SwipeMarker: 静電容量方式マルチタッチパネルにおけるスワイプ操作を用いたマーカ

川畑 裕也[1]　志築 文太郎[2]　高橋 伸[2]

概要：本稿において，静電容量方式マルチタッチパネルによって検出可能なマーカである SwipeMarker を示す．SwipeMarker は複数の導電体と非導電体を交互に並べた構造を持つ．マーカを構成する際に長さの異なる非導電体を用いることにより，導電体間の距離を変化させることができる．ユーザは，マーカをタッチパネル上に設置し，マーカ表面に対してスワイプ操作を行う．これによりマーカの導電体の位置に対応するタッチ点が連続してタッチパネル上に発生する．システムはこのタッチ点間の距離の長短の組み合わせを用いてマーカの認識を行う．本手法は 1 つずつ発生したタッチ点間の距離を用いて認識を行うため，タッチを発生させ続けることなくマーカの認識を行うことができる．

1. はじめに

近年，スマートフォンやタブレット端末など，静電容量方式マルチタッチディスプレイ（以下，タッチパネル）を搭載したデバイスが普及している．タッチパネルはボタンやスライダなど様々な操作用オブジェクトを表示することができるため，アプリケーションは用途毎に適したインタフェースを提供できる．一方，タッチパネルは平坦であるため，タッチパネルに表示された操作用オブジェクトに指で触れた際の触覚的なフィードバックに乏しいという問題がある．このため，ユーザは操作結果の認識をディスプレイに表示される視覚的なフィードバックに頼る必要がある．

この問題を解決するため，ユーザに触覚的なフィードバックを与える手法として，タッチパネルに設置することにより実物体ウィジェットを介してタッチパネル搭載デバイスに入力を与える手法や実物体マーカを設置することにより位置認識を行う手法が示されてきた [1–6]．これらの手法はタッチパネルの利点とユーザによる入力に触覚的なフィードバックを与えることができる利点を兼ね備えている．しかし，タッチパネルに複数のタッチ点を発生させ続けることによりマーカの位置認識を行う PUCs [6] において，タッチパネルの検出可能なタッチ点の数は一定であるため，同時に多くの PUCs を検出することができないという問題があった．また，TUIC [1]，Virtual Tangible Widgets [4]，および Gauss Brick [5] はウィジェットの検出にはタッチパネル以外に追加センサを必要とした．CapStones and ZebraWidgets [2]，および CapWidgets [3] は複数の入力を行うことができるが，ウィジェット本体の区別をつけることはできなかった．

そこで，我々はタッチパネル上に連続的にタッチ点を発生させ，その発生位置の距離を用いてタッチパネル搭載デバイスが検出を行うマーカである SwipeMarker（図 1）を示す．SwipeMarker は交互に並べられた複数の導電体と非導電体から構成される．ユーザは，システムにマーカを検出させるために，マーカをタッチパネルに設置し，この状態にてマーカ表面に対してスワイプ操作を行う．この際，ユーザの指がマーカを構成する導電体に触れると，指がタッチパネルに直接触れた場合と同様にタッチパネルにタッチ点が発生する．このため，マーカの導電体の位置に対応するタッチ点がスワイプ操作にともなって連続してタッチパネルに発生する．システムはこのタッチ点間の距離の長短の組み合わせを用いてマーカを検出する．また，ユーザがスワイプ操作を行わない限り，タッチパネルに SwipeMarker を設置してもタッチ点が発生しない．すなわち SwipeMarker はタッチパネルにタッチ点を発生させ続けることはないため，ユーザはタッチパネルに同時に多くの SwipeMarker を設置することができる．

本稿においては SwipeMarker の構成，実装，および SwipeMarker の検出手法を述べる．また，SwipeMarker を用いたアプリケーションを述べる．

1 筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻
Department of Computer Science, Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba
2 筑波大学システム情報系
Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

© 2016 Information Processing Society of Japan

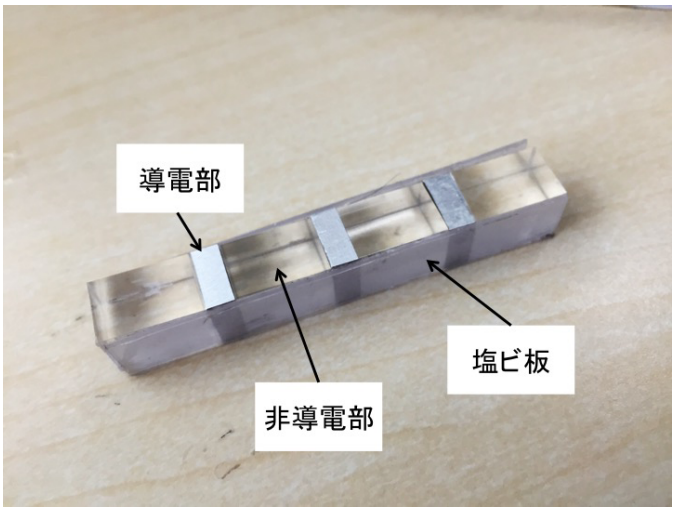


図 1: SwipeMarker

2. 関連研究

本節においてはタッチパネルにて用いる実物体ウィジェットの研究，および導電体を用いてタッチを拡張する研究を述べる．また，本研究と同様に連続して発生した入力を用いた研究を述べ，本研究の立ち位置を示す．

2.1 タッチパネルにて用いる実物体ウィジェットの研究

これまでにタッチパネルにて用いる実物体ウィジェットの研究が多くなされている．暦本らはタッチパネルにて実物体ウィジェットを検出する手法を示した [7]．また，Yu らが作製したマーカ [1] は電流を流すことによりタッチパネルとマーカ間の静電容量を変化させ，タッチパネルにタッチ点を発生させる．これによりシステムがマーカをその位置とともに検出する．Chan らの作製したマーカ [2] は表面とタッチパネルとの接触面を電気的に接続している．これによりユーザがマーカをタッチパネルに設置するとタッチ点が発生する．システムはこのタッチ点の数と位置からマーカを検出する．Kratz らはタッチパネル上で積み重ねて使用するブロック型コントローラを作製した [3]．Tokunaga らはタッチパネルで使用するタンジブルなマーカを作製した [4]．また， Liang らはタブレットに接続したホールアレイセンサによりマーカにつけた磁石の磁力を測定することにより，マーカの位置検出を行った [5]．Voelker らはタッチパネル上の 2 点を電気的に接続することによりユーザの接触なしで検出可能なウィジェットである PUCs [6] を示した．

本研究はこれらの研究と同様に，タッチパネル上にて用いる実物体マーカを作製した．一方，これらの研究と異なり，マーカの検出に SwipeMarker へのスワイプ操作によって発生したタッチ点の位置関係を用いる．

2.2 導電体を用いてタッチを拡張する研究

SwipeMarker は導電体と非導電体により構成されている．ユーザがタッチパネルに設置した SwipeMarker の導電体に触れることにより，タッチパネルに直接触れることなくタッチ点を発生させる．このように導電体を用いてタッチパネルに間接的に発生させたタッチを用いる研究はすでに存在する．ExtensionSticker [8] は導電インクを介してタッチパネルの外の領域を操作領域として拡張する．これにより，タッチパネル外の領域においてもタッチパネルへと同様の入力を行うことができる．また，Chan らの作製したマーカ [2]，Bianchi の作製した eTab [9]，Kato らの作製したインタフェース [10]，紙窓 [11]，および CapWidget [3] は導電体を用いて表面とタッチパネルとの接触面を電気的に接続している実物体ウィジェットである．システムはユーザが導電体に触れることによりタッチパネルに発生するタッチ点を用いて実物体ウィジェットの位置を検出する．また，CapacitiveMarker [12] は導電性インクと AR マーカを用いて，それぞれタッチパネルと接触している時と非接触の時の両者においてマーカを検出する．

本研究もこれらの研究と同様に導電体を介してタッチを発生させる．しかし，これらの研究におけるマーカの検出手法と本研究の検出手法は異なる．これらの研究は同時に発生したマーカによるタッチ点の発生位置を用いて検出を行うが，本研究は複数回の連続したタッチ点の発生位置を用いたマーカの検出を行う．

2.3 連続したタッチ点を検出する手法

本研究は，SwipeMarker の検出に連続して発生したタッチ点の位置関係を用いる．本研究と同様に，連続して発生した入力を用いる研究として Acoustic Barcodes [13] が挙げられる．Acoustic Barcodes は実物体表面に刻まれた凹凸から構成されるマーカである．なぞられた際に連続して発生する音から検出される．また，MonoTouch [14] は複数に分割された電極から構成されたタッチセンサである．ユーザが電極をなぞった際に複数回のタッチを発生させることにより複数種類のタッチジェスチャを検出する．本研究も同様に連続した入力の検出を行うが，タッチパネルを対象とする点において異なる．

3. 検出手法および実装

タッチパネル搭載デバイスが SwipeMarker を検出する手法と SwipeMarker の実装を述べる．以降，SwipeMarker の各部位の呼称を図 2 のように定義する．

3.1 SwipeMarker の検出手法

タッチパネルに設置された SwipeMarker を検出するためには，SwipeMarker により発生したタッチとユーザの指によるタッチを区別する必要がある．そこで本手法におい

© 2016 Information Processing Society of Japan

ては，ユーザの指によるタッチの反応と異なるタッチを SwipeMarker へのスワイプ操作を通して発生させることにより，SwipeMarker の検出を行う．

SwipeMarker は，交互に並べられた複数の導電部とそれらを隔てる非導電部から構成される（図 2）．ユーザが導電部に触れると，マーカの導電部を介して，タッチパネルにユーザが直接触れた場合と同様にタッチ点が発生する．ユーザがタッチパネル上の SwipeMarker の表面に対してスワイプ操作を行うことにより，SwipeMarker の導電部の位置に対応するタッチ点が連続してタッチパネル上に発生する．そのため，タッチパネルの発生するタッチ点間の距離は SwipeMarker の導電部間の距離と等しくなる．例えば，導電部を 3 つ持つ SwipeMarker の場合，発生するタッチ点は 3 点となる．1 点目と 2 点目の導電部間の距離と 2 点目と 3 点目の導電部間の距離はそれぞれ対応する SwipeMarker の非導電部の長さと等しい．この時に発生するタッチ点間の距離が，既知である SwipeMarker として発生しうる導電部間の間隔と一致した場合にシステムは SwipeMarker によるタッチであると認識する．

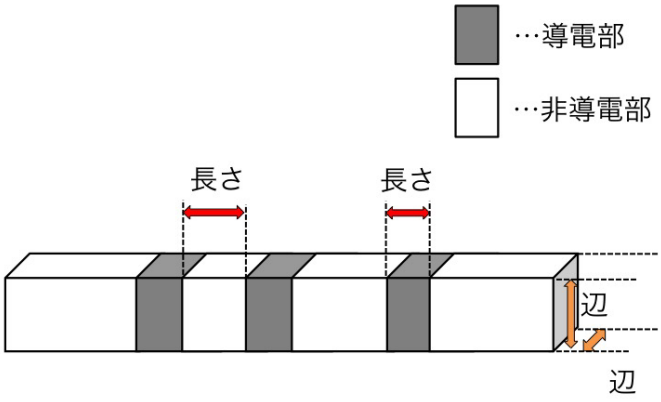


図 2: SwipeMarker の構成

検出可能な SwipeMarker の数を増やすには次の 2 種類の方法がある．1 つは非導電部の長さを変える，もしくは組み合わせて用いる方法である．例えば，長さの異なる 2 種類の非導電部 A，B を用いると，3 種類の SwipeMarker を作製することができる（図 3）．また，非導電部として A と B をそれぞれ 1 本ずつ用いた場合，左方向からスワイプすると導電部間距離が A，B の順になるようにタッチが発生し，右方向からスワイプすると導電部距離が B，A の順になるようにタッチが発生する．このように，左右に非対称な SwipeMarker を構成することにより，ユーザが SwipeMarker にスワイプ操作を行った方向を検出することもできる．もう 1 つは，SwipeMarker の作製に用いる導電部の数を増やす方法である．

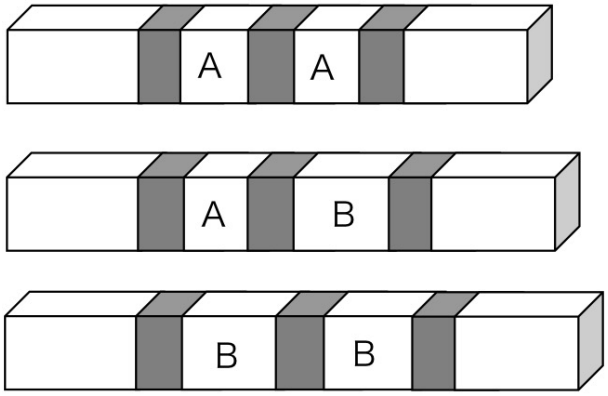


図 3: 2 種類の非導電部によって作製可能な SwipeMarker

3.2 SwipeMarker の実装

導電部として 1 辺が 10 mm，長さが 1 mm，2 mm，…，5 mm の 5 種類のアルミ板を用いた．また，非導電部として 1 辺が 10 mm，長さが 5 mm，6 mm，…，15 mm の 10 種類のアクリル板を用いた．また，これらの板を組み合わせるために，アルミ板とアクリル板を厚さ 0.7 mm のポリ塩化ビニル板に両面テープ（ニチバン株式会社 NW15SECOSE）を用いて貼り付けて固定した．

4. 予備調査

導電部と非導電部の長さを大つかみに決めるための予備調査を行った．まず，1 辺が 10 mm，長さが 5 mm，10 mm，15 mm のそれぞれ 3 種類のアルミ板とアクリル板を導電部および非導電部として用いて SwipeMarker を作製した．調査に用いた SwipeMarker は図 1 のように同じ長さの 3 つの導電部とその間を埋める同じ長さの 2 つの非導電部とによって構成した．これを iPad（第 4 世代，9.7 インチ，解像度 2048 × 1536 ピクセル）および 3M マルチタッチディスプレイ C3266PW（32 インチ，解像度 1920 × 1080 ピクセル）上に設置し，表面に対してスワイプ操作を行った．

予備調査の結果，非導電部として，長さが 5 mm のアクリル板を用いた場合，3 つのタッチ点を発生させることができなかった．これは，導電部同士の距離が近いため，タッチパネルが隣り合うタッチ点を同一のものと判定したためであると考えられる．一方，非導電部として，長さが 10 mm や 15 mm のアクリル板を用いた場合はこの現象は見られなかった．そのため，非導電部の長さが 5 mm から 10 mm の間に，タッチパネルが 2 つのタッチ点を 1 点として認識する距離と異なる点として認識する距離の境界があると考えられる．そこで，適切な非導電部の長さを調べる実験を更に行うこととした．

© 2016 Information Processing Society of Japan

5. SwipeMarker の評価実験

SwipeMarker の非導電部として用いるために適切な長さを調査するため，評価実験を行った．

5.1 実験概要

SwipeMarker の導電部として 1 辺が 10 mm，長さが 1 mm，2 mm，…，4 mm のアルミ板，非導電部として 1 辺が 10 mm，長さが 6 mm，7 mm，…，15 mm のアクリル板を用いた．実験に用いた SwipeMarker は図 1 のように同じ長さの 3 つの導電部とその間を埋める同じ長さの 2 つの非導電部によって構成される．そのため，各 SwipeMarker の検出に用いる導電部間距離は 2 箇所存在する．

実験は，著者が SwipeMarker をタッチパネルに設置し，それぞれ異なる場所で 10 回のスワイプ操作を行った．各マーカに対して 10 スワイプ × 2 箇所の計 20 箇所の導電部間距離を測定した．

マーカのタッチ点の検出を行うタッチパネルとして，予備調査と同様に 3M マルチタッチディスプレイ C3266PW を用いた．また，タッチ点を記録し，導電部間距離を算出するアプリケーションについては Windows Presentation Foundation を用いて実装を行い，上記のタッチパネルと接続した ThinkPad X220i 上にて実行した．

5.2 実験結果

各導電部における導電部間距離の平均を図 4 に，導電部間距離の最大値，最小値を図 5 に示す．図 4 のエラーバーは標準偏差を示す．導電部が 1 mm の場合と非導電部が 5 mm，6 mm の場合はすべての導電部，非導電部の場合において導電部間距離を測定することができなかった．また，導電部が 2 mm，非導電部が 7 mm のマーカにおいて，導電部間距離を測定することができなかった．

5.3 考察

1 mm 以外のいずれの導電部を用いた場合においても，非導電部の長さが長くなるごとに導電部間距離の平均が長くなっていくことがわかった．一方で，非導電部の長さが長くなっても導電部間距離の最大値，最小値は長くならない場合があった．このため，1 回のスワイプによって測定できる導電部間距離は平均から離れた値が出ることがあるが，検出回数を増やした場合は非導電部の長さを長くするほど導電部間距離は長くなると考えられる．

また，非導電部の長さが導電部間距離に有意な差を及ぼすか検討を行った．IBM SPSS Statistics Version 22 を用いて，ノンパラメトリック検定を行った．各非導電部の組み合わせにおける有意確率を図 6 に示す．

この結果から，非導電部の長さが 4 mm 以上離れている

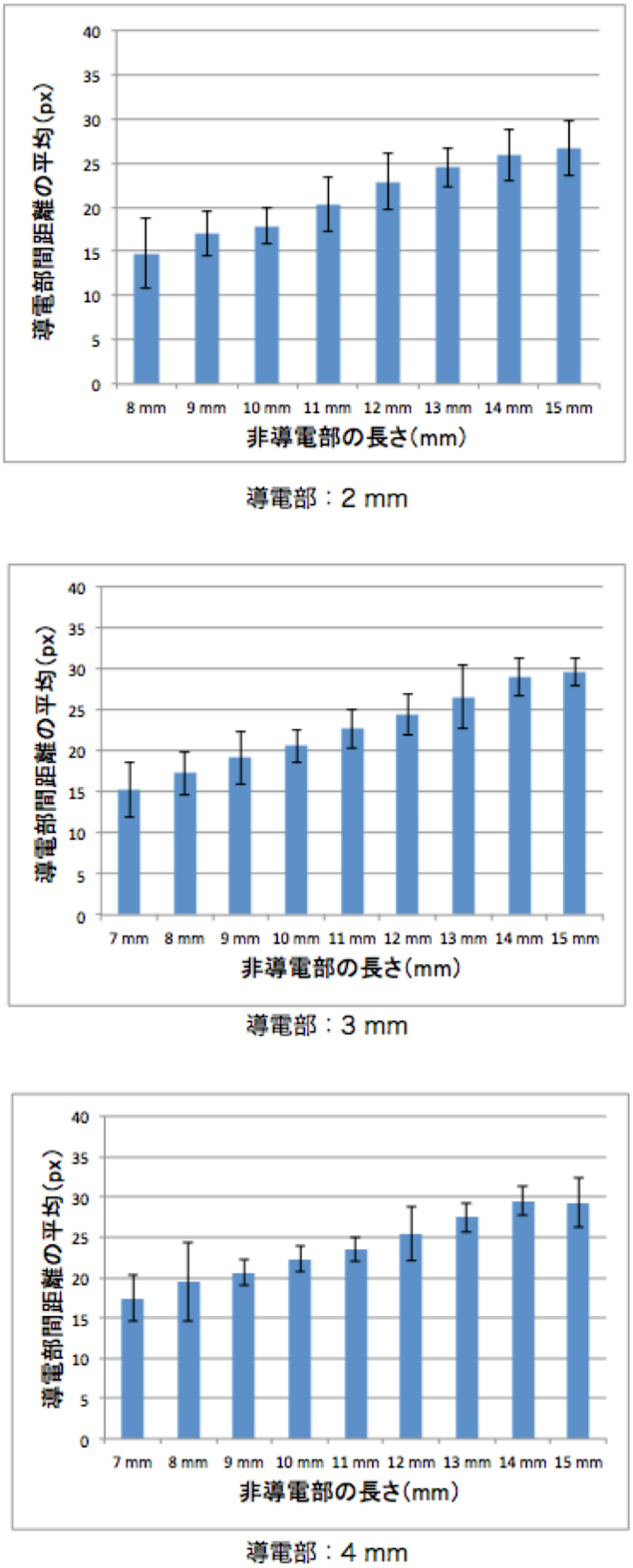
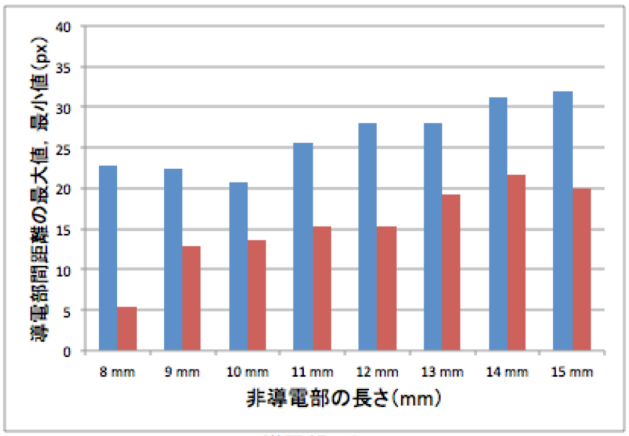


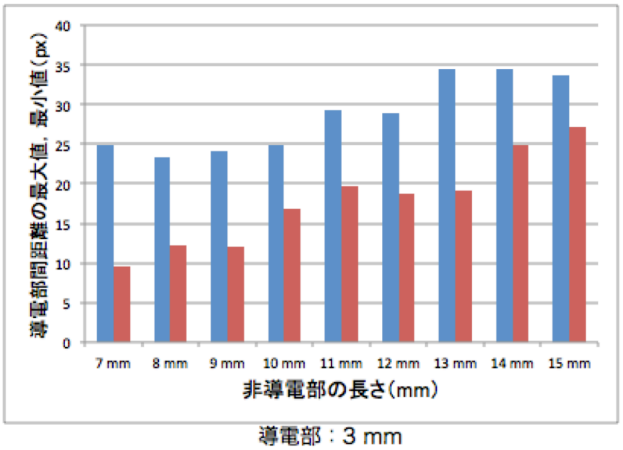
図 4: 各導電部にて算出した導電部間距離の平均（エラーバーは標準偏差を表す）

すべての組み合わせにおいて導電部間距離に有意差があるといえる．そのため，4 mm ずつ長さの異なる非導電部を用いて SwipeMarker を構成することにより検出可能であると考えられる．例えば，長さが 3 mm の導電部と長さが

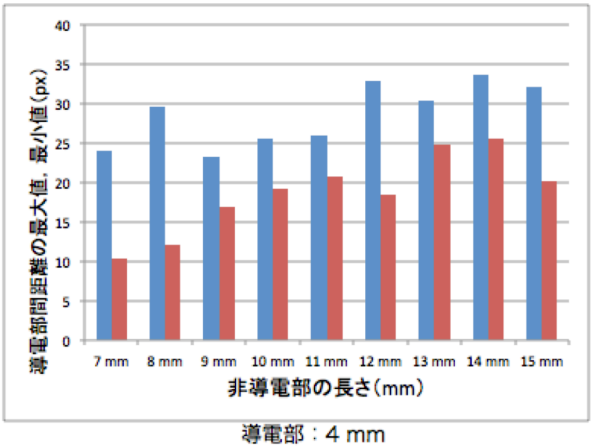
© 2016 Information Processing Society of Japan



導電部：2 mm



導電部：3 mm



導電部：4 mm

図 5: 各導電部にて算出した導電部間距離の最大値，最小値

7 mm，11 mm，15 mm の 3 種類の非導電部を用いることにより，それぞれ識別可能な SwipeMarker を作製することができると考えられる．

6. アプリケーション

6.1 機能呼び出し

暦本らの DataTiles [15] を参考に，タイル型の SwipeMarker を作製した．今回作製したタイル型 SwipeMarker は，評価実験に使用したタッチパネルである 3M マルチタッチディスプレイ C3266PW の画面を 3 × 4 に分割したサイズのプラスチック板およびその長辺に沿うように載せられ両面テープで接着されている SwipeMarker から構成される．

それぞれのタイル型 SwipeMarker には固有の機能を割り当ててあり，またその機能を操作するのに適した触覚フィーバックを与えられるように，プラスチック板に加工を施した．例えば，電卓機能を割り当てられたタイル型 SwipeMarker のプラスチック板にはキーの周囲に溝を掘った（図 7）．

6.2 SwipeMarker によるユーザ認証

SwipeMarker を用いたアプリケーションとして機能呼び出しの他に，SwipeMarker を物理的な鍵として用いるユーザ認証手法を検討している．このアプリケーションは複数のユーザが一つのタッチパネル搭載デバイスを利用する場合を想定する．複数のユーザがそれぞれ固有の導電部間距離のパターンを持つマーカを所持する．デバイスのログイン画面においてユーザはタッチパネルにマーカを設置し，スワイプ操作を行う．この操作によりタッチパネルはマーカのパターンを検出し，これに対応するユーザとして認証し，デバイスにログインすることができる．本アプリケーションは，スワイプ操作を用いてマーカの認証を行うため，ユーザが認証を行いたいタイミングでユーザ認証を行うことができる．本アプリケーションは，パスコード認証と異なり，SwipeMarker へスワイプ操作を行うことによりユーザの認証ができるため，他のユーザに入力時にパスコードを盗み見られることはない．また，指紋認証と異なり，タッチパネルのみで認証を行うことができるため，追加のデバイスを必要としない．

7. まとめ

本稿において我々はタッチパネル上にてスワイプ操作を行うことにより検出することができるマーカ SwipeMarker を示し，タッチパネルによる検出手法を述べた．また，このマーカ，およびタッチパネル上にて SwipeMarker の検出を行うシステムを制作した．このマーカを用いた評価実験の結果，スワイプ操作によるマーカの検出が可能であることを示した．またアプリケーションを示した．

今後の展望として，SwipeMarker の検出精度を測定するための被験者実験を行う計画である．また，SwipeMarker を用いた機能呼び出しシステムのさらなる実装とユーザ認証システムの実装を行う予定である．

© 2016 Information Processing Society of Japan

非導電部の長さ（mm）

非導電部の長さ（mm）	9	10	11	12	13	14	15
8	1.000	1.000	0.102	0.000	0.000	0.000	0.000
9		1.000	0.967	0.003	0.000	0.000	0.000
10			1.000	0.024	0.000	0.000	0.000
11				1.000	0.132	0.015	0.002
12					1.000	1.000	0.810
13						1.000	1.000
14							1.000

導電部：2 mm

非導電部の長さ（mm）

非導電部の長さ（mm）	8	9	10	11	12	13	14	15
7	1.000	1.000	0.382	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
8		1.000	1.000	0.046	0.000	0.000	0.000	0.000
9			1.000	0.829	0.023	0.000	0.000	0.000
10				1.000	0.347	0.010	0.000	0.000
11					1.000	1.000	0.011	0.002
12						1.000	0.480	0.132
13							1.000	1.000
14								1.000

導電部：3 mm

非導電部の長さ（mm）

非導電部の長さ（mm）	8	9	10	11	12	13	14	15
7	1.000	1.000	0.108	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000
8		1.000	1.000	0.444	0.006	0.000	0.000	0.000
9			1.000	1.000	0.029	0.000	0.000	0.000
10				1.000	1.000	0.015	0.000	0.000
11					1.000	0.275	0.006	0.003
12						1.000	0.434	0.272
13							1.000	1.000
14								1.000

導電部：4 mm

… $p < 0.05$ (*)
… $p < 0.01$ (**)
… $p < 0.001$ (***)

図 6: 各導電部にて算出した導電部間距離の分散分析による有意確率

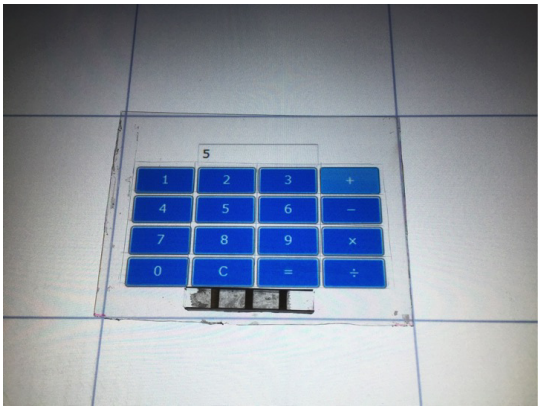


図 7: アプリケーション（機能呼び出し）

参考文献

[1] Yu, N.-H., Chan, L.-W., Lau, S. Y., Tsai, S.-S., Hsiao, I.-C., Tsai, D.-J., Hsiao, F.-I., Cheng, L.-P., Chen, M., Huang, P. and Hung, Y.-P.: TUIC: Enabling Tangible Interaction on Capacitive Multi-touch Displays, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, pp. 2995–3004, ACM (2011).

[2] Chan, L., Müller, S., Roudaut, A. and Baudisch, P.: CapStones and ZebraWidgets: Sensing Stacks of Building Blocks, Dials and Sliders on Capacitive Touch Screens, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, pp. 2189–2192 (2012).

[3] Kratz, S., Westermann, T., Rohs, M. and Essl, G.: CapWidgets: Tangile Widgets Versus Multi-touch Controls on Mobile Devices, in *Proceedings of CHI '11 Extended*

Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '11, pp. 1351–1356, New York, NY, USA (2011), ACM.

[4] Tokunaga, E., Kimura, H., Kobayashi, N. and Nakajima, T.: Virtual Tangible Widgets: Seamless Universal Interaction with Personal Sensing Devices, in *Proceedings of the 7th International Conference on Multimodal Interfaces*, ICMI '05, pp. 325–332, New York, NY, USA (2005), ACM.

[5] Liang, R.-H., Chan, L., Tseng, H.-Y., Kuo, H.-C., Huang, D.-Y., Yang, D.-N. and Chen, B.-Y.: GaussBricks: Magnetic Building Blocks for Constructive Tangible Interactions on Portable Displays, in *Proceedings of the 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 3153–3162, New York, NY, USA (2014), ACM.

[6] Voelker, S., Nakajima, K., Thoresen, C., Itoh, Y., Overgrd, K. I. and Borchers, J.: PUCs: Detecting Transparent, Passive Untouched Capacitive Widgets on Unmodified Multi-touch Displays, ITS '13, pp. 101–104, New York, NY, USA (2013), ACM.

[7] Rekimoto, J.: SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '02, pp. 113–120, New York, NY, USA (2002), ACM.

[8] Kato, K. and Miyashita, H.: ExtensionSticker: A Proposal for a Striped Pattern Sticker to Extend Touch Interfaces and Its Assessment, in *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 1851–1854, New York, NY, USA (2015), ACM.

[9] Bianchi, A., Ban, S.-R. and Oakley, I.: Designing a Physical Aid to Support Active Reading on Tablets, in *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '15, pp. 699–708, New York, NY, USA (2015), ACM.

[10] Kato, K. and Miyashita, H.: 3D Printed Physical Interfaces That Can Extend Touch Devices, in *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '16 Adjunct, pp. 47–49, New York, NY, USA (2016), ACM.

[11] 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 '13: 第 21 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, pp. 163–164 (2013).

[12] Ikeda, K. and Tsukada, K.: CapacitiveMarker: Novel Interaction Method Using Visual Marker Integrated with Conductive Pattern, in *Proceedingds of the 6th Augmented Human International Conference*, AH '15, pp. 225–226, New York, NY, USA (2015), ACM.

[13] Harrison, C., Xiao, R. and Hudson, S.: Acoustic Barcodes: Passive, Durable and Inexpensive Notched Identification Tags, in *Proceedings of the 25th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '12, pp. 563–568, New York, NY, USA (2012).

[14] 高田崚介, 志築文太郎, 田中二郎：MonoTouch：複数ジェスチャ判別が可能な単一電極タッチセンサ, WISS '15: 第 23 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, pp. 91–96 (2015).

[15] Rekimoto, J., Ullmer, B. and Oba, H.: DataTiles: A Modular Platform for Mixed Physical and Graphical Interactions, in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '01, pp. 269–276, New York, NY, USA (2001), ACM.

© 2016 Information Processing Society of Japan