

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650034

研究課題名(和文)複数ディスプレイ環境における柔軟でシームレスな可視化とインタラクション

研究課題名(英文)Seamless Interaction and Visualization in Perspective Corrected Multi Display Environments

研究代表者

北村 喜文 (Kitamura, Yoshifumi)

東北大学・電気通信研究所・教授

研究者番号：80294023

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：ユーザとディスプレイの3次元空間中での位置関係を考慮し、提示する情報をユーザに対して常に正対して(パースペクティブに)表示することで、複数ディスプレイをシームレスに統合して利用する手法において、携帯型プロジェクタを導入することによって、よりダイナミックでシームレスな環境を構築することが目的である。プロジェクタの映像を環境の周囲に投影するだけで他のディスプレイ画面と連続的な画面を設けることができ、それを移動することによって画面配置を柔軟に変更することができる。評価実験によって提案インタラクションの有効性を確認し、携帯型プロジェクターの持ち方を変えた新たなインタラクションの可能性について議論した。

研究成果の概要(英文)：We study ways to use a portable projector to extend the workspace in a perspective corrected multi display environment (MDE). This system uses the relative position between the user and displays in order to show the content perpendicularly to the user's point of view in a deformation-free fashion. We introduce the image created by the portable projector as a new, temporary and movable image in the perspective corrected MDE, creating a more flexible workspace to the user. In our study, we combined two ways of using the projector (handheld or head-mounted) with two ways of moving the cursor on the screens (using a mouse or a laser-pointing based strategy), proposing four techniques to be tried by the users. Also, two exploratory evaluation experiments were performed in order to evaluate our system.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学 メディア情報学・データベース

キーワード：ヒューマンコンピュータインタラクション 3次元ユーザインタフェース

1. 研究開始当初の背景

スマートフォンやタブレット端末、ハンドヘルドプロジェクタなど、様々なディスプレイ機器が身の回りに現れるにつれ、これらを連携して使用したいとの要求も増えつつある。最も基本的な例として、PCでマルチ画面を使用することも多いが、これらを単純に用いると、画面の連続性の問題が生じる。たとえば、グラフィックメモリ上は連続して表示していても、ディスプレイの位置・方向や人が見る位置を変えれば、視覚的連続性は失われてしまう。また、通常、ディスプレイに表示されるオブジェクトは、人がその中心軸上から観察することを想定して描画されるが、水平のテーブル型のディスプレイの場合は、必ずしもその軸上から観察することができない場合が多い。この際には歪みの問題が生じ、観察対象を空間的に正しく把握できなくなることがあった。一般に、ディスプレイを斜めから観察しなければならない場合には同様の問題が生じる。これらの問題を解決するためには、ディスプレイや見る位置・方向の3次元情報を知った上で、対象を幾何学的に適切に変換して描画することが必要となる。

我々は、位置や向きが固定されたディスプレイで、観察者の視点位置に応じて対象を変換して画面に描画すると、情報の可読性と空間把握性が向上することを確認している。しかし、可動型のモバイル端末やハンドヘルドプロジェクタなど様々な機器を柔軟に組合せてシームレスに見やすく情報表示する可視化技術や、これらを直感的に利用する3次元インタラクション技術は確立されていなかった。

2. 研究の目的

複数のディスプレイを柔軟かつシームレスに結合して見やすく情報を表示する可視化技術と、それを直感的かつ効率的に利用する3次元インタラクション技術を確立する。そして、これらの基本技術によって構成された複数ディスプレイ環境におけるインタラクションのパフォーマンスを、被験者実験によって計測・確認し、今後益々一般に普及するであろう複数ディスプレイ環境構築・利用とその上のインタラクション設計のための知見を得る。具体的な目的は次の3点である。

- (1) 様々なディスプレイを柔軟に組み合わせ情報を見やすく表示する可視化技術の確立
- (2) 試作した複数ディスプレイ環境を効率的・直感的に利用する3次元インタラクション技術の確立
- (3) 被験者実験を通じたインタラクションのパフォーマンス計測から、複数ディスプレイ環境設計・構築のための知見獲得

3. 研究の方法



図1: 提案するシステム

パースペクティブ補正 MDE

本研究で利用するパースペクティブ補正 MDE 環境は、パースペクティブウィンドウとパースペクティブカーソルの二つの技術から成る。前者は、3次元位置センサによりユーザとディスプレイの位置関係を検出し、コンテンツ表示ウィンドウを、ユーザの視線の垂直面にあるように、形、大きさ、角度を補正してディスプレイ上に表示する(図1中のウィンドウ)。これにより、ユーザが動いても、そのコンテンツウィンドウの表示は、常にユーザにとって見やすい位置や角度に保たれる。

後者のパースペクティブカーソルは、上記と同様に、ユーザとディスプレイの位置を計測し、その位置関係からカーソルの方向とサイズを最適なものに変形させて表示する。カーソルの動きは、ユーザの視点を中心に仮想球面を定義し、その球面上を移動させることにより、ユーザから遠い位置にあるディスプレイほどカーソルの速度は早くなり、ユーザの見た目の CD 比 (Control-Display Ratio) は一定となる。このカーソルを使うことで、離れたディスプレイ間を隔てて、連続的にシームレスにコンテンツを移動させることができる。本システムでは、カーソル位置が、ディスプレイが存在しない死角に存在した場合は周囲のディスプレイ端に Halo を表示し、大まかなカーソル位置をユーザに伝えることとしている。

パースペクティブ補正 MDE 上での携帯型プロジェクタによるインタラクション

上で述べたパースペクティブ補正 MDE では、従来の MDE と同様に、タスクに応じて柔軟にディスプレイ構成を変更することができないという課題がある。また、複数のディスプレイの間に死角が存在するために、完全なシームレスなディスプレイ間インタラクションを実現できていなかった。本研究では、携帯型プロジェクタによる一時的な可動ディスプレイ (パースペクティブ補正スクリーン) を加えることで、それらの解決を図った。携帯型プロジェクタとは、一般のプロジ

ェクタより小さくて軽く、片手で簡単に持ち運べるようなデバイスのことあり、現在、スマートフォン用ケースに付属したものや、携帯電話やビデオカメラなどに付属したものも発売されており、インタラクティブシステムへの応用として検討が進んでいる。本研究では、提案のシステムを用いて、次のワークスペースの柔軟な拡張とシームレス性の向上の二つのインタラクティブシナリオについて検討した。

ワークスペースの柔軟な拡張

携帯型プロジェクタを用いて既存のワークスペースを任意の場所で拡張できる手法を提案した。これは、ディスプレイの配置を変更できないというMDEにおける、問題点を解決することに加えて、既存では欠如している画面拡張性を検討するものである。計算機利用において、地図や表など、ディスプレイの領域を超える大きなサイズのコンテンツを扱うことが多くある。そのとき、ディスプレイの外に表示されている情報を見るためには、通常コンテンツをドラッグしたり、スクロールしたりして、その情報をディスプレイ内の中心に配置することが一般的であるが、ディスプレイ内の重要な情報が外に出て失ってしまう恐れがある。また、コンテンツを小さく（ズームアウト）することも考えられるが、コンテンツ全体の可視性が低下してしまうという点を考慮する必要がある。それに対して、携帯型プロジェクタを用いると、ディスプレイ外の領域を照らす（固定ディスプレイ外の映像を投影）だけで、シームレス性を保ったまま、簡単にワークスペース拡張することができる（図2）。携帯型プロジェクタによる投影映像の位置はジェスチャにより簡単に変更できるため、任意の場所で情報を拡張することで、よりダイナミックでかつ高い可視性を持つMDEを構築することができる。

シームレス性の向上

異なる大きさの複数ディスプレイを3次元



図2: 作業領域のシームレス性を保った拡張

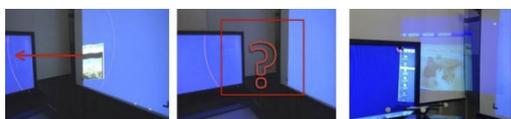


図3: ディスプレイ間でコンテンツが見えない

的に配置すると、ディスプレイアームの存在など様々な理由でディスプレイ間にベゼル以上の隙間が出来てしまうことが多い。そのため、ワークスペースがシームレスに接続されていたとしても、ディスプレイを隔てたオブジェクト移動（ドラッグ等）時に、途中の死角により視覚情報を十分に得ることができず、快適なインタラクティブにならない（図3）。ここで、携帯型プロジェクタを用いてディスプレイの間の空きスペースを照らす（空きスペースの映像を投影）ことによって、高いシームレス性を実現し、ディスプレイ間で行うポインティングやドラッグのタスク効率を向上させることが期待できる。

4. 研究成果

携帯型プロジェクタの持ち方に関する評価

提案システムの実用性を検討するにあたり、携帯型プロジェクタの利用方法について、簡単なユーザスタディを行った。携帯型プロジェクタの持ち方について、ハンドヘルドまたはヘッドマウントの二つの把持方法を考えた。また、ディスプレイに表示されるカーソルの動かし方について、マウス（パースペクティブカーソル）またはレーザーポインタスタイルのジェスチャインタフェースの二つの方法を考え、これらを組み合わせて、合計4つのテクニックについて検討した。

被験者5名による主観評価の結果、提案した4つの組み合わせによるインタラクティブはどれも使いやすく、ユーザにとって快適かつシンプルであることがわかった。特に、携帯型プロジェクタをヘッドマウントで装着したとき、ユーザはハンズフリーでインタラクティブできるため、かなり高い評価を受けた。また、NASA TLX(タスクの負担指標を求める手続き)を行った結果、提案するMDEと携帯型プロジェクタの組み合わせシステムがユーザに大きな負担をかけないことがわかった。一方、プロジェクタは頭に装着するのに多少重かったと言う意見もあった。

基本的インタラクティブの定量的評価

提案システムにおけるインタラクティブの効率や精度を検討するために、ユーザスタディを行った。実験は先に述べたディスプレイ領域の拡張に関するパターン認識タスクと、シームレス性の向上に関するディスプレイ間のポインティングタスクである。6人の被験者（平均年齢22歳、男性5人女性1人、全員右利き）が参加した。両方のタスクでは、被験者がプロジェクタを非利き手で持ち一時スクリーンを操作し、そしてMDE上のパースペクティブカーソル（マウス）を利き手によって操作した。この組み合わせを選択した理由は、両者が被験者にとって馴染み深いテクニックであり、精度を要求するタスクに向いていると考えたからである。

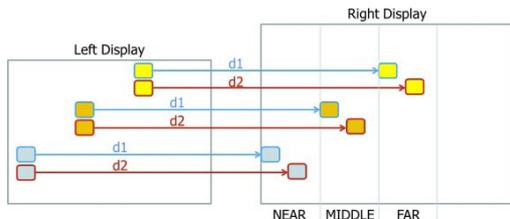


図 4: ポインティングタスクの設定図

パターン認識タスクでは、一部が外に出るようにコンテンツをディスプレイに表示し、ユーザがその外の情報を調べるものであった。具体的には、ディスプレイの外に出ているコンテンツの中で、ディスプレイ内に表示されたシンボルと同じ形のシンボルの数を数えることであり、被験者が回答を完了するまでの時間を測定した。このタスクでは、プロジェクタを用いて隠れている情報の位置に投影するか (with projector) , マウスを使ってコンテンツをディスプレイ内にドラッグする

(without projector) 2パターンと、コンテンツに表示されているシンボルの数の3パターンを組み合わせ、合計6パターンを用意した。それらをランダムに表示し3回繰り返し、各被験者が合計18回タスクを行った。

ポインティングタスクでは、図 4 に示すように、それぞれの離れた二つのディスプレイにスタートとターゲットを表示して、ユーザがマウスを用いてそれぞれのターゲットをクリックする様なタスクを設定した。実験要因としては、ターゲットまでの距離が 2 パターン (d1: short, d2: long) , ターゲットの位置 (ターゲットがギャップにどれだけ近い) が 3 パターン (near, middle, far) , ユーザがプロジェクタを用いたかどうかの 2 パターン (with, without projector) , そしてカーソルの動き方向の 2 パターン (右から左, 左から右) を組み合わせ、合計で 24 パターンの試行を行い、各パターンをランダムに 3 回を繰り返した。

実験結果

パターン認識タスクでは、with-projectorの方が、without-projectorより有意に短い時間で回答が完了していた (図5) 。また、NASA TLXの結果より、with-projectorの方が被験者にかかる負担が14.6%小さいことがわかった。従って、提案手法により簡単にワークスペースを拡張でき、マウスなどのこれまでのインタフェースより速く高い快適性を実現できていることが確認できた。

また、ポインティングタスクでは、with projector と without-projector を比べたところ、タスクの完了時間は with-projector のほうが長くなり (図 6) , 精度についても有意差が見られなかった。さらに NASA TLX の結果では、with-projector の方がユーザに 5.6%小さい

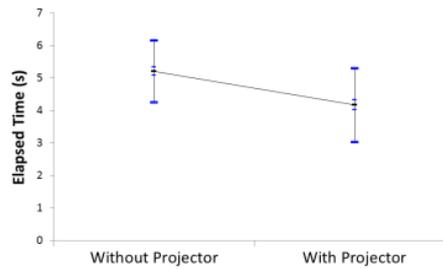


図 5: パターン認識タスクの結果

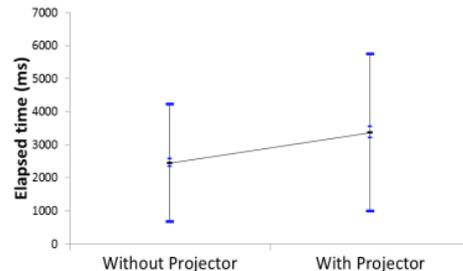


図 6: ポインティングタスクの結果

負担をかけるという結果であった。従って、提案手法がシステム全体をよりシームレスで死角のない高い視覚情報を提供できる一方、ユーザが片手でプロジェクタを動かしながらもう片手でポインタを動かすというステップはタスクの効率を下げってしまうということが分かった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- (1) 高嶋和毅, 深澤遼, ガス・シューメーカー, 伊藤雄一, 北村喜文: シームレスに統合された複数ディスプレイ環境におけるジェスチャインタフェースの比較, 電子情報通信学会論文誌 D (採録決定済), 2014 (査読有)
- (2) Jorge H. dos S. Chernicharo, Kazuki Takashima and Yoshifumi Kitamura: Seamless Interaction Using a Portable Projector in Perspective Corrected Multi Display Environments, In Proceedings of Symposium on Spatial User Interaction (SUI), pp.25-32, July 2013. (査読有)

[学会発表] (計 1 件)

- (1) チェルニチャロ・ジョルジェ, 高嶋和毅, 北村喜文: 複数ディスプレイと携帯型プロジェクタを用いたシームレスなインタラクションの検討, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.112-115, 2013年9月18日, 大阪. (査読無)

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.icd.riec.tohoku.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北村 喜文 (Yoshifumi Kitamura)

東北大学・電気通信研究所・教授

研究者番号：80294023

(2) 研究分担者

高嶋 和毅 (Kazuki Takashima)

東北大学・電気通信研究所・助教

研究者番号：60533461

(3) 連携研究者

なし