hi.htm>.
- [7] Motoki Kobayashi, Hideki Koike. EnhancedDesk: Integrating Paper Documents and Digital Documents. In Proceedings of Asia Pacific Computer Human Interaction (APCHI 98), pages 57-62. IEEE Computer Society, July 1998.
- [8] 増井俊之:実世界指向プログラミング, 第 40 回プログラミングシンポジウム報告集, pp.19-25, 1999.
- [9] Shinji Nabeshima, Shinichirou Yamamoto, Kiyoshi Agusa, and Toshio Taguchi. MEMO-PEN: A new input device. In CHI'95 Conference Companion, pages 256-257. Addison-Wesley, May 1995. <http://www.acm.org/pubs/citations/proceedings/chi/223355/p256-nabeshima/>.
- [10] Donald A. Norman. The Invisible Computer: Why Good Products Can Fail, the Personal Computer Is So Complex, and Information Appliances Are the Solution. The MIT Press, 1998.
- [11] Jun Rekimoto. Pick-and-Drop: A Direct Manipulation Technique for Multiple Computer Environments. In Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'97), pages 31-39. ACM Press, October 1997.
- [12] Jun Rekimoto and Katashi Nagao. The world through computer:.. In Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST'95), pages 29-36. ACM Press, November 1995.
- [13] Mark Schlichting. Harry and the Haunted House. Living Books, 1994.
- [14] Itiro Siio. Scroll display: Pointing device for palmtop computers. In Asia Pacific Computer Human Interaction 1998 (APCHI98), pages 243-248. IEEE Computer Society, July 1998.
- [15] Itiro Siio and Yoshiaki Mima. IconStickers: Converting computer icons into real paper icons. In Proceedings of HCI International'99, August 1999. to appear.
- [16] Lisa J. Stiefman. Augmenting real-world objects: A paper-based audio notebook. In CHI'96 Conference Companion, pages 199-200. ACM Press, April 1996. <http://lisa.www.media.mit.edu/people/lisa/chi96.html>.
- [17] Hiroshi Usuda and Mitsuhiro Miyazaki. The multimedia interface using 'paper': Ultra Magic Key. In Proceedings of Asia Pacific Computer Human Interaction 1998 (APCHI'98), pages 393-397. IEEE Computer Society Press, July 1998.
- [18] Mark Weiser. Some computer science issues in ubiquitous computing. Communications of the ACM, 36(7):75-84, July 1993.
- [19] Pierre Wellner. Interacting with paper on the DigitalDesk. Communications of the ACM, 36(7):87-96, July 1993.