

CapacitiveMarker: 接触認識可能な2次元コードを用いた インタラクション手法

池田 昂平^{1,a)} 塚田 浩二^{1,b)}

概要: 現在広く普及している2次元コードは、読み取り時に入力部となるカメラとの間に一定の距離を作らなければ認識されないという空間的制約がある。一方、近年タブレット端末等の静電容量式マルチタッチディスプレイの普及に伴い、導電性パターンを接触させ、マーカーのように扱う研究事例が多く報告されている。そこで本研究では、両者を統合し、2次元コードを印刷した紙と導電パターンを印刷した透明フィルムの2枚を重ね合わせる事で、カメラ/静電式タッチディスプレイのどちらからも認識可能な新しい2次元コード「CapacitiveMarker」を提案する。さらに、CapacitiveMarkerを用いた様々なインタラクション手法について応用アプリケーションを通じて紹介する。

CapacitiveMarker: Novel Interaction Method using 2D Barcode Integrated with Conductive Marker

IKEDA KOHEI^{1,a)} TSUKADA KOJI^{1,b)}

Abstract: The 2D barcodes have spatial limitations to require certain distances between a camera and barcodes. Meanwhile, as capacitive multi-touch displays like smartphones and tablets have become popular, many researchers proposed interactive techniques using conductive patterns and a capacitive display. In this study, we propose a novel 2D barcode, "CapacitiveMarker", which can be recognized both by a camera and capacitive display. The CapacitiveMarker consists of two layered markers: a 2D barcode printed on a seal and a conductive pattern on a plastic film. In addition, we propose a new interaction method using CapacitiveMarker through several applications.

1. はじめに

近年、スマートフォンやタブレット等のモバイル端末と実世界を連携させたインタラクションの研究が盛んに行われている。特に端末内蔵カメラを用いて2次元コードを認識させるインタラクション手法 [5] は古くから盛んに取り組まれている。こうした2次元コードを用いたインタラクションは安価で手軽に実現できる反面、カメラの画角の制約を受ける欠点があり、例えば、カメラを近づけすぎると認識できなかった。

一方、近年では静電容量式マルチタッチディスプレイ（以下、タッチパネル）に着目し、物理的なモノに銅箔等の複数の導電素材を取り付け、静電式マーカーとして扱う研究も多数提案されている [6], [7]。これらの手法は、タッチパネル上でのモノのID認識や位置検出を実現するが、タッチパネルから離れると認識が困難であった。

本稿では、導電性インクによるパターンを2次元コードに内包させることにより、カメラによる認識だけでなく、タッチディスプレイに接触させても認識させることができる2次元コード「CapacitiveMarker」を提案する (図1)。これにより、端末(カメラ)から一定距離離れている状態と、端末(タッチパネル)に接触した状態の双方でマーカーのID/位置/向き等を用いたインタラクションを行うことができる (図2)。さらにCapacitiveMarkerを使って操作するアプリケーションの実装を行い、応用方法を検討する。

¹ 公立はこだて未来大学 システム情報科学部 情報アーキテクチャ学科

The school of Systems Information Science, Media Architecture, Future University Hakodate

a) b1011065@fun.ac.jp

b) tsuka@acm.org

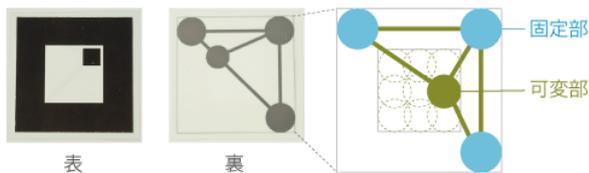


図 1 CapacitiveMarker の構成．AR マーカーと静電マーカーを 2 層に重ねている．

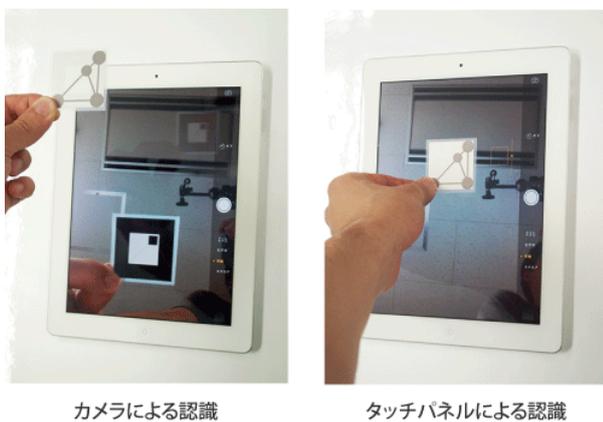


図 2 CapacitiveMarker の特徴．端末から一定距離離れている状態と接触した状態の双方でマーカーを検出できる．

2. CapacitiveMarker

CapacitiveMarker は、2 次元コードを印刷したシール紙と、導電性インクで特定のパターンを印刷したプラスチックフィルムの 2 枚を重ね合わせた構造を持つ (図 3)．パターン作成の自由度と手軽さを重視して ARToolKit^{*1} 準拠の 2 次元コード (以下、AR マーカー) を採用する．導電性のパターン (以下、静電マーカー) は、周辺部に 3 点の固定点を、中央部に 1 点の可変点を設置する．固定点の位置はどのマーカーでも変化しないが、可変点の位置はマーカーによって変動し、固定点からの相対位置の変化で ID 認識を行う (図 1 右)．この静電マーカーを印刷したフィルムを AR マーカーを印刷したシール紙で隠すように上から貼り合わせることで、見た目は通常の AR マーカーであるが、タッチパネル上での ID / 位置 / 向き等の認識を行う事ができる．

CapacitiveMarker は、スマートフォンやタブレットのようなカメラとタッチパネルが取り付けられた端末上で利用する．端末を机等に水平に置いた状態で、マーカーを端末から一定の高さに持ち上げると、端末カメラから AR マーカーとして認識され、そこから垂直方向に下げてタッチパネルの上に置くと、静電マーカーとして認識される．

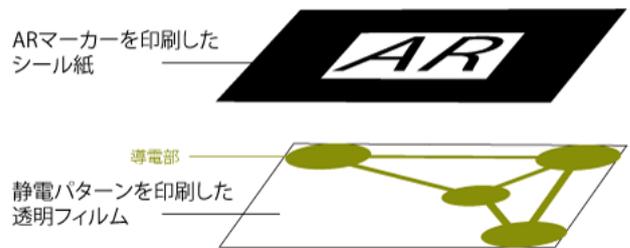


図 3 CapacitiveMarker の階層構造．静電パターンの印刷面がシール紙の粘着面と合わさるように重ねる．

3. 実装

3.1 マーカーの構成

マーカーのサイズは全体を 40mm × 40mm とした．前述したように、マーカーは 2 層構造であり、AR マーカーは通常のインクジェットプリンターで、静電マーカーは Kawahara らの提案手法 [4] を用いて、銀ナノインクを用いたインクジェットプリンターで出力する．AR マーカーは、厚さ約 0.07mm のシール紙に、静電マーカーは厚さ約 0.13mm の透明プラスチックフィルムに印刷した．

次に、静電マーカーの詳細について説明する．静電マーカーは、タッチパネル上で検出可能な 4 点の円形導電部 (以下、タッチポイント) を中心に構成される．タッチポイントは、マーカーの周辺部に直径 10.0mm の固定点を 3 点、中央部に直径 8.0mm の可変点を 1 点配置し、それぞれを導電性の接続線 (太さ 1.0mm) でつなぐ．これにより、ユーザがマーカーの周辺部を持ってタッチパネル上に置くと、全てのタッチポイントにおいてタッチイベントが検出される．ここで、周辺部 3 点の固定点を認識することで、マーカーの位置と向きを検出する．次に、固定点と可変点の相対位置を元に、マーカーの ID を検出する．

なお、固定点の位置は AR マーカーの黒枠部分の 3 つの頂点に合わせている (図 1 右)．また、可変点の位置は AR マーカーの内枠に収まる範囲で変動させ、図 4 のように 9 つのパターンを作成している．

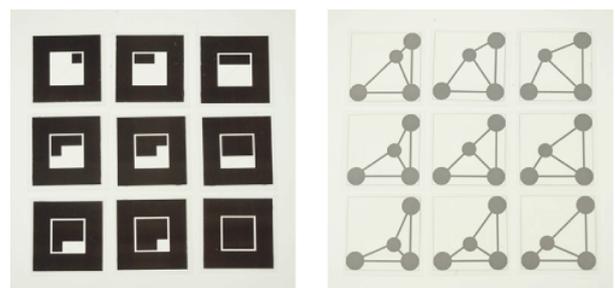


図 4 製作した 9 種類のマーカー

*1 <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>

3.2 静電マーカの認識方法

静電マーカの認識は、マーカ領域の認識と、ID 認識の 2 段階に大きく分けられる (図 6 右)。

マーカ領域の認識は、一定の間隔で配置した周辺部の固定点 3 点を検出する。まず、マーカが接触すると各タッチポイントに対応して 4 つのタッチイベントが生成される。次に、これらの座標間の直線距離を計算し、そのうち距離が最大となる 2 点を対角線上の固定点とする (図 5 の 1)。さらに、対角線上にある固定点 2 点からの距離が等しい 1 点を残りの固定点とする。この時、距離が等しい座標が 2 つある場合は、距離が長い方を固定点とする (図 5 の 2)。以上の固定点 3 点を検出し、最初に静電マーカの領域を認識する。

ID 認識は、4 点のうち残りの 1 点を中央の可変点として特定し、2 つの固定点からの距離によって、マーカの ID を判別する (図 5 の 3)。

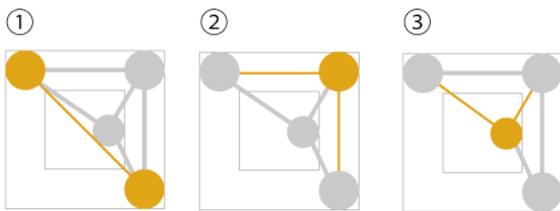


図 5 静電マーカにおけるタッチポイントの認識順序。1 番では対角線上の固定点 2 点, 2 番では残りの固定点 1 点, 3 番では可変点の相対位置をそれぞれ求める。

3.3 2 次元コードの認識方法

2 次元コードの認識は、スマートフォンやタブレット向けのアプリケーションに Augmented Reality の機能を追加するために metaio 社が提供している metaio SDK^{*2} を利用する。さらに、AR マーカとそのトラッキング設定ファイルを自動生成するため、専用アプリケーション metaio Creator を利用する。上記の AR マーカ認識用のフレームワークとトラッキング設定ファイルをプログラムに追加する事により、複数の AR マーカをタブレット端末に登録し、端末のカメラから認識させる事ができる。マーカの ID に加えて、3 次元座標と回転角の取得から、マーカの位置 / カメラからの奥行き / 向きを検出する事ができる (図 6 左)。

4. 応用

4.1 応用アプリケーション

CapacitiveMarker を使った応用例の一つとして、マーカを浮かせた状態とタッチパネルに接地させた状態の双方で視点を切り替える地図アプリケーションの実装を行っ

^{*2} <http://www.metaio.com/products/sdk/>



図 6 CapacitiveMarker の 2 つの認識状態。左図の画面は 2 次元コードの ID / 位置 / 向き / 奥行きが検出されている事を示し、右図の画面は静電マーカの ID / 位置 / 向きが検出されている事を示す。

た (図 7)。ユーザがマーカを端末から一定の高さ離して持ち上げると、俯瞰して見る空中視点の Google マップを表示し、次にマーカを下ろして端末表面に接地させると、地図上に下ろした地点の緯度 / 経度に対応する場所を Google ストリートビューで表示する。マーカを浮かせた状態ではカメラによる認識を行い、マーカの ID / 位置 / 向き / カメラからの奥行きを検出する。これにより、Google マップの移動 / 回転 / 拡大や縮小等の操作をすることができる。さらに、マーカを端末に近づけてカメラからの奥行きが一定距離以下に小さくなった時は、空中視点の地図への操作を中止し、タッチパネルによる操作に切り替える。タッチパネルによる認識時は、静電マーカの位置 / 向きを検出し、Google ストリートビューのパノラマ写真に対して前後に移動 / 左右に回転させる操作を行うことができる。本アプリケーションでは 1 つのマーカを端末の上で移動させるだけで直感的に 2 タイプの地図の操作を行うことができ、地図から地上視点のパノラマ写真に切り替える操作も比較的素早く行うことができる。



図 7 視点の切り替えが可能な地図アプリケーション。マーカを浮かせた状態と接地させた状態で、Google マップと Google ストリートビューを切り替える。

4.2 CapacitiveMarker の形状に関する検討

提案・実装の章で述べた通り、CapacitiveMarker は薄いシール紙とプラスチックフィルムを重ね合わせた 2 次元コードであるため、そのまま使用するとマーカの端を直接手で持った状態で操作を行うことになる。このため、カメラに対してマーカの一部分が隠れたり、マーカを端末に接地させるときに、マーカを持った手指が直接タッチパネルに触れて、誤認識が起こる要因となり得る。そこで、CapacitiveMarker の物理的操作性を向上させるために、マーカに立体形状のつまみを取り付ける (図 8)。つまみは、CAD ソフトで設計した 3 次元モデルを 3D プリントから出力し、つまみ下部から持ち手までを銅テープで配線した上で、CapacitiveMarker の静電マーカ側とつまみ下部を密着させる。これにより、マーカをつまんで持ち上げたり、回転させる動作が容易となる。この他にも、カードと一体化したり、日用品に張り付けたりといった、様々な形状を工夫していきたい。



図 8 立体形状のつまみ。左：底面，中央：俯瞰した面，右：側面。底面に 2 次元コードを接着させていない状態。

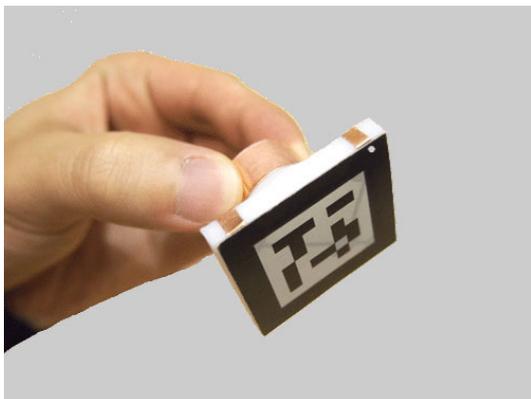


図 9 背面に CapacitiveMarker を取り付けた立体形状のつまみ。つまみの周囲の導電テープが静電マーカの導電部に触れるように接着させている。

4.3 その他の応用例

本稿では、応用例として視点を切り替える地図アプリケーションを提案 / 実装したが、他に応用例の一つとして、マーカを浮かせた状態と接地させた状態で操作キャラクターを切り替えるゲームを検討している。例えば、見下ろし型のシューティングゲームにおいて、ユーザがマーカ

をタッチパネルに接触させている時は、地上視点で歩兵を操作し、マーカを持ち上げている時は、空中視点で航空機を操作するような内容である。歩兵が航空支援を受けながら戦うような状況を想定し、両者を素早く切り替えながら操作できるよう工夫したい。

5. 議論

現状の課題としては、「静電マーカの認識精度」と「AR マーカの認識範囲」が挙げられる。前者については、静電マーカの各タッチポイントが誤認識されるケースがあるため、時系列での平滑化等の工夫を進めていきたい。さらに、ユーザがマーカを動かしている間のマーカ位置の認識を行う際にプログラム側の処理の負荷が大きいため、これも時系列の座標値を利用して位置の認識を行い、処理の負荷を低減する必要がある。

後者については、カメラとタッチパネルの両方から認識されない空間が 10cm 以上存在する問題がある。この問題に影響されにくい応用例を考える一方で、カメラに小型広角レンズを付けて AR マーカの読み取り可能範囲を広げる等の工夫を進めていきたい。

6. 関連研究

6.1 タッチパネル上で扱う物理インタフェースの研究

物理的なモノに導電部を取り付け、タッチパネル上で操作するインタフェースの研究が行われている。紙窓 [6] は、カードに複数の導電部を配置し、タッチパネル上に置くことで、導電性パターンに対応したアプリケーションが起動される。くるみる [7] は、複数導電部を持つ枠型物理オブジェクトをディスプレイ上で回し、操作に対応した表示を枠の中から見るといったインタフェースを提案している。池松ら [8] は、タッチパネル接触時に得られる情報の一つとして接触面積を利用し、マルチタッチインタラクションの拡張を提案している。タッチパネル上で、ユーザの接触を必要とせずに物理的なウィジェットを検出する手法として、PUCs が提案されている [9]。PUCs は、電気的に接続した 2 つのマーカのうち、一方のマーカのタッチ領域を接地点として利用し、もう一方のマーカ直下にある電極の格子点に静電容量の変化を与えることで、タッチパネル上でユーザが非接触状態において継続的なウィジェットのトラッキングを可能とする。これらは、いずれも静電容量式タッチディスプレイを用いて物理的なモノを認識している。さらに、タッチパネル上で操作するインタフェースの開発を容易にするために、家庭用複合機と導電性インクを用いて導電性パターンを生成する手法も提案されている [10]。

タッチパネル上の検出方法では他に、タッチパネルの背面に赤外線カメラを設置して、赤外線を反射するマーカをトラッキングする手法が提案されている。Lumino[1] は、物理的なブロックの内部にガラスファイバーを入れ

ることで、2次元マーカ-を反射した赤外線タッチパネル下のカメラへ送り、画像のパターン認識を行う。SLAP Widgets[2]は、アクリルやシリコン製の半透明な物理ウィジェットの複数部に反射材を取り付け、ディスプレイ下の赤外光LEDとカメラの組み合わせによりウィジェットの位置を認識する。本研究では、一般的な静電容量式タッチディスプレイにおいての物体の認識を可能とする。

6.2 2次元コードを用いたインタラクションの研究

2次元コードを用いたインタラクションは古くから取り組まれている。例えば、Rekimotoらは、CMOSやCCD等の安価なカメラを利用して認識できる2次元コード「CyberCode」と、それを利用した拡張現実感の環境を提案している[3]。CyberCodeは、ID認識とともに2次元コードを貼り付けた実物体の3次元位置も計測することができ、マーカ-上に3Dオブジェクトを表示させる事ができる。さらに、綾塚らは、コード内の可変部分を手や指で隠すことにより2次元コードを拡張した操作を行うことができるActive CyberCodeを提案している[5]。

本研究では、ARマーカ-と静電マーカ-を組み合わせ、タッチパネルに接触した状態/離れた状態の双方で活用できる点特徴である。また、導電性インク複合機を用いる事により、大量かつ手軽に製作できるマーカ-を提案する。

7. まとめと今後の展望

本研究では、カメラ/タッチパネルのどちらからも認識可能な2次元コード「CapacitiveMarker」を提案し、従来のタッチパネルを利用したテーブルトップインタフェースや現在普及している2次元コードにおける認識空間の制約の改善を試みた。CapacitiveMarkerは、ARマーカ-を印刷したシール紙と導電性パターンを印刷したプラスチックフィルムを重ね合わせて製作した。カメラによる認識時は、ARマーカ-の認識ライブラリを用いてマーカ-のID/向き/位置/カメラからの奥行きを検出を行い、タッチパネルによる認識時は、導電性のパターンに含まれる3点の固定タッチポイントと1点の可変タッチポイントの2点間距離、座標とその大小関係から、タッチパネル上に置いたマーカ-のID/向き/位置の検出を行った。さらに、CapacitiveMarkerを使った応用例の一つとして、2つの認識方法で視点を切り替える地図アプリケーションの実装を行うとともに、マーカ-の背面に立体的なつまみを取り付けて、手に持つ時の物理的な操作性を向上させる事を試みた。

今後は「静電マーカ-の認識精度」の改善と「応用アプリケーションの開発」を中心に行う。前者については、静電マーカ-のID認識や位置計測の精度について、閾値の変更や時系列での平滑化により改善を試みる。さらに、認

識精度について基礎的な実験を行い検証していく。後者については、議論の中で前述した見下ろし型シューティングゲームの他に、より実用性を考慮した応用例を検討したい。さらに、現状では9種類のマーカ-を製作したが、静電マーカ-における導電部の可変点を1点から2点に増やす事により、製作可能なマーカ-の種類を増やす事も検討する。

謝辞

本研究はJSPS科研費25700019の支援を受けた。

参考文献

- [1] Patrick Baudisch, Torsten Becker and Frederik Rudeck. Lumino: Tangible Blocks for Tabletop Computers Based on Glass Fiber Bundles. In *CHI'10*, pp. 1165–1174, April 2010.
- [2] Malte Weiss, Julie Wagner, Yvonne Jansen, Roger Jennings, Ramsin Khoshabeh, James D. Hollan and Jan Borchers. SLAP Widgets: Bridging the Gap Between Virtual and Physical Controls on Tabletops. In *CHI'09*, pp. 481–490, April 2009.
- [3] Jun Rekimoto and Yuji Ayatsuka. CyberCode: Designing Augmented Reality Environments with Visual Tags. In *DARE'00*, pp. 1–10, April 2000.
- [4] Y. Kawahara, S. Hodges, and B. S. Cook, and C. Zhang, and G. D. Abowd. Realtime Instant Inkjet Circuits: Lab-based Inkjet Printing to Support Rapid Prototyping of UbiComp Devices. In *UbiComp'13*, pp. 364–372, 2013.
- [5] 綾塚 祐二, 曆本 純一. Active CyberCode: 直接操作できる二次元コード. *WISS2005*, pp. 3–8, 2005.
- [6] 加藤 邦拓, 宮下 芳明. 紙窓: そこに置くだけで操作可能なカードインタフェース. *WISS 2013*, pp. 163–164, 2013.
- [7] 青木 良輔, 宮下 広夢, 井原 雅行, 大野 健彦, 千明 裕, 小林 稔, 鏡 慎吾. くるみる: 複数導電部をもつ枠型物理オブジェクトを用いたタブレット操作. *情報処理学会研究報告 HCI-144*, pp. 1–8, 2011.
- [8] 池松 香, 椎尾 一郎. Multi-Press Interaction: 疑似押下圧力を用いたマルチタッチ技法. *情報処理学会 インタラクション 2014*, pp. 401–404, 2014.
- [9] 中島 康祐, 伊藤 雄一, Simon Voelker, Christian Thoresen, Kjell Ivar Overgard, Jan Borchers. PUCs: 静電容量方式マルチタッチパネルにおけるユーザの接触を必要としないウィジェット検出手法. *情報処理学会 インタラクション 2014*, pp.108–113, 2014.
- [10] 加藤 邦拓, 宮下 芳明. 導電性インク複合機を用いたマルチタッチパターン生成手法. *情報処理学会研究報告*, pp.1–6, 2014.