

# 記憶の石: マルチタッチを用いた複数計算機間情報移動

池松 香<sup>†1,a)</sup> 椎尾 一郎<sup>†1,b)</sup>

**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, コピー・アンド・ペーストやドラッグ・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. そこで本稿では, 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コピー・アンド・ペースト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, コピー・アンド・ペーストを実現する.

## Memory Stones: An Intuitive Copy-and-Paste Method for Transferring Data between Multi-touch Computers and appliances

IKEMATSU KAORI<sup>†1,a)</sup> SHIO ITIRO<sup>†1,b)</sup>

**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 copy-and-paste 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 copy-and-paste 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 copy-and-paste 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 a preliminary evaluation of its feasibility.

### 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, 一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わかりやすく直感的に実現するユーザインタフェースの必要性は, ますます高まっている [5].

例えば, 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

<sup>†1</sup> お茶の水女子大学理学部情報科学科  
Ochanomizu University, Department of Information Sciences  
a) g0920502@is.ocha.ac.jp  
b) siiio@acm.org

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をコピー・アンド・ペースト（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、直感的なコピー・アンド・ペーストを実現する手法は、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コピー・アンド・ペースト操作技法「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コピー・アンド・ペースト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

前節で述べた複数コンピュータ間で情報を受け渡し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とし、その後データ転送などが行われるシステムと、複数機器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、有線や無線で1対1に接続する方法と、ネットワークで論理的に接続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利点もある。一方で、ネットワーク接続は多数の機器同士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。例えば、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直感的なペアリングを実現している。Shake Well Before Use [2]はモバイル機器に内蔵した加速度センサーを利用し、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

作にを利用してペアリングする。Point&Connect[4]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て音により相手を識別し接続する。Seeing-Is-Believing[3]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 [6]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、コンピュータ同士のネットワーク接続を確立しデータ転送を行う。That one there![8]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、NFCタグや内蔵機器を利用したペアリング\*1や、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\*2 などがある。

### 2.2 ペアリングと相互操作の改善

一方、情報のコピー・アンド・ペーストなどの操作と、1対のコンピュータ機器を識別・接続する操作を、同時に継ぎ目なく行うための操作方法としては、以下のような提案がされている。

Pick-and-Drop[5]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システムである。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。Toss-It [9]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。それぞれの機器を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 [10]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、データを相手機器に流し込んだり、相手機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。

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両方がシームレスに行える方向を目指した。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 [9]、赤外線送受信器 [8]、識別可能ペンデバイス [5]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 [10][9][2]や、機器を相手方向に向ける方

\*1 [http://www.nfc-forum.org/resources/AppDocs/NFCForum\\_AD\\_BTSSP\\_1.0.pdf](http://www.nfc-forum.org/resources/AppDocs/NFCForum_AD_BTSSP_1.0.pdf)

\*2 <http://www.apple.com/iphone/features/airprint.html>

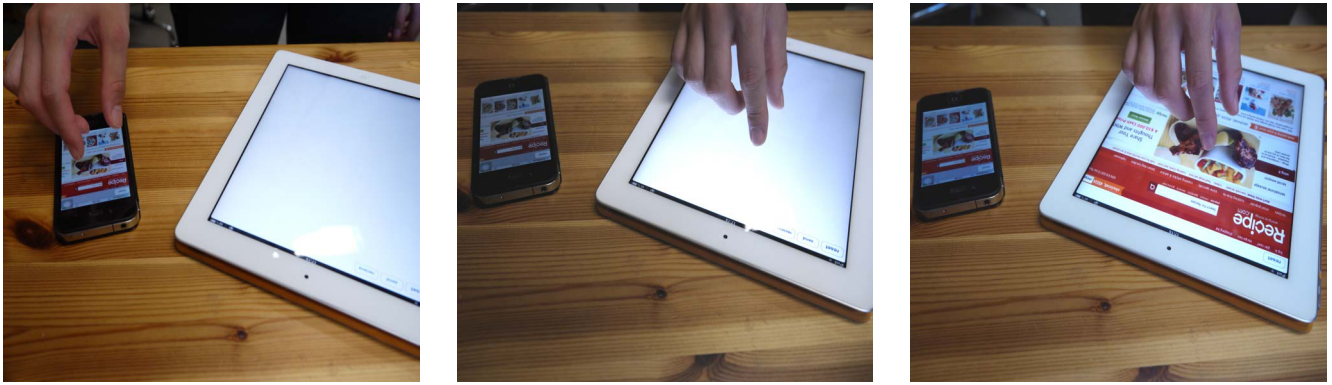


図 1 本方式による複数コンピュータ間コピー・アンド・ペースト。左：複数指で情報をつまみ上げ、中：別のコンピュータに移動、右：画面に置く。

Fig. 1 Proposed copy-and-paste 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.

式 [4][3][8] 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コピー・アンド・ペーストを直感的に実現するユーザインタフェース手法である。

図 1 に、この方式でコピー・アンド・ペーストを行う様子を示す。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。これにより情報のコピーが行われる。その後、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、形の無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、コピー・アンド・ペーストが実行される。また、コピーとペーストが成功裏に行われる事を示すために、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の導入も試みた。

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、コピーとペーストを対応付けている。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、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



図 2 表示される石の画像

Fig. 2 Displayed stone image.

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である。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、ほぼ全ての小型携帯端末、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 [7] から、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コピー・アンド・ペースト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 をコピー・アンド・ペースト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。

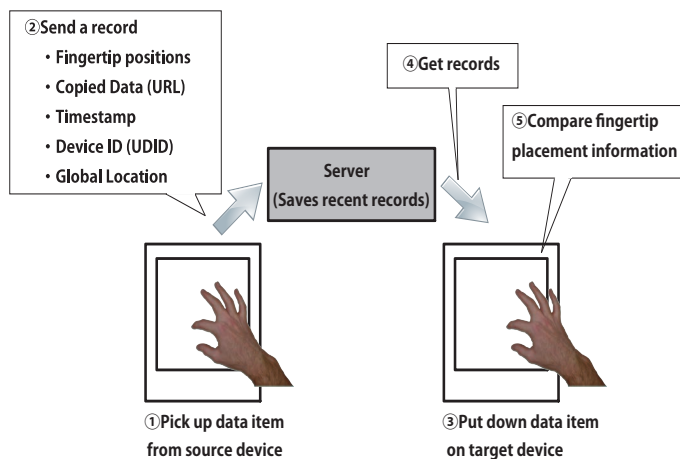


図 3 システム概要

Fig. 3 System configuration and operation.

#### 4.1 システム概要

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本の指でタッチすると、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ドラッグ・アンド・ドロップを行うことができる。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、試作ではコピーとペーストが実行される場面で、情報を記憶した石を表示する<sup>\*3</sup>。すなわち、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画像は消滅し、次にペースト先の機器に触れると先ほどの石が現れる。ユーザがこの石に触れると、ペーストしたページが表示される。

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方法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が、これに 5 本指操作を追加することは容易と考えている。

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、移動させたかのような操作感をユーザに与えるという点が、本方式ユーザインターフェースの特徴である。

#### 4.2 システム動作

本アプリケーションで情報移動を行う手順を、図 3 で説明する。ユーザが情報を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

\*3 Pick-and-Drop[5] 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。

置情報 (緯度経度)、表示していた WWW ページの URL、デバイス毎の一意の ID、及び指先配置情報を、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<sup>\*4</sup>。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ー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<sup>\*5</sup>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予め設定した閾値以下の場合に、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、サーバーから WWW ページの URL を取得し、ペースト先の機器で開く。

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先機器をフィルタリングすることで、無関係な機器同士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。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、ユーザが情報のつまみ上げを複数回やり直すような場面 (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。

### 5. 応用例

本方式は、コピー・アンド・ペースト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。したがってコピー・アンド・ペースト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挙げる (図 4)。

#### 5.1 デスクトップ PC と携帯型 PC

冒頭で言及したように、一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コピー・アンド・ペーストに対する要望 [5] はますます高まっている。例えば、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

\*4 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。

\*5 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。

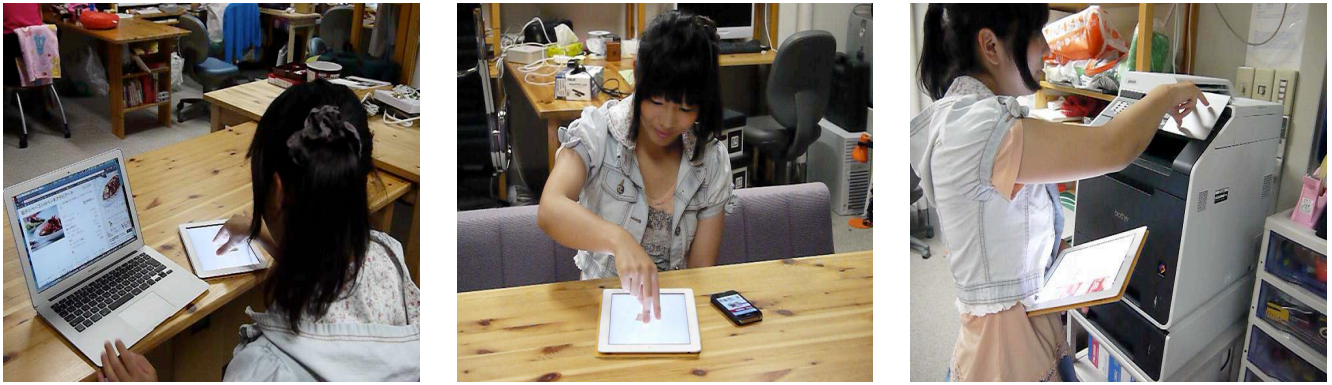


図 4 左：ノート PC とタブレット PC 間の情報移動，中：タブレット PC とプリンタ間の情報移動，右：スマートフォンとタブレット PC 間の情報移動

Fig. 4 Copy-and-paste examples (left) from notebook PC to tablet PC, (center) from smart-phone to tablet PC, and (right) from tablet PC to printer.

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 間でのコピー・アンド・ペースト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、本方式でコピー・アンド・ペーストを行えば、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。関連研究の節で述べたように、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出来る。

## 6. 評価実験

本節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

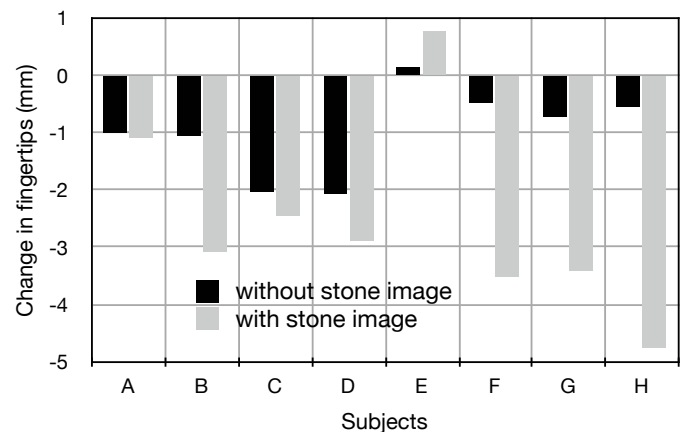


図 5 指の開き具合の変化の平均の比較

Fig. 5 Per user average change in perimeter of polygons formed by fingers between “pick up” and “put down” actions.

使っており、マルチタッチ操作の経験がある、大学生及び大学院生である（いずれも女性、右利き）。

### 6.1 使用者体験の評価

8名の被験者に、iPhone 間での情報の移動を行うタスクをあたえ、アンケートを行った。このタスクは、石の画像表示を行うタスクと行わないタスクから構成されていて、これにより石表示の有無による指先配置情報の変化を観察し、「どちらが情報を移動させた実感を得られたか」という質問をした。

次に、これらの被験者に、石の表示のあるタスクと表示の無いタスクを、この順番でそれぞれ 2 回ずつ行ってもらった。被験者全員が、本方式が直感的で操作しやすいという意見を述べた。この評価実験では合計 32 回のコピー・アンド・ペーストを行った。また、「石の画像表示時と非表示時のどちらが情報を移動した実感を得られたか」という質問に対し、被験者全員が「石の画像表示時が実感を得

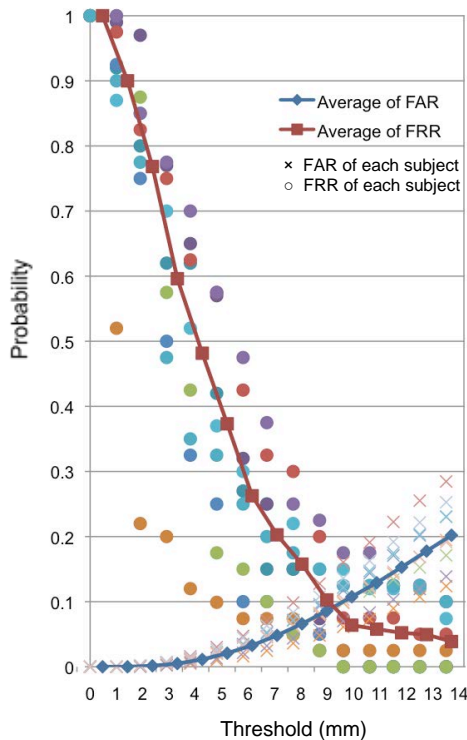


図 6 閾値毎の FAR と FRR の平均

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

られた」と解答した。石を表示することで、本方式の概念をよりの確に提示できたと考えている。また、被験者からの意見として、「爪を伸ばしているため指の形を保ったままの3点タッチが行いにくい」との意見も得られた。

図5は、タスクを行った際の指先が形作る多角形の周りの長さ変化を、比較したものである。周長が増加する、すなわち、変化の結果が正の場合は、送信元デバイスでタッチした際に読み取った図形より、送信先でバイスでタッチした際の図形の辺の長さが長くなった(指が外側へ開いた)ことを示す。一方、負の結果は辺の長さが短くなった(指が内側へ閉じた)ことを示す。被験者Eを除き、石の画像を表示した場合は表示しない場合に比べて、コピー・アンド・ペースト中に指が閉じることを示している。現実世界で物をつまみ上げるときには、内向きに力を加え指がすばまる。このことから、本システムでも石をつまみあげるといったメタファが、実際に物を持ち上げているかのような感覚を被験者に与え、指が内側へ閉じたのではないかと考えている。この結果から、指先位置の合同判定において、ペースト先で指先が閉じる傾向があることを考慮すべきであり、この傾向は石の画像表示時にはより顕著であると言える。

## 6.2 判定閾値の評価

上記で説明したように、本方式では、指先位置を結ぶ線分を昇順に並べた時に、すべての対応するの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。そこで、この閾値を適切に設定するために、9人の被験者に、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、指先配置情報を取得した。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フロア程度の領域に絞り込むことができ、そのなかのユーザが同時刻に操作を行う可能性を考慮すると、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出来ると考えた。

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及びFRRの定義式を以下に示す。

$$FAR = \frac{\text{他人受容回数}}{\text{試行回数}} \quad (1)$$

$$FRR = \frac{\text{本人拒否回数}}{\text{試行回数}} \quad (2)$$

様々な判定閾値に対する、被験者の平均FAR及びFRRを図6に示す。横軸は、比較に用いる閾値の値(mm)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出来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。また、分布グラフの交点のエラー率を等価エラー率(EER: Equal Error Rate)と呼ぶ。

この結果から判定の閾値を、FARとFRRが一致しEERとなる値、9.0mmに定めた。この場合、FAR、FRRは10%程度であり、さらに実際には先のシステム概要で述べたように、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ためFARの値は低減できるため実用的であると言える。

## 7. まとめ

現実世界での物の移動を考えてみると、例えば本を机の上から本棚へ移す場合でも、本棚内で場所を移す場合でも、物を直接つまみ上げて目的の場所に置くという同一の操作で実行する。コンピュータの世界でもこのように直感的で単純な操作を適用できることが望ましい。しかしながら現在のGUIは、同一のコンピュータでの情報の移動においては直接操作が実現しているものの、複数コンピュータ間においては異質な操作をユーザに要求し、ユーザの認知負担

を増大させている。そこで本論文では、「つまみ上げる」「置く」というメタファを応用し、情報という実態のない物をあたかも物理的な「物」であるかのように扱い、複数計算機環境での協調的な情報の移動操作をより直感的に、有効に行うコピー・アンド・ペースト手法「記憶の石」を提案・システム実装をした。

次に、実装したシステムを使用し、有用性についての評価実験を行い、提案したジェスチャによる情報移動の手法が十分有効なものであることを確認した。さらに、他人受容率 (FAR), 本人拒否率 (FRR) の値を用いて閾値を決定し、適切と考えられる閾値を採用した場合, FAR, FRR ともに 10% 程度に抑えられることを確認した。しかし、本アプリケーションではユーザーが操作を失敗しても再試行は容易である一方で、無関係なユーザーが近接するデバイスでたまたま同時に操作を行った場合に、意図しないデバイスに情報が送られる方が深刻であると考えられる。よって、習熟した、高い精度でタスク行えるユーザーには閾値を厳しくし、よりセキュアな環境を提供することを検討したい。

本方式では、システム動作をわかりやすく表現するために、情報を記憶した石を一時的に表示する手法をとった。この方式についても「情報をつまみ上げる実感が得られた」との評価を得た。さらに、石を表示すると、コピー・アンド・ペーストの過程で人の指が閉じる傾向があることを確認した。ユーザに石の画像を見せることによって、情報という実体のない物を持ち上げる時にも、現実世界での物体の移動と同様に指が内側に閉じようとする意識が働いたと考えられる。

今後は、さらに被験者を増やし多数の実験を行い、指先位置検出の手法と閾値の最適化を行う予定である。たとえば現在は、すべての線分に対して同一の閾値 (ピクセル値) を適用しているが、これを線分長に対する割合にすることを検討したい。また、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ー上で行うなど、システムのスケーラビリティを向上させたい。

## 参考文献

- [1] Ayatsuka, Y. and Rekimoto, J.: tranSticks: physically manipulatable virtual connections, *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, CHI '05, New York, NY, USA, ACM, pp. 251–260 (online), DOI: 10.1145/1054972.1055008 (2005).
- [2] Mayrhofer, R. and Gellersen, H.: Shake well before use: authentication based on accelerometer data, *Proceedings of the 5th international conference on Pervasive computing*, PERVASIVE'07, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, pp. 144–161 (online), available from (<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1758156.1758168>) (2007).
- [3] 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 (online), DOI: 10.1504/IJSN.2009.023425 (2009).

- [4] Peng, C., Shen, G., Zhang, Y. and Lu, S.: Point&Connect: intention-based device pairing for mobile phone users, *Proceedings of the 7th international conference on Mobile systems, applications, and services*, MobiSys '09, New York, NY, USA, ACM, pp. 137–150 (online), DOI: 10.1145/1555816.1555831 (2009).
- [5] Rekimoto, J.: Pick-and-drop: a direct manipulation technique for multiple computer environments, *Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '97, New York, NY, USA, ACM, pp. 31–39 (online), DOI: 10.1145/263407.263505 (1997).
- [6] Rekimoto, J.: SyncTap: synchronous user operation for spontaneous network connection, *Personal Ubiquitous Comput.*, Vol. 8, No. 2, pp. 126–134 (online), DOI: 10.1007/s00779-004-0262-2 (2004).
- [7] Sae-Bae, N., Ahmed, K., Isbister, K. and Memon, N.: Biometric-rich gestures: a novel approach to authentication on multi-touch devices, *Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '12, New York, NY, USA, ACM, pp. 977–986 (online), DOI: 10.1145/2207676.2208543 (2012).
- [8] Swindells, C., Inkpen, K. M., Dill, J. C. and Tory, M.: That one there! Pointing to establish device identity, *Proceedings of the 15th annual ACM symposium on User interface software and technology*, UIST '02, New York, NY, USA, ACM, pp. 151–160 (online), DOI: 10.1145/571985.572007 (2002).
- [9] 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, New York, NY, USA, ACM, pp. 1881–1884 (online), DOI: 10.1145/1056808.1057046 (2005).
- [10] 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 (オンライン), 入手先 (<http://ci.nii.ac.jp/naid/40019207343/>) (2012-04).