

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

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た。本環境において、作業者はテーブル上に置かれたタブレット端末を利用する。テーブル上には仮想的に作業空間が配置されており、タブレット端末にはテーブル上での位置に対応した作業空間の一部が表示されている。また、作業者は端末をテーブル上で移動させることにより閲覧する領域を変更することができる。本環境の持つ性質を調査するために、作業空間に配置された対象物を探索する実験を行った。結果、直感的に作業空間を閲覧できるという有益性があると共に、一般的なスワイプスクロールに比べてスクロールが容易でないという問題点が確認された。

キーワード: タブレット端末, テーブルトップ環境, 共同作業

Virtual Tabletop Environment with Tablets for Supporting Cooperative Work

ITO NAOTO¹ TAKADA HIDEYUKI²

Abstract: In this research, we suggest and build a virtual tabletop environment for supporting cooperative work where people can work more freely than general tabletop environments. In this environment, workers use tablets on a table. There is a virtual work space on the table, and tablets show a part of the work space according to a position of tablets on the table. Furthermore, workers can shift their looking position by sliding tablets on the table. For examining this environment, we performed an experiment that workers search target objects put in the work space. The result revealed a problem of difficulty in scrolling as well as benefits of enabling workers to look the work space intuitively, compared with the generally used swipe scroll.

Keywords: tablet device, tabletop environment, cooperative work

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][3]。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、ディスプレイ上にコンテンツ化された情報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

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

² 立命館大学 情報理工学部
College 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.

性について調査された研究においても、テーブルトップ PC の設置コストに関する懸念がされている [4].

そこで本研究では、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を提案する。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。

上記の方法をとる理由は、テーブルトップ PC に近い広さの作業空間を閲覧するときは、上下左右共にスクロールの幅は広がるため、スワイプスクロールを利用すると、現在どの辺りを閲覧しているかという閲覧領域の把握や、作業空間にどのようにコンテンツが配置されているかというコンテンツ位置の把握が困難になると考えるからである。これに対して、端末移動に連動した画面スクロール機能では、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。結果的に、作業者は、テーブル上のタブレット端末の位置と閲覧領域を対応させることで閲覧領域の把握が容易になり、また、仮想的な作業空間をイメージすることでコンテンツ位置の把握も容易になると考えられる。

そこで本研究では、端末移動に連動した画面スクロール機能を利用して仮想的な作業空間を閲覧するこの環境を、仮想テーブルトップ環境とし、その有益性を調査する。また、よりテーブルトップ環境に近い環境を実現する上で問題点を調査する。

2. タブレット端末を用いた仮想テーブルトップ環境の構築

2.1 仮想テーブルトップ環境

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。

テーブルトップ PC に比べて画面の小さいタブレット端末を用いた上で、テーブルトップ環境の特徴のひとつである広い作業空間の提供を行うために、本研究では画面スクロール機能を利用する。また、一般的に用いられるスワイプスクロール機能ではなく、テーブル上を滑らせて端末を上下左右に移動させることにより画面をスクロールさせる、端末移動に連動した画面スクロール機能を適用する。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、よりテーブルトップ環境に近い閲覧方法をとることが可能になる。

本研究で提案する仮想テーブルトップ環境の様に、端末移動に連動した画面スクロール機能を利用した研究はこれまでも行われている。

Yee らの研究 [5] 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携帯端末を用い、描画アプリや電話帳アプリなど、個人利用を目的としたアプリを利用する実験が行われている。また、実験では、描画といったコンテンツ操作と、画面スクロールといった画面操作を同時に行えるという点で、一般的に用いられるスワイプスクロールに比べて有益性があることが明らかにされている。

Tsang らの研究 [6] では、端末の移動を計測するための専用の機材を用いることにより、3次元空間に存在する仮想的な 3D オブジェクトを多方面から閲覧できるようなインタフェースが提案されている。

また、Luyten らの研究 [7] 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。結果、複数の作業者が作業空間における同一の場所を閲覧するとき、実空間における端末の位置も同じ位置になるため、同時に同じ場所を閲覧することが物理的に困難であることが懸念されている。

これらの研究の多くは、空間を可視化することを目的とするため、端末を手を持って利用することを前提としている。これに対し本研究では、テーブルトップ環境の性質を基にした仮想テーブルトップ環境を実現するために、テーブル上に存在する作業空間を可視化することを目的としている。そのため、端末の利用に関しても、テーブル上に置いて利用することを前提としている。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

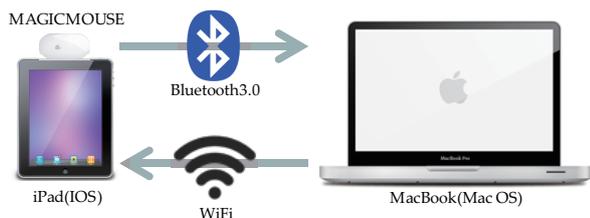


図 2 移動量の検出方法

Fig. 2 Tracking of device movement.

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。また、本研究では特に、これまでの研究では着目されていない領域閲覧における直感性に着目する。仮想テーブルトップ環境においては、実空間における端末の位置と、そのときに閲覧している領域との紐付けがより明確になると考えられる。そのため作業者は、現在閲覧している領域の把握と、作業空間に存在するコンテンツの位置の把握が容易になり、より直感的な作業空間の閲覧が可能になると予想される。

2.2 実装方法

上記で述べた仮想テーブルトップ環境を実現するために、端末移動に連動した画面スクロール機能をタブレット端末に適用する必要がある。本節では、端末移動に連動した画面スクロール機能の実装方法について述べる。

本研究では、本機能を適用するタブレット端末として、iPadを用いる。その上で最も重要になるのが、iPadがテーブル上でどれだけ移動したか、その移動量を検出することである。本研究ではまず、iPadに内蔵されている加速度センサを用いて移動量を検出する方法を試みた。しかし、仮想テーブルトップ環境を実現するために要求される検出精度としては不十分であったため、iPadに無線マウスを取り付け、マウスの移動量を基に画面をスクロールさせる方法に変更した。その際、iPadと無線マウスを直接通信させる方法としてBluetooth4.0を用いる方法を試みたが、一定以上の速さでマウスが移動したときにデータ通信が停止する問題が発生したため、最終的には図2に示すような方法で移動量の検出を行っている。

iPadに取り付けた無線マウスはノートPCに接続する。これにより、iPadの移動に合わせてノートPCに表示されているマウスポインタが移動する。マウスポインタの移動量は、ノートPCからiPadへWiFi通信を用いて送信させる。iPad側では受信した移動量を基に端末の移動とは逆向きに画面をスクロールさせる。また、ノートPCの画面端に移動したマウスポインタを画面中央に戻すことにより永続的にマウスの移動量を検出できるように実装している。しかし、現状の方法では端末の回転には対応できないため、利用時には端末を回転させずに上下左右に移動させ

ることを制限として設けている。

3. 仮想テーブルトップ環境を利用した協調作業

本章では、テーブルトップ環境および、それを利用した協調作業の特徴について述べる。また、仮想テーブルトップ環境へ適用したときの検討事項について考察する。

3.1 テーブルトップ環境を利用した協調作業

テーブルトップ環境を利用した協調作業にも様々な形態が存在する。その中でも本研究では、比較的大きなテーブルトップPCを利用し、テーブル上の複数のコンテンツを操作する作業形態を対象に考える。

上記で述べた作業形態を基に協調作業を支援するテーブルトップ環境の例を以下に記す。

Morrisらは、協調検索を支援する環境として、WeSearchの構築を行っている[2]。WeSearchでは、Webで検索、獲得してきた情報をコンテンツとし、作業者はそれらをテーブル上で受け渡すことで情報の共有を行うことができる。

Kharrufaらは、協調学習を支援する環境として、Digital Mysteriesの構築を行っている[3]。Digital Mysteriesでは、学習者の持つ意見や考えをコンテンツ化することができる。また、学習者はそれらをテーブル上で共有、整理することで協調学習を進めることができる。

上記で示した環境において必要とされる共通機能としては、以下の機能が考えられる。

- コンテンツの作成
テーブル上に新しくコンテンツを作成する
- コンテンツの編集
テーブル上のコンテンツの内容を編集する
- コンテンツの削除
テーブル上のコンテンツを削除する
- コンテンツの移動
テーブル上のコンテンツを別の場所に移動させる
- コンテンツの回転
テーブル上のコンテンツの向きを変える
- コンテンツの縮小, 拡大
テーブル上のコンテンツの大きさを変える

本研究では、これらの機能を持った環境をタブレット端末を用いて実現するときに生じると予想される問題と、それに対する仮想テーブルトップ環境の性質の調査、分析を行う。

3.2 仮想テーブルトップ環境への適用と検討事項

テーブルトップ環境を利用して行われてきた協調作業を、仮想テーブルトップ環境を用いて行う際の主な問題は、画面上に作業空間の一部しか表示することができないため、

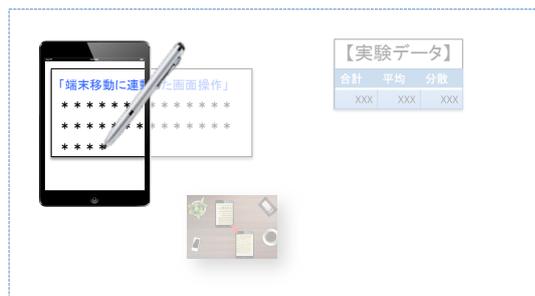


図 3 画面領域よりも大きなコンテンツの編集

Fig. 3 Editing of contents bigger than the tablets' window.

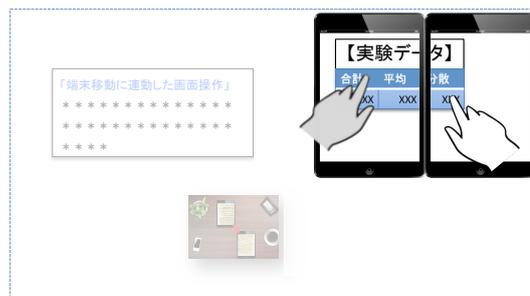


図 5 作業者間でのコンテンツの受け渡し

Fig. 5 Sharing of contents between workers.

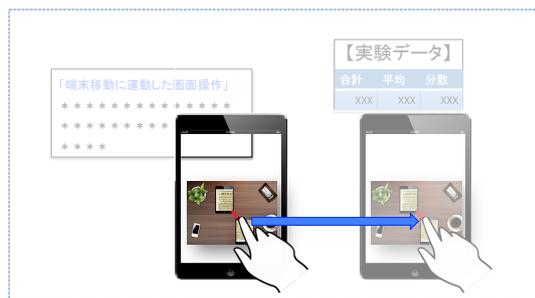


図 4 画面領域を跨いだコンテンツの移動

Fig. 4 Moving of contents across the tablets' window.

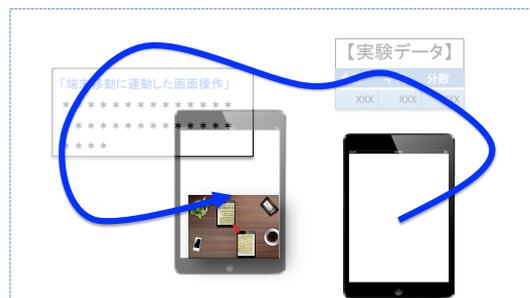


図 6 操作するコンテンツの探索

Fig. 6 Searching of contents to operate.

端末の移動を必要とすることである。これにより生じる検討事項を以下にまとめる。

- 画面領域よりも大きなコンテンツの編集
図 3 に示すように、タブレット端末の画面に表示しきれない大きさのコンテンツの内容を編集するときには、コンテンツの内容を編集しながら端末を移動させる必要がある。
- 画面領域を跨いだコンテンツの移動
図 4 に示すように、タブレット端末の画面に表示されていない領域にコンテンツを移動させるときには、コンテンツを移動させながら端末を移動させる必要がある。
- 作業者間でのコンテンツの受け渡し
図 5 に示すように、テーブルトップ PC を用いた場合は、作業者の前に置かれたコンテンツを、他の作業者の前に移動させることがコンテンツの受け渡しであると考えられる。これに対し、タブレット端末を用いた場合のコンテンツの受け渡しにおいては、作業者の端末に表示されているコンテンツを、何らかの方法を用いて他の作業者の端末に表示することが要求されると考えられる。
- 操作するコンテンツの探索
図 6 に示すように、タブレット端末を用いた場合、端末の画面に表示されている領域以外は可視化されていないため、操作するコンテンツが画面に表示されるように端末を移動させる必要がある。

本研究では主に、スワイプによるスクロールを利用した場

合と端末移動によるスクロールを利用した場合の比較を行うことにより、仮想テーブルトップ環境の性質を明らかにする。その上で、各検討事項について調査するための調査方法と、既に明らかになっていることについて以下にまとめる。

- 画面領域よりも大きなコンテンツの編集、画面領域を跨いだコンテンツの移動
Yee らの研究 [5] において、スワイプによるスクロールに比べて端末移動によるスクロールを用いた場合の方が、コンテンツの操作と画面スクロール操作を同時に行えるという有益性が明らかにされている。そのため本研究では、画面領域よりも大きなコンテンツの編集、および、画面領域を跨いだコンテンツの移動に関する調査は行わない。
- 操作するコンテンツの探索
作業空間上に配置された複数のコンテンツを探索することを抽象化した実験を行い、スワイプスクロールを利用した場合との比較を行うことで、仮想テーブルトップ環境の性質を明らかにする。
- 作業者間でのコンテンツの受け渡し
作業者間でのコンテンツの受け渡しは、画面領域を跨いだコンテンツの移動を含むと考えられるため、スワイプスクロールを利用した場合との比較から得られるデータは、あまり有益であるとは考えられない。そこで、仮想テーブルトップ環境を用いて行う実験における観察、アンケートより、コンテンツ受け渡しに関する性質を調査する。

4. コンテンツ探索に関する実験と評価

本章では、検討事項のひとつである、コンテンツの探索に関する調査を行うために実施した実験について述べる。

4.1 実験内容

本実験では、作業空間上には存在するが作業者の端末画面に表示されていないコンテンツを操作しようとするときに、画面にコンテンツが表示されるように画面をスクロールする場面を抽象化したタスクを行ってもらうことにより、コンテンツの探索に関する調査を行う。タスクの内容は、コンテンツに見立てて作業空間上に配置された1から9までの数字を順に探索し、それらをダブルタップ操作により削除するという内容である。また、協同作業においては、作業開始段階から複数人の成果をまとめる段階に至るまでは、暗黙的に分割された個人の作業領域が存在すると考えられることから、今回の実験は一人の作業者を対象に行うこととする。

比較するシステムは、スワイプスクロール機能を適用したシステムと、端末移動に連動した画面スクロール機能を適用したシステムの二つである。それぞれのシステムにおいて、上下の移動に連動したスクロールバーと、左右の移動に連動したスクロールバーが画面上に表示されている。二つのシステムの違いとして、スワイプによるスクロールでは作業空間の端で画面スクロールが停止するのに対し、端末移動によるスクロールでは作業空間の端を超えて画面がスクロールされる。これは、端末移動によるスクロールにおいて、実空間の位置と閲覧領域の位置の紐付けを保持するための対処である。これに対し、端末移動による画面スクロールにおいては、作業空間の背景色を変更することにより、作業空間の端を認識できるようにしている。

実験は、情報系の学生8人に協力してもらい、1回目と2回目を利用してシステムと探索する数字の配置パターンを変更し、2回のタスクを行うこととした。また、数字の配置パターンとしては、図7、図8に示す二通りのパターンを用意した。配置パターンに関しては、コンテンツ位置の把握に対する各システムの性質が顕著に現れるよう、ある数字を探索しているときに他の数字が画面に映り込むことを意図した配置を取っている。その上で、4名毎に利用するシステムと探索する数字の配置パターンの組み合わせを変更して実験を行った。数字が配置される作業空間の大きさは幅74cm、高さ49cmと共通である。

実験中には、タスク開始時点からの経過時間とスクロール量のログをもとに、数字の探索に費やした時間と移動量の計測を行う。また、実験後には、各被験者に一対比較をもとにしたアンケートに答えてもらい、アンケート結果をもとに階層分析法による評価を行う。

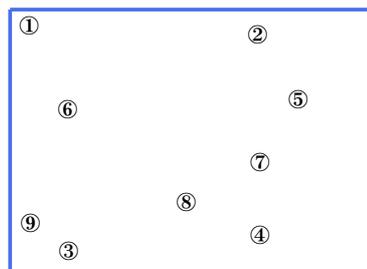


図7 配置パターン1

Fig. 7 Position of numbers 1.

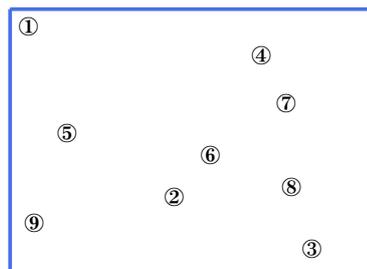


図8 配置パターン2

Fig. 8 Position of numbers 2.

4.2 実験結果および考察

実験の結果、数字の探索に費やした時間と移動量に関しては、表1に示す通りとなった。今回の実験においては、時間と移動量ともに十分な有意性は見られなかったが、比較的スワイプスクロールを用いた場合の方が探索に費やす時間が短くなるという結果になった。また、端末移動によるスクロールにおいて、数人の被験者の時間や移動量が大きな数値を示していることが分かる。実験中の観察において、端に配置された数字の探索に手間取る様子が観察されたことから、領域の端を認識することが困難であったことが原因であると考えられる。

階層分析法による評価の結果は、表2に示す通りとなった。各要因の重要度から、今回のタスクにおいては、スクロールのしやすさが重要であると評価されたことが分かる。また、要因毎の評価値から、スワイプスクロールの方がかなりスクロールがしやすいと評価されたことが分かる。これらのことから、スワイプスクロールの方が数字の探索に費やした時間が短くなった要因は、スクロールのしやすさが大きいと考えられる。また、現在の閲覧領域の把握のしやすさと、一度見た数字の場所の覚えやすさに関しては、端末移動によるスクロールの方が高く評価される結果となった。この結果は、端末移動によるスクロールの領域閲覧における直感性を示していると考えられる。しかし、これら二つの要因の重要度があまり高く評価されていないことから、今回のタスクではこの有益性が活かされなかったことが分かる。

今回の実験内容は全体に占めるスクロール時間が多いため、スクロールのしやすさが重要視されたと考えられる。

表 1 実験結果

Table 1 Result of experiments.

時間 (秒)	被験者 A	被験者 B	被験者 C	被験者 D	被験者 E	被験者 F	被験者 G	被験者 H	平均	標準偏差
スワイプ	22.4	30.4	33.0	25.9	43.2	35.0	44.6	41.7	34.5	7.66
端末移動	58.9	32.4	52.0	36.4	32.5	51.0	120.7	68.1	56.5	27.11
($p=0.072$)										
移動量 (px)	被験者 A	被験者 B	被験者 C	被験者 D	被験者 E	被験者 F	被験者 G	被験者 H	平均	標準偏差
スワイプ	27826	27794	27260	26956	48241	32137	44685	33071	33496	7833.88
端末移動	62014	28238	22259	34287	26613	34825	56781	44611	38703	13535.84
($p=0.396$)										

表 2 アンケート結果

Table 2 Result of questionnaire.

各要因の重要度	
スクロールのしやすさ	0.538
一度見た数字の場所の覚えやすさ	0.148
現在の閲覧領域の把握のしやすさ	0.314

要因毎の評価値				総合評価値
	スクロール	数字の場所	閲覧領域の把握	
スワイプ	0.805	0.432	0.401	0.622
端末移動	0.195	0.568	0.599	0.378

また、実験に用いた作業空間は、一人の作業者が利用するには広くとられていたため、端末移動によるスクロールを用いた際に作業者も大きく動く必要があった。そのため、二つのシステムのスクロールのしやすさに大きな差が出たと考えられる。

実際の作業では、スクロールの頻度は少なくなり、より長時間なタスクになる。そのため、現在の閲覧領域の把握のしやすさと、一度見た数字の場所の覚えやすさの二つの要因の重要性が、今回のタスクに比べて高まると考えられる。また、これら二つの要因の重要性が高まると、端末移動によるスクロールの有益性が活かされると考えられる。

今後は、今回の実験で確認された領域端の認識に関する問題の解決に加え、より実際の作業に近い環境での実験が必要になる。

5. おわりに

本研究では、テーブルトップ環境に似た環境を低コストで提供することを目的に、端末移動に連動した画面スクロール機能を適用したタブレット端末による、仮想テーブルトップ環境の構築を行った。また、テーブルトップ環境を利用して行われる協調作業を仮想テーブルトップ環境に適用した際の検討事項をまとめ、これらの内のひとつである、コンテンツの探索に関する実験を行った。実験では、一般的なスワイプスクロール機能を適用したシステムと、本研究で提案する端末移動に連動した画面スクロール機能を適用したシステムを用いて、作業空間に配置された1から9までの数字の探索を行った。結果、今回のタスクにお

いてはスクロールのしやすさが重要とされ、スクロール性能に劣る提案システムが数字の探索に長い時間を費やす結果となった。しかし、提案システムに関しては、現在閲覧している領域や、作業空間に存在するコンテンツの位置が容易に把握できると評価されたため、これらの性質を活かすことのできる作業においては、有効に利用できるのではないかと考えられる。

今後は、上記で述べた性質を活かせる作業環境についての調査に加え、今回見られた問題の解決方法の検討を行う。また、現存のシステムをマルチユーザ仕様に拡張したうえで、テーブルトップ環境で行われる協調作業を適用した際の残りの検討事項について調査を行いたいと考えている。

参考文献

- [1] 北原 圭吾, 井上 智雄, 重野 寛, 岡田 謙一: 協調学習支援を目的としたテーブルトップインタフェース, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.11, pp.3054-3062, (2006).
- [2] 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).
- [3] 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).
- [4] 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)
- [5] Ka-Ping Yee: Peephole Displays: Pen Interaction on Spatially Aware Handheld Computers, Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, pp.1-8, (2003).
- [6] Michael Tsang, G. W. Fitzmaurice, Gordon Kurtenbach, Azam Khan, Bill Buxton: Boom Chameleon: Simultaneous capture of 3D viewpoint, voice and gesture annotations on a spatially-aware display, UIST '02 Proceedings of the 15th annual ACM symposium on User interface software and technology, pp.111-120, (2002).
- [7] 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).