

タブレット端末を用いた仮想テーブルトップ環境の 協調作業への適用とその評価

伊藤 直人¹ 高田 秀志²

概要: 本研究では、協調作業に用いられる既存のテーブルトップ環境をより低コストで利用するための仮想テーブルトップ環境を提案し、そのシステムの構築を行っている。仮想テーブルトップ環境とは、作業者がテーブル上に置いたタブレット端末の画面を通して仮想の作業空間を利用する環境である。本環境において、作業者はテーブル上の端末の位置を物理的に移動させることで利用する領域を自由に変更することができる。また、作業空間に配置された対象物を探索する実験により、直感的に作業空間を閲覧できるという有益性が示された。さらに本研究では、作業空間に配置された複数のコンテンツを複数人で整理する作業に仮想テーブルトップ環境を適用した。結果、実空間と仮想の作業空間の紐付けを利用した作業仲間連携が取れるといった利点が確認できた一方で、コンテンツの受け渡しが困難であるといった新たな課題が明らかになった。

Application of Virtual Tabletop Environment Using Tablets to Cooperative Work and Its Evaluation

ITO NAOTO¹ TAKADA HIDEYUKI²

Abstract: In this research, we propose and build a virtual tabletop environment for supporting cooperative work where people can work more freely than general tabletop environments. The virtual tabletop environment enables workers to browse and edit a virtual work space through a window of tablet device. In this environment, workers can shift their looking position by sliding tablets on the table. We performed an experiment that workers search target objects placed on the work space, and the results show a benefit that workers can look at the work space intuitively. Additionally, we applied the virtual tabletop environment to a work that workers sort many objects placed on the work space. The result revealed a problem of difficulty in passing an object as well as benefits of enabling workers to communicate with connection between the real space and the virtual work space.

1. はじめに

近年、複数人が協力して作業を行う協調作業の場における、テーブルトップ環境の利用が注目されている [1][2]. テーブルトップ環境の特徴のひとつは、水平に設置された大きなディスプレイである。テーブルのように水平にディスプレイを設置することにより、複数の作業者がディス

プレイを囲む形で作業を行うことができる。これに加え、テーブルトップ PC に搭載されたマルチタッチ機能により、ディスプレイに表示されたコンテンツの同時操作が可能になっている。これらの特徴により、複数の作業者は、ディスプレイ上のコンテンツを他の作業者と共有しながら、円滑に作業を進めることができる。

しかし、テーブルトップ環境を構築する上で必要とされるテーブルトップ PC の価格は高く、また、設置や移動も困難なため、利用環境が制限されるという問題がある。実際に、教育現場へテーブルトップ環境を導入し、その有益性について調査された研究においても、テーブルトップ

¹ 立命館大学大学院 情報理工学研究科
Graduate School of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

² 立命館大学 情報理工学部
Faculty of Information Science and Engineering, Rit-
sumeikan University



図 1 端末移動によるスクロール
Fig. 1 Scrolling by moving a device.

PC の設置コストに関する懸念が示されている [3].

そこで我々は、テーブルトップ PC の代わりに、近年普及の著しいタブレット端末を用いることにより、テーブルトップ PC を用いた場合と同じようなインタフェースを提供する「仮想テーブルトップ環境」の研究を行っている [4]. 本環境では、一般的に用いられる画面スクロール機能を利用することにより、タブレット端末の画面よりも大きな作業空間の利用を可能にする。また特に、画面をスクロールする際には、画面を指でなぞる「スワイプスクロール機能」ではなく、テーブル上を滑らすように端末を動かすという方法でスクロールを行う「端末移動に連動した画面スクロール機能」を利用する。これにより、図 1 に示すように、テーブルの上に存在する仮想的な作業空間を、端末の画面を通して覗き込むようなインタフェースが提供される。

これまでに、テーブルトップ環境で行われる作業に仮想テーブルトップ環境を適用した際の検討事項についてまとめ、その内のひとつである「テーブル上に存在するコンテンツの探索」に関する実験を行っている。実験の結果、本環境を利用した場合に、端末の位置から自身の閲覧している領域が容易に把握できることに加え、仮想の作業空間に存在する複数のコンテンツの位置を直感的に把握できるという有益性が明らかになっている。

本研究では、引き続き協調作業への適用実験を行い、協調作業における本環境の評価を行う。協調作業に適用した際には、自身の閲覧している領域の把握に加え、他の作業者の閲覧している領域の把握も容易に行えらる。また、コンテンツの位置を実空間と紐付けて認識することにより、作業仲間での連携がとりやすくなると考えられる。

2. 仮想テーブルトップ環境の協調作業への適用

仮想テーブルトップ環境とは、テーブルトップ環境において利用されるテーブルトップ PC の代わりに、タブレッ

ト端末を用いることにより、コスト低減に加え、より柔軟な利用を可能にすることを目的とした環境である。

本研究では、上記で述べた仮想テーブルトップ環境の協調作業への適用を検討する。そのうえで、関連する研究をいくつか紹介する。

Andres らの研究 [5] では、複数人で携帯端末を用いて作業を行う際の種々のインタラクションの形態について考察されている。その中では、本研究で構築している仮想テーブルトップ環境のように、端末画面を通して机上に存在する仮想の情報を操作するようなインタラクションについても検討されている。また、複数人での連携操作についても考察されているが、実際に協調作業に適用した評価は十分に行われていない。

Luyten らの研究 [6] では、端末移動に連動した画面スクロール機能を適用した端末を所持した複数の作業者が、共有の作業空間を利用して、共同で作業を行う実験が行われている。実験では、タブレット端末より小型の携帯端末を手に持って作業を行うことを想定しており、また作業者の人数も二人程度である少人数での作業が想定されている。本研究では、テーブルトップ環境をベースにしているため、端末を机上に置いて利用することを想定している。また、協調作業を行う作業者もより多く、より広い空間での作業を想定している。

上記に示す点で関連研究と本研究との焦点は異なるが、関連研究で明らかにされている有益性や問題点に関しては共通する部分があると考えている。そこで本研究では、実際に仮想テーブルトップ環境を協調作業に適用する実験を行う中で、これまでの研究で明らかにされている性質と、領域閲覧における直感性に焦点をあて、本環境の評価を行う。特に本研究では、テーブル上に存在する複数のコンテンツを複数の作業者と共有あるいは編集するような作業を対象に評価を行う。

3. 仮想テーブルトップ環境の構築

本節では、仮想テーブルトップ環境を実現する上で必要とされる機能と、その実装方法について述べる。

3.1 端末移動の検知

本環境を実現する上で最も必要とされる機能は、端末の位置に合わせて閲覧する領域を変更する機能である。本機能を実現するには机上における端末の移動量を検出した上で、その移動量に連動して画面をスクロールさせる必要がある。

そこで本研究では図 2 に示すように、タブレット端末として利用する iPad に無線マウスを取り付け、端末の移動に合わせて移動するマウスポインタの移動量をノート PC で検出することにより端末の移動量の検出を行っている。また、検出したマウスポインタの移動量を WiFi 通信で iPad

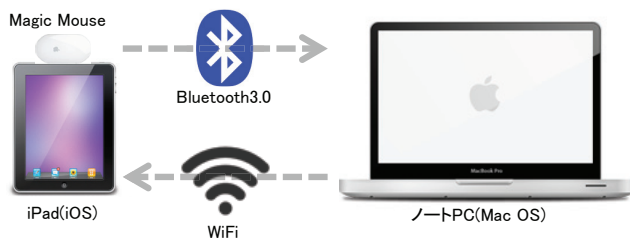


図 2 移動量の検出方法

Fig. 2 Tracking of the device movement.

に送信し、iPad 側では受信した移動量に合わせて画面のスクロールを行っている。ノート PC を経由している理由は、無線マウスと iPad 間での Bluetooth4.0 を用いた直接通信では、一定以上の速度で端末が移動した際にデータが送信されないという問題が発生したからである。

3.2 仮想テーブルトップ環境における基本操作

本研究で実施する実験においては、作業者が端末を移動させて閲覧領域を変更することのできる機能に加え、作業空間に存在するコンテンツを移動させることのできるドラッグ機能、閲覧範囲を変更することのできるズーム機能が要求される。

ドラッグ機能に関しては、コンテンツにタッチしている指の移動に合わせてそのコンテンツを移動させることにより実現している。また、コンテンツに指がタッチされている状態で画面がスクロールされた際には、スクロールに合わせてコンテンツを移動させることにより、閲覧領域の変更とコンテンツの移動を同時に行えるように実装している。

ズーム機能に関しては、2本の指を使ってピンチイン操作が行われた際に作業領域全体が表示されるように表示倍率を下げ、端末移動が行われた際に表示倍率を元に戻すことにより実現している。

3.3 協調作業への適用のための機能

本研究における仮想テーブルトップ環境を利用した協調作業では、各々の作業者が一台のタブレット端末を利用する。その上で、作業者は共有の作業領域を閲覧し、またその作業領域に存在するコンテンツに対して操作あるいは編集を行う。そこで、各作業者がコンテンツに対して行った操作あるいは編集内容を端末間で同期する機能が要求される。特に今回の実験においては、コンテンツの移動を同期する必要がある。

本研究では、上記の同期機能を実現するにあたり、iOS アプリの開発において P2P 通信を実現するために提供されている MultipeerConnectivity フレームワークを利用した。コンテンツ移動の同期に関しては、ある作業者がコンテンツに対する移動操作を終えた際に、そのコンテンツの座標情報を他の作業者の所持する端末に送信し、受信

側端末では受け取った座標情報を元にコンテンツ位置の更新を行うことにより実現している。また、複数の作業者が同一のコンテンツを同時に操作することを防ぐために、ある作業者が操作しているコンテンツは他の作業者の画面に表示されないようになっている。これは、コンテンツに対する移動操作が開始された際に、予め各コンテンツに紐付けられている ID を他の作業者の所持する端末に送信し、受信側端末ではその ID に紐づいたコンテンツを非表示にすることにより実現されている。

4. 協調作業への適用と評価

4.1 実験内容

本研究では、テーブル上に存在する多数のコンテンツを、複数の作業者が操作、あるいは編集する協調作業を対象に仮想テーブルトップ環境の適用を行う。特に本実験においては、コンテンツを生成する段階を終え、作業間でコンテンツの共有および整理を行う段階に焦点を置いた実験を行うことにより、作業者が協調する場面における仮想テーブルトップ環境の性質を調査する。

具体的には、1 から 9 の任意の数字が数十文字記述されたラベルをコンテンツとし、作業空間にランダムに配置されたそれらのラベルを複数の作業者が同じ数字が記述されたラベル毎にまとめてもらうという内容である。図 3 に、実際に作業空間に配置されるラベルの例を示す。

実際に上記の作業を二種類のシステムを利用して行ってもらおう。ひとつは 3 節で述べた、端末移動によるスクロールをベースにしたシステムである。加えて比較対象となるスワイプスクロールをベースにしたシステムを用意した。二つのシステムには、スクロール方法以外にドラッグ機能とズーム機能に違いがある。スワイプベースのシステムにおいて、画面外へのコンテンツのドラッグは、画面端にコンテンツを運んだ際に起動するオートスクロール機能を利用して行われる。またズーム機能に関して、スワイプベースのシステムでは、標準の倍率から全体を表示する倍率の間で自由に倍率を変更することが可能である。

4.2 実験環境と手順

本実験の被験者は、情報系の大学生 8 人である。8 人の被験者には 4 人毎のグループに分かれてもらい、各グループには一回毎に利用するシステムを変更して二回作業を行ってもらった。また、まとめるラベルの数はどの作業においても 80 個である。数字の種類は作業ごとに異なり、また作業には何種類数字が存在するかは伝えないこととした。図 4 は、実際に標準倍率および全体表示倍率で作業空間を見た様子を示している。

実際には、前半のグループにスワイプベースのシステムを利用して 7 種類のラベルを整理してもらい、その後端末移動ベースのシステムを利用して 9 種類のラベルを整理し

表 1 アンケート内容
Table 1 Contents of questionnaire

	質問項目	回答形式	回答項目
問 1	どちらのシステムを利用した方が画面のスクロールがしやすかったですか	選択形式	スワイプ・変わらない・端末移動
問 2	どちらのシステムを利用した方がラベルのドラッグがしやすかったですか		
問 3	どちらのシステムを利用した方が全体に対して閲覧している位置の把握がしやすかったですか		
問 4	どちらのシステムを利用した方が大まかなラベルの位置の把握がしやすかったですか		
問 5	どちらのシステムを利用した方が詳細なラベルの位置の把握がしやすかったですか		
問 6	どちらのシステムを利用した方が他者の閲覧している位置の把握がしやすかったですか		
問 7	どちらのシステムを利用した方が他者とのコミュニケーションがとりやすかったですか		
問 8	どちらのシステムを利用した方が他者との連携がとりやすかったですか（操作面について）		
問 9	どちらのシステムを利用した方が作業に対するストレスを感じやすかったですか		
問 10	どちらのシステムを利用した方が作業に対する楽しさを感じやすかったですか		
問 11	どちらのシステムを利用した方が協調して作業していると感じやすかったですか	自由記述	
問 12	各システムの利用においてズーム操作をどのように利用しましたか（目的、方法など）		
問 13	作業の分担を行いましたか、また行った場合どのように分担しましたか		
問 14	作業を進める流れはありましたか、またあったならばどのように作業を進めましたか		

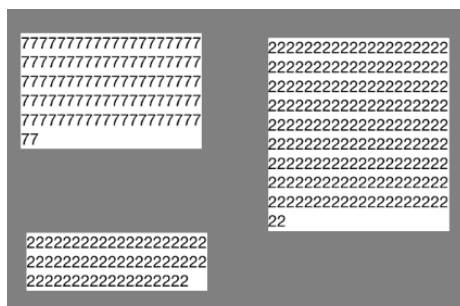


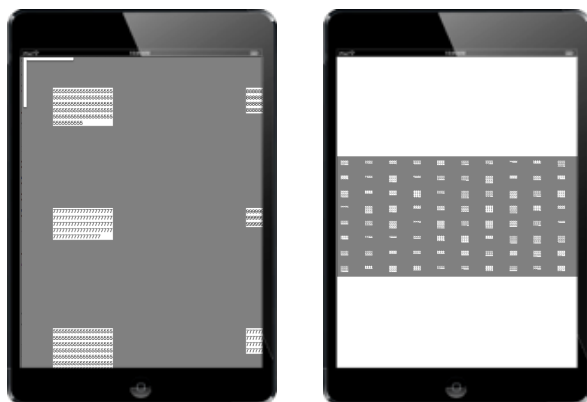
図 3 ラベル

Fig. 3 Labels.



図 5 実験の様子

Fig. 5 An example of experiment.



標準倍率

全体表示倍率

図 4 作業空間

Fig. 4 Work space.

てもらった。また後半のグループには、端末移動ベースのシステムを利用して7種類のラベルを整理してもらい、その後スワイプベースのシステムを利用して9種類のラベルを整理してもらった。また、それぞれの作業前にはシステムに慣れてもらうために3分間の練習時間を設けた。図5は、端末移動ベースのシステムを利用して作業を行っている様子である。

4.3 評価方法

評価は実験中の観察および実験後のアンケートを基に行う。アンケートの内容は表1に示す通りである。特に、どのようなコミュニケーションがとられているか、またどのような連携行動がとられているかを観察により調査し、スワイプベースのシステムに比べてどういった利点、欠点があるかをアンケートにより分析する。

4.4 結果

まずアンケート結果について述べる。アンケートの問13、14（自由記述）の回答から、両グループとも各作業者が整理する数字を分担して作業を進めたことが分かった。また特に後半のグループに関しては、自身の近くに存在する担当以外の数字を作業領域中央に集めるという方法が取られたことが分かった。問12（自由記述）の回答からは、どちらのシステムにおいてもズーム機能が全体を把握するために用いられたことが分かった。他の質問に対するアンケート結果は図6に示す通りである。

次に観察結果について述べる。スワイプベースのシステム利用時には、どこにどの数字を集めるかや、誰がどの数字を集めるかといったコミュニケーションは取られていた

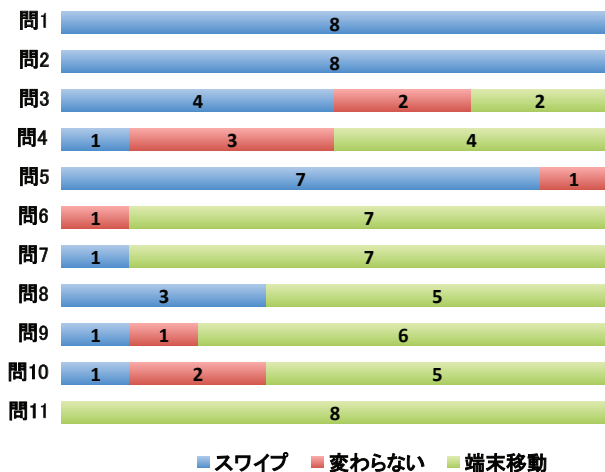


図 6 アンケート結果

Fig. 6 Result of questionnaire.

が、端末移動ベースのシステム利用時に比べて会話は少なく、ほとんどの作業が個人で進められているように見られた。端末移動ベースのシステム利用時には、机の特定の位置を指差して「ここ」と発言するといったように、指差し動作と指示語を組み合わせたコミュニケーションが取られていた。また、端末移動ベースのシステム利用時に、自身の保持するラベルを他の作業者に近い領域に移動させる場面において、作業間でラベルの受け渡しを行うのではなく、手を伸ばして持つて行く動作や、作業者同士で場所を入れ替わる様子が見られた。

4.5 考察

4.5.1 基本操作

基本操作について、問 1, 2 の結果から、スクロールやドラッグといった基本操作の性能はスワイプベースに比べて端末移動ベースが劣ることが分かる。これは、端末移動ベースにおいて端末を移動させるという物理的負荷が操作性に影響しているからだと考えられる。

4.5.2 閲覧領域の把握

閲覧領域の把握について、物理的負荷がかかる反面、端末移動に合わせて画面をスクロールさせることにより、端末位置からの閲覧領域の把握が容易になることが端末移動ベースの利点である。実際に、問 6 の結果から、他者の閲覧している位置の把握のしやすさに関して端末移動ベースが高く評価されている。しかし、自身の閲覧している位置の把握に関しては、問 3 の結果からスワイプベースに劣ることが分かる。これは、スワイプベースにおいては画面の表示倍率を下げた状態で作業を行えるため閲覧領域の把握が容易になったからだと考えられる。また、端末位置と閲覧位置のずれが生じたことも影響していると考えられるため、今後端末の移動量の検出方法についても見直す必要がある。

4.5.3 コンテンツ位置の把握

コンテンツ位置の把握について、問 4, 5 の結果から、大まかなラベルの位置の把握に関して端末移動ベースが高く評価されているのに対し、詳細な位置の把握に関してはスワイプベースが高く評価されていることが分かる。この点に関しても、端末位置と閲覧位置のずれが影響していると考えられる。

4.5.4 作業間でのコミュニケーション

作業間でのコミュニケーションについて、アンケートの問 7 の結果から、コミュニケーションのとりやすさにおいては端末移動ベースが高く評価されていることが分かる。観察結果に指示語と指差し動作の利用が見られたことから、実空間に紐付けて仮想の作業領域を認識できていたことが理由として考えられる。具体的に、スワイプベースを利用した際には、場所を伝える方法として「左上」や「右下」のように全体領域に対する位置を示す方法がとられていた。しかし、この方法で伝えられる場所の情報は限られている。これに対し、端末移動ベースを利用した際は、「ここ」や「そこ」といった指示語と指差し動作を組み合わせることにより、どのような場所でも伝えることが可能である。

4.5.5 作業間での連携操作

作業間での連携操作について、問 8 の結果から分かるように作業間で意見が分かれている。端末移動ベースに関しては、観察から見られた通り、コンテンツの受け渡しがあまりうまく行われていなかった。そもそもコンテンツの受け渡しのための支援機能はなく、渡す側の作業者が任意の位置にコンテンツを運び、その後受け取る側の作業者が同じ位置に端末を移動させコンテンツを受け取るという方法を取る必要がある。今回の結果からは、この方法を取ることが面倒であると作業者に認識されたことが分かる。一方で、スワイプベースに関しては、作業を行う中で複数の作業者が同一のコンテンツを同時に操作しようとする問題が生じていた。これら各システムの持つ問題が結果に影響していると考えられる。

今回の実験において、仮想テーブルトップ環境には、操作性や端末の移動量の検出精度など、実装面において見直すべき問題が残されていることが分かった。また、協調作業への適用から見られた本環境の特性を活かすことのできる機能の検討が要求される。加えて、本環境が有益に機能する協調作業の特性についても調査していく必要がある。

5. おわりに

本研究では、タブレット端末を用いた仮想テーブルトップ環境を構築し、その評価を行った。実際に協調作業に適用した実験において、実空間と仮想の作業領域の紐付けを利用することにより指差し動作によるコミュニケーションが取れることや、端末位置から相手の閲覧領域が把握できることなど、本環境特有の利点が確認された。しかし、コ

ンテンツの受け渡しが困難であるという問題や、個人単位の操作性に劣るという問題が課題として残されている。

今後は、コンテンツの受け渡しのためのフリック操作の適用や、端末の移動量の検出精度の向上など、今回明らかになった課題を解決する方法を検討していく。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 25330249 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Meredith Ringel Morris, Jarrod Lombardo, Daniel Wigdor: WeSearch: Supporting Collaborative Search and Sensemaking on a Tabletop Display, Proceedings of the 2010 ACM conference on Computer supported cooperative work, pp.401-410, (2010).
- [2] Ahmed Kharrufa, David Leat, Patrick Olivier: Digital Mysteries: Designing for Learning at the Tabletop, ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, pp.197-206, (2010).
- [3] Ahmed Kharrufa, Madeline Balaam, Phil Heslop, David Leat, Paul Dolan, Patrick Olivier: Tables in the wild: lessons learned from a large-scale multi-tabletop deployment, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1021-1030, (2013)
- [4] 伊藤 直人, 高田 秀志: 協調作業支援のためのタブレット端末を用いた仮想テーブルトップ環境, ワークショップ 2014 (GN Workshop) 論文集, pp.1-6, (2014).
- [5] Andres Lucero, Jaakko Keranen, Tero Jokela: Social and Spatial Interactions: Shared Co-Located Mobile Phone Use, CHI '10 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp.3223-3228, (2010).
- [6] Kris Luyten, Kristof Verpoorten, Karin Coninx: Ad-hoc Co-located Collaborative Work with Mobile Devices, Proceedings of the 9th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services, pp.507-514, (2007).