

Ficon:立体映像表示が可能なタンジブルデバイスの提案

高田 悠太¹ 中林 隆介^{1,†1} 福地 健太郎¹

概要: 我々はテーブルトップシステム上で使用する, 光ファイバを用いた映像提示が可能な操作デバイス”Ficon”を提案した. Ficon は表面の形状加工を施すことで, 立体的な映像表現が可能になる. 我々はCG と立体形状を持つ Ficon を組み合わせ, 実体を持つ立体映像を表現するタッチディスプレイとして Ficon を実装した. Ficon は一般的な立体視差を使った 3D ディスプレイと異なり, 映像に実際に触れて操作することができる. これに加えて, 今回は赤外線を利用して, Ficon へのペン入力認識と, Ficon の ID 識別を両立するシステムを実装した. 本稿では, Ficon の構造の問題点及び左記実装について記述した後, Ficon の立体映像表現について触れ, いくつかのアプリケーションを示す.

Ficon:a 3D Displaying Tangible Device for Tabletop System

TAKADA YUTA¹ NAKABAYASHI RYUSUKE^{1,†1} FUKUCHI KENTARO¹

Abstract: We present Ficon, a novel tangible input device for tabletop systems that enables dynamic image projection using optical fibre bundle. It enables to provide 2.5 dimensional projection image with its relief-structured top surface, and allows tangible manipulation including touch and pen input, unlike stereoscopic displays. In this paper, we describe the details of the ID recognition and pen input techniques employing infrared reflection marker, LED, and cameras. We also introduce some experimental applications.

1. はじめに

テーブルトップシステムの分野で, テーブル上に置かれた操作デバイスを使ってオブジェクトを操作するインタラクション手法が注目されている. この手法は, 情報に物理的実体を与え, 操作デバイスに対象となるオブジェクトの外観を持たせることで, 操作デバイスとオブジェクトの対応関係が把握しやすくなり, またインタラクション手法が多様化する.

しかし, 従来の操作デバイスでは, 操作対象のオブジェクトの内部状態が変化しても操作デバイス自体の外観は変化しないため, オブジェクトの内部状態に関する情報はテーブル面に表示するなどの工夫が必要になる. この場合, デバイス自体と補助映像でテーブル面を占領してしまうため, テーブルの表示可能領域が大きく減少してしまう.

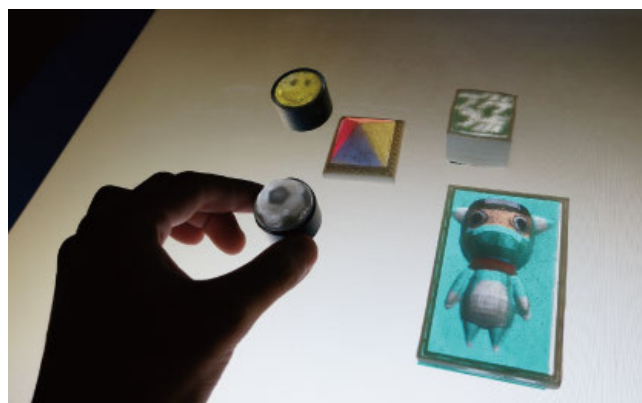


図 1 様々な Ficon の形状.

Fig. 1 Examples of variously-shaped Ficon.

テーブル上部のプロジェクタから直接デバイス表面にオブジェクトの映像を投影する方法はあるが, ユーザの手や腕によるオクルージョンの問題が残る.

1.1 Ficon の概要

これらの問題を解決するための手法として Ficon という

¹ 明治大学理工学研究科

Meiji University

^{†1} 現在, DNP 情報システム

Presently with DNP Information Systems

デバイスを提案し、これを用いたシステムを開発した [1]. 光ファイバの束で構成される Ficon は映像が表示されたディスプレイの上に置けるとその下の映像が表面に浮き上がって見える. この現象を利用し, 関連付けられたオブジェクトの状態を反映した映像を Ficon の下から投影することで, デバイスの外観を可変にした. これによりデバイスの表面も映像の表示領域として利用することができる. また, 表面形状を加工することで立体的な映像表現ができる (図 1). 一般的な 3D ディスプレイと異なり映し出される映像には実体があるため, 映像に触れて操作することに違和感がない. さらに, 形状加工したいいくつかの Ficon を積み木のようにテーブル上で組み合わせることで, 簡単な形状の入力が可能になる [2].

我々はこれまでに, Ficon を操作デバイスとして用いるテーブルトップシステムを実装する上で「デバイスの ID 識別」「デバイスに対する操作」の各機能を追加した. まず, Ficon を構成する光ファイバのねじれを利用した固有 ID 識別の手法を提案した. 次に, Ficon に対するタッチによるポインティング操作を可能にするために, Diffused Illumination[14] を利用し, Ficon に触れる指先を赤外線カメラで検知するテーブルトップシステムを提案した. しかし, この二つのテーブルトップシステムは映像提示手法およびカメラ位置が異なるものであり, 「デバイスの ID 識別」「デバイスに対する操作」を統合することは困難であった.

1.2 本研究の概要

本研究では Ficon の ID 識別とポインティングの両立を可能にするため, ID マーカの認識用とペン入力との認識用に用いる赤外線の波長帯を分け, 2 台の赤外線カメラでそれぞれを認識する手法を実装した. これにより, どの形状の Ficon にこういった操作がなされたのかをシステムが把握できるようになる.

本稿では, Ficon の構成, ID 識別とポインティング認識を両立する手法及び実装方法を説明した後, Ficon の形状加工方法とそれにより拡張された映像表現の例を挙げる. また, 形状加工による Ficon の視認性の低下を問題として挙げ, これを検証する実験と考察をまとめた. 最後に今回試作したテーブルトップシステムにより可能になったインタラクション手法をアプリケーション例で示す.

2. 関連研究

石井らはユーザが実体化された情報に直接手で触れて動かすことを可能にするタンジブル・ユーザインタフェースという概念を提唱している. metaDESK[3] ではアイコンの物理的表現であるファイコンとウィンドウの物理的表現であるレンズを模したディスプレイを用いて情報の格納・操作・閲覧を行っている. しかしこの手法では, 操作デバイスと表示デバイスとしての小型ディスプレイを別々に用

意する必要がある. Sensetable[4] や Audiopad[5] はデバイスへの情報提示をデバイス表面へプロジェクタを用いて投影しており, ユーザの手によるオクルージョンの問題が残る.

Data Tiles[6] はテーブル上に置く透明なタイル状のデバイスで情報の閲覧と操作を一つのデバイスで可能にした. また, デバイスの固有 ID 識別も行っており, デバイスの種類に応じて映し出す情報を変えることができる. しかし, デバイスによる映像表現は Ficon のような立体的なものではなく平面的である.

テーブル上に置く物体の形状を入力とする研究に 3D Tangible Tabletop Interaction[7] がある. 天井から吊り下げた 3 次元距離計測カメラによりテーブル上に置かれた物体の凹凸を取得し, その凹凸から成る地形の上をプロジェクタによって投影された CG の車が走行する. テーブル上空に存在する全ての物を入力として扱うため, ポインティングを行う手やペンと地形として置かれた物体とを区別しておらず, 本稿で提案するようなポインティング操作と形状入力の両立は行っていない.

Printed Optics[8] は 3D プリンタの素材に透明度の高い光硬化樹脂を用いて, 独自のディスプレイや光学センサを製作可能にする技術である. 論文内では光ファイバと同様の仕組みで光の通り道をコントロールし, 映像表示が可能なデバイスを試作している. この技術を応用した PAPILLON[9] は球面のディスプレイ面に対して 3 次元映像表示を行い, また指を使ったポインティング操作が可能である. ディスプレイ面の形状を立体的にデザインし, 3D プリンタで印刷可能だが, 凸面でなければならないという制約があり, またテーブルトップシステム上で扱うデバイスにこれらの機能を実装していない.

プロジェクタではなくディスプレイ上でデバイスを用いる試みとしては Lumino[10] がある. 光ファイバとマーカとを組み合わせたブロックを用いることでディスプレイ下のカメラから光ファイバ越しにマーカを撮影することができ, 重なったブロックの識別, ブロックへのタッチや回転を検出できるシステムを Microsoft Surface 上で実装した. 重ねたブロックの識別を可能にした点で新規性があるが, 光ファイバの透過性を上層ブロックの ID 識別のために利用しているため, デバイス表面への解像度の高い映像表示を行っていないという点やブロックの表面形状の加工による 3D 映像表現を行わない点で本研究とは異なる.

SLAP[13] はテーブルトップ上でボタン, ノブ, スライダー, キーボード型の透明なデバイスを使用する. デバイスの位置, デバイスの操作を検出して, デバイス底面やテーブル面に操作結果を反映した映像を投影する. デバイス以外のテーブル面に操作しているオブジェクトに関する映像を投影し, 情報を補っているため, テーブル面の表示域の減少を招く. Ficon はデバイス面に映像を表示できるため,



図 2 解像度の差. 左側二つの Ficon は 1mm ϕ , 右側二つは 0.5mm ϕ の光ファイバで構成されている.

Fig. 2 The difference of the resolution: two Ficons on the left use 1mm ϕ fiber, and two on the right use 0.5 mm ϕ fiber.

操作対象オブジェクトの内部状態の変化などは直接表示できる.

小池らは, 立体形状を持つ透明弾性体で構成された, つまむ, 押すなどの入力を可能にする入力デバイスを提案している [11]. しかし, 映像はデバイス表面に投影されずにそのまま弾性体を透過するため, 視点位置によって映像が歪み, 弾性体を押すとさらに歪むという問題点を持つ.

デバイスがディスプレイとしての役割も果たしているものとして TableScape Plus[12] は, ディスプレイ面に置かれたデバイスを入力手段としてだけでなく, 映像を映す小型のディスプレイとして利用する. しかし, テーブル面に垂直に立つデバイスに映像を投影するため, ユーザは投影面が見える範囲内にいる必要があり, 観察方向が限定される.

3. Ficon

これまで開発してきた Ficon と, Ficon を操作デバイスとして扱うテーブルトップシステムをこの章で説明する.

3.1 Ficon の構成

Ficon は光ファイバの束とそれをまとめる枠で構成される. 光ファイバの束はデバイス底面に表示された映像を浮かび上がらせ, デバイス天面へ投影する. 構成する光ファイバの径を小さくするほど, Ficon に映し出す映像の解像度が上がる (図 2). 枠とデバイス表面に形状加工を施すことで, 様々な形に仕上げるができる. Ficon の形にあった映像を表示することで, 立体的な映像表現が可能になる. 形状加工の方法や本稿で提案するシステムに合わせた変更などの細かい仕様については 5 章で説明する.

3.2 これまでの Ficon システム

ねじれを利用した固有 ID 識別システム

このシステムは液晶ディスプレイの偏光現象を利用し, デバイスの位置認識を行う [1]. 液晶ディスプレイから出る光は偏光しているが, 光ファイバにはその偏光を崩す光学的特性があるため, カメラに偏光フィルタを取り付けることで, 液晶ディスプレイから直接届く光を遮断し, Ficon を通過した光のみを検出し, 位置認識を可能にした. Ficon を構成する光ファイバの束をねじり, 映像を回転さ

せ, その回転角を計測することで固有 ID 識別を行っている. テーブルの上部に取り付けたカメラで位置認識を行っているため, 手が Ficon を覆ってしまうと, 位置認識はできなくなる. 従って, Ficon の位置情報を取得したまま Ficon に対するタッチを検出することが難しかった. 静電容量タッチパネルと導電布を巻いた Ficon を組み合わせてタッチポインティングを実装したが, Ficon 上のタッチ位置の検出ができなかった. また, デバイスの回転の検出に問題があった.

Diffused Illumination システム

Diffused Illumination を利用した手法ではテーブルの下に設置された赤外線カメラで Ficon 底面に張り付けた赤外線反射マーカを識別することで, Ficon の位置, 回転角を計算している. 従って, Ficon 天面に指や手が接触しても, Ficon の位置認識が可能である. またテーブル下から赤外光を投光し, Ficon の上に置かれた指先が反射した光を赤外線カメラで観測することにより, タッチ認識を可能とした. 位置認識に用いられる赤外線反射マーカは固有 ID 識別に用いることも可能だが, ある程度広い幅の枠が必要なので, Ficon の映像の表示可能領域が減少してしまう. また, 複数の Ficon を並べた時に表示面の間に隙間ができてしまい, 連続的な映像提示に支障をきたしていた.

3.3 ID 識別とペンポインティングを統合する手法

「デバイスの ID 識別」「デバイスに対する操作」の二つの機能を両立するために, 本研究では, 固有 ID の識別用とペン入力 of の認識用に撮影する波長帯の異なる赤外線カメラを 2 台使ったシステムを実装した (図 3).

まず, ID 識別のために Ficon 底面に取り付けるマーカとして, 赤外光のみを反射し, 可視光を透過する性質を持つフィルムを採用した. マーカの形状を Ficon の枠に制限しなくても, デバイスへの映像提示を妨害することはない.

次に, マーカを張った部分のタッチ位置の認識精度が低下するため, Diffused Illumination システムで採用したタッチポインティングに加えて, 先端に LED を取り付けたペンをポインティング操作に使用する. LED は ID 識別用マーカが反射しない波長の赤外光を発するものを使用する. この赤外光を観察するためにペン先の赤外光のみを撮影するカメラをマーカ撮影用カメラとは別にもう一台用意する.

今回実装したペンはタッチに比べて, 細かいポインティングが可能である. 特に, 表示域の小さい Ficon に対してはタッチする指先が大きく, 細かい操作が難しいという問題 (ファットフィンガー問題) があったが, ペンポインティング操作を採用することで Ficon に対する細かい操作を実現した.

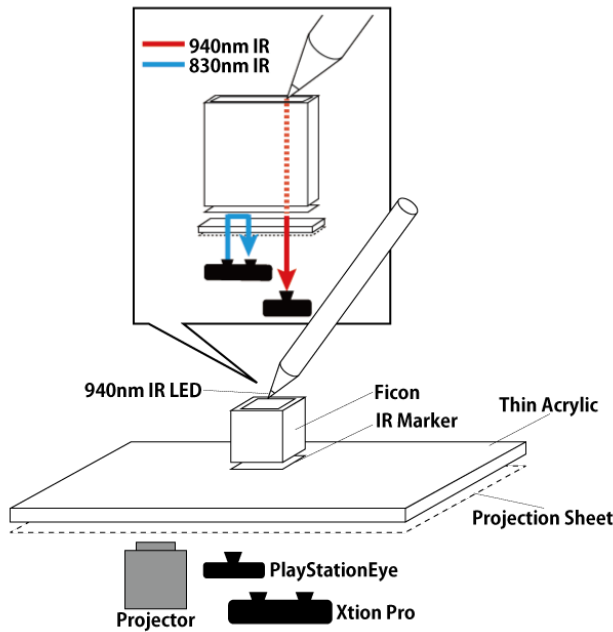


図 3 ハードウェア構成

Fig. 3 Overview of the tabletop system.

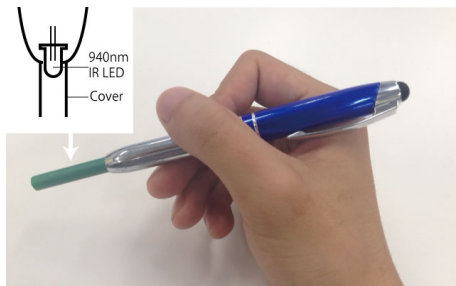


図 4 ポインティング用のペン. 先端に 940nm 波長の赤外線 LED を取り付け.

Fig. 4 A pointing stylus using a 940nm IR LED.

4. 実装

4.1 ハードウェア構成

ID 識別用とペンポインティング認識用に赤外線カメラを 2 台使ったシステムを図 3 に示す. テーブル面には不透明のプロジェクションシートを張ったアクリル板を用い, テーブルの下にはプロジェクタ, 波長 830nm の赤外線 LED, 赤外線カメラ 2 台を設置した.

ID 識別用赤外線カメラには ASUS 社の Xtion PRO を用いた. 赤外光でパターンを照射し, パターンの歪みを計測することで深度情報を得る Xtion PRO は波長 830nm の赤外線投光器を備えており, この波長の赤外線を撮影するカメラを搭載している. 本研究では Xtion Pro による深度情報は使用しないため, 投光器にはディフューザを追加し, 赤外線の投光器として用いた. また, テーブル面に対して赤外線をなるべく均一に照射するために, Xtion PRO の赤外線投光器の他に波長 830nm の LED を数個テーブル面に

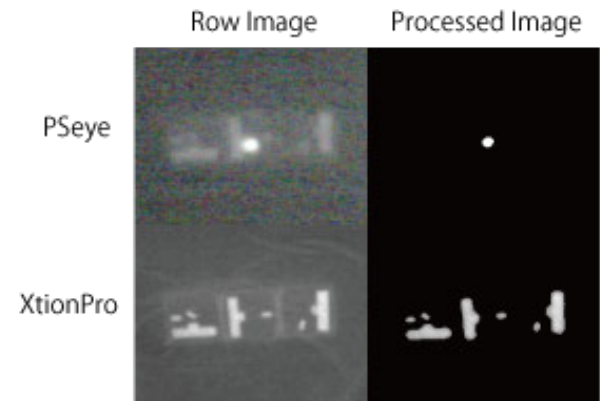


図 5 2 台の赤外線カメラの現画像とそれに対して領域抽出を行った結果.

Fig. 5 Row images from the two IR cameras (left), and processed images (right).

向けて設置した.

Ficon 底面には, 固有 ID 識別のためのマーカとしてデバイスの底面に, 700nm から 1040nm の赤外光のみを反射し, 可視光を透過する tigold 社の赤外線カットフィルタを利用した (図 6 左). 可視光を透過するこのマーカは Ficon の映像投影の妨げにはならない.

ポインティングに使用するペンの先端には波長 940nm の赤外線 LED が取り付けられている (図 4). LED の光が拡散しないよう, LED にはカバーを被せた. マーカが反射する赤外光は 700nm から 1040nm の波長なので, ペン先の LED の光が赤外線反射マーカの干渉を受け減衰してしまうが, LED の光が十分に明るければカメラで認識することができる.

ペンポインティング認識用赤外線カメラは Sony Computer Entertainment の PlayStationEye に 860nm 以下の波長の光を遮る IR フィルタ (FUJI FILM IR-86) を取り付けたものを使用した. これにより, マーカや手が反射する波長 830nm の赤外線と可視光が写りこまず, ペン先の軌跡のみ撮影することが可能になる (図 5 上). 一方, Xtion Pro には波長 830nm の赤外線以外はほとんど写らないため, ペン先が発する LED の光による影響はなく, ペンを使って Ficon 上にポインティング操作を行っていても, 図 5 下のように, マーカの反射光だけを抽出することができる.

4.2 ソフトウェア構成

ID 識別部

まず, ID 識別部では Xtion PRO が撮影する映像に対して背景差分処理, 閾値処理を行い, 高輝度領域を抽出する. 得られた複数の領域から, 図 6 中央のようなファインダパターンを探索し, マーカのテーブル上での位置を決定する. ファインダパターンが凸状になっているのは, マーカの向きを判定するためである. 探索が済み, マーカの位置と角度が確定したら, ファインダパターンにより決定された領

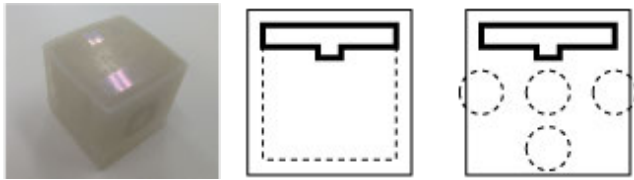


図 6 左図:透明な固有 ID 識別用マーカ. 中央図:マーカ位置を確定するためのファインダパターン. 右図:シンボルが配置可能な領域.

Fig. 6 Left:Transparent IR reflection markers. Center:Finder pattern for position tracking. Right:Areas where can be put symbols to consist an ID marker.

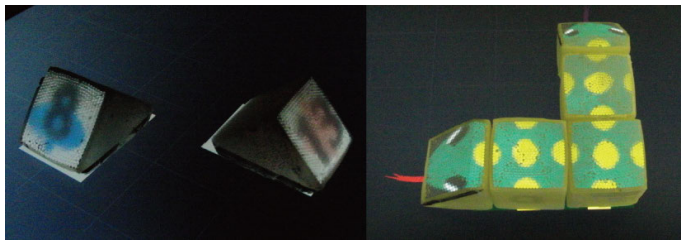


図 7 Ficon の形状加工の応用例.

Fig. 7 Samples of 3D-shaped Ficon

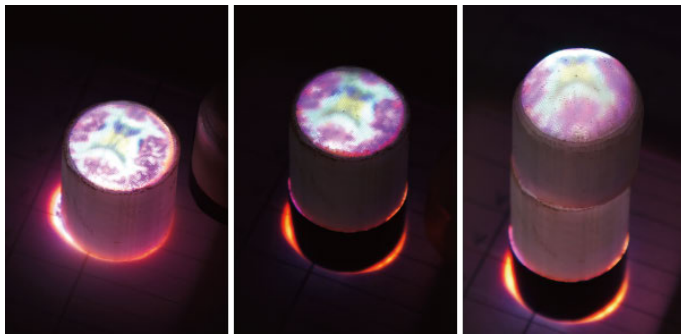


図 8 積層した Ficon の見え方.

Fig. 8 The visibility of stacked Ficons.

域にあるシンボルを検出し、その有無により ID を決定する (図 6 右). 現在の実装では、シンボルを配置する領域は 4 つとし、 $2^4 = 16$ 通りの ID が識別できる. シンボルを配置可能な領域を増やせば、さらに多くの ID を識別することが可能になる.

ペンポインティング認識部

ペン先に取り付けられた LED が発する光は、IR フィルタをつけた PlayStation Eye により認識される. この映像に対して固有 ID 識別機構と同様の画像処理を行いペン先の光のみを抽出し、テーブル上でポインティングされている座標を取得する. なお、二つのカメラ映像におけるテーブル座標は一致させておく必要があるため、XtionPRO と PlayStationEye からの映像に対して射影変換を用いたカメラキャリブレーションを行う.

5. Ficon の形状加工

Ficon の立体形状加工は Roland 社の Modela MDX-40 を用いて 3D 切削を行った. Modela が切削可能な素材には一定以上の強度がいるため、3D 切削を施す Ficon の光ファイバの束の間にエポキシ樹脂を流し込み、束を固定し強度を上げた. 樹脂を光ファイバの隙間に流し込んでも光ファイバの光学的特性に影響はなく、Ficon は映像提示デバイスとして十分に機能する. 以下に Ficon で可能な映像提示手法について述べる.

5.1 3D 映像表現

Ficon は形状加工を行うことで、デバイス表面に触れる 3D ディスプレイとして利用できる. 図 1 はキャラクタ型の 3D モデルから作成した Ficon に元になった 3D モデルをレンダリングした映像を投影している. Ficon 自身の形状を変えることができないが、ユーザの入力に合わせてキャラクタが瞬きする、口を動かすなどダイナミックにその姿を変えることが可能である.

5.2 組み合わせによる形状入力

Ficon 自体の形は変化させることができないが、シンプルな形状の Ficon を複数組み合わせれば、テーブル上に好きな 3 次元形状を作ることが可能である. 図 7 右に示すようにテーブル上で組まれたブロックの種類と位置・向きを認識し、組まれた形状にあわせてグラフィクスを提示することで、形と外観のそれぞれを動的に変更可能にすることができる. 例えば、テーブル面に地図を投影し、その上に建物を模した Ficon を配置し、街並みをデザインするアプリケーション例などが考えられる. また、それぞれの Ficon はタッチおよびペン入力によりインタラクティブに表示内容を変更することを可能とする.

5.3 映像提示方向の変更

斜めにカットした Ficon をテーブル上に置くことで光の向きを調整し、映像を提示する方向を変えることができる. 図 7 左のように、特定のユーザにのみ閲覧が可能な映像提示が可能となる. パスワードの表示や、自分以外のプレイヤーに対して情報を隠蔽する必要があるような麻雀やトランプなどの対戦型ゲームへの応用が考えられる.

5.4 Ficon の積層

積層した Ficon の識別ができれば、より立体感のある造形が可能となり、また高いところから低いところへ転がり落ちるボールなど高さを利用した新しいインタラクション手法を提供できる. Ficon は複数重ねた状態でも下の Ficon から上の Ficon へ光が到達するため、こうしたインタラク

ションが可能になる(図8)。ただし、Ficon の底面および表面で光が拡散するため、層が増えるに従って映像は不鮮明になる。現在の実装では3層以上重ねると映像の判別が難しくなる。また、本研究で行ったマーカによるID識別は重なったマーカ同士の識別が難しいこと、上層に積まれたFicon のマーカがぼやけてしまうことから積層したFicon に対して適用できない。Lumino[10]のように光ファイバの透過性をID識別に用いれば、積層したブロックの識別はできるが、デバイスの形状は制限され、表面に解像度の高い映像を映し出すことが難しくなる。

6. デバイスに対する操作の制約

6.1 ポインティング手法の制約

本論文で提案するシステムはタッチポインティング機能は実装しておらず、ポインティング操作を行う場合、ユーザは片手にペンを持つ必要がある。そのため、両手をFicon の移動操作に使っている状態からペンポインティング操作に移る際に、デバイスを持ち変える手間が生じる。例えば、複数のFicon 上を移動していくCG キャラクタに対するポインティング操作などFicon の移動操作とペンポインティング操作の切り替えが多発するインタラクションには不向きである。

今回開発したシステム上でタッチ認識機能を追加するためには、Diffused Illumination を利用したシステムと同様の手法が利用できるが、Ficon 底面のID識別用マーカの影響を受けてタッチ認識精度が低下してしまう。比較的大きな表示領域を持つFicon に対してはマーカの位置をFicon の枠もしくはその付近に限定することで、ID識別とタッチポインティングを両立できる。しかし、表示領域の小さいFicon の場合はこのような解決は難しい。個々の小さいFicon に対して精確なポインティングが求められることは少ないが、複数個並べて表示領域を拡大した場合はやはり精度が求められることが考えられるため、検討が必要である。

6.2 デバイスを持ち上げる操作

Ficon はテーブル面に接触していなければ、映像の提示、位置・IDの認識ができなくなるため、デバイスを持ち上げて行うインタラクションには不向きである。Display Blocks[15]のように操作デバイスに液晶ディスプレイなどの映像出力装置を搭載することによってそれらは解決可能だが、これらは充電を必要とする。

6.3 識別可能なIDの数

現在のID識別用のマーカはポインティングの認識精度に与える影響をできるだけ少なくするために空白を多く設けている。そのため、IDの数を増やすためにARマーカやQRコードといった一般的なマーカ方式を使うことは難

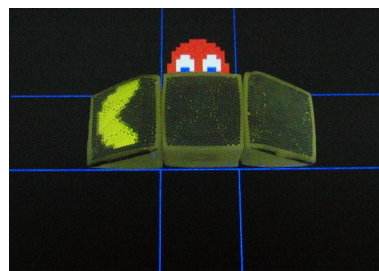


図9 Ficonを使って組み立てた道の上をキャラクターが移動する。
Fig. 9 CG characters are moving on Ficon-based building blocks.

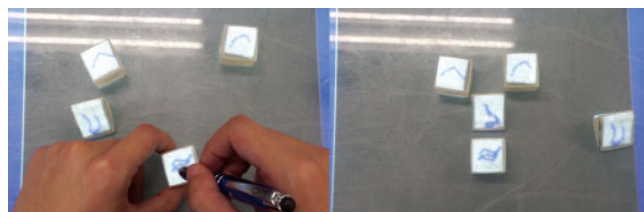


図10 ペンを使ったFiconへの描画操作。部位ごとに描画を行い、Ficonを再配置しなおすことで、福笑いのようなデザインが可能になる。

Fig. 10 Drawing with a pen. Ficon allows to rearrange blocks after drawing.

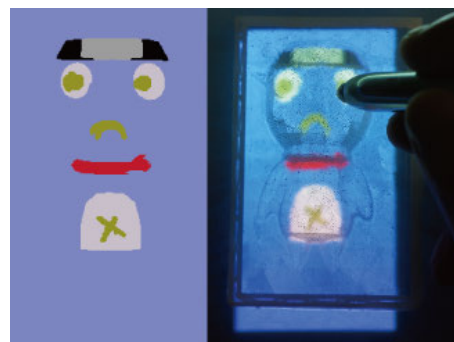


図11 立体形状を持つFiconへの描画操作。
Fig. 11 Drawing to a 3D-shaped Ficon.

しい。タッチやペンによるポインティング精度を保持しつつ、識別可能なIDの数を増やすためには、Cantag[16]などの技術を応用し、中央の領域を広く空けたマーカ方式の利用を検討する必要がある。

7. アプリケーション

今回新しく提案したペンポインティングとFiconの形状加工を組み合わせたインタラクション手法をアプリケーションで示す。

7.1 ゲームへの応用

このアプリケーションは、複数のFiconを使った形状入力をゲームに応用した例である。平面的なディスプレイ上にFiconを使って地形を作り、自律移動するCGキャラクターが組み上げた地形に沿って立体的な動きをする。例え

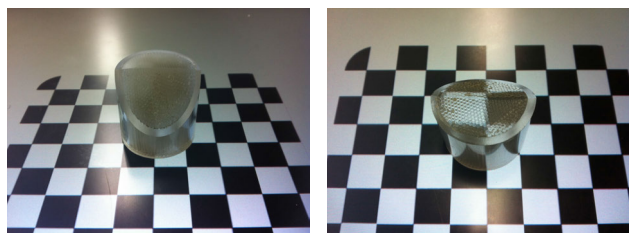


図 12 斜めに切断した Ficon における見え方の違い.

Fig. 12 The visibility issue is demonstrated. While the surface leaning to the far side from the camera displays the image clearly (left), the image on the surface close to the camera is unclear (right).

表 1 Ficon に映した映像が認識可能な視野角.

Table 1 View angle(degree)
where the image of Ficon is recognized.

Shape	flat		hemisphere	
	1mm	0.5mm	1mm	0.5mm
numeric	150°	156°	124°	152°
character	146°	154°	118°	134°
photo	142°	152°	118°	142°

ば、キャラクタと敵との接触を避けるために、Ficon で橋を作ることで、接触を回避することができる (図 9).

Ficon は立体的な映像提示と地形を直接手で触れて組み立てるタンジブルな操作を両立しており、入出力空間が一致した直感的なインタラクションが可能である.

7.2 ペイントアプリ

図 10 は Ficon の形状入力とペンポインティングを組み合わせることで、Ficon に直接描画を行うアプリケーションである. 指先でのタッチによるペン描画と比べて、ここで利用できるペン先は細いので、細かいストロークでの描画が可能になる. また、Ficon の固有 ID 識別が可能になったことで、描画された Ficon がテーブル上から取り除かれても、再びテーブル上に配置された時に取り除かれる前の描画結果をそのまま Ficon に表示することが可能になる. これを利用すれば、図 10 のように、部位ごとにペイントを行った後に、Ficon を配置しデザインすることができる.

また、立体形状を持つ Ficon に対してペンを使った描画を行った例を図 11 に示した. マウスを使った GUI では煩雑な 3 次元オブジェクトに対する描画を簡単に行うことができる.

8. 光ファイバの屈折による影響

光ファイバ表面の光の屈折はペンやタッチポインティングの認識と Ficon に映し出す映像の視認性の両方に悪影響を与える. 特に、斜めに切断された光ファイバにおいて顕著で、カットした面に対するペンやタッチポインティング操作の認識精度が落ちてしまう. これは斜めに切断した面

から入射した光が屈折してしまい、光ファイバを通してカメラまで届く光が少なくなるためである. このうち、ポインティングの認識精度の低下については、ペン先に使う LED をより強く光らせることでこの問題を解決した.

視認性について図 12 にその影響を示すが、傾斜した面を持つ Ficon はユーザ側に向けた面の映像の視認性が低下してしまう. 解決策として映像投影に使用するプロジェクタの輝度を上げることも考えられるが、傾斜した面を持つ Ficon とそうではない Ficon で表示映像に輝度の差が生じてしまうため、単純な解決は難しい. しかし、視認性が低下しているものの、投影された映像が何を示す映像であるかを確認することはできる. そこで、ディスプレイ上に置かれた Ficon 表面に投影された映像の意味をユーザが確認することができる角度を検証するために実験を行った.

8.1 実験内容

本実験では、図 2 に示した表面形状と構成する光ファイバの径が異なる 4 種類の Ficon を試験した. これは光ファイバの太さと Ficon の表面形状がどの程度視野角に影響を与えるかを検証するためである.

被験者は自分の視点の代わりとなるカメラからの映像を別モニタから見る. カメラは Logitech 社の HD Pro Webcam C910 を用いた. 最初、カメラはディスプレイの脇に Ficon の天面と水平になるように設置されており、このカメラは常に Ficon を中心に捉えるようにしながら徐々に上に動かす. 被験者が Ficon 上に表示された映像を確認できた時点でカメラの動きを止め、カメラの止まった位置、Ficon の天面、カメラの初期位置から視野角を求めた.

被験者は 20 代男性 2 人、Ficon に投影させる映像は画像・平仮名・数字の 3 種類で行った. これは画像情報と文字情報とで視野角に差異ができるかを確認するためである. また画像情報では色から画像を特定できないように、画像はすべてグレースケール画像に変換して表示した. 各種類共に著者が用意した映像をランダムに表示させ、その最小の視野角を計測した. 画像・平仮名・数字の映像をそれぞれ 5 回ずつ計 15 回、用意した 4 種類の Ficon に表示させ実験し、その平均を取った.

8.2 結果と考察

Ficon の種類と表示映像を変えて計測した視野角を表 1 にまとめた. この表には二人の被験者から得られた視野角の平均を記している.

1mm 径の光ファイバでは、立体形状を持たない Ficon に対し、立体形状を持つ Ficon の視野角は狭く、視認性が悪くなる. しかし、0.5mm 径の光ファイバでは、提示映像に文字を用いた場合を除けば、立体形状を持つ Ficon は立体形状を持たない物に比べてそれほど視認性が悪くなることはない. これは細い光ファイバを使用した場合、表示さ

れる画像の解像度が良くなるため映像が鮮明になり、曲面においても映像が見えやすくなるためである。また、立体形状を持つ Ficon に文字を映した場合、視野角が狭くなる傾向が見られる。これは一部が見えてもその文字が何を表しているかを判別するのは難しいためであると考え。例えば、「は」と「ほ」の様な文字を見せた場合、一番上の線が見えなければ、どちらか判別することはできない。被験者からも「画像・数字は特徴的な部分が見え始めれば判別ができるが、平仮名は全景が見えないとわかりにくい」という意見があった。これは光の屈折が引き起こす視認性の低下ではなく、ユーザの視点に対して映像の一部が死角になってしまうことが主な要因と考える。

8.3 視認性の改善

実験の結果から Ficon に使う光ファイバの径を小さくすることが視認性の低下を防ぐ解決策の一つと言える。

しかし、この問題の根本的な要因は Ficon 天面における光の屈折の影響である。PAPILLON[9] は同様の問題をデバイスの映像表示面にディフューザを張ることで解決している。PAPILLON ではデバイスに対して直接プロジェクタを照射しているため、ディフューザによる光の減衰が解像度に与える悪影響は少ない。ディフューザを映像表示面に張る手法は Ficon にも応用できるが、表示映像の解像度の低下を考慮する必要がある。Ficon に適切なディフューザの検証を今後行っていく。

また、Ficon 天面で光が屈折する向きをコントロールできるような形状加工の可能性がある。図 7 左のように映像提示面の法線方向に光ファイバが並ぶように Ficon を配置すると、視認性の問題がある程度解消されることが分かっている。従って、光ファイバを曲げたり、斜めにする事で視認性の低下を避けつつ、映像提示方向を変えるアプローチも考えられる。

9. まとめと展望

本稿では映像表示が可能なテーブルトップデバイス“Ficon”の ID 識別とペンポインティングを可能にした。特に立体形状加工を施した Ficon の製作方法とその有用性を示し、立体形状を持つ複数の Ficon とペンポインティングを組み合わせたインタラクションをアプリケーションの章で例示した。表面形状と光ファイバ径を変えた 4 種類の Ficon を用いて Ficon の視野角について検証し、天面に立体形状を持つ Ficon は立体形状を持たない Ficon と比較して視野角が小さくなる傾向がある、という結果を得た。今後の課題として Ficon の視認性の問題を解決するような形状加工の研究も行っていく。また、ペン入力に使う赤外波長帯をタッチ認識にも応用し、よりロバスタなタッチポインティングを実現する。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 (23700090) の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 中林 隆介, 佐藤 俊樹, 福地 健太郎, 高田 悠太. Ficon: テーブルトップシステム向けの光ファイバを用いた映像提示可能な操作 デバイス. 情報処理学会研究報告 Vol.2011-HCI-144.
- [2] Yuta Takada, Ryusuke Nakabayashi and Kentaro Fukuchi. Ficon: a Touch-capable Tangible 3D Display using Optical Fiber. In *Proceedings of ITS '12 Workshop - Beyond Flat Displays*
- [3] H. Ishii and B. Ullmer. The metaDESK: models and prototypes for tangible user interfaces. In *Proceedings of UIST '97*, pp.223 - 232, 1997.
- [4] J. Patten, H. Ishii, J. Hines and G. Pangaro. Sensetable: a wireless object tracking platform for tangible user interfaces. In *Proceedings of CHI'01*, pp.253 - 260, 2001.
- [5] J. Patten, B. Recht and H. Ishii. Audiopad: a tag-based interface for musical performance. In *Proceedings of NIME '02*, pp.1 - 6, 2002.
- [6] Jun Rekimoto, Brygg Ullmer and Haruo Oba. DataTiles: a modular platform for mixed physical and graphical interactions. In *Proceedings of CHI '01*, pp.269 - 276, 2001.
- [7] Wilson, A. Depth-Sensing Video Cameras for 3D Tangible Tabletop Interaction. In *Proceedings of TABLETOP '07*, pp.201 - 204, 2007.
- [8] Karl D.D Willis, E. Brockmeyer and Scott E. Hudson, I. Poupyrev. Printed Optics: 3D Printing of Embedded Optical Elements for Interactive Devices. In *Proceedings of UIST*, pp.589 - 598, 2012.
- [9] Eric Brockmeyer, Ivan Poupyrev and Scott Hudson. PAPILLON: Designing Curved Display Surfaces with Printed Optics In *Proceedings of UIST*, pp.457 - 462, 2013.
- [10] P. Baudisch, T. Becker and F. Rudeck. Lumino: Tangible Blocks for Tabletop Computers Based on Glass Fiber Bundles. In *Proceeding of CHI'10*, pp.1165 - 1174, 2010.
- [11] T. Sato, H. Mamiya, H. Koike and K. Fukuchi. PhotoelasticTouch: Transparent Rubbery Tangible Interface using an LCD and Photoelasticity. In *Proceedings of UIST*, pp.43 - 50, 2009.
- [12] Y. Kakehi, M. Iida, T. Naemura and M. Matsushita. Tablescape Plus: Upstanding Tiny Displays on Tabletop Display. In *Proceedings of SIG-GRAPH '06*, 2006.
- [13] M. Weiss, J. Wagner, Y. Jansen, R. Jennings, R. Khoshabeh, J. D. Hollan, and J. Borchers. SLAP widgets: Bridging the gap between virtual and physical controls on tabletops. In *Proceedings of CHI'09*, pp. 481 - 490, 2009.
- [14] Matsushita, N. and Rekimoto, J. HoloWall: designing a finger, hand, body, and object sensitive wall. Proc. of Symposium on User Interface Software and Technology (*UIST '97*), pp. 209 - 210, 1997.
- [15] Pol Pla, Pattie Maes. Display Blocks: a Set of Cubic Displays for Tangible, Multi-Perspective Data Exploration. In *Proceedings of TUI'13*, pp. 307 - 314, 2013.
- [16] Andrew C. Rice. Dependable systems for Sentient Computing. In *University of Cambridge Computer Laboratory Technical Report*, UCAM-CL-TR-686, 2007.