

## 机型スクリーン上に実装した触覚的ウィンドウシステム

塩澤 秀和, 野田 純也, 岡田 謙一, 松下 温

慶応義塾大学 理工学部

E-mail: shiozawa@mos.ics.keio.ac.jp

今後、実世界指向インタフェースが普及すると、従来の GUI とそれとを結ぶユーザインタフェースが必要になるだろう。そこで本稿では、机型実世界指向インタフェースに融合した触覚的ウィンドウシステム（仮称「ワサビ」）を提案する。本システムでは、GUI の画面を机型スクリーンに投影し、OHP シートの位置にウィンドウを投影することで、ユーザがウィンドウを紙のようにつかんで動かせるようにする。OHP シートの移動はカメラを通して認識されており、投影されたウィンドウも追従して移動する。さらに、実世界指向インタフェースと GUI の特長を融合させる可能性を示すため、ウィンドウを置く位置に応じてその表示サイズを変化させるという、タスクの状態に応じたウィンドウサイズ制御機能も実装した。

## The Haptic Window System on Real Desktop

Hidekazu Shiozawa, Jun-ya Noda, Ken-ichi Okada, Yutaka Matsushita

Faculty of Science and Technology, Keio University

E-mail: shiozawa@mos.ics.keio.ac.jp

Real-world-oriented interface techniques will be popular in the near future, then some interface techniques bridging the gap between it and traditional GUI will be required. So, in this paper we propose a new haptic window system (called Wasabi), which can be integrated into desk-type real-world-oriented interface systems. This system projects a display image of GUI onto a real desktop, and it enables users to grab and to move windows just like papers, by projecting windows according to positions of transparent sheets on the desktop. Also, this system can control window sizes by considering the user's attention for tasks.

### 1 はじめに

現在、既存のユーザインタフェースの問題点を解決するために、実世界指向インタフェースと呼ばれる技術の研究が盛んである。実世界指向インタフェースとは、実世界と連動させて情報を提示したり、情報を物理的に扱えるようにするインタフェースである。

しかし、現在提案されている実世界指向インタフェースは、ハードウェアからソフトウェアに至るまで、システムを1から作り上げているものが多いので、従来の一般的なコンピュータの利用環境からの連続性が乏しく、スムーズな移行の障害となると予想される。さらに、従来の環境で蓄積されてきた情報やアプリケーションソフトウェアを再利用する方法もよく考慮

されているとはいいがたい。

我々は、GUI が発展してもコマンドラインによるインタフェースがなくならなかったように、実世界指向インタフェースが実現されても GUI が消えることはないと考え。むしろ、GUI の中にコマンドラインを提供するウィンドウを表示して作業するように、従来型の GUI と実世界指向インタフェースとを結ぶようなユーザインタフェースが必要になるだろう。

このような将来予測のもとに、我々は、机型のスクリーン上に実装した触覚的ウィンドウシステム（仮称「ワサビ」）を提案する。これは、GUI におけるウィンドウを、触って、持って、動かせるようにするシステムである。我々の目標は、ウィンドウシステムとい

う既存の典型的な GUI 環境をベースに、実世界指向インタフェースに特徴的ないろいろな機能を実装することで、現在ある情報をなるべく変更せずに、ユーザに次世代の操作環境を提供することである。

その例として、我々は、従来の机型インタフェースにはないタスクの状態に応じたウィンドウサイズ制御機能を実装した。これは、ユーザがウィンドウを実際につかんで置く場所によって、その大きさが変化するというものである。これは、実世界指向インタフェースの直接つかんで動かせるという機能と、GUI の表示ウィンドウの大きさを自由に変更できるという機能という、GUI と実世界指向インタフェースのよい面を融合させたことによる 1 つの成果である。

机型スクリーンを用いた実世界指向インタフェースは、今日までにいろいろと提案されてきたが、ウィンドウシステムのような汎用のユーザインタフェースプラットフォームにこのような提案をしたものはなかった。ウィンドウシステムはデスクトップメタファに基づいているので、これを実世界のインタフェースとして拡張し、利用するのは自然な考え方であろう。

## 2 実世界指向環境での GUI

### 2.1 GUI in 実世界指向インタフェース

実世界指向インタフェースは GUI のほとんどの概念を包含しているので、それが普及した場合には、GUI は使われなくなるという意見もあるかも知れない。しかし、どのようなユーザインタフェースにも長所短所があり、現在でもコマンドラインによるインタフェースが広く使われているのも事実である。

我々は、実世界指向インタフェースと GUI を融合したユーザインタフェースを、単なる過渡期の技術と考えてはいない。現在、ユーザは GUI を利用しているときでも、コマンドラインのためのウィンドウを開いてちょっとした作業をすることがある。それと全く同じように、将来、実世界指向インタフェース環境が普及した場合でも、GUI に向けた作業は GUI で行うことが必要になるはずである。

また、コマンドラインインタフェースは、生のコンソールで使われていた時代から、ウィンドウシステムの中で使われるようになって、カットアンドペーストなどの新しい操作が実現された。これと同じように、実世界指向インタフェースの中では、GUI も新しい展開を見せると思われる。

さらに、従来の実世界指向インタフェースは、個別のアプリケーションとしての色彩が強いものだったが、GUI のウィンドウシステムを利用すれば、汎用的なアプリケーションに対する実世界的な操作が可能になる。もちろん、汎用的といっても GUI の技術の中での汎用性ではあるが、従来に比べれば大きな進歩であると言ってよい。

我々は、ほかにも GUI と実世界指向インタフェースの融合によって、両者のよい点を組み合わせた新しい技術が実現できる可能性があると考ええる。

### 2.2 実世界指向 UI のアプローチ

コンピュータを実世界と融合させるための実世界指向インタフェースには、以下の 2 つのアプローチがあると考えられる。もちろん、これらのうちの一方だけでなく両方の特徴を備えたシステムも多い。

1 つは「実世界と連動した情報の提示」である。たとえば、地図を表示させると現在の情報ををすぐに示してくれるとか、家電製品を指差すと、その操作説明が手元に表示されるなどといったものである。これらのインタフェースが GUI などの従来のユーザインタフェースと異なるのは、ユーザの状態や指示に応じて実世界に関する情報を提示できるということである。

もう 1 つは「情報を物理的に扱えるようにすること」である。たとえば、小さな模型自動車をつかむと交通渋滞のようすが画面に表示されるとか、レゴのようなブロックを組み立てるとプログラムを組むことができるなどといったものである。これらのインタフェースが従来の GUI などと異なるのは、情報を引き出す手がかりを、画面上の表示ではなくて物理的な「物」にしたという点である。

これらのうちで、前者を GUI と融合することは比較的容易である。というより、現在実世界指向インタフェースとして提案されている多くのシステムの中には、GUI に前者の機能を実装したものも多い。前者の機能は、特に机型環境のインタフェース技術としては、かなり完成されてきており、画像処理技術や投影装置の技術的發展を待っている段階である。

よって本稿では、我々は後者に着目する。情報を物理的に扱えるインタフェースは、まだ概念が定着しておらず興味深い研究対象であるし、これこそ次世代のインタフェースであると考えられるからである。

## 2.3 プラットフォームとしての机型 UI

我々は、GUIと実世界指向インタフェースを融合するためのプラットフォームとして、机型のインタフェースを考えている。なぜなら、机型インタフェースを用いると、コンピュータ画面上に物理オブジェクトをのせることができるからである。机型インタフェースはいろいろ研究されているが、GUIとの融合を計る上で重要であると思われる概念を紹介する。

DigitalDesk[4]やEnhancedDesk[2]は、紙と電子情報のインタラクションを可能にするシステムである。どちらかといえば、実世界と連動した情報の提示に重きが置かれており、ユーザの置いた紙に関する情報が机上に投影されたり、紙面の字がコンピュータに読み込まれたりする。机上に置いた紙は基本的には動かすことがなく、物理的な操作はあまりできない。

それに対して、metaDesk[1]では、情報を物理的に扱えるようにすることに主眼が発展している。アイコン（物理的アイコン）を手で持って机の上に置くと、それに反応して机上の表示が変化し、さらにそれを動かすことによって、仮想空間とインタラクションすることができる。また、InfoBinder[3]では、ユーザに触覚的な実感を与えるためにバインダを用いている。

我々は、GUIと実世界指向インタフェースを融合する上で、これら机型インタフェースの概念を活用することにした。

## 2.4 物理的インタフェースの課題

情報を物理的に扱えるようにするためには、当然、情報に物理的な実体を与える必要がある。このような情報に対する物理的オブジェクトの手がかりを、metaDeskではアイコンと呼び、地図を操作するために建物のアイコンを用いる。建物のアイコンはその建物の形をした物理オブジェクトである。

しかし、このような方法で、情報に実体を与えて物理的に扱えるようにすることには、重大なトレードオフが存在する。それは、物理的な物を出現・消滅させたり、形状を変化させたりすることは容易ではない、ということである。こんなことは、GUIでは画面上の表示でいとも簡単に実現できることなのである。

また、ユーザの状態や情報の変化に応じて、物理オブジェクトの形をリアルタイムに変更することもできないので、動的な情報を扱うことが難しい。GUIではアイコンの形や絵柄を変化させることは容易で

あるが、物理的なインタフェースでは困難である。

GUIのウィンドウシステムを実世界指向インタフェース上に実現するためには、これらの問題点を解決する必要がある。

## 3 触覚的ウィンドウシステムの提案

### 3.1 つかんで動かせるウィンドウ

我々は、机型実世界指向インタフェースにおいて、GUIのウィンドウを直観的に扱えるようにするためには、それを「紙」と同じようなもので実現すべきであると考え、つまり、紙の資料や書類を実世界で扱うのと同じようにウィンドウをつかんで動かせるようにする。こうすることによって、紙主体の机型インタフェースの中に、従来のGUIを無理なく融けこませることができるようになる。

またそれと同時に、その「紙」を動かすことによってmetaDeskのアイコンのように、仮想世界のウィンドウを移動させられるべきである。これによって、従来のGUIよりも直接的な操作ができるようになり、より多くの人々にとって使いやすい「進化したGUI」、つまり実世界指向インタフェースによって強化されたGUIを実現することができる。

### 3.2 透明シートによるウィンドウ

我々の提案するインタフェース（仮称「ワサビ」）では、実際には紙の代わりにA4サイズのOHPのシートを用いる。具体的には、机型のスクリーンにコンピュータ画面をプロジェクタで下から投影する。机上には、物理オブジェクトとしてOHPシートが何枚も置いてあり、それぞれが1つ1つのウィンドウに対応している。これらは、全て同じ規格のOHPシートであるが中身の表示は異なるので、ユーザは別のオブジェクトとして認識することができる（図1, 2）。

従来の机型インタフェースのように紙を物理オブジェクトとして利用し、上からの投影方法を用いた場合、紙を重ねた場合にバーコードが隠れてしまうという問題がある。本システムでは、透明なシートを用いているので、オーバーラッピングウィンドウシステムでも、全てのウィンドウの内容を表示できる。

なお、机型インタフェースにおいて紙を利用する以上、DigitalDeskのように紙からの入力や紙への書き込みをサポートするべきであろうが、それらは、本

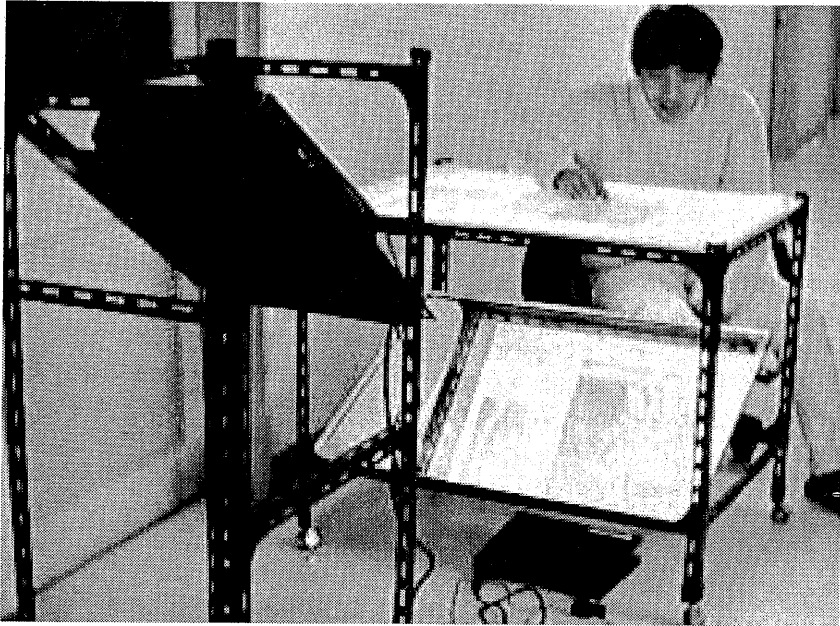


図 1: ワサビ: システムの全景 (1)

稿での我々のテーマである、実世界指向ユーザインタフェースと GUI との融合とは離れるので実装しない。

### 3.3 直接的なウィンドウ操作

本システムを利用するときには、ユーザは机につき、机上に並んでいる OHP シートの中から、所望のアプリケーションやドキュメントの表示されているものを選んで、自分の前に持って来る。シート 1 枚がウィンドウ 1 つに対応しており、机上でそれを動かすと、コンピュータ画面のウィンドウが追従してに投影される。つまり、紙の資料や書類を実世界で扱うのと同じようにウィンドウをつかんで動かすことができるわけである。

また、ユーザが新しいアプリケーションや文書を机の上に置きたいときには、「空の」OHP シートにマーク（バーコードのようなもの）を貼ることで、その OHP シートを新しいアプリケーションのウィンドウにすることができる。その OHP シートを机の上に置くと、その中身として、新しいアプリケーションが立ち上がる。よって、物理オブジェクトをいくらかでも新規に作るができる。

本システムでは、透明なシートを用いたことによって、ウィンドウの移動時の自然な操作感を得ることができた。実際の紙などを用いて、上からコンピュータ画面を投影した場合、素早く紙を動かすと表示が紙面と机上にずれてしまう。しかし、下から投影した場合には、OHP シートを持ち上げても、表示は常に机にあるのでずれたりすることがない。また、机上にユーザの腕の影ができてしまうこともない。実際、使用してみると分かるが、ウィンドウをつかんで動かしているという実感に差がある。

### 3.4 タスクの状態によるウィンドウ制御

本システムでは、物理オブジェクトを置く位置によりその視覚的大きさを変え、机上で作業がスムーズにいくような仕組みを実装した。大きさの制御は、そのときのタスク（アプリケーション）がユーザにとってどういう状態であるかに従って行われるように（たとえば、現在作業に集中している、ちょっと参照される程度、一時的に全く手をつけられていないなど）、遠くに置いたものほど小さく表示される（図 3）。

人間は、紙の書類を実際の机で扱うとき、作業を行

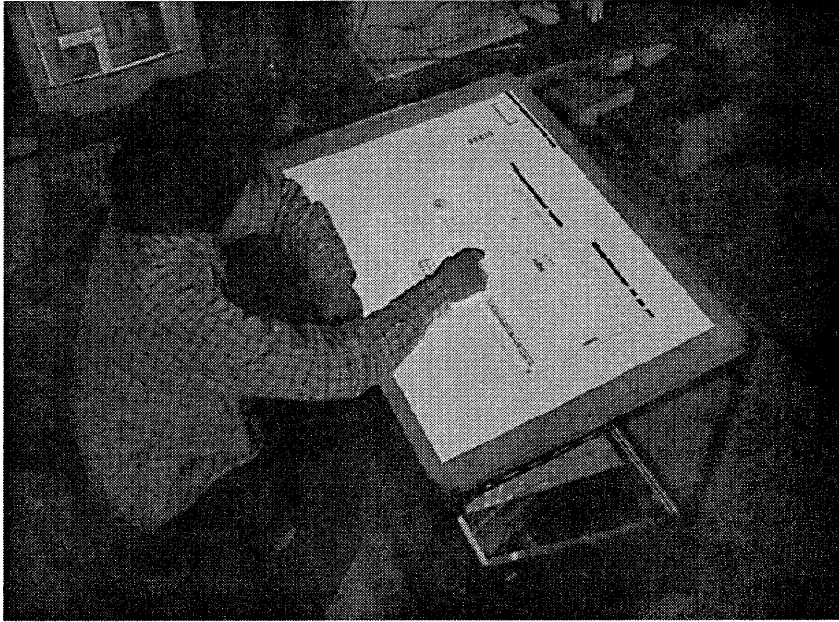


図 2: ワサビ: システムの全景 (2)

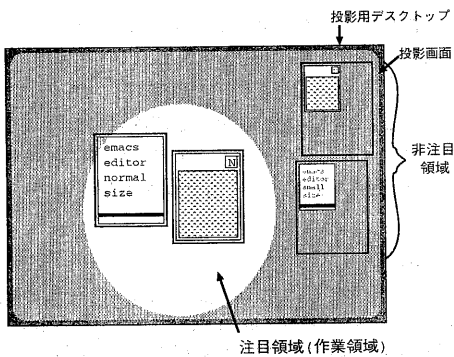


図 3: タスクの状態によるサイズ制御

なっている対象は手元に、一時的に必要ななくなったものはしまったり隅に避けておくという操作をするものである。よって、一時的に使わないファイルやアプリケーションを隅にやるというような操作は、実際に机の上で作業する場合にも行われる非常に自然で直観的な操作であると考えられる。本システムでは、ユーザのこのような操作に対応して、自動的にスク

リーン上のウィンドウの表示サイズが変更される。

このような機能は、ウィンドウを実際につかんで動かすことのできるインターフェースであって初めて有効に活用できるものである。このような画面表示のインターフェースを従来の GUI 上に実装しても使い勝手のいいものとはならないであろう。

なぜなら、GUI 上で同様の操作を実現しようとするれば、ウィンドウをマウスでクリックし、ボタンを押したままドラッグし、手前に持ってきてボタンを離すという、かなり面倒な手順をふまなければならないからである。これでは、一度にいくつものアプリケーションを入れ換えなければならないときには、相当な作業量となってしまう。

このタスクの状態によるウィンドウサイズ制御は、実世界指向インターフェースに GUI を融合させたことによって実装可能になった、効果的なユーザインターフェースの一例といえる。

### 3.5 表示と実体

実世界指向インターフェースといえども、GUI のウィンドウのようなものを、1枚1枚実際に実物化するこ

とは、不可能なことである。よって、我々は、なるべく表示だけによってそれを表そうと考えた。しかし、情報に対する物理的、触覚的なアクセスができなくなってしまったら、単なる従来の GUI ウィンドウシステムと変わらない。

そこで、我々は表示を常に物理オブジェクトであるシートに追従させることによって、それが疑似的に実物化されているかのように見えるようにしている。こうすることによって、紙主体の机型実世界指向インタフェースの世界に、従来からある GUI を融けこませることができる。と考える。

ただ、本システムでは、OHP シートを利用していながら実際にはバーコードの部分しか見ていない。よって、短冊状のバーコードだけを用いればすむのではないかという疑問があるかもしれない。しかし、シートのかわりに短冊状のバーコードだけを用いると、ウィンドウの操作感は、コップの取手をつかんで運ぶような感じになる。つまり、無造作に持って動かすという操作がしづらい。(なんとなく、感覚は分かっていただけのだろうか?)

GUI のウィンドウの視覚的外観は紙のようであり、人間の直観的な移動の感覚としても、滑らせるようなアフォーダンスがある。それに対して、短冊のようなものは、消しゴムや定規のように持ち上げてから移動させるような感じである。よって、短冊のようなものを用いてしまうと、表示と実体にアフォーダンスの不整合が生じてしまい、操作の直観性が減少してしまうと考えられる。

## 4 システムの実装

本研究のプロトタイプシステムは、机上に置いた物理オブジェクト (OHP シート) による操作をモニタするカメラおよび、コンピュータの画面を現実の机上に投影するプロジェクタというハード部分と、カメラで取り込んだ画像を処理してシート上のバーコードを抽出し、その結果に基づいてウィンドウを操作するソフト部分から構成される (図 4)。

ソフト部分はカメラから画像を取り込んで処理するまでを SGI O2, その処理結果によってウィンドウの位置やアプリケーションを操作するの箇所は液晶プロジェクタの仕様の関係から PC (Linux) 上で行った。スクリーン上には PC 上に立ち上がった X Window System のデスクトップ画面が投影される。

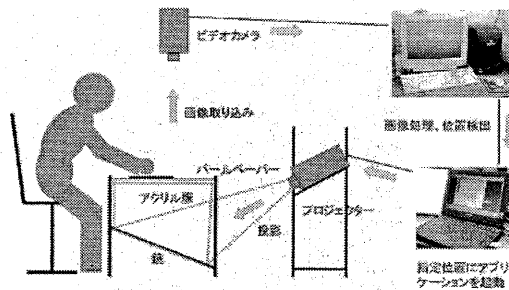


図 4: システムの実装

## 5 おわりに

本稿では、机型のスクリーン上に実装した触覚的ウィンドウシステム (仮称「ワサビ」) を提案した。これは、GUI におけるウィンドウを、触って、持って、動かせるようにするシステムである。これによって、実世界指向インタフェースの中に、従来型の GUI を無理なく融合させることができると考えられる。

また、ウィンドウシステムという既存の典型的な GUI 環境のもとに、実世界指向インタフェースに特徴的ないろいろな機能を持たせることによって、現在ある情報をなるべく変更しないままで、ユーザに次世代の操作環境を提供することできる。

我々は、さらに GUI と実世界指向インタフェースの融合によって、両者のよい点を組み合わせた新しい技術が実現できる可能性を示すために、タスクの状態によるウィンドウサイズ制御機能を実装した。

## 参考文献

- [1] H. Ishii and B. Ullmer. Tangible bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proc. ACM CHI'97*, pp. 224-241, Apr. 1997.
- [2] 小林, 小池. 電子情報の表示と操作を実現する机型実世界指向インタフェース「EnhancedDesk」. 尾内 (編), *インタラクティブシステムとソフトウェア V WISS'97*, pp. 167-174. 日本ソフトウェア科学会, 近代科学社, 1997.
- [3] I. Siio. InfoBinder: A pointing device for virtual desktop system. In *Proc. HCI'95*, pp. 261-264, July 1995.
- [4] P. Wellner. Interacting with paper on the DigitalDesk. *Comm. ACM*, 36(7):87-96, 1993.