

平成26年度

筑波大学情報学群情報科学類

卒業研究論文

題目
2つのタッチパネル間の
静電結合に基づく端末連携

主専攻 ソフトウェアサイエンス主専攻

著者 川畑裕也

指導教員 志築文太郎 高橋伸 田中二郎 三末和男

要旨

2つの静電容量式マルチタッチパネル端末を対象とした端末連携システムを示す。本システムは、2つの静電容量式マルチタッチパネルに導電体を設置し、静電結合させることにより、ユーザが触れることなくそれぞれの端末がタッチパネル上の導電体の位置検出を行うことができる現象に基づく。この現象を用いて、我々は端末のタッチパネル面および端末ケースの背面に導電体が接触するように端末ケースを作成した。ユーザは端末ケースを装着した端末を別の端末のタッチパネルに重ねることにより、それぞれの端末は接触を認識し端末連携を開始する。本システムはユーザは端末の連携状態を容易に認識することができるという利点がある。本論文は、2つのタッチパネルにおける静電結合に基づく導電体位置検出現象について述べ、本現象に基づく端末ケースを用いた端末連携システムの実装について述べる。

目次

第1章	序論	1
1.1	2つのタッチパネル端末における導電体位置検出現象	1
1.2	携帯情報端末間の通信手法およびその問題点	1
1.3	目的およびアプローチ	3
1.4	本研究の貢献	3
1.5	本論文の構成	3
第2章	関連研究	4
2.1	静電容量方式タッチパネルにおけるウィジェットについての研究	4
2.2	ウィジェット認識手法についての研究	4
2.3	無線通信を用いた端末連携についての研究	4
2.4	実物体を用いた端末連携についての研究	5
2.5	端末を重ねる操作により端末の連携を行う研究	5
2.6	端末の連携中のアプリケーションについての研究	5
第3章	導電体の位置検出現象	6
3.1	静電容量方式タッチパネルのタッチ検出方法	6
3.2	2つのタッチパネルにおける導電体の位置検出現象	6
第4章	コネクタの設計	8
4.1	導電ゴムとジャンパ線を用いたコネクタ	8
4.2	導電スポンジとジャンパ線を用いたコネクタ	8
4.3	導電ゴムとアルミホイル箔を用いたコネクタ	10
4.4	導電ゴムとUEW（ポリウレタン銅線）を用いたコネクタ	10
第5章	2つのタッチパネルにおける導電体位置検出現象を用いた端末ケース	12
5.1	ケース設計	12
5.2	プロトタイプ1	12
5.3	プロトタイプ2	14
5.4	プロトタイプ3	14
5.5	プロトタイプ4	16
第6章	端末ケースを用いた端末連携システム	18

6.1	ハードウェアおよびソフトウェア	18
6.2	端末ケース	18
6.3	ケースを用いた端末連携	20
6.4	連携アプリケーション	20
第7章	まとめと今後の課題	22
	謝辞	23
	参考文献	24

図目次

1.1	PUCs[1] の模式図	2
1.2	導電体位置検出現象の模式図	2
3.1	タッチパネルのタッチ点検出手法	7
4.1	導電ゴムとジャンパ線を用いたコネクタ	9
4.2	導電ゴムを折り曲げたコネクタ	9
4.3	作成したコネクタ	11
4.4	導電ゴムと UEW (ポリウレタン銅線) を用いたコネクタ	11
5.1	プロトタイプ 1	13
5.2	末端にクリップを挟んだ状態	13
5.3	プロトタイプ 2	14
5.4	プロトタイプ 2 を末端に装着した状態	15
5.5	プロトタイプ 3	16
5.6	プロトタイプ 4	17
6.1	導電体位置検出現象を用いたケース。a : 前面、b : 背面、黒 : 導電ゴム、赤 : 導電線	19
6.2	作成したケース。a : 前面、b : 背面	19
6.3	末端ケースによる導電体位置検出現象	20
6.4	レントゲン機能付き地図ビューア	21

第1章 序論

本章では、本研究で示す2つのタッチパネル端末における導電体位置検出現象について述べる。本研究の背景として本研究の対象とする携帯情報端末間の通信手法とその問題点を述べる。次に、本研究の目的とアプローチを述べる。その後、本論文の構成を述べる。

1.1 2つのタッチパネル端末における導電体位置検出現象

スマートフォンやタブレットに多く使われている静電容量式マルチタッチパネル（以降、タッチパネル）は、人が触れたことにより変化する静電容量の変化を測りタッチ位置を検出する。このタッチパネルの仕組みにより、1つのタッチパネル上に複数の導電体を置きこれらを電氣的に接続し静電結合させた場合、それぞれの導電体に静電容量の変化が生じる。この静電容量の変化を測ることにより、タッチパネルが導電体の位置を検出することを Voelker らは見出した（図 1.1）[1]。今回我々は、2つのタッチパネル上にそれぞれ導電体を置きこれらを電氣的に接続した場合、それぞれの導電体に静電容量の変化が生じる現象を見出した。タッチパネルはこの静電容量の変化をタッチイベントとして認識するため、導電体位置を検出することができる（図 1.2）。

1.2 携帯情報端末間の通信手法およびその問題点

現在、スマートフォンやタブレットなどのタッチパネルを搭載した端末が普及し、個人が複数の携帯情報端末を所有することも多くなっている。これらの端末において、情報はファイルとしてそれぞれの端末に独立して保存されている。そのため、ある端末に保存されている情報を異なる端末において閲覧したい場合は、記憶媒体を用いたデータの受け渡しや無線、有線端末通信によりデータを情報保存端末から閲覧端末へ移動する必要がある。

しかし、記憶媒体を用いたデータの受け渡しはファイルの移動元および移動先の端末の他に物理媒体を必要とし、有線の端末通信はケーブルを必要とする。これらの物理媒体を用いない手法として無線通信が挙げられる。無線通信に対応する端末は追加の機器を必要とせず、物理的な媒体を必要としないため、容易に接続を行うことができる。

有線通信の利点には接続を行っている端末同士がケーブルで接続されているため、連携中の端末を見ることができる点がある。しかし、無線通信は複数の端末が存在する状況で端末の連携を行う際に、「どの端末とどの端末が無線接続している」状態であるかユーザの視覚からわかりづらいという問題があった。

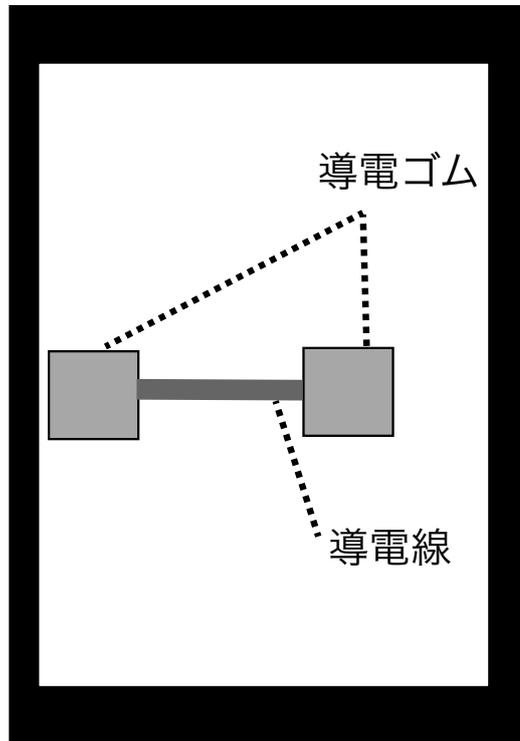


図 1.1: PUCs[1] の模式図

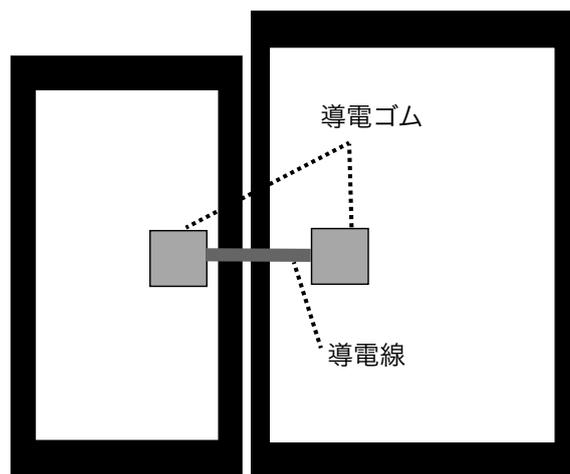


図 1.2: 導電体位置検出現象の模式図

1.3 目的およびアプローチ

本研究においては1.2節において述べた問題を解決することを目的とする。アプローチとして、1.1節で述べた2つのタッチパネルにおける導電体位置検出現象に基づく端末連携システムおよび専用の端末ケースを作成する。この端末ケースに使用する導電体および導電体接続部を検討するため、2つのタッチパネルに導電体位置検出現象を発生させるコネクタを作成する。本研究で実装する端末連携システムは、「どの端末とどの端末が無線接続している」という連携状態を明確にする。

1.4 本研究の貢献

本研究の貢献を以下に示す。

- 2つのタッチパネルにおける導電体位置検出現象を見出した。
- この現象に基づく端末連携システムを実装した。

1.5 本論文の構成

第1章では、本研究の背景と目的および貢献を述べる。第2章では、関連研究について述べる。第3章では、導電体位置検出現象について述べる。第4章では、コネクタの設計を述べる。第5章では、端末位置検出現象を用いた端末ケースについて述べる。第6章では、第5章で述べた端末ケースを用いた端末連携システムを述べる。第7章では、端末ケースおよび端末連携システムについて議論する。第8章では本研究の結論および今後の課題を述べる。

第2章 関連研究

本研究では、2つのタッチパネル端末における静電結合に基づく端末ケースを作成した。また、無線通信を用いた端末連携システムの実装を行った。よって、関連する研究としてタッチパネル端末におけるウィジェットについての研究、ウィジェットの認識手法についての研究、無線通信を用いた端末連携についての研究が挙げられる。本章ではこれらに関する研究を示し、本研究の位置づけを述べる。

2.1 静電容量方式タッチパネルにおけるウィジェットについての研究

1つのタッチパネル上に複数の導電体を置きこれらを電氣的に接続した場合、それぞれの導電体に電位の変化が生じる現象を Voelker らは見出した [1]。また Voelker らはこの現象を用いることにより、タッチパネルが位置検出できるウィジェットである PUCs を作成した。

これに対して本研究では、2つのタッチパネル上の電氣的に接続された導電体の位置をそれぞれのタッチパネルが検出できることを見出し、端末連携システムを作成した。

2.2 ウィジェット認識手法についての研究

PUCs 以外にも、タッチパネルが位置を検出できるマーカは提案されている。暦本らは静電容量方式タッチパネル上で物理的なウィジェットを検出する手法を示した [2]。Yu らは電流を流すことにより静電容量を変化させ、位置を検出できるマーカ [3] を作成した。Chan らの作成したマーカ [4] は表面とタッチパネルとの接触面を電氣的に接続している。これによりユーザが接触すると静電容量を変化させる。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成した [5]。Tokunaga らはタッチパネル上で使用するタンジブルなマーカを作成した [6]。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 [7]。

本研究はこれらの研究と同様に、端末が位置検出可能な端末ケースを作成した。本研究はこれらの研究と異なり、2つのタッチパネルを対象としている。

2.3 無線通信を用いた端末連携についての研究

無線通信を用いて端末の連携を行う研究はこれまでに様々な手法が研究されてきた。矢谷らは携帯端末を振る操作を行うことにより連携対象端末を特定し連携を行うインタフェース [8]

および、携帯端末を投げ上げる操作により端末を投げ上げた方向の端末と連携を行う Toss-It を示した [9, 10, 11]。また、Swindells らはペンデバイスを用いて連携対象機器を指定する連携手法を示した [12]。Hinckley は連携を行う端末同士を接触させることにより連携対象端末を指定する手法を示した [13]。また、Hinckley らは連携を行う端末を横に並べ、2つのタッチパネルを横切るようになぞるジェスチャにより連携端末を指定する手法を示した [14]。また、Schneider は連携を行う端末の外周同士を接触させることにより端末連携を行う手法を示した [15]。

本研究は、これらの研究と同様に無線通信を用いた端末連携を行う。本研究は、これらの研究と異なりコネクタによる連携端末の特定を行う。

2.4 実物体を用いた端末連携についての研究

実物体を用いて連携対象端末を特定する手法の研究も行われている。綾塚らは物理的なメモリースティック型コネクタ tranSticks を用いて連携対象端末を指定する連携手法を示した [16]。

本研究は、導電体位置検出現象に基づくコネクタを用いた端末連携の特定を行う。

2.5 端末を重ねる操作により端末の連携を行う研究

複数のタッチパネル端末をわかりやすく連携させるために、端末同士を重ねることに基づく端末連携システムが研究されてきた。例として、マルチタッチテーブルトップ上にタブレットを重ね連携を行う Hahne らのシステム [17] や携帯端末を重ねる三田らの連携システム [18]、Leigh らの端末操作手法 [19] がある。

これらの研究は、端末連携を行う際にカメラの映像または特定の操作を必要とした。しかし本研究で示すシステムにおいては、ケースをつけた携帯端末を重ねるのみにより端末連携を行える。

2.6 端末の連携中のアプリケーションについての研究

端末連携中のアプリケーションを示した研究について述べる。Hamilton らは連携を行った端末同士で互いに遠隔操作を行うことができる操作手法を提案した [20]。Lucero は連携を行った端末を傾ける操作および端末同士を接触させる操作により写真データの移動を行うアプリケーションを示した [21]。Jokela らはタッチパネルをスワイプした方向にある連携端末と画像を共有する手法を示した [22]。また、Henze は2つの端末を対象とする地図ビューアを提案した [23]。この地図ビューアは、地図を表示している端末の上にもう片方の端末を重ねる操作を行うと、上側の端末に地図の詳細が表示されるアプリケーションである。

本研究では端末連携中のアプリケーションとして、レントゲン機能付き地図ビューアを実装した。

第3章 導電体の位置検出現象

本論文において述べる導電体位置検出現象はタッチパネル端末におけるタッチ位置検出手法に基づく。そこで、3.1節では現在多くのタッチパネル端末に利用されているタッチパネルのタッチ位置検出手法を述べる。次に、3.2節において2つのタッチパネル端末における導電体位置検出現象を述べる。

3.1 静電容量方式タッチパネルのタッチ検出方法

タッチパネルの内部は受信電極と送信電極が縦横に格子状に並べられた構造を有する。送信電極の一つに人間の指が近づくと、指に近い送信電極上の点に信号が発生する。この信号が送信電極を伝わり、受信電極と交差する点を通じてそれぞれの受信電極に伝播する。それぞれの受信電極に伝播した信号を測定することにより、タッチパネル端末はそれぞれの受信電極における静電容量を計測することができる。人間の指などの導電体が送信および受信電極付近に接近した場合、電極間の電界は減少する。この電界の減少に伴う静電容量の減少を測定することによりタッチパネル端末は指のタッチを検知する [1]。

3.2 2つのタッチパネルにおける導電体の位置検出現象

1.1節において触れた2つのタッチパネル端末における導電体位置検出現象の原理について述べる。2つのタッチパネル上にそれぞれ1つずつ導電体を設置し、それらを導電線を用いて電氣的に接続することにより導電体の位置に静電容量の変化が発生する。これはそれぞれの導電体が互いに接地点として機能するためである。導電体の位置に発生した静電容量の変化がタッチパネル内の送信電極を通じて受信電極に伝わり、タッチパネルが導電体の位置を検出することができる。

この現象を確認するため、2組のタッチパネル搭載端末 LG Electronics Optimus G L-01E (端末サイズ：高さ 137 mm × 幅 69 mm × 厚さ 9.6 mm、画面サイズ：4.7 インチ、OS：Android 4.2.2) と Sony XperiaZ Ultra (端末サイズ：高さ 179 mm × 幅 92 mm × 厚さ 6.5 mm、画面サイズ：6.4 インチ、OS：Android 4.2.2) のタッチパネル上にそれぞれ導電体を設置し、導電線を用いて電氣的に接続した。導電体および導電線としてアルミホイルを使用した。2つの端末はそれぞれの導電体の位置にタッチイベントを検出した (図 3.1)。端末のタッチイベント検出は静電容量の変化に基づくため、これにより導電体の位置検出現象を確認できた。

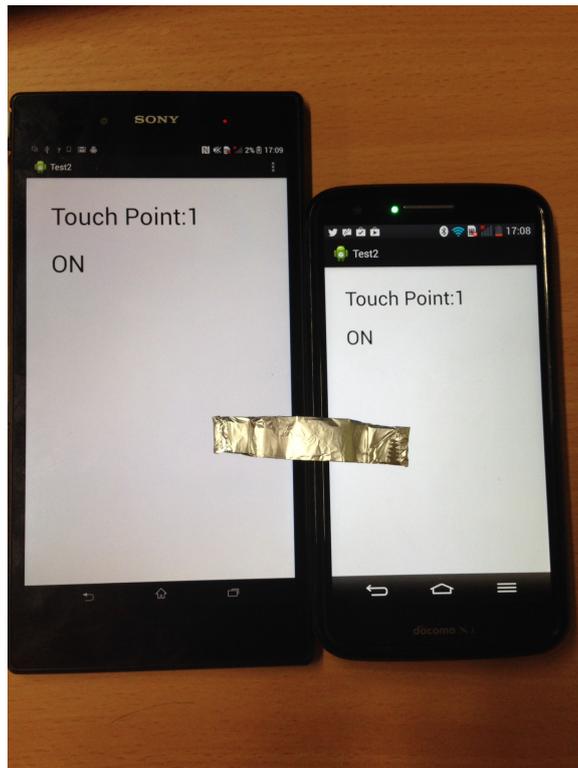


図 3.1: タッチパネルのタッチ点検出手法

第4章 コネクタの設計

3章にて述べたように、2つの導電体をタッチパネル上に設置し電氣的に接続することで導電体の位置を検出できることがわかった。この現象を用いた端末連携システムに使用する端末ケースを作成するため、導電体および導電体接続部に使用する素材を検討した。2つのタッチパネルで用いるコネクタを作成し、導電体位置検出の発生を確認した。コネクタは導電体および導電体接続部によって構成されており、2つの端末を横に並べそれぞれのタッチパネルに導電体が接触するように設置して使用する。本章では試作したコネクタについて述べる。

4.1 導電ゴムとジャンパ線を用いたコネクタ

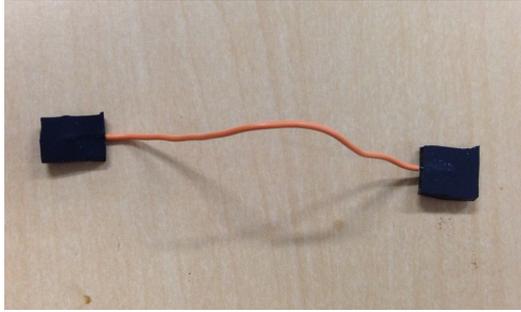
プラスチック板に1cm四方の導電ゴムを貼り付け、導電ゴム2個ずつをジャンパ線を用いて電氣的に接続しコネクタを作成した(図4.1A)。コネクタを使用している状態を図4.1Bに示す。このコネクタは導電体位置検出現象を発生させた。しかし、プラスチック板とタッチパネルの距離が近いこと、ジャンパ線がタブレットと接触してしまい導電体として認識されてしまうことがあった。

この問題を解決するため、プラスチック製の板に、2cm四方の4つの導電ゴムを曲げて貼り付けた(図4.2A)。導電ゴムを曲げた目的はプラスチック板とタブレットのタッチパネルとの距離を離すためである。コネクタを使用している状態を図4.2Bに示す。このコネクタは導電体位置検出現象としての機能をもっていたが、1つの導電ゴムに対して複数のタッチ検出を行ってしまい正確性に欠けた。したがってジャンパ線をプラスチック板に貼り付ける、またはジャンパ線を使用せずシート状の導電体を使用することが必要であると考えた。

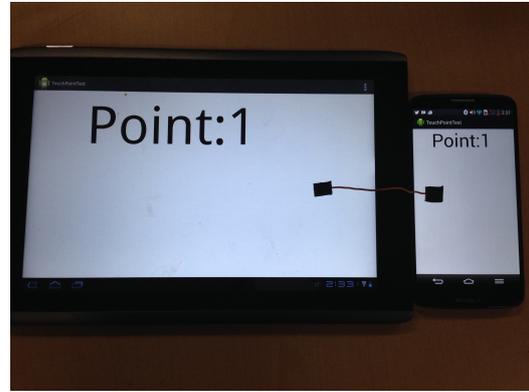
また、著者がコネクタを作成する過程で、導電体位置検出現象の検出精度を上げるためには上から圧力をかけることが有効であることがわかった。これはタッチパネルが静電容量の変化を検出するために、導電体がタッチパネルと十分に接触する必要があるためであると考えた。

4.2 導電スポンジとジャンパ線を用いたコネクタ

導電体として、導電ゴムの他に導電スポンジを使用することを検討した。プラスチック板に2cm四方の導電スポンジを貼り付け、導電スポンジ2個ずつをジャンパ線を用いて電氣的に接続し2つのコネクタを作成した(図4.3A)。このコネクタは導電体位置検出現象としての機能を示したが、安定しなかった。この理由は導電スポンジは同サイズの導電ゴムと比べ

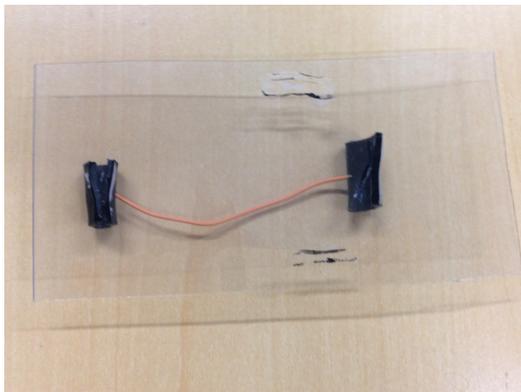


[A]

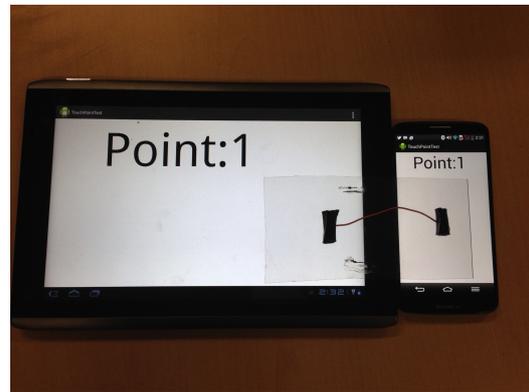


[B]

図 4.1: 導電ゴムとジャンパ線を用いたコネクタ



[A]



[B]

図 4.2: 導電ゴムを折り曲げたコネクタ

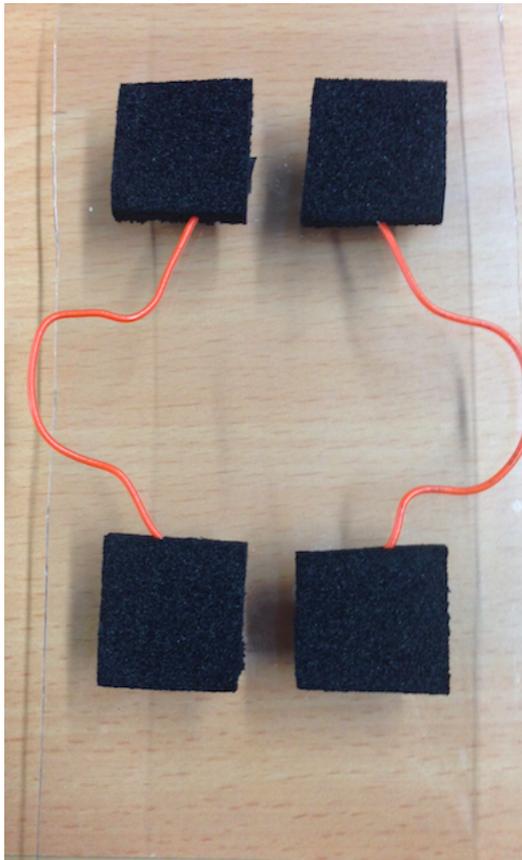
て抵抗が大きく、導電体位置検出現象の機能を持つために必要な静電容量の変化を起こすことが出来なかったためであると考えられる。

4.3 導電ゴムとアルミホイル箔を用いたコネクタ

導電体接続部としてジャンパの他にアルミホイル箔を検討した。図 4.3B に示すように 1 cm 四方の導電ゴムを 1cm 幅のアルミホイル箔で接続した。これにより作成したコネクタは導電体位置検出現象を発生させる事ができ、上から圧力をかけることにより検出精度を上げることができた。しかし、接続に使用したアルミホイル箔は使用を重ねるうちに剥がれたり、切れてしまい継続した使用が困難であった。

4.4 導電ゴムと UEW（ポリウレタン銅線）を用いたコネクタ

アルミホイルには耐久性に問題があった。この問題を解決するため、銅線にウレタン樹脂を焼き付けた UEW(ポリウレタン銅線)を用いて導電ゴムの接続を行った。図 4.4 に示すように 2 つの 1 cm 四方の導電ゴムを UEW を用いて接続し、コネクタを作成した。接続に用いる UEW は、両端を熱することによりウレタン樹脂を溶かし、導電ゴムと UEW の接触面積を増やした。コネクタを 2 つのタッチパネル上に設置したところ、導電体位置検出現象を示した。このコネクタも上から圧力をかけることにより検出精度を上げることができた。



[A]



[B]

図 4.3: 作成したコネクタ

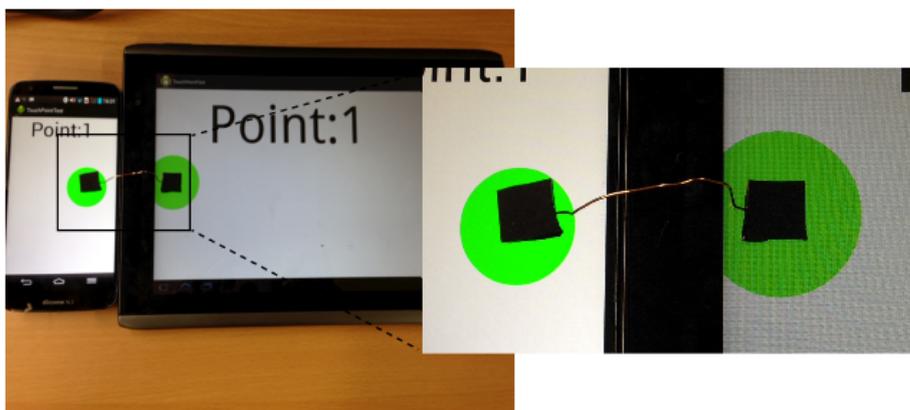


図 4.4: 導電ゴムと UEW (ポリウレタン銅線) を用いたコネクタ

第5章 2つのタッチパネルにおける導電体位置検出現象を用いた端末ケース

4章において作成したコネクタを用いて端末連携システムを実装した。今回実装した端末連携システムはスマートフォンとタブレットを対象とし、スマートフォンに専用のスマートフォンケース（以降、ケース）を装着することにより使用する。本章においてケースについて述べ、6章において端末連携アプリケーションについて述べる。

5.1 ケース設計

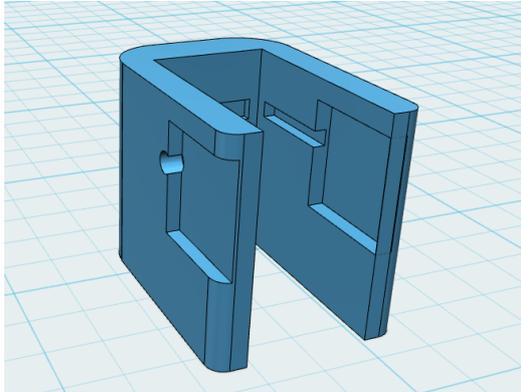
本端末連携システムはスマートフォンとタブレットの両方の端末が同時に導電体位置検出を行い、連携対象端末を特定する。そのため、スマートフォンおよびタブレットが同時に導電体位置検出を行うことができるケースを設計した。

4章で述べたように導電体位置検出現象を発生させるためには上から圧力をかけたほうがよい。そこで端末を重ねることで上側となる端末の重さにより導電体に圧力をかけられると考えた。これを実現するために、位置検出を行う導電体を端末ケースの背面に接着することとした。以下で作成したプロトタイプについて述べる。

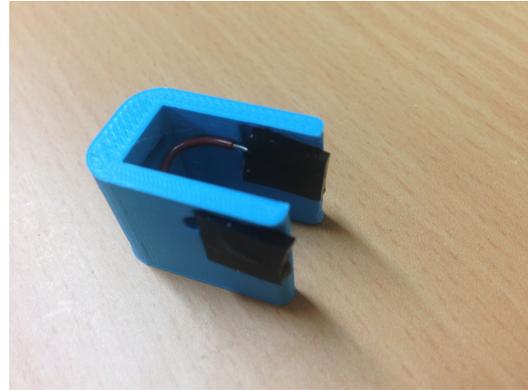
5.2 プロトタイプ1

端末ケースを作成する前に、端末の重さによる導電体位置検出現象を確認するため。3Dプリンタを用いてクリップのモデルを作成し出力した。クリップのモデルには2つの導電体をつなぐ導電線がクリップの内部を通れるようにするため、内部に溝をいれ、導電線を接続するために直径1mmの穴を開けた。出力にはUltimaker2を使用した。出力に使用したモデルを図5.1Aに示す。出力したコネクタは3gであった。

作成したクリップに導電ゴムを接着し、ジャンパを用いて接続した（図5.1B）。2つのタッチパネル上に設置すると導電体位置検出現象を示したが、安定して発生させることができなかった。クリップ装着時は、クリップをつけた部分とつけていない部分の高さにクリップの厚さである4mmの差があるため、端末が傾いていた（図5.2）。そのため、下側の端末と接触する導電体に端末の重さによる圧力を十分にかけることができず、検出精度に影響しているのではないかと考えた。



[A] 作成に使用したモデル

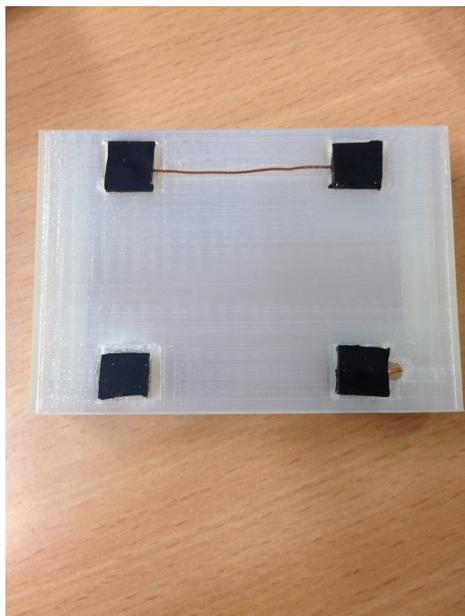


[B] 作成したクリップ

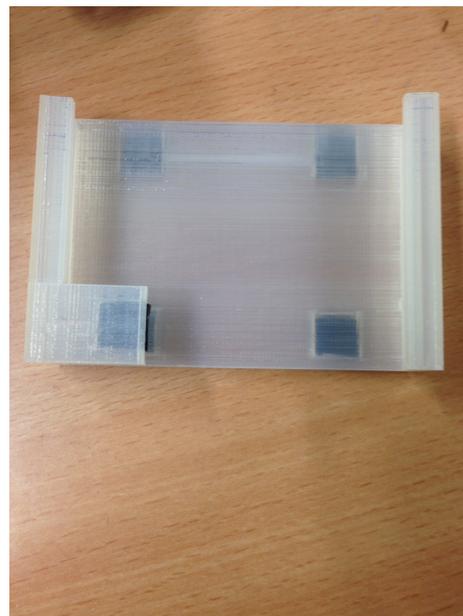
図 5.1: プロトタイプ 1



図 5.2: 端末にクリップを挟んだ状態



[A] 前面から見た状態



[B] スマートフォンに
装着した状態

図 5.3: プロトタイプ 2

5.3 プロトタイプ 2

クリップには、スマートフォンが傾いてしまう問題があった。この問題を解決し、端末を水平に保つためスマートフォンケースの実装を行った。作成したスマートフォンケースを図 5.4、5.3 に示す。図 5.3A における 4 つの黒い導電体のうち、上部の 2 つは電氣的に接続されており、関連研究の PUCs の機能を持っている。また、下部の右側の導電体は図 5.3B の左下にある導電体と電氣的に接続されており、本研究における導電体位置検出を行うことができる。下部左側の導電体は他の導電体の部分と高さを合わせるために接着している。また、プロトタイプ 1 における導電体の接続にはジャンパを用いていたが、今回は UEW (ポリウレタン銅線) を用いて接続を行った。

作成したスマートフォンケースを端末に装着し、タッチ点の検出を行った所、期待したほど精度は向上しなかった。この原因としてケースをつけた端末は 4 つの導電体に重さを分散して支えられているため、1 つの導電体にはタッチ検出に必要な圧力がかからなかったと考えた。

5.4 プロトタイプ 3

試作したケースは端末の一部のみを覆っているため、端末を把持しにくい。そこで、ケース状にしたほうがよいと考えた。端末全体を覆うようにケースを設計し、3D プリンタを用いて出力した。図 5.5B に示すようにケースは上部と下部の 2 つの部品によって構成されている。



図 5.4: プロトタイプ 2 を端末に装着した状態



[A] 前面から見た状態



[B] スマートフォンに
装着した状態

図 5.5: プロトタイプ 3

ケース上部の背面に PUCs の機能を持つ 2 つの導電体を貼り付け接続した。また、ケース下部には端末の表面および背面に導電体を設置し接続した。ケース下部の導電体は表面の導電体を電氣的に接続され、本研究におけるタッチ点の発生を行うことができる。また、ケース下部には高さを揃えるため、接続を行っていない導電体を 1 つ貼り付けた。

このケースを端末に装着しタッチ点の発生数と位置を測定した。この結果、コネクタは導電体位置検出現象を示し、上から端末を押さえつけるように設置すると検出精度が向上し、スマートフォンは 1 点、タブレットは 3 点のタッチを認識した。圧力をかけると検出精度が向上した理由はプロトタイプ 2 と同様に、端末の重さが 4 点に分散したためだと考えられる。プロトタイプ 3 を作成したことにより、ケース上側を端末と固定していないため端末から外れてしまう、長時間の使用によりケースの上部と下部にずれが発生する、スマートフォン表面の導電体の位置がホームボタンと被るという問題があることがわかった。

5.5 プロトタイプ 4

プロトタイプ 3 に生じた問題の解決を行うため、ケース上部の固定方法とケースの上部および下部のずれをなくす方法について検討した。ケース上部の固定方法は、ケース下部の固定方法と同じくケース表面側と端末タッチパネルでない部分の間に導電体を挟んだ。また、ケースの上下部がずれないようにするため突起をつけた。また、スマートフォン表面の導電体の



[A] 前面から見た状態



[B] スマートフォンに
装着した状態

図 5.6: プロトタイプ 4

位置を 5mm 上に配置した。

3D プリンタを用いて再出力したケースを図 5.6 に示す。プロトタイプ 3 から改善した点は背面に電源スイッチを操作するための穴があること、ケース上部に固定用の張り出し部分を作成したこと、ケース下部に突起をつけたことである。また、サイズの調整も行った。作成したケースを端末に装着し使用したところ、プロトタイプ 2 および 3 と同様に、2 つの端末に導電体位置検出現象を発生させることができた。再出力を行ったことによりケースを端末に固定したため、ケースとして使用することができるようになった。

第6章 端末ケースを用いた端末連携システム

本章においては5章で作成した端末ケースを用いた端末連携システムについての実装および連携アプリケーションについて述べる。

6.1 ハードウェアおよびソフトウェア

本節では実装に用いたハードウェアおよびソフトウェアについて述べる。

ハードウェアはスマートフォンである LG Electronics Optimus G L-01E (端末サイズ : 高さ 137 mm × 幅 69 mm × 厚さ 9.6 mm、画面サイズ : 4.7 インチ、OS : Android 4.2.2) およびタブレット端末である Acer Iconia Tab A500 (端末サイズ : 高さ 177 mm × 幅 260 mm × 厚さ 13 mm、画面サイズ : 10.1 インチ、OS : Android 3.2.1) を用いた。開発環境は Android Studio を使用し、ソフトウェアは Java を用いて開発した。また、端末同士の通信には Bluetooth 通信を用いた。

6.2 端末ケース

ユーザは、端末 (以降、下端末) のタッチパネル上に別の端末 (以降、上端末) を重ねることにより両端末を連携でき、また連携中は端末の相対位置に基づく操作を行うことができる。

下端末が上端末の位置および方向を検出できるケースを作成した。ケースは下端末に装着して使用する。ケースの模式図を図 6.1 に示す。ケースは本体、本体に接着された 4 つの導電ゴム、UEW で構成されている。導電ゴム 1 はケースによって上端末のタッチパネルに接触される。導電ゴム 2-4 はケース背面に位置し、端末を重ねることにより下端末のタッチパネルと接触される。導電ゴム 1 と 2 は UEW にて接続される。このケースを装着した上端末が下端末のタッチパネルに接触した場合、上端末は導電ゴム 1 の位置を、下端末は導電ゴム 2-4 の位置を検出できる。また、高さをそろえるため導電ゴムと同じ厚みのゴムを背面に接着した。導電ゴムの位置から、下端末から見た上端末の位置と方向を推定するため、ケースの背面上部に導電ゴム 3、4 を接着し、電氣的に接続した。2 つの導電ゴムの位置には PUCs の原理によりタッチイベントが生じる。ケースに接着した 4 つの導電ゴムにより、上端末は 1 つ、下端末は 3 つのタッチイベントが生じる (図 6.3)。下端末はケース背面の 3 つの導電ゴムの位置から上端末の位置を推定する。

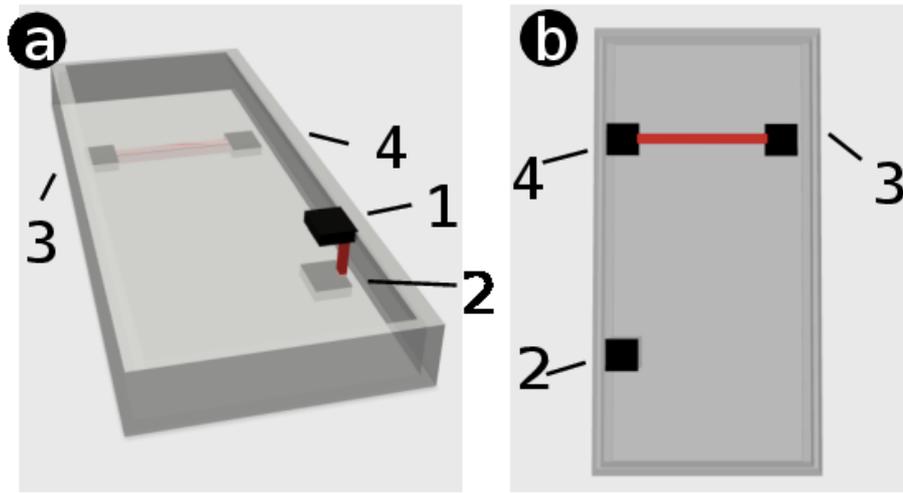


図 6.1: 導電体位置検出現象を用いたケース。a: 前面、b: 背面、黒: 導電ゴム、赤: 導電線

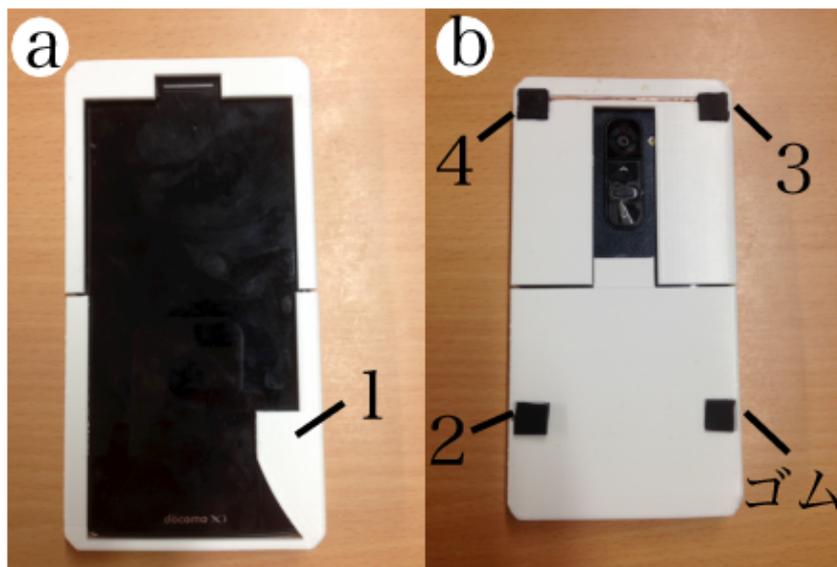


図 6.2: 作成したケース。a: 前面、b: 背面



図 6.3: 端末ケースによる導電体位置検出現象

6.3 ケースを用いた端末連携

本システムにおける端末連携の流れは次のようになる。ケースを装着した上端末が下端末に重ねられると、本システムは下端末が検出した導電体 2-4 の位置検出と検出タイミングを条件に連携を行う端末を特定し、Bluetooth 通信を開始する。端末が重なっている間のみ、すなわち導電体 2-4 が検出され続けている間、連携中とする。連携中に両端末で導電体が検出されなくなった場合は両端末が離されたと判断し、連携を解除する。

6.4 連携アプリケーション

重ねた端末の相対位置を利用したアプリケーションの例として、レントゲン機能付き地図ビューアを実装した(図 6.4)。端末連携を開始すると、下端末上に航空写真の画像が表示される。また、上端末には、下端末を上端末が覆い隠している部分の地図が表示される。ユーザが、上端末を下端末のタッチパネル上にて移動すると、上端末に表示される画像も移動に追従して変化する。このビューアを用いることにより、航空写真の中から地図を表示したい部分を上端末を動かす動作のみで表示することが出来る。また、重なっている端末が離されると、端末は通信を切断し連携は終了する。この時上端末に表示している航空写真は表示されなくなる。



図 6.4: レントゲン機能付き地図ビューア

第7章 まとめと今後の課題

本研究では2つのタッチパネル端末における導電体位置検出現象を示し、この現象を利用したコネクタを作成した。また、この現象を利用した端末連携システムおよび専用の端末ケースを作成した。2つのタッチパネル上に導電体を置きこれらを電氣的に接続することにより、端末は導電体の位置を検出できる。この現象を用いて作成した端末連携システムにおいて、ユーザは専用の端末ケースを装着した端末を別の端末と重ねる操作により端末連携を行うことができる。本システムの利点は、連携対象端末を明確にすることができる点である。今後の課題として、導電体位置検出の精度向上や端末連携アプリケーションのさらなる実装、および被験者実験による端末連携手法の評価が挙げられる。

謝辞

本論文の執筆にあたり、志築文太郎先生をはじめ、高橋伸先生、田中二郎先生、三末和男先生には多くのご助言やご指導を頂きました。特に志築文太郎先生には、研究の方針、論文の執筆、私生活に至るまで丁寧なご指導を頂きました。心より感謝致します。

また、インタラクティブプログラミング研究室の皆様にも、大変お世話になりました。日頃から貴重な助言やご意見を頂きました。特に WAVE チームの皆様には、チームゼミでの意見のみならず研究生活全体に渡っても多くのご意見を頂きました。深く感謝致します。

最後に、これまで自分を精神的に支えてくれた多くの友人達にも心から感謝致します。

参考文献

- [1] Simon Voelker, Kosuke Nakajima, Christian Thoresen, Yuichi Itoh, Kjell Ivar Overgrd, and Jan Borchers. PUCs: Detecting transparent, passive untouched capacitive widgets on unmodified multi-touch displays. ITS '13, pp. 101–104, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [2] Jun Rekimoto. 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.
- [3] Neng-Hao Yu, Li-Wei Chan, Seng Yong Lau, Sung-Sheng Tsai, I-Chun Hsiao, Dian-Je Tsai, Fang-I Hsiao, Lung-Pan Cheng, Mike Chen, Polly Huang, and Yi-Ping Hung. 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, 2011.
- [4] Liwei Chan, Stefanie Müller, Anne Roudaut, and Patrick Baudisch. 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.
- [5] Sven Kratz, Tilo Westermann, Michael Rohs, and Georg Essl. CapWidgets: Tangible 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.
- [6] Eiji Tokunaga, Hiroaki Kimura, Nobuyuki Kobayashi, and Tatsuo Nakajima. 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.
- [7] Rong-Hao Liang, Liwei Chan, Hung-Yu Tseng, Han-Chih Kuo, Da-Yuan Huang, De-Nian Yang, and Bing-Yu Chen. 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.

- [8] 矢谷浩司, 岸村俊哉, 田村晃一. モバイルデバイスを用いた「振る」ことによる情報の移動を実現するインタフェース. 情報処理学会シンポジウムインタラクション論文集, pp. 229–280, 2004.
- [9] Koji Yatani, Koiti Tamura, Masanori Sugimoto, and Hiromichi Hashizume. Information transfer techniques for mobile devices by Toss and Swing actions. *In Proceedings of the Sixth IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (WMSCA 2004)*, pp. 144–151, 2004.
- [10] Koji Yatani, Koiti Tamura, Keiichi Hiroki, Masanori Sugimoto, and Hiromichi Hashizume. Toss-It: intuitive information transfer techniques for mobile devices. *In CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '05*, pp. 1881–1884, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [11] Koji Yatani, Koiti Tamura, Masanori Sugimoto, and Hiromichi Hashizume. Information transfer techniques for mobile devices by "toss" and "swing" actions. *In IEICE Transactions on Systems and Computers*, Vol. e89-d, pp. 150–157, 2006.
- [12] Colin Swindells, Kori M. Inkpen, John C. Dill, and Melanie Tory. That one there! Pointing to establish device identity. *In Proceedings of the 15th annual ACM symposium on User interface software and technology, UIST '02*, pp. 151–160, New York, NY, USA, 2002. ACM.
- [13] Ken Hinckley. Synchronous gestures for multiple persons and computers. *In Proceedings of the 16th annual ACM symposium on User interface software and technology, UIST '03*, pp. 149–158, New York, NY, USA, 2003. ACM.
- [14] Ken Hinckley, Gonzalo Ramos, Francois Guimbretiere, Patrick Baudisch, and Marc Smith. Stitching: pen gestures that span multiple displays. *In Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces, AVI '04*, pp. 23–31, New York, NY, USA, 2004. ACM.
- [15] Dennis Schneider, Julian Seifert, and Enrico Rukzio. MobIES: extending mobile interfaces using external screens. *In Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia, MUM '12*, pp. 59:1–59:2, New York, NY, USA, 2012. ACM.
- [16] Yuji Ayatsuka and Jun Rekimoto. tranSticks: Physically manipulatable virtual connections. *In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '05*, pp. 251–260, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [17] Uwe Hahne, Jonas Schild, Stefan Elstner, and Marc Alexa. Multi-touch focus+context sketch-based interaction. *In Proceedings of the 6th Eurographics Symposium on Sketch-Based Interfaces and Modeling, SBIM '09*, pp. 77–84, 2009.

- [18] 三田裕策, 志築文太郎, 田中二郎. タッチパネル搭載端末同士を重ねる操作による端末連携手法. 情報処理学会研究報告 (154 回ヒューマンコンピュータインタラクション研究会), No. 4, pp. 1–7, 2013.
- [19] Sang-won Leigh, Philipp Schoessler, Felix Heibeck, Pattie Maes, and Hiroshi Ishii. THAW: Tangible interaction with see-through augmentation for smartphones on computer screens. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, TEI '14, pp. 89–96, New York, NY, USA, 2015. ACM.
- [20] Peter Hamilton and Daniel J. Wigdor. Conductor: Enabling and understanding cross-device interaction. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '14, pp. 2773–2782, New York, NY, USA, 2014. ACM.
- [21] Andrés Lucero, Jussi Holopainen, and Tero Jokela. Pass-them-around: Collaborative use of mobile phones for photo sharing. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '11, pp. 1787–1796, New York, NY, USA, 2011. ACM.
- [22] Tero Jokela and Andrés Lucero. A comparative evaluation of touch-based methods to bind mobile devices for collaborative interactions. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '13, pp. 3355–3364, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [23] Niels Henze and Susanne Boll. Evaluation of an off-screen visualization for magic lens and dynamic peephole interfaces. In *Proceedings of the 12th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, MobileHCI '10, pp. 191–194, New York, NY, USA, 2010. ACM.