

DataTiles: 物理操作と視覚的インタフェースとを融合したプラットフォーム環境

暦本純一 大場晴夫
ソニーコンピュータサイエンス研究所
インタラクショナルラボラトリー
141-0022 東京都品川区東五反田 3-14-13
Phone: 03-5448-4380, Fax: 03-5448-4273
{rekimoto,oba}@csl.sony.co.jp

Brygg Ullmer
MIT Media Laboratory
20 Ames Street
Cambridge, MA 02139 USA
ullmer@media.mit.edu

Abstract

実物体の直感的な操作性と、GUIが提供する汎用的な機能を融合した対話型システム、DataTiles とその設計方針について報告する。無線タグ (RFID) を埋め込んだ透明な「タイル」をインタフェースの単位とし、水平に設置された平面ディスプレイ (トレイ) の上にタイルを配置することでコンピュータや情報システムを制御する。単語を組み合わせることで文を構成できるように、複数のタイルの物理的な配置によって、それぞれのタイルが提供する基本能力を組み合わせることで高度な機能を表現することができる。

The DataTiles system integrates the benefits of two major interaction paradigms: graphical and physical user interfaces. Tagged transparent tiles are used as modular construction units. These tiles are augmented by dynamic graphical information when they are placed on a sensor-enhanced flat panel display. They can be used independently or can be combined into more complex configurations, similar to the way language can express complex concepts through a sequence of simple words. In this paper, we discuss our design principles for mixing physical and graphical interface techniques, and describe the system architecture and example applications.

KEYWORDS: 対話技法、実世界指向インタフェース、視覚的インタフェース、エンドユーザプログラミング、RFID

1 はじめに

近年、コンピュータや情報システムへの対話手段として、実物体を介したインタフェースの研究が盛んになっ

てきている [18, 14, 3, 6]。従来の、画面情報と (マウスのような) 汎用的な入力デバイスに基づいたインタフェースと比較して、これらのインタフェースは、人間が元来有している現実の事物を取り扱うための洗練された能力を引き出す可能性がある。たとえば両手を使って複数の現実物を迅速に操作することができる。また、現実物からの強いアフォーダンス [4] によって、より理解しやすく、親しみやすいインタフェースを構成することが可能である。

しかし、ユーザインタフェースの手段として現実物を導入することで、GUIが提供していたような汎用性や可変性は損なわれてしまう。特定目的に適合してデザインされた物理オブジェクトを、他の目的に転用することは難しい。従来提案されてきたこの種のシステムはある用途に特化したものが多く、GUIのような汎用プラットフォームとして設計されているものはほとんどない。本研究の目的のひとつは、物理的インタフェースと GUI のような視覚的インタフェースとを融合させたシステムの構築にある。

本研究のもうひとつの目的は、家庭やオフィスにおける多数のコンピュータ (情報アプライアンス) の連携を支援する簡易なインタフェースを設計することにある。近年、コンピュータや情報ネットワークへの対話手段が、パーソナルコンピュータから情報アプライアンスへとシフトする傾向が顕著になっている。ユーザーは単一のコンピュータですべての仕事を行うのではなく、コンピュータ家電や、携帯機器など、多様な機器を利用するようになってきている。これらの機器の多くは、汎用型コンピュータよりも機能が絞込まれており、その結果より簡単なインタフェースが利用可能になっている。

一方、コンピューティングが多くの機器に分散すると、その間での情報交換など、複数の機器を連携させ

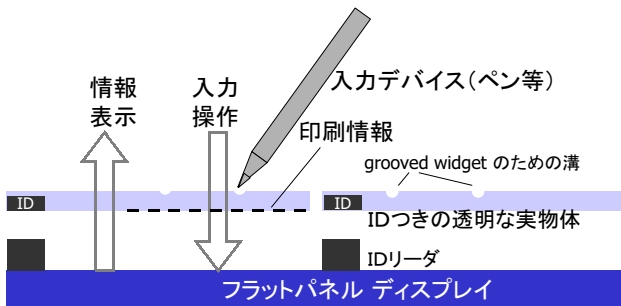


図 1: 視覚的情報によって強化された物理オブジェクトによってインタフェースを構成する。



図 2: DataTiles システム外観

るための操作が重要になる。たとえば、リビングルームでテレビに映っている映像を友人に携帯電話を使ってメールするという操作や、オフィスでホワイトボードに書いたメモを任意の画面と共有したり、プロジェクタに投影したり、といった操作を簡単に行えるようなインタフェースが必要である。これらの機器の組み合わせや情報の移動形態を事前にすべて予測することは不可能なので、エンドユーザが簡単に機能を組み上げていけるようなシステムが必要になる。

本論文では、物理インタフェースを視覚的インタフェースの両者の特徴を融合したインタフェースプラットフォームシステム、DataTiles について述べる。DataTiles では ID タグ付きの透明なオブジェクト(タイル)を平面ディスプレイ上に配置することでインタフェースを構成する。物理的ではあるが静的な実物体と、仮想的ではあるが動的な表示情報を融合して利用するのが特徴である(図 1)。また、タイル表面でのペン操作によって、物理オブジェクトの操作と GUI 風の画面操作を併用することができる。さらに、複数のタイルをディスプレイ平面上に配置することで、個々のタイルの機能を組み合わせることで複雑な状態や命令を表現することが可能である。図 2 に DataTiles システムの外観を示す。

2 関連研究

DataTiles の、「透明な物体を通じてコンピュータと対話する」という着想は、GUIの対話手法である Tool-Glass と MagicLense [2]、また、実世界指向インタフェースの NaviCam [10] の影響を受けている。透明な実物体を使ったシステムとしては transparent props [12] などの例があるが、透明物体の物理配置によってインタフェースを構成する例はなかった。また、実物体を使ったユーザインタフェースの研究(たとえば [18, 14, 3, 6])の多くは特定の応用に特化しており、GUIが提供しているような汎用的な表現能力と実物体の親しみやすさをバランスさせようという試みは少なかった。

DataTiles の「タイルの組み合わせによる機能合成」という発想は、IntelligentPad [15] と関係が深い。IntelligentPad は視覚的プログラミング環境で、「パッド」と呼ぶ矩形上のオブジェクトを画面上で貼り合わせることで機能を合成する。

実物体(たとえばブロック)を単位としたシステムとしては [14, 5, 1, 19, 20] などがある。たとえば Algo-Block [14] は、マイクロプロセッサやスイッチなどを内蔵したキューブを接続することでプログラミングを行う教育用システムである。これらのシステムでは、モジュールそのものからの出力は、発光ダイオードの点滅など単純なもので、簡単なフィードバック以上の情報を伝達することはできない。出力装置として他のディスプレイを利用する場合は、入力(実物体の操作)と表示との対応が間接的になってしまう。また、電子部品をモジュール内部に組み込んでいるため、モジュールの価格やサイズの自由度に限界があり、各モジュールに電源や通信路などを供給するための工夫が必要であった。DataTiles では、透明な物体の裏面から情報を表示するという方式によってこれらの問題を解決している。この結果、入力と出力に直接的な対応関係があり、ペン等による豊富な対話手段の利用が可能である。また各モジュールは ID タグを取り付けている以外は特殊なハードウェアを必要としないので、安価に製造することができる。

机を電子的に強化したシステム [18, 13, 17, 11, 7] では、プロジェクタからの映像を机に投影するものが多い。現実の物体を認識してそこに映像を投影すれば、「視覚情報が強化された実物体」を実現できる。一方、これらのシステムでは机上にプロジェクタやカメラを設置する必要があり、システム規模が大きくなる傾向にあった。DataTiles では、液晶ディスプレイに ID センサーを取り付ける構成によって、すべての構成要素を水平型のトレイ内に格納しており、システムの安定性・可搬性を高めている。

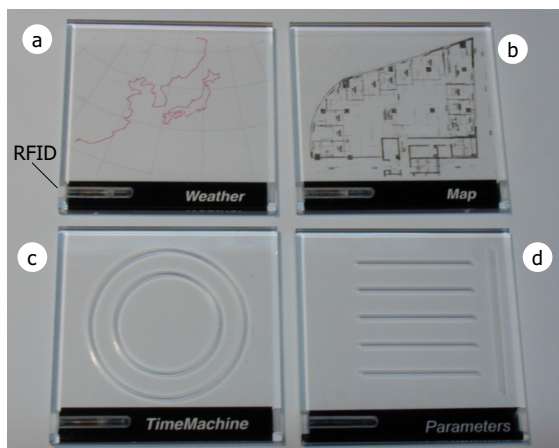


図 3: タイルの例。(a),(b):部分的に機能が印刷されている。(c),(d)溝つきのタイル。

3 DataTiles システム

図 2 にシステムの外観を示す。DataTiles は以下の要素から構成されている：

- ・無線タグ (RFID タグ) が組み込まれた透明なアクリル製タイル
- ・ペンタブレットと RFID センサーアンテナが液晶の裏に組み込まれた平面ディスプレイ
- ・複数のセンサーアンテナを順次切り替えながら RFID を読み出す制御回路
- ・タブレット用の電子ペン

3.1 トレイ

水平に置かれた液晶ディスプレイを DataTiles の「トレイ」と呼んでいる。トレイは情報表示装置であると同時に、タイルを置くための台として機能する。ユーザは電子ペンを使ってトレイに表示された情報を操作することができる。トレイ上には、タイルを所定の位置に置くためのガイド (RFID センサーコイルが内蔵されている) が装着されている。

3.2 タイル

透明なアクリル製の正方形「タイル」をインタフェースの基本要素として使う。それぞれのタイルには RFID タグが埋め込まれている。トレイ上にタイルを置くと、タイルに定義された固有の機能が起動され、結果がタイルの裏から表示される。たとえば天気図タイルをトレイに置くと、ネットワークから現在の天気予報情報と、衛星写真を取り出して、タイルの下に表示する。タイルの機能を表現するために、タイルの表面に刻印を施したり、タイルの裏面に機能を示す図を印刷したりすることが可能である。これらの工夫によって、実

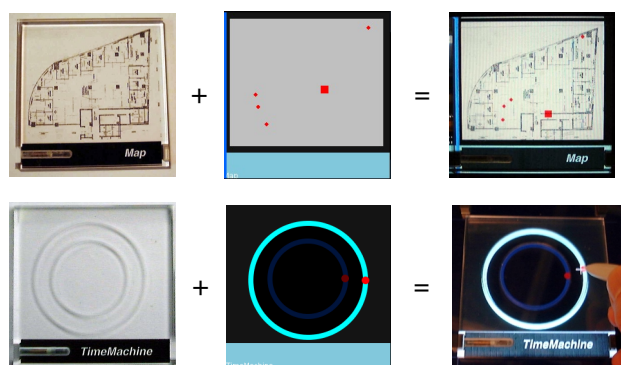


図 4: 物理的なタイルと動的な視覚情報を合成する。(上: 高精細な印刷表示と動的な画像を組み合わせる。下: 溝と画面表示によって、物理的な「ガイド」のあるウィジェット (GUI 部品) を構成することができる。

物体と画像情報を融合した各種の対話技法を構築することができる。

印刷情報と動的な表示の融合: いくつかのタイルは、機能を示すような印刷を裏面に施している。たとえば、ビルフロアの情報を示すような「Map タイル」では、あらかじめフロアの平面図を印刷してある。タイルをトレイに置くと、所望の情報 (たとえばフロアの温度分布) などがディスプレイからの表示として合成される。同様に、天気予報タイルでは白地図が印刷されており、トレイに置くと天気図や衛星写真が合成表示される。

Grooved Widget: また、タイルの表面には、操作をガイドするような溝の加工を施したものがある。たとえばスクロールバーに相当する位置には、あらかじめ直線の溝が刻み込まれており、ペンで操作する際のガイドとして機能する。操作時には、スクロールバーのノブなどの動的な情報がトレイからの表示として合成される。このように、物理的な感触 (たとえばペンがバーに沿って動いているかどうか) をウィジェット (画面上の対話部品) に与えることができる。これを「grooved widget」(溝つきウィジェット) と呼んでいる。

Grooved widget では、従来のウィジェットの操作感を向上させるさまざまな技法が適用可能である。たとえばスクロールバーの溝に微細な窪みを加工することで従来の GUI では困難であった「クリック感」を提供することができる。また、溝の物理的なテクスチャー (ざらざら、なめらか、あるいはゴムや布などの質感) によって、種々の異なった操作感を提供することが可能になる。

また、図 3(c) に示すようなリング状の溝によって、ジョグダイアルのように回転操作によるウィジェットを構成することができる。画面のみによる操作ではこ

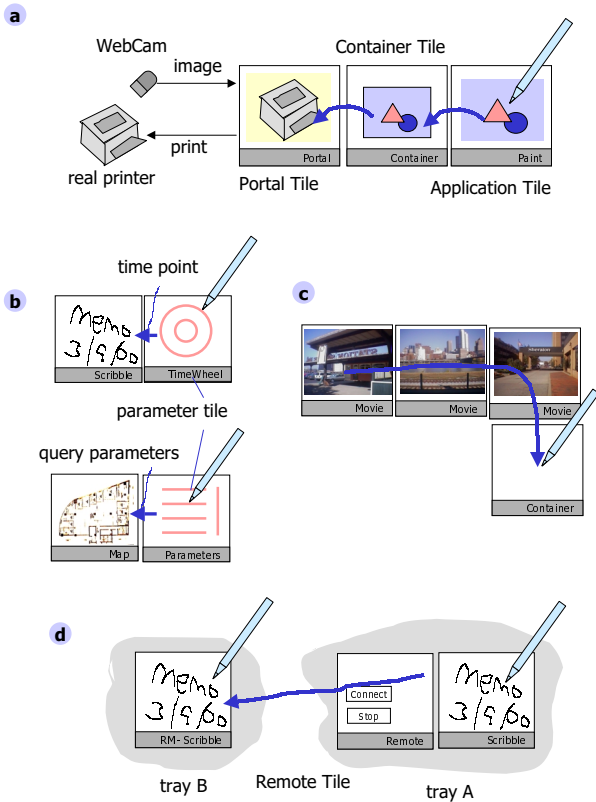


図5: 種々のタイルと機能合成の例。(a) アプリケーションタイル(右)からコンテナタイル(中)に画像をコピーする。さらに、ポータルタイル(左)を接続して、画像をプリントアウトする。(b) パラメータタイルを隣接させて、左側のタイルの内部状態を表示/変更する。(c) 横に並べたビデオクリップの内容を結合してコンテナタイルに格納する。(d) リモートタイルによって遠隔のトレイ間を結合する(共有描画を構成している例)。

の種の円形ウィジェットは必ずしも実用的ではないが、grooved widget として構成することで快適な操作感を提供することができる。

3.3 タイル種別

前節で説明したような基本機能を使って、種々のタイルをインタフェースのモジュールとして構築した。現在のシステムでは、以下の5種類のカテゴリーに属するタイルを利用している(図5)。

アプリケーションタイル: 特定の機能(アプリケーション)があらかじめ固定的に割り振られたタイル。たとえばメモパッドタイルをトレイに置くと、手書メモアプリケーションが起動する。ユーザはタイルの上にペンでメモを書き加えることができる。この情報はタイルを再度トレイに置けば復元する。また、天気予報タイルをトレイに置くと、自動的に現在の気象情報をインターネットから検索して表示する。同様に

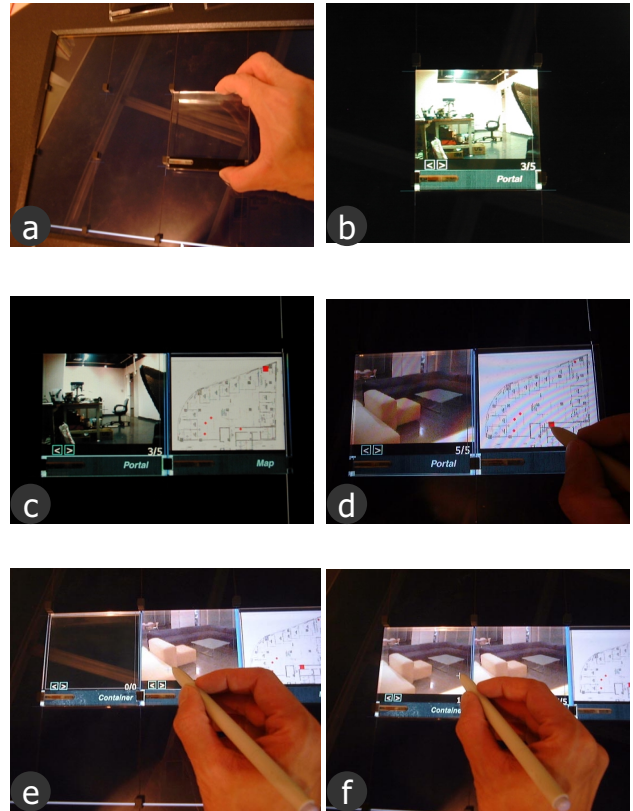


図6: タイルによる機能合成の例:(a,b) ポータルタイルを置くと、対応するweb画像が表示される。(c) マップタイルを隣接しておき、ポータルに対応する実世界での位置を調べる。(d) マップの別のスポットをペンで選択して、ポータルタイルを別の位置に対応づける。(e,f) コンテナタイルを隣接して置く。タイルをまたがるペンジェスチャーによってポータル画面のスナップショットをコンテナタイルに格納する。

して、さまざまなアプリケーションや情報サービスをタイルの形にモジュール化することができる。後述するように、他のタイルと連携させることでさらに高次の操作を行うことができる。

ポータルタイル: 実世界の事物(もの、人、場所)に対応したタイル。たとえば「プリンタタイル」はプリンターをタイルとして表現したもので、トレイに置けば対応するプリンタの状態を表示する。さらに、他の(隣接した)タイルからの情報をプリンタに出力する機能をもっている。

ポータルタイルは、対応する実世界事物の映像と接続している場合がある。たとえばプリンタタイルをトレイに置くと、プリンタを撮影しているカメラからの映像がタイル上に表示され、実際のプリント出力の様子が観察できる。つまり、実世界への窓口としての機能を提供している。

パラメータタイル: 他のタイルの機能を調整するためのタイル。たとえば時間軸タイルは円形の溝を持ち、隣

接したタイルの時間情報を調節する「ジョグダイヤル」として機能する。クエリタイル(図3-d)は複数本の溝を持ち、隣接するタイルから情報を動的検索するために用いられる。検索パラメタの名前や値は、隣接するタイルによって変化し、表示情報として合成される。コンテナタイル:「コンテナタイル」は、情報を格納するためのタイルで、他のタイルに隣接してトレイ上に置き、タイル間でのペンジェスチャーによって情報をコピーする。また、Pick&Drop [8] や mediaBlocks [16] のように、情報をコンピュータ間で移動する用途でも利用可能である。たとえば画像データを格納しておき、他のトレイ上で情報を再現することが可能である。

コンテナタイルのバリエーションとして「マクロタイル」がある。これは、隣接したタイル上で行われたペン操作を記録し、後で再生する機能を持っている。リモートタイル:「リモートタイル」は、複数のトレイを接続するためのタイルで、「マスター」と「スレーブ」の対から成る。マスタータイルをトレイ上のあるタイルに隣接して置き、スレーブタイルを別のトレイ上に置くと、二つのタイル間にネットワーク通信が確立され、ペン操作や画像表示が通信によって反対側に伝達されるようになる。

3.4 タイルの組み合わせによる機能合成

前節で示したように、タイルにはそれぞれの機能が備わっていて、ユーザーは「タイルをトレイに置く」という簡単な操作でその機能を実行することができる。さらに、複数のタイルを組み合わせることで、高次の機能を表現することができる。

たとえば、マップタイルをポータルタイルに隣接して置くことで、ポータルタイルと対応している実世界の事物の位置を調べたり、ポータルタイルと実物との対応関係を変更したりすることができる(図6)。同様にして、時間軸タイル(パラメタタイルの一種)をメモパッドタイルに隣接して置いて過去のメモ内容を時刻を指定して再現したり [9]、その結果をプリンタに打ち出したりすることができる。

これらの合成能力によって、個々のタイルの機能は単純でも、それを組み合わせることで柔軟かつ強力な機能を組み上げていくことができる。同一のタイルが、状況によって異なる機能を発揮することもある。たとえば時間軸タイルは、時間の概念をもつタイル上のナビゲーション用途一般に用いることができるので、ビデオタイルの横におけばジョグダイヤルとして、メモパッドの横に置けばタイムマシンダイヤルとして機能する(図7)。

隣接したタイルは、合致する対応があれば「結合」す

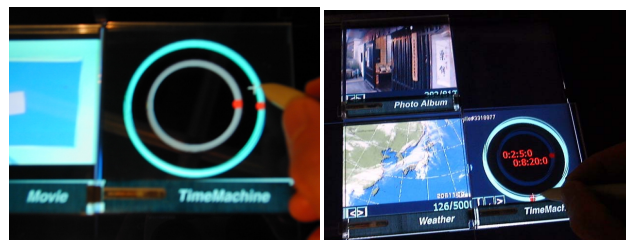


図7: 結合した他のタイルによって機能が変化する例(左: 時間軸タイルがビデオ再生のジョグダイヤルとして使われている。右: 同じタイルを使って時間を指定してデータを取り出している)

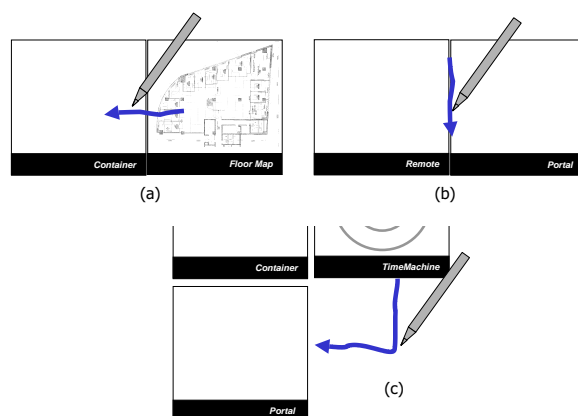


図8: タイル間のペンジェスチャー: (a) 離散的な情報移動をトリガーする。(b) 情報移動の停止。(c) 離れて置かれた二つのタイルを接続する。

る。結合の種類にはペンによる明示的なジェスチャー(図8)にトリガーされてデータが移動する離散的なもの(たとえばコンテナタイルと他のタイル)や、隣接関係にあるだけで連続的に情報が移動するタイプ(たとえばビデオタイルをリモートタイルに連結してストリーミングを行う)などがある。ユーザーは、これらの結合タイプをタイル境界の表示によって知ることができる(図9)。

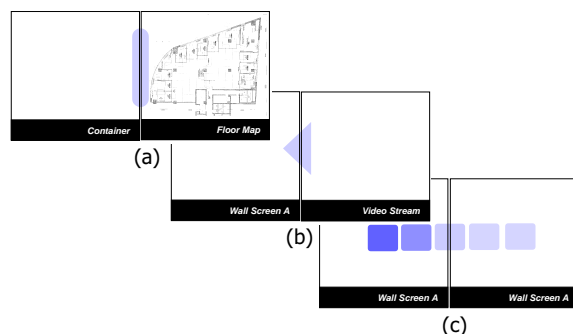


図9: タイルの結合タイプを示す視覚的フィードバック(a: 単方向の離散的なデータ移動、b: 単方向の連続的なデータ結合、c: 双方向の連続的なデータ結合)

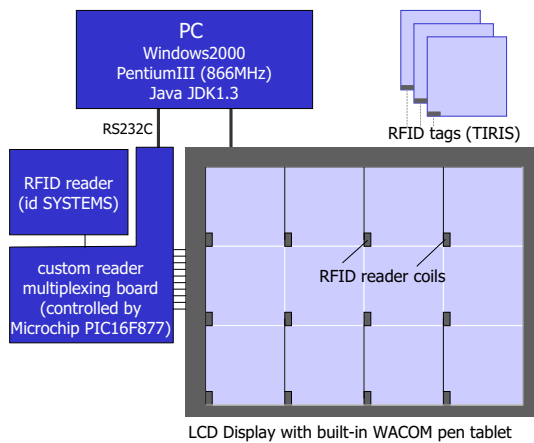


図 10: DataTiles システム構成

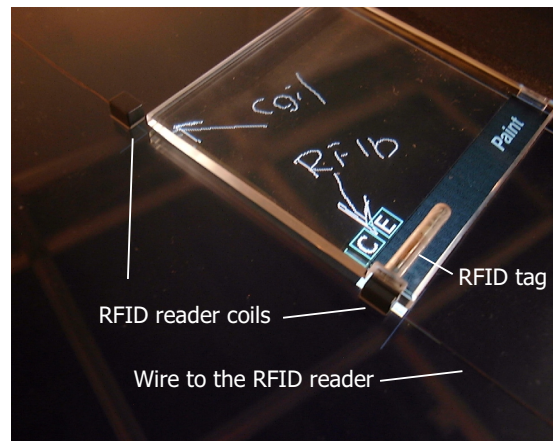


図 12: RFID コイルとタイル

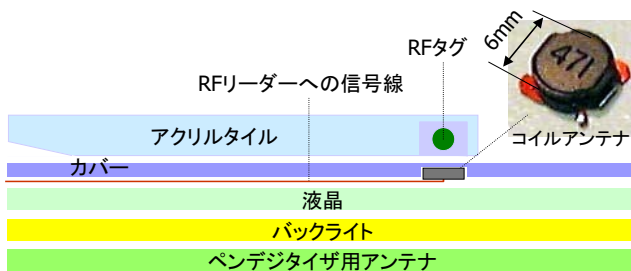


図 11: 「トレイ」の断面図

4 システム実現

4.1 ハードウェア構成

図 10 に DataTiles のシステム構成を示す。DataTiles は、水平に置かれたタブレット機能つき液晶ディスプレイに、RFID センサーが装着された構成を取っている(図 11)。バックライトの裏側にペンタブレットが装着されており、液晶表面に RFID 認識用のアンテナコイルがマウントされている。コイルはタイルの置かれる位置 12 個所に配置されている。アンテナ群と RFID リーダーはアンテナ多重化回路によって接続している。多重化回路は FET スイッチによって複数のアンテナを電子的に切り替える装置で、ある瞬間 RFID リーダーと接続しているアンテナは一つである。アンテナの切り替えや読み取った RFID 番号のホストコンピュータへの転送などの制御は多重化回路上の PIC マイクロプロセッサが担当している。多重化回路の導入によって、同時認識可能な RFID 数と比較して、必要となるハードウェア規模を簡単なものにしていく。

現在使用している RFID リーダー(Texus Instruments 社製 TIRIS RFID リーダ)では RFID に電磁誘導でエネルギーを供給するために約 50 ミリ秒、ID を受信するのに約 50 ミリ秒の時間を要する。したがってトレイ上の 12 個のアンテナをすべて巡回するのは 1.2 秒、タ

イルの着脱は平均 0.6 秒で認識可能である。この認識時間は、複数の RFID リーダーを並行して動作させるようにすればさらに短縮可能である。

ペンタブレット(ワコム社製)は電磁授受方式に基づくもので、ペンに格納された共振回路とタブレット上のグリッドアンテナの間の共振を計測することでペン位置を求める。ディスプレイ表面に設置された RFID コイル(直径 4mm)は、タイルの位置を合わせるガイドとしても機能している。ペンタブレットが発生する電磁波と干渉しないように、RFID コイルは軸方向がディスプレイ平面と並行になるように装着されている。

タイルはアクリル製で、現状のサイズは $75\text{mm} \times 75\text{mm}$ 、厚さ 5mm の正方形(MiniDisc とほぼ同サイズ)である。タイルの一角に RFID タグが組み込まれている。

4.2 ソフトウェア構成

DataTiles のアプリケーションソフトウェアは Java を使って構築した。ユーザーがタイルをトレイに置くと、システムはタイル ID からデータベースを検索し、(必要であれば)タイル ID に対応するクラスファイルや、タイルの各インスタンス固有の情報(メモパッドのメモデータなど)を動的に読み込む。各タイルはそれぞれ固有のスレッドを持つので、タイルごとのアニメーションや動画再生などは並行処理可能である。

二つのタイルが隣接して置かれると、それぞれのタイルは相手側が提供する操作群を動的に調べ、結合タイプを決定する。この処理は実行時にオブジェクト・インタフェースを調査する Java の言語機能(instanceof オペレータ)によって実現されている。

5 議論と今後の課題

5.1 ユーザ経験

DataTiles システムは、これまで研究所内の公開デモンストレーションなどで使用された。ここでは、デモ中に得られた知見や試用者からのコメントに基づいて議論する。

物理的特性： トレイにタイルをレイアウトすることでインタフェースを組み上げるという発想は多くの利用者に好意的に受け止められた。物理的な感触（たとえばタイルを取り出すときの感触、トレイ上に位置を合わせて置く際の感触）について多くのコメントがあった。現状のシステムでは、RFID センサーコイルを、タイルをトレイ上の特定の位置に正しく置くための物理的なガイドとしても使っているが、この形状がタイルをレイアウトする際の感触に影響している。また、タイル表面の刻印と液晶表示との間で生じる視差（パララックス）が気になるという指摘もあった。

タイル配置による機能合成： タイルのレイアウトによる機能合成の概念も多くの利用者によく理解された。タイルの結合タイプを示す視覚的フィードバックに改善の余地があるという意見があった。現状では単純な形状を表示しているだけだが、アニメーションを使ってデータの移動を示すなどの工夫が考えられる。

また、システムの設計段階では、タイルを配置する方向（縦・横）によって結合の種類を切り替えるという案を検討していた。たとえば横方向は情報移動（データフロー）で、縦方向は制御の結合（コントロールフロー）にする、などの可能性を考えていたが、試用の結果、利用者にとって複雑すぎるという判断から、現状では方向に関する意味づけを行わないようにしている。

一方、利用者がタイルを置く方針にはある共通性があることが観察された。たとえばパラメタイルは対象となるタイルの右側に置く場合が多い（右手でパラメタイルを操作するため）し、連続的な情報は横方向に結合していく傾向があった。このような知見を総合して、インタフェース設計へフィードバックすることが重要であると考えている。

5.2 アプリケーション

DataTiles の適応領域としては、家庭やオフィスでの情報アプライアンスを制御するための「デジタルダッシュボード」を主に想定している。その他の応用としては、映像編集や教育ツール、電子玩具（メディアトイ）、プログラミングツールなどの分野に適応可能だと考えている。

たとえば映像編集ツールでは、動画や音声などの素

材（クリップ）をタイルとして表現し、それらをレイアウトすることで映像編集を行うことが可能である。種々の映像エフェクトもタイルやパラメタイルとして表現する。メディアの再生には時間軸タイルを用い、編集結果を持ち運ぶためにコンテナタイルを利用することができる。同様にして音楽編集などに応用することも可能であろう。

教育ツールや電子玩具としては、AlgoBlock[14]で示されているような、ブロックを組み合わせることによるプログラミングが可能である。各モジュールの状態をタイル表面に表示できるので、プログラムの内部状態をより直感的に示すことができる。また、ペン操作によってプログラムの実行を制御したり、対話的な処理を行うことも可能である。

応用範囲を広げる上で、タイル形状の種々のバリエーション（サイズ、厚さ、トレイに配置できる個数）を検討する必要がある。さらに、現状のシステム構成に対する種々の拡張も興味ある課題である。たとえば物理的なスイッチや簡単な電子回路を組み込んだタイルを、ID タグのみの「受動的」なタイルと混在させて利用することが可能であろう。ボイスメモを記録する機能（回路）をタイルとして構成し、それとコンテナタイルやメール送信タイルと組み合わせることが考えられる。また、RFID を組み込んだ携帯電話や PDA などの情報機器を特殊なタイルとみなすこともできる。これらの機器をトレイに乗せることで、他のタイル間で情報交換を行うことが可能になる。トレイ以外の装置、たとえばタイルを保管するための「ラック」に ID センサーを組み込むことも考えられる。電子メールを着信するとラックに格納した「メールタイル」が点滅するなどの応用が可能になる。

6 結論

本論文では物理インタフェースと視覚的インタフェースを融合した対話システム、DataTiles について報告した。透明実物体（タイル）に平面ディスプレイからの映像を合成し、タイルの表面でのペン操作機能を提供することで、現実の物を操作するという感覚を維持しながら、GUI で開拓された豊富な対話技法が利用可能にした。今後やシステムの改良・機能拡張を継続すると同時に、新しい適用分野に対する検討を進めていきたい。

謝辞

本研究の実施にあたり、有益な助言を頂いた長谷川 踏太・田島茂両氏を始めとするソニー CSL インタラク ションラボ 研究員諸氏に感謝する。

参考文献

- [1] David Anderson, James L. Frankel, Joe Marks, Aseem Agarwala, Paul Beardsley, Jessica Hodgins, Darren Leigh, Kathy Ryall, Eddie Sullivan, and Jonathan S. Yedidia. Tangible Interaction + Graphical Interpretation: A new approach to 3D modeling. In *SIGGRAPH 2000 Conference Proceedings*, pp. 393–402, 2000.
- [2] Eric A. Bier, Maureen C. Stone, Ken Pier, William Buxton, and Tony DeRose. Toolglass and Magic Lenses: The see-through interface. In James T. Kajiya, editor, *Computer Graphics (SIGGRAPH '93 Proceedings)*, Vol. 27, pp. 73–80, August 1993.
- [3] George W. Fitzmaurice, Hiroshi Ishii, and William Buxton. Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces. In *CHI'95 Conference*, pp. 442–449, 1995.
- [4] J.J. Gibson. *The ecological approach to visual perception*. Houghton Mifflin Company, 1979.
- [5] M.G. Gorbet, M. Orth, and Hiroshi Ishii. Triangles: Tangible interface for manipulation and exploration of digital information topography. In *CHI'98 Proceedings*, pp. 49–56, 1998.
- [6] Hiroshi Ishii and Brygg Ullmer. Tangible Bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *CHI'97 Proceedings*, pp. 234–241, 1997.
- [7] Hideki Koike, Yoichi Sato, Yashinori Kobayashi, Hiroaki Tobita, and Motoki Kobayashi. Interactive textbook and interactive venn diagram: Natural and intuitive interfaces on augmented desk system. In *CHI'2000 Proceedings*, pp. 121–128, 2000.
- [8] Jun Rekimoto. Pick-and-Drop: A Direct Manipulation Technique for Multiple Computer Environments. In *Proceedings of UIST'97*, pp. 31–39, October 1997.
- [9] Jun Rekimoto. Time Machine Computing: A time-centric approach for the information environment. In *Proceedings of ACM UIST'99*, pp. 45–54, 1999.
- [10] Jun Rekimoto and Katashi Nagao. The world through the computer: Computer augmented interaction with real world environments. In *Proceedings of ACM UIST'95*, pp. 29–36, November 1995.
- [11] Jun Rekimoto and Masanori Saitoh. Augmented Surfaces: A spatially continuous workspace for hybrid computing environments. In *Proceedings of ACM CHI'99*, pp. 378–385, May 1999.
- [12] Dieter Schmalstieg, Miguel Encarnacao, and Zolt Szalavari. Using transparent props for interaction with the virtual table. In *Proc. of Interactive 3D Graphics (I3DG'99)*, 1999.
- [13] Itiro Siio. InfoBinder: a pointing device for a virtual desktop system. In *6th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International '95)*, pp. 261–264, July 1995.
- [14] H. Suzuki and H. Kato. AlgoBlock: a tangible programming language, a tool for collaborative learning. In *Proceedings of 4th European Logo Conference*, pp. 297–303, August 1993.
- [15] Y. Tanaka and T. Imataki. IntelligentPad: A hypermedia system allowing functional composition of active media objects through direct manipulations. In *Proc. of the IFIP 11th World Computer Congress*, pp. 541–546, 1989.
- [16] Brygg Ullmer, Hiroshi Ishii, and Dylan Glas. media-Blocks: Physical containers, transports, and controls for online media. In *SIGGRAPH'98 Proceedings*, pp. 379–386, 1998.
- [17] John Underkoffler and Hiroshi Ishii. Illuminating Light: An optical design tool with a luminous-tangible interface. In *CHI'98 Proceedings*, pp. 542–549, 1998.
- [18] Pierre Wellner. The DigitalDesk calculator: Tangible manipulation on a desk top display. In *Proceedings of UIST'91, ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 27–34, November 1991.
- [19] 北村喜文, 伊藤雄一, 河合道広, 浅井政嗣, 正城敏博, 岸野文郎, 菊地日出男. Activecube: ブロックを介した入出力インタフェースの試み. *インタラク ション 2000 論文集*, pp. 73–74, 2000.
- [20] 楠房子, 杉本雅則, 橋爪宏達. 相互作用の促進を目指したグループ学習支援システム. *インタラク ション 2000 論文集*, pp. 165–166, 2000.