

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

中島康祐^{†1} 伊藤雄一^{†1} Simon Voelker^{†2}
Christian Thoresen^{†3} Kjell Ivar Øvergård^{†3} Jan Borchers^{†2}

本稿では、ユーザが触れていない間でも静電容量式マルチタッチパネルによって継続的に位置検出が可能な物理的ウィジェットとして PUCs を提案する。市販されている静電容量方式のマルチタッチパネルを使ったデバイスはパッシブな物体の接触はタッチとして検出しないように実装されている。我々は静電容量方式のタッチ検出技術を踏まえ、パッシブかつ、ユーザの接触なしで検出可能なウィジェットの構成について検討する。実装した PUCs を 17 種類の市販されているマルチタッチデバイスの上で評価し、提案手法が様々なデバイスに適用可能であることを確認した。

PUCs: Detecting Transparent, Passive Untouched Capacitive Widgets on Unmodified Multi-touch Displays

Kosuke Nakajima^{†1} Yuichi Itoh^{†1} Simon Voelker^{†2}
Christian Thoresen^{†3} Kjell Ivar Øvergård^{†3} Jan Borchers^{†2}

Capacitive multi-touch displays are not designed to detect passive objects placed on them—in fact, these systems usually contain filters to actively reject such touch data. We present a technical analysis of this problem and introduce Passive Untouched Capacitive Widgets (PUCs). Unlike previous approaches, PUCs do not require power, they can be made entirely transparent, they are detected reliably even when no user is touching them, and they do not require internal electrical or software modifications of the touch display or its driver. We show the results from testing PUCs on 17 different off-the-shelf capacitive touch display models, and provide initial technical design recommendations.

1. はじめに

マルチタッチディスプレイでは表示されたコンテンツに直接指示操作ができる。また、ボタンやスライダなどの操作対象を任意の位置に表示できるため、操作のためのインタフェースをインタラクションの状況に連動して柔軟に変えられ、ユーザにとって適切なマッピングを維持でき、直感的な操作を提供しやすくなった。一方で、物理的なキーやスライダに比べると触覚的な手がかりに乏しく、操作するためには操作箇所を注視する必要があった。また、ユーザはボタンの押下などの入力を受理されたことを確認するために視覚的なフィードバックを待たねばならない。

こうしたマルチタッチディスプレイに対して物理的なウィジェットをタッチディスプレイ上に置き、ウィジェットを介してタッチディスプレイに入力する手法が提案されてきた[5, 6, 8]。これらは、タッチディスプレイの利点と、実物体の持つ触覚的な手がかりとを兼ね備えた入力手法を実現している。市場で入手できるマルチタッチデバイスの多くが静電容量式を採用していることもあり、静電容量式マルチタッチディスプレイの上で利用可能なウィジェットについて様々な提案がなされてきた[3, 4, 10]。

しかし、こうした静電容量式タッチパネルがウィジェットを検出するためには、ユーザの身体がウィジェットに触れて、十分な静電容量を与える必要がある。そのため、システムがウィジェットを常時検出して位置をトラッキングするためには、ユーザはウィジェットの導電性を持つ部分に触れ続ける必要があった。また、このようなウィジェット検出では、システムはユーザがウィジェットから単に手を離れた場合と、ウィジェットがタッチパネル上から取り除かれた場合とを厳密に区別することが難しい。どちらの



図1 iPad 上の PUCs widget. ブリッジマーカでの実装(左)とリングマーカでの実装(中央)。右は iPad の適応的なフィルタを無効化するためのタッチ点。

Figure 1. PUCs widgets on an iPad: a transparent Bridget PUC (left) and a Ring PUC (center). The clip to permanently ground a touch point and override the iPad's adaptive filter can be seen on the right.

^{†1} 大阪大学
Osaka University
^{†2} アーヘン工科大学
RWTH Aachen University
^{†3} Buskerud and Vestfold University College

場合でもタッチ検出が消失するだけであるため、ユーザの操作を適切に識別できない恐れがある。また、ユーザが触れていないウィジェットがパネル上で移動した場合（ウィジェットをパネル上で滑らせて、慣性で移動した場合や、絶縁体でウィジェットに触れて移動させた場合など）には、ユーザが触れていない間の移動を検出することができず、システムが認識するウィジェット位置が実際のウィジェットの位置からずれてしまうという問題もある。

そこで本稿では、市販の静電容量式マルチタッチデバイスの上で継続的にトラッキングが可能なウィジェットとして PUCs (Passive Untouched Capacitive widgets) を提案する。図 1 に実装した PUCs を示す。このウィジェットはごく単純な構造でありながら、ユーザの接触がなくてもシステムによって位置を検出することが可能となっている。本稿では実装した PUCs について詳細を述べ、様々なタッチパネル上で位置検出が可能であることを評価する。

2. 関連研究

2.1 タッチパネル上で用いるウィジェット

静電容量方式のタッチパネルの上で物理的なウィジェットを用いるというコンセプトは SmartSkin において提案されている[6]。その後も静電容量方式のマルチタッチタッチパネルを採用したスマートフォンやタブレット端末の上で用いる様々なウィジェットが提案されている[4, 5, 10]。Jansen らはウィジェットを貼り付けたタブレットを大画面ディスプレイのリモコンとして用いることを提案している[4]。ウィジェットなしのタブレットでの操作と比較した実験では、スライダの操作精度が向上することや、スライダのつまみを獲得しやすいことを明らかにしている。また、Yu らはスマートフォンにボタンを付与する方法を提案し、エンタテインメント等への応用を示している[10]。こうしたウィジェットに関連した技術は商用製品にも応用され¹、広がりを見せている。ボタンやスライダなどをウィジェットとして配置すれば、操作箇所²に触覚的な手がかりを付与できるため、視覚的な注意を払わなくても操作しやすくなる。また、タッチパネル上の操作に触覚フィードバックを導入できることもこうした技術の特徴である。本稿ではこうしたウィジェットを用いたインタラクションの応用範囲や設計方法を広げる新たな検出手法を提案する。

2.2 ウィジェットの認識手法

タッチパネル上に配置して用いるウィジェットは、タッチ検出方式に合わせて様々な設計されてきた。特にここではカメラベースの認識手法と、静電容量方式のタッチパネルのための手法に関して述べる。

マルチタッチパネルのうち、スクリーンの背面に設置した赤外線カメラを用いてタッチ検出をするものでは、赤外線³を反射するマーカを用いて比較的容易にウィジェットを

認識できる[2, 8]。これらの手法はウィジェットの底面にあるマーカを画像認識して位置や方向を検出している。しかし、画像認識に基づくタッチディスプレイでは次のような制約がある。第一に、ウィジェットにユーザが触れただけではマーカに変化が生じないため、ユーザがウィジェットに触れたことを検出できない。第二に、筐体内にカメラが画面全体を捉えるための空間が必要で、タッチパネルの筐体が大型化しがちである。第三に、赤外線を検出する方式では屋外での利用や周囲に強い赤外光源がある場合にウィジェット認識を含めたタッチ認識が困難になる。

これに対して、静電容量方式のタッチパネルを用いた場合、ディスプレイは小型化でき、屋外でも利用可能となる。しかし、静電容量方式のタッチパネルで利用できるウィジェットでは、基本的にユーザが触れている間のみシステムがウィジェットの位置をトラッキングするため、システムが認識した位置と実際のウィジェットの位置がずれてしまう場合がある。また、ウィジェットをタッチパネルから取り除いたことと、単にウィジェットから手を離れたこととをシステムが区別することが難しい。これら2つの状況を区別するために、ウィジェットが発生させているタッチ点が一斉に消失するか、あるいは順番に消失するかをシステムで検出するという方法が考えられる[3]。しかし、この方法でウィジェットを取り除いたことと、手を離れたことを精度よく識別できたとしても、触れられていないウィジェットの移動を検出できない問題が残る。アクティブな素子を含んだウィジェットでは常時検出が可能となったが[9]、充電の手間や、複雑な構成、実装コストの上昇などの問題が伴う。

我々は静電容量方式のタッチパネルにおいてユーザが触れなくても検出可能なウィジェットを、アクティブな素子を持たない構成で実現し、静電容量方式のタッチパネル向けのウィジェットに新たなインタラクション手法をもたらす。

3. 静電容量によるタッチ検出手法

まず、静電容量方式のマルチタッチディスプレイのタッチ検出方法について述べ、その上でタッチ検出をユーザの接触なしに発生させる方法について検討する。

静電容量方式のマルチタッチディスプレイは、接地された導電体（人間の手指など）がスクリーンに近接した場合にタッチを検出する。検出にはディスプレイパネルの表面に配置された透明電極が用いられる。静電容量方式には主に自己容量方式と相互容量方式の二種類があるが[1]、マルチタッチデバイスの実装には相互容量方式が盛んに用いられている。本稿でも相互容量方式のマルチタッチパネルを対象にウィジェットの構成を検討する。

相互容量方式のマルチタッチパネルは、短冊状の透明電極を縦横に並べ、格子状に並べた構造を内部に持っている

¹ Fling game controller, tenonedesign.com

[6]. 縦と横に並ぶ電極群のうち、片方向を送信側 (Tx) とし、もう片方の電極群を受信側 (Rx) として扱う。タッチ検出においては、ある 1 つの Tx 電極に信号が印加され、その Tx とある Rx との交差点に存在する静電結合がそれと交差する Rx に信号を伝搬する[6]. こうして Rx に伝搬された信号を測定することでシステムは Tx と Rx 間の静電容量を計測している。人間の手指のような接地した導電体が Rx-Tx の交差点に接近した場合、Rx-Tx 間の電界は減少する[11]. この電界の変化を計測することで、タッチを検出する仕組みとなっている。

現在市販されているマルチタッチデバイスの多くは幅 5 mm 前後の電極で実装されているため、人間の手指が接近した場合は 1 つ以上の電極の交点において電界の変化が生じる。従って、タッチパネルでは複数の交点で検出された静電容量の変化を基に、手指のタッチ位置を算出して出力している。特に手指でのタッチに最適化されたマルチタッチパネルの場合には、静電容量の変化が楕円形の領域に生じているかどうかなどの条件を設けて、意図しないタッチイベントや手指以外の物体の接触などを無視するような仕組みが設けられている場合もある。

したがって、こうした相互容量方式のマルチタッチパネルにタッチを検出させる条件は以下の通りである。

1. Tx-Rx の交点に閾値以上の静電容量の変化を発生させる
2. タッチ検出されるサイズや形状のマーカ (タッチパネルに触れる部分) を使用する

以下、4 章でこの 2 つの条件をどのように実現するかについて詳細を述べる。

4. 静電容量変化のためのマーカの接地手法

相互容量方式タッチパネルの特性を踏まえ、ウィジェットがウィジェットのみでタッチ検出を発生させるには先の 2 つの条件を満たす必要がある。まず、本章では条件 1 の静電容量の変化を生じさせるために、ウィジェットのマーカを接地させる方法を検討する。条件 2 のタッチ検出されるマーカのサイズや形状などの設計指針については 5 章にて検討する。

マーカを接地する方法として、多くのウィジェットはユーザの身体と電氣的に導通させることを利用してきた[6]. この方法ではシステムがウィジェットを継続的に検出するためにユーザがマーカに繋がる導電性の部分に触れておく必要があった。このようなウィジェットは単にユーザの手指を延長するようにしてタッチを発生させているので、ユーザが手を離せばタッチも消失する。その他の方法として、マーカやウィジェットを有線で接地するという方法も考えられるが、こうした実装はユーザがウィジェットを自由に動かしたり取り除いたりすることを妨げてしまう。

そこで我々は、マーカの直下に存在する電極の格子点の

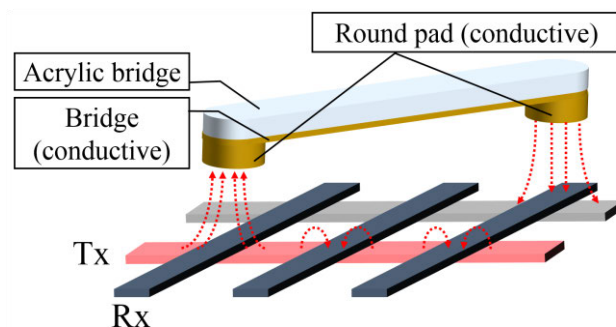


図 2 ブリッジマーカ。赤線は静電結合を示す。

Figure 2. Basic concept of a Bridge Marker. Red connections indicate capacitive coupling.

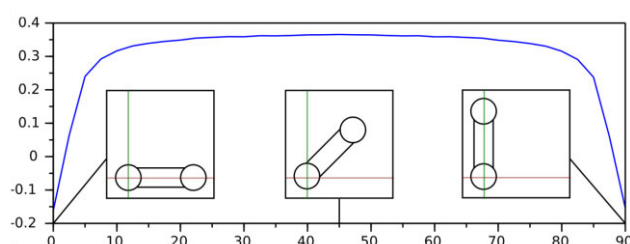


図 3 ブリッジマーカの配置方向の変化と電極間の静電容量の変化に関するシミュレーション結果。

Figure 3. Simulated decrease in intersection capacitance below a pad for different orientations of a Bridge marker.

Scale: 0 is base capacitance, 1 is capacitance for grounded conductor in contact with display.

静電容量を変化させるために、タッチパネルの別の領域を接地点として用いる手法を提案する。導電体でできた 2 つ以上のマーカを電氣的に接続しておくことで、ある格子点の計測が行われている時には、それ以外のマーカの領域が接地点として機能し、十分な静電容量の変化を発生させることができる。これによって、アクティブな素子やユーザの接触を用いることなく、タッチパネルにタッチを発生させることが可能なマーカを構成することが可能となる。

この検出原理を用いた最も単純なマーカパターンとして、ブリッジマーカがある。図 2 にブリッジマーカの概要を示す。ブリッジマーカは導電体でできた 2 つのマーカをつないだ単純な構造となっている。片方のマーカの直下に存在する Tx 電極に信号が印加された時、もう一方のマーカの直下にある別の電極は接地レベルにあり、マーカとこの電極が静電結合していることで計測地点の静電容量を変化させることができる。こうして各マーカの直下の静電容量が計測される時には、残りのマーカがタッチパネルの別の部分と静電結合することでタッチが検出されるために十分な静電容量の変化を相互に引き起こすことができる。

ただし、タッチパネル内の電極に沿ってブリッジマーカ

が置かれた場合には、マーカがタッチとして検出されなくなる。実際にはディスプレイの長辺や短辺に平行な向きにブリッジマーカが配置された場合に検出されなくなることが観察された。多くのタッチパネルでは電極は縦横に格子状に配列されているためであると考えられる。

この現象を確認するために、格子状に並ぶ電極の間の静電容量と、電極とブリッジマーカの間の静電容量を有限要素法を用いた電磁界シミュレータである FEMM²によって 2 次元的なモデルでシミュレートし算出した。その結果を図 3 に示す。特にマーカの向きと電極間の静電容量の変化の関係に着目し、基準となる静電容量からの変化を示した。図より、静電容量は電極と平行な向きに近づくとき極端に変化することが分かる。こうした変化は、縦横のいずれかの方向に配置されたブリッジマーカがタッチパネルに検出されなかった現象とよく対応している。ブリッジマーカは単純な構成ではあるが、電極と平行に配置されたマーカが検出されないという制約を持つことが確認できる。

そこで、こうした制約を受けないマーカパターンとして、リングマーカを提案する。図 4 にその概要を示す。このマーカパターンでは、3 つ以上のマーカがリング状の導電体によって電氣的に接続されている。また、リング部分の導電体はタッチパネルの面からごくわずかに浮かせてあり、完全にパネルと接触しているのはマーカの部分のみとなっている。この構成では、あるマーカの直下の静電容量が計測される際には、他のマーカが接地点として振る舞うほか、リング部分もわずかにパネル内部の電極と静電結合する。これにより、ウィジェットの向きにかかわらず、どのマーカもその直下にある Rx や Tx とは異なる電極と結合できるようになり、安定してタッチを発生させることができる。また、リング状の部分はわずかにタッチパネルから浮かせることでタッチ検出されないように配慮してある。

なお、リングマーカ以外にも、提案した原理を用いれば様々なマーカパターンでウィジェットを実装することが可能であると考えられる。例えば、タッチパネルから浮かせたリング部分で十分な静電結合を確保できる場合には、単一のマーカにこれを接続して、1 つのタッチだけを発生するようなマーカも設計可能であると考えられる。

また、提案するウィジェットでは、アクティブな素子を用いずに実装することが可能である。そのため、安価で手軽にマルチタッチパネルで認識できるウィジェットを実装できる。また、マーカやマーカ間の接続に用いる導電体を、ITO（酸化インジウムスズ）などの透明な導電体で実装すれば、ウィジェット全体を透明にすることも可能である。このような透明ウィジェットでは、タッチパネルの表示を変えることでウィジェット内に視覚的な情報を提示することが可能である。ITO フィルム自体は薄い透明なプラスチ

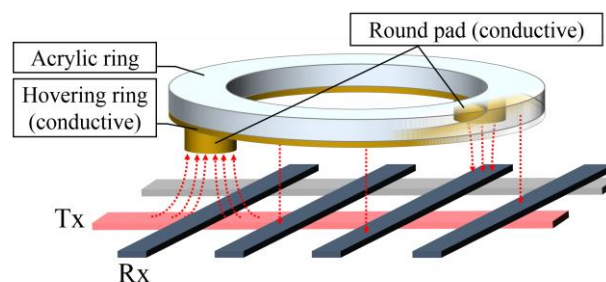


図 4 リングマーカ概念図。赤線は静電結合を示す。
実際には 3 つ以上のマーカで構成する。

Figure 4. Basic concept of a Ring Marker. Red connections indicate capacitive coupling.

ック板として入手が可能で、レーザーカッターで切断することも可能である。本提案手法によってマルチタッチパネルで認識できるウィジェットを手軽に製作できるようになると期待できる。なお、ITO に関しては曲げ耐性は高くなく、極端に曲げた場合には屈曲した部分が導電性を失う場合がある。

5. タッチ検出のための PUCs 設計指針とその評価

5.1 検出可能性

ここでは、4 章で提案した検出原理で実装したウィジェットが、様々な静電容量方式のマルチタッチパネルで検出されるかを評価する。市販されているマルチタッチデバイスでは、いずれも静電容量方式でタッチを検出しているものを評価に用いるが、それぞれでタッチ検出のアルゴリズムや、意図しないタッチを無視するためのフィルタリングに関する実装は異なっていると考えられる。PUCs が一般的に広く利用できることをこの評価によって検証する。

本評価では、17 種類の市販されているマルチタッチデバイスにおいて、実装した PUCs でタッチを発生させることができるか検証した。使用した端末は、第 1 世代から第 4 世代までの Apple iPad と、iPhone 3, 3S, 4, 4S, 5, Google Nexus 4, Nexus 7, Perceptive Pixel 27", Microsoft Surface Tablet に加えて、Apple, Asus, Samsung, Sony のノートパソコンに備わるトラックパッドである。ウィジェットにはブリッジマーカとリングマーカで実装した PUCs の 2 つを用いた。ブリッジマーカではマーカの直径を 10 mm、ブリッジの長さを 50 mm とした。リングマーカには 3 つのマーカを用い、それぞれ直径を 10 mm、リングの直径を 40 mm とした。なお、10 mm というサイズは 5 才児の第 2 指爪基部幅に相当し[12]、タッチパネルで十分に認識可能なサイズである。

それぞれのデバイスにウィジェットを接触させたところ、全てのデバイスがいずれのウィジェットでもタッチを検出することが確認された。ウィジェットには誰も触れず

に、デバイスはウィジェットを検出し続けていた。これによって、提案した検出手法が幅広いマルチタッチデバイスに対応できることが確認できた。

5.2 タッチパネルの電極幅

先の評価によって実装した PUCs が様々なデバイス上で認識可能であることを確認したが、マルチタッチデバイスの基本的な特性が同様であるかを評価し、提案手法の有効範囲について検討する。ここでは、様々なマルチタッチデバイスで使用されている透明電極の電極幅を計測する。実験では、第 1 世代及び第 3 世代 iPad と、iPhone 4, 4S, Perceptive Pixel 27”を計測対象とした。電極幅を計測するため、オシロスコープに 5 mm 幅の長いプローブ電極を接続し、これをタッチパネルの長辺もしくは短辺と平行な方向に貼り付ける。Tx と平行にプローブ電極が設置された場合は、1 つの Tx をスキャンする時間が、Tx と垂直にプローブ電極が設置された場合には全 Tx をスキャンするのにかかる時間がオシロスコープ上で測定でき、これらの時間から Tx 電極の数を推定できる。最後にタッチパネル幅を Tx 電極の数で除算することで Tx 電極 1 つの幅を算出する。

この方法で計測した結果、計測したデバイスは全て 5 mm 幅の電極を内部に持っていた。このことから、マルチタッチデバイスでは 5 mm 幅の電極が広く使われていることがうかがえる。電極の幅は認識できるマーカのサイズをはじめとしてマーカの設計に影響すると考えられるが、今回の測定からデバイス間で大きな違いは見られず、提案したマーカが同一の設計で様々なデバイスに適用できる可能性が高いことが分かった。

5.3 マーカサイズとマーカ間距離が検出に与える影響

マーカのサイズやマーカ間の距離はタッチパネルの特性に合わせて最適化が必要と考えられる。小さすぎるマーカは検出しづらく、また、マーカ間距離が近すぎる場合には複数のマーカが 1 つのタッチとして認識されてしまう可能性もある。そこで、様々なマーカサイズやマーカ間距離を変更してマルチタッチデバイスで検出可能性を評価し、現在市販されているデバイスの上で安定的に検出可能なマーカパターンについて検討する。

検出可能性の評価では、2 つのマーカを持つブリッジマーカと、3 つのマーカをもつリングマーカとを、マーカサイズやブリッジの長さ、リングの直径を様々な変えて用いる。使用したマーカはそれぞれ銅箔テープによって電氣的に接続されており、リング部分やブリッジ部分はタッチパネル面から 1 mm 浮くように実装した。マーカサイズは直径 4, 6, 8, 10 mm の 4 種、ブリッジ長は 10 mm から 30 mm、リング半径は 20 mm から 50 mm まで変化させて評価する。リングマーカにおけるマーカ間の距離はどのリング半径においても 10 mm 以上離れているように実装している。評価では、実装したウィジェットをタッチパネル上に置き、全てのマーカが 5 秒以上検出されていた場合に検出できたも

のとみなす。これを 10 回繰り返し、各ウィジェットの検出率を求める。使用するマルチタッチデバイスは 5.2 節で用いたものと同じとした。

ブリッジマーカの場合には、マーカサイズが 8-10 mm かつ、ブリッジ長が 20 mm 以上の場合に 90-100 % の検出率となった。それよりも小さいマーカでは検出率は 0 % となった。また、マーカサイズが 8 mm 以上の場合でも、ブリッジ長が 10 mm まで短くなると、検出率は 90 % まで低下する傾向が確認できた。リングマーカでは、リング半径 50 mm かつマーカサイズが 6-10 mm の条件で 90-100 % の検出率となった。また、マーカサイズを 6 mm よりも小さくした場合は検出率が 0 % となった。

こうした評価実験を通じて、マーカに関する一定の設計指針を明らかにできた。また、タッチされた領域の広さを検出できるタッチパネルの場合には、マーカサイズに情報をエンコードして埋め込むことも可能であると考えられる。

ノートパソコンに搭載されたトラックパッドはマルチタッチデバイスとは異なる挙動をする場合があり、5.2 節と本節の実験では扱わなかったが、予備的な調査の結果、2 mm のマーカサイズでも検出できる場合があることが観察された。また、いずれの実験でも円形のマーカを用いたが、正方形のマーカなどではタッチ検出が不安定になる傾向があった。カメラベースのタッチパネルに対応したウィジェットに比べて、静電容量方式のタッチパネルに対応したウィジェットではマーカ形状に自由度が少ないといえ、設計の際には考慮する必要がある。

5.4 長時間にわたるウィジェット検出

多くの静電容量方式のタッチパネルでは、意図しないタッチや時間的に変化する電氣的なノイズを排除するために、タッチ検出時に適応的にフィルタリングを行っているものとみられる。こうした処理はウィジェットの認識にも影響することが考えられる。そこでこれらの影響を評価するために、5.1 節で用いたブリッジマーカを第 1 世代 iPad と Perceptive Pixel 27”の上にそれぞれ放置して観察した。

その結果、iPad においては、ブリッジマーカを置いてから 20 秒後、全てのマーカが同時にタッチとして検出されなくなった。同時に消失したことは、iPad がタッチパネル全面に対して大域的な閾値を適用していること、また、タッチを判定する閾値が動的に変化していることを示唆している。タッチ点が同時に消失した場合、ウィジェットがタッチパネル上から取り除かれたのか、そのまま設置されているのかをシステムが区別しづらい。システムがウィジェットの動きを正確に認識したり、ウィジェットを長時間にわたって検出し続けたりするためには、タッチ検出の閾値が固定されていることが望ましい。そこで、iPad 上の別の位置に、iPad 背面と接続したクリップでタッチを発生させたところ、長時間にわたってウィジェットを検出し続けることができた（図 1 右）。このクリップを設置した iPad 上で

は48時間連続してウィジェットを検出できている。この方法によって、市販されたデバイス上で実用的にウィジェットを利用できる。ただし、第4世代iPadにiOS7を適用した環境では同様の問題は発生せず、それぞれのデバイスの特性を評価しながら設計する必要がある。

一方でPerceptive Pixel 27”の場合には、マーカを設置してから1分後から10分後の間にタッチが検出されなくなっていく様子が観察された。各マーカは異なるタイミングで検出されなくなっていく、その間隔は少なくとも10秒以上は空いていた。このことは、Perceptive Pixel 27”が局所的に閾値を管理しており、一定の領域毎にタッチ検出の閾値を動的に変更している可能性を示唆している。この場合には、徐々にタッチ点が消失していく場合にはウィジェットはその場にあるものとして扱い、同時にタッチ点が消失した場合にはタッチパネル上からウィジェットが取り除かれたものとして扱うことで、動作を認識できると考えられる。また、ウィジェットのうちマーカに繋がる導電性の部分に触れて操作すればシステムは再びマーカをタッチとして検出し始める。

5.5 同時に利用可能なウィジェット数の制約

市販されているマルチタッチデバイスにおいて、同時に検出できるタッチ点の数には上限がある。例えば、iPadでは11点、Perceptive Pixel 27”では100点が上限となっている。ウィジェットの種類や位置、向きをマーカのパターンから認識するためには、1つのウィジェットに少なくとも3つのマーカを設置しておく必要があるため、タッチ点数の上限は同時に利用できるウィジェットの数を規定してしまう。アクティブなマーカ[9]によってマーカの認識を時分割多重化すればウィジェットの数を増やすことは可能であるが、パッシブな構成で数を増やすことは容易でない。

6. おわりに

本稿では静電容量方式の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を提案した。タッチを擬似的に発生させるための接地点としてタッチパネルの別の領域を用いることで、ユーザが接触しなくてもシステムはマーカの位置にタッチを検出することが可能となった。本手法を用いて実装したPUCsは、電源が不要で実装が容易であるほか、透明な導電性物質を用いることで透明なウィジェットとして実装することも可能である。この手法によってより簡素な構成でマルチタッチパネル上でのウィジェットを実現可能となったといえ、本提案はこうしたウィジェットを用いたインタラクションの応用範囲や設計方法を広げることに貢献するものである。

謝辞 本研究は the German B-IT Foundation 及び the Norwegian Research Council より MACS project (project number 217788)として助成を受けたものである。また、総

務省戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) Barrett, G., and Omote, R.: Projected-Capacitive Touch Technology. *Information Display* 26, No. 3, pp. 16–21 (2010).
- 2) Baudisch, Patrick and Becker, Torsten and Rudeck, Frederik. Lumino: tangible blocks for tabletop computers based on glass fiber bundles. In *Proc. CHI '10*, pp. 1165–1174 (2010).
- 3) 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 *Proc. CHI '12*, pp. 2189–2192 (2012).
- 4) Jansen, Y., Dragicevic, P., and Fekete, J.-D.: Tangible Remote Controllers for Wall-Size Displays. In *Proc. CHI '12*, pp. 2865–2874 (2012).
- 5) Kratz, S., Westermann, T., Rohs, M., and Essl, G.: CapWidgets: Tangible Widgets versus Multi-touch Controls on Mobile Devices. In *Proc. CHI Extended Abstract '11*, pp. 1351–1356 (2011).
- 6) Rekimoto, J.: SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulation on Interactive Surfaces. In *Proc. CHI '02*, pp. 113–120 (2002).
- 7) Silicon Labs. How to Minimize Touchscreen Electromagnetic Interference. Tech. rep., (2011).
- 8) Weiss, M., Wagner, J., Jansen, Y., Jennings, R., Khoshabeh, R., Hollan, J., and Borchers, J. SLAP widgets: bridging the gap between virtual and physical controls on tabletops. In *Proc CHI '09*, pp. 481–490 (2009).
- 9) 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 Display. In *Proc. CHI '11*, pp. 2995–3004 (2011).
- 10) Yu, N.-H., Tsai, S.-S., Hsiao, I.-C., Tsai, D.-J., Lee, M.-H., Chen, M. Y., and Hung, Y.-P. Clip-on Gadgets: Expanding Multi-touch Interaction Area with Unpowered Tactile Controls. In *Proc. UIST '11*, pp. 367–372 (2011).
- 11) Zimmerman, T. G., Smith, J. R., Paradiso, J. A., Allport, D., and Gershenfeld, N.: Applying electric field sensing to human-computer interfaces. In *Proc. CHI '95*, pp. 280–287 (1995).
- 12) 平成19年度 機械製品の安全性向上のための子どもの身体特性データベースの構築及び身体特性データベースを用いた人体損傷可視化手法の開発に関する調査研究報告書, 社団法人日本機械工業連合会, 社団法人人間生活工学研究センター, 2008.