

記憶の石：マルチタッチを利用したデバイス間情報移動

池松 香^{1,a)} 椎尾 一郎^{1,b)}

受付日 2013年6月19日, 採録日 2014年1月8日

概要：パーソナルコンピュータ (PC), スマートフォン, タブレット PC など, 複数のコンピュータを利用する状況では, 表示されている情報をコンピュータ間で転送する必要がしばしば発生する. 単一コンピュータ内であれば, ドラッグ・アンド・ドロップなどの直接操作により情報の移動が容易に可能であるが, 複数台のコンピュータによる環境では, 転送先機器の探索や指定などのために煩雑な操作が必要になることが多い. そこで本論文では, 急速に普及しつつあるマルチタッチ可能なトラックパッドやタッチディスプレイを利用して, 複数コンピュータ間での情報移動操作を直感的に実現する操作技法: 記憶の石 (Memory Stones) を提案する. 本方式はコンピュータ上に表示されている情報を, ユーザが複数の指を使ってつまみ上げ, これを別のコンピュータに運び・置く動作により, 情報移動を実現する.

キーワード： graphical user interfaces (GUI), multi-touch, multiple computers

Memory Stones: An Intuitive Data Transfer Method for Multi-touch Devices

KAORI IKEMATSU^{1,a)} ITIRO SHIO^{1,b)}

Received: June 19, 2013, Accepted: January 8, 2014

Abstract: When we use a combination of personal computing devices, such as mobile phones, tablets, notebooks, and desktop PCs, we often want to transfer information from one device, to another. Though a drag-and-drop function on the same computing device is easy, it becomes cumbersome in a multiple computing environment, where we have to first locate and then select the target device from a list of devices on a network, even if the device is right in front of us. This paper proposes a novel direct manipulation technique for executing drag-and-drop operations between multi-touch devices. Under our interface concept, dubbed “Memory Stones,” a user can “pick up” a data object displayed on one device screen, “carry” it to another device screen, and “put down” the object on that device using only his or her fingers. During this drag-and-drop operation, the user is invited to pantomime the act of carrying a tangible object (the “stone”) and to keep his or her fingertip positions unchanged. The system identifies the source and target devices by matching the shape of the polygon formed by the fingertips when touching the respective screens. We have developed a prototype system for small-to-large-sized multi-touch computers including smartphones, tablets, notebooks, and desktop PCs, and have carried out an evaluation of its feasibility.

Keywords: graphical user interfaces (GUI), multi-touch, multiple computers

1. はじめに

デスクトップやノートブックパーソナルコンピュータ (PC), 小型携帯端末 (スマートフォン), タブレット PC な

ど, 多彩な形態のコンピュータ利用が一般的になりつつある. このようにコンピュータがユビキタスな存在になった結果, 複数のコンピュータ機器を使いこなすユーザーが増え, 一般生活の中でそれらを同時に扱う場面も珍しいことではなくなった. そこで, 1つのコンピュータに表示されている情報を別のコンピュータに転送するなどの, 複数コンピュータにまたがる操作を分かりやすく直感的に実現するユーザーインタフェースの必要性は, ますます高まっている [7].

¹ お茶の水女子大学
Ochanomizu University, Bukyo, Tokyo 112-8610, Japan
a) ikematsu.kaori@is.ocha.ac.jp
b) siiio@acm.org

たとえば、使いやすいキーボードを備えたデスクトップ/ノートブック PC を利用して料理レシピを検索し、その結果を閲覧の容易なタブレット PC を使ってキッチンで閲覧したい場合、あるいは、友人や同僚に写真や資料を受け渡ししたい場合、さらには、手元の携帯コンピュータに表示されている内容を、目の前のプリンタで印刷したい場合や、その内容を会議室のプロジェクタで投影したい場合、それぞれ 2 台のコンピュータ機器もしくは周辺機器で情報転送する必要がある。こうした場面は日常的に存在し、今後はさらに増加すると考えられる。現在、複数・異種コンピュータ間の情報移動には様々な手段があるものの、その操作手段は煩雑であり、ユーザの負担が大きい。

複数コンピュータ環境において、直感的な情報移動を実現する手法は、後述のように多数提案されている。本研究では、多くのコンピュータ機器に標準搭載されつつあるマルチタッチデバイスを利用した、複数コンピュータ間の情報移動操作技法「記憶の石」(Memory Stones) を提案する。これは、コンピュータ画面に表示されている情報を複数の指でつまみ上げ、それを別のコンピュータまで運び、その画面に置くという直感的な操作により情報移動を実現するユーザインタフェース手法である。

2. 関連研究

前章で述べた複数コンピュータ間で情報を受け渡すシナリオを平易な操作で実現するために、多くの研究や実装が行われている。ここでは関連研究のうち、コンピュータを識別しネットワーク接続する操作(ペアリング)を容易にすることを主な目的にしたシステムと、複数機器間でのデータ操作とペアリング操作がシームレスに実施できることを目的としたシステムに分類し、それぞれの関連研究・実装を紹介する。

2.1 ペアリング操作の改善

通常、2 台のコンピュータ間接続を実現するためには、物理ケーブルにより 1 対 1 に接続する方法と、有線または無線通信によって複数の機器が 1 つのネットワークに接続している状況で、特定の機器をペアリングする方法が実施されてきた。

有線で 1 対 1 に接続する方法はケーブル接続が面倒であるが、接続の確立をタンジブルに行うため、直感的で分かりやすいという利点もある。一方で、ネットワーク接続は多数の機器どうしの柔軟な接続が容易であるが、2 台のコンピュータをネットワーク経由で接続するためには、接続相手の機器名やネットワークアドレスを知っていて、それを設定する操作が必要である。

そこでタンジブルなデバイスやセンサを用いて、ネットワーク経由のペアリングを直感的に行うための研究・実装が行われている。たとえば、tranSticks [1] は、1 対のメ

モリーカード型デバイスを 2 台の PC に挿入することで、仮想的なケーブルで 1 対 1 接続を行っているかのようなペアリングを実現している。Shake Well Before Use [3] はモバイル機器に内蔵した加速度センサを利用し、ユーザが 1 対のモバイル機器をまとめて手に持ち、これを振る動作を利用してペアリングする。Synchronous gestures for multiple persons and computers [2] では、デバイスどうしをぶつけた際の加速度を利用してペアリングを実現する。Point&Connect [6] ではモバイル機器のマイクロフォンとスピーカを利用し、ユーザが接続したい機器に向けると、音により相手を識別し接続する。Seeing-Is-Believing [4] ではモバイル機器内蔵のカメラを利用し、相手機器に添付された光学マーカを識別しペアリングする。SyncTap [8] では、2 つのデバイスを同時にタップしたことを利用して、コンピュータどうしのネットワーク接続を確立しデータ転送を行う。That one there! [10] は、赤外線タグを用いて送信先のデバイスを指して特定し情報の移動を行うシステムである。また製品化されているものでは、同じネットワーク内にあるネットワーク接続プリンタを自動検出してメニューに提示する方式*1がある。これに対して、提案手法は一連の動作でペアリングから情報移動までをスムーズに行うことを目的とした。

2.2 ペアリングと相互操作の改善

一方、情報移動の操作と、1 対のコンピュータ機器を識別・接続する操作を、手でつまみ上げて置く動作のように、実世界での一連の意味のある動作でシームレスに実現する方法として、以下のような提案がされている。

Pick-and-Drop [7] は、従来のドラッグ・アンド・ドロップ操作と同様に、ディスプレイ上のアイコンなどのオブジェクトをペンデバイスで「持ち上げ」、他のコンピュータに「置く」ことで情報の移動を実現する手法である。コンピュータから個別に識別できる機能を持ったペンデバイスを採用することで、オブジェクトの移動元と移動先をペアリングする。FlashTouch [5] は、マルチタッチデバイスに対して特殊なタッピングを電子的に実現するペンデバイスを用いて、ペアリングとデータ通信を実現する。Toss-It [12] は、ユーザがモバイル機器を手に持ち、相手機器に対してボールを投げ渡すようなジェスチャをすることで、情報を転送する。それぞれの機器の位置センサにより把握し、ユーザのジェスチャから仮想的なボールの着地点を推定し、その地点にあるコンピュータへの情報の移動を実現した。また、GoldFish [13] の「実世界コピペ」では機器に NFC タグを貼り付け識別可能にし、これにモバイル機器を向けて傾ける操作を行うことで、金魚すくいのような一連の動作で、データを相手機器に流し込み、相手機

*1 <http://www.apple.com/iphone/features/airprint.html>



図 1 本方式による複数コンピュータ間情報移動. 左：複数指で情報をつまみ上げ，中：別のコンピュータに移動，右：画面に置く

Fig. 1 Proposed method between two computing devices. A user picks up an information object (left) from one device by fingers, (center) brings it to another device, and (right) puts it on that device.

器からデータをすくい上げるような操作を実現している. LightSpace [11] では，複数の深度カメラとプロジェクタを用いてユーザの手をトラッキングし，掃く，掴むといったジェスチャでペアリングと情報転送操作を行う.

本研究では上述の手法のうち，後者の，表示情報の直接的な操作で機器のペアリングと情報転送の動作が，実世界での一連の意味のある動作でシームレスに行われる方式を目指した. また，実用性の高い手法を目標としたため，特別なハードウェアやセンサを使わない手法が望ましい. そのため，一般的なコンピュータ機器に標準装備されていない位置センサ [12]，赤外線送受信器 [10]，深度カメラ [11]，識別可能ペンデバイス [5]，[7] などが不要な方法を目指した. また小型携帯端末だけでなく，大型のタブレット PC やデスクトップ/ノートブック PC の利用も考えると，機器に加速度を加える方式 [3]，[12]，[13] や，機器を相手方向に向ける方式 [4]，[6]，[10] も，状況によってはユーザに困難を強いる可能性がある.

3. 記憶の石

現実世界では資料などをつまみ上げ，別の場所へ置くことで物体の移動が可能である. また，何か固いものを指で持ち上げてから置くまでの間，指の形はほぼ変わらない. 本研究で提案する記憶の石は，画面に表示された情報を，ユーザが指でつまみ上げ，これを別のコンピュータに運び・置く動作により，複数コンピュータ間での情報移動を実現するユーザインタフェース手法である. 過去の知識を用いて，意識的でなく操作できる [14] という点で，直感的な操作方法といえる.

実世界で資料などを持ち運ぶ場合は，移動にともない，元の場所からその資料はなくなる (UNIX のコマンド mv に相当する). これに対して，GUI のドラッグ・アンド・ドロップ操作では，通常は mv 操作になるが，取り外す可能性のある別記憶媒体へは，オリジナルが消えない cp コマンドに相当する操作が行われる. コンピュータ間で情報を移動する本方式でも，cp コマンドが望ましいと考え，その方式で実装した. ただし，GUI のドラッグ・アンド・ドロ

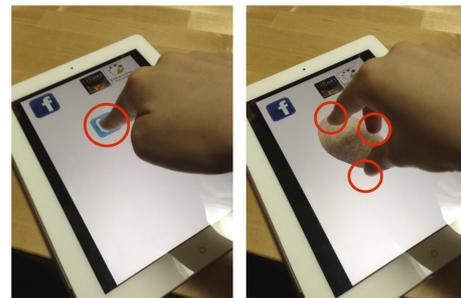


図 2 提案手法による部分的なコピー

Fig. 2 Partial copy method.

プと同様に，修飾キーの押下などにより，cp と mv を切り替えてもよいと考えている. 以下では，GUI のコピー・アンド・ペーストに準じて，移動元のコンピュータで情報をバッファすることをコピー，移動先のコンピュータにこの情報を複製することをペーストと呼んでいる.

図 1 に，この方式で情報移動を行う様子を示す. 図 1 左では，ユーザが複数の指を画面に当てて，これをつまみ上げようとしている. これによりコピーバッファへの移動が行われる. この後，図 1 中にあるように，ユーザは，あたかも何かを指で掴んでいるかのように振る舞い，指の形を変えずに転送先のコンピュータに手を移動する. 最後に，図 1 右にあるように，この指の形を保ったまま，転送先のコンピュータ画面に触れることで，情報のペーストが行われる. 以上のように，形のない情報を硬い石のようなものと考え，これをつまみ上げ，運び，置く動作を，ユーザがパントマイムすることで，情報移動が実行される. また，情報のコピーとペーストが成功裏に行われることを示すために，情報を象徴する石 (記憶の石) の映像を一時的に表示する視覚効果を導入した.

図 1 では，移動元の画面全体を移動先の画面へ転送している. 一方で，従来のドラッグ・アンド・ドロップ操作と組み合わせることで，移動元画面上の一部の情報を選択的にコピーし，移動先画面の特定の場所にペーストすることも可能である. すなわち，図 2 に示すように，移動元機器上でアイコンやテキストの一部を 1 点タッチ (例：人差し

指) でドラッグ操作中に、同じ手の別の指をさらに2本以上添えてタッチすることで、ドラッグ対象を機器間コピー用バッファに転送する。また、移動先のデバイスに複数指を当てて情報を受け取った後に、1本の指を残してドラッグすることで、通常のドラッグ操作に移行し、移動したアイコンの位置やテキストの挿入位置を指定することが可能になる。これにより、単一デバイス内でのドラッグ・アンド・ドロップと、複数デバイス間での情報移動をシームレスな操作で実現できる。

本方式は、マルチタッチ対応のタッチパネルに触れた複数指の位置を検出し、これが形作る多角形の形状から機器のペアリングを行い、コピー元機器とペースト先機器を対応付けている。すなわち、送信元・送信先のコンピュータで同じ「指先の形」が認められた場合に情報の移動を行い、これにより複数コンピュータ間での情報のやりとりを実現する。マルチタッチ対応タッチパネルディスプレイは、小型携帯端末やタブレットPCの一般的なディスプレイとして採用されている。また、マルチタッチ操作が一般PC向けOSでも広く採用されたことで、マルチタッチディスプレイとマルチタッチトラックパッドはPCの入力装置として急速に普及しつつある。このため本方式は、ほぼすべての小型携帯端末、タブレットPC、ノートブックPCと、ほとんどのデスクトップPCで利用可能である。また、マルチタッチ端末でユーザが行う複数指ジェスチャは、ユーザ認証に有効である [9] ので、接続する機器を確実に指定する方法として実用性が期待できる。

4. 実装

提案した複数コンピュータ間情報移動方式の有用性を検証するために、表示されている情報のURLを移動するプロトタイプを作成し、評価実験を行った。試作システムは、Apple社のiOS 5およびMac OS X 10.7のアプリケーションとして実装した。これらのOSは、基本部分が同じで開発が容易であること、また、小型携帯端末 (iPhone)、タブレットPC (iPad)、ノートブックPC、デスクトップPCのすべてにマルチタッチ機能を提供していることから、実装のプラットフォームとして選択した。

4.1 ユーザインタフェース

本アプリケーションは、通常はiOSおよびOS X上にWWWページを表示するシンプルなwebブラウザとして機能する。ユーザが画面やトラックパッドに複数指でタッチすると、表示されているWWWページのURLがコピーされる。次に、本アプリケーションが稼働している別の機器に複数指でタッチすると、先のURLのページが表示される。これによりユーザは、2台の機器間で指を使った情報移動を行うことができる。

図3に本アプリケーションにおける情報移動操作のオー

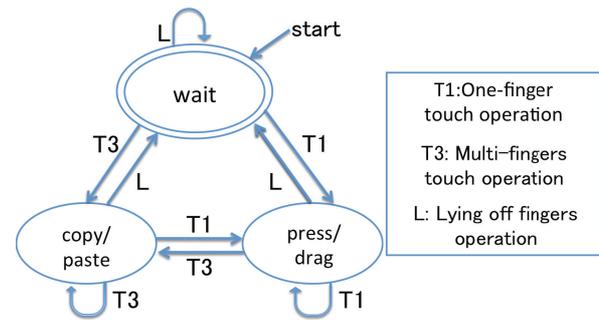


図3 提案手法の情報移動操作の状態遷移図
Fig. 3 Deterministic finite automaton.

トマTONを示す。T1は1本指でのタッチジェスチャを、T3は3本指以上でのタッチジェスチャ、Lは指をディスプレイから離す入力を表している。

また、情報をつまんで移動させる本方式の概念を効果的にユーザ提示する目的で、コピーとペーストが実行される場面で、情報を具現化した石を表示する*2。すなわち、ユーザが複数指で触れてコピーが実行された時点で、指の中に収まる大きさの石の画像が表示され、これをつまみ上げるようにして指を離すと石画像は消滅する。1本指によるドラッグ操作に引き続いて複数指のタッチを行った場合には、機器内ドラッグ操作から機器間移動操作へ移行したことを、ユーザは出現した石により知ることができる。次に情報移動先の機器に複数指で触れると先ほどの石が現れ、すべての指を離すと石が消えて、ペーストした情報が表示される。ここで、1本の指 (人差し指) だけを残して他の指を離すと、同じく石は消え、今度は機器内でのドラッグ操作に移行し、移動する情報 (アイコンやテキスト列など) の移動先場所指定が可能になる。

情報をつまみ上げる際に用いる指の数は3本以上とした。2本指のマルチタッチはピンチ操作などで広く使われるため、3本以上のマルチタッチが本方式には適していると考えた。なお、現在の実装では3本指および4本指での操作を提供している。5本指でのタッチは、ユーザごとの指先配置の形状が似通ってしまったり、指と指の間隔が狭くなったりするため、閾値の設定に問題が生じることが想定されるため今回は採用していない。

以上のように、あたかも指で情報の付加された石をつまみ上げ、移動したかのような操作感をユーザに与える点が、提案手法におけるユーザインタフェースの特徴である。

4.2 機器のペアリング

本システムでコピー元の機器からペースト先の機器へ情報移動を行う手順を、図4で説明する。ユーザが情報を

*2 Pick-and-Drop [7] システムにおいて、ペンによってつまみ上げたアイコンが浮上する視覚効果により、操作概念を示したことに相当する。また、タッチパネルがマルチタッチを正しく検出したことの表示にもなる。

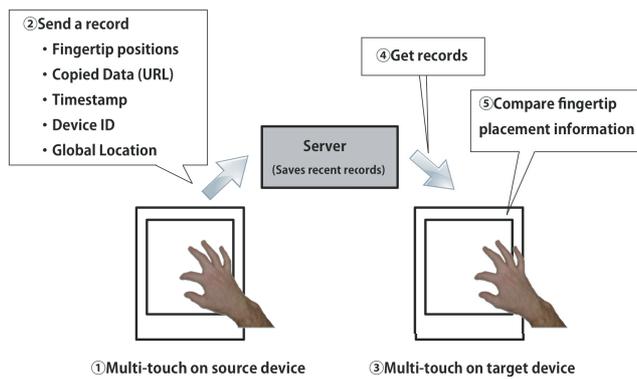


図 4 システム概要

Fig. 4 System configuration and operation.

つまみ上げるためにコピー元の機器にマルチタッチすると、この機器は、タイムスタンプ、位置情報、表示していた WWW ページの URL、デバイスごとの一意の ID、および指先配置情報を、本システムのために用意したサーバに送信する。サーバは、これらの情報を保存しつつ、古い情報を廃棄する*3。次にユーザが情報を置くために、ペースト先の機器にタッチすると、こちらの機器はサーバ上にあるログファイルからタイムスタンプのデータを取得する。そして、現在時刻とタイムスタンプの時間差が一定時間*4以内であれば、そのタイムスタンプと関連づけられている指先位置座標を参照し、同じ指先配置であるかどうかの判定を行う。

ここでは、指先の位置を頂点とする多角形が同じ形であるかどうかを判定している。すなわち、コピー元とペースト先の機器でそれぞれ取得した指先配置を結ぶすべての線分（多角形の辺と対角線に相当）の長さを計算し、昇順にソートした線分を長いものから順に比較する。それぞれの機器に触れた指先位置から形成される多角形が合同である場合、これらの線分はすべて一致する。そこで、すべての対応する各辺長の差の絶対値があらかじめ設定した閾値*5以下の場合に、同じ指先の形と判定する。ここで指先の形が同じと判定された場合、サーバから WWW ページの URL を取得し、ペースト先の機器で開く。

なお、この合同判定方式では、線対称な合同多角形も同一のものと判断されるが、点間の長さの比較で容易に判定できることから本方式を採用した。また、対称図形を排除しないことで、自分の両手もしくは他人の手と指先どうしを合わせて同じ形を作り、情報を伝えるような新しいインタラクションにも発展できると考えている。

指先情報と同時にサーバに送られる位置情報は、一定範囲より遠隔地にある機器をペアリングしないために利用される。タイムスタンプに加えて、位置情報も用いて相手

*3 小規模なユーザを想定した現在の実装では最新 5 件の情報のみを保存している。

*4 人が手の形を保てる時間を目安に、現在の実装では 10 秒程度。

*5 後述するように 18%とする。

先機器をフィルタリングすることで、無関係な機器どうしで指先配置情報が偶然に一致して誤動作する状況を軽減できる。なお、位置情報については CoreLocation フレームワーク（iOS において位置情報・方位情報・コンパス機能・緯度および経度を取得する機能などを提供するフレームワーク）を用いて取得する。近年は Wi-Fi 基地局電波強度などにより位置情報の取得機能を OS レベルでサポートしているため、GPS や携帯電話機能を内蔵していない PC においても位置取得機能の実用性は高い。位置情報取得精度は CLLocationManager クラスにより指定できるが、今回はオフィスのワンフロア程度の規模での使用を想定して 10m とした。これは現在の Wi-Fi、携帯電話網、GPS などを使った位置認識技術でほぼ実現可能な精度である。より精度の高い位置取得手法が将来の OS で採用されれば、より効果的な誤動作回避が期待できる。

また、機器固有の ID は、ユーザが情報をつまみ上げたコピー元の機器に、その情報をペーストしないために用いている。これは、コピー操作を失敗したと考えたユーザが、コピー操作を複数回やり直す場面（同じ機器で続けてマルチタッチされる状況）での誤動作を防止するためである。このようにコピー操作をやり直すことで、直前のコピーをキャンセルできる。このほかに、数秒待機しタイムスタンプが無効になることを待った場合にもキャンセルされる。

4.3 判定閾値

本方式では、指先位置を結ぶ線分を昇順に並べたときに、すべての対応する線分長の差が設定した閾値以内である場合に、同じ指先の形と判定している。閾値を過度に小さくすると情報移動操作の失敗率が高くなり、一方で、閾値を大きくしすぎると誤った情報移動の可能性が生じる。そこで、この閾値を適切に設定するために以下の実験を行った。すなわち、マルチタッチ操作を日頃から行っている大学生および大学院生 9 人（いずれも右利き、女性）の被験者に、3 本指での iPad 間での情報（web ブラウザで閲覧中のページ）の移動を行うタスクを 40 回ずつ合計 360 回行ってもらい、その指先配置情報を取得した。被験者にタッチの仕方については特に指示せず、タスクを行ってもらった。先に説明したように、本方式ではコンピュータの位置情報とタイムスタンプ情報を利用して、照合する指先パターンを絞り込んでいる。位置情報からは小規模オフィス 1 フロア分程度の領域に絞り込むことができ、そのなかで同時刻に操作を行うユーザ数の期待値を考慮すると、本実験の被験者数である 9 人程度の識別が正しく行われれば、十分な実用性を達成できると考えた。

この被験者がタスクを行った指先位置情報を用いて、他人受容率（FAR: False Acceptance Rate）と本人拒否率（FRR: False Rejection Rate）を算出した。ここで FAR および FRR の定義式を以下に示す。



図 5 左：ノート PC とタブレット PC 間の情報移動，中：タブレット PC とプリンタ間の情報移動，右：スマートフォンとタブレット PC 間の情報移動

Fig. 5 Drag-and-drop examples (left) from notebook PC to tablet PC, (center) from smart-phone to tablet PC, and (right) from tablet PC to printer.

$$FAR = \frac{\text{他人受容回数}}{\text{被験者全員の試行回数の和}} \quad (1)$$

$$FRR = \frac{\text{本人拒否回数}}{\text{ある被験者の試行回数}} \quad (2)$$

なお，他人受容回数は，ある被験者が送信元デバイスをタッチした際の指先配置と他の被験者が受信デバイスをタッチした際の指先配置の誤差が閾値以内だった場合の回数を表す。また，本人拒否回数は，ある被験者がタスク実行時に送信元デバイスをタッチした際の指先配置と受信デバイスをタッチした際の指先配置の誤差が閾値を超えた回数を表す。

様々な判定閾値に対する，被験者の平均 FAR および FRR を図 6 に示す。横軸は，送信デバイスと受信デバイスで指先配置が形作る図形の各辺長を比較するための閾値の値 (%) であり，縦軸は，FRR と FAR のエラー率である。ここで，FRR の数値が高いことは同一ユーザの操作を認識できない可能性が高いことを表し，一方，FAR の数値が高いことは他ユーザと誤認する可能性が高いことを示す。この結果から判定の閾値を，FAR と FRR が交差して等価エラー率 (EER: Equal Error Rate) になる値，すなわち各々の線分長に対し 18% に定めた。この場合，FAR, FRR は 10% 程度である。実際には先に述べたように，タイムスタンプや位置情報によるフィルタリングを行っているので，誤った機器に情報が移動される可能性はこの FAR 値よりさらに小さいと考えている。また，本人誤拒否に対して，ユーザはリトライを試みることができる。そこで，ユーザの習熟による FRR 値低下が期待できる。

5. 応用例

本方式は，ドラッグ・アンド・ドロップ操作を複数機器に展開することで，複数の計算機にまたがった協調的な情報の操作手法を提供する。したがってドラッグ・アンド・ドロップと同様に多くのアプリケーションや状況に適応可能である。その具体例を以下にあげる (図 5)。

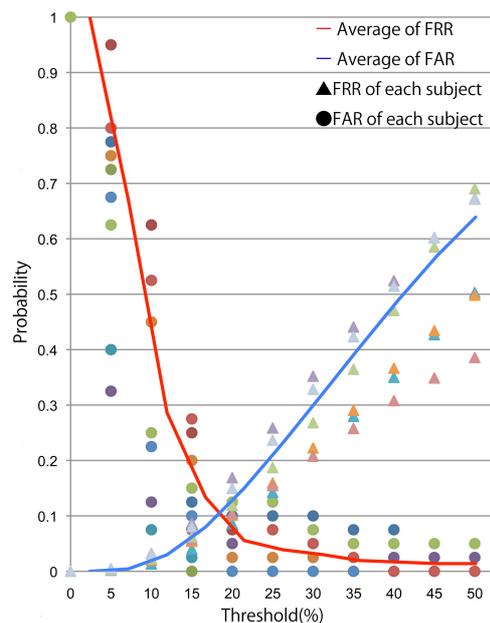


図 6 閾値ごとの FAR と FRR の平均

Fig. 6 Matching threshold in the mean squared error of the distance between fingers and the average of FAR and FRR among participants.

5.1 デスクトップ PC と携帯型 PC

冒頭で言及したように，1 人のユーザが多数のコンピュータを利用する状況が一般的になりつつある。そこで，複数コンピュータ間での情報移動に対する要望 [7] はますます高まっている。たとえば，キーボードと大型ディスプレイを備えた操作しやすいデスクトップ PC で資料の検索などを行い，この結果を小型携帯 PC に転送し，外出先や少し離れた場所に持ち運びたい場合，本方式によって携帯型 PC への情報の移動を行うことができる。これにより，現実世界における物の持ち運びのように，直接的な操作で情報を持ち運ぶことが可能となる。

5.2 ノート PC とタブレット PC

打合せや共同作業のために，ノート PC やタブレット PC

を携帯した複数のユーザが会議室などに集うことは一般的な状況である。これらの PC 間での情報移動を本方式で実現すれば、このような場に持ち寄った情報を直感的に交換することが可能になる。また、プロジェクタに接続されたコンピュータ機器に対して、本方式で情報移動を行えば、直感的な操作で持ち寄った情報を共有することができる。

5.3 プリンタ

小型携帯端末やタブレット PC などを持ち運ぶユーザが、これらに表示された情報を目の前にあるプリンタに印刷する場合にも、本方式を利用することができる。関連研究の章で述べたように、同じネットワークにあるプリンタを自動的に検索する機能が製品化されている。しかしながら、複数プリンタが利用可能な場合にはプリンタ名を調べ、メニューから選択する必要がある。また、WAN 接続された機器からの印刷には対応できない。本システムを用いれば、送信元コンピュータのディスプレイとプリンタに取り付けられたディスプレイにタッチするだけで印刷することが可能となり、ユーザの負担を軽減することができる。

6. 評価実験

本章では提案システムを用いた評価実験について報告する。いずれの実験も被験者は、小型携帯端末、タブレット PC、トラックパッド付きノートブック PCなどを日常から使っており、マルチタッチ操作の経験がある、大学生および大学院生である（いずれも女性、右利き）。

6.1 使用者体験

提案手法の有効性を示すために、3種類の予備実験を行った。いずれも5人の被験者（女性、右利き、大学院生）に3本指を用いて行ってもらった。

最初の実験では、iPad 間での情報移動を行うタスクを与え、アンケートを行った。このタスクは、石の画像の表示/非表示を交互にして順序効果を排除したうえで計16回行ってもらい、「情報を移動した実感が得られたか」という質問を(a)石の表示あり、(b)石の表示なしに分けて4段階(4あてはまる、3ややあてはまる、2ややあてはまらない、1あてはまらない)で評価してもらった。このアンケート評価では(a)、(b)の平均スコアはそれぞれ4.0および2.6となり、被験者全員が「石の画像表示時に情報移動の実感を得られた」と回答した。石を表示することで、コピーとペースト操作が成功したことのフィードバックをユーザに与え、さらに本方式の概念をよりの確に提示できたと考えている。

次に、移動対象や石の画像が表示されないトラックパッドでの有用性を調査するために、トラックパッドとiPad間でのタスクを5回依頼した。ここでも「情報を移動した実感が得られたか」という質問を行ったところ、被験者の

回答の平均スコアは3.6となり、iPad間でのタスクよりもスコアは下がったものの、全員がタスクの実行は問題なく行えた。

最後に、机に対して90°、45°の傾斜をつけて配置したiPadに、机と水平に配置したiPadからデータ移動をするタスクを交互に5回ずつ行ってもらい、入力面の傾斜が変わることで操作性にどういった影響が出るかを観察した。傾斜90°の機器へのドロップ操作は12%の失敗率、45°の機器へは8%の失敗率となった。今回設定した閾値(18%)におけるFRRが10%であることを考えると、入力面が非水平であっても失敗の増加は少なく、公共空間に多く設置される垂直のディスプレイなどへの応用も可能であると考ええる。また、被験者からの感想では、「傾けたほうがやりやすいと感じたが、手首を回転させれば90°であっても問題ない」「慣れればよりスムーズに実行できる」とのフィードバックを受けた。

6.2 ショルダーサーフィン

指の形を利用した本方式はシンプルである一方、悪意のある別人が指の形をまねて情報を盗み取る可能性もある。そこで、背後から覗き込んでパスワードなどを盗み取るショルダーサーフィンが、本方式に対してどの程度の脅威であるかを調べる実験を行った。

この実験では5人の被験者に、iPadで3本指を用いてのタスク実行中の他ユーザを背後から見て、その手の形をまねて手元のiPadへタッチする動作を40回ずつ計200回行ってもらった。実験状況の実際の様子を図7に示す。机の上に置いたiPadからiPhoneへの情報移動操作をしている被験者1の、背後30cmほどの場所に立った被験者2が、手に持ったiPadでショルダーサーフィンを試みる。ここで、ターゲット被験者1の手の形が見やすい位置へ、被験者2が左右移動することは可能とした。また、被験者1には手元を隠すなどの防衛手段を行わず、自然に操作してもらった。

この実験の結果、ショルダーサーフィンの成功率は4.0%であり、これは十分低いと考える。本方式では指先形状のほかに、タイムスタンプと位置を使って機器のペアリングを

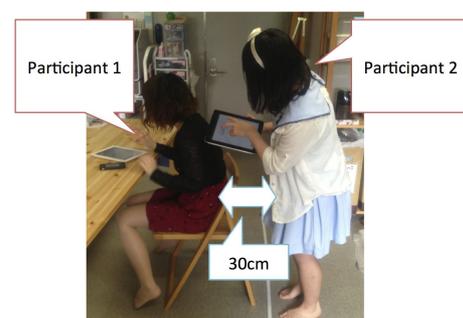


図7 ショルダーサーフィン評価実験の方法
Fig. 7 Setup of the shoulder surfing experiment.

行っている。そのため、ショルダーサーフィンをしようとするユーザは、ターゲットユーザが送受信デバイスにタッチする間の数秒程度の間に、ターゲットの近隣でペースと操作を実行する必要がある。よって実際のショルダーサーフィン成功率はさらに低いと考えられる。今回は背後からのショルダーサーフィンを検証したが、今後は対面など覗きやすい条件についても確認していきたい。

7. まとめと今後の課題

複数のコンピュータ機器を利用する環境において、直感的で実用性の高い情報移動のためのユーザインタフェース手法として、マルチタッチを利用した手法「記憶の石」を提案・実装し、評価を行った。本方式は、ユーザが複数のマルチタッチデバイスに複数指でタッチした際の指先の形を利用し、指先形状が同じ場合に情報の移動を行う方式である。これにより、物を複数指でつまみ上げて別の場所に置くような、直感的な操作により、情報移動が可能になる。識別機能を持ったペンや各種センサを使う従来手法に比べて、本方式は、急速に普及しつつあるマルチタッチデバイスだけで実現可能であり、実用性が高い。本論文では被験者による実験をもとに、指先形状判定の閾値を決定した。また、ユーザによる評価実験を行い良好な結果を得、さらに背後からの盗み見の可能性が低いことを被験者実験で確認した。

今後は、指形状のゆらぎなどから各ユーザの熟達度に合わせた閾値を採用したり、ユーザの意図で閾値を変更できたりする機能などを実現していきたい。同一室内の少人数のユーザを想定してプロトタイプを実装した。今後は実用的なシステムとするために、広域で多人数が使用する状況への対応を考え、タイムスタンプや位置情報の比較をサーバ上で行うなどサーバ機能を強化し、システムのスケラビリティを向上させたい。さらに本方式の、仮想の物をユーザが置く動作に引き続き、スワイプ、ピンチなどの各種マルチタッチジェスチャを行うことで、置いたオブジェクトのリサイズや回転などの操作を可能とするユーザインタフェース手法の拡張を検討している。また、ユーザがディスプレイにタッチした際の指先配置をフィードバックする手段として、石の画像を指の間にちょうど収まるように表示する、タッチした指先位置が光るアニメーションを加えるなどの様々な方法を比較検討したい。

参考文献

- [1] Ayatsuka, Y. and Rekimoto, J.: tranSticks: Physically manipulatable virtual connections, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '05*, pp.251–260, ACM (2005).
- [2] Hinckley, K.: Synchronous gestures for multiple persons and computers, *Proc. 16th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '03*,

- pp.149–158, ACM (2003).
- [3] Mayrhofer, R. and Gellersen, H.: Shake well before use: Authentication based on accelerometer data, *Proc. 5th International Conference on Pervasive Computing, PERVASIVE '07*, pp.144–161, Springer-Verlag (2007).
- [4] McCune, J.M., Perrig, A. and Reiter, M.K.: Seeing-Is-Believing: Using camera phones for human-verifiable authentication, *Int. J. Secur. Netw.*, Vol.4, No.1/2, pp.43–56 (2009).
- [5] Ogata, M., Sugiura, Y., Osawa, H. and Imai, M.: FlashTouch: Data communication through touchscreens, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '13*, pp.2321–2324, ACM (2013).
- [6] Peng, C., Shen, G., Zhang, Y. and Lu, S.: Point&Connect: Intention-based device pairing for mobile phone users, *Proc. 7th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, MobiSys '09*, pp.137–150, ACM (2009).
- [7] Rekimoto, J.: Pick-and-drop: A direct manipulation technique for multiple computer environments, *Proc. 10th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '97*, pp.31–39, ACM (1997).
- [8] Rekimoto, J.: SyncTap: Synchronous user operation for spontaneous network connection, *Personal Ubiquitous Comput.*, Vol.8, No.2, pp.126–134 (2004).
- [9] Sae-Bae, N., Ahmed, K., Isbister, K. and Memon, N.: Biometric-rich gestures: A novel approach to authentication on multi-touch devices, *Proc. 2012 ACM Annual Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '12*, pp.977–986, ACM (2012).
- [10] Swindells, C., Inkpen, K.M., Dill, J.C. and Tory, M.: That one there! Pointing to establish device identity, *Proc. 15th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '02*, pp.151–160, ACM (2002).
- [11] Wilson, A.D. and Benko, H.: Combining multiple depth cameras and projectors for interactions on, above and between surfaces, *Proc. 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '10*, pp.273–282, ACM (online), DOI: 10.1145/1866029.1866073 (2010).
- [12] Yatani, K., Tamura, K., Hiroki, K., Sugimoto, M. and Hashizume, H.: Toss-it: Intuitive information transfer techniques for mobile devices, *CHI '05 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '05*, pp.1881–1884, ACM (2005).
- [13] 増井俊之, 橋本 翔: Android携帯で NFC タグを読み取る「GoldFish」の概要と応用事例, *インターフェース*, Vol.38, No.4, pp.91–96, CQ 出版社 (2012).
- [14] Shneiderman, B. (著), 東 基衛, 井関 治 (翻訳): ユーザー・インタフェースの設計, 第2版, 日経 BP 社 (1995).



池松 香

2013年お茶の水女子大学理学部情報科学科卒業。現在、同大学大学院人間文化創成科学研究科博士前期課程在学中。



椎尾 一郎 (正会員)

1979年3月名古屋大学理学部物理学
科卒業。1984年3月東京工業大学
大学院総合理工学研究科博士課程修了。
同年4月、日本アイ・ビー・エム株式
会社東京基礎研究所に入社。マルチメ
ディアシステム、オフィスシステム等

のユーザインタフェースの研究に従事。1997年4月玉川
大学工学部助教授をへて2002年4月教授。2001年4月～
2002年3月ジョージア工科大学客員研究員。2005年4月
よりお茶の水女子大学理学部情報科学科教授。2007年4月
組織変更によりお茶の水女子大学人間文化創成科学研究科
教授、実世界指向インタフェース、ユビキタスコンピュー
ティングを中心に研究。ソフトウェア科学会、ヒューマン
インタフェース学会、ACM 各会員。工学博士。