

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 13 日現在

機関番号：32682

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23700090

研究課題名（和文）自由形状を持つインタラクティブな立体形状ディスプレイの研究

研究課題名（英文）A Study of Interactive Three Dimensional Free Form Display

研究代表者

福地 健太郎 (FUKUCHI KENTARO)

明治大学・理工学部・准教授

研究者番号：30377022

研究成果の概要（和文）：

立体的な形状を持ちインタラクティブに触れて楽しむことができるディスプレイ技術「ファイコン」を開発した。光ファイバを束ねて CG モデルから立体形状を持つディスプレイを作成し、またその表面でのタッチ認識技術を開発した。このディスプレイ技術を応用し、テーブル型コンピュータ上で操作可能な入出力デバイスとして用いるための位置・ID 認識技術を開発した。同技術を利用して、テーブル上でキャラクタに触れたり動かしたりして楽しむことができるメディア技術を提案した。またその発展として、単純な形状をしたブロックをテーブル上で組み合わせて三次元形状を造形できるインタフェースを実装した。

研究成果の概要（英文）：

We developed a touch-capable 3D displaying device for tabletop systems called Ficon. A Ficon has a 2.5-dimensional shape for providing tangible dynamic 3D visual. While most tangible devices for tabletops display their associating information around themselves, a Ficon displays such information on its top touch-capable surface. A Ficon consists of a bundle of optical fibers with a polished flat bottom surface. When a Ficon is placed on the surface of a tabletop system, the light from the bottom surface is conducted to the top surface through the optical fibers, allowing the system to control the visuals of the Ficon by displaying images at its position. Two methods for constructing a free-form 3D display using a Ficon are introduced: the use of a CNC milling machine to create a pre-shaped Ficon from a 3D model, and a building-block approach using a set of primitive Ficons.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

 キーワード：立体ディスプレイ、タッチディスプレイ、タンジブルインターフェイス、
 テーブルトップコンピューティング、ユーザインターフェイス

1. 研究開始当初の背景

ユビキタスコンピューティングの発達・普及や、デジタルサイネージ関連市場の発展に伴い、ますます我々の日常生活にインタラクティブなディスプレイが使われるようになる

だろう。しかしその多くは液晶ディスプレイのような、平面映像のみを提供しており、その上に搭載されるタッチインターフェイスもやはり平面的な操作のみである。近年では様々なコンテンツがこうしたインタラクティブディスプレイで提供されるようになって

てきており、その発展としてこれまで以上に実感的で訴求力のあるインタラクティブディスプレイ技術が求められるようになってきている。こうした中で、我々はインタラクティブな立体映像技術に着目した。

立体映像にインタラクティブ性を持たせるための研究はこれまでも多くあるが、偏光メガネと手袋型入力装置などの装着物が必要で公共の場所での使用に難があった。また触覚フィードバックをそなえた立体ディスプレイなどは、形状を感じさせるだけの抗力は提供できていない。実際に立体的形状を持った触れるディスプレイもいくつか提案されているが、立体感や直感性、解像度などの問題があった。

2. 研究の目的

本提案は、立体モデルとして作られた、CG キャラクタや建築モデルなどの CG オブジェクトを、立体映像として提示するとともに、実際にそれに触って操作することを可能とするインタラクティブディスプレイ技術を開発し、新しいメディアとして世に送り出すことを目指したものである。

提案技術により、コンテンツ提供者はすでに持っている既存の CG オブジェクトの形状そのままの立体ディスプレイを作ることができ、またそこにインタラクティブな CG 映像を投影することができるため、手持ちのコンテンツをそのまま活かすことができる。様々な角度から誰でも裸眼で目にすることができる立体映像で、触って楽しめるメディアとして、公共の場での広告・ゲーム・インタラクティブアート・教育などの分野への応用が期待できる。

3. 研究の方法

本研究では光ファイバを用いての導光により、液晶ディスプレイやプロジェクタ投影による表示画面を曲面状に表示させることで、前述の目的を達成することを狙った。細い光ファイバを束ねることで映像表示領域を確保し、また束ねる際に片方の面は平面状に加工しこれを入射側とし、出射側は立体的な凹凸を持つ曲面状に加工して用いる。また提案手法は据置きディスプレイ技術としてだけでなく、ディスプレイ表面をテーブルに見立て、その上で動かしたり積み重ねたりして扱えるタンジブルデバイスとして使用できるようにし、ブロックおもちゃのような動的な造形遊びに使用したり、触れる CG キャラクタとして扱えるような手法を目指した。本研究ではこのデバイスのことを、**ファイコン**

(ficon)と呼ぶ。

提案手法を実現する基盤的技術として、

- A) CG モデルを利用した形状加工
- B) 視認性に関する性能試験および性能の向上
- C) タッチ認識手法
- D) ファイコンの位置・ID 認識手法
- E) について研究を進めた。

A) CG モデルを利用した形状加工

光ファイバを束ね入力デバイスとして使用できるように固めた上で、CG モデルにもとづいた形状に加工するための方法を検討する。

B) 視認性に関する性能試験および性能の向上

立体形状に加工した際の視認性について、様々な角度から見た場合の映像の歪みや明暗の変化について、実際に検証する。この結果、視認性に問題が生じた場合にはその対策について検討する。具体的には、出射側で光を拡散させるための加工や投影する映像の光量を上げるなどの手法を検討する。

C) タッチ認識手法

タッチ認識には、光学的手法や電気的な手法を実装し比較検討する。具体的には、ファイコン裏面から可視光に加え赤外線を投射し、ファイコン表面付近に置かれた指先で反射された光を再びファイコン裏面側から赤外線カメラで観察する手法を試験する。また、テーブル上部にカメラを設置し、ファイコン上での指の動きを画像処理によって追跡する手法を検討する。

D) ファイコンの位置・ID 認識手法

ファイコンの位置認識については、液晶ディスプレイ上でファイコンを扱う場合の手法としてディスプレイ上部に設置したカメラにより追跡する手法を検討する。また、リアプロジェクション式のテーブル型ディスプレイを構築し、天板の裏からカメラによってファイコンを認識する手法についてもあわせて実験し、設置条件の要求に応じた手法を選択できるようにする。

4. 研究成果

(1) ファイコンの造形手法

ファイコンの造形については、光ファイバを合成樹脂系の接着剤で固め、枠で固定する手法を確立した。枠は、直方体や円筒系などの基本的な形状であれば既製品を適宜使用できる。特別な形に加工する場合には、3D プリンタを利用して枠となる部品を印刷し、その中にファイバを詰めるという加工手法を

採用した。束ねて接着された光ファイバのうち、入射側の端点は平滑に研磨することで光



図 1:作成したファイコン群

の散乱を防ぎ、提示映像を明るくすることができた。

この過程で、光ファイバの細さは提示映像の解像度を決定するが、細くし過ぎることによりファイバコア面積が減少し、導光できる光量が低下することが確認された。これまでの実験では 0.5mm 径の光ファイバが、光量を確保しつつ写真や文字を認識できる程度の解像度を達成できることを確認した。

ファイコン表面側の加工については、3D プリンタを用いて CG モデルから凹型を作成し、そこに接着前の光ファイバを詰めるという手法を試験したが、光ファイバの端点の切断面を揃えることが難しく、視認性に問題があった。そこで、一度直方体に形成した後、コンピュータ制御の切削加工機を用いて、CG モデルと同じ形状に削り出すことに成功した。切削面も滑らかに仕上げることで、視認性を向上させることができた。

(2) 視認性試験

ファイコン表面に投影された映像の視認性のうち、特に問題となる視野角 (viewing angle) について以下の実験手順により試験した。

- ・ファイコンは表面を平面状に加工したものと、半球状に加工したものを使用する
- ・光ファイバの径は 1mm のものと 0.5mm のものの 2 種類を使用
- ・液晶ディスプレイ上にファイコンを設置し、数字・文字・写真の三種類を投影する
- ・カメラにより、ファイコン表面を撮影する。カメラはファイコンの方を常に向き、ファイコンからの距離を一定に保ちつつ、ディスプレイに対する角度を変化させる
- ・被験者は撮影された映像について、それぞれ何が表示されているかを口頭で回答する
- ・2 名の被験者の両方から正答を得られる限界の角度を調査する

この試験の結果を表 1 に示す。表中に示した角度は、ディスプレイ面からのものであり、値が大きいほど垂直に近付くことを意味し、視野角が低下していることを示す。

実験結果より、0.5mm 径の光ファイバを用いた場合には、表面が平坦な場合には投影映像の識別が可能なのは 14 度程度のところにあることがわかる。これはファイコン正面から見た場合には 150 度程度の視野角が確保されていることを意味する。ただしこの条件は使用する映像の明るさや内容、また環境光に依存する。同条件下では、ファイバ径の細さや表面の形状によって視野角の限界が変化することがわかる。

形状	平面		半球	
	1mm	0.5mm	1mm	0.5mm
径				
数字	15°	12°	28°	14°
文字	17°	13°	31°	23°
写真	19°	14°	31°	19°

表 1:視認性試験の結果

また、ファイコンで提示された映像の視認性について、特にファイバが斜めに切断されたところで視認性が低下することを確認した。これは上述の実験結果から示される他、斜めに切断したファイコンによって明らかにすることができた。この視認性低下の原因は、光の屈折現象の特性によるもので、光ファイバの断面に対向する位置からは投影映像の視認性が著しく低下するが、反対側からは良好に視認できるという特徴を持つことがわかった。

視認性の低下を防ぐために、表面を故意に荒く研磨し、出射側表面での光の散乱度合いを強くすることにより若干改善できることはわかったが、これは同時に投影画像の鮮明さを低下させるというデメリットを生じることとなった。

この問題に対処するために、ファイコンへの映像投影に用いる映像装置を液晶ディスプレイではなく光量の大きいレーザープロジェクタを用いる手法を検討した。この場合でもファイコンに正対した場合と斜めから見た場合とで映像の明るさに差が生じる問題が残る。また、この場合にレーザープロジェクタによりテーブル面へテーブルトップの映像を投影した場合、光量が強過ぎるといった問題が生じるため、デスクトップ領域については光量を落とした映像を生成する必要がある。

(3) タッチ認識手法

タッチの認識は以下の 3 種類の手法を実装した。

A) 静電容量方式のタッチパネルディス

- レイと可視光による指先追跡の併用
 B) 深度センサによる認識
 C) 赤外光の反射を計測する手法

A) はディスプレイ情報の空間に設置した可視光カメラを用い、既存の手法を応用して指先の位置を認識するものである。既存手法の場合、カメラに対する指の前後の動き、すなわちテーブル上での上下の動きを認識することができないためアイコンに指先が触れているかどうかの判定に問題があるが、我々は市販の静電容量方式のタッチパネルディスプレイを用い、アイコンを導電布でくるむことでアイコン表面への指先によるタッチをタッチパネルで検出するという手法によりこれを解決した。ただしこの場合、アイコン上のどの場所をタッチしたかは検出することができないため、カメラによる指先追跡を併用する必要がある。なお、この方法は次の(4)で述べるアイコンの位置認識にも利用できる。

B) は、赤外線投光方式の深度センサをディスプレイ上部に設置し、深度イメージから指先やアイコンの位置を認識する方法である。深度センサの解像度限界のため精密な操作には向かないが、指先がアイコン表面のどこに触れたかを認識することができた。また、(4)で述べるアイコンの位置認識もあわせて行うことができる。

C) は、リアプロジェクション式のスクリーンをテーブルとして用い、その上でアイコンを操作する場合に用いる手法である。カメラもスクリーン裏面に配置できるため、設置の自由度が高い。スクリーン裏には赤外線カメラおよび赤外線 LED による投光器を配置する。投光器からの赤外線はアイコンの裏面から光ファイバに導光され、表面で拡散する。このとき、指先がアイコン表面近くにある場合は、その反射光が再び光ファイバを通じてスクリーンに投影される。この様子を赤外線カメラにより撮影することで、タッチ位置を認識することが可能となる (図 3)。

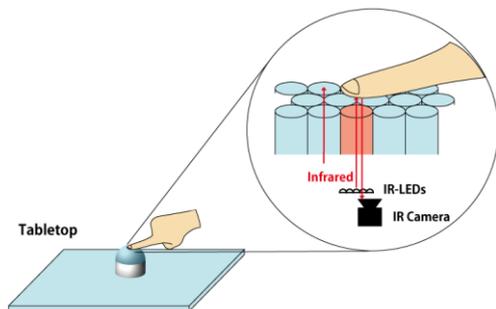


図 3: 赤外線によるタッチ認識

(4) アイコンの位置・ID 認識手法

アイコンの位置と向き、また ID の識別手

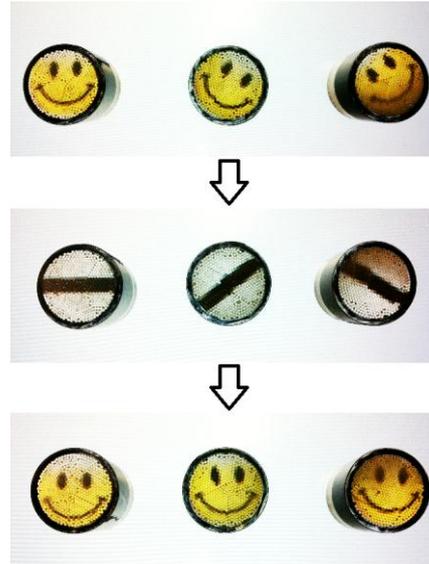


図 2: 捻れを利用した ID 認識

- 法については、以下の 4 種類を実装した。
 A) 偏光現象および光ファイバの捻れを用いたもの
 B) 静電容量方式のタッチパネルディスプレイを用いたもの
 C) 深度センサによる認識
 D) 赤外線反射フィルムを用いたもの

A) では、液晶ディスプレイの光が偏光していることを利用したもので、カメラに液晶ディスプレイからの光を打ち消すように偏光フィルタをとりつける。ここで、アイコンを通過した光は偏光が崩れるため、アイコンのある箇所のみカメラで捉えることが可能となる。これによりアイコンの位置を認識することができる。アイコンの ID 識別には、光ファイバの束の捻りながら形成したものを用いる。束を捻ることにより、アイコン裏面に投影された映像は捻れの向きに回転して表面に投影される。この回転角を ID とすることで、アイコンの種類を識別することができる。識別が済んだ後は、捻れを打ち消す向きに映像を回転してから投影することで、利用者の目には正常の向きに映像を提示することができる (図 2)。

B) では、先述した静電タッチパネルを使用する。利用者が導電層を持つアイコンに触れると、指先は導電層を通じてタッチパネルと静電結合するため、タッチパネルの機能を用いてアイコンの位置を知ることができる。またこのとき、底面の導電層に識別用のパターンを埋め込むことにより、アイコンの ID 識別が可能となる。

C) では、赤外光によるパターン照射方式の深度センサを用い、深度イメージからディス

レイ上のファイコンの位置・向きを認識する。既知の形状を持つファイコンをパターンマッチングにより識別する。なお、同一形状のファイコンは識別できない。

D)では、ファイコン裏面に赤外線のみ反射するホットミラーフィルムを貼りつけ、スクリーン裏から赤外光を投射し、ホットミラーフィルムで反射された赤外光をカメラで認識するという手法を採る。スクリーンに投影された可視光映像はフィルムを通過し、ファイコン表面に投影される。ホットミラーフィルムで ID を埋め込んだパターンを形成することにより、個々のファイコンの ID 認識も可能となる。この手法を採る場合、タッチ認識と併用するためにはパターンを埋め込む領域を制限する必要があるため、ファイコンの枠部分にパターンを寄せて解決する。

(5) 触感の演出

ファイコン表面に触感を演出するための層を追加することで、形だけでなく触ったときの感触を演出することを可能とした。一つ目の手法は表面に透明なシリコンゲルの層を追加するもので、皮膚のような柔らかさをファイコンに持たせることができるため、例えば人の顔や身体を表現するのに向く。シリコンゲル層は視認性をほとんど低下させることなく、またシリコンゲルを用いた既存のタンジブルデバイス技術に比べるとゲル層を薄くすることができ、画像の歪みによる視認性の低下を軽減できることがわかった。また、指先とデバイスをより密着させることができるため、赤外線による指先認識の精度を向上させることができる。また、タッチパネルを用いた位置検出のために導電層を追加したファイコンでは、我々のこれまでの研究成果である、低周波電流を用いた指先の電気刺激による触感演出の手法を応用し、ファイコンを通じて指先を刺激して疑似振動感覚や痛みの感覚を与えることが可能となる。

(6) ブロック状ファイコンを複数用いての造形インタフェース

本研究は当初、CG モデルにもとづいてファイコンを整形し、形状は固定のまま使用することを想定していたが、派生成果として、直方体や円筒などのプリミティブな形状をもったファイコンをブロックとして扱い、ディスプレイ状で動的に組み合わせて用いるインタフェースを開発した。ファイコンの位置・形状認識には深度センサを用い、ディスプレイ上に構築された形状にあわせて動的に提示映像を変化させることができる。また、これをビデオゲームの操作インタフェースへ応用し、ディスプレイ上の造形がゲーム中キャラクターの行動に影響を与え、間接的な操作を可能とするインタフェースを提案した。ま

た、プリミティブブロックを積み重ねて使用できるようにした。表面が平なファイコンであれば、上にさらにファイコンを重ねると光

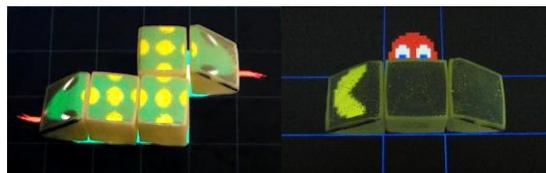


図 4: ブロック状ファイコンの利用例

は上段のファイコン表面まで導光されることを利用した。深度センサを用いてファイコンの重なり具合を認識し、それに応じて提示映像を変化させるよう実装した。

(7) プライベート情報の提示

これまで説明してきたファイコンは光ファイバが常にディスプレイに対して垂直方向に配置されていたが、この向きを変えることで、異なる特性を持ったファイコンを作ることができる。これを利用して、ディスプレイに対して斜めにファイバを揃えることで、特定方向に映像を提示するようなファイコンを形成することができる。これにより、対向する相手には見えないが自分には見えるような映像の提示が可能となり、例えばゲームの手札やパスワードなど他人から隠すべき情報を提示できるプライベート表示領域を画面上に作り出すことが可能となる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 3 件)

- ① “Ficon: a Touch-capable Tangible 3D Display using Optical Fiber” Yuta Takada, Ryusuke Nakabayashi, Kentaro Fukuchi: ITS’ 12 Workshop - Beyond Flat Displays. 2012. 11. 11-14
- ② “Ficon: a tangible display device for tabletop system using optical fiber” Kentaro Fukuchi, Ryusuke Nakabayashi, Toshiki Sato, Yuta Takada: Proceedings of ITS 2011. 11. 13-16
- ③ “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” 中林 隆介, 佐藤 俊樹, 福地 健太郎, 高田 悠太: 情報処理学会研究報告 Vol. 2011-HCI-144. 2011. 7. 29

[その他]

<http://fukuchilab.org/projects-j/ficon-j>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福地 健太郎 (FUKUCHI KENTARO)

明治大学・理工学部・准教授

研究者番号：23700090