

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[†]

本稿では、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立体的な映像提示と ID 認識を実現する操作デバイス“Ficon”を提案する。Ficon は、ディスプレイ上に置かれてもディスプレイ面の映像を遮ることがなく、テレビ石のように底面にある映像を浮き上がらせる。形状加工により、立体的な映像提示も可能とする。光ファイバの並びにねじれを与えることで、各 ficon に固有の ID を持たせることができる。ねじれを解消するように映像を補正することで、見た目にはねじれは感じられない。

Ficon: a tangible display device for tabletop system using optical fiber

Ryusuke Nakabayashi,[†] Toshiki Sato,^{††}
Kentaro Fukuchi,[†] and Yuta Takada[†]

We present ficon, a novel tangible input device for tabletop systems that enables image projection on its 2.5 dimensional top surface using optical fiber bundle. Positions and IDs of ficons are tracked by using a ceiling camera above an LCD table. The bundle of optical fiber projects an image below the bottom surface of a ficon, so that the image on the top face of the ficon can be dynamically changed without using an overlaying projector. The shape of the top face is variable including 2.5 dimensional non-flat surface. A fiducial marker is embedded in each ficon by arranging the array of fibers.

In this paper we describe the details of the implementation and show some application field of the proposed system.

[†]明治大学理工学研究科

Department of Science and Technology, Meiji University

^{††}電気通信大学情報システム学研究科

Graduate School of Information Systems, The University of Electro-Communications



図1 Ficon の概観.

Fig.1 Ficon on the tabletop display.

1. はじめに

テーブルトップシステムにおけるインタラクション手法については多くの研究がなされている。主に、カメラで手や腕などの動きを取得して用いる手法や、FTIR[14]や静電容量式タッチセンサを用いる手法が知られている。また、ディスプレイ平面に対するインタラクションだけでなく、その上に物を置く、立体像を投影するなどのディスプレイ上の空間を有効活用する手法が、テーブルトップシステムにおける特徴的なインタラクション手法として注目されている。

中でもディスプレイ上に操作デバイスを置き、それを操作することで、ディスプレイに映し出されたオブジェクトへの操作を実現するインタラクション手法は、情報に物理的実体を与え、直接触れて操作できるため、タッチ操作に限定されていた手法と比べて、インタラクションに多様性をもたらす。また、操作の対象となるオブジェクトに対応した外観を持つデバイスを提供することにより、操作デバイスとその対象との関連を把握しやすくすることができる。しかし、従来の操作デバイスでは、その外観は固定で、オブジェクトの内部状態が変化しても、操作デバイス自体はそうした変化を反映することはなかった。また、デバイス自身によってディスプレイ面の一部を覆ってしまうため、画面表示で情報を補う場合にはデバイスの脇に表示する必要があり、さらなる表示域の減少を招く。プロジェクタによりデバイス表面に投影する方法もあるが、システムが大規模になり、またユーザの手などによるオクルージョンの問題が生じる。

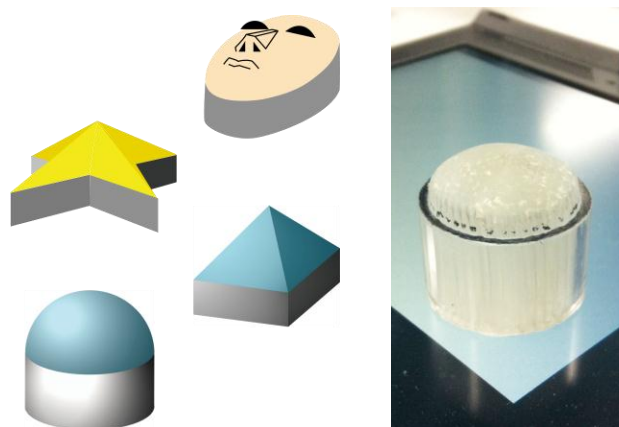


図2 左：表面形状を加工した ficon. 右：ドーム状の ficon.

Fig.2 Left: illustrations of 2.5D-shaped ficons. Right: a prototype of dome-shaped ficon.

我々は、これらの問題を解決するための手法として、**Ficon** というデバイスを提案し、これを用いたシステムを試作した。**Ficon** は、操作デバイスの表面にテーブルトップに投影された映像を写すことで、デバイスの外観を可変にする。具体的には、光ファイバを束ねることでテレビ石と同様の現象を起こし、それを用いてディスプレイの映像をデバイス表面に浮かび上がらせる。これにより、デバイスで覆われたディスプレイ表示域の映像をデバイス表面に投影することができる。また、デバイスの光学的特性を応用することで、カメラを用いてデバイスの ID と位置を認識することができる。さらに、表面形状を加工することで、立体的な映像提示も可能である。一般的な 3D ディスプレイと異なり、特殊なメガネは必要なく、見る方向を制限しない。デバイスは一般的な光ファイバを束ねて作成でき、安価である。ID 認識は、光ファイバを束ねる際にねじれを加え、これを認識することで実現した。この手法は、カメラ映像からコンピュータが識別可能なねじれ角の種類だけの ID を提供することができる。

本稿では、デバイスの作成方法と認識手法、またデバイスへの情報投影の手法について説明した後、本デバイスにおけるインタラクション手法に関する制約とそれを考慮した簡単なアプリケーション例を示す。最後に ID 認識の他の手法について述べた後、今後の展望を述べる。

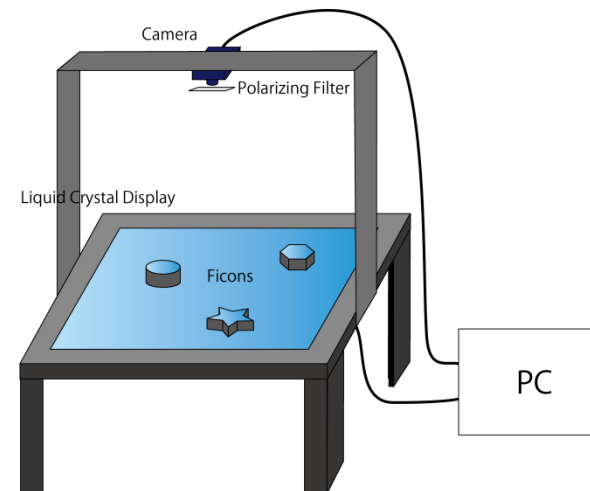


図3 システム全体の概要.

Fig.3 System overview.

2. 関連研究

石井らは、新しいユーザインタフェースデザインとして、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理念を提唱し[8]、その可能性を探るためのプロジェクトを実施している[6][7]。metaDESK[9]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[10]は、電磁タブレットを利用した、操作デバイスの位置と方向を検出できるシステムである。また、Audiopad[11]は sensetable の原理を用いた音楽のリミキシングツールで、オシレータやフィルタなどに対応するデバイスをテーブル上に置き操作することができる。両システムともテーブルの上部に設置してあるプロジェクタから対応する情報をテーブルとオブジェクトに投影する。高精度な位置・方向検出が可能であるが、デバイスへの情報提示は、デバイス表面をスクリーンとし、そこへプロジェクタを用いて投影しており、システムの大規模化を招いている。reactTable[12]は、リアプロジェクションのテーブル上で底面にビジュアルマーカを貼った操作デバイス进行操作することで、自由に楽曲を作るシンセサイザーである。現在の音の状態をディスプレイにフィードバックすることで、ユーザは自分がど

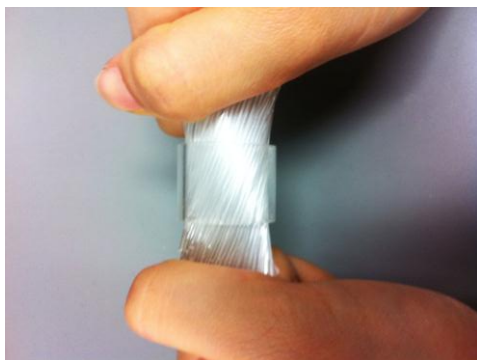


図4 光ファイバにねじれを与える加工方法.

Fig.4 Twisting optical fibers to provide unique IDs to ficons.

のような操作を行っているかを視覚的に理解することができるが、やはり操作デバイス自体の外観は固定であり、操作結果や計算結果を反映しない。

プロジェクタではなく、ディスプレイ上で入力デバイスを用いる試みとしては、Lumino[1]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認識することができ、重なったブロックの認識、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。論文では、同一形状のブロックをファイバの詰め方とマーカ付与の位置の違いで認識手法が異なることを、直方体と円柱のブロックを例に述べている。重ねたブロックの認識を容易にした点で新規性があるが、ブロックにマーカが付加されているため、デバイス表面への映像表示が困難であるという点や、ファイバの並びを ID として使用していないなどの点で本研究とは異なる。小池らは、立体形状を持つ透明弾性体で、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 [2]。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ため、触っているユーザに違和感を与える。

デバイスがディスプレイとしての役割も果たしている研究では、TableScape Plus[3]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。プロジェクタから映像を特殊なフィルタを通して投影し、ディスプレイ面とデバイスの両方に映像を投影する。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、投影面が見える範囲内にユーザはいる必要があり、観察方向が限定される。同様の研究で窺らは、テーブル型ディスプレイ



図5 ねじれのある ficon がディスプレイの映像を捻って映す様子.

Fig.5 Twisted ficons rotate the display image.

UlteriorScape[4]を提案している。ディスプレイ上にかざされたデバイスの上にディスプレイ面とは異なる映像を提示でき、ディスプレイ面およびデバイス面に対し、観察方向に依存した映像提示ができるという特徴を持っているが、複数のプロジェクタを必要とし、装置が大掛かりになる傾向がある。吉田らは、何も無い平らなテーブル面上に高さのある立体映像を浮かび上がらせて再生できる、複数人が裸眼で自然に利用可能なインタフェースを提案している [13]。しかし、立体映像の再生には、特殊な光学素子と、円周上に並べられた多数の小型プロジェクタを使用する。

光ファイバを用いたインタフェースとして、岸野らは、光ファイバの束を一定の感覚で並べ、束の間に赤外線 LED を設置することで、毛のような形状を持ち、映像提示とマルチタッチ認識が可能な大画面毛状マルチタッチディスプレイ Fusa2Display [5]を開発した。これは、ユーザの手で反射した赤外光をディスプレイ背面に設置した赤外線カメラで検出し、リアプロジェクションにより光ファイバの端点を光らせることでディスプレイ表面に映像を投影する。提案手法と異なり、ディスプレイ面全体を覆うことを狙ったものである。なお、光ファイバの密度が低く、ディスプレイは解像度の高い映像を表示するには向かない。

3. 実装

システム全体の概要を図 3 に示す。光ファイバは片方の端点から入射した光が内部を通ってもう一方の端面で散乱する。Ficon はこの特性を利用し、束ねた光ファイバによってディスプレイの映像をデバイス表面に浮かび上がらせる (図 1)。Ficon の表



図6 斜めに切断した ficon における見え方の違い. 左図でははっきり見える映像が, 右図のように切断面に正対するとほとんど見えなくなる.

Fig.6 The visibility of projected image depends on the view angle. The image on the top face of a ficon is clear in low-angle(high viewpoint), but the diagonal face's image is clear when the relative angle between the viewpoint and face is low.

面を立体的に加工することで, 立体感のある映像提示も可能であると考え (図 2). また提案システムでは, カメラを使って位置と ID 認識を行う. その際, 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, 偏光フィルタをカメラに装着することで, 液晶ディスプレイからの光を遮断し, Ficon を通過した光のみを検出する. 液晶ディスプレイの偏光を利用した手法としては小池らによる, 光学フィルムを用いた透明マーカ[15]がある. しかし, 提案手法では光学フィルムを用いる必要はなく, 光ファイバの束自身が偏光を崩す点で異なる.

提案手法では, Ficon に詰められた光ファイバの束のねじれ角によって ID 認識を行う. 新しい Ficon がディスプレイ上に置かれると, まず認識用のパターンを一度表示させ, 角度を測定し, ID を決定する. 一度 ID 認識を行った Ficon は, システムで動きを追跡しているため, ディスプレイ上から取り除かれるまで再度 ID 認識をする必要はない. ねじれを持つ Ficon については, アプリケーション側で逆向きにねじれた映像を表示することで補正する.

3.1 Ficon の構成

今回作成した Ficon の詳細について示す. Ficon は光ファイバの束とそれを包む枠で構成されている. この枠の形状や表面の加工によって様々な形を作ることができる.

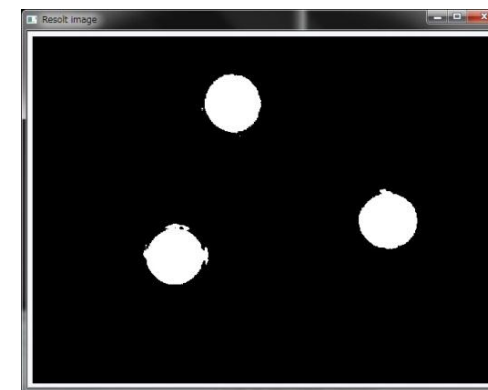


図7 偏光フィルタを通した映像を二値化した処理の画像.

Fig.7 Binarized camera image through a polarized filter.

底面は入射光を極力取り入れるために平滑に研磨する. 枠は光ファイバ部への外光の侵入を防ぐために不透明である必要がある. 光ファイバは一本一本が柔らかく, 枠に詰める際, 一定方向に力を加えることでねじれを与えられる (図 4). 現在の実装では, 3種類 (ねじれなし, 右ねじれ, 左ねじれ) の ID を提供できる (図 5).

Ficon の視野角は理想的には全方向から見ることが望ましいが, 形状によっては実現出来ていない. 図 6 は斜めにカットした面をユーザに対して反対に向けた場合 (左図) とユーザに向けた場合 (右図) の比較である. 反対に向けた面の画像は確認できるが, ユーザ側に向けた面の画像はほとんど確認できない. Ficon に入射した光は, 光の屈折により, カットした面に向かって倒れるように光が屈折するため, 面に対向する側からの視認性が低下している. 将来的には, 光ファイバ表面を視認性が下がらない程度に削り, 光を拡散させるなどの加工を施すことで解決できると考える.

3.2 位置認識部

本システムのハードウェア構成は, 図 3 に示すように液晶ディスプレイ, カメラ, 偏光フィルタからなる. 水平に設置した液晶ディスプレイの上方に画像処理用カメラを設置する. カメラには ViewPLUS 社の FMVU-03MTC-CS を使用した. カメラ, 及び液晶ディスプレイは一台の PC に接続されている. カメラには, 液晶ディスプレイの光を遮断する向きに偏光フィルタを貼り付ける.

前述したように, Ficon を通る光は, 光ファイバを通過すると偏光の性質が崩れるため, 偏光フィルタを通して見てもその光を観測できる. 本システムでは, この偏光

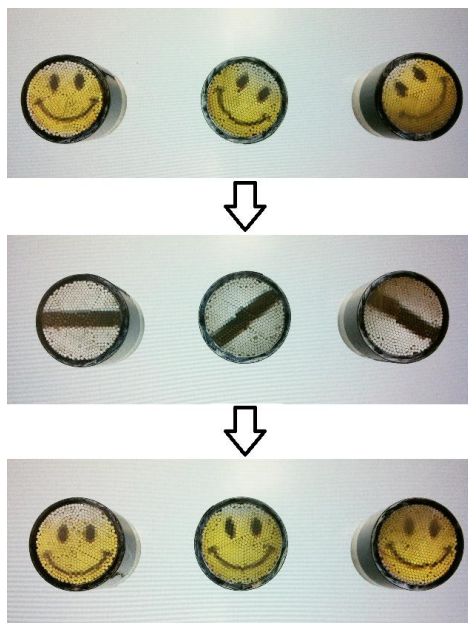


図8 ねじれ角の認識と表示画像の調整.

Fig.8 Majoring rotation angles of ficons and adjusting the projection image.

特性が変化した液晶ディスプレイの光をカメラで撮影することで、Ficon の存在する領域を調べる (図 7)。そして、得られた領域の重心を Ficon の位置座標とする。

3.3 ID 認識部

位置認識部で得られた座標を利用し、Ficon に中心を通る線を表示させる (図 8: 中)。この水平線に分割された 2 つの領域の重心を調べ、得られた 2 点間を結ぶ直線の傾きを計算し、そのねじれ度合い (=角度) を Ficon の ID としてシステムに記憶する。画像などを表示する際、Ficon の持つ ID に応じて画像を補正して表示させる (図 8: 下)。

3.4 追跡部

システムには、Ficon の ID と共に現在の位置座標、座標の最終更新時間が記憶されている。位置座標と更新時間は、Ficon を動かすたびに更新される。更新の際、新しい位置座標が現在記憶している位置座標と比較して近い場合、すでに ID 認識が行われている Ficon が移動したとし、ID を保持したまま位置座標、更新時間の書き換えを

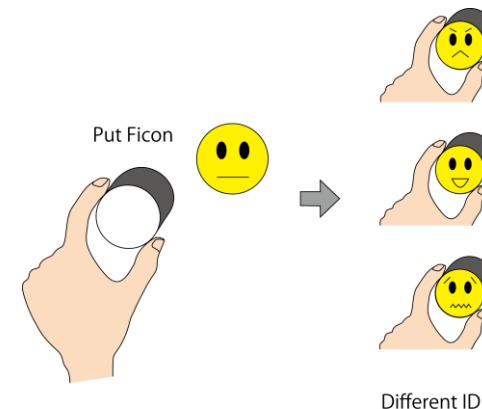


図9 アプリケーション例：Pop-up Lens.

Fig.9 Application idea: Pop-up Lens.

行う。更新する位置座標が現在記憶している位置座標と比較して遠い場合、それは新しくディスプレイに置かれた Ficon と判断し、新たに ID 認識部の処理を行う。

4. インタラクション手法の制約

Ficon はディスプレイの映像をデバイス表面に投影する。そのため、映像域を最大限確保できるよう、光ファイバ部分にはマーカなど特徴点を付与していない。例えば図 5 のような円形の Ficon の場合は、Ficon 自体の向きやその変化を検出することができない。また Ficon は、タッチディスプレイ上でも利用することができ、ディスプレイへのタッチ検出は実現可能だが、Ficon 自身へのタッチ検出はカメラが上方に設置されているため困難である。さらに、Ficon はディスプレイ面に接触していなければ、映像を提示することができないため、Lumino とは異なり、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。

5. アプリケーション

Ficon を用いたインタラクション手法の例を示す。

1 つ目は、Ficon を 2 次元オブジェクト上に置くことで、平面的だったオブジェクトに Ficon の立体形状によって立体感を与えることができる (図 9)。また、Ficon を動かすことで、オブジェクトが様々に変化する。動かした際のオブジェクトの変化は、

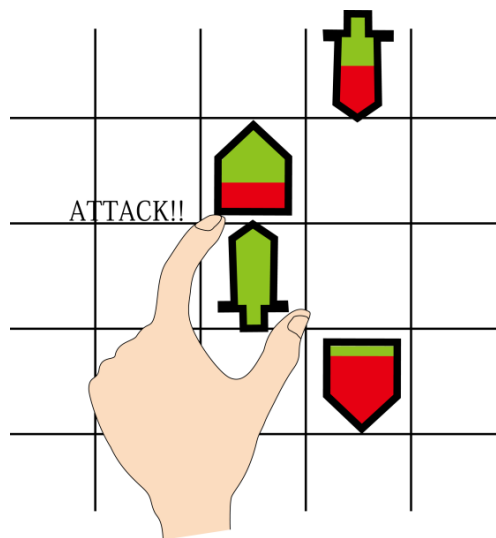


図10 アプリケーション例：Board Game.

Fig.10 Application idea: Board Game.

Ficon の持つ ID によって異なる。

2 つ目は、ボードゲームを、Ficon を用いて実装したものである。(図 10)。プレイヤーは、様々な形状をした Ficon を動かしてゲームを進める。ゲーム中のキャラクターにはそれぞれ HP などのステータスが決められており、Ficon 表面にはその情報が映像として表示される。この映像はゲーム進行に応じて変化する。これにより、ボード上で遊ぶゲームにおいても複雑なルールを持つゲームを実現することができる。

6. 今後の発展・課題

本論文では、テーブルトップシステム上で動作する動的デバイス Ficon の作成方法と認識手法、デバイスへの情報投影の手法、本デバイスにおけるインタラクション手法の制約について説明した。また、Ficon を用いた簡単なアプリケーション例を示した。現在、Ficon を用いたアプリケーションを実装中である。今後は、Ficon をテーブルトップシステムのデバイスとして用いた場合、デバイス表面に映像が提示できることで、ユーザにどのような利点があるかの評価を実施する。

Ficon は、形状加工によって多様な形を表現した場合、光の屈折により、自然な位

置から映像を見ることができない。そのため、この屈折による見え方の不自然さを解消しなくてはならない。光ファイバを視認性が下がらない程度に削り、光を拡散させるような加工の可能性を研究する。また、現在 Ficon のねじれ角を算出して、ID としているが、今後は光ファイバー一本一本の配列自体を認識して ID とすることで、ID の種類を増やす。これにより、Ficon の向きの認識も同時に実現できると考えている。

参考文献

- [1] Baudisch, P., Becker, T. and Rudeck, F.: Lumino: Tangible Blocks for Tabletop Computers Based on Glass Fiber Bundles, *Proceeding of CHI'10*, New York, NY, USA, ACM, pp. 1165-1174(2010).
- [2] Sato, T., Mamiya, H., Koike, H. and Fukuchi, K.: PhotoelasticTouch: Transparent Rubbery Tangible Interface using an LCD and Photoelasticity, *Proceedings of UIST '09*, ACM, pp. 43-50 (2009).
- [3] Kakehi, Y., Iida, M., Naemura, T. and Matsushita, M.: Tablescape Plus: Upstanding Tiny Displays on Tabletop Display, *Proceedings of SIGGRAPH '06*, York, NY, USA, ACM, (2006).
- [4] Kakehi, Y. and Naemura, T.: UlteriorScape: Interactive Optical Superimposing on View-Dependent Tabletop Display, *Proceedings of TABLETOP'06*, pp.189-192(2008).
- [5] Nakajima, K., Itoh, Y., Yoshida, A., Takashima, K., Kitamura, Y. and Kishino, F.: FuSA2 touch display, *Proceedings of SIGGRAPH '10*, York, NY, USA, ACM, (2010).
- [6] Ullmer, B., Ishii, H. and Glas, D.: mediaBlocks: Physical Containers, Transports and Controls for Online Media, *Proceedings of SIGGRAPH '98*, York, NY, USA, ACM, (1998).
- [7] Underkoffler, J. and Ishii, H.: Illuminating Light: An Optical Design Tool with a Luminous-Tangible Interface, *Proceeding of CHI'98*, New York, NY, USA, ACM, (1998).
- [8] Ishii, H. and Ullmer, B.: Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms, *Proceedings of CHI'97*, pp. 234-241(1997).
- [9] Ishii, H. and Ullmer, B.: The metaDESK: models and prototypes for tangible user interfaces, *Proceedings of UIST '97*, New York, NY, USA, ACM, (1997).
- [10] Patten, J., Ishii, H., Hines, J. and Pangaro, G.: Sensetable: a wireless object tracking platform for tangible user interfaces, *Proceedings of CHI '01*, New York, NY, USA, ACM, (2001).
- [11] Patten, J., Recht, B. and Ishii, H.: Audiopad: a tag-based interface for musical performance, *Proceedings of NIME '02*, Singapore, Singapore, National University of Singapore, (2002).
- [12] Jordà, S., Geiger, G., Alonso, M. and Kaltenbrunner, M.: The reacTable: exploring the synergy between live music performance and tabletop tangible interfaces, *Proceedings of TEI '07*, New York, NY, USA, ACM, pp.139-146(2007).
- [13] Yoshida, S.: fVisiOn: Glasses-free Tabletop 3-D Display-Its Design Concept and Prototype,

2011 Digital Holography (DH) and Three Dimensional (3-D) Imaging Meeting, Tokyo, (2011).

- [14] Han, J. Y.: Low-Cost Multi-Touch Sensing Through Frustrated Total Internal Refection, *Proceedings of UIST '05*, ACM, pp. 115-118(2005).
- [15] Koike, H., Nishikawa, W. and Fukuchi, K.: Transparent 2-D Markers on an LCD Tabletop System, *Proceedings of CHI'09*, New York, NY, USA, ACM, pp.163-172 (2009).