
インターフェイスの街角 (11)(11)

ペーパー・インターフェイス

増井俊之

計算機の普及とともに紙はあまり使われなくなると予想されたこともありますが、書籍や雑誌、新聞はもとより、写真、チラシ、葉書、ポスター、名刺など、いまでも有力な情報伝達手段として利用されており、ディスプレイなどに席を譲る気配は当分なさそうです。開発されてから長い年月を経た紙には、数多くの高度な技術が投入されています。軽い、安い、薄い、折り曲げができる、字や絵を書きやすい、複製しやすい、ファイリングしやすいといった特徴があり、現在の最高水準の計算機入出力デバイスと比較しても、解像度が高く、電池切れがないなどの利点をもっています。その反面、紙の上に書かれた字や絵は簡単には消したり編集したりできませんし、動く絵は描けないといった欠点もあります。遠い将来は紙が不要になる時代がくるかもしれませんが、当面は紙を計算機で置き換えようとするより、両者をうまく融合して使う工夫が重要ではないでしょうか。

紙と計算機を組み合わせれば、いろいろな機械の操作が容易になります。

- 普通の Web ブラウザで画面をプリンタに出力すると、そのページの URL なども印刷されます。これは、基本的に画面イメージが紙の上に再現されるだけなので、そのページをもう一度見たいときは URL を入力しなおさなければなりません。しかし、もしそのページの URL やリンク先がバーコードで印刷されていれば、バーコード・リーダーを使って簡単に Web ページやリンク先に飛ぶことができます。
- 紙の上にメモや絵を書くと計算機にデータが自動的に取り込まれるようになっていけば、いつどこで何を書いたかがはっきりするので、あとで検索などがしやすくなり

ます。

- 紙の上に印刷された TV 番組をなぞるだけで録画予約ができるようになっていけば、録画の失敗は激減するでしょう。

このように、紙と計算機を融合して活用するためのインターフェイスをここでは「ペーパー・インターフェイス」と呼ぶことにします。ペーパー・インターフェイスは、8月号で紹介した実世界指向インターフェイスのうち、現実の生活への応用がもっとも期待されるものと捉えてもよいでしょう。

使用する機器

計算機と紙を組み合わせるには、計算機内のデータと紙に書かれた情報を相互変換したり、関連づける必要があります。このところ、プリンタやスキャナなどの紙にかかわる周辺機器の性能向上はめざましく、これも紙の立場を有利にしている要因でしょう。

計算機のデータを紙の上のデータに変換するには普通はプリンタが使用され、その逆の場合にはスキャナがよく使われます。また、両者の関連づけには、これまでおもにバーコード・リーダーが利用されてきましたが、最近はデジタルカメラもよく使われています¹。

●プリンタ

従来、プリンタは文書やプログラムなどのテキストデータの印刷に使われるケースがほとんどでした。ところが、最近になって性能が飛躍的に向上し、安価な製品

¹ デジタルカメラは、Zaurus や Indy/O2 で標準装備になっています。幅広い応用が可能なので、あらゆる PC や WS に標準で付属する日もそう遠くはないでしょう。

図 1 折り紙建築の例

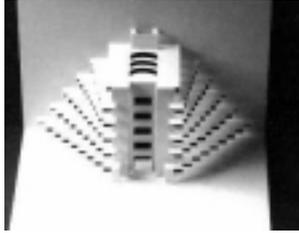


図 2 プリンタ出力から作ったペーパークラフト



でも美しいカラー出力が得られるようになったため、写真や名刺のような 2 次元データの出力だけでなく、印刷出力を切ったり折ったりして「折り紙建築」(図 1)²やペーパークラフト(図 2)³、紙飛行機などの精緻な 3 次元物体も作れるようになりました。現在のプリンタは、たんなる印刷/清書機という枠を越えて、計算機のデータを建物や自動車、飛行機などの実物模型に変換するのに便利な装置と捉えたほうがよいかもしれません。

● スキャナ

イメージスキャナはまだプリンタほど普及していませんが、紙の上のデータを計算機で活用するには不可欠な装置なので、今後はもっとひろく使われるようになるのではないのでしょうか。従来のスキャナは、高価でかさばり、操作も複雑だという印象がありました。ちょっとしたデータでも、スキャナの置いてある場所まで足を運び、スキャン・プログラムを起動し、仮読み込みを実行して位置や読取りパラメータを調整し、本読み込みを実行して画像ファイルを生成し、利用する計算機に転送するといった多くの手順が必要でした。これでは、紙の上

2 東京工業大学の茶谷正洋氏が創案した、紙を用いた造形手法です。切れ目を入れた 1 枚の紙を折り畳んで、建築物のような立体物を美しく表現します。海外にもファンが多く、「Origami Architecture」をキーワードにしてサーチエンジンで検索すると、数多くのページが見つかります。クラフト工房 (<http://www.mikk.co.jp/craftkobo/>) では、CD-ROM を販売しています。

3 たとえば、「紙のクルマ」という CD-ROM が販売されています (<http://www.imagica.com/products/cdrom/kami/text/sample.html>)。

のデータを手軽に計算機で扱うことなどできません。しかし、最近のスキャナはいろいろな面で改良されています。たとえば、小型でどこにでも置くことができます。原稿を入れると自動的にスキャン・プログラムが起動して仮読み込みが実行され、ソフトウェアでの位置調整も容易で、本読み込みを実行すると、利用する計算機上に画像ファイルが生成されるようになりました。これなら、紙の上のデータを手軽に扱えます。スキャナ関係のソフトウェアの大半は Windows や Macintosh 用ですが、Samba などを用いて UNIX とファイル共有すれば、UNIX ファイルシステム上に画像ファイルを直接生成できます。

スキャナが普及すれば、OCR もひろく利用されるようになるでしょう。

● バーコード・リーダー

紙のデータと計算機のデータとの関連づけには、バーコード・リーダーがよく使われています⁴。いまのところ、バーコードは物流や図書館、スーパーなどの大規模ユーザーのあいだでしか使われていません。しかし、ペーパー・インターフェイスを使う場合には、一般のユーザーにも役立つ場面が出てくるでしょう。

その他、カメラで紙上の ID やユーザーの動きを認識したり、紙の下にペンタブレットを置き、ユーザーが書いたデータをリアルタイムに計算機に取り込んだりする方法も有用です。

研究の現状

前節で紹介したように、紙データと計算機データとを相互に変換できる装置の種類は限られていますが、これらの装置を組み合わせた多様なシステムが考案されています。そのうちのいくつかを紹介しましょう。

XAX

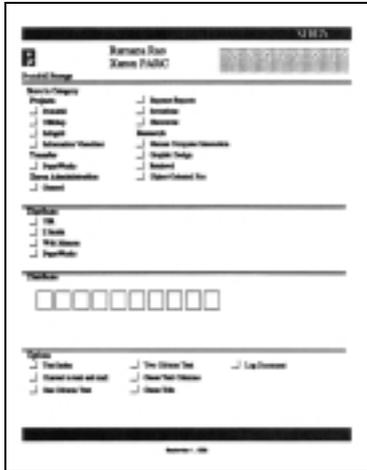
Xerox PARC の Walter Johnson らは、1993 年に紙データと計算機データを融合して使うための「XAX」というシステムを発表しました [2]。計算機のデータを紙に印刷するのは簡単ですが、いったん紙の上に印刷されたデ

4 バーコード技術については、<http://www.barcode.co.jp/>に詳しい資料が揃っています。

図 3 DataGlyph



図 4 XAX のカバーシート



ータをスキャナを用いて計算機に戻すのは容易ではありません。そこで、文書情報を記述したマシンリーダブルなカバーシートを紙の文書の先頭に添付して、問題の解決を試みたものです。

一般に、文書の機械的な識別にはバーコードが使われますが、通常の 1 次元バーコードは目立ちすぎるので、XAX では DataGlyph という目立ちにくい特殊なバーコード⁵を ID として使います(図 3)

XAX では、図 4 のようなカバーシートを文書の先頭に添付します。カバーシートの右上に DataGlyph の ID が印刷され、残りの部分にはユーザーが記入するフォームが印刷されています。XAX システムは、このカバーシートの付いた文書をスキャンすると、DataGlyph による ID を認識し、その文書で使われているフォームにもとづいてユーザーが記入した情報を読み取ります。これによって、印刷された文書にマシンリーダブルな情報を添付し、紙の上の情報を計算機のデータに戻す、印刷とは逆の変換が可能になります。

PaperWWW

豊田中央研究所の脇田敏裕氏は、Web ブラウザの画

5 DataGlyph も、Xerox PARC で開発されたものです。

図 5 QR コードの例



図 6 PaperLink で使用される VideoPen



面を印刷するとき 2 次元バーコード⁶の一種である QR (Quick Response) コード⁷をリンク位置に書き込み、紙を Web ページのように扱えるシステムを開発しました(図 5)[7]。2 次元バーコードは 1 次元バーコードにくらべてデータ密度が高く、このように文字のあいだに埋め込んで比較的目立たない⁸という特徴があります。

QR コードは、特別な 2 次元バーコード・スキャナ、またはデジタルカメラとソフトウェアを用いて認識します。

PaperLink

日立の荒井俊史氏が考案した「PaperLink」は、ペン型の小型カメラと蛍光ラインマーカーを組み合わせた VideoPen(図 6)を使い、紙の文書をハイパーテキストのように扱うシステムです [1]。

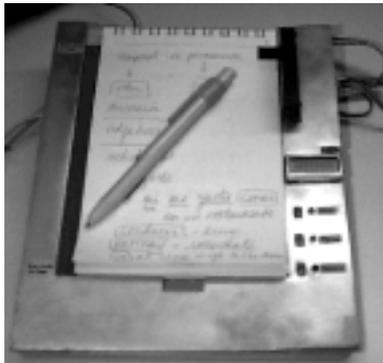
このシステムでは、VideoPen のボタンを押しながら蛍光ラインマーカーで紙の上をなぞり、その部分のパターンをカメラで切り出します。ユーザーは、切り出された領域に対するアクションを定義することができます。あとで、VideoPen のボタンを押しながらその領域をなぞると、登録されているパターンが検索され、定義しておいたアクションが起動されてハイパーリンクのような動作がおこなわれます。アクションが定義されていない領域をなぞった場

6 <http://www.barcode.co.jp/barcode/2-toku-syu.html> に各種の 2 次元バーコードの紹介があります。

7 日本電装が開発した 2 次元バーコード (http://www.denso.co.jp/EAP/mame/qrcode/index_qr.html)。

8 目立たないといっても、1 次元バーコード()にくらべれば、さすが。前述の DataGlyph は、ほかのバーコードより目立たない点が大きな特徴です。

図 7 Audio Notebook



合は、OCR による文字認識が実行され、その結果がアクションの引数になります。

バーコードを利用するシステムでは、すでに情報が印刷されている紙の上に手作業でハイパーリンクを加えることはできません。これに対し、PaperLink では任意の紙の上にハイパーリンクを定義できます。

Audio Notebook

MIT の Lisa Stifelman らは、ノートに書いた文字と音声のリンクが可能な「Audio Notebook」システムを開発しました(図 7)[4]。Audio Notebook は、タブレットにのせたノート上でユーザーが使うペンの動きをリアルタイムに記録すると同時に、周囲の音声も記録します。簡単なバーコード認識によってノートのページを識別し、あとでそのページを開くと、そのときの周囲の音声や文字や絵を書いたときの音声を再生することができます。

Pick-and-Drop と PaperIcon

ソニー CSL の暦本純一氏は、異なる計算機のあいだでデータをやりとりするインタラクション手法「Pick-and-Drop」を提唱しています⁹[6]。

GUI では、異なるウィンドウに図形やアイコンを移動する場合、最初のウィンドウ内の図形の上でマウスをクリックしてからそのまま別のウィンドウまで図形とともにカーソルを移動してボタンを離す「Drag-and-Drop」手法がよく使われています。Pick-and-Drop は、これを異なる計算機間のデータ移動に拡張したものです。電磁誘導型タブレット付き液晶ディスプレイに表示された文字

9 <http://www.csl.sony.co.jp/person/rekimoto/pickdrop/>

図 8 PaperIcon



や絵の上にペンを移動してペンのボタンを押すと、データが(ペンに吸い込まれるように)表示から消えます(Pick 操作) そのペンを別の計算機の画面上に移動してペンのボタンを押すと、その計算機にデータが転送されて画面にデータが表示されます(Drop 操作) このように、Pick-and-Drop 手法を使うと、筆を使って弁当のおかずを交換するように異なる計算機間でデータをやりとりすることができます。

Pick-and-Drop は、計算機間だけでなく、紙の上のデータを計算機にコピーするときも利用できます。情報を印刷した紙をタブレットの上に置き、その上でペンのボタンを押すことにより、情報をペンで Pick してから別の計算機に Drop することが可能になるわけです。Pick-and-Drop を利用したシステム「PaperIcon」[3] では、紙の上にカメラを置いて紙の種類と位置を認識し、どの情報が Pick されたかを検出するようになっています。

図 8 は、PaperIcon システムを用いて、右側の紙に描かれた猫の絵のデータをペンで左側の計算機にコピーしているところです。紙の下にあるタブレットでペンの位置を認識し、(この図では見えませんが)紙の上にあるカメラが 2 次元バーコードを認識して紙の位置を検出します。

Ultra Magic Key

ソニーの臼田裕氏らは、情報を印刷したノート上で指を使って各種の情報アクセスを可能にするシステム「Ultra Magic Key」を開発しました(図 9)[5]。

ノートの上部には CCD カメラが据えつけられています。ノートの端にはいくつかの「鍵」の絵が印刷され(図 9 のリングの右側) その向きによってどのページが開かれているかが分かります。ノートの上に置いた指の位置を

図 9 Ultra Magic Key



図 10 IconSticker



認識することもできます。たとえば、TV 番組表が印刷されたページの上に指をかざすと、その番組の情報が計算機画面に表示されます。

Ultra Magic Key では小型カメラと紙だけで計算機を制御することができるので、タブレットよりもカメラのほうが手軽に使える場合に役立つでしょう。

IconSticker

玉川大学の椎尾一郎氏は、紙(シール)の上に印刷されたアイコンを計算機内部のアイコンと同じように扱えるシステム「IconSticker」(図 10)を開発しています。

Macintosh のデスクトップ上のアイコンを画面左下の「ステッカー化アプリケーション」にドラッグすると、アイコンのビットマップと時刻を示すバーコードを並べて印刷したステッカーがラベルプリンタから出力されます(あたたかも、ドラッグしたアイコンをプリンタで実物化するような操作になります)

印刷されたステッカーは任意の場所に貼り付けておき、バーコード・リーダーで読み込んで画面上のアイコンと同じように扱うことができます。たとえば、電話機に貼った

図 11 PICO



住所録アイコンを使って電話番号を調べたり、印刷出力の紙に貼った文書アイコンからオリジナルのファイルにアクセスしたり、プリンタに貼ったコントロールパネル・アイコンでプリンタの設定を変更することができます。

製品化の例

ペーパー・インターフェイスをとりいれた製品もいくつか販売されています。これらの成功が、ペーパー・インターフェイスの有用性を証明しているといえるでしょう。

PICO

セガの発売している子ども用計算機「PICO」シリーズ(図 11)¹⁰は優れたペーパー・インターフェイスの好例です。PICO は、タブレットと TV 出力を備えた小型の計算機で、本のような形をしたプログラム・カートリッジを本体に装着しているいろいろなゲームや知育ソフトを動かすことができます。本のページに対応した画面がつねに TV に表示され、ページをめくったり、付属のペンで絵にタッチして遊ぶことができます。

ペーパー・インターフェイスで難しいのは、紙の位置やページ、紙の上でユーザーがおこなう操作の認識です。PICO では、本のページを機械的に認識し、本の上から操作できるタブレットと、本の内容と画面がつねに対応するソフトウェアを用意することによって、紙と計算機の長所をうまく組み合わせたバランスのよい製品になっています。

CrossPad

8月号でも紹介した「CrossPad」¹¹は、まさに紙と計算機を融合するために開発された装置です。CrossPad は、

10 <http://www.sega.co.jp/sega/toys/pico/>

11 <http://www.cross-pcg.com/products/crosspad/pad.html>

携帯型ペンタブレットに紙のノートを重ねたようなもので、紙にペンで書いたデータを電氣的にも記録しておき、あとで PC に転送できます。付属のソフトではデータの転送しかできませんが、最近公開された Java のツールキット¹²を使えば、CrossPad 上で描いたストロークデータをタイムスタンプなどの属性も含めて扱えるので、幅広い応用が可能になります¹³。たとえば、録音機器と組み合わせれば、前述の Audio Notebook と同じようなシステムが作れるでしょう。

今後の展望

ペーパー・インターフェイスはまだ一般的とはいえませんが、入出力装置や応用手法の改良により、実世界指向インターフェイスの浸透への第一歩となればよいと思います。これまでの方式に加えて、以下のような方向も考えられるでしょう。

折り紙 Phicon

今回紹介したシステムでは、いずれも紙を 2 次元的に扱っていましたが、折り紙、折り紙建築、ペーパークラフトなどの技術を使えば紙は簡単に 3 次元化することができます。現実の事物の代替として、実世界指向インターフェイスや実世界指向プログラミングに活用できるかもしれません。

IconSticker では紙を画面上のアイコンの代替物として使っていますが、人間や建物などの代替として 3 次元化された紙を利用すれば、さらに分かりやすいかもしれません。MIT の石井裕氏は、実世界指向インターフェイスでアイコンの代わりに使う 3 次元オブジェクトを“Phicon (Physical Icon)”と呼んでいます。紙で“折り紙 Phicon”を作って利用すれば、よりひろい応用が可能になるでしょう。

紙カードの活用

現在の計算機にくらべると紙は軽量で扱いやすく、視認性にも優れているので、つねに持ち歩いて参照する場合に

12 <http://www.research.ibm.com/electricInk/>

13 <http://www.research.ibm.com/electricInk/applications.html> には、ラブレターの自動生成などに使うとよいと書いてあります。予測インターフェイスで作るのでしょうか？

図 12 名刺型 ID カード



は、紙に印刷されたデータのほうが気軽に使えます。このような理由から、名刺や社員証、学生証などに活用されているわけですが、これらのカードにもっと多様なデータを含めることができれば便利かもしれません。

たとえば、図 12 のような名刺型 ID カードとバーコード・リーダーを組み合わせれば、カードを計算機にかざすだけで名簿を表示したり、電話機に差すだけで自動的に電話をかけられます。地図を印刷しておけば、具体的な場所を示す目的にも使えるでしょう。このように、具体的な情報が印刷されたカードを利用するインターフェイスは、計算機上で氏名を入力して名簿データを検索し、電話番号をダイヤルするといった操作より、はるかに直感的で使いやすいのではないのでしょうか。

ページ認識

ノートのように複数の紙を使うペーパー・インターフェイスでは、ページの認識手法が重要です。今回紹介した多くのシステムでは、カメラやバーコード・リーダーなどの特殊な認識機構を利用していますが、このような方式は大がかりなものになりがちです。小さく簡単に堅牢なページ認識技術の開発が望まれます。

位置認識

ページだけでなく、紙のどの部分に触れているのかを知る位置認識技術も重要です。現在は感圧/電磁誘導などのタブレットやカメラによる画像認識がよく使われていますが、紙の上で活用しやすいポインティング・デバイスの開発も必要でしょう。

おわりに

情報伝達手段としての紙がほかのデバイスに置き換わるまでには、まだまだ長い時間がかかりそうです。したがっ

て、当面は紙と計算機を上手に組み合わせて使う工夫が重要です。書籍のオンデマンド印刷¹⁴をはじめ、もっと紙を有効に使おうという動きもみられますし、優れたインターフェイスを実現するために紙を活用する技術に注目する必要があるのではないのでしょうか。

(ますい・としゆき ソニー CSL)

[参考文献]

- [1] 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)*, pp.327-334, Addison-Wesley, 1997
- [2] Walter Johnson, Herbert Jellinek, Leigh Klotz Jr., Ramana Rao and Stuart Card, "Bridging the paper and electronic worlds: The paper user interface", In *Proceedings of ACM INTERCHI'93 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'93)*, pp.507-512, Addison-Wesley, 1993
- [3] 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)*, pp.31-39, ACM Press, 1997
- [4] Lisa J. Stifelman, "Augmenting real-world objects: A paper-based audio notebook" In *CHI'96 Conference Companion*, pp.199-200, ACM Press, April 1996
- [5] Hiroshi Usuda and Mitsuhiro Miyazaki, "The multimedia interface using "paper": Ultra Magic Key" In *Proceedings of Asia Pacific Computer Human Interaction 1998 (APCHI'98)*, pp.393-397, IEEE Computer Society Press, 1998
- [6] 暦本純一「Pick-and-Drop — 複数コンピュータ環境でのユーザインタフェース」、bit、1998年8月号、pp.31-38、共立出版
- [7] 脇田敏裕、長屋隆之、寺嶋立太「2次元コードを用いたWWWと紙メディアとの融合の試み」、情報処理学会ヒューマンインタフェース研究会研究報告 98-HI-76、Vol.98 No. 9、pp.1-6、1998年1月

¹⁴ <http://www.hotwired.co.jp/news/news/business/story/832.html>